

ARTHUR VENANCIO
BRENO MALACARNE BERTHI
FELIPE AUGUSTO STEIN SZEMKOVICZ
GHIDNAE ELISA SCHWARTZ
JOÃO PEDRO DA SILVA
JOÃO PEDRO KRUG DE SA
LUCAS MATTOS VENANCIO

Deteccção de surfactantes em rios:
O método do peso da gota

ARTHUR VENANCIO
BRENO MALACARNE BERTHI
FELIPE AUGUSTO STEIN SZEMKOVICZ
GHIDNAE ELISA SCHWARTZ
JOÃO PEDRO DA SILVA
JOÃO PEDRO KRUG DE SA
LUCAS MATTOS VENANCIO

Projeto de pesquisa desenvolvido no âmbito do programa Conectando Saberes do Curso Técnico em Química do Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Centro

Orientador: Clodoaldo Machado

Coordenador de Fase: Elder Correa Leopoldino

Jaraguá do Sul
2025

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema ilustrativo do aumento da área da película líquida.....	8
Figura 2: Representação esquemática de surfactantes catiônicos (A), aniônicos (B), anfóteros (C) e não iônicos (D), com cauda apolar e cabeça polar.....	9
Figura 3: Representação ilustrativa do fenômeno de detergência dos surfactantes, onde a gordura é envolta no núcleo hidrofóbico.....	11
Figura 4: Representação ilustrativa do sistema.....	12
Figura 5: Dependência entre o fator de correção e a relação $r/V^{1/3}$	14
Figura 6: Mapa dos pontos de coleta.....	19

SUMÁRIO

1 TEMA.....	5
2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	5
3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	5
4 HIPÓTESES.....	6
5 OBJETIVOS.....	6
5.1 OBJETIVO GERAL.....	6
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
6 JUSTIFICATIVA.....	6
7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
7.1 TENSÃO SUPERFICIAL DA ÁGUA.....	7
7.2 SURFACTANTES.....	9
7.3 FORMAÇÃO DE MICELAS.....	10
7.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS SURFACTANTES.....	11
7.5 MÉTODO PESO DA GOTA.....	12
7.5.1 Lei de Tate.....	13
7.5.2 Fator de correção.....	14
7.5.3 Tratamento estatístico.....	15
7.5.3.1 Desvio padrão.....	15
7.5.3.2 Coeficiente de variação.....	15
7.5.3.3 Erro padrão da média.....	15
7.5.3.4 Intervalo de confiança.....	16
7.6 OUTROS MÉTODOS PARA DETECTAR SURFACTANTES.....	16
7.6.1 Método cromatográfico.....	16
7.6.2 Método espectrofotométrico.....	17
7.6.3 Método oficial.....	17
8 METODOLOGIA.....	18
8.1 EXECUÇÃO DO MÉTODO PESO DA GOTA.....	18
8.2 AMOSTRAGEM DA ÁGUA DOS RIOS.....	18
9 CRONOGRAMA.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1 TEMA

Análise da presença de surfactantes em rios.

2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Viabilidade do método do peso da gota na detecção de surfactantes nas águas dos rios do município de Jaraguá do Sul, Santa Catarina.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

Com a crescente industrialização e urbanização, há uma preocupação com o descarte dos resíduos provindos de processos industriais relacionados, principalmente, à fabricação de tecidos e roupas que utilizam surfactantes no tratamento das tinturas e lavagens desses produtos (Silva, 2023).

Essas espécies químicas, por sua vez, quando descartadas no meio ambiente, se tornam um grande problema, tanto no quesito ambiental, comprometendo a integridade dos rios e da vida aquática, quanto no quesito de potabilidade da água (Silva, 2023).

Além disso, os surfactantes estão presentes em diversos produtos utilizados diariamente por milhões de pessoas em sua higiene pessoal, como sabonetes e xampus. No ano de 2022, estima-se que foram utilizados cerca de 24200 Mkg de surfactantes no mundo, sendo que essa estimativa representa um grande aumento em relação a 2014, em que o consumo de surfactantes era de 15930 Mkg (Palmer; Hatley, 2018 *apud* Silva *et al*, 2023).

Há uma efetiva dificuldade para detectar os surfactantes em águas de rios, pois os métodos atualmente mais utilizados são complexos e demandam muitos recursos para a sua aplicação, além de que, as estações de tratamento de água ainda deixam resíduos, mesmo depois de todos os processos de remoção (HERA-CAPB, 2005; HERA-SAS, 2005; Ying, 2006; HERA-AE, 2009; HERA-LAS, 2013; Bonfim *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017 *apud* Silva *et al*, 2023).

Partindo desses e de outros problemas relacionados ao impacto dos surfactantes no meio ambiente, é proposta a seguinte questão problema: É possível utilizar o método do peso da gota para identificar diferenças significativas na tensão superficial da água de rios devido a presença de surfactantes nos mesmos?

4 HIPÓTESES

1. Será possível detectar surfactantes nos rios utilizando o método laboratorial do peso da gota.
2. Há uma maior incidência de surfactantes nos rios de Jaraguá do Sul em regiões próximas às indústrias têxteis.

5 OBJETIVOS

Diante do exposto, este projeto tem como objetivos geral e específicos os detalhados a seguir.

5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade do método do peso da gota para analisar a presença de surfactantes nos rios de Jaraguá do Sul.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Coletar amostras de água em pontos estratégicos ao longo dos principais rios que passam pelo município de Jaraguá do Sul., sendo eles, o rio Itapocu, o rio Jaraguá e o Ribeirão Chico de Paulo.
- ii. Realizar a metodologia do peso da gota nas amostras coletadas para determinação da tensão superficial.
- iii. Analisar possíveis alterações no valor de tensão superficial em pontos próximos a grandes indústrias.
- iv. Avaliar a confiabilidade do uso do método do peso da gota para a determinação da presença de surfactantes em águas dos rios.

6 JUSTIFICATIVA

O descarte incorreto de resíduos industriais representa um dos grandes desafios ambientais da atualidade, pois causa sérios impactos aos ecossistemas, quando lançado de forma inadequada, esse tipo de resíduo compromete a qualidade do meio ambiente e coloca em risco a vida de diferentes espécies (Silva, 2023).

Entre os principais efluentes, estão os surfactantes, tensoativos que quando dispersos no meio ambiente agem como poluentes e que estão presentes em produtos utilizados

diariamente por pessoas ao redor do mundo todo, como sabões, detergentes e xampus. O problema é agravado, ainda, pelo fato de que grandes empresas como malharias e indústrias têxteis fazem amplo uso dos surfactantes em seus processos industriais de larga escala (Oliveira; Cássia 2017).

Segundo Pentead, Seoud e Carvalho (2006), dentre os problemas ambientais decorrentes do acúmulo de surfactantes nos recursos hídricos pode se destacar: a diminuição da concentração de elementos necessários para a vida aquática, como o oxigênio dissolvido, devido à diminuição da tensão superficial água/ar; diminuição da permeabilidade da luz, por manter as partículas presentes em suspensão; aumento da concentração de compostos xenobióticos (estranhos ao ambiente), como bifenilas policloradas e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos presentes no sedimento, por solubilização micelar inibindo assim sua degradação, o que aumenta consideravelmente a toxicidade do meio em que estão presentes.

Com base nesses e outros problemas, é de suma importância detectar a presença de surfactantes em águas, como por exemplo nos cursos de rios. Porém, os métodos atualmente disponíveis para essa detecção são complexos e bastante dispendiosos do ponto de vista financeiro. Tendo em vista estas questões, este projeto propõe a utilização do método do peso da gota, dado a seu caráter simples e de baixo custo, como uma alternativa para se identificar a presença de surfactantes em águas de rios.

7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a base teórica e a literatura que fundamenta a escrita deste projeto de pesquisa.

7.1 TENSÃO SUPERFICIAL DA ÁGUA

A tensão superficial pode ser observada em diversos momentos do dia-a-dia, como por exemplo na permanência de insetos sobre a água ou no caso em que objetos, mesmo que mais densos que um fluido, flutuam nele.

Esse fenômeno físico pode ser explicado, de acordo com Raetano e Iost (2010) pelas interações intermoleculares do fluido, cada molécula no interior do líquido interage e é atraída pelas demais moléculas em todas as direções. Porém, as moléculas que estão presentes na superfície do líquido, ao possuírem menos moléculas vizinhas, acabam desenvolvendo uma energia potencial maior. Por uma tendência natural de equilibrar o sistema, moléculas do interior do fluido exercem uma força sobre as moléculas da superfície, as puxando ao centro

do líquido, o que faz com que as moléculas superficiais se aproximem umas das outras, diminuindo a área de superfície.

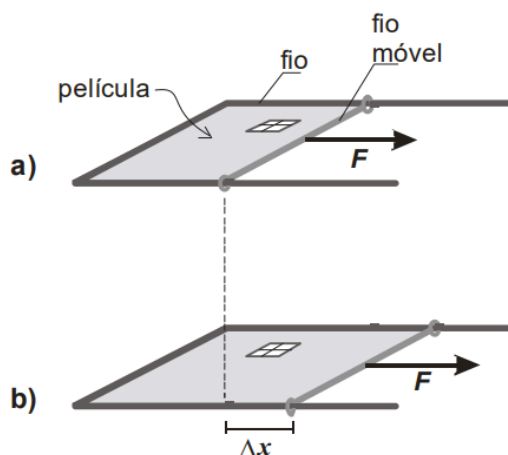
Define-se então tensão superficial (γ) como a razão do trabalho externo (W) necessário para aumentar a área de superfície (A), ou seja, a energia que precisa ser aplicada para se criar uma distância maior entre as moléculas da superfície do fluido, relação vista na Equação 1 (Outon, 2010).

$$\gamma = \frac{W}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Ainda de acordo com Outon (2020) a tensão superficial pode ser encontrada medindo-se a força por unidade de comprimento necessária para aumentar a área de superfície de um fluido. Segue um exemplo ilustrado na Figura 1, retirada da apostila de apoio da UFMG.

Considere um fio dobrado em formato de “U” em que um fio móvel pode deslizar. Em (a), o fio móvel é mantido em equilíbrio pela força F , de mesmo módulo e com sentido oposto à força exercida pelas moléculas do interior do líquido; em (b), quando o fio se desloca, aumenta a área da película de líquido (Δx).

Figura 1: Esquema ilustrativo do aumento da área da película líquida



Fonte: Apostila de apoio da UFMG.

Esse conjunto é imerso em uma solução de água e sabão, então retira-se e se desliza o fio móvel formando uma fina película de água e sabão. Caso o fio móvel seja solto, percebe-se que ele será puxado pela tensão superficial da mistura água-sabão que tende a minimizar a área superficial.

7.2 SURFACTANTES

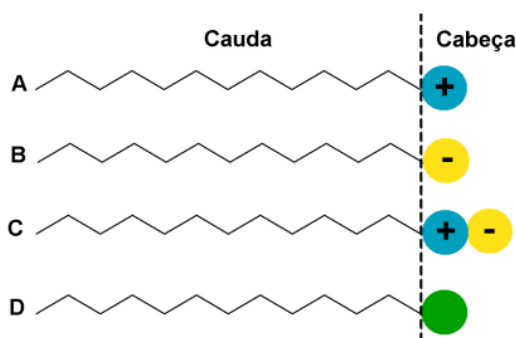
Os surfactantes, também chamados de tensoativos, são compostos orgânicos anfipáticos que, em sua molécula, possuem uma porção apolar, normalmente denominada de cauda, sendo composta por uma ou duas cadeias carbônicas, fluorcarbônicas (cadeia carbônica ligada a átomos de flúor) ou siloxânicas (sequência de átomos de silício e de oxigênio associados a um composto orgânico); e uma parte polar, chamada de cabeça. Pode possuir grupos aniônicos ou catiônicos, não iônicos ou anfóteros, que se comportam como ácido ou base, dependendo do pH do meio que estão inseridos. Com base no grupo presente em sua parte polar, os surfactantes podem ser classificados em diferentes tipos, conforme apresentado na Figura 2 (Daltin, 2011 *apud* Oliveira; Cássia 2017).

A presença das moléculas de surfactantes na superfície diminui a força de coesão entre as moléculas do solvente, localizadas na superfície, reduzindo a tensão superficial. A adição de mais moléculas de surfactante após a saturação da superfície entre as duas fases (polar/apolar) não diminuirá a tensão superficial (Oliveira e Cássia 2017, p. 228)

Segundo Barbosa e Silva (1995, *apud* Oliveira; Cássia, 2017) o sabão, um tensoativo natural utilizado desde 79 a.C, é produzido partindo de uma reação química entre óleos de origem vegetal ou gordura animal, com uma solução de hidróxido de potássio ou de sódio, ou outras soluções alcalinas. Essa reação é conhecida como reação de saponificação.

Detergentes são surfactantes sintéticos produzidos através de processos químicos. Eles são obtidos a partir de diferentes matérias-primas, mas majoritariamente dos derivados do petróleo (Penteado et al., 2006 *apud* Oliveira; Cássia 2017).

Figura 2: Representação esquemática de surfactantes catiônicos (A), aniônicos (B), anfóteros (C) e não iônicos (D), com cauda apolar e cabeça polar



Fonte: Oliveira; Cássia (2017, p. 228).

7.3 FORMAÇÃO DE MICELAS

Como compostos anfipáticos, as caudas hidrofóbicas dos surfactantes, quando dispersos na água, tendem a evitar o contato com as moléculas de água. A interação entre esses dois sistemas é energeticamente desfavorável, já que compostos apolares perturbam a rede de ligações de hidrogênio formados pela água. Então os monômeros de surfactante quando agregados em micelas minimizam a área de contato entre as caudas hidrofóbicas com a água, reduzindo o desconforto energético (Mello *et al.*, 2009).

De acordo com Barcellos, Behring e Machado (2004), devido a presença das caudas hidrofóbicas, os agentes tensoativos em solução encontram-se na área superficial do líquido, que quando saturada, ou seja, quando alcançada determinada concentração dos tensoativos, formam as micelas. Essa concentração chama-se CMC, Concentração Micelar Crítica.

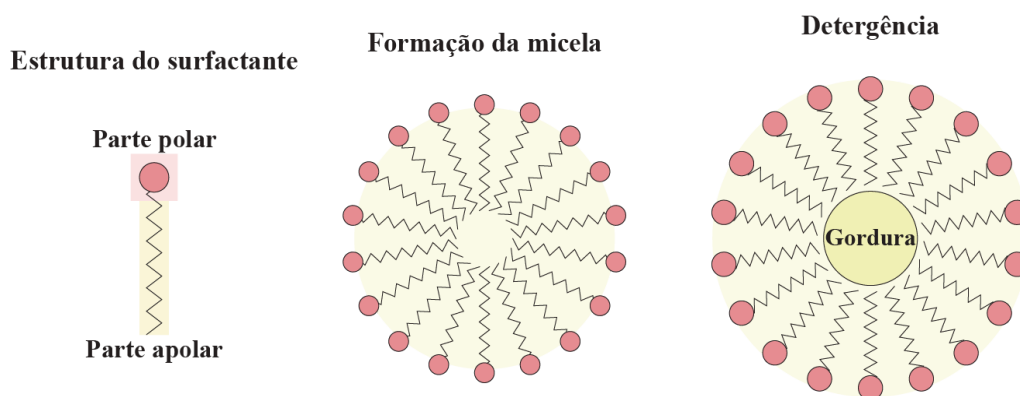
A CMC depende da estrutura do tensoativo (tamanho da cadeia do hidrocarboneto) e das condições experimentais (força iônica, contra-íons, temperatura etc), e as discussões sobre sua formação, funções e relações com aplicações industriais é de extrema importância. (Barcellos, Behring e Machado, 2004, p. 1)

A agregação de surfactantes iônicos em solução aquosa é amplamente influenciada pela presença de contra-íons, que desempenham papel fundamental na forma como as moléculas de surfactante interagem. De acordo com Zhou, Liu, Wang (2025), os contra íons interagem principalmente com o grupo hidrofílico dos surfactantes, reduzindo as forças de repulsão eletrostática e promovendo a formação de agregados como as micelas esféricas e cilíndricas.

Os contra íons podem ser classificados em inorgânicos e orgânicos, sendo que ambos influenciam o formato dos agregados surfactantes. Contra íons inorgânicos, interagem predominantemente na camada dupla elétrica ao redor do grupo de cabeça dos surfactantes, por meio de atração eletrostática. Já os contra íons orgânicos, por possuírem estruturas mais complexas, podem formar interações adicionais, como ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e empilhamento π - π , alcançando até mesmo camadas mais internas dos agregados (Zhou *et al.*, 2025).

Os detergentes e sabões limpam gordura porque os agregados dos tensoativos envolvem as partículas de gordura no núcleo hidrofóbico, retirando-as das superfícies e mantendo-as suspensas em água, já que ao entorno estão as cabeças hidrofílicas, conforme a Figura 3. Dessa forma, a gordura é retirada com o enxágue (Daltin, 2011).

Figura 3: Representação ilustrativa do fenômeno de detergência dos surfactantes, onde a gordura é envolta no núcleo hidrofóbico.



Fonte: Autoria própria.

7.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS SURFACTANTES

Para Oliveira e Cássia (2017), surfactantes sintéticos são utilizados em muitos processos industriais e domésticos, e seu uso provoca danos ambientais associados tanto a sua produção quanto a seu descarte.

Além dos impactos nos corpos hídricos citados anteriormente, a presença de surfactantes reduz a tensão superficial da água, diminuindo sua taxa de evaporação, que, segundo Sperling, (2005) prejudica o ciclo hidrológico e compromete a oxigenação e a qualidade da água, ocasionando impactos negativos para vida marinha e para o meio ambiente. Além disso, aumenta a solubilidade de compostos orgânicos presentes nesse meio, o que de acordo com Freitas *et al* (2011) facilita a dispersão de poluentes na água, aumentando sua área de contaminação. A espuma que é formada sobre as águas diminui a penetração de raios solares e reduz a solubilidade do oxigênio, o que causa a morte de microorganismos, plantas e peixes.

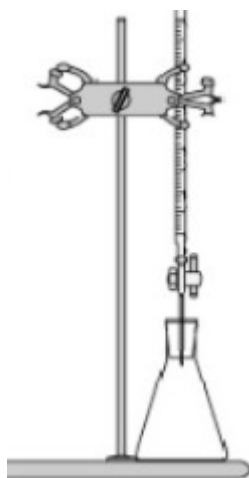
O fosfato, presente no efluente, serve de nutriente para a vegetação aquática superficial, o que favorece seu crescimento excessivo, caracterizando o fenômeno de eutrofização. Essa por sua vez, faz com que menores concentrações de oxigênio cheguem ao meio aquático, provocando a morte de outros seres vivos (Olkowska *et al.*, 2014 *apud* Costa *et al*, 2007 Oliveira; Cássia, 2017).

7.5 MÉTODO PESO DA GOTA

O método da massa da gota é uma técnica utilizada na determinação da tensão superficial de líquidos, destacando-se por sua simplicidade experimental e boa

reprodutibilidade dos dados. Consiste na formação controlada de gotas na extremidade de uma vidraria, normalmente uma bureta. Sua base teórica fundamenta-se no equilíbrio entre duas forças: a força gravitacional, que atua sobre a massa da gota pendente e a força de coesão provocada pela tensão superficial do líquido, que resiste à sua separação da extremidade da vidraria (Borges, 2001). A Figura 4 ilustra de forma esquemática a montagem experimental típica empregada nesse método, composta por uma bureta sustentada por um suporte universal, posicionada sobre um erlenmeyer destinado à coleta das gotas.

Figura 4: Representação ilustrativa do sistema utilizado no método do peso da gota.



Fonte: Barcellos, *et al* (2004, p. 494)

Para a determinação da tensão superficial, utiliza-se a média da massa de um conjunto de gotas coletadas sob condições controladas. Essa média é obtida pela divisão da massa total aferida pela balança analítica pelo número de gotas coletadas. Com a massa média das gotas, pode-se calcular o raio da bureta e a tensão superficial a partir da lei de Tate.

7.5.1 Lei de Tate

Neste subcapítulo será feita uma breve demonstração da principal fórmula que será utilizada neste trabalho, a partir de equações mais conhecidas e usuais.

Tendo o conhecimento prévio da segunda lei de Newton, isto é, a força é igual ao produto da massa e da aceleração, sabemos que a força que desprende a gota da ponta da bureta é o produto da aceleração gravitacional multiplicada pela massa desta gota. A área de atuação da tensão superficial na vidraria quando a gota está prestes a cair é a da ponta da bureta utilizada, que tem área facilmente encontrada pela equação do perímetro de uma circunferência.

Como já visto, a tensão superficial é uma força que atua por unidade de comprimento, mais comumente N/m (Newtons por metro), assim podemos encontrar essa força utilizando da Equação 2:

$$F = P \cdot \gamma \Rightarrow F = 2\pi R \cdot \gamma \quad (\text{Eq. 2})$$

Sabendo que F é a força realizada pela tensão, P é o comprimento da circunferência da ponta da bureta e γ é o valor de tensão superficial, no momento exato em que a gota se desprende da vidraria, temos que a força peso (produto da massa e aceleração gravitacional) é igual à força encontrada pela Equação 3, então podemos igualar a segunda equação a equação da força peso, visto que elas têm mesmo valor, então:

$$2\pi R \cdot \gamma = m \cdot g \quad (\text{Eq. 3})$$

Agora, por fim, apenas isolamos o valor de tensão superficial para encontrar seu valor numérico, e aplicamos um fator de correção f , pois a gota após o desprendimento não adquire formato perfeitamente esférico de imediato, conforme descrito na Equação 4, a lei de Tate.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot f} \quad (\text{Eq. 4})$$

Desse modo, o raio da gota, no instante em que se desprende, será o mesmo da vidraria na qual desprendeu-se, no caso a bureta. Por isso, Barcellos *et al* (2004, p. 493) construíram, através da linearidade da massa (m) com o raio (r), uma equação ($n = 23$, $r^2 = 0,9992$) em que é possível determinar o raio da bureta a partir exclusivamente da massa de uma gota, viabilizando o cálculo da tensão superficial descrito na Equação 4. Essa relação entre o raio e a massa da gota é apresentada pela Equação 5.

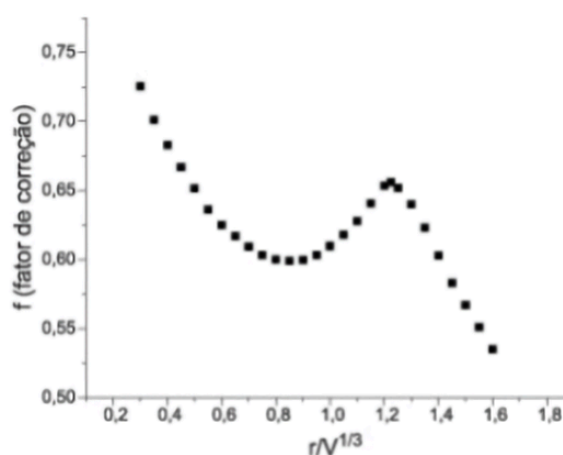
$$r = - 0,02815 + 3,81292 \cdot m \quad (\text{Eq. 5})$$

7.5.2 Fator de correção

O fator de correção é necessário para correção do valor da circunferência, visto que no momento em que a gota se desprende ela não é uma esfera perfeita. Dessa maneira,

Harkins e Brown (1919 *apud* Barcellos *et al*, 2004), propuseram que o fator de correção (f) é dependente de $r/V^{1/3}$, sendo r o raio da vidraria da onde a gota se desprende, conhecido por meio da Equação 5, e V o volume dessa gota, que se obtém dado a densidade do líquido, $\rho = \frac{m}{V}$. Não existe nenhuma função matemática que satisfaça essa relação, assim, se faz necessário uma interpolação gráfica para alcançar o valor de f desejado. Por sua vez, é preferível um fator de correção entre 0,6 e 1,2 onde a inclinação é menos acentuada, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: dependência entre o fator de correção e a relação $r/V^{1/3}$.



Fonte: Barcellos, *et al* (2004, p. 494).

7.5.3 Tratamento estatístico

É importante verificar a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos após todo o processo experimental. Tratamentos estatísticos como o desvio padrão, coeficiente de variação, erro padrão da média e o intervalo de confiança são meios de garantir que os dados são confiáveis e relevantes.

7.5.3.1 Desvio padrão

Segundo Mendenhall, Beaver e Beaver (2008), o desvio padrão é uma medida estatística que quantifica a dispersão dos valores de um conjunto de dados em relação à sua média, indicando o grau de variabilidade presente nas observações. Essa medida é fundamental para avaliar a precisão das medições, pois valores menores de desvio padrão refletem dados mais próximos entre si e, portanto, maior consistência nos resultados. O desvio padrão (σ) pode ser encontrado a partir da Equação 6, que representa a raiz quadrada da razão

entre a somatória do quadrado da diferença entre cada valor (x_i) e a média dos valores (\bar{x}) e o número de medidas (n) menos um.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Eq. 6})$$

7.5.3.2 Coeficiente de variação

O coeficiente de variação é definido como a razão entre o desvio padrão e a média de um conjunto de dados, expressa em percentual. Essa medida estatística, originalmente introduzida por Karl Pearson em 1896, é utilizada para avaliar a dispersão relativa dos dados em relação à média, sendo particularmente útil para comparar variabilidades entre diferentes conjuntos de valores, mesmo quando apresentam unidades distintas (Cook; Upton. 2008). O coeficiente de variação é descrito conforme a Equação 7.

$$CV = \frac{\sigma}{x} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

7.5.3.3 Erro padrão da média

De acordo com Mendenhall, Beaver e Beaver (2008), o erro padrão da média (EPM) representa o desvio-padrão da distribuição das médias amostrais obtidas a partir de sucessivas extrações aleatórias de uma mesma população. Sua função é indicar o grau de precisão da média amostral como estimativa do parâmetro populacional. Esse valor é calculado pela razão entre o desvio-padrão da amostra e a raiz quadrada do tamanho da amostra, como diz a Equação 8.

$$EPM = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Eq. 8})$$

7.5.3.4 Intervalo de confiança

Segundo Neyman (1934), o intervalo de confiança é uma faixa numérica calculada a partir de dados amostrais, construída de modo que, se o procedimento fosse repetido várias vezes, uma determinada proporção desses intervalos conteria o valor verdadeiro do parâmetro populacional. Dessa forma, o conceito de confiança está relacionado ao processo de construção do intervalo, e não à probabilidade de o parâmetro estar dentro de um intervalo específico obtido. O intervalo de confiança pode ser descrito na forma da Equação 9.

$$IC = \bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot EPM \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que \bar{x} é a média amostral e $t_{\alpha/2, n-1}$ é o valor crítico da distribuição t de Student para o nível de significância α e $n - 1$ graus de liberdade. Como explicam Mendenhall, Beaver e Beaver (2008), essa distribuição é aplicada em situações em que o desvio padrão populacional é desconhecido e o tamanho da amostra é pequeno, possuindo caudas mais largas que a distribuição normal, o que reflete maior variabilidade nas estimativas. À medida que o tamanho da amostra aumenta, a distribuição t se aproxima da normal, tornando os intervalos mais precisos.

7.6 OUTROS MÉTODOS PARA DETECTAR SURFACTANTES

Os surfactantes, conforme abordado anteriormente, representam um sério problema ambiental. Devido à dificuldade de remoção dessas substâncias da natureza, tornou-se necessária a criação de métodos que possam detectar a presença dessas moléculas e em muitos casos, quantificá-las. A seguir são descritos métodos utilizados para a detecção.

7.6.1 Método cromatográfico

O método cromatográfico consiste em analisar as características de uma substância com base nas suas propriedades físico-químicas. Apesar da sua eficiência na detecção de surfactantes, trata-se de uma técnica complexa, pois exige tanto o condicionamento da amostra quanto conhecer as condições ideais para a análise, além de outros cuidados pré-experimentais (Müzel, 2021).

O processo demanda tempo e inicia-se com a separação de uma mistura dentro de uma coluna, envolvendo duas fases: a fase estacionária e a fase móvel, fazendo com que a fase móvel se desloque através da fase estacionária, promovendo uma separação com base na solubilidade das substâncias. Após a separação, é utilizado um detector na fase estacionária. Este detector pode ser eletroquímico, de espalhamento de luz, de condutividade, de fotocondutividade, de absorvância de luz ou por fluorescência (Costa; Costa; Stier, 2021).

7.6.2 Método espectrofotométrico

A espectrofotometria analisa a absorção de um feixe de luz com um comprimento de onda específico por parte de uma substância presente em uma mistura. A partir da absorção

desse feixe é possível determinar a presença e a quantidade de uma substância na amostra analisada, tendo como referência a taxa de absorção em uma concentração conhecida (Silva, 2012).

Para aplicar isso em surfactantes é necessário utilizar um corante catiônico para formar um par iônico. Entretanto, sua principal limitação está justamente nesse aspecto, pois ele exige o uso de solventes orgânicos, principalmente organoclorados, como o clorofórmio, para formar e extrair o par iônico. Esses solventes são utilizados em grande quantidade, o que oferece um risco tanto ao operador do método quanto ao meio ambiente, pela natureza tóxica desses solventes (Müzel, 2021).

7.6.3 Método oficial

O método oficial garante um resultado preciso e simples de se aplicar. Nele é submetido um surfactante aniônico a um sistema aquoso ácido, no qual interage com o azul de metileno. São realizadas três extrações do surfactante nesse meio, com cada uma das extrações sendo transferida para uma fase contendo clorofórmio. Após isso, é feita uma retro lavagem com água e uma medida espectrométrica em 652 nm (Müzel, 2021).

Entretanto, esse método apresenta limitações, pois ele só funciona com concentrações abaixo de 0,025 mg/L. Além disso, o clorofórmio é tóxico e, caso utilizado em grandes quantidades, pode gerar resíduos nocivos para a natureza, além de oferecer risco ao condutor do método (Müzel, 2021).

8 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os materiais utilizados e os procedimentos adotados para a determinação da tensão superficial das amostras, com base no método peso da gota.

8.1 EXECUÇÃO DO MÉTODO PESO DA GOTA

Para a aplicação do método do peso da gota, será utilizada uma bureta fixada em suporte universal, com sua extremidade posicionada sobre um Erlenmeyer previamente tarado, destinado à coleta das gotas. Para o cálculo do raio da extremidade da vidraria, a bureta será enxaguada e preenchida com água destilada. Em seguida, ajusta-se a torneira para liberar gotas com uma cadência controlada, de aproximadamente uma gota a cada dois minutos, de modo a favorecer a formação de gotas simétricas e com desprendimento uniforme.

Serão então coletadas dez gotas em um béquer tarado, e a massa total será determinada utilizando de uma balança analítica. A média da massa de uma gota será calculada dividindo o valor total obtido pelo número de gotas coletadas, a partir dessa massa média, e com base na Equação 5, será calculado o raio da extremidade da bureta.

Concluída essa etapa com a água destilada, o líquido será descartado, e a vidraria será enxaguada e preenchida com a amostra de água do rio previamente filtrada. Repetindo-se o procedimento nas mesmas condições experimentais incluindo cadência de gotejamento e número de gotas, uma nova massa média será determinada. Utilizando a Equação 4, será então calculada a tensão superficial da amostra. Todo o procedimento será realizado em triplicata para garantir a confiabilidade dos dados obtidos.

Por fim, os dados obtidos serão submetidos a tratamento estatístico, com o objetivo de avaliar a consistência das medições e garantir a confiabilidade dos resultados experimentais.

8.2 AMOSTRAGEM DA ÁGUA DOS RIOS

A amostragem da água será realizada em pontos distintos (Figura 6), definidos de forma estratégica ao longo do curso dos rios.

- Ponto de coleta 1, rio Itapocu, afastado da cidade, rio acima: -26.437795 (latitude); -49.202404 (longitude)
- Ponto de coleta 2, Ribeirão Chico de Paulo, após indústria têxtil: -26.482250 (latitude); -49.140389 (longitude)
- Ponto de coleta 3, rio Jaraguá, após indústria têxtil: -26.511667 (latitude); -49.123111 (longitude)
- Ponto de coleta 4, rio Itapocu, após zona industrial: -26.484028 (latitude); -49.016194 (longitude)

Figura 6: Mapa dos pontos de coleta



Fonte: Google Earth

A escolha dos pontos é justificada pela hipótese de que há maior incidência de surfactantes próximo às áreas industriais. Dessa forma, possivelmente no ponto 1 haverá menor incidência de tensoativos, pois é um ponto a montante no curso do rio, antes da área de maior atividade industrial de Jaraguá do Sul. Enquanto isso, os pontos 2 e 3 são logo após o local na qual as indústrias têxteis despejam seus efluentes, logo, é possível que seja percebido uma maior diferença na tensão superficial da água, indicando a presença de surfactantes. O ponto 4, por sua vez, é mais adiante no curso do rio, após todas as indústrias que despejam seus efluentes no rio Itapocu, com isso, também há maior possibilidade de haver interferências dos surfactantes na tensão superficial observada.

As coletas ocorrerão sempre na superfície da água, uma vez que esta camada tende a concentrar maiores quantidades de surfactantes. As amostras serão coletadas de dois em dois meses, o que resultará em cinco amostragens no decorrer do trabalho.

Surfactantes são suscetíveis à fotodegradação quando expostos à luz UV, inclusive à radiação solar, o que pode comprometer as amostras durante o armazenamento. Por isso, frascos âmbar serão utilizados para minimizar a exposição à luz e evitar perdas por fotodegradação (Wysokowska et al., 2023). Segundo S'liwka-Kaszyńska, Kot-Wasik e Namieśnik (2003) o resfriamento de amostras é uma técnica de preservação física

amplamente recomendada para amostras gerais de água e águas residuais. O resfriamento é eficaz porque inibe significativamente a atividade biológica de microrganismos e retarda reações químicas e físico-químicas que poderiam alterar a composição da amostra. Por esse motivo o transporte das amostras do local de coleta até o local do experimento será feito em caixas térmicas com gelo.

9 CRONOGRAMA

Para garantir uma organização eficiente das atividades e o cumprimento dos prazos estabelecidos, apresenta-se os cronogramas de execução deste projeto de pesquisa, com as etapas previstas e seus meses de realização nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1: Cronograma de execução das etapas do projeto de pesquisa 2025.2.

Atividade	Ago 2025	Set 2025	Out 2025	Nov 2025	Dez 2025
Revisão bibliográfica	X				
Coleta e teste de amostras	X		X		X
Análise dos dados		X	X	X	
Elaboração do relatório parcial					X

Quadro 2: Cronograma de execução das etapas do projeto de pesquisa 2026.1.

Atividade	Fev 2026	Mar 2026	Abr 2026	Mai 2026	Jun 2026
Revisão bibliográfica	X				
Coleta e teste de amostras	X				
Análise dos dados		X	X	X	

Escrita do artigo		X	X	X	X
Defesa perante banca avaliadora					X

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, Ivonete Oliveira; BEHRING, João Lino; LUCAS, Mônica; MACHADO, Clodoaldo. Adaptação do método peso da gota para determinação da tensão superficial: Um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química. **Química Nova**, Blumenau, v. 27, n. 3, p. 492-495. 2004

BEAVER, Barbara M.; BEAVER, Robert J.; MENDENHALL, William. **Introduction to probability and statistics**. 13^o ed. Belmont: Editora Brooks/Cole, 2008.

BORGES, Maria das Graças Garcia. **Tensão superficial dinâmica de soluções aquosas do surfactante catiônico Cloreto de Cetilpiridínio pelo método da massa da gota**. 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

CÁSSIA, Dias Sandra de; OLIVEIRA, Felipe Lorena de. Surfactantes sintéticos e biosurfactantes: vantagens e desvantagens. **Química Nova na Escola**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 228-236. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química (SBQ), ago. 2017.

COOK, Ian; UPTON, Graham. **A dictionary of statistics**. 2 ed. Oxônia: Editora Oxford University Press, 2008

COSTA, Dayane Lindsey; COSTA, Jane Dias Oliveira da; STIER, Paulo Henrique. **Formas de detecção da cromatografia líquida**. 2021. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade UNINTER, São Paulo, 2021.

DALTIN, Decio. **Tensoativos: Química, Propriedades e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Blücher, 2011.

FREITAS, Juliana G.; GONSALEZ, Verônica; SOTO, Miguel AA; TERAMOTO, Elias H.; KIANG, Chang H. Seção 1.5: **Conceitos sobre transporte de matéria nas zonas não saturadas e saturadas**. In: CETESB. Áreas contaminadas. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/conceitos-sobre-transporte-de-substancias-nas-zonas-nao-saturada-e-saturada/> . Acesso em: 19 jun. 2025.

GOOGLE EARTH. Mapa dos pontos de coleta. **Google**, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

IOST, C. A. R.; RAETANO, C. G. **Tensão superficial dinâmica e ângulo de contato de soluções aquosas com surfactantes em superfícies artificiais e naturais**. Dissertação: Engenharia Agrícola, v. 30, n. 4, p. 670–680, ago. 2010.

MELLO, Ligia C.; RIZZATTI, Ivanise Ma; ZANETTE, Dilson R. Determinação potenciométrica da concentração micelar crítica de surfactantes: uma nova aplicação metodológica no ensino de química. **Química Nova na Escola**, n. 29, p. 30–36, maio 2009.

MÜZEL, Felipe de La Rua. **Desenvolvimento de metodologia amigável para análise de surfactantes aniônicos em produtos de higiene pessoal**. 2021. 108 f. Dissertação: (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2021.

NEYMAN, Jerzy. On the Two Different Aspects of the Representative Method: The Method of Stratified Sampling and the Method of Purposive Selection. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 97, n. 4, p. 558-625, 1934.

OUTON, Luis. Tensão Superficial: 2020. **apostilas de apoio UFMG** Disponível em: <https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/07/Tensao_Superficial.pdf>.

PENTEADO, José Carlos P.; SEOUD, Omar A. El; CARVALHO, Lilian R. F.. Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica. **Química Nova**, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 1038-1046, out. 2006. FapUNIFESP (SciELO).

SILVA, Leonardo Mendes da. *Impactos dos detergentes no meio ambiente: evidências de um estudo ecotoxicológico*. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 2, p. 1429–1441, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v9i2.8883>

SILVA, Luiz Galdino da *et al.* Nota Técnica 4 – Surfactantes em esgoto sanitário e no meio ambiente: presença, remoção e toxicidade. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 37-51, 2023. **Zeppelini Editorial e Comunicação**.

SILVA, Walisson Junio Martins da. Ácido fólico: validação do método espectrofotométrico. 67 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, Araraquara, 2012.

ŚLIWKA-KASZYŃSKA, M.; KOT-WASIK, A.; NAMIEŚNIK, J. Preservation and storage of water samples. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 31–44, 2003.

SPERLING, Marcos Von (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

WYSOKOWSKA, Klaudia; CUPIAŁ, Zuzanna; STASZAK, Maciej; ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK, Agnieszka; KOZIOŁEK, Jan; ŁAWNICZAK, Łukasz; WYSOKOWSKI, Marcin; WYRWAS, Bogdan. Photocatalytic degradation of non-ionic, anionic, and cationic surfactants: from batch experiments through equilibrium/kinetic study to ecotoxicology analysis. **Chemical Papers**, Bratislava, v. 78, p. 761–777, out. 2023.

ZHOU, Lili; LIU, Zhang; WANG, Yilin. Molecular insights: how counterions determine surfactant aggregation. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 341, art. 103484, 2025.