



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS**

Mauricio Petenusso

**Avaliação do Uso de Um Catalisador metabólico na Redução da
Geração de Biossólidos em Um Sistema de Tratamento de Efluentes
do Tipo Lodos Ativados**

BambuÍ, 2021.

Maurício Petenusso

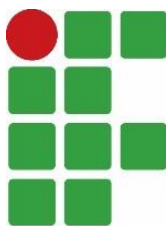
Avaliação do Uso de Um Catalisador metabólico na Redução da Geração de Resíduos Sólidos em Um Sistema de Tratamento de Efluentes do Tipo Lodos Ativados

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - *Campus* Bambuí - como requisito para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

Bambuí, 2021



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

FICHA DE APROVAÇÃO

30/12/2021 07:47

SEI/IFMG - 1043567 - Parecer



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação
Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4000 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 21

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “Avaliação do uso de um catalisador metabólico na redução da geração de Biossólidos em um Sistema de Tratamento de Efluentes do Tipo Lodos Ativado”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Mauricio Petenusso, sob a orientação do professor Dr. Aderlan Gomes da Silva, foi aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 16/12/2021, com a média de **92,5 pontos**.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pelo professor orientador e demais membros da banca examinadora.

Bambuí (MG), 16 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por Wânia dos Santos Neves, Usuário Externo, em 20/12/2021, às 08:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, Professora, em 20/12/2021, às 13:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por Aderlan Gomes da Silva, Docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT - Campus Avançado Itabirito, em 20/12/2021, às 18:52, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador 1043567 e o código CRC E6ED532E.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

P478a Petenusso, Mauricio.

Avaliação do uso de um catalisador metabólico na redução da geração de biossólidos em um sistema de tratamento de efluentes do tipo lodos ativados. / Mauricio Petenusso. – Bambuí, 2021.

88 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1.Lodos ativados. 2. Redução de biossólido. 3. Produção de biomassa. I. Silva, Aderlan Gomes da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 628.162

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

DEDICATÓRIA

Ao meu Pai, por estar sempre comigo, mesmo hoje sendo estrela.

A minha Mãe, pela força diária.

A minha família, pelo carinho, paciência e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Criador de tudo e amparo certo em todos os momentos da vida;

A minha família, que sempre esteve a meu lado;

Aos amigos, que são força na caminhada;

As empresas que me permitiram realizar os trabalhos;

Ao meu orientador Professor Dr. Aderlan, pela paciente e competente condução durante todo o processo de construção deste trabalho;

E a todos que de alguma forma estiveram neste caminhar, muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu.
Mas nele é que espelhou o céu.”

Fernando Pessoa

RESUMO

A produção de bio sólido em sistemas de tratamento do tipo lodos ativados é um desafio para as indústrias de laticínio, seja pela quantidade de bio sólido gerado no dia a dia da operação, que é função da carga orgânica de entrada nos sistemas de tratamento, ou pelos custos inerentes à disposição final desses resíduos. Nesse sentido, o estudo e o desenvolvimento de processos que promovam a redução da produção deste resíduo têm sido realizados. Citam-se, por exemplo, os processos baseados em teorias como a lise celular/crescimento críptico, o metabolismo desacoplado e o decaimento endógeno. O presente trabalho tem como objetivo testar um produto comercial para reduzir a produção de lodo em sistemas de lodos ativados, baseado na sua eficiência de redução e sem produzir interferências nos parâmetros de performance do sistema de tratamento de efluente (em escala plena), estudando seus mecanismos de ação e verificando concentrações de dosagem. Foram testadas três diferentes concentrações do catalisador metabólico, sendo uma menor, uma maior e a indicada pelo fornecedor. Os resultados obtidos em escala, referentes à aplicação do catalisador metabólico, revelaram que a dosagem de 3,75 ml/l apresentou redução de 29 % na produção de bio sólido e 13 % na redução dos custos de disposição final dos resíduos. O estudo pode incentivar a realização de outros experimentos que possam avaliar o uso do produto em outras atividades industriais, outras concentrações e realidades de aplicação.

Palavras-chave: Lodos ativados, redução de bio sólido, produção de biomassa.

ABSTRACT

The biosolids production in activated sludge treatment systems is a challenge for the dairy plants, either by the amount of dairy biosolid generated in the operation, which is depending on the organic load entering the treatment systems, or by the costs inherent to the final disposal of these wastes. In this sense, the study and development of processes that promote the reduction of the production of this residue have been carried out. For example, mention is made of the processes based on theories such as cell lysis/cryptic growth, uncoupled metabolism and endogenous decay. The present work aims to test a commercial product for reduce sludge production in activated sludge systems, based on their reduction efficiency and without producing interference in the performance parameters of the effluent treatment system (full scale), studying their mechanisms of action and verifying dosage concentrations. Three different concentrations of the metabolic catalyst were tested, one being lower, one being higher than that indicated by the supplier. The results obtained in scale, referring to the application of the metabolic catalyst, revealed that the dosage of 3.75 ml/l showed a 29% reduction in biosolid production and 13% of decrease in the final disposal costs. The study may encourage the performance of other experiments that can evaluate the use of the product in other

Keywords: Activated sludge; Biosolid decrease; Biomass production

Sumário

Sumário	10
INTRODUÇÃO	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 Objetivo Geral	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Efluentes Líquidos	17
2.2 Efluentes Industriais.....	17
2.1 Parâmetros de caracterização de efluentes industriais	18
2.2 Sólidos Totais	18
2.2.1 Temperatura	19
2.2.2 Potencial Hidrogeniônico	19
2.2.3 Alcalinidade	19
2.2.4 Relação Nitrogênio/Fósforo	20
2.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	20
2.2.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	21
2.2.7 Oxigênio Dissolvido (OD).....	22
2.2.8 Óleos e Graxas.....	23
2.3 Efluentes de Indústria de Laticínios	23
2.4 Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais	25
2.5 Lodos ativados	26
2.6 Produção de lodo no sistema.....	29
2.7 Composição da biomassa.....	31
2.8 Redução da produção de lodo	32
2.8.1 Lise Celular	32
2.8.2 Metabolismo Desacoplado	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Resultado da análise de viabilidade financeira	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6 REFERÊNCIAS	65
Apêndice - Produto Técnico e Tecnológico.....	67
Anexo - Tabela de Dados.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos sólidos Totais.....	17
Figura 2 - Reação DBO.....	18
Figura 3 - Reação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)	19
Figura 4 - Fluxograma dos processos de tratamento de efluentes	23
Figura 5.- Sistema de lodos ativado convencional.....	25
Figura 6 - Esquema simplificado da produção de lodo no tratamento biológico.....	28
Figura 7- Esquema ilustrativo da lise celular/crescimento críptico	31
Figura 8 - Sistema de tratamento de efluentes	35
Figura 9.- Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes do projeto	37
Figura 10 - Estação elevatória.....	38
Figura 11 - Coletor automático de efluentes localizado na estação elevatória	38
Figura 12 - Peneira estática	39
Figura 13 - Tanque de Equalização.....	39
Figura 14 - Flotador	40
Figura 15 - Tanque de Lodos Ativados.....	40
Figura 16 - Decantador	41
Figura 17 – Caixa de passagem do efluente tratado.....	41
Figura 18 - Centrífuga.....	42
Figura 19 - Adensador.....	42
Figura 20 - Caçamba de destino do lodo centrifugado	43
Figura 21- Sistema de dosagem do catalisador metabólico	46
Figura 22 - Ponto de dosagem do MC no tanque de lodos ativados	46
Figura 23 - Ponto de entrada do efluente + MC no tanque de lodos ativados	47
Figura 24 - Analisador de DQO	47

Figura 25 - Boxplot da eficiência de remoção de DQO.....	53
Figura 26 - Dispersão da carga orgânica de entrada	54
Figura 27 - Dispersão da carga orgânica de saída.....	54
Figura 28 - Dispersão dos sólidos em suspensos totais	56
Figura 29 - Dispersão da relação A/M.....	57
Figura 30 - Dispersão do descarte de lodo	57
Figura 31- Boxplot da relação entre o descarte e a carga orgânica.....	58
Figura 32 - Boxplot da relação entre o descarte e a carga orgânica com o teste de hipóteses.....	59
Figura 33 - Apresentação dos indicadores descarte/carga com percentual de redução.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características e definições do fósforo e nitrogênio	18
Tabela 2 - Ranking de produção de leite.....	21
Tabela 3 - Parâmetros físico/químico de efluentes de laticínios.....	22
Tabela 4 - Parâmetros típicos em variantes do processo de lodos ativados.....	26
Tabela 5 - Classificação para agrupamento da microfauna de um sistema de lodo ativado.....	29
Tabela 6 - Características de dimensionamento e operação do sistema de tratamento de efluente.....	35
Tabela 7 - Coleta das amostras do projeto	44
Tabela 8 - Estatística descritiva sem a dosagem do produto testado (meses de abril, maio e junho de 2018 e 2019).....	50
Tabela 9. Estatística descritiva de 90 % da dosagem recomendada (mês de abril 2020)	51
Tabela 10 - Estatística descritiva de 100 % da dosagem recomendada (mês de maio 2020)	52
Tabela 11- Estatística descritiva de 110 % da dosagem recomendada (mês de junho 2020)	53
Tabela 12 - Teste de Dunn	59

Tabela 13 - Custo com a destinação do lodo durante os meses de abril, maio e junho dos anos de 2018 e 2019, período histórico avaliado	61
Tabela 14 – Custo evitado com a redução do lodo no período de teste, maio de 202	62
Tabela 15 - Custo evitado com a redução do lodo no período de teste.....	62

INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento básico abrangem o abastecimento de água, o tratamento de esgoto, a drenagem de águas pluviais, a gestão dos resíduos e o tratamento de esgoto, sendo que a eficácia destes é de grande importância para se proporcionar uma adequada qualidade de vida à população (COSTA & PINHEIRO, 2021), uma vez que um sistema de saneamento inadequado e ineficaz possibilita que ocorra situações prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, tais como o acondicionamento impróprio do lixo, a má qualidade da água e a disposição de dejetos em lugares indevidos.

Quando se fala em gestão e manejo dos resíduos, entende-se o acondicionamento, a coleta, o transporte e a destinação final desses. Um importante problema relacionado ao meio ambiente existente no Brasil está na relação entre a quantidade de resíduos gerados e a sua destinação final. Os resíduos sólidos, semissólidos e líquidos, bem como os dos sistemas de tratamento de efluentes, são acumulados no ambiente sem o devido tratamento adequado ou sem a sua reutilização ou reciclagem, podendo, entre outros fatores, se tornarem os causadores de poluição.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS – estabelecem princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos, explicitando como ordem de prioridade a não geração, bem como a redução, reutilização, reciclagem, o tratamento dos resíduos e a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 1998).

Com a população aumentando nos grandes centros urbanos e a crescente exigência por melhores padrões de qualidade ambiental, foi identificada a necessidade de se criarem tecnologias otimizadas para garantir o tratamento eficiente de grandes volumes de resíduos (FURTADO, 2015).

É inerente à atividade industrial o uso água em seus processos, seja para consumo humano, seja para matéria-prima, seja como parte do processo produtivo. Como consequência desse emprego, são gerados os efluentes líquidos, que posteriormente são tratados em sistema de tratamento de efluentes.

Para que uma água residuária possa ser encaminhada a um rio, sem causar prejuízos para o rio e sem causar danos à saúde da população, é necessário que a mesma passe por um sistema de tratamento de efluentes.

O sistema mais utilizado atualmente no tratamento dos efluentes líquidos industriais é o tratamento por lodos ativados (SILVA *et al.*, 2017). Isso se deve ao fato de ser um sistema de elevada performance de remoção de carga orgânica e indicado para uma vasta tipologia de atividade industrial. Entretanto, como consequência desse tratamento, existe a produção do lodo, cujo excesso se torna um resíduo sólido que deve ser disposto periodicamente.

A destinação final dos lodos produzidos em sistemas de tratamento é tarefa que desafia os geradores, pois, mesmo enviado ao tratamento, apresenta potencial de poluir e contaminar através dos organismos patogênicos que podem causar problemas à saúde (ANDREOLI; *et al.* 2000). Atualmente têm-se estudado diversos mecanismos na tentativa de diminuir a produção de lodos ativados nas estações de tratamento de efluentes (GUO *et al.*, 2013; PONEZI, 2005). Os princípios de ecologia industrial e sustentabilidade asseguram que eliminar ou reduzir a geração de resíduos é alternativa mais interessante do que aquelas existentes de destinação de lodo, como a disposição em aterros ou incineração (HAO *et al.*, 2017).

Sistemas de tratamento do tipo lodos ativados produzem lodo biológico que contém expressiva quantidade de água e porção de sólidos que acabam por resultar em grande quantidade de resíduos com considerável custo de destinação (PÉREZ-ELVIRA *et al.*, 2006). Buscando uma solução para essa questão, experimentos têm sido realizados com o propósito de diminuir a quantidade de resíduo produzida no interior dos sistemas do tipo lodos ativados (CHUDOBA *et al.*, 1992; WEI *et al.*, 2003). Para buscar uma tecnologia que reduza a quantidade de lodo produzida, o ideal é que a tecnologia tenha uma relação adequada do custo e do benefício, não altere a performance do sistema em termos de remoção da carga orgânica, as características de sedimentação do lodo e nem as características do sistema de tratamento (EASWARAN, 2006).

Diante desse cenário, motivado em reduzir na origem a produção desse resíduo, é que este trabalho foi desenvolvido para investigar a redução na produção de lodo, em sistemas de lodos ativados, a partir do uso de um catalisador metabólico. Considerou-se, portanto, a hipótese de que o uso de um catalisador metabólico reduziria a quantidade de biossólidos no sistema de tratamento de esgoto sem afetar negativamente a performance do sistema. Assim, não se considerou a redução dos resíduos como resultando de um pós-tratamento como digestão, adensamento, incineração ou desidratação.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do uso de um catalisador metabólico na redução da produção de lodo biológico em sistemas de lodos ativados do processo de tratamentos de efluentes reais de indústria de laticínio.

1.2 Objetivos Específicos

I. Caracterizar o estado inicial do sistema de tratamentos de efluentes operante em uma indústria de laticínios (antes da utilização de inibidores metabólicos) através de série histórica dos meses do experimento em 2 anos de informações do sistema de tratamento;

II. Avaliar em escala industrial o efeito da redução da geração de biomassa com a utilização do catalisador metabólico em paralelo à performance do sistema de acordo com os indicadores usuais de tratamento da unidade;

III. Estudar em escala industrial o efeito de diferentes concentrações do catalisador metabólico a fim de se encontrar, dentre as dosagens utilizadas, a dosagem que causa a maior redução na geração do lodo;

IV. Realizar uma análise financeira do efeito da utilização do catalisador metabólico (na melhor dosagem do estudo) na disposição final dos resíduos da unidade estudada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta os principais aspectos teóricos do projeto conduzido. Alguns dos principais pontos como a configuração usual de um sistema de tratamento de efluentes (ETE) e o processo dos lodos ativados podem ser encontrados nesta revisão de literatura.

2.1 Efluentes Líquidos

2.1.1 Classificação

Efluente é o termo definido utilizado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos (CONAMA, 2011). Estes podem ser subdivididos em dois tipos, quanto a sua gênese:

a) Efluentes Industriais: são o despejo líquido do produto e das operações industriais, sendo compreendidos como efluentes do processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (NBR 9800 ABNT, 1987). As características físicas, químicas e biológicas do efluente industrial variam conforme atividade, produto, matéria-prima empregada, porte, processo produtivo, modelo de gestão empregado e ramo da indústria. Por consequência da influência direta desses fatores, existe uma grande variação na composição do efluente industrial gerado (FURTADO, 2015).

b) Efluentes domésticos: são o esgoto doméstico e provêm, majoritariamente, de estabelecimentos residenciais, comerciais ou de quaisquer locais que dispõem de instalações sanitárias, lavanderias e cozinhas. São compreendidos essencialmente como água de banho, excretas, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

2.2 Efluentes Industriais

Provenientes dos mais diversificados processos de industrialização; os efluentes industriais têm sido, historicamente, um relevante agente na poluição ambiental. O despejo inadequado desses

efluentes, tanto nos corpos d'água quanto na rede de esgoto a ser tratada, ocasiona sérios problemas ao meio ambiente. Os principais poluentes de origem industrial são substâncias orgânicas e inorgânicas (MARTINS, 2015).

A carga poluidora desses efluentes deve ser controlada e deve-se também ter o conhecimento de sua composição e origem; dessa forma, a indústria vai conseguir empregar o tratamento adequado. Visando definir qual tecnologia de tratamento será aplicada, os setores industriais consideram as características dos efluentes, as exigências legais, a área disponível para implementação do tratamento e os custos envolvidos no processo (NASCIMENTO, 2016).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias no mercado, os efluentes industriais vêm sofrendo constantes alterações em suas composições, através da inclusão de compostos químicos utilizados ou gerados na produção industrial. Alguns desses constituintes são os orgânicos solúveis; os sólidos em suspensão; os metais potencialmente tóxicos, nitrogênio e fósforo; substâncias refratárias resistentes à biodegradação e materiais voláteis (HAO, 2017).

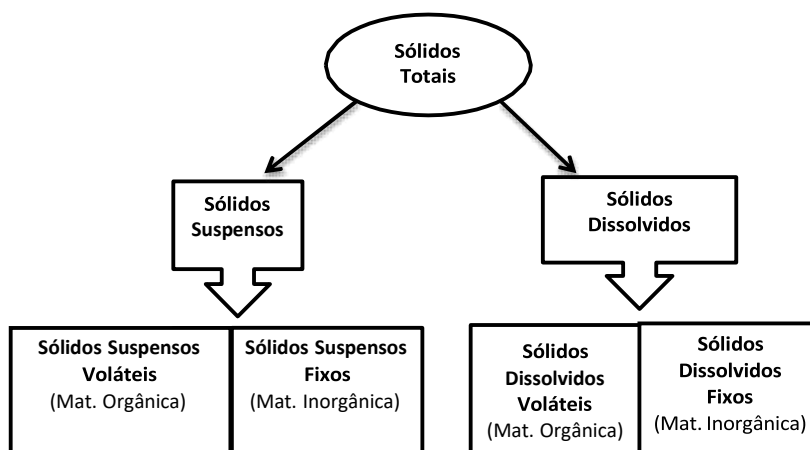
2.1 Parâmetros de caracterização de efluentes industriais

Os parâmetros que definem as características químicas, físicas e biológicas comumente aplicados para caracterizar os efluentes industriais (MAZZER,; CAVALCANTI, 2004) são, sólidos totais; temperatura; pH; alcalinidade; relação nitrogênio/fósforo; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Demanda Química de Oxigênio (DQO); oxigênio dissolvido (OD); óleos e graxas; constituintes biológicos.

2.2 Sólidos Totais

A definição usualmente utilizada para sólidos totais (ST) e que se relaciona ao método de análise, baseia-se no resíduo que se mantém após passar pelo processo de evaporação e secagem a uma temperatura entre 103° e 105° C (NASCIMENTO, 2016). De acordo com Von Sperling (2016), os sólidos totais (ST) podem ser definidos em orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos ou sedimentáveis, como demonstrado na figura 1.

Figura 1 -Classificação dos sólidos totais



Fonte: GIORDANO, 2004.

2.2.1 Temperatura

De acordo com Von Sperling (2016), a temperatura ideal para que não prejudique as atividades biológicas e influencie na atividade microbiana está na faixa entre 25° e 35° C.

2.2.2 Potencial Hidrogeniônico

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é um parâmetro químico que mensura a concentração dos íons de hidrogênio na solução, definindo se o efluente está ácido, alcalino ou neutro. Os valores de pH variam numa escala de 0 a 14, na qual o efluente é considerado ácido se estiver com valores abaixo de 7, alcalino quando está acima de 7 e neutro quando o valor estiver igual a 7 (NASCIMENTO, 2016).

O pH está relacionado à solubilidade das substâncias químicas e à toxicidade encontrada no efluente industrial (CREPALLI, 2007).

2.2.3 Alcalinidade

Através da alcalinidade mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos, sendo que a distribuição das três formas na água é função do pH (VON SPERLING, 2016).

2.2.4 Relação Nitrogênio/Fósforo

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são elementos presentes no efluente industrial, que podem ser originados de proteínas, aminoácidos, ácidos fosfóricos e seus derivados. Ambos são parâmetros que devem ser controlados, pois, em excesso, quando despejados no corpo receptor, podem provocar a eutrofização e modificar a qualidade do curso d'água (GIORDANO, 2004).

Entretanto ambos os elementos são considerados nutrientes básicos para alimentação e manutenção dos micro-organismos, de forma que é necessária a existência de uma quantidade mínima para que o tratamento aconteça (NASCIMENTO, 2016).

Os efluentes industriais que apresentam as maiores quantidades de nitrogênio e fósforo têm origem na fabricação de fertilizantes, laticínios, plásticos, explosivos, pesticidas, amônia, ácido nítrico, entre outros (NASCIMENTO, 2016). Na tabela 1 são apresentadas as características e definições do fósforo e nitrogênio.

Tabela 1 - Características e definições do fósforo e nitrogênio

Parâmetros	Descrição
Nitrogênio Total	Inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato.
Nitrogênio orgânico	Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e ureia.
Amônia	Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico.
Nitrito	Estágio intermediário da oxidação da amônia.
Nitrato	Produto final da oxidação da amônia.
Fósforo	Existe na forma orgânica e inorgânica.
Fósforo orgânico	Existe combinado à matéria orgânica.
Fósforo inorgânico	Ortosfosfato e polifosfatos.

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2016.

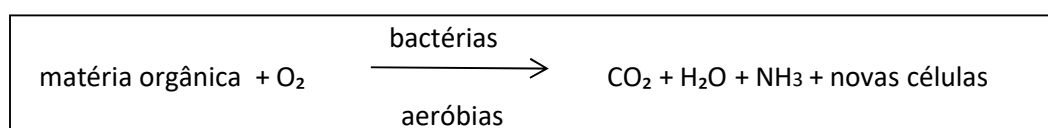
2.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com Giordano (2004), a DBO é uma medida indireta de matéria orgânica existente no efluente, pois a DBO é o parâmetro utilizado na determinação da quantidade de oxigênio necessário para a estabilização da matéria biodegradável. Em outras palavras, a DBO

determina a quantidade de oxigênio dissolvido no efluente que os micro-organismos presentes necessitam para oxidar a matéria orgânica existente.

Para determinação da DBO, usualmente, realiza-se um teste-padrão – que é executado em temperatura constante de 20°C, e durante o período de incubação fixo, de 5 dias – que tem como objetivo simular em laboratório o fenômeno que acontece no corpo hídrico (FURTADO, 2015). Na figura 2 segue a demonstração da reação geral de DBO.

Figura 2 - Reação geral da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)



Fonte: CAMMAROTA, 2013.

O principal impacto ecológico da poluição orgânica em um curso d'água é a diminuição dos teores de oxigênio.

A existência de um alto teor de matéria orgânica no corpo hídrico pode induzir ao completo esgotamento dos valores de oxigênio na água.

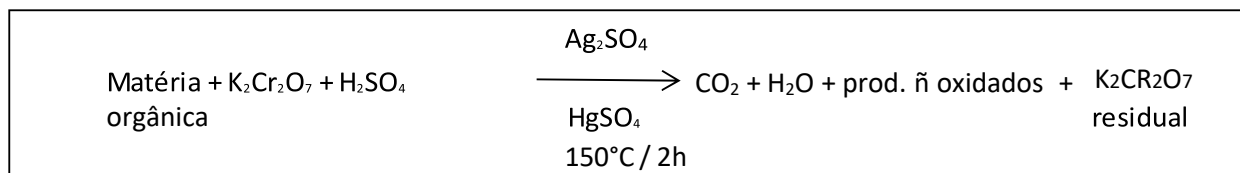
Um elevado valor da DBO, por sua vez, pode indicar um incremento da microflora presente e interferir negativamente no equilíbrio da biota aquática (FUGITA, 2018).

No tratamento de esgoto, a DBO é um parâmetro com alto grau de relevância no controle das eficiências das estações, tanto para tratamentos biológicos aeróbicos e anaeróbicos, como para tratamentos físico-químicos.

2.2.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO mede a quantidade gasta de oxigênio para oxidar toda a matéria orgânica existente no esgoto, através de um agente químico. Usualmente, o agente químico utilizado é o dicromato de potássio (NASCIMENTO, 2016). Entretanto, a DQO não mede somente a matéria orgânica oxidável, mas também componentes inorgânicos suscetíveis à oxidação (DQO inorgânica). Na figura 3 segue a demonstração da reação geral de DQO.

Figura 3 - Reação geral da Demanda Química de Oxigênio (DQO)



Fonte: CAMNAROTA, 2013.

A matéria orgânica existente na amostra coletada é destruída pelo ácido sulfúrico em ebulição, no decorrer de 2 horas. Como resultado, temos expressa a quantidade de matéria orgânica oxidável, a qual é proporcional ao dicromato de potássio consumido (CAMMAROTA, 2013).

A DQO e a DBO terão valores aproximados ou semelhantes se houver no efluente, majoritariamente, matéria biodegradável. Quando utilizada em conjunto com a DBO, a DQO é bastante eficaz para observar a biodegradabilidade dos efluentes.

Uma maior quantidade de DQO no corpo hídrico ocorre principalmente devido a efluentes de origem industrial. A DQO é um fator importante a ser observado, pois indica a relação na qual o impacto que o efluente pode vir a ter, com base no consumo de oxigênio (CAMMAROTA, 2013).

2.2.7 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais devido à diferença de pressão parcial. O oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro de caracterização dos efluentes utilizados para indicar a quantidade de oxigênio molecular (O₂) que está dissolvido no meio líquido (NASCIMENTO, 2016).

Como citou Fiorucci (2005), a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido no corpo hídrico, ocorre devido à utilização do mesmo por micro-organismos para a depuração de matéria orgânica. Existe também a variação desse parâmetro devido às condições de temperatura, salinidade e pressão atmosférica. As análises desse parâmetro podem ser feitas através da técnica por titulação, pelo chamado método WINKLER ou método iodométrico (NASCIMENTO, 2016).

2.2.8 Óleos e Graxas

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal, que, normalmente, são hidrocarbonetos, gorduras e ésteres, e são raramente encontradas em águas naturais (CETESB, 2012).

O parâmetro de caracterização que identifica os óleos e graxas presentes no efluente é realizado através da análise da fração da matéria orgânica com características física e química semelhantes, que são solúveis em hexanos (VON SPERLING, 2016).

2.3 Efluentes de Indústria de Laticínios

A indústria de laticínios representa um papel importante para a economia mundial. Em 2020, conforme a *Food and Agriculture Organization of The United Nations* – FAO –, o Brasil alcançou a 6ª posição do ranking mundial de produção de leite bovino (FAO, 2021), conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Ranking mundial de produção de leite bovino

País	2016	2017	2018	2019	2020	Valor 20/19	Valor 20/16
UE	151,00	153,40	154,57	155,20	156,70	1,0%	3,8%
EUA	96,36	97,76	98,68	99,05	100,48	1,4%	4,3%
Índia	78,09	83,63	89,80	92,00	94,00	2,2%	20,4%
China	30,64	30,38	30,75	32,00	33,00	3,1%	7,7%
Rússia	30,51	30,93	30,30	30,56	31	1,4%	1,6%
Brasil	22,72	23,62	23,75	24,45	24,95	2,0%	9,8%
Nova Zelândia	21,22	21,53	22,01	21,85	21,90	0,2%	3,2%
México	11,95	12,12	12,36	12,65	12,75	0,8%	6,7%
Argentina	10,19	10,09	10,83	10,64	11,10	4,3%	8,9%
Outros	45,97	46,51	46,66	45,90	46,42	1,1%	1,0%
Mundo	498,65	509,97	519,71	524,30	532,30	1,5%	6,7%

Fonte: FAO, 2021.

A indústria de laticínios gera resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas passíveis de ocasionar negativos impactos no meio ambiente. Os principais impactos ambientais dessas estão relacionados à produção e lançamento dos efluentes líquidos, pois, para cada litro de leite processado, geram-se de 1 a 6 litros de despejos, sendo a variação na geração do efluente decorrentes do processo produtivo existente no laticínio (ANDRADE, 2011). Os efluentes líquidos decorrentes de processos de produção possuem alto teor de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos e nutrientes (CAMMAROTA e FREIRE, 2006; MACHADO et al., 2002), conforme demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos de efluentes da indústria de laticínios

Parâmetros	Faixa de variação	
	1	2
Sólidos Suspensos Voláteis	24 - 5700 mg/L	100 - 1000 mg/L
Sólidos Suspensos Totais	135 - 8500 mg/L	100 - 2000 mg/L
DQO	500 - 4500 mg/L	6000 mg/L
DBO5	450 - 4790 mg/L	4000 mg/L
Proteína	210 - 560 mg/L	ND
Gorduras/Óleos e Graxas	35 - 500 mg/L	95 - 550 mg/L
Carboidratos	252 - 931 mg/L	ND
Amônia – N	10 - 100 mg/L	ND
Nitrogênio	15 - 180 mg/L	116 mg/L
Fósforo	20 - 250 mg/L	0,1 - 46 mg/L
Sódio	60 -807 mg/L	ND
Cloretos	60 -807 mg/L	ND
Cálcio	57 - 112 mg/L	ND
Magnésio	22 - 49 mg/L	ND
Potássio	11 - 160 mg/L	ND
PH	5,3 - 9,4	1. - 12
Temperatura	12 - 40 °C	20 - 30 °C

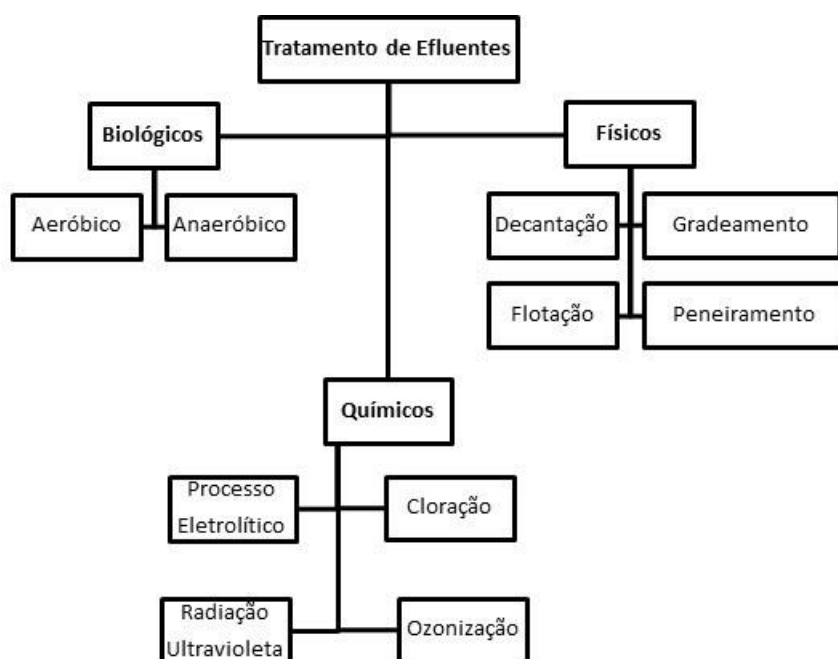
Fonte: (1) Environment Agency of England and Wales, 2000 – European Comission- IPPC (2006), (2) Adaptado de Machado (2002).

Com o objetivo de diminuir os impactos ocasionados pela indústria de laticínios, a legislação ambiental exige o tratamento adequado dos resíduos e efluentes. De maneira a cumprir as normas ambientais, uma das alternativas está no controle dos processos e na reutilização de seus resíduos, reduzindo assim, os custos com o tratamento e destinação final (SILVA, 2017). Em função da quantidade de matéria existente nos efluentes das indústrias de laticínio e pelo fato dessa matéria orgânica ser facilmente degradada, o tratamento usualmente utilizado nesta atividade é do tipo biológico (HENARES, 2015).

2.4 Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais

Os efluentes industriais possuem características extremamente diversas, pois variam em função do processo industrial empregado. Assim sendo, cada indústria deverá ser considerada isoladamente (MARTINS, 2015). Um sistema de tratamento de efluentes industriais é definido por várias etapas e processos, nas quais é realizada a remoção ou transformação de substâncias indesejáveis do corpo hídrico, garantindo que este seja aceito pela legislação ambiental vigente não polua o meio ambiente (MARTINS, 2015). Os processos de tratamento podem ser classificados como físicos, químicos ou biológicos. Os principais processos estão representados na figura 4.

Figura 4 - Fluxograma dos processos de tratamento de efluentes



Fonte: ASSIS, 2012.

Em função dos poluentes presentes nos efluentes industriais, bem como os fenômenos característicos de sua formação, as tecnologias para tratamento dos efluentes, podem-se classificar em químicas, físicas e biológicas (MARTINS, 2015). Os sistemas de tratamento químico utilizam produtos químicos para tratar os efluentes, e são normalmente realizados em conjunto com outros

processos de tratamento. Entre os processos químicos mais comuns, estão a floculação, a oxidação química, utilização de cloro e a correção do pH (ARCHELLA, *et al.*; 2003). Por sua vez, os tratamentos de efluentes de ordem física têm por finalidade separar os sólidos em suspensão no esgoto através de barreiras, ao passo que os de ordem biológica procuram reproduzir, em dispositivos previamente projetados, os fenômenos biológicos que acontecem na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente viáveis.

São classificados como sistemas de tratamento biológicos os processos que necessitam da ação de micro-organismos aeróbios ou anaeróbios, para modificar a matéria orgânica, existente sob a forma de sólidos dissolvidos ou em suspensão no efluente, em compostos mais simples, como os sais minerais, gás carbônico, água e outros. Os principais processos biológicos de tratamento são os lodos ativados, filtros biológicos e lagoas de estabilização (VON SPERLING, 2016). Considerando os processos acima descritos, este trabalho dará ênfase ao processo aeróbio de lodos ativados devido às particularidades do efluente em estudo.

2.5 Lodos ativados

No final do século XIX, o tratamento de efluentes usual era realizado através de processos físico-químicos, porém esses não produziam um efluente de alta qualidade (DUTRA, 2014). Algumas décadas depois, foi criado o sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados, em 1914, em Manchester no Reino Unido, por Arden e Lockett e recebeu esse nome devido à produção, no decorrer do processo, de uma massa ativa de micro-organismos capaz de estabilizar os efluentes líquidos de forma anaeróbia (VON SPERLING, 2016). Entretanto, somente em 1950 houve um grande avanço tecnológico, com novas metodologias de estudo e de pesquisas, aperfeiçoando esse tipo de tratamento (GONÇALVES *et al.*, 2001).

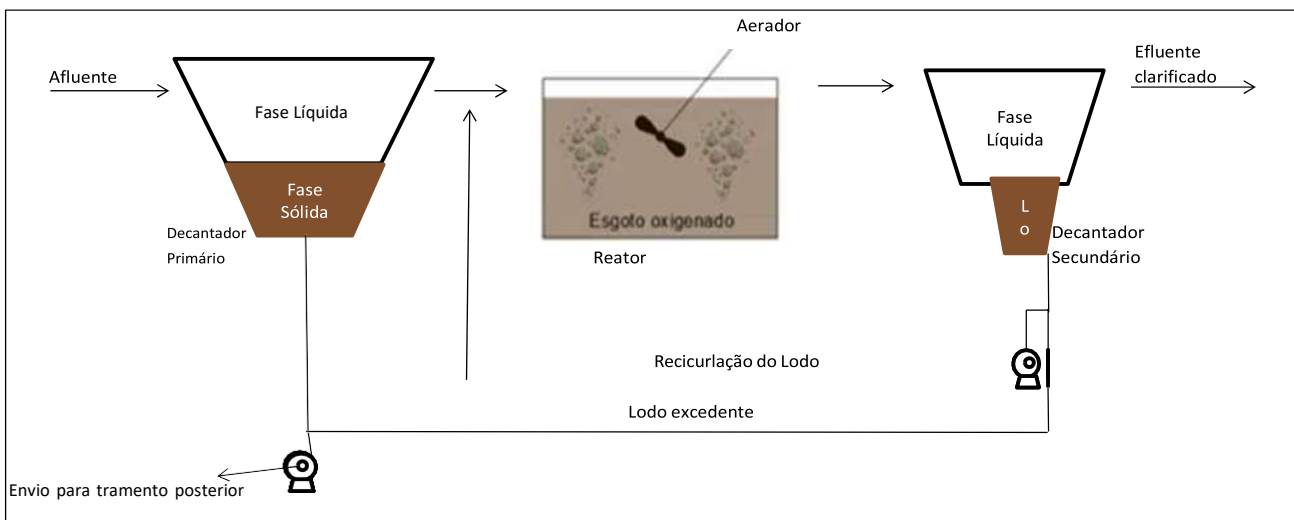
O tratamento de efluentes do tipo lodos ativados é um método biológico mundialmente utilizado para tratar efluentes, seja doméstico, seja industrial, nas situações em que se necessita tratar grande quantidade de efluente (VON SPERLING, 2016). O processo ocorre através da metabolização e da floculação de grande parte da matéria orgânica existente no efluente, mediante a agitação do efluente junto com micro-organismos e oxigênio (NASCIMENTO, 2016).

Os parâmetros mais utilizados no dimensionamento da quantidade de matéria orgânica presente no efluente industrial são a DBO, a DQO e a vazão de efluente a ser tratada

(NASCIMENTO, 2016). Como pode ser visto na figura 5, algumas das principais etapas do processo de tratamento por lodos ativados são:

- **Tanque de Aeração:** conhecido como reator biológico, é o local onde as águas residuárias são misturadas e aeradas com os lodos ativados provenientes do decantador secundário. A carga orgânica biodegradável é degradada nessa unidade.
- **Decantador Secundário:** é a unidade que recebe do tanque de aeração a massa de efluente mais os lodos ativados gerados no processo de degradação da matéria orgânica. Nessa fase a separação acontece pelo processo de sedimentação.
- **Recirculação:** constitui-se na etapa do processo que possui o objetivo de recircular ou retornar os lodos ativados decantados para o tanque de aeração.
- **Descarte de lodo:** é a etapa do processo que consiste em retirar do sistema a quantidade de lodos ativados excedente.

Figura 5 - Sistema de lodos ativado convencional



Um sistema de lodos ativados do tipo convencional constitui-se de um reator biológico, cujo objetivo principal é estabilizar a água residuária pela quantidade de micro-organismos, e um decantador secundário, responsável pela separação dos líquidos e sólidos, onde parte do lodo é enviada para o tanque de aeração através do bombeamento, garantindo a manutenção do sistema, através da adequada relação entre a matéria orgânica existente no efluente a ser tratado e a massa de micro-organismos existente no tanque de aeração, enquanto a menor parte é descartada para posterior tratamento e destino final (LUDUVICE, 2001).

A performance do tratamento depende da quantidade de micro-organismos existentes no tanque e da atividade que desempenham. Vale lembrar que essa atividade depende do monitoramento dos parâmetros como a idade do lodo e a relação alimento/micro-organismo (A/M) – os quais dependem da concentração de sólidos suspensos no tanque. Na Tabela 4 apresentam-se valores usuais para os parâmetros do sistema de lodos ativados.

Tabela 4 – Parâmetros típicos em variantes do processo de lodos ativados.

Parâmetros	Processo de lodos ativados - aeração	
	Convencional	Prolongada
Relação A/M (kg DBO · kg SSV ⁻¹ · d ⁻¹)	0,2 - 0,6	0,04 - 0,10
Idade do lodo (d)	3 - 15	20 - 40
Remoção de DBO (%)	45 - 90	75 - 90
Concentração de SS (g · L ⁻¹)	1,5 - 4,0	2,0 - 5,0
Taxa de aeração (m ³ · kg DBO ⁻¹)	45 - 90	90 - 125
Coefficiente de crescimento celular (kg SS · kg DQO ⁻¹)	0,4 - 0,7	0,2 - 0,3

SS – Sólidos em Suspensão ; SSV – Sólidos em Suspensão Voláteis ; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio ; DQO – Demanda Química de Oxigênio

Fonte: Adaptado de WEF (1998); METCALFe EDDY (2003).

A quantidade de lodo que é descartada do sistema é um importante desafio dos tratamentos do tipo lodos ativados. Dessa forma, obter maneiras de solucionar essa questão é fundamental, uma vez que a gestão da geração do excedente do lodo é um fator importante de certa complexidade e alto custo que, se for mal executado, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados da utilização desses sistemas (LUDUVICE, 2001).

Conforme citado por Machado (2002), os subprodutos são gerados em todas as tecnologias de tratamento de efluentes em que a quantidade e as características influenciam diretamente na escolha mais adequada da destinação, levando também em consideração a legislação vigente. O lodo produzido pelos sistemas de tratamento é um resíduo de destinação desafiadora, pois, mesmo quando enviado ao tratamento, apresenta grande potencial de contaminação através dos organismos patogênicos, podendo ocasionar riscos à saúde e ao meio ambiente (ANDREOLI *et al.*; 2001).

2.6 Produção de lodo no sistema

A tecnologia utilizada no sistema de lodos ativados e a operação nele realizada atuam na variação do quanto é produzido de lodo – o qual é gerado nos sistemas de tratamento, que se encontram na forma líquida ou pastosa (semisólida) e contém de 0,20 a 10% de sólidos orgânicos e inorgânicos, a depender da operação e da forma de tratamento empregado (METCALF; EDDY, 2003). A quantidade em volume de lodo biológico que é produzido no sistema de tratamento de efluentes se encontra entre 1 e 2% da quantidade do volume de efluente tratado, porém, quando o resíduo é desidratado, pode representar cerca de 0,5% (RAMDANI et al., 2010).

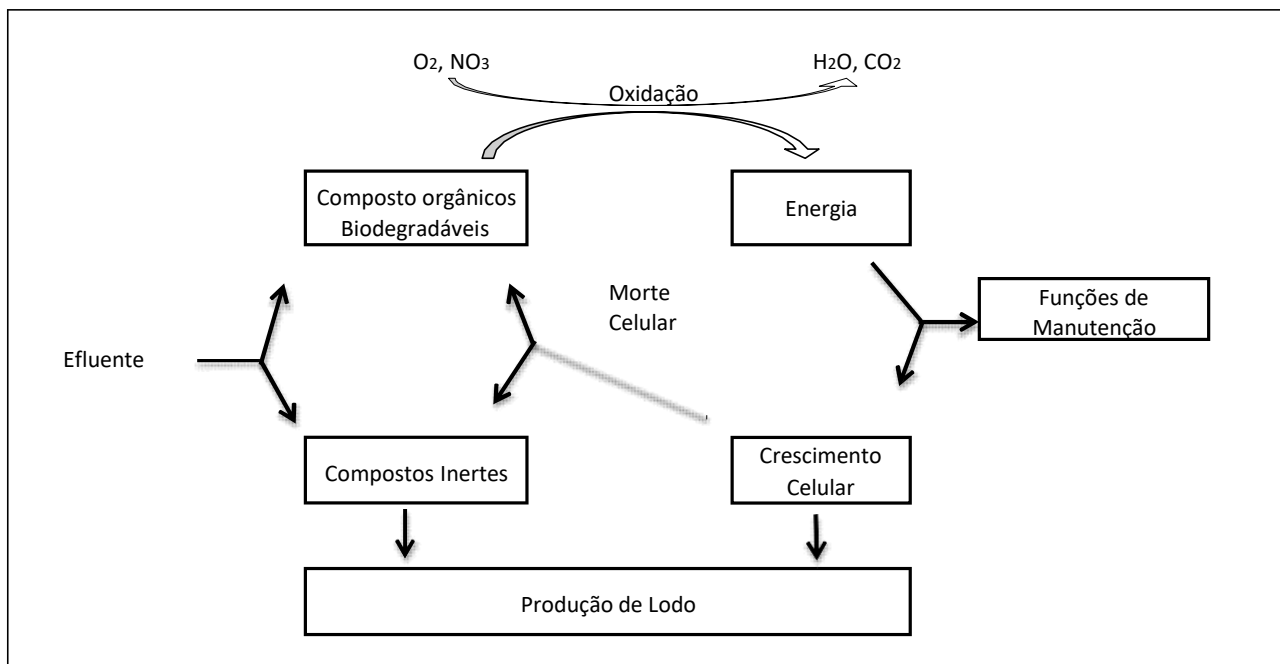
A quantidade de lodo em excesso que será descartado do sistema de tratamento será consequência da tecnologia de tratamento utilizada. Em tecnologia do tipo aeróbica, o crescimento do lodo acontece junto com a remoção da carga orgânica, onde a proporção da quantidade de lodo produzida tem relação com a quantidade de matéria orgânica consumida e ao rendimento do desenvolvimento da biomassa. Nos sistemas do tipo lodos ativados, as variáveis da produção de sólidos se encontram entre 0,60 a 0,70 kg SS·kg DQO⁻¹, o que representa dizer que entre 60 e 70% de matéria biodegradável no sistema será transformada em biomassa (FOLADORI et al., 2010). Neste caso, para obter uma possível redução de lodo em tais sistemas, o caminho é reduzir a produção total de biomassa.

Nesses sistemas a decomposição da matéria orgânica acontece pela oxidação realizada pelos micro-organismos, onde ocorre a geração de H₂O e CO₂. Durante essa fase de oxidação, o O₂ e NO₃-N são utilizados como receptores de elétrons, e existe a produção de energia na forma de adenosina trifosfato (ATP), processo este chamado de catabolismo. O anabolismo, por sua vez, é o nome do processo em que novas células são produzidas a partir da utilização da energia liberada. (SCHMIDELL et al., 2007). Nesse tratamento, os sólidos que não sedimentam são convertidos em biomassa e chamadas de flocos. Eles possuem composição heterogênea, compostos de células bacterianas vivas e não vivas, assim como material orgânico e inorgânico. Esses flocos se mantêm agregados por uma matriz gelatinosa, formada por proteínas e substâncias poliméricas extracelulares (CHON, 2005).

Assim, a biomassa produzida nos sistemas é o próprio lodo que se desenvolve e cresce a partir da matéria orgânica fornecida pelo efluente. Essa biomassa cresce continuamente, em função da entrada de efluentes com carga orgânica nos tanques de reação, sendo mantida em equilíbrio quando o excedente da quantidade de sólidos gerada é removido do sistema. Caso o excedente não

seja removido, a tendência é que ela se acumule no sistema, podendo em algumas situações sair junto com o efluente, prejudicando a qualidade final (ANDREOLI et al., 2001). Dessa forma, é possível afirmar que o excesso na produção de lodo é consequência do crescimento e ao decaimento da biomassa, ao acúmulo de resíduo endógeno e ao acúmulo de materiais inertes existentes no efluente (FOLADORI et al., 2010). Na figura 6, está representado um esquema mais simples do processo que leva ao aumento de biomassa no sistema de tratamento.

Figura 6 - Esquema simplificado da produção de lodo no tratamento biológico.



Fonte: Adaptado de Foladori et al. (2010)

De forma geral, a concentração é de 10 a 30 % de biomassa bacteriana, sendo que os compostos inorgânicos variam entre 20 % e 30 % e a matéria orgânica entre 40% e 50 % (FOLADORI et al., 2010).

Nos tratamentos de lodos ativados o lodo ou biomassa de micro-organismos está constantemente submetida à lise e à morte, liberando desta forma a matéria orgânica no ambiente onde outros micro-organismos irão crescer. Essa matéria orgânica, após ser liberada, é utilizada no metabolismo para produção de energia e, por consequência, esse caminho tem como resultado uma redução na produção de lodo (CHON, 2005).

2.7 Composição da biomassa

A biomassa é composta por um complexo sistema de bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, onde as bactérias são as responsáveis pela decomposição da matéria carbonácea. Os protozoários e micrometazoários, que também estão presentes da microfauna, apresentam papel importante na manutenção da população bacteriana, atuam na floculação, na remoção de *Escherichia coli*, na redução de DBO₅, de DQO e da turbidez (BENTO et al., 2005).

Nos lodos ativados convencionais, o desenvolvimento da biomassa ocorre de forma dispersa dando origem aos flocos. Estes têm papel fundamental na eficiência do processo, apresentando uma estrutura heterogênea composta de material orgânico adsorvido, células vivas e mortas, material inerte dos esgotos, entre outros. Os flocos são constituídos não somente de bactérias, mas também de protozoários, fungos e nematoides. Essa diversidade proporciona uma característica de biofilme em que exoenzimas hidrolisam o material particulado antes da metabolização pelas bactérias e dentro do floco ocorre um gradiente de nutrientes e de oxigênio disponível. A formação desses flocos ocorre com a presença de bactérias filamentosas que exercem a função de matriz estrutural permitindo a aderência das bactérias formadoras de flocos e assim de outros micro-organismos (VON SPERLING, 2016).

Segundo Bento et al. (2005), os micro-organismos presentes na formação da biomassa são sensíveis às alterações no processo; dessa forma, modificam a composição de acordo com mudanças das condições do ambiente e, com isso, podem ser um indicativo da eficiência de remoção de matéria orgânica bem como podem revelar se há aeração de produção de sólidos suspensos ou cargas orgânicas acima dos limites operacionais. Bento et al. (2005) classificam e agrupam a microfauna presente no lodo ativado segundo a tabela 5.

Tabela 5 - Classificação para agrupamento da microfauna de um sistema de lodo ativado.

Grupos	Classificação	Breve Descrição
Ciliados	Ciliados predadores de flocos - CPF	Possuem a célula achatada dorsoventralmente e cílios modificados e agrupados na parte do corpo que fica em contato com o substrato. São vorazes predadores de bactérias.
	Ciliados Fixos - CF	Possuem cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos. São predadores e carnívoros.
Amebas	Tacamebas - TAMB	Ficam unidos ao substrato por um pedúnculo, sendo algumas espécies coloniais. Os cílios encontram-se na região anterior do corpo, próximo à cavidade oral.
	Amebas nuas - AMN	Não possuem forma definida, têm corpo mole.
Flagelados	Zooflagelados - ZFL ou FLG	São flagelados não pigmentados podendo ter de um a vários flagelos. Ingerem matéria sólida ou substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas.
Micrometazoários	Rotíferos, Nematóides, Analídeos, Tardigrdos - MTZ	São organismos pluricelulares de vários filos. Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários.

Fonte: Bento, 2005.

Para que os micro-organismos presentes se desenvolvam, é importante que o tratamento mantenha as condições ideais de temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD), pH, e ausência de toxicidade no efluente.

2.8 Redução da produção de lodo

A quantidade de lodo produzido no tratamento possui importante parte de sólidos voláteis e uma grande quantidade de água, logo seu tratamento e descarte correto por meios economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis se torna um problema complexo (PÉREZ- ELVIRA et al., 2006). De acordo com Saby et al. (2003), a forma de tratar o lodo e o tipo de disposição podem representar de 30 a 60% dos custos de operação de uma planta de tratamento. Portanto, tornam-se de interesse as alternativas com custos mais viáveis para reduzir a quantidade de lodos dentro do sistema. As alternativas para redução da produção de biomassa devem levar em consideração que as características do sistema de tratamento e a qualidade do efluente final não sejam afetadas, bem como ter uma adequada relação entre custo e benefício (EASWARAN, 2006).

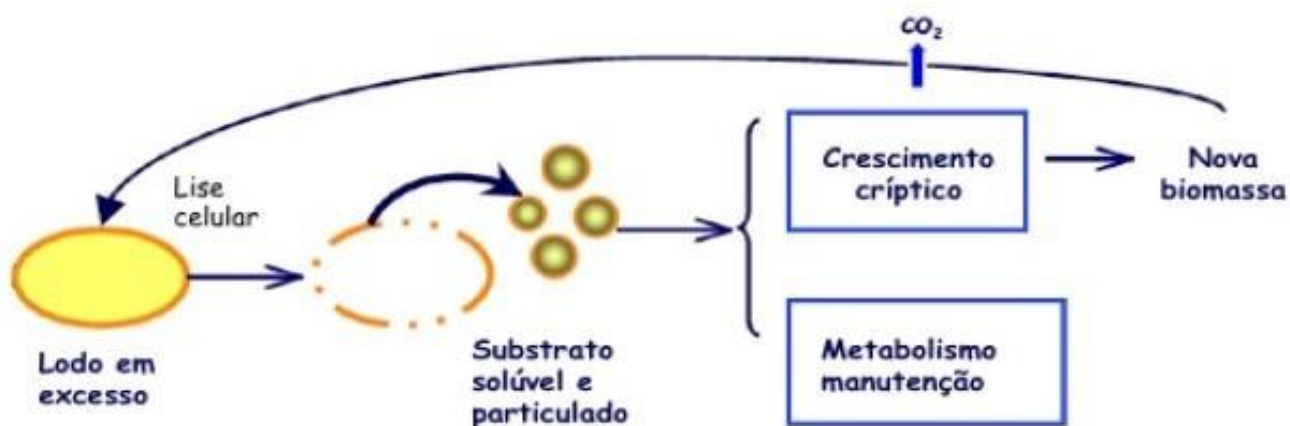
Nesse sentido, algumas tecnologias foram propostas para reduzir a produção de lodo no sistema, como, incluem tratamento físico-químico, cloração, adição de ácido fólico (Akerboom et

al., 1994; Dubé et al., 2002) e adição de desacopladores metabólicos, sendo que o uso de um desacoplador metabólico foi o objeto de estudo desta pesquisa.

2.8.1 Lise Celular

Esse processo desprende material celular, fornecendo nutrientes e substrato que contribuem no aumento da carga orgânica. Este substrato é utilizado novamente no metabolismo das células que permaneceram intactas (WEI et al., 2003). A lise celular pode ocorrer por diferentes técnicas que comprometem a integridade da biomassa (KHURSHEED e KAZMI, 2011).

Figura 7 - Esquema ilustrativo da lise celular/crescimento crítico.



Fonte: Adaptado de FOLADORI et al. (2010).

A lise celular depende do tipo de força física ou mecânica aplicada, podendo ser citados como técnicas que promovem a lise celular o tratamento físico-químico e a cloração (WEI et al., 2003).

2.8.1.1 Tratamento Físico-químico

Tecnologias de tratamentos físico-químicos são as destinadas a solubilizar os sólidos, desintegrar a estrutura do floco biológico e causar a ruptura das células bacterianas (FOLADORI et al., 2010a). A forma de atuação desse método já está amplamente compreendida e consolidada. Nesses tratamentos, a diminuição da quantidade de lodo acontece por meio de oxidação da matéria orgânica, permitindo que a massa biológica do sistema se torne mais biodegradável (SABY et al., 2002; WEI et al., 2003). Embora seja uma técnica eficiente para promover a redução do lodo, essa

tecnologia apresenta limitações no que diz respeito aos elevados custos operacionais e à possibilidade de ter efeitos negativos no sistema de tratamento (LIU e TAY, 2001).

2.8.1.2 Cloração

A utilização do cloro para oxidar a matéria biodegradável foi apresentada para ser um substituto da ozonização. Tal proposta considera o fato de que utilizar o cloro é um procedimento mais viável economicamente que o uso do ozônio, sendo que a redução da produção de lodo acontece em função da ação oxidante do cloro. Neste caso a redução da produção de lodo é provocada pela lise celular (WANG et al., 2011). Quando os micro-organismos são submetidos à cloração, ocorre a morte e a lise celular e os produtos desse processo são liberados para o meio líquido, estando então disponíveis à degradação a partir do metabolismo microbiano. Como esse composto é um agente oxidante forte, também pode promover a oxidação química da biomassa e produzir subprodutos mais estáveis.

Da possibilidade de efeitos negativos desta técnica são citadas a possível formação de compostos como os trihalometanos, que é uma categoria de substâncias tóxicas gerada pela reação do cloro com matéria orgânica, além de um possível efeito negativo dessa matéria na deterioração na sedimentação do lodo (PÉREZ-ELVIRA et al., 2006).

Dessa forma, apesar de a aplicação do cloro proporcionar uma diminuição da quantidade de lodo produzida, essa técnica deve ser aplicada com cuidado, de forma que não comprometa o sistema de tratamento. A utilização de cloro em sistema de tratamento de esgoto se relaciona com o tempo de contato, ou seja, com dosagens menores, são necessários maiores tempos de contato. Segundo Wang et al. (2011), uma aplicação de $0,01 \text{ g ClO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ SST}$ necessita de um tempo de contato de 40 minutos, para alcançar 58 % na redução da produção de lodo. Já Saby et al. (2002), verificaram que a aplicação de $0,066 \text{ g Cl}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ SST}$ com o tempo de contato de 1 minuto produziu redução na produção de lodo de 65%.

2.8.2 Metabolismo Descoplado

Estudos apresentam reduções na produção de lodo por limitação do crescimento da biomassa através do metabolismo desacoplado. Isso tem sido obtido utilizando-se substâncias inibidoras do crescimento (LOW e CHASE, 1998; CHEN et al., 1999; STRAND et al., 1999; LOW

et al. 2000). Nesse caso, a diminuição da biomassa é obtida pela diferença no balanço de energia entre o catabolismo e o anabolismo. Em condições de normalidade, ambos estão acoplados; porém observa-se que a necessidade de energia para atividades de manutenção das células sofre aumento na presença de algumas substâncias (LIU, 2001).

As substâncias desacopladoras compreendem variados compostos, em sua maioria ácidos fracos lipofílicos, entre eles o Tetraclorosalicilato (TCS) e o ácido fólico. Com o uso de substâncias desacopladoras, esses dois elementos ficam aclimatados à substância; assim, seu efeito na redução de lodo diminui à medida em que se reduz ou elimina a dosagem de tais substâncias (WEI et al., 2003).

2.8.2.1 Aplicação do desacoplador Tetraclorosalicilato (TCS)

Com a utilização de compostos que inibem o desenvolvimento da biomassa, estudos têm mostrado uma expressiva redução na produção de lodo (LOW e CHASE, 1998; CHEN et al., 1999; STRAND et al., 1999; LOW et al. 2000). Nas células das bactérias, o crescimento, a reprodução e o metabolismo de manutenção são alcançados por meio dessas vias metabólicas.

O Tetraclorosalicilato (TCS) é uma substância utilizada na produção de detergentes, sabões e outros produtos semelhantes. Quando se tem o contato do TCS com a matéria a ser degradada, ocorre a oxidação de grande parte do substrato, em vez de ser utilizado para a biossíntese (LIU e TAY, 2001). Seu uso, portanto, diminui a taxa de crescimento do lodo sem influenciar na cinética de remoção da carga orgânica.

Como descrito por Wei et al. (2003), o uso de TCS apresenta eficiência para reduzir a produção de lodo em sistema de lodos ativados. A utilização na concentração de 0,4 mg/L foi considerada o limite suficiente para se obter redução na produção de lodo; já a utilização do TCS nas concentrações entre 0,8 a 1,0 mg/L causaram redução de 40% do lodo gerado.

Yang et al. (2003) descrevem que a desagregação de energia no metabolismo desacoplado é proporcional à concentração da substância desacopladora. Porém, deve-se considerar que a utilização de substâncias desacopladoras do metabolismo não impede o transporte de elétrons na cadeia respiratória; de modo que a eficiência de remoção da matéria orgânica não sofre alteração.

2.8.2.2 Aplicação de ácido fólico (AF)

Esse ácido, que é conhecido como vitamina B₉ e que tem como fórmula molecular C₁₉H₁₉N₇O₆, foi utilizado em plantas de tratamento de efluentes com o objetivo de resolver problemas relacionados ao desenvolvimento de bactérias filamentosas. Com a utilização dessa substância, houve o crescimento de uma população de micro-organismos ativa e diversa em substituição das bactérias filamentosas. Nesta situação, o ácido atuou como responsável para estabilidade do tratamento, proporcionando sedimentação, tornando o efluente mais clarificado e menor quantidade de lodo excedente (AKERBOOM et al., 1994).

O ácido fólico tem ação como regulador do metabolismo atuando no consumo do substrato (ANDREOLI, 2001). Processos com insuficiência de ácido fólico também possuem deficiência nos processos metabólicos. Já a utilização dessa substância em lodos ativados aumentou a capacidade do consumo de nutrientes por meio da aceleração das atividades metabólicas (STRUNKHEIDE, 2004; BERTACCHI, 2005).

Dubé et al. (2002) constataram, em mais de 100 estações de tratamento de efluentes nos Estados Unidos e na Europa e, para controlar as filamentosas, que o ácido fólico foi uma técnica mais eficiente que a cloração.

Além de ser utilizado para o controle do desenvolvimento de filamentosas, o ácido fólico também diminui os níveis de consumo de fósforo e oxigênio, desta forma, diminuindo a produção de lodo na quantidade utilizada do ácido fólico. O uso desta técnica permite o alcance de benefícios ambientais, operacionais e econômicos (DUBÉ et al., 2002). Além de simples, a utilização sem necessitar de equipamentos modernos é considerada uma vantagem no uso deste produto (SENORER et al., 2004).

Quanto ao uso do ácido fólico, quando em concentração de 0,3 mg/l em uma planta piloto de lodos ativados, com 24 dias de idade do lodo, observou-se uma redução de 38 % a 50 % na produção de lodo (RAMOS et al., 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização do sistema de tratamento de efluentes

O sistema de tratamento de efluentes onde o projeto foi desenvolvido está situado em um laticínio localizado na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais. O sistema possui capacidade instalada de 120 m³/h e o efluente tratado é destinado para o córrego denominado Córrego do Diogo. Tal sistema de tratamento de efluente está delimitado por um contorno branco na figura 8, as características de dimensionamento e operação estão descritas na tabela 6.

Figura 8 – Sistema de tratamento de efluentes de indústria de laticínios.



Fonte: Google Earth com marcações do autor

Tabela 6 – Características de dimensionamento e operação do sistema de tratamento de efluentes.

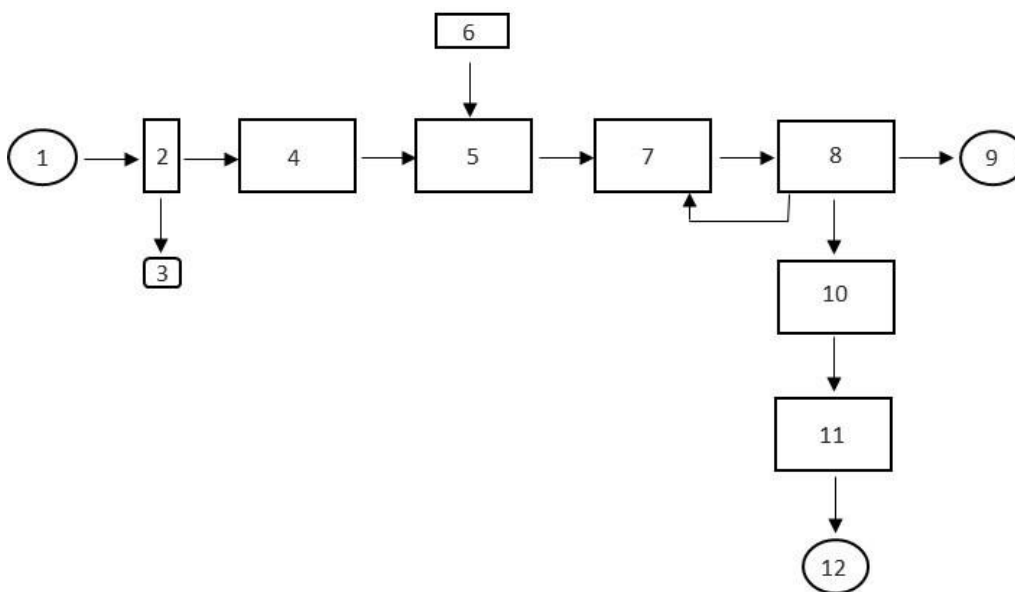
Sistema de Tratamento	Característica
Estação Elevatória	Número de unidades: 1 Comprimento e Largura: 5 m e 3 m Altura máxima da lâmina de água: 6 m Volume útil: 90 m ³ Tempo de detenção: 0,75 horas
Tanque de equalização	Número de unidades: 1 Comprimento e Largura: 16 m e 8 m Altura da lâmina de água: 5 m Volume útil: 640 m ³ Tempo de detenção: 5,3 horas
Flotador	Número de unidades: 1 Diâmetro: 16 m Comprimento: 16 m
Tanque de Aeração	Tipo: Lodos ativados convencional Número de unidades: 1 Comprimento e Largura: 30 m e 16 m Altura lâmina d'água: 7 m Volume útil total: 3360 m ³ Carga orgânica afluyente: 4320 Kg DBO/dia Concentração de sólidos voláteis: 3.000 mg/L – 4500 mg/L Relação F/M: 0,32 Kg DBO/Kg SSVTA
Sopradores de ar	Número de unidades: 3 Vazão mássica de oxigênio: 2533 Kg O ₂ /h Densidade estimada para o ar: 1,4 kg/m ³ Vazão de ar (21% O ₂): 9278 m ³ /h Vazão de ar por soprador: 3092 m ³ /h
Decantador	Número de unidades: 1 Diâmetro: 15 m Área: 176,7 m ² Taxa de aplicação: 16,3 m ³ /m ² dia Taxa de recirculação: 0,8
Adensador	Número de unidades: 1 Diâmetro: 9 m Área: 63,6 m ² Altura útil: 2,5 m Volume: 159 m ³ Vazão de alimentação: 2,8 m ³ /hora
Centrífuga Horizontal	Número de unidades: 2 Vazão: 5 m ³ /h Concentração sólidos entrada: até 2,5 %

3.2 Etapas do sistema de tratamento de efluentes do laticínio em Sete Lagoas

A produção de lodo biológico em tratamento de efluentes em indústria de laticínios é inerente ao processo e está diretamente relacionada à tecnologia de tratamento empregada.

Como demonstrado na figura 9 - que apresenta o fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes onde o projeto foi desenvolvido -, o sistema possui as seguintes etapas de tratamento, estação elevatória; peneira estática; tanque de equalização; flotador; tanque de lodos ativados; decantador e saída do sistema de tratamento para o corpo receptor. Como unidades acessórias e necessárias ao funcionamento do sistema existem: o coletor de amostras, adensador, sopradores de ar, centrífuga para descarte do lodo e caçambas para o transporte do lodo centrifugado para o destino final.

Figura 9 – Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes do projeto



- 1 – Chegada do efluente da fábrica
- 2 – Estação elevatória
- 3 – Amostrador de efluente
- 4 – Tanque de equalização
- 5 – Flotador
- 6 – Soprador de ar
- 7 – Tanque de aeração
- 8 – Decantador
- 9 – Saída do efluente tratado para corpo receptor
- 10 – Adensador de lodo
- 11 – Centrífuga
- 12 – Caçamba para disposição do lodo

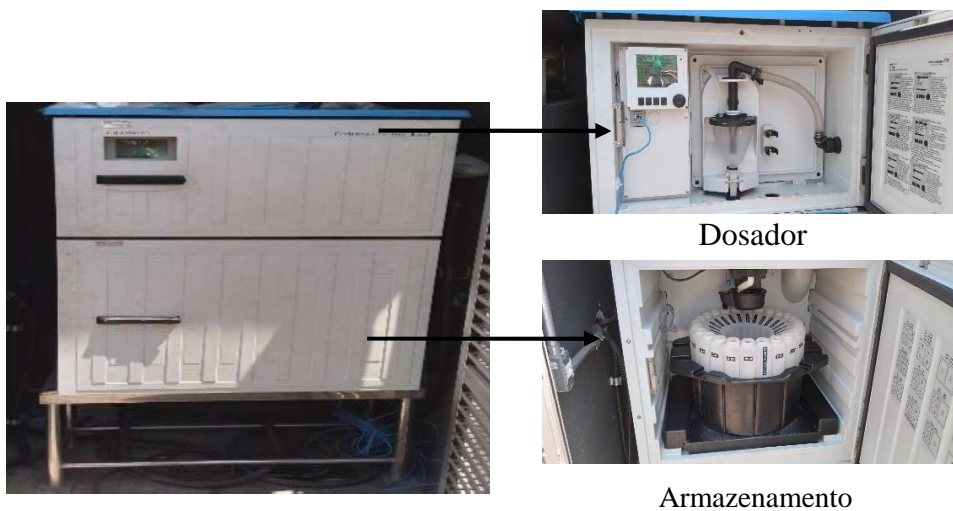
O efluente industrial é gerado no processo industrial e por gravidade chega à estação elevatória, demonstrada na figura 10. Na estação elevatória, o efluente é coletado automaticamente e armazenado para posterior análise dos parâmetros do efluente bruto. A coleta e manutenção do equipamento utilizado para amostragem é realizada através dos procedimentos padronizados. A figura 11 apresenta o coletor e o recipiente de armazenamento do efluente.

Figura 10 – Estação elevatória



Fonte: Acervo do AUTOR

Figura 11 – Coletor automático de efluentes localizado na estação elevatória



Fonte: Acervo do AUTOR.

O efluente que chega à estação elevatória é transferido por bombas para a peneira estática (figura 12) e da peneira estática, por gravidade, é destinado para o tanque de equalização (figura 13), cuja finalidade é propiciar ao sistema a capacidade de fornecimento da vazão constante e manutenção da característica do efluente, que será enviado para o tanque de aeração.

Figura 12 – Peneira estática



Fonte: Acervo do AUTOR.

Figura 13 – Tanque de Equalização



Fonte: Acervo do AUTOR.

O efluente equalizado no tanque de equalização é transferido por bombeamento para o flotador (figura 14). Nessa etapa são removidos, através da adição de produtos químicos e ar dissolvido, os óleos e graxas presentes nos efluentes. Do flotador, por gravidade, o efluente segue para o tanque de lodos ativados (figura 15).

Figura 14 – Flotador



Fonte: Acervo do AUTOR.

Figura 15 – Tanque de Lodos Ativados



Fonte: Acervo do AUTOR.

No tanque de lodos ativados, ocorre o desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pela degradação da carga orgânica existente no efluente. Eles são separados do efluente no decantador (figura 16), onde a massa de micro-organismos que fica na parte de baixo do equipamento retorna para o tanque de lodos ativados. O decantador é a última etapa do tratamento e dele o efluente é direcionado para o corpo receptor. Antes de chegar ao corpo receptor, existe uma caixa de passagem (figura 17), onde o efluente é coletado para realização das análises finais do

tratamento e para avaliação do atendimento aos padrões de lançamento. Uma outra parte do lodo decantada no decantador é eliminada do sistema sendo enviada para o adensador (figura 18).

Figura 16 – Decantador



Fonte: Acervo do AUTOR

Figura 17 – Caixa de passagem do efluente tratado



Fonte: Acervo do AUTOR

Figura 18 – Adensador



Fonte: Acervo do AUTOR

O adensador tem a finalidade de concentrar a parte sólida do lodo biológico e funciona com o mesmo princípio do decantador, além de trabalhar como um reservatório de lodo, otimizando o descarte e permitindo maior eficiência na separação da fase líquido-sólido na centrífuga (figura 19).

Figura 19 – Centrífuga



Fonte: Acervo do AUTOR

O lodo biológico, também chamado de biossólido, separado da fase líquida na centrífuga, é depositado em uma caçamba (figura 20) que, quando tem volume completo, é enviada para o destino final, o qual, quando utilizado pela unidade industrial, é a compostagem.

Figura 20 – Caçamba de destino do lodo centrifugado



Fonte: Acervo do AUTOR

3.3 Dosagem do catalisador metabólico

O catalisador metabólico é um produto formulado, composto de nutrientes e substâncias que promovem o metabolismo desacoplado, como o TCS e o ácido fólico.

Após o planejamento, iniciou-se a dosagem em escala industrial com o objetivo de testar a hipótese de redução da produção de lodo biológico no processo de tratamento de efluentes da indústria de laticínio, que é da ordem de 100 toneladas por mês (quantidade gerada após a centrífuga).

O experimento foi realizado em escala industrial para que se fosse possível conhecer a realidade das situações de dosagem existente durante a rotina de operação do sistema de tratamento. Assim, optou-se pela realização do teste diretamente em planta, com a condição de que, se houvesse em qualquer um dos dias de realização do experimento, uma redução de performance diária de remoção de DQO superior a 5 % em relação ao dia anterior, no mesmo instante o experimento seria interrompido.

Os objetivos propostos neste projeto foram investigados em escala industrial na estação de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios localizada em Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais. A empresa estabeleceu parceria para o fornecimento de dados, de reagentes e para receber todos os experimentos em escala real em sua estação de tratamento de efluentes, bem como o fornecedor do produto disponibilizou o catalisador metabólico para utilização no experimento.

A primeira etapa do trabalho consistiu na avaliação de série histórica de dados do processo de tratamento de efluentes atual, por meio de análises dos valores máximo, mínimo, média aritmética, mediana, outlier inferior e superior, desvio-padrão, variância e coeficiente de variação dos parâmetros de interesse para o experimento.

Durante o processo, foram monitorados, na estação de tratamento de efluentes da indústria de laticínios, a performance de remoção de DQO, o descarte de lodo do sistema, a carga orgânica de entrada e saída, a relação entre o descarte e a carga orgânica, os sólidos em suspensão total e a relação alimento e micro-organismo. Os parâmetros analisados, o tipo de amostra, local de amostragem e número de amostras coletadas estão descritos na tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros avaliados e detalhamento de amostras coletadas durante o projeto

Parâmetro	Tipo de coleta	Local amostragem	Frequência de amostras	Horário da coleta	Número de amostra
Vazão	Automática	Estação elevatória	1 x dia	Tempo integral	273
DQO de entrada do sistema	Automática	Entrada do tanque de equalização	180/dia	A cada 8 minutos e analisadas à 00:00	273
DQO de saída do sistema	Manual	Saída do decantador secundário	1 x dia	17:00	273
Retirada de lodo	Manual	Caçamba de coleta do lodo	1 x retirada de lodo	indefinido	191

De acordo com o objetivo, foi realizada a análise das variáveis estudadas, para os meses de abril, maio e junho dos anos de 2018, 2019 e 2020, sendo que nos meses de abril, maio e junho de 2020 foi aplicado o catalisador metabólico, com o objetivo de buscar as respostas sobre a possibilidade de redução da geração de lodo biológico.

Para o período foram analisadas as seguintes variáveis:

- Eficiência de remoção de DQO;
- Descarte total de lodo do sistema de tratamento;
- Carga Orgânica em DQO do efluente bruto de entrada e de saída;
- Relação entre descarte e carga orgânica;
- Sólidos Suspensos Totais;
- Relação entre alimento e micro-organismo (A/M).

Os dados foram analisados de acordo com a dosagem do produto, sendo:

- Dosagem 0: meses abril, maio e junho de 2018 e 2019 – sem aplicação do produto;
- Dosagem 1: abril de 2020 – dosagem de 90 % da recomendação técnica;
- Dosagem 2: maio de 2020 – dosagem de 100 % da recomendação técnica;
- Dosagem 3: junho de 2020 – dosagem de 110 % da recomendação técnica.

Após a caracterização, foi realizada uma avaliação em escala real do efeito da redução da geração de lodo biológico com o uso de solução de catalisador metabólico na dosagem sugerida pelo fabricante (3,75 mL/h) – a qual foi estabelecida em função da vazão de entrada do sistema e do tipo de efluente tratado – por meio da instalação de um tanque de 50 litros do produto ao lado do tanque de areação.

A dosagem do produto aconteceu por meio de uma bomba dosadora marca DLX MA/AD da fabricante ETATRON (Figura 21). O produto foi adicionado ao tanque de areação em dosagem contínua e de forma direta na linha de alimentação de entrada no tanque, como apresentado nas figuras de 22 a 23.

Em seguida, o experimento foi realizado em escala real variando-se a dosagem do catalisador metabólico em $\pm 10\%$ para se obter a melhor dosagem dentre as testadas.

O catalisador metabólico foi dosado durante os meses de abril, maio e junho de 2020, sendo que, no mês de abril, a dosagem foi de 90 % daquela recomendada para o sistema. No mês de maio, a dosagem foi a de 100% da recomendação e, no mês de junho, de 110 % da recomendação. Cada período de aplicação foi de 30 dias contínuos.

Figura 21 – Sistema de dosagem do catalisador metabólico



Fonte: Acervo do AUTOR

Figura 22 – Ponto de dosagem do MC no tanque de lodos ativados



Fonte: Acervo do AUTOR

Figura 23 – Ponto de entrada do efluente + MC no tanque de lodos ativados



Fonte: Acervo do AUTOR

Os experimentos foram acompanhados do monitoramento dos seguintes indicadores do sistema de tratamento de efluentes: vazão de efluente tratado, remoção de Demanda Química de Oxigênio e retirada de sólidos do sistema de tratamento.

Considerando ainda que a quantidade de lodo biológico tem relação com a carga orgânica, além dos indicadores citados, foi gerado para o período analisado um indicador entre o destino do lodo e

a carga orgânica de entrada, expressando a quantidade de lodo destinada em quilos por dia em relação à carga orgânica de entrada, em quilos de DQO por dia, tendo-se, então, quilogramas (Kg) de lodo destinado por quilograma (Kg) de DQO. A análise de DQO foi realizada nas dependências da empresa onde ocorreu o experimento, sendo as análises realizadas com o uso de um analisador de espectro Spectroquant TR 420 (Figura 24).

Figura 24 – Analisador de espectro, Spectroquant TR 420, utilizado para análise de DQO



Fonte: Acervo do AUTOR

3.4 Análise Estatística

Foram realizadas análises do comportamento da eficiência de remoção de DQO, da carga orgânica de entrada e saída do sistema, bem como da quantidade de lodo destinada do sistema gerador, da relação entre o descarte e a carga orgânica, dos sólidos suspensos totais e da relação entre a quantidade de carga orgânica de entrada com a quantidade de micro-organismos, representada pelo A/M, assim como do teste de hipótese e da relação entre o descarte e carga com o teste de hipóteses.

Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva e do teste de Kruskal-Wallis, que, se caracteriza por ser um teste de hipótese não paramétrico para comparação de múltiplas amostras independentes e que não possuem distribuição normal. A ele se seguiu o teste post-hoc de Dunn.

A utilização do teste de Kruskal-Wallis, se deu após a aplicação de testes para a verificação de normalidade a 5% de significância. Em todos os casos o resultado de do nível de significância (p) foi menor que 0,05 - Shapiro-Wilk ($p = 5,687^{-8}$), Anderson-Darling ($p=8,787^{-10}$) e Lilliefors ($p=0,0001$) - resultado no qual rejeita-se a hipótese de que a distribuição é normal. Os métodos foram aplicados pelo software PAST4.03.

Na estatística descritiva, para cada um dos tratamentos, foram apresentadas a média, o valor máximo, o valor mínimo, a mediana, os outliers superior e inferior, o número de valores acima e abaixo dos outliers, o desvio-padrão, a variância, o coeficiente de variação e o número total de dados analisados.

Para a eficiência de remoção de DQO e para a relação entre o descarte e a carga orgânica foram construídos gráficos de dispersão e boxplot sendo indicados para cada uma das dosagens, os valores: de máximo e de mínimo, do primeiro e do terceiro quartis, lado inferior e superior do quadrado, respectivamente; da média aritmética, representada pelo losango; da mediana, representada pela linha; e dos outliers, representados pelos asteriscos.

3.5 Análise financeira da utilização do produto

A última etapa do trabalho foi a realização da análise da viabilidade econômica de utilização do catalisador metabólico, a qual se deu por meio da avaliação do custo fixo de aquisição do catalisador metabólico para utilização em um mês de tratamento em comparação com o custo fixo de destinação final do resíduo. Para estudo da análise financeira foi considerada a utilização do catalisador metabólico em uma dosagem estudada e o efeito produzido na redução da disposição final dos resíduos sólidos da unidade estudada.

Os valores financeiros utilizados na análise foram, para o catalisador metabólico, a proposta comercial de fornecimento do produto pelo seu fabricante e para o destino final do resíduo, o custo de destinação praticado pela unidade industrial em sua rotina. O objetivo do estudo da viabilidade foi avaliar financeiramente se o custo fixo da aquisição do catalisador metabólico reduziria o valor financeiro total de destinação dos resíduos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados para análise dos resultados estão apresentados no ANEXO A e o sumário descritivo dos resultados está apresentado nas tabelas de 8 a 11, sendo a tabela 8 a análise do período histórico, ou seja, sem a dosagem do catalisador metabólico; a tabela 9, a análise da dosagem de 90 % da dosagem indicada pelo fabricante do produto; e a tabela 10, a análise da dosagem indicada pelo fabricante, chamada de 100 %. Por sua vez, na tabela 11, fez-se a análise da dosagem de 110 % da dosagem indicada pelo fabricante.

Tabela 8 – Estatística descritiva sem a dosagem do produto testado (meses de abril, maio e junho de 2018 e 2019).

Estatística Descritiva		Remoção de DQO (%)	Descarte de lodo (kg/dia)	Carga orgânica entrada (kg/dia)	Carga orgânica saída (kg/dia)	Relação descarte-carga (kg/dia)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	Relação AM (kg DBO/ kg SSV)
Tendência central	Mínimo	91	1690	3129	166	0,24	2840	0,13
	Máximo	98	5860	12920	540	1,03	4970	0,54
	Mediana	95	2890	6088	280	0,52	4203	0,27
	Média aritmética	95	3467	6547	283	0,55	4200	0,29
Deteção de outliers	Outlier superior	98	7830	10663	407	0,97	5493	0,50
	Outlier inferior	93	-490	2107	153	0,10	2967	0,08
	Nº de dados acima do outlier superior	1	0	7	5	2	0	6
	Nº de dados abaixo do outlier inferior	2	0	0	0	0	0	0
Dispersão	Desvio padrão	0,01	1157	1928	56	0,17	431	0,09
	Variância	0,00	1339589	3718139	3131	0,03	185820	0,01
	Coef. De variação (adimensional)	0,01	0	0	0	0,31	0	0,29
Nº de dados adimensional		182	113	182	182	113	182	182

Tabela 9 – Estatística descritiva de 90 % da dosagem recomendada (mês de abril 2020).

Estatística Descritiva		Remoção de DQO (%)	Descarte de lodo (kg/dia)	Carga orgânica entrada (kg/dia)	Carga orgânica saída (kg/dia)	Relação descarte-carga (kg/dia)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	Relação AM (kg DBO/ kg SSV)
Tendência central	Mínimo	95	1800	4255	55	0,25	3018	0,20
	Máximo	99	3940	9105	334	0,51	3987	0,47
	Mediana	96	2410	6298	214	0,41	3757	0,33
	Média aritmética	97	2504	6375	208	0,40	3661	0,33
Deteção de outliers	Outlier superior	100	3975	9034	422	0,68	4086	0,46
	Outlier inferior	94	975	3740	-14	0,09	3364	0,18
	Nº de dados acima do outlier superior	0	0	1	5	0	2	0
	Nº de dados abaixo do outlier inferior	0	0	0	0	0	0	0
Dispersão	Desvio padrão	0,96	478	1119	69	0,08	281	0,06
	Variância	0,01	228436	1251666	4799	0,01	78850	0,00
	Coef. De variação (adimensional)	0,99	0	0	0	0,20	0	0,18
Nº de dados adimensional		30	27	30	30	27	30	30

Tabela 10 – Estatística descritiva de 100 % da dosagem recomendada (mês de maio 2020).

Estatística Descritiva		Remoção de DQO (%)	Descarte de lodo (kg/dia)	Carga orgânica entrada (kg/dia)	Carga orgânica saída (kg/dia)	Relação descarte-carga (kg/dia)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	Relação AM (kg DBO/ kg SSV)
Tendência central	Mínimo	95	1800	4255	55	0,22	3010	0,20
	Máximo	99	3940	9580	357	0,51	3979	0,47
	Mediana	96	2385	6327	216	0,41	3765	0,33
	Média aritmética	97	2496	6472	212	0,39	3670	0,33
Deteção de outliers	Outlier superior	100	3938	9075	425	0,66	4142	0,49
	Outlier inferior	94	998	3730	-11	0,11	3345	0,17
	Nº de dados acima do outlier superior	0	1	1	0	0	1	0
	Nº de dados abaixo do outlier inferior	0	0	0	0	0	0	0
Dispersão	Desvio padrão	0,97	471	1224	73	0,08	282	0,06
	Variância	0,01	221772	1497937	5362	0,01	79545	0,00
	Coef. De variação (adimensional)	1,00	0	0	0	0,22	0	0,18
Nº de dados adimensional		31	28	31	31	28	31	31

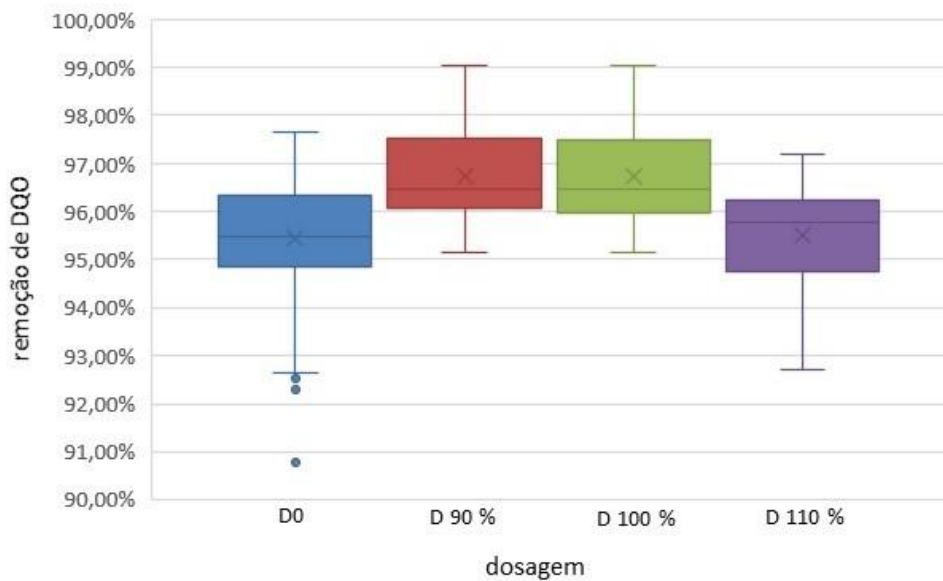
Tabela 11 – Estatística descritiva de 110 % da dosagem recomendada (mês de junho 2020).

Estatística Descritiva		Remoção de DQO (%)	Descarte de lodo (kg/dia)	Carga orgânica entrada (kg/dia)	Carga orgânica saída (kg/dia)	Relação descarte-carga (kg/dia)	Sólidos suspensos totais (mg/L)	Relação AM (KG DBO/kg SSV)
Tendência central	Mínimo	93	1360	4112	171	0,21	3002	0,23
	Máximo	97	2800	9557	457	0,53	3981	0,50
	Mediana	96	2180	6393	286	0,34	3818	0,34
	Média aritmética	96	2180	6393	282	0,36	3594	0,33
Deteção de outliers	Outlier superior	98	3138	10249	437	0,63	4081	0,51
	Outlier inferior	93	1358	2659	113	0,06	1958	0,15
	Nº de dados acima do outlier superior	0	0	0	1	0	0	1
	Nº de dados abaixo do outlier inferior	1	0	0	0	0	3	0
Dispersão	Desvio padrão	0,95	352	1259	64	0,10	387	0,06
	Variância	0,01	124213	1584729	4160	0,01	149752	0,00
Nº de dados adimensional	Coef. de variação (adimensional)	0,99	0	0	0	0,27	0	0,19
	30	23	30	30	23	30	30	30

Para a remoção de DQO, apresentada na figura 25, observa-se que em todas as dosagens a eficiência atendeu aos parâmetros legais, sendo que nas dosagens de 90 %, 100 % e 110 %, as eficiências mínimas foram de 95 %, 95 % e 93 % e as médias de 97 %, 97 % e 96 %, respectivamente. Nas amostras sem o efeito da dosagem, a eficiência média de remoção foi de 95 %, sendo que a eficiência mínima foi de 91 %. Em todo o período histórico estudado e no período do experimento, a eficiência de remoção atendeu ao limite definido pela legislação. Em relação à eficiência de remoção de DQO, o Estado de Minas Gerais define na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos

corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências e define na alínea B, do inciso VIII, parágrafo 4º do artigo 29, que a eficiência tratamento de redução de DQO deve ser no mínimo de 70% e média anual igual ou superior a 75%.

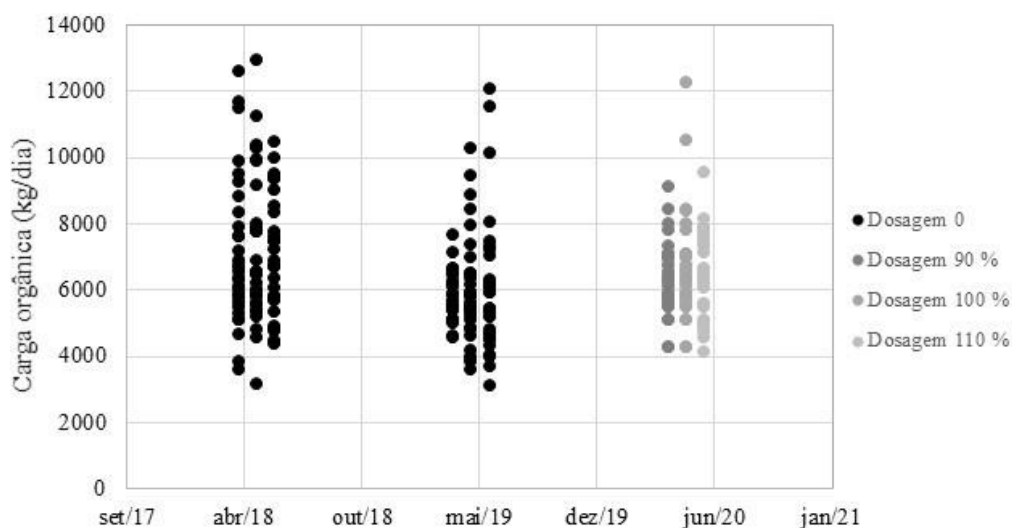
Figura 25 –Eficiência de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) com diferentes doses de catalisador metabólico



A carga orgânica em Demanda Química de Oxigênio (DQO) é o produto entre a vazão em metros cúbicos por dia que chega ao sistema de tratamento de efluentes e a quantidade de matéria orgânica, medida através da DQO medida em mg/L. A geração de lodo em um sistema do tipo lodos ativados está relacionada com a carga orgânica de entrada no sistema de tratamento. No gráfico da figura 26, que apresenta a dispersão da carga orgânica, observa-se que, para todas as dosagens, os valores dos 273 dados da carga orgânica estiveram entre 3129 e 12920 Kg DQO/dia.

Nos dados de carga orgânica nos períodos analisados sem a dosagem do inibidor, ou seja, a dosagem 0, a média foi de 6559 Kg DQO/dia. Com uso do inibidor metabólico foram obtidos os seguintes valores: 6375 Kg DQO/dia para a dosagem 90 %, , 6632 Kg DQO/dia para dosagem 100 % e 6393 Kg DQO/dia para dosagem 110 % . Conforme apresentado nos resultados das tabelas de 8 a 11, considerando o desvio-padrão da carga orgânica de entrada de todo o período analisado, com e sem dosagem, todos os resultados médios da carga orgânica de entrada estiveram dentro dos desvios-padrão calculados.

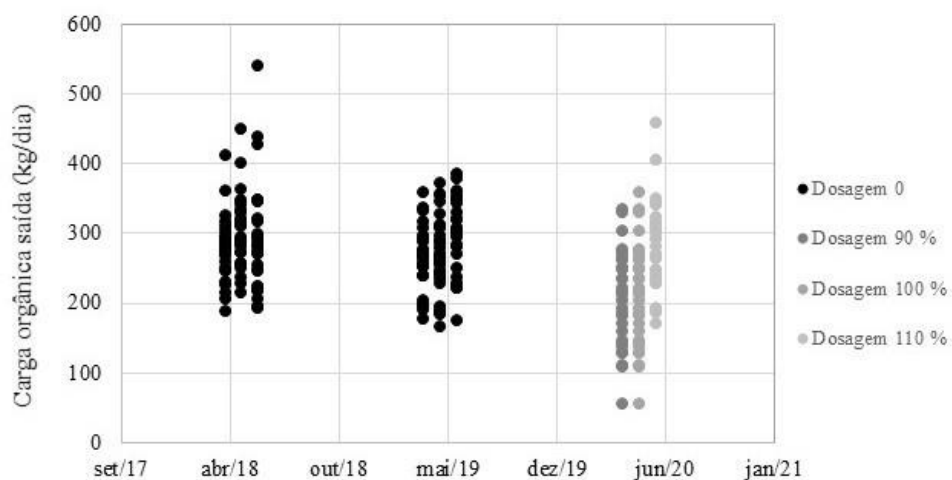
Figura 26 – Dispersão da carga orgânica de entrada do sistema de tratamento de efluentes



Em relação à carga orgânica de saída, os valores médios encontrados nas dosagens de 90 %, 100 % e 110 % foram de 208 Kg/dia, 212 Kg/dia e 282 Kg DQO/dia e, no período analisado sem a dosagem do produto, a quantidade foi de 212 Kg DQO/dia.

As cargas orgânicas de saída, para as dosagens de 90 %, 100 %, 110% e o período sem dosagem representam 97 %, 97 %, 96 % e 95 % daquela de entrada. A figura 27 apresenta a dispersão dos valores da carga orgânica de saída e observa-se que, em todo o período analisado, com e sem a dosagem do produto, os valores estiveram entre 55 Kg DQO/dia e 540 Kg DQO/dia.

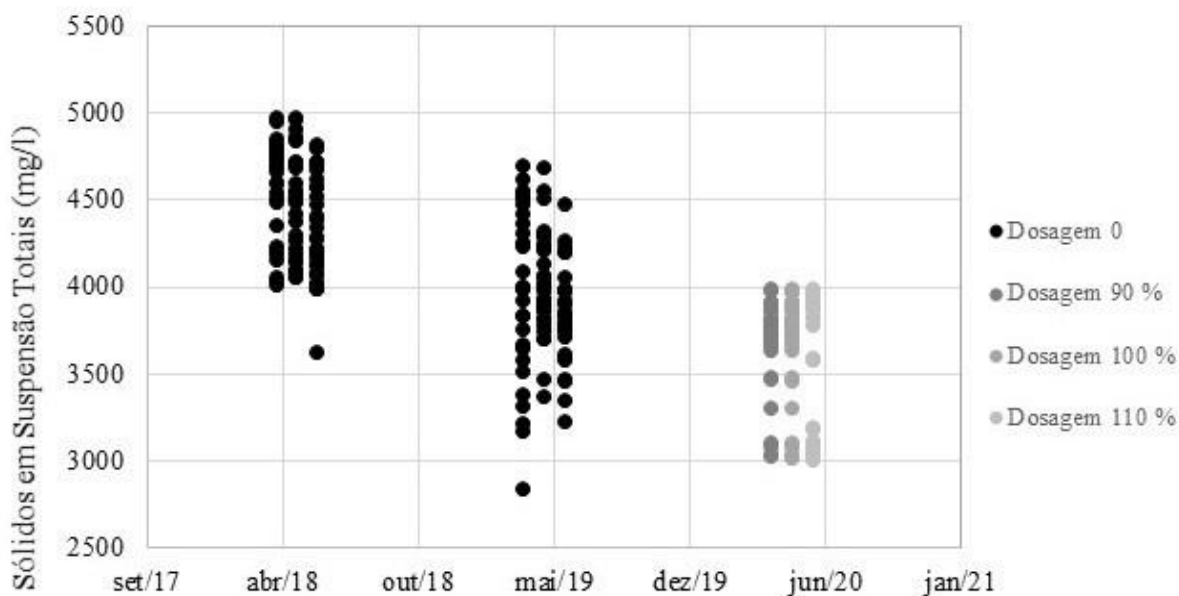
Figura 27 – Dispersão da carga orgânica de saída do sistema de tratamento de efluentes



Sobre a quantidade de sólidos em suspensão total existente dentro do tanque de aeração, como demonstrado na tabela 8, no período analisado sem a dosagem do produto, os valores ficaram entre 2840 mg/L e 4970 mg/L, com média de 4200 mg/L. Para os períodos do experimento, apresentados nas tabelas de 9 a 11, nos três cenários realizados os valores ficaram entre o valor mínimo de 3002 mg/L e o valor máximo de 3987, sendo para a dosagem de 90 % a média de 3661 mg/L, para 100 % 3670 mg/L e 3594 mg/L para a dosagem de 110 %.

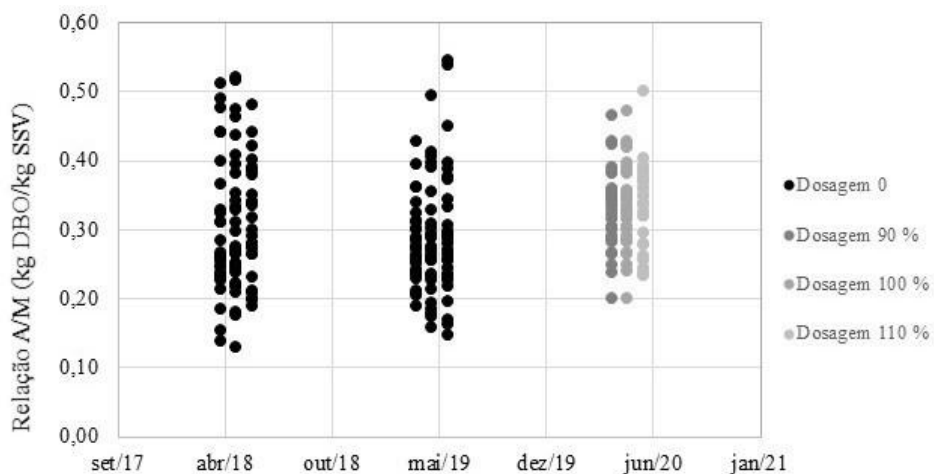
Como apresentado na figura 28, para todos os resultados analisados, com e sem a dosagem do produto, os valores ficaram entre 2840 mg/L e 4970 mg/L, estando todos os resultados dentro da faixa de operação do tanque de aeração do sistema onde o trabalho foi realizado, não havendo interferência da dosagem do produto na quantidade de sólidos em suspensão totais existente no tanque de aeração.

Figura 28 – Dispersão dos sólidos suspensos totais no tanque de aeração



Como apresentado na figura 29, a relação entre a quantidade de substrato e a quantidade de micro-organismos se manteve entre o valor de 0,13 Kg DBO/Kg SSV e 0,54 Kg DBO/Kg SSV, valores dentro da faixa de operação do sistema de tratamento onde o projeto foi realizado.

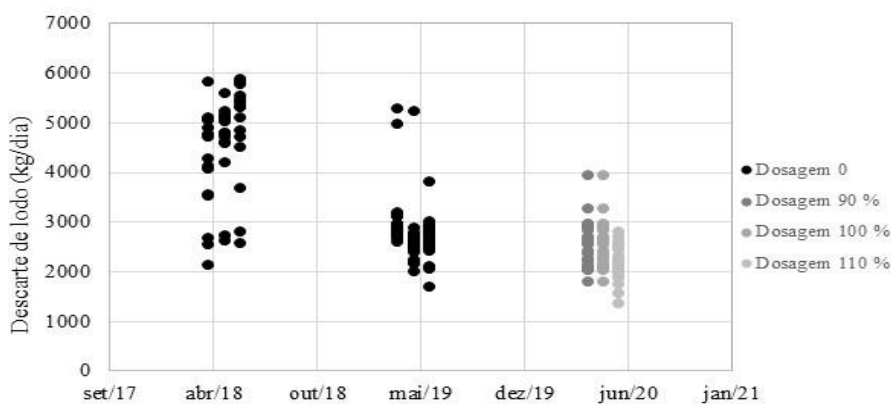
Figura 29 – Dispersão da relação alimento/micro-organismo (A/M) no tanque de aeração



A média de descarte de lodo, apresentado no gráfico da figura 30, para o período histórico estudado, foi de 3466,77 Kg/dia, com descarte mínimo de 1690 Kg/dia e descarte máximo de 5860 Kg/dia. No período de realização do experimento, com a dosagem de 90 % da quantidade do produto recomendada, a média do descarte de lodo foi de 2504,26 Kg/dia, com descarte mínimo 1800 Kg/dia e máximo de 3940 Kg/dia.

Por sua vez, com a dosagem de 100 % da quantidade do produto recomendada, a média do descarte de lodo foi de 2496,25 Kg/dia, com descarte mínimo 1800 Kg/dia e descarte máximo de 3940 Kg/dia, em que os valores máximos e mínimos foram iguais à dosagem mínima. Já com a dosagem de 110 % da quantidade do produto recomendada, a média do descarte de lodo foi de 2180,43 Kg/dia, com descarte mínimo 1360 Kg/dia e descarte máximo de 2800 Kg/dia.

Figura 30 – Dispersão do descarte de lodo

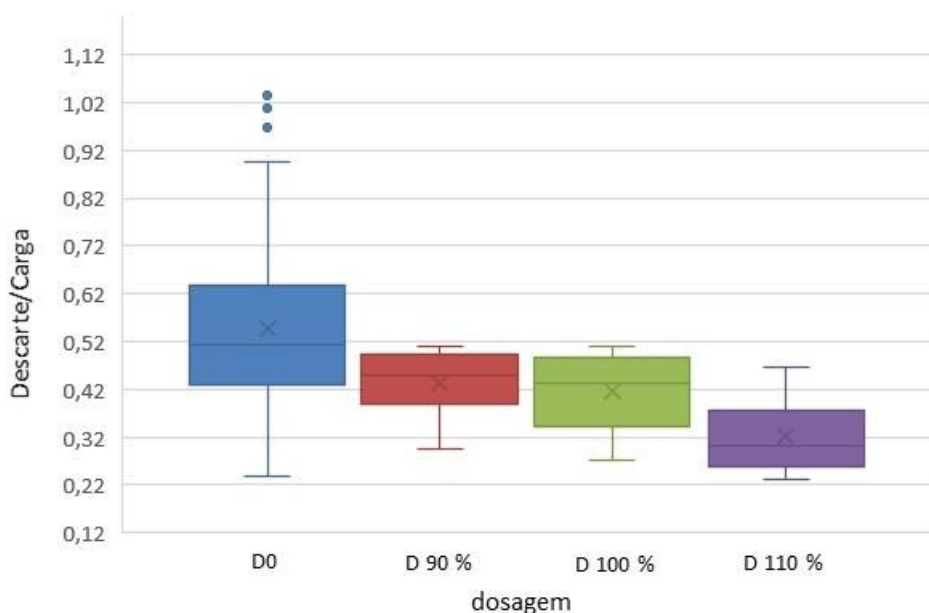


Na figura 31, é apresentada no gráfico de boxplot a relação entre o descarte dos resíduos com a carga orgânica. A relação foi calculada para o período histórico e o período de experimento, sendo os valores expressos em quilograma de resíduo por quilograma de carga orgânica que entrou no sistema de tratamento de efluentes.

Os resultados indicaram que, para o período histórico, 50 % das amostras ficaram entre a relação de 0,43 e 0,65, com média de 0,55. Para as amostras com dosagem de 90%, 50% das amostras ficaram entre a relação de 0,46 e 0,31 com média 0,40. Com uso da dosagem de 100 % do inibidor, 50% das amostras ficaram entre os valores de 0,46 e 0,31 com média de 0,39. Já para a dosagem de 110 % do inibidor, os 50% das amostras ficaram entre os valores de 0,48 e 0,28.

No período de realização do experimento, para as três dosagens, a média da relação entre descarte e carga ficou menor que no período histórico analisado, ou seja, para uma mesma quantidade de carga orgânica, com a utilização do produto houve uma menor geração de lodo.

Figura 31 – Relação entre o descarte e a carga orgânica em função do uso do catalisador metabólico



A relação entre o descarte e a carga diferiu entre tratamentos. No Teste de Kruskal-Wallis, houve diferenças estatisticamente significativas a um nível de significância de 5%, entre os grupos de dosagem, ($p = 1,0001^{-11}$); neste caso foi aplicado o teste de Dunn.

Existe diferença significativa entre o período sem a dosagem do produto (dosagem 0) com o período de dosagem, seja a dosagem 90%, 100% ou 110%. Já entre as dosagens 90 %, 100 % e 110%, comparadas duas a duas, não existe diferença significativa nos dados analisados pelo teste de

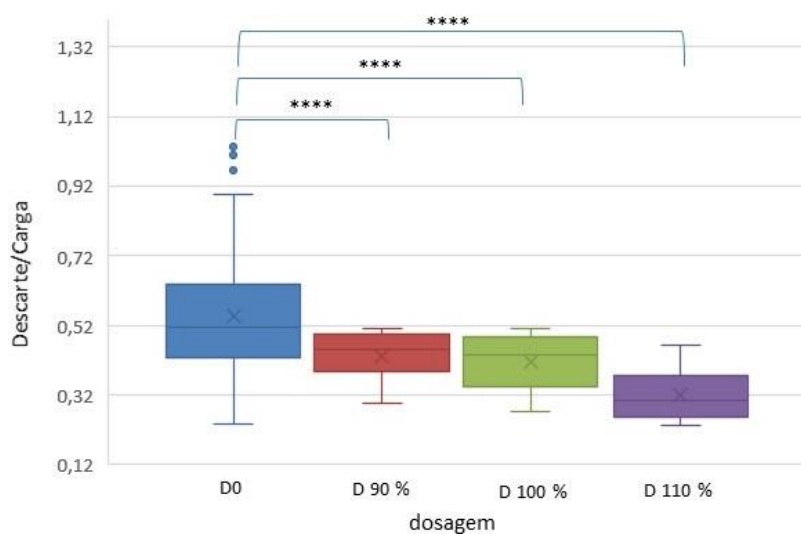
Dunn, como apresentado na tabela 12. Embora na figura 29 perceba-se, na dosagem 110%, uma média da relação descarte/carga aparentemente menor que as dosagens 100% e 90%, os resultados não demonstram diferenças significativas entre os dados.

Tabela 12 – Teste de Dunn para a relação descarte/carga orgânica entre os diferentes tratamentos

Grupo 1	Grupo 2	N ₁	N ₂	Valor p	Conclusão
Dosagem 0	Dosagem 90 %	113	27	0,0000434	Há diferença significativa
Dosagem 0	Dosagem 100%	113	28	0,0000099	Há diferença significativa
Dosagem 0	Dosagem 110%	113	23	0,0000002	Há diferença significativa
Dosagem 90%	Dosagem 100%	27	28	1	Não há diferença significativa
Dosagem 90%	Dosagem 110%	27	23	1	Não há diferença significativa
Dosagem 100%	Dosagem 110%	28	23	1	Não há diferença significativa

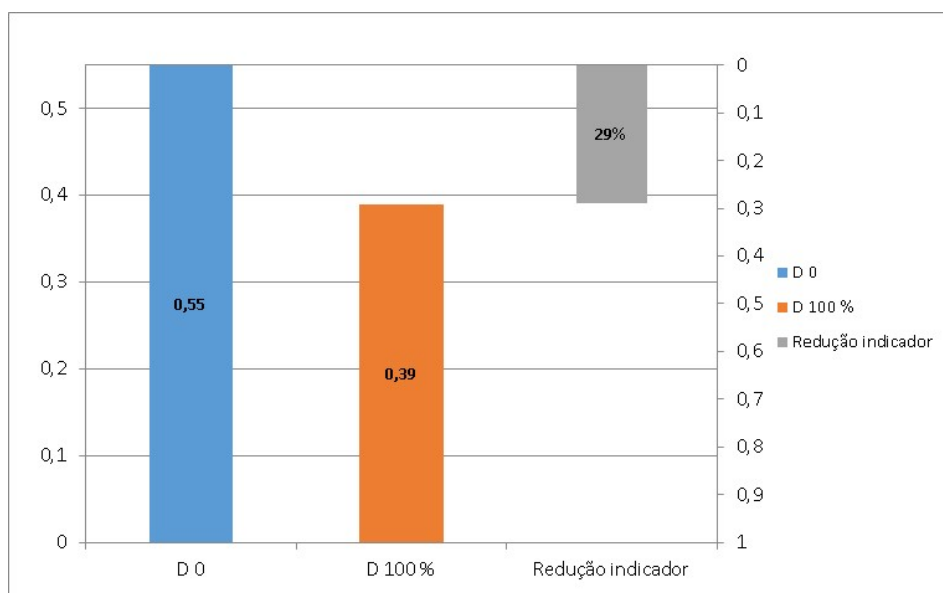
Os resultados dos dados históricos são diferentes dos demais resultados gerados da dosagem do catalisador metabólico para a relação descarte/carga de cada um dos grupos. Na figura 32 são apresentados os resultados dos testes de hipóteses. Os asteriscos indicam a diferença significativa pelo teste de Dunn.

Figura 32 – Relação entre o descarte e a carga orgânica com comparação entre tratamentos pelo teste de hipóteses de Dunn. Os asteriscos representam contrastes entre médias estatisticamente significativos.



O percentual de redução do indicador descarte/carga entre o período histórico analisado, definido como Dosagem 0, e o período de teste, representado pela dosagem de 100 % foi de 29 %, como mostrado na figura 33, visto que a relação para o período da Dosagem 0 foi de 0,55 e do período de dosagem de 100 % foi de 0,39, sendo a diferença entre as dosagens igual a 16 – o que representa redução de 29 %.

Figura 33 – Apresentação dos indicadores descarte/carga com percentual de redução do indicador



4.1 Resultado da análise de viabilidade financeira

Como houve diferença estatística apenas entre os sistemas sem uso e com uso do catalisador metabólico, independentemente da dose utilizada durante a realização do experimento, para a verificação da viabilidade econômica foi utilizada a média da relação entre o descarte e a carga da dosagem de 100% da dosagem indicada – neste caso o valor de 0,39 Kg/Kg. Essa relação foi comparada com a média da relação calculada no período histórico, ou seja, 0,55 Kg/Kg.

Como apresentado anteriormente, a redução na relação descarte/carga do período do experimento foi de 29 % em relação ao período histórico analisado, o que significa dizer que, para uma mesma quantidade de carga orgânica em DQO, utilizando-se o inibidor metabólico, a

quantidade de resíduo de lodo biológico retirada do sistema de tratamento foi 29 % menor que a quantidade de lodo biológico gerada no período sem a utilização do catalisador metabólico.

Como a redução ocorrida foi no valor absoluto da quantidade do lodo destinado e o valor financeiro pago pela empresa para a destinação é sobre o valor total de resíduos destinado em um período de tempo, pode-se afirmar que os custos totais com o destino deste resíduo também terão redução de 29 % no que tange à destinação final utilizada pela empresa.

A média de destino do lodo no período histórico estudado foi de 3467 Kg/dia e o custo de destinação no período em que o experimento foi realizado de R\$ 220,00 (duzentos e vinte reais) por tonelada; dessa forma, tendo o custo total de destinação diário de R\$ 762,74 (setecentos e sessenta e dois reais e setenta e quatro centavos) e custo mensal de R\$ 22.882,20 (vinte e dois mil, oitocentos e oitenta e dois reais e vinte centavos), como apresentado na tabela 13.

Tabela 13 – Custo com a destinação do lodo de um sistema de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de laticínios localizada em Sete Lagoas, MG, durante os meses de abril, maio e junho dos anos de 2018 e 2019, período histórico avaliado.

Descrição	Quantidade (Kg) ou Valor (R\$)
Quantidade destinada	3467 Kg/dia
Custo destinação unitária	R\$ 220,00 / tonelada
Custo diário de destinação	R\$ 762,74 / dia
Custo mensal de destinação	R\$ 22.882,20 / mês

Na tabela 14, está demonstrada a quantidade de lodo evitada em função da redução de 29 % na geração do lodo e a consequente redução no custo de destinação desse resíduo. Neste caso a redução de 29 % na geração de lodo produz redução no custo financeiro de R\$ 221,19 (duzentos e vinte e um reais e dezenove centavos) por dia, decorrente da redução de 1005,43 Kg/dia de lodo. A redução diária produz a redução total mensal de R\$ 6.635,84 (seis mil, seiscentos e trinta e cinco reais e oitenta e quatro centavos), cerca de US\$ 1.184,97.

Tabela 14 – Custo evitado com a redução do lodo de um sistema de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de laticínios localizada em Sete Lagoas, MG, no período de teste, maio de 2020

Descrição	Quantidade (kg) ou Valor (R\$)
Quantidade reduzida de lodo	1005,43 kg/dia
Custo destinação unitária	R\$ 220,00 / tonelada
Custo diário evitado com a destinação	R\$ 221,19 / dia
Custo mensal evitado com a destinação	R\$ 6.635,84 / mês

Já na tabela 15, apresenta-se o resultado final da viabilidade financeira do uso do catalisador metabólico, levando-se em consideração o custo mensal com a aquisição e aplicação do catalisador metabólico, de R\$ 3.850,00 (três mil, oitocentos e cinquenta reais). Nesse caso, considerando o custo da redução financeira com a destinação dos resíduos de R\$ 6.635,84 (seis mil, seiscentos e trinta e cinco reais e oitenta e quatro centavos) e subtraindo desse valor o custo da aquisição do catalisador metabólico, a economia mensal total encontrada com a aplicação do inibidor foi de R\$ 3.014,66 (três mil e quatorze reais e sessenta e seis centavos).

Com o uso do catalisador metabólico, a redução financeira total foi de 13,17 % em relação ao custo total com a destinação dos resíduos sem o uso do catalisador metabólico.

Tabela 15 – Custo evitado com a redução do lodo de um sistema de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de laticínios localizada em Sete Lagoas, MG, no período de teste

Descrição	Quantidade (kg) ou Valor (R\$)
Custo mensal com aquisição do catalisador metabólico	R\$ 3.850,00 mês
Custo mensal evitado com a destinação	R\$ 6.635,84 / mês
Economia com destinação considerando uso do catalisador metabólico	R\$ 3.014,66 / mês
Economia percentual total	13,17 %

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento realizado atendeu aos objetivos e avaliou como eficiente o uso do catalisador metabólico para reduzir a produção de lodo biológico em um processo de tratamento do tipo lodos ativados de uma indústria de laticínio, uma vez que promoveu a redução de 29 % na geração de resíduos e uma economia de 13 % nos custos de destinação final dos resíduos. Contudo, recomenda-se a realização de outros experimentos que possam avaliar o uso do catalisador metabólico em outras atividades industriais, outras concentrações e realidades de aplicação. Como produto técnico foi elaborado um Procedimento Operacional Padrão orientando a dosagem do catalisador em tanque de aeração.

6 REFERÊNCIAS

- 1) ABNT: **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** (1986a). NBR 9800: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
- 2) ANDRADE, L. H. TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS POR DUAS CONFIGURAÇÕES DE BIORREATOR COM MEMBRANAS E NANOFILTRAÇÃO VISANDO O REÚSO. 2011. 214p. **Dissertação (Pós-graduação)**-Escola de Engenharia da UFMG/Universidade de Minas Gerais, 2011
- 3) ANDREOLI, C.V. et al. Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Solução; Curitiba, Sanepar, **Finep**, 2ª edição, 2001, p.14-47.
- 4) AKERBOOM, R. K. BERGER, H. F. LUTZ, P. **Folic acid reduces the use of secondary treatment additives in treating wastewater from paper recycling. International Environmental Conference Book 1**, Portland, Oregon, EUA, 17-20 de Abril/1994, 9p.
- 5) BENTO, A. P., SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., REGINATTO, V., LAPOLLI, F. R. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.
- 6) BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA. Resolução nº 430, 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Diário Oficial da república federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 de maio de 2011.
- 7) CAMMAROTA, M. C. **Apostila de Tratamento de efluentes líquidos**. Escola de Química, Departamento de Engenharia Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.
- 8) FREIRE, D. M. G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 17, p. 2195- 2210, 2006.
- 9) CETESB. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/agua/variaveis.asp>. Acesso em: 19 fev. 2012. Não paginado.
- 10) CHON, D. H. Performance and mechanisms of excess sludge reduction in the CannibalTM process. **M ' T PI & A** 71 p. 2005.
- 11) CHUDOBA, P. MOREL, A. CAPEDEVILLE, B. The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system. **Environ. Technol.**, v. 13, p. 761-770, 1992.

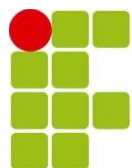
- 12) COSTA, R.N.P.; PINHEIRO, E.M. O cenário do saneamento básico no Brasil. **Educação Ambiental em Ação**. v. 17, nº 66. 2018. Acesso em: 10 de maio de 2021. Disponível em <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=3523>>.
- 13) CREPALLI, M. S. **Qualidade da água do Rio Cascavel**. Paraná, 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2007.
- 14) EASWARAN, S.P. Developing a mechanistic understanding and optimization of the Cannibal process, **Masters Thesis**, VPI & SU, VA. 66 p. 2006.
- 15) FOLADORI, P. TAMBURINI, S. BRUNI, L., Bacteria permeabilisation and disruption caused by sludge reduction technologies evaluated by flow cytometry. **Water Research**, v. 44, p, 4888-4899, 2010.
- 16) **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION**. Disponível em: <http://www.fao.org>, 2021. Acesso em: 23 out. 2021.
- 17) FURTADO, V.V. **Estudo da Minimização da Produção de Lodo em Sistemas de Lodos Ativado para Esgoto Sanitário**. Florianópolis, Maio 2015
- 18) GIORDANO, G. **Apostila de Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. Rio de Janeiro:UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004.7
- 19) HAO, Q. et al. Using a hybrid of green chemistry and industrial ecology to make chemical production greener. **Resources, Conservation and Recycling**, 2017.
- 20) HENARES, JULIANA. F. Characterization of Dairy effluent: Analysis and Treatment Proposal. 2015, 51 f. **Work Course Conclusion (Food Engineering)**, Paraná Federal Technological University.Campo Mourão, 2015.
- 21) KHURSHEED, A., KAZMI, A. A. Retrospective of ecological approaches to excess sludge reduction. **Water Research**, v. 45, p. 4287- 4310, 2011.
- 22) LIU, Y. e TAY, J. H. Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process. **Biotechnology Advances**, v. 19, p. 97-107, 2001.
- 23) LOW, E. W. CHASE, H. A. MILNER, M.G. CURTIS, T. P. Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process. **Water Research**, v. 34, n. 12, p. 3204-3212, 2000.
- 24) LUDUVICE, M. **Processos de estabilização de lodos**. In: Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 484p.

- 25) MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. **Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios**. Belo Horizonte: Segrac, 2002, 223 p.
- 26) MARTINS, C. L. PIRES, A. S. C. D. VELHO, V. F. DUARTE, E. C. N. F. A. COSTA, R. H. R. Avaliação do desempenho do processo OSA na redução da produção de lodo em um sistema de tratamento piloto de lodo ativado. . In: **XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** – Rio de Janeiro, Brasil, 2015.
- 27) MAZZER, C.; CAVALCANTI, O.A.; Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma.**, v.16, n.11-12, p.67-77, 2004.
- 28) METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**. Nova Iorque, EUA, McGraw-Hill, 2003, 4ª Edição, 1815p.
- 29) NASCIMENTO, Nívia de Mello. Avaliação de metodologias de tratamento de efluentes industriais com vistas ao reúso. 2016. 52 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial)** - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 2016.
- 30) PÉREZ-ELVIRA, S. I. DIEZ, P. N. AND FDZ-POLANCO, F. Sludge minimization technologies. **Environmental Science and Biotechnology**, v.5, p. 375- 398, 2006.
- 31) PONEZI, A. N. **Estratégia para a Redução da Produção de Lodo em Processo de Lodos ativados** 2005, [S.l: s.n.], 2005.
- 32) RAMDANI, A. DÉLÉRIS, S. LAMARRE, D. GADBOIS, A. COMEAU, Y. Biodegradation of the endogenous residue of activated sludge. **Water Research**, v. 44, n. 7, p. 2179-2188, 2010.
- 33) RAMOS, S.R.A. MARTINS, C. L. LOPES, A. M. B. COSTA, R. H. R. Avaliação da aplicação de ácido fólico em processo de lodos ativados. In: **Anais XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - XII SIBESA**, Natal, Brasil, 2014.
- 34) SABY, S., DJAFER, M. e CHEN, G. H. Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process. **Water Research**, v. 37, p. 11-20, 2003.
- 35) SCHMIDELL, W. SOARES, H. M. ETCHEBEHERE, C. MENES, R. J. BERTOLA, N. C. CONTRERAS, E. M. **Tratamento biológico de águas residuárias**. CNPq, 2007.
- 36) SENÖRER, E. e BARLAS, H. Effects of folic acid on the efficiency of biological wastewater treatment. Fresenius **Environmental Bulletin**, Turquia, v. 13, n. 10, 2004.
- 37) SILVA, A. S.; OLIVEIRA R. **Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias**. Rio de Janeiro: UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017

- 38) STRUKHEIDE, J. Stabilized folic acid vitamin for the reduction of excess sludge in sewage treatment plants: **experimental reports, masters and doctoral thesis and publications on the use of Dosfolat from 1986 to 2004**, www.dosfolat.de, 2004.
- 39) WEI, Y., VAN HOUTEN, R. T., BORGER, A. R., EIKELBOOM, D. H., FAN, Y. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. **Water Research**, v. 37, p. 4453-4467, 2003.
- 40) VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2016. 452 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

Apêndice – Produto Técnico e Tecnológico

O experimento realizado originará um manual descrevendo os potenciais benefícios do uso do catalisador metabólico, bem como sua forma de aplicação, seu ponto de dosagem, a monitoração dos dados e a análise do custo e do benefício da utilização do produto em sistemas de lodos ativados de indústrias de laticínio e itens entre outras informações.



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS**

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO

DOSAGEM DE CATALISADOR METABÓLICO EM TANQUE DE AERAÇÃO DE LODOS ATIVADOS

Novembro 2021

Procedimento Operacional Padrão para dosagem de catalisador metabólico em tanque de aeração de lodos ativados

Produto técnico e tecnológico elaborado a partir do artigo Avaliação do Uso de Um Catalisador metabólico na Redução da Geração de Resíduos Sólidos em Um Sistema de Tratamento de Efluentes do Tipo Lodos Ativados

Elaborado no Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG Orientado: Mauricio Petenusso

Orientador: Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

BambuÍ, 2021

1. OBJETIVO

Padronizar a dosagem do catalisador metabólico em tanques de aeração de lodos ativados.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Este procedimento se aplica a sistemas do tratamento de efluentes do tipo lodo ativados de indústrias de laticínio.

3. RESPONSABILIDADES

Função	Responsabilidade
Técnico de Campo	<ul style="list-style-type: none">- Definir a quantidade de catalisador metabólico a ser dosada no tanque de aeração;- Analisar os resultados analíticos dos parâmetros analisado;- Supervisionar a dosagem e tomar decisão;
Operador do sistema	<ul style="list-style-type: none">- Preparar a solução de dosagem do catalisador;- Checar o funcionamento dos equipamentos;- Realizar a coleta de efluentes para análises;- Realizar coleta de amostras para realização de análise.

4. SEGURANÇA DO TRABALHO

Os trabalhadores do sistema de tratamento de efluentes devem estar utilizando os seguintes equipamentos de proteção individual – EPI's:

- Calçado de segurança;
- Óculos de segurança;
- Luvas de látex.
- Palete de contenção para armazenamento dos produtos.

Antes do uso, o usuário deve:

- Inspecionar EPI e substituí-lo sempre que estiver danificado;
- Conhecer e consultar o Mapa de Riscos do seu setor;
- Higienizar os EPI's sempre que necessário;
- Conhecer a FISPQ do catalisador metabólico;
- Identificar possíveis pontos de risco de acidentes e imediatamente comunicar ao técnico de campo.

5. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

5.1 Preparação da solução de dosagem do catalisador metabólico

- A solução de dosagem deve ser realizada na concentração de 25 %;
- Utilizando os EPI's, deve-se coletar 12,5 l do catalisador na bombona do produto e adicionar no tanque de dosagem;
- No caso de emergência com o catalisador, deve-se seguir conforme orientação da FISPQ do produto;
- A foto 1 demonstra a bombona de catalisador na forma concentrada;



Foto1: Bombona de produto concentrado

- Após adicionar o catalisador no tanque de 50 litros e completar o volume do tanque com água até a marca indicada;
- A bombona do produto concentrado e da concentração de dosagem devem ficar acondicionadas em cima de um palete de contenção, conforme apresentado na foto 2.



Foto2: palete de contenção com as bombonas

5.2 Dosagem da solução no tanque de aeração

- Quando a solução de dosagem estiver pronta para uso, deve-se colocar uma ponta da mangueira de sucção do produto dentro da bombona, certificando de que a mangueira este já até o fundo da bombona;

- A outra ponta da mangueira deve estar conectada na bomba de dosagem do produto;
- O conjunto bomba de dosagem e bombona de solução deve ficar conforme demonstrado na figura 3;



Foto3: Mangueras na bomba e na bombona

- Após montagem das mangueras de sucção da bombona, deve-se garantir a instalação da mangueira na tubulação do efluente através da confirmação de conexão da mangueira na tubulação conforme indicado na foto 4.



Foto 4: Mangueras na bomba e na bombona

- A dosagem da solução é realizada através das bombas de dosagem e a regulagem da vazão de dosagem deve ser realizada pelo técnico de campo;

5.3 Parâmetros de controle

- Deve ser coletado amostra para análise de DQO na entrada do sistema de tratamento e coleta na saída no sistema de tratamento de efluentes;
- Com os resultados das análises deve ser calculado a performance de redução do sistema através da seguinte fórmula:

$$\text{DQO entrada} - \text{DQO saída} / \text{DQO entrada}$$

Se a performance de redução de um dia para o outro, tiver uma redução igual ou maior que 5 % deve-se suspender a dosagem do produto e aguardar a orientação do técnico de campo.

- Diariamente devem ser analisados os parâmetros:
 - Performance de remoção;
 - F/M
 - Sólidos do tanque de areação
 - Quantidade de lodo descartada.

6. DESVIOS

Sempre que houver desvios das atividades ou parâmetros descritos no POP, informar ao Técnico de Campo para verificação da necessidade ajuste de processo.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DO PRODUTO QUÍMICO

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 1/8

1- IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome do produto: CATALISADOR METABÓLICO PLUS

Empresas:

Nome Fantasia:

Endereço:

Telefone da empresa:

E-mail:

2- IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

Classificação de perigo do produto químico: Produto não classificado como perigoso pelo Sistema de Classificação utilizado

Sistema de classificação utilizado: Norma ABNT-NBR 14725-2:2009, sistema globalmente harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, ONU

Outros perigos: Não conhecido

Elementos apropriados da rotulagem:

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 2/8

**Recomendações de precaução:**

Lave as mãos após o manuseio do produto.
 Durante o manuseio do produto, não beba, coma ou fume.
 Recomenda-se a utilização de EPIs adequados durante o manuseio do produto.
 Armazene o produto em local adequado.
 Em caso de emergência, proceda conforme indicações da FISPQ.

3- COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

Nome Químico: Complexo Vitamínico

FDA Não aplicável

CAS: Não aplicável

4- MEDIDAS DE PRIMEIROS-SOCORROS**Medidas de primeiros-socorros**

Inalação: Remova a vítima para o local ventilado. Se necessário, procure ajuda médica.

Pele: Lave a pele exposta com sabão e água por pelo menos 15 minutos. Se necessário procure ajuda médica.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 3/8

Olhos:	Enxague cuidadosamente com água durante no mínimo 15 minutos, mantendo as pálpebras abertas. Caso a irritação ocular persista. Procure um médico e leve a FISPQ.
Ingestão:	NÃO INDUZA O VÔMITO. Se for ingerido, beba 2 copos de leite. Nunca dê nada para a vítima inconsciente. Caso sinta indisposição, contate um médico e leve a FISPQ.
Proteção do prestador de socorro e/ou notas para o médico:	Em todos os casos procurar atendimento médico. No caso de um acidente de grandes proporções o prestador de socorro deverá estar com todo o EPI necessário.

5- MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios de extinção:	Pó extintor.
Perigos específicos da mistura ou substância:	Este produto não pega fogo.
Equipamentos para proteção dos brigadistas / bombeiros:	Usar equipamento de proteção individual apropriado.

6- MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Precauções pessoais	
Remoção de fonte de ignição:	Produto não inflamável.
Precauções ao meio ambiente:	
Procedimentos a serem adotados:	Não aplicável.
Métodos para limpeza	

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 4/8

Procedimentos a serem adotados: Precisa para que os despejos não contaminem os arredores.

7- MANUSEIO E ARMAZENAMENTO**Medidas técnicas apropriadas para o manuseio**

Precauções para manuseio seguro: Manusear de acordo com as normas de segurança para produtos químicos. Garantir ventilação adequada.

Medidas de higiene: Não coma, beba ou fume durante o manuseio do produto. Lave bem as mãos antes de comer, beber, fumar ou ir ao banheiro. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes de sua reutilização.

Medidas para armazenamento

Apropriadas: Local fresco, seco, bem-ventilado e a prova de fogo. Manter os recipientes bem fechados. Fora do alcance das crianças.

Inapropriadas: Não disponível.

Materiais para embalagens: Semelhante à embalagem original.

8- CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL**Parâmetros de controle**

Medidas de controle e engenharia: Use adequado sistema de ventilação para manter os limites de exposição o mais baixo possível.

Equipamento de proteção individual apropriado

Proteção dos olhos/face: Use óculos de segurança.

Proteção da pele e do corpo: Utilizar luvas de neoprene para manusear o produto e botas de segurança.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 5/8

Precauções especiais: De acordo com as condições de trabalho.

9- PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

Estado Físico:	Líquido
Aparência:	Alaranjado
Odor:	Inodoro
pH:	8,30 - 10,30
Densidade:	1,030 g / cm ³
Ponto de fusão:	-18,0°C
Ponto de ebulição:	250°C
Ponto de fulgor:	Não aplicável
Risco de explosão:	O produto não é explosivo
Solubilidade em Água:	Completamente Solúvel

10- ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Estabilidade Química:	Estável
Condições a serem evitadas:	Aquecimento do produto
Materiais ou substâncias incompatíveis:	Temperaturas excessivas, ácidos e bases fortes e agentes oxidantes
Produtos perigosos da decomposição:	Em altas temperaturas (>250°C) pode haver a decomposição do produto em Dióxido de Carbono e formação de Amônia

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 6/8

11- INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade aguda:	Este produto não é considerado tóxico para os peixes.
Corrosão / irritação da pele:	Não é esperado que o produto provoque irritação da pele.

12- INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS**Efeitos ambientais, comportamento e impactos do produto:**

Ecotoxicidade:	Este produto não é considerado tóxico para organismos aquáticos
Persistência e degradabilidade:	Não aplicável
Potencial bioacumulativo:	Não aplicável
Modalidade ao solo:	Não aplicável

13- CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO**Métodos de tratamento e disposição:**

Produto:	O produto e seus resíduos devem ser dispostos de acordo com a regulamentação local vigente.
Restos de produtos:	Manter restos do produto em suas embalagens originais e devidamente fechadas. O descarte deve ser realizado conforme o estabelecido para o produto.
Embalagem usada:	Não reutilize embalagens vazias. Estas podem conter restos do produto e devem ser mantidas fechadas e encaminhadas para descarte apropriado conforme estabelecido para o produto.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 7/8

14- INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE**Regulamentações nacionais e internacionais**

Regulamentações Nacionais e Internacionais:	Este produto não é considerado perigoso para o transporte terrestre, marítimo e aéreo, de acordo com os respectivos regulamentos.
---	---

Transporte Rodoviário no Brasil:	Este produto não é classificado como perigoso para transporte de acordo com a Regulamentação de Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos – Ministério dos Transportes – Portaria n. 204 de 20/05/1997.
----------------------------------	---

Nº ONU:	Não classificado como perigoso para transporte
---------	--

Nome apropriado para o embarque:	Não aplicável
----------------------------------	---------------

15- REGULAMENTAÇÕES

Regulamentações:	O produto não é classificado como perigoso segundo a diretiva 67/548 da Comunidade Europeia.
------------------	--

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO**PRODUTO: CATALISADOR METABÓLICO PLUS**

Revisão: 07

Data: 03/05/2021

Página: 8/8

16- OUTRAS INFORMAÇÕES

Esta FISPQ foi elaborada baseada nos conhecimentos atuais do produto químico e fornece informações quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente.

Adverte-se que o manuseio de qualquer substância química requer o conhecimento prévio de seus perigos pelo usuário. Cabe à empresa usuária do produto promover o treinamento de seus empregados e contratados quanto aos possíveis riscos advindos do produto.

– *Chemical Abstracts Service*

LD₅₀ – Dose letal 50% (uma dose que possa causar a morte de 50% da população exposta, através de qualquer rota, exceto inalação);

LC₅₀ – Concentração letal 50% (concentração no ambiente capaz de causar a morte de 50% da população, sob teste, exposta);

ANEXO – Tabela de Dados

Mês/Ano	Dia	Vazão (m3/dia)	DQO (entrada)	DQO (saida)	Eficiência remoção (%)	Sólidos suspensos totais (mg/l)	Idade Lodo	Descarte (kg/dia)	Carga E (kg/dia)	Carga S (kg/dia)	Atuação	Dosagem	Descarte/Carga	F/M
abr/18	1	1722	3896	144	96,30%	4714	16	2670	6709	248	Não	0	0,40	0,27
abr/18	2	1831	3295	169	94,87%	4795	17		6033	309	Não	0		0,24
abr/18	3	1776	2022	106	94,76%	4850	19		3591	188	Não	0		0,14
abr/18	4	1757	2640	129	95,11%	4694	17	3530	4638	227	Não	0	0,76	0,19
abr/18	5	1801	2823	127	95,50%	4187	14		5084	229	Não	0		0,23
abr/18	6	1688	3257	179	94,50%	4050	15	3550	5498	302	Não	0	0,65	0,25
abr/18	7	1784	5555	162	97,08%	4208	16		9910	289	Não	0		0,44
abr/18	8	1959	3212	145	95,49%	4509	17	2140	6292	284	Não	0	0,34	0,26
abr/18	9	1975	3325	136	95,91%	4773	17		6567	269	Não	0		0,26
abr/18	10	1996	3458	138	96,01%	4970	16	4060	6902	275	Não	0	0,59	0,26
abr/18	11	2298	5481	157	97,14%	4819	16		12595	361	Não	0		0,49
abr/18	12	1696	2264	136	93,99%	4685	15		3840	231	Não	0		0,15
abr/18	13	1996	4638	149	96,79%	4734	15	5090	9257	297	Não	0	0,55	0,37
abr/18	14	1722	4848	169	96,51%	4818	16	4110	8348	291	Não	0	0,49	0,32
abr/18	15	1831	3917	149	96,20%	4746	16		7172	273	Não	0		0,28
abr/18	16	1776	2978	116	96,10%	4010	17		5289	206	Não	0		0,25
abr/18	17	1731	3672	156	95,75%	4819	16	2540	6356	270	Não	0	0,40	0,25
abr/18	18	1804	3113	157	94,96%	4534	16	4270	5616	283	Não	0	0,76	0,23
abr/18	19	1776	3495	161	95,31%	4824	16		6101	286	Não	0		0,24
abr/18	20	1850	2745	116	95,77%	4486	15	4750	5078	215	Não	0	0,94	0,21
abr/18	21	2295	2935	179	93,90%	4948	0	5820	6736	411	Não	0	0,86	0,26
abr/18	22	1989	2908	141	95,15%	4656	15	4890	5784	280	Não	0	0,85	0,23
abr/18	23	2075	5543	157	97,17%	4222	17		11502	326	Não	0		0,51
abr/18	24	1911	3987	129	96,76%	4347	16		7619	247	Não	0		0,33
abr/18	25	1812	5242	143	97,27%	4034	17	5040	9499	259	Não	0	0,53	0,44
abr/18	26	1970	5922	160	97,30%	4594	16		11666	315	Não	0		0,48
abr/18	27	1897	4172	145	96,52%	4766	15		7914	275	Não	0		0,31
abr/18	28	1770	4995	152	96,96%	4155	17	5070	8841	269			0,57	0,40
abr/18	29	1684	3473	148	95,74%	4789	15		5849	249	Não	0		0,23
abr/18	30	1853	4102	158	96,15%	4590	15	4720	7601	293	Não	0	0,62	0,31
mai/18	1	1769	3300	129	96,09%	4366	14		5838	228	Não	0		0,25
mai/18	2	1768	3007	145	95,18%	4589	16		5316	256	Não	0		0,22
mai/18	3	1896	2532	144	94,31%	4970	16	4200	4801	273	Não	0	0,87	0,18
mai/18	4	2050	2946	161	94,53%	4498	16	4710	6039	330	Não	0	0,78	0,25
mai/18	5	1936	5103	162	96,83%	4706	15	5590	9879	314	Não	0	0,57	0,39
mai/18	6	1845	3737	152	95,93%	4717	16		6895	280	Não	0		0,27
mai/18	7	2056	3781	156	95,87%	4139	14		7774	321	Não	0		0,35
mai/18	8	2097	5371	158	97,06%	4050	14	4790	11263	331	Não	0	0,43	0,52
mai/18	9	2239	3520	162	95,40%	4509	16		7881	363	Não	0		0,33
mai/18	10	2047	3210	166	94,83%	4146	14	4600	6571	340	Não	0	0,70	0,30
mai/18	11	2127	2782	162	94,18%	4187	13		5917	345	Não	0		0,26
mai/18	12	1832	2847	139	95,12%	4056	17		5216	255	Não	0		0,24
mai/18	13	2015	6412	157	97,55%	4698	16		12920	316	Não	0		0,52
mai/18	14	1736	4463	144	96,77%	4685	15	2620	7748	250	Não	0	0,34	0,31
mai/18	15	1984	5012	146	97,09%	4261	15		9944	290	Não	0		0,44
mai/18	16	1749	3756	163	95,66%	4546	16	2730	6569	285	Não	0	0,42	0,27
mai/18	17	1760	3143	163	94,81%	4688	19		5532	287	Não	0		0,22
mai/18	18	1760	5905	154	97,39%	4216	17		10393	271	Não	0		0,46
mai/18	19	1520	4073	155	96,19%	4902	17	5100	6191	236	Não	0	0,82	0,24
mai/18	20	2231	3520	139	96,05%	4299	17	5090	7853	310	Não	0	0,65	0,34
mai/18	21	2166	3003	144	95,20%	4957	15	5140	6504	312	Não	0	0,79	0,25
mai/18	22	1998	2920	156	94,66%	4093	16		5834	312	Não	0		0,27
mai/18	23	2203	2938	131	95,54%	4419	16	5230	6472	289	Não	0	0,81	0,27
mai/18	24	2246	2037	155	92,39%	4861	16		4575	348	Não	0		0,18
mai/18	25	2110	2542	122	95,20%	4832	17	4800	5364	257	Não	0	0,89	0,21
mai/18	26	1700	5385	126	97,66%	4501	15		9155	214	Não	0		0,38
mai/18	27	2067	4973	142	97,14%	4718	16	4570	10279	294	Não	0	0,44	0,41
mai/18	28	1924	1637	151	90,78%	4539	15		3150	291	Não	0		0,13
mai/18	29	2196	3633	151	95,84%	4486	30		7978	332	Não	0		0,33
mai/18	30	2640	3907	170	95,65%	4085	16	5020	10314	449	Não	0	0,49	0,47
mai/18	31	2568	2200	156	92,91%	4850	16		5650	401	Não	0		0,22
jun/18	1	2769	3605	195	94,59%	4789	16		9982	540	Não	0		0,39
jun/18	2	2193	3065	158	94,85%	4514	15	4830	6722	346	Não	0	0,72	0,28
jun/18	3	1742	5173	161	96,89%	4814	14	5100	9011	280	Não	0	0,57	0,35
jun/18	4	2050	4578	133	97,09%	4574	12		9385	273	Não	0		0,38
jun/18	5	2175	4367	145	96,68%	4219	13	3680	9498	315	Não	0	0,39	0,42
jun/18	6	1944	3829	151	96,06%	4114	13		7444	294	Não	0		0,34
jun/18	7	1791	4325	164	96,21%	4269	12	5460	7746	294	Não	0	0,70	0,34
jun/18	8	1900	3058	225	92,64%	4006	17	5860	5810	428	Não	0	1,01	0,27
jun/18	9	1600	3071	136	95,57%	4402	20		4914	218	Não	0		0,21
jun/18	10	1768	4213	126	97,01%	3618	20	5540	7449	223	Não	0	0,74	0,39
jun/18	11	1450	3914	133	96,60%	4022	20		5675	193	Não	0		0,26
jun/18	12	1950	4273	115	97,31%	4613	16	5780	8332	224	Não	0	0,69	0,34
jun/18	13	1870	3253	145	95,54%	4123	19		6083	271	Não	0		0,28
jun/18	14	1680	2656	205	92,28%	3989	18		4462	344	Não	0		0,21
jun/18	15	1700	5503	146	97,35%	4382	19	4700	9355	248	Não	0	0,50	0,40
jun/18	16	2167	2640	133	94,96%	4070	15		5721	288	Não	0		0,26
jun/18	17	1981	3219	128	96,02%	4341	16		6377	254	Não	0		0,28
jun/18	18	2140	3562	162	95,45%	4280	0	5310	7623	347	Não	0	0,70	0,33
jun/18	19	1841	4634	153	96,70%	4208	0		8531	282	Não	0		0,38
jun/18	20	1982	3645	175	95,20%	4667	16	5410	7224	347	Não	0	0,75	0,29
jun/18	21	1360	3585	152	95,76%	4566	19		4876	207	Não	0		0,20
jun/18	22	1890	3538	144	95,93%	4466	17	5320	6687	272	Não	0	0,80	0,28
jun/18	23	1696	2576	129	94,99%	4157	17		4369	219	Não	0		0,20
jun/18	24	1951	4800	164	96,58%	3987	16	5820	9365	320	Não	0	0,62	0,44
jun/18	25	1983	3365	136	95,96%	4181	16	2800	6673	270	Não	0	0,42	0,30
jun/18	26	1910	3032	129	95,75%	4690	17		5791	246	Não	0		0,23
jun/18	27	2140	3215	205	93,62%	4062	17	2560	6880	439	Não	0	0,37	0,32
jun/18	28	1737	3060	112	96,34%	4717	17	4510	5315	195	Não	0	0,85	0,21
jun/18	29	1500	3160	129	95,92%	4717	17		4740	194	Não	0		0,19
jun/18	30	1911	5482	156	97,15%	4078	16		10476	298	Não	0		0,48

Mês/Ano	Dia	Vazão (m³/dia)	DQO (entrada)	DQO (saída)	Eficiência remoção DQO (%)	Sólidos suspensos totais (mg/l)	Idade Lodo	Descarte (kg/dia)	Carga E (kg/dia)	Carga S (kg/dia)	Atuação	Dosagem	Descarte/Carga	F/M
abr/19	1	1950	3173	98	96,91%	3213	16	2690	6187	191	Não	0	0,43	0,36
abr/19	2	2100	2978	146	95,10%	3917	17	2830	6254	307	Não	0	0,45	0,30
abr/19	3	1850	3485	139	96,01%	4226	19		6447	257	Não	0		0,29
abr/19	4	1909	2849	143	94,98%	4475	17		5439	273	Não	0		0,23
abr/19	5	2200	3483	163	95,32%	4613	14		7663	359	Não	0		0,31
abr/19	6	1799	3387	152	95,51%	3990	15	2670	6093	273	Não	0	0,44	0,29
abr/19	7	1776	2805	134	95,22%	3579	16		4982	238	Não	0		0,26
abr/19	8	1844	3308	145	95,62%	3171	17	2750	6100	267	Não	0	0,45	0,36
abr/19	9	1842	3597	137	96,19%	3834	17		6626	252	Não	0		0,32
abr/19	10	1892	2980	178	94,03%	3507	16	2890	5638	337	Não	0	0,51	0,30
abr/19	11	1987	3582	133	96,29%	3374	16	2910	7117	264	Não	0	0,41	0,40
abr/19	12	1750	2922	137	95,31%	3755	15	2790	5114	240	Não	0	0,55	0,26
abr/19	13	1820	2962	146	95,07%	4251	15	2750	5391	266	Não	0	0,51	0,24
abr/19	14	1763	2613	157	93,99%	3669	16		4607	277	Não	0		0,24
abr/19	15	1977	2801	139	95,04%	3643	16	2950	5538	275	Não	0	0,53	0,28
abr/19	16	1910	2665	155	94,18%	3309	17		5090	296	Não	0		0,29
abr/19	17	1867	3006	105	96,51%	3829	16	2910	5612	196	Não	0	0,52	0,27
abr/19	18	2220	2972	142	95,22%	3651	16	2770	6598	315	Não	0	0,42	0,34
abr/19	19	2300	2898	127	95,62%	3989	16	3140	6665	292	Não	0	0,47	0,31
abr/19	20	2243	2613	128	95,10%	4365	15	3120	5861	287	Não	0	0,53	0,25
abr/19	21	2000	3240	98	96,98%	2840	0	3200	6480	196	Não	0	0,49	0,43
abr/19	22	1936	2867	139	95,15%	3989	15	2730	5551	269	Não	0	0,49	0,26
abr/19	23	1904	2984	132	95,58%	4414	17	2950	5682	251	Não	0	0,52	0,24
abr/19	24	1987	2532	102	95,97%	4546	16	2830	5031	203	Não	0	0,56	0,21
abr/19	25	2110	2775	119	95,71%	3997	17	4960	5855	251	Não	0	0,85	0,27
abr/19	26	2050	2629	162	93,84%	4310	16	2600	5389	332	Não	0	0,48	0,23
abr/19	27	1878	2428	136	94,40%	4531	15	3120	4560	255	Não	0	0,68	0,19
abr/19	28	1883	2713	144	94,69%	4694	17	5280	5109	271	Não	0	1,03	0,20
abr/19	29	1683	3022	105	96,53%	4499	15	2750	5086	177	Não	0	0,54	0,21
abr/19	30	1950	3015	122	95,95%	4086	15	2760	5879	238	Não	0	0,47	0,27
mai/19	1	1983	2745	98	96,43%	3997	14	2630	5443	194	Não	0	0,48	0,26
mai/19	2	1730	3260	139	95,74%	3861	16		5640	240	Não	0		0,27
mai/19	3	1836	2939	145	95,07%	4315	16	5215	5396	266	Não	0	0,97	0,23
mai/19	4	1400	2745	134	95,12%	4547	16		3843	188	Não	0		0,16
mai/19	5	1917	2740	141	94,85%	4238	15	2590	5253	270	Não	0	0,49	0,23
mai/19	6	2100	2932	148	94,95%	3819	16	2650	6157	311	Não	0	0,43	0,30
mai/19	7	1737	3165	108	96,59%	3973	14	2500	5498	188	Não	0	0,45	0,26
mai/19	8	1724	2672	96	96,41%	3810	14	2230	4607	166	Não	0	0,48	0,23
mai/19	9	1950	2048	126	93,85%	3861	16	2010	3994	246	Não	0	0,50	0,19
mai/19	10	2350	2770	132	95,23%	4237	14		6510	310	Não	0		0,29
mai/19	11	2048	2838	139	95,10%	4053	13	2530	5812	285	Não	0	0,44	0,27
mai/19	12	2116	2547	128	94,97%	3462	17		5389	271	Não	0		0,29
mai/19	13	1807	2684	144	94,63%	3885	16	2870	4850	260	Não	0	0,59	0,23
mai/19	14	2100	2777	112	95,97%	4283	15	2160	5832	235	Não	0	0,37	0,26
mai/19	15	1690	3240	109	96,64%	3933	15		5476	184	Não	0		0,26
mai/19	16	1726	5965	162	97,28%	3899	16	2760	10296	280	Não	0	0,27	0,50
mai/19	17	2380	3101	149	95,20%	4499	19	2450	7380	355	Não	0	0,33	0,31
mai/19	18	2030	4362	151	96,54%	4683	17		8855	307	Não	0		0,35
mai/19	19	1910	3316	119	96,41%	4130	17	2640	6334	227	Não	0	0,42	0,29
mai/19	20	1731	2088	139	93,34%	3901	17	2170	3614	241	Não	0	0,60	0,17
mai/19	21	1823	3559	163	95,42%	3698	15	2400	6488	297	Não	0	0,37	0,33
mai/19	22	2300	3038	155	94,90%	3366	16		6987	357	Não	0		0,39
mai/19	23	2250	3524	165	95,32%	3746	16	2440	7929	371	Não	0	0,31	0,40
mai/19	24	2290	2583	135	94,77%	3779	16		5915	309	Não	0		0,29
mai/19	25	1570	3057	162	94,70%	4213	17	2570	4799	254	Não	0	0,54	0,21
mai/19	26	1900	2038	152	92,54%	4061	15	2720	3872	289	Não	0	0,70	0,18
mai/19	27	2089	4525	165	96,35%	4290	16	2680	9453	345	Não	0	0,28	0,41
mai/19	28	1686	5015	146	97,09%	3914	15		8455	246	Não	0		0,41
mai/19	29	1880	2217	136	93,87%	4210	30	2580	4168	256	Não	0	0,62	0,19
mai/19	30	2350	2515	139	94,47%	4019	16	2490	5910	327	Não	0	0,42	0,28
mai/19	31	1700	3005	155	94,84%	3698	16	2780	5109	264	Não	0	0,54	0,26
jun/19	1	1739	4166	162	96,11%	3611	16		7245	282	Não	0		0,38
jun/19	2	1953	5182	144	97,22%	4222	15	2940	10120	281	Não	0	0,29	0,45
jun/19	3	2269	2609	132	94,94%	3790	14		5920	300	Não	0		0,29
jun/19	4	1777	4535	127	97,20%	3891	12	2890	8059	226	Não	0	0,36	0,39
jun/19	5	1738	3083	136	95,59%	3790	13		5358	236	Não	0		0,27
jun/19	6	2350	3173	152	95,21%	3746	13	2110	7457	357	Não	0	0,28	0,37
jun/19	7	2200	2480	136	94,52%	3971	12	2750	5456	299	Não	0	0,50	0,26
jun/19	8	2190	2382	134	94,37%	4190	17		5217	293	Não	0		0,23
jun/19	9	1994	2170	152	93,00%	3709	20	2910	4327	303	Não	0	0,67	0,22
jun/19	10	2120	2947	165	94,40%	3837	20	3000	6248	350	Não	0	0,48	0,31
jun/19	11	2226	2744	138	94,97%	3853	20	3800	6108	307	Não	0	0,62	0,30
jun/19	12	2245	2695	161	94,03%	3968	16	2690	6050	361	Não	0	0,44	0,29
jun/19	13	1570	1993	141	92,93%	3968	19	2600	3129	221	Não	0	0,83	0,15
jun/19	14	2109	2270	105	95,37%	3915	18		4787	221	Não	0		0,23
jun/19	15	2252	2008	154	92,33%	3747	19	2650	4522	347	Não	0	0,59	0,23
jun/19	16	2163	2176	148	93,20%	3459	15	2480	4707	320	Não	0	0,53	0,26
jun/19	17	1805	2881	139	95,18%	3826	16	2560	5200	251	Não	0	0,49	0,25
jun/19	18	1950	2308	153	93,37%	3589	0	2890	4501	298	Não	0	0,64	0,24
jun/19	19	1825	2991	155	94,82%	3782	0	2940	5459	283	Não	0	0,54	0,27
jun/19	20	1823	3454	168	95,14%	4053	16	2770	6297	306	Não	0	0,44	0,29
jun/19	21	1950	2395	169	92,94%	3574	19	2510	4670	330	Não	0	0,54	0,24
jun/19	22	1200	3333	146	95,62%	3826	17	1690	4000	175	Não	0	0,42	0,20
jun/19	23	2542	2772	138	95,02%	3981	17		7046	351	Não	0		0,33
jun/19	24	2298	5252	167	96,82%	4198	16	2860	12069	384	Não	0	0,24	0,54
jun/19	25	2006	2956	152	94,86%	3971	16	2450	5930	305	Não	0	0,41	0,28
jun/19	26	2100	3496	163	95,34%	3462	17	2790	7342	342	Não	0	0,38	0,40
jun/19	27	2150	4359	176	95,96%	3226	17	2900	9372	378	Não	0	0,31	0,54
jun/19	28	2357	2606	135	94,82%	3348	17	2420	6142	318	Não	0	0,39	0,34
jun/19	29	1600	2302	142	93,83%	4259	17	2050	3683	227	Não	0	0,56	0,16
jun/19	30	2054	1973	131	93,36%	4466	16	2560	4053	269	Não	0	0,63	0,17

Mês/Ano	Dia	Vazão (m³/dia)	DQO (entrada)	DQO (saída)	Eficiência remoção DQO (%)	Sólidos suspensos totais (mg/l)	Idade Lodo	Descarte (kg/dia)	Carga E (kg/dia)	Carga S (kg/dia)	Atuação	Dosagem	Descarte/Carga	F/M
abr/20	1	2250	2437	96	96,06%	3891	16	2080	5483	216	Não	0,8	0,38	0,26
abr/20	2	2696	2582	102	96,05%	3778	25	2100	6960	275	Não	0,8	0,30	0,35
abr/20	3	2573	2247	75	96,66%	3626	32	2820	5781	193	Não	0,8	0,49	0,30
abr/20	4	2329	2633	112	95,75%	3789	15	2200	6133	261	Não	0,8	0,36	0,30
abr/20	5	2479	2712	106	96,09%	3662	26	2900	6722	263	Não	0,8	0,43	0,34
abr/20	6	2614	2676	96	96,41%	3742	109	2220	6995	251	Não	0,8	0,32	0,35
abr/20	7	2614	2187	106	95,15%	3038	41	2570	5716	277	Não	0,8	0,45	0,35
abr/20	8	2528	2798	132	95,28%	3098	111	2060	7074	334	Não	0,8	0,29	0,43
abr/20	9	2512	2920	93	96,82%	3819	21	2690	7335	234	Não	0,8	0,37	0,36
abr/20	10	2711	2615	112	95,72%	3867	18	1800	7089	304	Não	0,8	0,25	0,34
abr/20	11	2431	2393	102	95,74%	3765	18	2950	5818	248	Não	0,8	0,51	0,29
abr/20	12	2611	2503	96	96,17%	3723	41	2020	6536	251	Não	0,8	0,31	0,33
abr/20	13	2696	2347	82	96,51%	3902	44		6327	221	Não	0,8		0,30
abr/20	14	1889	2706	98	96,38%	3867	33	2100	5112	185	Não	0,8	0,41	0,25
abr/20	15	2598	2218	90	95,94%	3782	36	2530	5763	234	Não	0,8	0,44	0,29
abr/20	16	2611	2992	65	97,83%	3749	20	2270	7811	170	Não	0,8	0,29	0,39
abr/20	17	2666	2593	101	96,10%	3803	19	2090	6913	269	Não	0,8	0,30	0,34
abr/20	18	2342	2533	87	96,57%	3466	14		5933	204	Não	0,8		0,32
abr/20	19	2540	1998	56	97,20%	3987	23		5076	142	Não	0,8		0,24
abr/20	20	2080	2650	62	97,66%	3082	23	2360	5512	129	Não	0,8	0,43	0,34
abr/20	21	1850	2300	58	97,48%	3978	29	2100	4255	107	Não	0,8	0,49	0,20
abr/20	22	2465	2543	45	98,23%	3302	16	2410	6269	111	Não	0,8	0,38	0,36
abr/20	23	2524	1700	63	96,29%	3018	48	2060	4291	159	Não	0,8	0,48	0,27
abr/20	24	2315	3933	142	96,39%	3670	21	2680	9105	329	Não	0,8	0,29	0,47
abr/20	25	2288	3490	64	98,17%	3912	25	3940	7985	146	Não	0,8	0,49	0,38
abr/20	26	2533	3330	84	97,48%	3739	40	3270	8435	213	Não	0,8	0,39	0,42
abr/20	27	2597	2463	70	97,16%	3803	27	2880	6396	182	Não	0,8	0,45	0,32
abr/20	28	2180	2570	25	99,03%	3714	34	2630	5603	55	Não	0,8	0,47	0,28
abr/20	29	2256	2550	61	97,61%	3787	84	2935	5753	138	Não	0,8	0,51	0,28
abr/20	30	2434	2903	53	98,17%	3475	14	2950	7067	129	Não	0,8	0,42	0,38
mai/20	1	2250	2437	96	96,06%	3891	16	2080	5483	216	Não	1	0,38	0,26
mai/20	2	2696	2582	102	96,05%	3778	25	2100	6960	275	Não	1	0,30	0,35
mai/20	3	2573	2247	75	96,66%	3626	32	2820	5781	193	Não	1	0,49	0,30
mai/20	4	2329	2633	112	95,75%	3789	15	2200	6133	261	Não	1	0,36	0,30
mai/20	5	2479	2712	106	96,09%	3662	26	2900	6722	263	Não	1	0,43	0,34
mai/20	6	2614	2676	96	96,41%	3742	109	2220	6995	251	Não	1	0,32	0,35
mai/20	7	2614	2187	106	95,15%	3038	41	2570	5716	277	Não	1	0,45	0,35
mai/20	8	2528	2798	132	95,28%	3098	111	2060	7074	334	Não	1	0,29	0,43
mai/20	9	2512	2620	93	96,45%	3819	21	2690	6581	234	Não	1	0,41	0,32
mai/20	10	2711	2615	112	95,72%	3867	18	1800	7089	304	Não	1	0,25	0,34
mai/20	11	2431	2393	102	95,74%	3765	18	2950	5818	248	Não	1	0,51	0,29
mai/20	12	2611	2503	96	96,17%	3723	41	2020	6536	251	Não	1	0,31	0,33
mai/20	13	2696	2347	82	96,51%	3902	44		6327	221	Não	1		0,30
mai/20	14	1889	2706	98	96,38%	3867	33	2100	5112	185	Não	1	0,41	0,25
mai/20	15	2598	2218	90	95,94%	3782	36	2530	5763	234	Não	1	0,44	0,29
mai/20	16	2611	2992	65	97,83%	3749	20	2270	7811	170	Não	1	0,29	0,39
mai/20	17	2666	2593	101	97,19%	3803	19	2090	9580	269	Não	1	0,22	0,47
mai/20	18	2342	2533	87	96,57%	3452	14		5933	204	Não	1		0,32
mai/20	19	2540	1998	56	97,20%	3979	23		5076	142	Não	1		0,24
mai/20	20	2080	2650	62	97,66%	3082	23	2360	5512	129	Não	1	0,43	0,34
mai/20	21	1850	2300	58	97,48%	3978	29	2100	4255	107	Não	1	0,49	0,20
mai/20	22	2465	2543	45	98,23%	3302	16	2410	6269	111	Não	1	0,38	0,36
mai/20	23	2524	1700	63	96,29%	3010	48	2060	4291	159	Não	1	0,48	0,27
mai/20	24	2315	3533	142	95,98%	3670	21	2680	8180	329	Não	1	0,33	0,42
mai/20	25	2288	3490	64	98,17%	3912	25	3940	7985	146	Não	1	0,49	0,38
mai/20	26	2533	3330	84	97,48%	3739	40	3270	8435	213	Não	1	0,39	0,42
mai/20	27	2597	2463	70	97,16%	3805	27	2880	6396	182	Não	1	0,45	0,32
mai/20	28	2180	2570	25	99,03%	3714	34	2630	5603	55	Não	1	0,47	0,28
mai/20	29	2256	2550	61	97,61%	3787	84	2935	5753	138	Não	1	0,51	0,28
mai/20	30	2434	2903	53	98,17%	3480	14	2950	7067	129	Não	1	0,42	0,38
mai/20	31	2366	3542	151	95,74%	3965	37	2280	8380	357	sim	1	0,27	0,40
jun/20	1	2932	2083	116	94,43%	3190	87	1570	6108	340	sim	1,1	0,26	0,36
jun/20	2	2156	2364	106	95,52%	3917	13	2520	5097	229	sim	1,1	0,49	0,24
jun/20	3	2396	2327	129	94,46%	3774	16	2190	5575	309	sim	1,1	0,39	0,28
jun/20	4	2683	2947	98	96,67%	3818	13	2210	7906	263	sim	1,1	0,28	0,39
jun/20	5	2130	3123	141	95,49%	3902	27		6653	300	sim	1,1		0,32
jun/20	6	2785	3432	145	95,77%	3579	74	2530	9557	404	sim	1,1	0,26	0,50
jun/20	7	2874	2180	159	92,71%	3074	101	2080	6265	457	sim	1,1	0,33	0,38
jun/20	8	2509	2227	116	94,79%	3114	129		5588	291	sim	1,1		0,34
jun/20	9	1777	2314	135	94,17%	3014	43	2180	4112	240	sim	1,1	0,53	0,26
jun/20	10	2495	2567	138	94,62%	3088	76	2440	6404	344	sim	1,1	0,38	0,39
jun/20	11	2466	2670	142	94,68%	3174	68		6584	350	sim	1,1		0,39
jun/20	12	2382	2552	136	94,67%	3058	83		6078	324	sim	1,1		0,37
jun/20	13	2215	2475	105	95,76%	3912	88	1910	5482	233	sim	1,1	0,35	0,26
jun/20	14	2101	2348	117	95,02%	3981		2060	4934	246	sim	1,1	0,42	0,23
jun/20	15	2793	2556	122	95,23%	3954	18		7138	341	sim	1,1		0,34
jun/20	16	1815	2738	102	96,28%	3899	20	2310	4970	185	sim	1,1	0,46	0,24
jun/20	17	2357	2018	82	95,94%	3034	24	2500	4757	193	sim	1,1	0,53	0,29
jun/20	18	2652	2767	102	96,31%	3963	89		7337	271	sim	1,1		0,35
jun/20	19	2754	2405	96	96,01%	3886	31	1360	6623	264	sim	1,1	0,21	0,32
jun/20	20	2464	2615	94	96,41%	3002	48	2700	6443	232	sim	1,1	0,42	0,40
jun/20	21	2546	2455	115	95,32%	3582	68	2040	6250	293	sim	1,1	0,33	0,33
jun/20	22	2914	2630	104	96,05%	3818	37	2170	7664	303	sim	1,1	0,28	0,38
jun/20	23	1778	2758	96	96,52%	3950	18		4904	171	sim	1,1		0,23
jun/20	24	2684	3033	85	97,20%	3882	86	1880	8141	228	sim	1,1	0,23	0,39
jun/20	25	2491	3052	125	95,90%	3867	104	2590	7602	311	sim	1,1	0,34	0,37
jun/20	26	2399	2660	132	95,04%	3581	30	1740	6381	317	sim	1,1	0,27	0,33
jun/20	27	2521	3098	98	96,84%	3933	32	2010	7809	247	sim	1,1	0,26	0,37
jun/20	28	2385	3125	118	96,22%	3883	34	2800	7453	281	sim	1,1	0,38	0,36
jun/20	29	2619	2835	116	95,91%	3962	23	2250	7425	304	sim	1,1	0,30	0,35
jun/20	30	1800	2523	106	95,80%	3035	263	2110	4541	191	sim	1,1	0,46	0,28