



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
ENGENHARIA QUÍMICA



ADELZO FELIPE MOURA MEDEIROS

**TRATAMENTO DE SORO DO LEITE UTILIZANDO A SIMBIOSE ENTRE
MICROALGAS E FUNGOS FILAMENTOSOS**

MACEIÓ

2022

ADELZO FELIPE MOURA MEDEIROS

**TRATAMENTO DE SORO DO LEITE UTILIZANDO A SIMBIOSE ENTRE
MICROALGAS E FUNGOS FILAMENTOSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Química da
Universidade Federal de Alagoas como
requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo de
Farias Silva.

Coorientadora: Josimayra Almeida Medeiros

MACEIÓ

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

M488t Medeiros, Adelzo Felipe Moura.
Tratamento de soro do leite utilizando a simbiose entre microalgas e
fungos filamentosos / Adelzo Felipe Moura Medeiros. – 2022.
37 f. : il. color.

Orientador: Carlos Eduardo de Farias Silva.
Coorientadora: Josimayra Almeida Medeiros.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 33-37.

1. Indústria de laticínios. 2. Soro do leite. 3. Resíduos industriais. 4.
Simbiose. I. Título.

CDU: 66.0: 628.3

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para superar todos os obstáculos, aos meus pais, Adelzo e Rosimary, que me proporcionaram as condições de estudo e investiram na minha educação e que sempre acreditaram e me apoiaram em todos os momentos. Às minhas irmãs, Cynthia e Nathalia, que assim como meus pais me apoiaram e que tanto estiveram presentes na minha vida e sem dúvida não estaria aqui hoje sem elas, e aos meus tios e tias que tanto contribuíram com minha formação.

Aos meus amigos Carlos Barreto, Pedro Antônio, Luiz Antônio, Bárbara de Carvalho, Francine, Brígida, Bruno Gabriel, Edilton, Luiz Daniel, Gabriella Silva, Olivia, Thaís Ribeiro, Herickson Magalhães, A. Lopes, Felipe Pereira e Francisco Malaquias.

Ao professor Dr. Carlos Eduardo por toda ajuda que me deu, assim como minha co-orientadora Josimayra Almeida, meu muito obrigado por tudo!

RESUMO

O processamento do leite, durante a produção do queijo gera um subproduto o qual denomina-se de soro do leite. Esse efluente possui uma elevada carga orgânica e em razão disso há a necessidade de submetê-lo a um processo de tratamento adequado para que seu descarte não ocasione impactos no âmbito ambiental. Neste contexto, esse trabalho buscou avaliar a eficiência do tratamento do soro do leite utilizando o fungo filamentoso do gênero *Cunninghamella echinulata*, a microalga da espécie *Tetradesmus sp.* LCE-01 e a associação simbiótica entre eles. O soro do leite foi caracterizado com os teores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) (cerca de 2036 mg O₂ L⁻¹), Nitrogênio Total (NT) (em torno de 60,7 mg N L⁻¹) e Fósforo Total (FT) (de 27,05 mg L⁻¹). Notou-se uma elevada eficácia na redução dos teores dos poluentes através da interação simbiótica, quando comparado aos valores obtidos pelo uso dos monossistemas (microalga ou fungo), alcançando assim taxas de remoção de até 86% para DQO, 77% para NT e 96% para FT. Estes resultados permitem concluir que a interação simbiótica é a alternativa que mais se destacou frente a utilização de microalga e fungo separadamente, para tratamento de efluentes do soro do leite.

Palavras-Chave: Indústria de laticínios, tratamento biológico, engenharia bioquímica.

ABSTRACT

The processing of milk during the production of cheese generates a by-product which is called whey. This effluent has a high organic load and, as a result, there is a need to submit it to an appropriate treatment process so that its disposal does not cause impacts on the environment. In this context, this work sought to evaluate the efficiency of whey treatment using the filamentous fungus of the genus *Cunninghamella echinulata*, the microalgae of the species *Tetradismus sp.* LCE-01 and the symbiotic association between them. The whey was characterized with the contents of Chemical Oxygen Demand (COD) (about 2036 mg O₂ L⁻¹), Total Nitrogen (TN) (about 60.7 mg N L⁻¹) and Total Phosphorus (TP) (about 27.05 mg P L⁻¹). It was noted a high efficiency in reducing the levels of pollutants through symbiotic interaction, when compared to the values obtained by the use of monosystems (microalga or fungus), thus reaching removal rates of up to 86% for COD, 77% for TN and 96 % for TP. These results allow us to conclude that symbiotic interaction is the alternative that most stood out against the use of microalgae and fungus separately, for the treatment of whey effluents.

Keywords: Dairy industry, biological treatment, biochemical engineering.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 -** Sistema CIP de Limpeza.
- Figura 2 -** Parâmetros para efluente de soro de leite.
- Figura 3 -** Processo de aproveitamento do Soro do Leite.
- Figura 4 -** Remoção de DQO em diferentes concentrações de soro do leite.
- Figura 5 -** Remoção de Nitrogênio em diferentes concentrações do soro do leite.
- Figura 6 -** Remoção de Fósforo em diferentes concentrações do soro do leite.
- Figura 7 -** Crescimento das espécies em amostras contendo diferentes concentrações de soro do leite.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química do soro do leite.

Tabela 2 - Valores dos testes de pH para as espécies.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIP	<i>Cleaning In Place</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
g	grama - unidade de massa, e seus derivados (mg – miligrama, kg – quilograma etc.)
h	hora
L	Litro - unidade de volume e seus derivados (mL – mililitro)
min	minuto
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio Total
FT	Fósforo Total
s	segundo
cm	centímetro
H	Hidrogênio
H₂	Gás Hidrogênio
O₂	Gás Oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	Geral.....	10
2.2	Específicos	10
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1	Indústria de Laticínios.....	11
3.2	Soro do Leite	13
3.2.1	Aplicação do soro do leite	14
3.2.2	Tratamento do soro do leite.....	16
3.3	Microalgas.....	17
3.3.1	Microalgas do Gênero <i>Tetrademus</i>	17
3.4	Fungos Filamentosos.....	18
3.4.1	Fungos do Gênero <i>Cunninghamella</i>	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	Efluente Bruto	20
4.2	Espécies de Fungo Filamentoso e Microalga.....	20
4.3	Caracterização Físico-Química	20
4.3.1	Peso seco celular e pH	20
4.3.2	Demanda Química de Oxigênio - DQO (Método de digestão do dicromato).....	21
4.3.3	Nitrogênio Total (Método de Kjeldahl)	22
4.3.4	Determinação de Fósforo Total (Método do ácido ascórbico)	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Caracterização Físico-Química do Soro do Leite	24
5.2	Remoção de DQO, NT e FT	24
5.3	pH.....	27
5.4	Biomassa Produzida (Peso seco Celular).....	29
6.	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

Em 2020, o ano de início da pandemia da Covid-19, a disponibilidade de leite no Brasil aumentou 2,8%, com volume de 734,08 milhões de litros superior a 2019. O aumento do consumo de lácteos ao longo do ano refletiu-se em rentabilidade e estimulou os produtores. O volume de leite adquirido pelos laticínios inspecionados atingiu recorde histórico de 25,525 bilhões de litros, alta de 2,1% em relação a 2019, segundo os dados da Pesquisa Trimestral do Leite/IBGE. (EMBRAPA, 2020).

O soro de leite é um subproduto da produção do queijo rico em lactose e proteínas e que se distingue pela sua cor amarelo-esverdeada, devido à presença de riboflavina (vitamina B₁₂). Esse efluente, que contém cerca de 55% dos nutrientes encontrados no leite, é uma fonte valiosa para o setor alimentício, entretando a sua alta concentração de matéria orgânica o torna um potencial poluidor caso seja descartado de maneira irregular, podendo ocasionar uma diversidade de impactos ambientais (MERKEL; VOROPAEVA; ONDRUSKE, 2021).

Este resíduo ainda se destaca por ser produzido em altas quantidades visto que para cada quilo de produto formado são produzidos 9 litros de soro. Desta forma, em consequência da composição desse efluentes bem como a sua alta taxa volumétrica torna-se imprescindível que se desenvolvam alternativas economicamente viáveis e maneiras para promover o seu tratamento (ALVES et al., 2014).

É nesse contexto, que as microalgas e os fungos, individualmente, têm sido amplamente estudados para a remoção de poluentes presentes nos efluentes, como o nitrogênio e o fósforo. Todavia, uma série de pesquisas nessa área vem consolidando os benefícios da utilização simbiótica entre esses microrganismos para o tratamento de diferentes tipos de águas residuais (ZHOU et al., 2012).

Desta forma, esse trabalho avaliou a eficiência do tratamento do soro do leite, utilizando o fungo filamentoso do gênero *Cunninghamella echinulata*, a microalga da espécie *Tetrademus obliquus* LCE-01 e o consórcio entre eles.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a eficiência do tratamento do soro do leite utilizando o fungo filamentoso do gênero *Cunninghamella echinulata*, a microalga da espécie *Tetrademus obliquus* LCE-01 e a associação simbiótica entre eles.

2.2 Específicos

- Realizar o tratamento do soro submetendo-o a esterilização, diluição e inoculação do fungo, da microalga e de sua associação.
- Caracterizar físico-quimicamente as amostras coletadas através da determinação de sua demanda química de oxigênio (DQO), do teor de nitrogênio total (NT) e do teor de fósforo total (FT).
- Comparar a eficiência do tratamento realizado pelo consórcio microalga-fungo com os monossistemas (microalga ou fungo filamentoso, individualmente).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria de Laticínios

A indústria de laticínios é o segundo segmento mais importante da indústria de alimentos brasileira, estando atrás apenas do setor de derivados da carne e tendo superando os segmentos de beneficiamento de café, chá, cereais e também o de açúcares. O leite é usado para fazer bebidas lácteas, leite fermentado, coalhada, queijos, leite em pó, manteiga, creme, iogurte, doce de leite, leite condensado, leite pasteurizado (integral e desnatado), leite UHT, ricota, sobremesas lácteas, soro de leite e soro de leite em pó.

As pequenas propriedades geram quase metade de todo o leite produzido no Brasil, respondendo por 47% do volume total. O leite é o salário mensal de 1,2 milhão de agricultores. Mais de 4 milhões de pessoas trabalham nos setores de laticínios e no campo com produção primária, tornando o leite a maior atividade geradora de empregos do país, gerando em 2016 R\$ 27 bilhões em receita (IBGE, 2016). A produção de leite em 2017 foi de 34,9 bilhões de litros, com preço médio de R\$ 1,32 por litro, gerando R\$ 46,8 bilhões em receita, segundo a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), esse número foi 3,3 % maior do que no ano anterior. Em 2019 o Brasil produziu 34,8 bilhões de litros de leite (IBGE,2020).

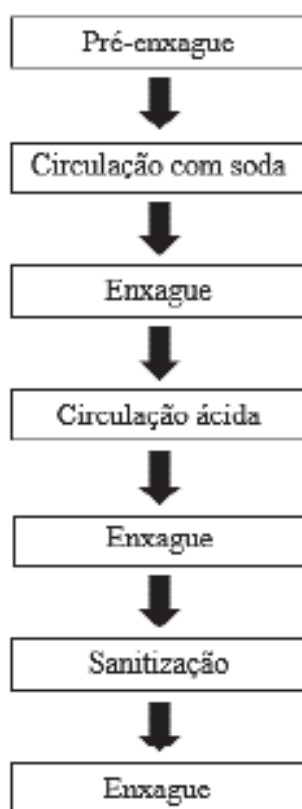
De acordo com as informações mais recentes da International Farm Comparison Network (IFCN), a Arábia Saudita e a China no ano de 2020, possuem as maiores empresas produtoras de laticínios do mundo. A China tem metade da lista, enquanto Arábia Saudita, Rússia e Estados Unidos possuem todo o restante. Com inúmeras fazendas leiteiras, os maiores produtores respondem por 1,1% da produção global de leite em 2018.

A indústria de queijos produz três tipos de resíduos líquidos: o primeiro soro de leite (resultado da produção do queijo), o segundo soro de leite (resultado da produção de queijo cottage) e as águas residuais. Associado ao crescimento desse setor, há também um crescente aumento na geração de resíduos sólidos e líquidos. Como o potencial poluidor do soro de leite é aproximadamente cem vezes maior que o do esgoto doméstico, o seu descarte direta ou indiretamente em cursos de rios sem nenhum tipo de tratamento gera um grande problema ambiental, pois cada 1.000 L de soro de leite não tratados por dia é equivalente à poluição diária de 470 pessoas, devido ao seu elevado conteúdo de substâncias orgânicas, associado demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 27 a 60 kg.m⁻³, que ultrapassa o limite máximo permitido de acordo com as normas ambientais (ALVES et al., 2014).

Além disso, grandes volumes de água são requeridos pelos laticínios para operações

com tubulações, tanques, pasteurizadores e limpeza de equipamentos, resultando em grandes volumes de efluentes (CARVALHO et al., 2013). Segundo Brum et al. (2009) a higienização dos laticínios utiliza o sistema de limpeza “Cleaning In Place” (CIP) para circulação de soluções químicas e enxaguantes à base de água, bem como para limpeza mecânica de superfícies, e é amplamente utilizado como padrão de limpeza, seu processo é descrito na Figura 1.

Figura 1 – Sistema CIP de Limpeza.



Fonte: Adaptado de BRUM et al. (2009)

De acordo com o Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), o processo de limpeza envolve o uso de ácidos, refrigerantes e sanitizantes, que são trocados com recirculação de água antes da injeção do produto. As águas provenientes deste processo, são constituídas por diferentes diluições, que contém geralmente produtos químicos ácidos e alcalinos utilizados no processo de lavagem, sendo as características desse efluente são determinadas por fatores como os produtos finais, tipo de sistema, método de operação, gestão de resíduos e clima (CARVALHO et al., 2013). A Figura 2 mostra os parâmetros de caracterização do efluente de soro de leite.

Figura 2 - Parâmetros para efluente de soro de leite.

Parâmetros	Efluente Soro de Leite
DQO (mg L ⁻¹)	18500 ± 1400
DBO (mg L ⁻¹)	14800 ± 1500
Turbidez (NTU)	1331 ± 219
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	7650 ± 600
Absorbância 220 nm ^b	0,878 ± 0,105
Absorbância 254 nm ^b	0,334 ± 0,045
Cloretos (mg L ⁻¹)	2407 ± 248
Nitrogênio (mg L ⁻¹)	337,7 ± 18,4
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	56,4 ± 7,3
Fósforo (mg L ⁻¹)	6,6 ± 0,3
Proteína (µg L ⁻¹)	943 ± 6
Lactose (mg L ⁻¹)	180 ± 3

Fonte: Carvalho et al. (2013)

Brião et al. (2015), reitera a necessidade de reaproveitamento de água e aproveitamento de resíduos, uma vez que o volume de efluente gerado pelos processadores é enorme e há uma grande demanda de água para limpeza de equipamentos e tubulações. Além disso, o despejo de efluentes de processadores de laticínios em corpos de água aumenta o risco de eutrofização, fenômeno que ocorre quando há aumento de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio provocando o surgimento excessivo de organismos como algas e cianobactérias. Um ambiente eutrofizado acaba adquirindo uma coloração turva e a quantidade de oxigênio diminui, o que causa a morte de várias espécies (LACERDA et al., 2021).

Segundo a Resolução nº 430 de maio/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor após tratamento prévio obedecendo às condições e padrões previstos como, por exemplo, pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40°C e não toxicidade aos organismos aquáticos presentes no meio.

3.2 Soro do Leite

Na produção de queijo e de caseína, que são derivados do leite cru, ocorre a obtenção de um resíduo denominado soro do leite que varia entre a cor amarela e verde, podendo ser doce ou ácido conforme o método de coagulação pelo qual foi obtido. Possui de 50% a 55% dos sólidos totais presentes no leite e também compostos como proteínas, lactose, cálcio, fósforo, magnésio, zinco e uma pequena porção de gordura.

O sabor adocicado vem da coagulação enzimática do leite, que é causada pela adição

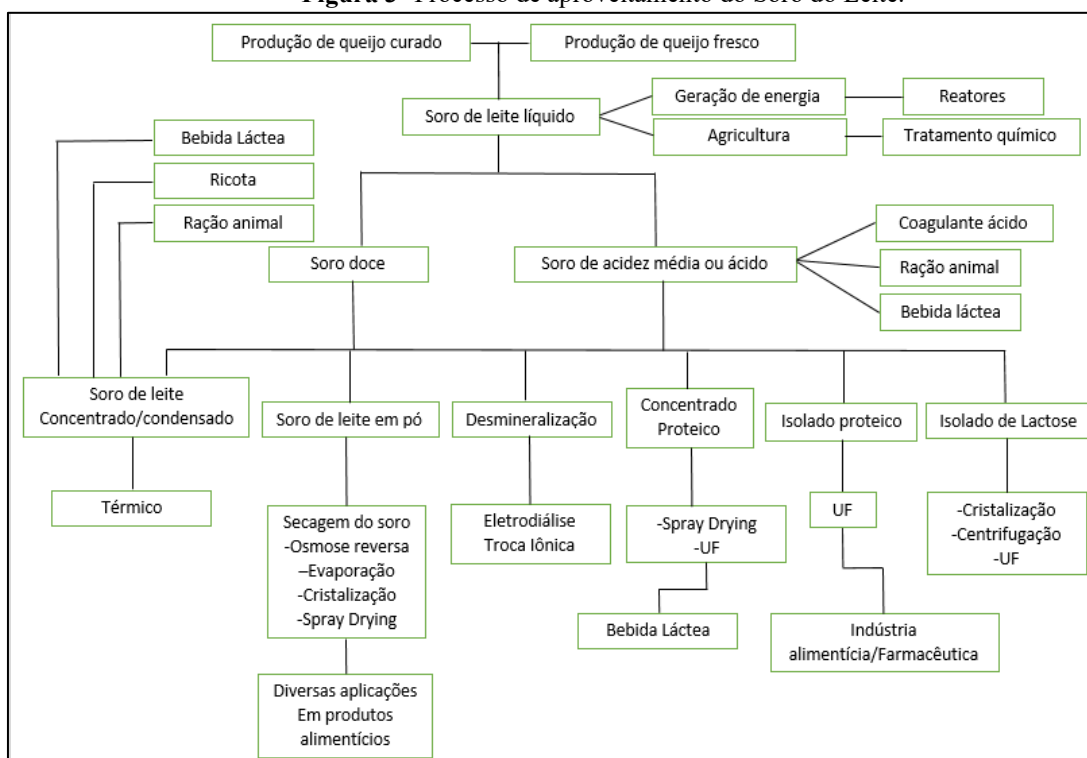
de uma enzima chamada renina, que tem a capacidade de coagular o leite e possui pH entre 6,3 e 6,6. É um subproduto da produção de queijos como o Cheddar ou o Emmental. Já o soro ácido é produzido pela acidificação do leite para a produção de queijos como Camembert e Petit Suisse (GIRALDO - ZUÑIGA, 2004).

Os valores de composição do soro de leite revelam excelente qualidade nutricional, sendo um insumo bastante utilizado na sua forma *in natura* como complemento da alimentação animal ou em preparações lácteas para consumo humano (TRINDADE, 2018). No campo do bioprocessamento, a rica composição de açúcares residuais, minerais e soro de leite nitrogenado é adequada para uso como substrato alternativo na produção de bioprodutos derivados de microrganismos como etanol, proteína unicelular, ácido láctico, butanol, β -galactosidase (MURARI et al., 2019).

3.2.1 Aplicação do soro do leite

A utilização do soro do leite como matéria-prima na fabricação de novos produtos pode agregar valor a esse subproduto, visto que seu uso está ligado à nutrição humana e animal, geração de energia e reaproveitamento agrícola. A Figura 1 retrata o processo de beneficiamento do soro do leite, no qual ele é enviado para as indústrias e é transformado em soro modificado, soro concentrado ou pó. Essa valorização melhora a vida útil dos produtos e reduz o volume enviado aos sistemas de tratamento, no entanto como o soro é gerado em grandes volumes ainda restam grandes quantidades de efluente a serem tratados (NUNES et al., 2018).

Figura 3- Processo de aproveitamento do Soro do Leite.



Fonte: Adaptado de NUNES et al. (2018).

O soro doce possui maior aplicação industrial podendo ser aproveitado ainda na forma líquida direta ou para a produção de queijos frescos (ricota ou *cottage*), bebidas lácteas e fornecimento direto para alimentação animal. Quando na forma de pó, as aplicações do soro do leite se expandem significativamente, pois pode ser adicionado a uma variedade de produtos alimentícios como substituto parcial ou total do leite em pó. Os benefícios da substituição estão relacionados com um menor teor de gordura e lactose, bem como um aumento das propriedades nutricionais em relação às proteínas, vitaminas e minerais. As desvantagens deste método de aplicação são os altos custos dos equipamentos para transformação do soro líquido em pó (MIRABELLA et al., 2014).

Com relação às aplicações industriais do soro ácido em alimentos, sejam líquidos, condensados ou em pó, é possível afirmar que estes apresentam limitações. Isso ocorre porque o soro de leite ácido confere um sabor salinizado ou ácido aos alimentos, com isso, estudos estão sendo realizados para melhorar a aplicação do soro ácido em produtos para que tenham uma alta aceitabilidade sensorial (OLIVEIRA et al., 2012).

Embora seja possível a fabricação de produtos a partir do soro de leite, algumas indústrias não dispõem de conhecimento técnico e condições financeiras para aplicar certas tecnologias de transformação, tornando necessária uma alternativa para o destino adequando

desse efluente. Quando não ocorre a valorização do soro, ele é considerado um efluente muito concentrado, caracterizado por uma alta DQO, baixo pH e alcalinidade (DERELI et al., 2019).

3.2.2 Tratamento do soro do leite

O soro do leite se destaca como um dos principais efluentes da indústria de laticínios tanto por conta do grande volume que é gerado, cerca de 9 L para a para cada quilo de produto formado, quanto em razão da sua composição, que além de variada possui altas concentrações de poluentes. Estudos mostram que aproximadamente 40% do soro de leite produzido no Brasil é descartado de forma ineficiente, principalmente por pequenas e médias empresas, transformando-o em um resíduo industrial nocivo ao meio ambiente, potencialmente capaz de alterar tanto a composição do solo quanto reduzir a oxigenação de rios e lago (DE PAULA et al., 2011; SANTIN, 2020).

De forma geral, a composição físico-química do soro do leite apresenta altas concentrações de DQO ($50-102 \text{ g.L}^{-1}$) e DBO ($27-60 \text{ g.L}^{-1}$), o que torna a carga orgânica do mesmo aproximadamente cem vezes maior do que a das águas residuais domésticas comuns. Além disso, seus sólidos suspensos totais estão em torno de $1,3$ a $22,0 \text{ g.L}^{-1}$ e a sua salinidade, que possui um valor elevado e uma condutividade de cerca de 8 mS.cm^{-1} , é oriunda da adição de NaCl no processo de fabricação do queijo e do tipo de soro que é produzido. Outros componentes que constituem o soro do leite são os ácidos cítrico e láctico ($0,02$ a $0,05\%$), compostos de nitrogênio não proteicos, como a ureia e o ácido úrico e vitaminas como a do complexo B (PENESAR et al, 2007; PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012; CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013).

Os métodos tradicionalmente utilizados no tratamento do soro do leite consistem em processos físico-químicos de alto valor agregado, seja por conta da aquisição de produtos químicos e pela necessidade de pós-tratamentos ou pelos gastos energéticos e associados a implementação de sistemas operacionais para esse tipo de tratamento. Tais fatos, tornam a remediação desse efluente um processo inviável, principalmente para as indústrias de pequeno e médio porte. Em razão disso, mecanismos alternativos tem sido avaliados para o tratamento desse tipo de efluente dentre eles destaca-se a biorremediação, a qual é definida como como um processo que buscar utilizar a capacidade microbiana para reduzir a concentração dos poluentes a níveis não dectáveis, não tóxicos ou aceitáveis (PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012).

3.3 Microalgas

Microalgas é um termo comumente utilizado, que se refere a um grupo amplamente diverso de microrganismos fotossintéticos. Espécies de microalgas podem ser encontradas em uma variedade de ambientes aquáticos, incluindo água doce, salobra e salina. As microalgas são organismos diminutos que realizam fotossíntese e utilizam o dióxido de carbono como fonte nutricional para o crescimento, além de desempenhar um papel importante nos ecossistemas (SANCHEZ-SILVA et al., 2013).

Segundo Parmar et al. (2011) além da clorofila, as estruturas celulares desses organismos contêm outros pigmentos, acessórios de proteção e captura de luz que proporcionam alta capacidade fotossintética permitindo converter até 10% da energia solar em biomassa, percentual superior ao de outras plantas convencionais, que têm porcentagens de conversão de 1 e 5%, respectivamente. Na aplicação da cultura de microalgas para produção de alimentos, compostos de valor comercial e outros produtos finais, a eficiência no uso da luz solar, sal e águas residuais, bem como a adaptabilidade a terrenos áridos, torna-se um potencial adicional (KHAN et al., 2021).

Apesar de as microalgas serem conhecidas há muito tempo, os estudos sobre elas começaram a ser realizados recentemente. As microalgas tornaram-se populares como possível fonte de alimento por volta do final da década de 1940 e início da década de 1950. Na década de 1960, a poluição da água serviu de estímulo para o aumento das pesquisas sobre esses microrganismos, com o objetivo de determinar se eles poderiam ser usados como remediadores. Na década de 1970, as microalgas foram reconhecidas como uma fonte potencial de combustível renovável e após isso elas foram usadas como fontes de produtos de alto valor, principalmente nutracêuticos (SYDNEY, 2009).

Sua composição está de modo direto ligada à natureza de cada espécie, pois fatores ambientais da região onde é cultivada influenciam seu metabolismo, como o nitrogênio, que, por exemplo, tem impacto na produção de lipídios e proteínas em microalgas dependendo da sua concentração. A incidência de luz desempenha um papel na produção de pigmentos em microalgas. Como resultado, o local escolhido e o método de cultivo estarão diretamente ligados ao objetivo preciso de crescimento (CARDOSO et al., 2011).

3.3.1 Microalgas do Gênero *Tetradismus*

Os gêneros de microalgas verdes *Tetradismus*, *Acutodesmus*, *Desmodesmus* e *Scenedesmus* apresentam semelhanças físicas. A parede celular da *Tetradismus* é composta

principalmente de carboidratos neutros (glicose, manose, frutose e ramnose) e aminoácidos. Um único cloroplasto cobre toda a superfície interna de cada célula, e um pirenóide é encontrado no centro da célula. A espécie se reproduz assexuadamente liberando autósporos quando a parede celular é rompida (OLIVEIRA et al., 2021).

Esse microrganismo consegue se desenvolver em ambientes heterotróficos e mixotróficos e possui uma rápida taxa de desenvolvimento, sendo excepcionalmente resistente a condições adversas, altas temperaturas e irradiação, o que o torna ideal para produção em larga escala. Vários estudos mostraram que o gênero *Tetrademus* pode prosperar em águas residuais ricas em nitrogênio e fósforo (FERREIRA et al., 2019; GUPTA et al., 2016; MARTINEZ et al., 2000). A capacidade das microalgas de se desenvolver em águas residuais é atraente porque permite que os poluentes sejam convertidos em biomassa (BRENNAN & OWEDE, 2010; YANG et al., 2018).

Além de seu uso na produção de biocombustíveis, o gênero *Tetrademus* atraiu recentemente a atenção de pesquisadores e desenvolvedores da indústria como biomaterial e biocomponente para a formulação de compósitos funcionais para aplicações ambientais emergentes, como tratamento de águas residuais (MATA et al., 2012), desenvolvimento de biossensores (WEI et al., 2010), nutrição de plantas (RENUKA et al., 2016) e aquicultura (TEJIDO-NUÑEZ et al., 2019).

3.4 Fungos Filamentosos

Os fungos desempenham um papel crucial nos ciclos biogeoquímicos, bem como na degradação, uso e transformação de substratos orgânicos e inorgânicos. O metabolismo fúngico é empregado na biotecnologia ambiental, degradação da poluição orgânica e impactos prejudiciais quando essas vias estão comprometidas, ressaltando sua importância biotecnológica (GADD, 2004).

Os fungos são responsáveis pela maioria das transformações que caracterizam a ciclagem da matéria orgânica no meio ambiente, pois possuem uma rápida capacidade de ajustar seu metabolismo a variadas fontes de carbono e energia, permitindo-lhes prosperar em uma variedade de ambientes. Esta situação está associada à criação de um grande número de enzimas não específicas que podem degradar polímeros derivados de plantas, bem como uma ampla gama de outros compostos orgânicos (SAROJ et al., 2015).

Devido ao seu crescimento apical e capacidade enzimática e metabólica, os fungos filamentosos benéficos possuem um grande potencial industrial, trazendo diversas aplicações

como produção de enzimas extracelulares (amilase, lipase, inulinase, pectinase, renina e protease), produção de bioemulsificantes e produção de pigmentos, entre outros bioprodutos (SANTIAGO et al., 2013).

3.4.1 Fungos do Gênero *Cunninghamella*

Dentro da ordem Mucorales, o gênero *Cunninghamella* é um dos mais abundantes. O gênero contém espécies que podem ser encontradas no solo e em outros substratos orgânicos. Os representantes apresentam colônias com desenvolvimento rápido, cores que variam do branco ao cinza, esporangióforos eretos que se ramificam e vesículas piriformes ou globosas com muitos esporangiólos no final de cada ramo (KHAN et al., 2021)

As espécies de *Cunninghamella* são bastante sensíveis a mudanças modestas no meio de cultura, principalmente em termos de fontes de carbono e nitrogênio, e o mesmo isolado quando cultivado em diferentes meios pode apresentar diferenças fenotípicas, fato que também ocorre quando ele é submetido a alterações na temperatura (ASHA; VIDYAVHATI, 2009)

Os gêneros *Cunninghamella bertholletiae*, *elegans* e *echinulata* são os fungos mais estudados. *Cunninghamella bertholletiae* e *Cunninghamella elegans* possuem altos rendimentos de quitina e quitosana em suas paredes celulares, que são utilizadas em processos de biodegradação, biorremediação, biotransformação e bioabsorção de metais. Eles também têm estruturas reprodutivas semelhantes e são patogênicos em animais e humanos. O *Cunninghamella echinulata* é uma das espécies mais investigadas, pois produz ácido-linoleico e lipídios utilizando uma variedade de meios de cultura, incluindo glicose, casca de laranja e resíduo de tomate (ROSSI et al., 2011; VICENTE et al., 2010).

4 METODOLOGIA

4.1 Efluente Bruto

Em dezembro de 2021, o soro do leite oriundo da produção de queijo coalho foi obtido no Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Satuba. Ele foi levado ao Laboratório de Tecnologia de Bebidas e Alimentos (LTBA) do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), onde passou por processo de filtração simples em papel de filtro qualitativo, e centrifugação (3500 rpm e 15 min) para remoção apenas da parte líquida solúvel, e por fim; o efluente foi congelado (-18 a -12°C).

4.2 Espécies de Fungo Filamentoso e Microalga

A microalga utilizada foi a espécie *Tetrademus sp.* LCE-01. Ela foi mantida em meio solidificado de ágar nutriente (Kasvi®), e em meio líquido para uso como inoculo de BG-11 (blue-green medium) (RIPPKA et al., 1979).

A espécie de fungo filamentoso usada nesse estudo foi *Cunninghamella echinulata* (Thaxt) UR-M 7150, As espécies fúngicas foram mantidas em meio BDA (Batata Dextrose Agar), esterelizado à 121°C, 1 atm por 15 min em autoclave. Após seu crescimento, durante um período médio de 10 dias, os esporos foram coletados por uma solução estéril de Triton 0,1% (v/v) para formar a suspensão de esporos, a qual teve sua concentração determinada a partir do procedimento de contagem em câmara de Neubauer em microscópio óptico.

4.3 Caracterização Físico-Química

As biomassas obtidas durante o processo de tratamento foram coletadas e submetidas a uma análise de peso seco celular, já o efluente tratado passou por uma análise físico-química para quantificar a eficiência do processo a partir da determinação da demanda química de oxigênio (DQO), e do teor de nitrogênio total (NT) e do teor de fósforo total (FT).

4.3.1 Peso seco celular e pH

Após os sólidos serem separados na etapa de centrifugação foram transferidos para capsulas de porcelana previamente aferidas e levadas para uma estufa a 105 °C por 2h, ou até que o peso fique constante, em seguida foi levado para um dessecador por 15 minutos e pesado.

Cálculo:

$$\text{Peso Seco celular (PS) (mg/L)} = \frac{N}{V} \cdot 10^6 \quad (1)$$

Onde:

N = massa do resíduo seco (massa da cápsula com o extrato seco menos a tara da cápsula) em g;

V = volume tomado da amostra em mL.

Para a determinação de pH foi transferido uma alíquota da amostra para um Becker, e levado ao pHmetro previamente aferido (tampões pH 4,0 e pH 7,0), operando-o de acordo com as instruções do manual do fabricante (TECNAL).

4.3.2 Demanda Química de Oxigênio – DQO (Método de digestão do dicromato)

Os tubos de ensaio foram lavados com H₂SO₄ 20% para eliminação de interferentes de amostras anteriores. Foi adicionado aos tubos 2,5 mL da amostra previamente filtrada, 1,5mL da solução de digestão (dicromato de potássio e sulfato de mercúrio) e 3,5mL do reagente ácido sulfúrico (sulfato de prata diluído em ácido sulfúrico). Os tubos foram colocados num bloco digestor a 150°C por 2h. Após atingir a temperatura ambiente foram realizadas leituras no espectrofotômetro a 600nm (Shimadzu, UV-mini 1240) (APHA, AWWA, WEF, 2017). O valor obtido no espectrofotômetro é expresso em mg O₂ L⁻¹ de DQO. A curva padrão foi realizada utilizando-se biftalato de potássio

Para o preparo da solução de digestão adicionou-se em 125 mL de água destilada 2,554 g de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), previamente seco em estufa a 103°C por 2 horas, 41,75 mL de ácido sulfúrico, 8,325 g de HgSO₄. Após dissolver e esfriar o volume do balão volumétrico de 250 mL completou-se com água destilada.

Para o preparo do reagente ácido sulfúrico foram adicionados 2,03g de sulfato de prata (Ag₂SO₄) em 200 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Cálculo:

$$\text{Demanda Química de Oxigênio (DQO)} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{fc. Abs. Diluição} \quad (2)$$

Onde:

fc = Fator da curva de calibração que Segundo Medeiros (2022) foi de 3079,7;

Abs = Valor da Absorbância obtida em espectrofotômetro;

Diluição = Diluição da amostra.

4.3.3 Nitrogênio Total (Método de Kjeldahl)

Para a determinação do Nitrogênio total o primeiro passo consistiu na digestão da matéria orgânica, método de Kjeldahl adaptado (IAL, 2005). Para isso foram adicionados 5 mL da amostra, 1g de mistura catalítica (sulfato de sódio, sulfato de cobre e dióxido de selênio na proporção 100:1:0,8) e 10 mL de ácido sulfúrico PA (em capela), em tubos de Kjeldahl, e em seguida aquecido em bloco digestor, a temperatura foi elevada suavemente até ter atingido cerca de 300°C, as amostras digeridas apresentaram coloração incolor ou levemente esverdeada.

Na segunda etapa ocorreu a destilação do nitrogênio. Nos tubos onde aconteceu a digestão, após atingirem a temperatura ambiente, foi adicionado um pouco de água cuidadosamente, e 2 gotas de fenolftaleína 1% sendo em seguida acoplados no destilador de nitrogênio, por fim adicionou-se NaOH 40% até atingir um pH alcalino (mudança da coloração para rosa). Após isto, foi iniciado o processo de aquecimento da amostra sendo o destilado coletado em um erlenmeyer de 250 mL contendo 25 mL de ácido bórico 4%, 2 gotas do indicador vermelho de metila 0,25% e 2 gotas do indicador verde de bromocresol 0,2%. A destilação ocorreu até se recolher um volume de destilado de aproximadamente 100mL.

Por fim, a solução do erlenmeyer foi titulada com ácido clorídrico 0,001 N padronizado até o aparecimento da coloração rosada (IAL, 2005).

Cálculo:

$$\text{Nitrogênio Total (NT)} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot f_{\text{HCl}} \cdot N_{\text{HCl}} \cdot 14000}{V} \quad (3)$$

Onde:

V_{HCl} = Volume gasto na titulação com ácido clorídrico;

f = Fator de correção da solução de ácido clorídrico;

N = Normalidade ácido clorídrico;

V = Volume da amostra.

Para a padronização da solução de ácido clorídrico: Colocou-se uma certa quantidade de carbonato de sódio (Na_2CO_3 PM=106) em estufa a 100°C por 1h, e em seguida deixou esfriar em dessecador por cerca de 15 minutos. Foram pesados 0,25g de bicarbonato isento de umidade, e dissolvido em água isenta de CO_2 (previamente fervida) e adicionados 2 gotas de alaranjado de metila. Por fim a solução foi titulada com a solução de HCL até a primeira coloração.

Cálculo:

$$f = \frac{2 \cdot m}{0,106 \cdot V_{\text{HCl}} \cdot N_{\text{HCl}}} \quad (4)$$

Onde:

f = Fator de correção da solução de ácido clorídrico;

m = massa do bicarbonato;

V_{HCl} = Volume gasto na titulação com ácido clorídrico; N = Normalidade ácido clorídrico.

4.3.4 Determinação de Fósforo Total (Método do ácido ascórbico)

Em tubos de ensaio foram adicionados 1mL de água destilada da amostra e 0,4 mL da solução desenvolvedora de cor, tampou-se os tubos e aguardou-se cerca de 30 minutos, em seguida foram realizadas as leituras em espectrofotômetro a 706 nm (APHA, AWWA, WEF, 2017).

A solução desenvolvedora de cor foi formada pela fração das soluções dada a seguir e possui estabilidade de 4 horas: A = 0,5; B=0,05; C=0,15; D=0,3.

Solução A: ácido sulfúrico 5 N;

Solução B: tartarato misto de antimônio e potássio hemihidratado: 1,3715g de $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ para 500 mL de água;

Solução C: mobilidato de amônio: 20 g de $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ em 500mL de água;

Solução D: ácido ascórbico 0,01M, 0,44 g para 100 mL de água.

Cálculo:

$$\text{Fósforo Total (FT)} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{fc. Abs. Diluição} \quad (5)$$

Onde:

fc = Fator da curva de calibração que segundo Medeiros (2022) foi de 10,189;

Abs = Valor da Absorbância obtida em espectrofotômetro;

Diluição = Diluição da amostra.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Físico-Química do Soro do Leite

Medeiros (2022) na caracterização físico-química do soro do leite utilizado no estudo realizou as análises de determinação da demanda química de oxigênio (DQO), do teor de nitrogênio total e do teor de fósforo total. A Tabela 1 mostra que o soro contém grandes quantidades de DQO, além de elementos importantes para o metabolismo dos microrganismos, como nitrogênio e fósforo.

Tabela 1- Caracterização físico-química do soro do Leite.

Parâmetro	Soro do Leite
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	52.886,90 ± 269,25
Nitrogênio total (mg N.L ⁻¹)	1.563,82 ± 35,00
Fósforo total (mg L ⁻¹)	663,50 ± 12
pH	6,33

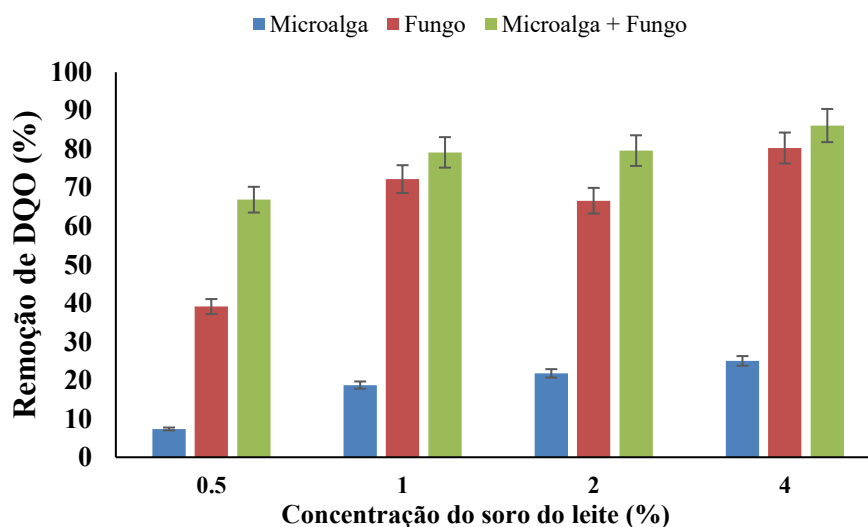
Fonte: MEDEIROS (2022).

Rico et al. (2015) corroboraram essas altas quantidades, obtendo 59.300 mg L⁻¹, 139 mg L⁻¹ e 217 mg L⁻¹ de DQO, nitrogênio e fósforo, respectivamente, para o soro. A composição do soro pode variar devido a uma variedade de fatores, incluindo a qualidade e composição do leite, a tecnologia utilizada no processo de fabricação e sua eficiência e/ou rendimento, todos os quais contribuem para as características únicas do soro. É importante ressaltar que mesmo que o soro contenha vários nutrientes que promovem o crescimento das microalgas e dos fungos, ele também pode ser tóxico para esses microrganismos devido a sua alta carga orgânica, fazendo com que o crescimento deles seja limitado.

5.2 Remoção de DQO, NT e FT

Os valores de remoção de DQO em função da concentração do soro do leite encontram-se demonstrados na Figura 4.

Figura 4 - Remoção de DQO em diferentes concentrações de soro do leite.

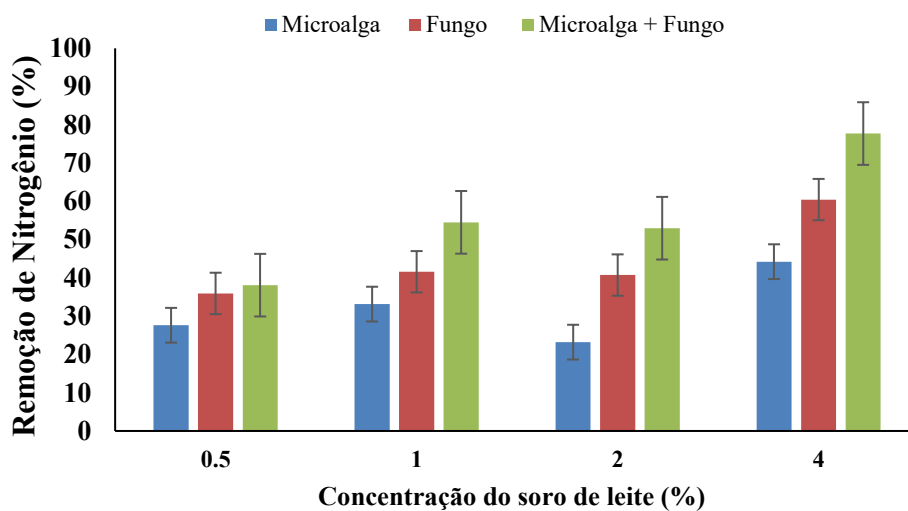


Fonte: AUTOR (2022)

A análise das remoções de DQO mostraram comportamentos diferentes, em função dos agentes removedores. Foi possível notar elevada eficácia na remoção de carga orgânica através da interação simbiótica (66 – 86%) quando comparado, principalmente aos valores de remoção com microalga (7- 25%), o fungo apresentou uma boa remoção (39-80%), contudo o consórcio ainda foi mais eficaz obtendo-se assim mais de 80% de remoção, o que confirma a efetividade da junção microalga e fungo. Xu et al. (2021) introduziram a vitamina B12 no sistema simbiótico de *Chlorella. vulgaris*-*Ganoderma. lucidum* ou *Chlorella. vulgaris*-*Pleurotus. ostreatus*, e relataram valores significativos na remoção de DQO, NT, FT. Após 10 dias de tratamento de uma pasta de biogás com DQO inicial de 1000 mg O₂ L⁻¹, foram removidos um percentual de no máximo 75,98 ± 6,26% desse poluente quando utilizada a simbiose formada pela *Chlorella. Vulgaris* e *Ganoderma. Lucidum*, quando utilizado uma concentração de 100 mg L⁻¹ de vitamina B12.

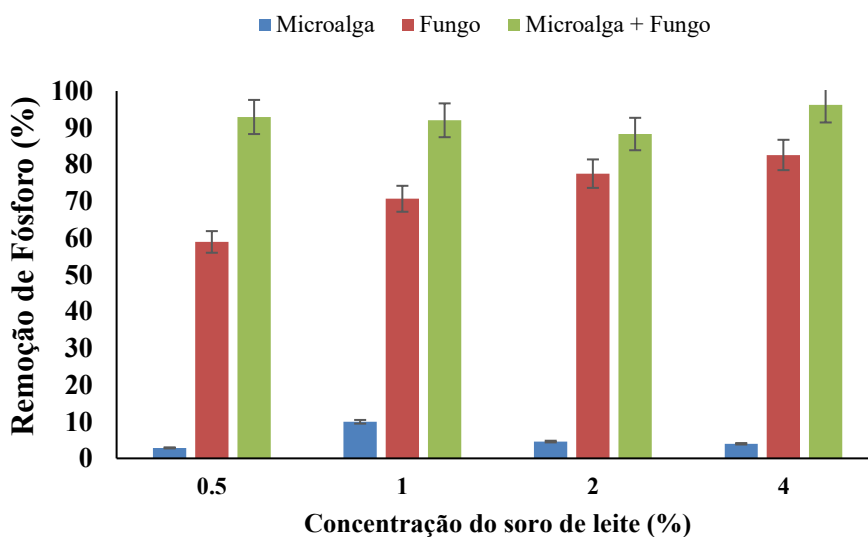
Em se tratando da remoção de nitrogênio e fósforo, os dados estão dispostos nas Figuras 5 e 6

Figura 5- Remoção de nitrogênio em diferentes concentrações do soro do leite.



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 6 - Remoção de fósforo em diferentes concentrações do soro do leite.



Fonte: AUTOR (2022)

As melhores taxas de remoção de NT (nitrogênio total) e FT (fósforo total) foram obtidas através da interação simbiótica (microalga + fungo), apresentando a variação 38-77% de remoção de NT e 92-96% de remoção de FT. Na remoção de nutrientes, como o fósforo, o tratamento com microalgas demonstrou certa limitação. Isso pode ter ocorrido em razão do soro

do leite conter muitas macromoléculas, dificultando o consumo desse pluentes pelas microalgas (CHERNICHARO, 2008).

Como pode ser visto, a interação simbiótica foi bem sucedida na remoção desses poluentes e fornece uma alternativa viável para o tratamento do soro do leite, bem como de outros tipos de efluentes.

Em Zhou et al. (2012), os autores avaliaram a eficiência do tratamento de águas residuais que apresentavam 1660 mg/L de DQO, 136 mg/L de NT, 1,86 de FT e 89,1 mg/L de $\text{NH}_4\text{-N}$, através do consórcio da Microalga *Chlorella vulgaris* UMN235 e duas espécies fúngicas isoladas localmente *Aspergillus sp.* UMN F01 e UMN F02. Os pellets de fungos-algas filtrados foram reutilizados como células imobilizadas para águas residuais de tratamento e as taxas de remoção de nutrientes foi de 100, 58,85, 89,83 e 62,53% (para concentrado) e 23,23, 44,68, 84,70 e 70,34% (para águas residuais diluídas de suínos) para amônia, nitrogênio total, fósforo total e demanda química de oxigênio, respectivamente, em cultivos de 1 e 2 dias. A nova tecnologia desenvolvida foi altamente promissora em comparação com as atuais tecnologias de colheita de algas e tratamento biológico de águas residuais na literatura.

Outro exemplo, foi o trabalho de Zhou et.al (2018) que avaliaram interações entre co-cultivo de *Chlorella vulgaris* e *Ganoderma lucidum* com 55% de teor inicial de CO_2 apresentando uma concentração de 1024 mg/L de DQO, 209 mg/L de NT e 22 mg/L de FT. A eficiência média de remoção de DQO, TN, TF e CO_2 chegou a 68,29%, 61,75%, 64,21% e 64,68%, respectivamente nesta condição. Todas as maiores eficiências de remoção de DQO NT, FT e CO_2 foram superiores a 85%. Por fim, a exploração de interações simbióticas foi altamente viável para melhorar promover simultaneamente a purificação biológica de águas residuais e biogás por meio da simbiose microalga-fúngica.

Podemos ver o potencial de remoção de DQO, nitrogênio e fósforo por meio de interações simbióticas alga-fungo, atingindo percentuais de remoção de 90 %, com base nos dados fornecidos e na literatura discutida.

5.3 pH

Foi realizado o teste de pH para o soro de leite contendo a microalga *Tetrademus sp.* LCE-01 e o fungo filamentoso do gênero *Cunninghamella echinulata*, os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos testes de pH para as espécies.

Tempo (h)	pH Microalga	pH Fungo	pH Microalga+Fungo
0	8,5	7,5	7,5
24	6,5	6,5	7,42
48	7	6,3	7,54
72	7,5	6,2	7,2
96	7,6	6	7,39
168	9,36	5,5	7,35

Fonte: AUTOR (2022)

O pH está diretamente ligado com o bom funcionamento celular das microalgas, por isso o seu controle é de vital importância para o melhor desenvolvimento dos cultivos, nota-se que o pH variou significativamente ao completar 24 e 168 h para o cultivo da microalga, porém mantendo-se estável para os demais. De acordo com a literatura, o crescimento de microalgas proporciona alcalinização do meio pelo uso de carbono inorgânico pelas microalgas para o crescimento celular, diminuindo sua concentração no meio e forçando o equilíbrio carbonato - bicarbonato no sistema (BERENGUEL et al., 2004). Porém, quando ocorre contaminação por bactérias elas promovem a queda do pH e fazem com que o efluente se torne ácido. Assumindo que a microalga prospera de forma mais eficaz em um pH alcalino, essa condição requer ajustes de pH praticamente diários. Durante a realização deste estudo, foi monitorado diariamente o pH do monossistema de microalgas, inicialmente fixado em 8,5, onde apresentou alterações entre 6 e 7 nos primeiros quatro dias de tratamento, sendo necessário o uso de hidróxido de sódio como controle e para manter o crescimento de biomassa. O pH do meio tornou-se alcalino (próximo a 10) ao final do procedimento, indicando que a microalga cresceu efetivamente.

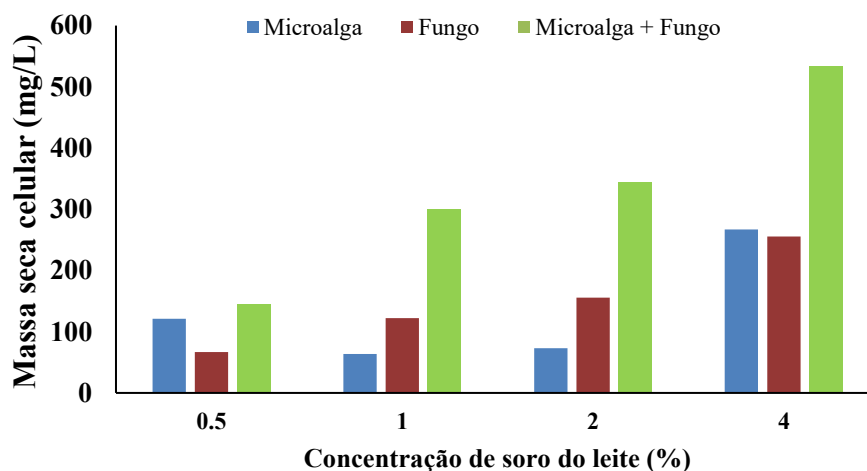
O fungo filamentoso, quando utilizado em sistemas de tratamento, promove a liberação de ácidos orgânicos no meio, tornando-o ácido, segundo a literatura (CHOI et al., 2016). Isso foi confirmado pelo fato de que durante o período de remediação do soro do leite, o pH medido no monossistema diminuiu de 7,5 para 5,5. Como esses microorganismos podem se adaptar a mudanças no meio, não houve necessidade de modificar o pH nesta circunstância.

Nesse sentido, a utilização do consórcio microalga-fungo agrega benefícios ao sistema, pois o pH do meio, inicialmente fixado em 7,5, manteve-se estável durante todo o período de tratamento, ficando na faixa de 7,3 a 7,5 e não necessitando de controle durante o período de tratamento permitindo, assim, que o efluente final estivesse dentro dos padrões de descarte.

5.4 Biomassa Produzida (Peso seco Celular)

A Figura 7 demonstra o resultado de crescimento de cada espécie.

Figura 7- Crescimento das espécies em amostras contendo diferentes concentrações de soro do leite.



Fonte: AUTOR (2022)

A microalga apresentou um maior crescimento em apenas dois pontos de concentração de soro: 0,5% obteve-se uma massa seca de $121,18 \text{ mg L}^{-1}$ e 4% uma massa seca de $267,06 \text{ mg L}^{-1}$. Portanto, o soro fornece nutrientes que auxiliam no crescimento de microalgas, pois maior biomassa foi formada em concentrações mais altas como em 4 % de soro de leite, indicando que a quantidade de nutrientes necessários em 1 e 2 % de soro foi mínima.

O crescimento do fungo e da interação simbiótica (microalga + fungo) nas diferentes concentrações apresentaram um comportamento linear. Neste trabalho verifica-se que a presença dos fungos não inibiu o crescimento das microalgas apresentando uma maior quantidade de massa seca de cerca de 540 mg L^{-1} , nesta simbiose mutuamente benéfica. Isso ocorre pois os fungos consomem os açúcares e nutrientes produzidos pelas algas através da fotossíntese e, em contrapartida, o fungo confere proteção às algas retendo água, servindo como maior área de captura de nutrientes minerais e, em alguns casos, fornece minerais obtidos do substrato (MURADOV et al., 2015).

O mesmo foi observado por Jiang et al. (2019) no qual, avaliaram a eficiência de remoção de nutrientes em águas residuais em um sistema simbiótico algas-fungos de *Chlorella variabilis* NC64A e *Ganoderma lucidum*, obtendo um sistema simbiótico que produziu mais biomassa do que os grupos de microalgas e fungos separadamente, onde grupos com uma

proporção de massa de algas para fungos de 1:3 atingiram valores máximos de massa seca (890 mg L^{-1}) e concentração de clorofila (2885 mg L^{-1}). O valor de pico da concentração de massa seca em uma alga para razão de massa de fungos de 1:3 foi quase duas vezes maior que a do algas ou fungos sozinhos. O valor máximo da concentração de clorofila em uma proporção de massa de algas para fungos de 1:3 foi 1,84 vezes maior do que o sistema de algas sozinhas. Esses resultados mostraram que a adição de fungos levou a uma maior biomassa do sistema, e a respiração de fungos pode elevar a fotossíntese de algas dentro dos sistemas.

6. CONCLUSÕES

Em suma, através dos dados apresentados pode-se concluir que o consórcio microalga-fungo, apresenta uma maior remoção de DQO, NT e FT, quando comparado aos monossistemas.

Em se tratando do pH, ele se manteve constante durante todo o tempo ao utilizar a simbiose, o que não acontece com o uso dos monossistemas, visto que o fungo acidifica o meio enquanto a microalga alcaliniza, fazendo com que sejam necessárias correções em seu pH.

Um outro benefício alcançado com o consócio é relacionado a produção de biomassa microbiana, que apresentou concentrações maiores do que as encontradas quando se fez uso dos microrganismos de forma individual.

Desta forma, pode-se concluir que a interação simbiótica foi bem sucedida, ganhando destaque frente os outros agentes separadamente na remoção dos fatores estudados, fornecendo uma alternativa mais eficiente para o tratamento do soro do leite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, P. M.; MOREIRA, DE O. R.; JUNIOR, R. H. P.; MARTINS, F. C. M.; PERONE, T. I.; CARVALHO, F. A. SORO DE LEITE: TECNOLOGIAS PARA O PROCESSAMENTO DE COPRODUTOS. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212, 2 jul. 2014.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23^a ed. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver., 2017.
- ASHA, S.; VIDYAVATHI, M. *Cunninghamella* - A microbial model for drug metabolism studies - A review. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 16–29, jan. 2009.
- BERENGUEL, M.; RODRÍGUEZ, F.; ACIÉN, F. G.; GARCÍA, J. L. Model predictive control of pH in tubular photobioreactors. **Journal of Process Control**, v. 14, n. 4, p. 377–387, jun. 2004.
- BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557–577, fev. 2010.
- BRIÃO, B. V.; TAVARES, G. R. C.; FAVARETTO, C. P. D.; HEMKEMEIER, M. Ultrafiltração de Efluente Modelo e Efluente Industrial de Laticínios. **Revista CIATEC - UPF**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2015.
- BRUM, L. F. W.; SANTOS JÚNIOR, L. C. O.; BENEDETTI, S. **Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios**. São Paulo: [s.n.].
- CARDOSO, S. ADERLÂNIO.; VIEIRA, G. E. GLÁUCIA.; MARQUES, K. ANELISE. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 4, p. 542–549, 2011.
- CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. **Cheese whey wastewater: Characterization and treatment** *Science of the Total Environment*, 5 fev. 2013.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2008. v. 5
- CHOI, Y. N.; CHO, H. U.; UTOMO, J. C.; SHIN, D. Y.; KIM, H. K.; PARK, J. M. Efficient harvesting of *Synechocystis* sp. PCC 6803 with filamentous fungal pellets. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 4, p. 2225–2231, 1 ago. 2016.
- CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 430**.
- DERELI, R. K.; ZEE, F. P. VAN DER; OZTURK, I.; LIER, J. B. VAN. Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. **Environmental Research**, v. 168, p. 109–117, 1 jan. 2019.
- EMBRAPA. Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro.

Anuário do Leite 2020, v. 1, p. 114, 2020.

FERREIRA, A.; RIBEIRO, B.; FERREIRA, A. F.; TAVARES, M. L. A.; VLADIC, J.; VIDOVIĆ, S.; CVETKOVIC, D.; MELKONYAN, L.; AVETISOVA, G.; GOGINYAN, V.; GOUVEIA, L. *Scenedesmus obliquus* microalga-based biorefinery – from brewery effluent to bioactive compounds, biofuels and biofertilizers – aiming at a circular bioeconomy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 13, n. 5, p. 1169–1186, 1 set. 2019.

GADD, G. M. Mycotransformation of organic and inorganic substrates. **Mycologist**, v. 18, n. 2, 2004.

GIRALDO - ZUÑIGA, A. D. Tecnologias aplicadas ao processamento do soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 59, n. 340, p. 53–66, 2004.

GUPTA, S. K.; ANSARI, F. A.; SHRIWASTAV, A.; SAHOO, N. K.; RAWAT, I.; BUX, F. Dual role of *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus obliquus* for comprehensive wastewater treatment and biomass production for bio-fuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 255–264, 1 mar. 2016.

IAL – Instituto Adolf Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed. São Paulo, 2005.

JIANG, M.; LI, H.; ZHOU, Y.; ZHANG, J. The interactions of an algae–fungi symbiotic system influence nutrient removal from synthetic wastewater. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 94, n. 12, p. 3993–3999, 1 dez. 2019.

KHAN, M. F.; SALEEM, D.; MURPHY, C. D. Regulation of *Cunninghamella* spp. biofilm growth by tryptophol and tyrosol. **Biofilm**, v. 3, p. 1–7, 1 dez. 2021.

LACERDA, S. R.; JÚNIOR, A. R.; RICARTE, E. F. R.; FREITAS, L. V. T. D. ESTRATÉGIA EDUCACIONAL AMBIENTAL PARA COMUNIDADE ESCOLAR DE CRATO, CE: DISCUTINDO SOBRE CIANOBACTÉRIAS E A EUTROFIZAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS. **Revista de Extensão (REVEXT)/ Pró-Reitoria de Extensão (PROEX) / Universidade Regional do Cariri-URCA-Crato-Ceará**, v. 2, n. 1, p. 271–277, 2021.

MARTÍNEZ, M. E.; SANCHEZ, S.; JIMÉNEZ, J. M.; YOUSFI, F. EL; MUÑOZ, L. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. **Bioresource Technology**, v. 73, p. 263–272, 2000.

MATA, T. M.; MELO, A. C.; SIMÕES, M.; CAETANO, N. S. Parametric study of a brewery effluent treatment by microalgae *Scenedesmus obliquus*. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 151–158, mar. 2012.

MEDEIROS, J.A. **Biorremediação do soro do leite utilizando o consórcio microalga-fungo**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas, 83p., 2022.

MERKEL, A.; VOROPAEVA, D.; ONDRUŠEK, M. The impact of integrated nanofiltration and electrodialytic processes on the chemical composition of sweet and acid whey streams. **Journal of Food Engineering**, v. 298, 1 jun. 2021.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. **Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review***Journal of Cleaner Production*, 15 fev. 2014.

MURADOV, N.; TAHA, M.; MIRANDA, A. F.; WREDE, D.; KADALI, K.; GUJAR, A.; STEVENSON, T.; BALL, A. S.; MOURADOV, A. Fungal-assisted algal flocculation: Application in wastewater treatment and biofuel production. **Biotechnology for Biofuels**, v. 8, n. 1, 2015.

MURARI, C. S.; MACHADO, W. R. C.; SCHUINA, G. L.; BIANCHI, V. L. DEL. Optimization of bioethanol production from cheese whey using *Kluyveromyces marxianus* URM 7404. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 20, 1 jul. 2019.

NUNES, L. A.; GERBER, J. Z.; COSTA, F. P.; SOUZA, R. J. S.; ARAÚJO KALID, R. DE. **O SORO DO LEITE, SEUS PRINCIPAIS TRATAMENTOS E MEIOS DE VALORIZAÇÃO***Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*University Center of Maringa, , 29 mar. 2018.

OLIVEIRA, C. Y. B.; OLIVEIRA, C. D. L.; PRASAD, R.; ONG, H. C.; ARAUJO, E. S.; SHABNAM, N.; GÁLVEZ, A. O. A multidisciplinary review of *Tetrademus obliquus*: a microalga suitable for large-scale biomass production and emerging environmental applications. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 3, p. 1594–1618, 1 jun. 2021.

OLIVEIRA, D. F. DE; BRAVO, C. E. C.; TONIAL, I. B. SORO DE LEITE: UM SUBPRODUTO VALIOSO. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, n. 385, p. 64–71, 2012.

PARMAR, A.; SINGH, N. K.; PANDEY, A.; GNANSOUNOU, E.; MADAMWAR, D. **Cyanobacteria and microalgae: A positive prospect for biofuels***Bioresource Technology*, nov. 2011.

PAULA, L. DE; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; SOARES, T. M.; PEDROSA, E. M. R.; DE, Ê. F.; SILVA, F. E. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 931–939, 2011.

PRAZERES, A.R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 48-68, 2012.

RENUKA, N.; PRASANNA, R.; SOOD, A.; AHLUWALIA, A. S.; BANSAL, R.; BABU, S.; SINGH, R.; SHIVAY, Y. S.; NAIN, L. Exploring the efficacy of wastewater-grown microalgal biomass as a biofertilizer for wheat. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 7, p. 6608–6620, 1 abr. 2016.

RICO, C.; MUÑOZ, N.; RICO, J. L. Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. **Bioresource Technology**, v. 189, p. 327–333, 1 ago. 2015.

RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WAERBURY, J. B.; HERDMAN, M.; STAINER, R.V. Genetic assignment, strain histories and properties of pure culture of cyanobacteria. **J Gen Microbiol**, v. 111, p. 1–61, 1979.

ROSSI, MADALENA.; AMARETTI, ALBERTO.; RAIMONDI, STEFANO.; LEONARDI, ALAN. Getting Lipids for Biodiesel Production from Oleaginous Fungi. *In*: STOYTCHIEVA, M.; MONTERO, G. (Eds.). . **Biodiesel**. 1. ed. [s.l.] IntechOpen, 2011. p. 472.

SANCHEZ-SILVA, L.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, D.; GARCIA-MINGUILLAN, A. M.; VALVERDE, J. L. Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of Nannochloropsis gaditana microalgae. **Bioresource Technology**, v. 130, p. 321–331, 2013.

SANTIAGO, A. M. C. L. A.; SANTOS, P. J. P.; MAIA, C. L. Mucorales from the semiarid of Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 1, p. 299–305, 2013.

SANTIN, J. **Benefícios do soro do leite para saúde**. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/beneficios-do-soro-do-leite-para-a-saude-18419n.aspx>>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SAROJ, S.; DUBEY, S.; AGARWAL, P.; PRASAD, R.; SINGH, R. P. Evaluation of the efficacy of a fungal consortium for degradation of azo dyes and simulated textile dye effluents. **Sustainable Water Resources Management**, v. 1, n. 3, p. 233–243, 1 set. 2015.

SYDNEY, E. B. **Respirometric Balance and Analysis of four microalgae: Dunaliella tertiolecta, Chlorella vulgaris, Spirulina platensis and Botryococcus braunii**. Paraná: Universidade Federal do Paraná., 2009.

TEJIDO-NUÑEZ, Y.; AYMERICH, E.; SANCHO, L.; REFARDT, D. Treatment of aquaculture effluent with Chlorella vulgaris and Tetrademus obliquus: The effect of pretreatment on microalgae growth and nutrient removal efficiency. **Ecological Engineering**, v. 136, p. 1–9, 1 out. 2019.

TRINDADE, M. B. **Aproveitamento do soro de leite: Diagnóstico em laticínios do Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.].

VICENTE, G.; BAUTISTA, L. F.; GUTIÉRREZ, F. J.; RODRÍGUEZ, R.; MARTÍNEZ, V.; RODRÍGUEZ-FRÓMETA, R. A.; RUIZ-VÁZQUEZ, R. M.; TORRES-MARTÍNEZ, S.; GARRE, V. Direct transformation of fungal biomass from submerged cultures into biodiesel. **Energy and Fuels**, v. 24, n. 5, p. 3173–3178, 20 maio 2010.

WEI, C.; ZHANG, Y.; GUO, J.; HAN, B.; YANG, X.; YUAN, J. Effects of silica nanoparticles on growth and photosynthetic pigment contents of Scenedesmus obliquus. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22, n. 1, p. 155–160, jan. 2010.

XU, B.; LIU, J.; ZHAO, C.; SUN, S.; XU, J.; ZHAO, Y. Induction of vitamin B12 to purify biogas slurry and upgrade biogas using co-culture of microalgae and fungi. **Water Environment Research**, v. 93, n. 8, p. 1254–1262, 1 ago. 2021.

ZHOU, K.; ZHANG, Y.; JIA, X. Co-cultivation of fungal-microalgal strains in biogas slurry and biogas purification under different initial CO₂ concentrations. **Scientific Reports**, v. 8, n.

1, 1 dez. 2018.

ZHOU, W.; CHENG, Y.; LI, Y.; WAN, Y.; LIU, Y.; LIN, X.; RUAN, R. Novel fungal pelletization-assisted technology for algae harvesting and wastewater treatment. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 167, n. 2, p. 214–228, maio 2012.