



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**ANA CAROLINA LEOPOLDO PEREIRA**

**PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁGUA  
SANITÁRIA**

Tubarão

2021

**ANA CAROLINA LEOPOLDO PEREIRA**

**PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁGUA  
SANITÁRIA**

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Marcos Marcelino Mazzucco, Dr.

Tubarão

2021

**ANA CAROLINA LEOPOLDO PEREIRA**

**PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁGUA  
SANITÁRIA**

Este Relatório de Estágio foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, treze de julho de dois mil e vinte e um.

---

Professor e orientador Marcos Marcelino Mazzucco, Dr  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. João Michels Cardoso, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Wilson Alano, Ms.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus familiares e especialmente a quem me incentivou e me apoiou durante essa trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pelas oportunidades em meu caminho.

Aos meus familiares por serem o meu refúgio, por todo o direcionamento e por todo incentivo desde a minha infância me fazendo querer sempre ir atrás de conhecimento.

Ao Tiago Izaias Albino por todo o apoio durante esses anos, por não me deixar desanimar, por me mostrar que eu sou capaz de seguir, por me dar forças nos momentos mais difíceis, enfim, por acreditar em mim, mesmo quando nem eu mesma acreditei.

Aos amigos por todo o encorajamento e por todos os momentos de alegria nos instantes em que mais me mostrava ansiosa e apreensiva.

A todos os professores que me guiaram nessa jornada se empenhando em passar o seu conhecimento da melhor maneira possível.

Ao meu orientador, Marcos Marcelino Mazzucco, a quem sempre admirei, por todo o direcionamento e assistência que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A todos que, de maneira direta e indireta, me influenciaram positivamente e me deram forças para continuar.

A todos vocês o meu sincero e singelo muito obrigada.

*“Se ouvir uma voz dentro de si dizendo ‘Você não é capaz de pintar’ pinte a qualquer custo e essa voz será silenciada”*

- Van Gogh

## RESUMO

A água sanitária é fabricada a partir do hipoclorito de sódio, um produto que possui inúmeras destinações como ação bactericida e alvejante, porém perde facilmente as propriedades devido a sua instabilidade e reatividade. Uma água sanitária de boa qualidade deve possuir o teor de cloro ativo dentro da faixa especificada pela ANVISA, descrito na RDC Nº 110, sendo entre 2,0% a 2,5%, devendo chegar ao final da sua validade com o teor de 2,0%. A degradação do teor de ativo na água sanitária é um dos problemas esporadicamente enfrentados pela empresa, pois, embora o produto fosse produzido em condições controladas para cumprir especificações, acabava por perder cloro ativo passando a estar não conforme logo após a sua produção. Pelo que foi observado e apresentado pela empresa, considerou-se a necessidade de fazer o levantamento das possíveis causas do problema de baixo teor de ativo da água sanitária, direcionando o estudo para o hipoclorito de sódio e para a água utilizada atualmente na fabricação, visando propor melhorias no processo de fabricação. Desta forma, foi analisado se há variabilidade no teor de cloro ativo nas bombonas de hipoclorito através da titulação iodométrica e avaliou-se a degradação do teor ativo presente no produto realizando-se análises com diferentes águas. Ao realizar-se os testes constatou-se que há uma variação de até 19,3% no teor das bombonas analisadas. Já ao analisar-se a influência da água na degradação do teor de ativo, logo após a produção, observou-se que ocorreu a diminuição imediata do teor ao fabricar o produto para 2,23% e 2,22%, respectivamente, para da rede de abastecimento público e água deionizada, teores que estatisticamente não apresentaram diferenças entre si. Contudo constatou-se através de uma equação obtida a partir da equação de Arrhenius que a degradação, de 0,28% é significativa ao ponto de o produto atingir o teor mínimo de 2,0% apenas 77 dias a 20°C e 33 dias a 30°C após a sua produção. Com a variabilidade constatada conclui-se que a maneira que o hipoclorito está sendo armazenado está influenciando diretamente no teor da água sanitária sendo indicado, para evitar essa variação, o armazenamento do produto em contêineres IBC. Com os testes realizados a partir das diferentes águas observou-se que a água utilizada na produção não está influenciando na degradação do teor do produto, ao ponto de deixá-lo não conforme, logo após a produção. Porém, para obter-se um resultado mais específico e com relação a sua influência é sugerido realizar a determinação do teor de cloro ativo do produto fabricado com as diferentes águas durante todo o seu período de validade, elaborando e analisando a sua curva de degradação.

Palavras-chave: Água sanitária. Hipoclorito de sódio. Teor de cloro ativo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de água sanitária.....	19
Figura 2 - pH-metro utilizado nas análises .....	28
Figura 3 – Alíquota preparada para análise do teor de ativo .....	29
Figura 4 - Solução com a amostra a ser titulada .....	29
Figura 5 - Solução amarelo-claro e solução incolor indicando o ponto final .....	30
Figura 6 - Diagrama de Ishikawa para o baixo teor de cloro ativo .....	32

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Contaminantes inorgânicos encontrados em águas subterrâneas .....	18
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises do NaOCl de diferentes bombonas.....	33
Tabela 2 - Análises das amostras de água sanitária a partir da água da rede de abastecimento público.....	34
Tabela 3 - Análises das amostras de água sanitária a partir da água deionizada.....	34
Tabela 4 - Análise de variância para fator único .....	35
Tabela 5 - Determinação da vida útil do produto .....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	PROBLEMA	14
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	15
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	ÁGUA SANITÁRIA	16
<b>2.1.1</b>	<b>Matérias-primas da água sanitária</b>	<b>16</b>
2.1.1.1	Hipoclorito de sódio	16
2.1.1.2	Carbonato de sódio	17
2.1.1.3	Água	17
2.1.1.3.1	<i>Impurezas presentes na água</i>	18
<b>2.1.2</b>	<b>Processo de fabricação</b>	<b>19</b>
2.2	CLORO ATIVO	19
<b>2.2.1</b>	<b>Degradação do cloro ativo</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Determinação do teor de cloro ativo</b>	<b>20</b>
2.2.2.1	Determinação iodométrica	21
2.3	DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO	23
2.4	ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA (ANOVA)	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>26</b>
3.1	COLETA DAS AMOSTRAS DE HIPOCLORITO DE SÓDIO	26
3.2	PREPARO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SANITÁRIA	26
3.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	27
<b>3.3.1</b>	<b>Determinação do pH</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Determinação do teor de cloro ativo</b>	<b>28</b>
3.3.2.1	Preparação das soluções	28
3.3.2.1.1	<i>Solução de iodeto de potássio 10%</i>	28
3.3.2.1.2	<i>Solução de amido 0,5%</i>	28
3.3.2.1.3	<i>Solução de ácido acético 1:3</i>	28
3.3.2.2	Preparo da alíquota	29
3.3.2.3	Procedimento	29

3.3.2.4 Cálculo .....	30
3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	31
3.5 CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO .....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de saneantes domissanitários, comumente chamados de produtos de limpeza, tornou-se visível no início do século XX, com o desenvolvimento de sabões em pó e detergentes domésticos, contudo a indústria só expandiu-se por volta de 1945.

Hoje em dia os produtos de limpeza estão presentes em, praticamente, todos os lares, onde o seu uso é feito diariamente. Esses produtos são destinados à higienização, desinfecção ou desinfestação domiciliar, seja em ambientes coletivos ou públicos, em lugares de uso comum e no tratamento da água. (FIOCRUZ, 2021)

Tendo em vista a importância da desinfecção de ambientes hoje em dia um dos produtos de limpeza mais utilizados, em residências ou empresas, é a água sanitária. Essa procura se dá pelo fato de possuir inúmeras destinações como ação bactericida, alvejante e desodorizante atrelado a um baixo custo de aquisição, praticidade, eficácia e facilidade de uso. (ABES, 2017)

A água sanitária é produzida a partir de hipoclorito de sódio, uma substância que perde facilmente as propriedades devido a sua instabilidade e reatividade, e perde conseqüentemente o valor comercial, pois deixa de obter uma boa eficácia. (PINTO, 2014, p.4)

Segundo OxyChem (p. 04, 2014), essa instabilidade pode ser agravada por vários fatores como temperatura, luminosidade, presença de metais e outras impurezas presentes nas matérias-primas utilizadas na produção, causando conseqüentemente a degradação do cloro ativo, ou seja, provocando a diminuição do teor de cloro ativo do produto.

De acordo com a ANVISA, descrito na RDC N° 110 de 6 de setembro de 2016, o teor mínimo de cloro ativo deve ser de 2,0% p/p e máximo de 2,5% p/p durante o prazo de validade do produto.

O baixo teor de cloro ativo apresentado, logo após a produção, da água sanitária é um dos problemas enfrentados esporadicamente pela empresa, pois embora o produto seja produzido em condições controladas para cumprir especificações, acabava por perder o ativo passando a estar não conforme.

Pelo que foi observado e apresentado pela empresa, considerou-se a necessidade de fazer o levantamento das possíveis causas do problema de baixo teor de ativo da água sanitária direcionando o estudo para o hipoclorito de sódio, que atualmente é disposto em bombonas de 30kg, e para a água da rede de abastecimento público utilizada na produção, que pode possuir alguma concentração de metais, visando propor melhorias no processo de fabricação.

Desta forma, é preciso realizar-se o levantamento das principais causas através da elaboração de um Diagrama de Ishikawa. Deve realizar-se análises para determinar o teor de ativo do hipoclorito de sódio em diferentes bombonas e lotes.

É necessário, também, avaliar a degradação do cloro ativo, com relação ao teor de ativo identificado logo após a produção, presente na água sanitária, realizando-se amostras com a água da rede de abastecimento público e com a água deionizada, sendo executado um tratamento estatístico com relação aos resultados obtidos.

Nesse contexto, o presente trabalho pretende identificar quais as principais causas para degradação do cloro ativo e propor melhorias no processo de fabricação do produto.

## 1.1 PROBLEMA

Mesmo sendo produzida em condições controladas para cumprir especificações exigidas pela ANVISA a água sanitária está sofrendo uma inadequada degradação de cloro ativo constatada logo após a sua produção.

Observando-se os assuntos abordados, levanta-se a seguinte questão: que melhorias podem ser realizadas no processo de fabricação para obter-se um produto com o teor de cloro ativo desejado?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os produtos clorados têm um histórico de uso seguro na vida cotidiana, tendo um alto custo-benefício, pois estão disponíveis a um baixo custo e possuem várias aplicações. Esses produtos são muito utilizados para desinfecção, controle de odor, oxidação de matéria orgânica, controle de limo e algas e alvejante de roupas.

Os produtos clorados como a água sanitária são produzidos a partir de hipoclorito de sódio, que é um produto instável e passa a degradar facilmente. A água sanitária deve possuir um teor de cloro ativo entre 2,0% e 2,5% de acordo com ANVISA, descrito na RDC Nº 110 de 6 de setembro de 2016.

Porém, há alguns fatores que podem influenciar na degradação do hipoclorito como a concentração, o pH, a temperatura, a exposição a luz e a concentração de certas impurezas.

As concentrações de impurezas, refere-se a presença de íons metálicos de transição (cobre, níquel e manganês) que são conhecidos por catalisar a decomposição do hipoclorito de

sódio e podem estar associadas às matérias-primas, equipamentos de processamento e recipientes de armazenamento de produtos.

Na produção há vários fatores que podem afetar a qualidade do produto, porém a variabilidade do teor de cloro ativo do hipoclorito de sódio, dada a sua instabilidade, e a água utilizada na fabricação dos produtos, podendo possuir a concentração de alguns metais, podem ser os principais influenciadores na degradação do teor de cloro ativo.

Realizar o estudo referente a melhorias no processo de fabricação da água sanitária é fundamental para obter um produto de qualidade e que esteja de acordo com a legislação vigente.

Levando em consideração os aspectos mencionados, há a possibilidade de propor melhorias no processo de fabricação do produto para minimizar a degradação do teor de cloro ativo da água sanitária.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Propor melhorias no processo de fabricação de água sanitária.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar quais as principais causas do problema de degradação do teor de cloro ativo, logo após a produção da água sanitária, através do diagrama de Ishikawa.
- b) Realizar análises do pH e do teor de cloro ativo do hipoclorito de sódio, verificando a sua variabilidade.
- c) Analisar a interferência da água utilizada na fabricação do produto clorado examinando estatisticamente o teor de cloro ativo e calculando a vida útil do produto.
- d) Propor procedimentos operacionais para melhorar o controle do processo através da análise dos resultados obtidos.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 ÁGUA SANITÁRIA

Brasil (2000) afirma que a água sanitária é um produto é destinado à limpeza, branqueamento e desinfecção em geral de superfícies e tecidos, eliminando germes e bactérias, evitando o aparecimento de doenças nas casas e nos hospitais.

“A água sanitária é uma solução aquosa com a finalidade de desinfecção e alvejamento, cujo ativo é o hipoclorito de sódio ou de cálcio, com teor de cloro ativo entre 2,0% e 2,5% p/p (peso por peso).” (BRASIL, 2016)

Segundo Brasil (2016), na produção da água sanitária é proibida a adição de corantes, fragrâncias, sequestrantes, tensoativos ou quaisquer outras substâncias, podendo conter apenas como componentes complementares o hidróxido de sódio ou de cálcio, o cloreto de sódio ou de cálcio e o carbonato de sódio ou de cálcio.

De acordo com a ANVISA descrito na RDC Nº 110 de 6 de setembro de 2016 o pH mínimo para o produto puro deve ser de 11,5 e máximo de 13,5.

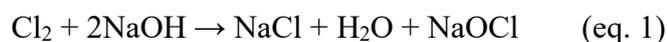
#### 2.1.1 Matérias-primas da água sanitária

##### 2.1.1.1 Hipoclorito de sódio

“O hipoclorito de sódio é empregado como desinfetante e desodorante em leiteiras, fábricas de laticínios, suprimentos de água, rejeitos de esgotos e em atividades domésticas.” (SHREVE, 2008, p.198)

De acordo com Shreve (2008, p.198), o hipoclorito de sódio também é muito usado como alvejante em lavanderias, pois é muito útil para ser usado com o algodão, o linho, a juta e a seda artificial.

Shreve (2008, p.198) também afirma que “a forma mais comum para fabricá-lo é a partir do tratamento da solução de hidróxido de sódio (NaOH) com cloro (Cl<sub>2</sub>) gasoso, como é apresentado a seguir. Porém, outro amplamente utilizado é método da eletrólise de uma solução concentrada de cloreto de sódio.”



O hipoclorito de sódio (NaOCl), de acordo com QUIMICLOR (2016, p.6), possui a coloração amarelada e um odor pungente, penetrante e irritante. E sua densidade, a uma temperatura de 20°C, é de 1,2g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com OxyChem (2014, p.04), “um pH entre 12 e 13 fornece uma solução mais estável. A decomposição abaixo de pH 11 é significativa. Acima de pH 13, não há melhora.”

“O hipoclorito de sódio exibe um equilíbrio dinâmico, conforme mostrado pela reação” abaixo. (PÉCORA *et al.*, 1999, p. 552-569 apud ESTRELA, 2002, p. 114)



#### 2.1.1.2 Carbonato de sódio

O carbonato de sódio mais conhecido por barrilha, seu nome comercial, é um sal inorgânico amplamente utilizado na indústria química, em vários processos industriais, presente também em artigos próprios para o consumo em domicílios. (USIQUIMICA, 2021)

Segundo Shreve (2008, p. 187), a barrilha pode ser utilizada para a produção de sabão, vidro, remédios, papel, têxteis, produtos químicos, alimentos, corantes e produtos agrícolas.

“Carbonato de sódio puro é um pó branco, inodoro que é higroscópico (absorve umidade do ar) e que forma uma solução moderadamente básica na água” (SPEIGHT, 2017)

Segundo USIQUÍMICA, 2021:

“Denominado também como carbonato dissódico, o sal possui a fórmula química Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. É uma substância bastante empregada também para elevar o pH da água, tanto nos processos industriais quanto nos lares e em estabelecimentos comerciais.” (USIQUIMICA, 2021)

#### 2.1.1.3 Água

A água é essencial para a maioria das indústrias. É uma matéria-prima que pode ser utilizada para inúmeros fins como fabricação, processamento, lavagem, diluição, resfriamento ou transporte de um produto; incorporação de água em um produto; ou para necessidades de saneamento dentro da fábrica. Algumas indústrias que usam grandes quantidades de água

produzem commodities como alimentos, papel, produtos químicos, petróleo refinado ou metais primários. (WASHINGTON, 2021)

De acordo com SUEZ (2021):

A água pura (H<sub>2</sub>O) é incolor, insípida e inodora. É composto de hidrogênio e oxigênio. A água não está disponível para uso em seu estado puro, pois ela se contamina pelas substâncias com as quais entra em contato. A água foi denominada de "solvente universal", porque pode dissolver a maioria das substâncias que ocorrem naturalmente na Terra. Por causa desta propriedade, embora benéfico para a humanidade, o poder de solvência da água pode representar uma grande ameaça aos equipamentos e processos industriais.

“Do ponto de vista químico, impureza na água é qualquer substância diferente de H<sub>2</sub>O. Qualquer que seja a fonte, a água apresenta impurezas, mesmo água potável.” (BRUNHARA, 2021)

#### 2.1.1.3.1 Impurezas presentes na água

Segundo Shreve (2008, p. 22) as impurezas presentes nas águas variam bastante de acordo com o local.

De acordo com WASHINGTON (2021), há uma variedade de componentes inorgânicos que podem ser encontrados em águas subterrâneas como, por exemplo o alumínio, antimônio, arsênico, bário, berílio, cádmio, cloreto, cromo, cobre, cianeto, fluoreto, ferro, chumbo, magnésio, mercúrio, níquel, nitrato, selênio, prata, sódio, sulfato, tálio e zinco.

Quadro 1 - Contaminantes inorgânicos encontrados em águas subterrâneas

CONTAMINANTE	FONTE DE CONTAMINAÇÃO
Níquel	Ocorre naturalmente em solos, águas subterrâneas e água superficial. Frequentemente usado em produtos de galvanoplastia, aço inoxidável e liga, mineração e refino.
Magnésio	Ocorre naturalmente como um mineral de sedimentos e rochas ou de mineração e resíduos industriais.
Cobre	Entra no ambiente a partir de revestimento metálico, resíduos industriais e domésticos, mineração e lixiviação mineral.
Ferro	Ocorre naturalmente como um mineral de sedimentos e rochas ou de mineração, resíduos industriais e corrosão do metal.
Alumínio	Ocorre naturalmente em algumas rochas e drenagem de minas.

Fonte: Adaptada de WASHINGTON, 2021.

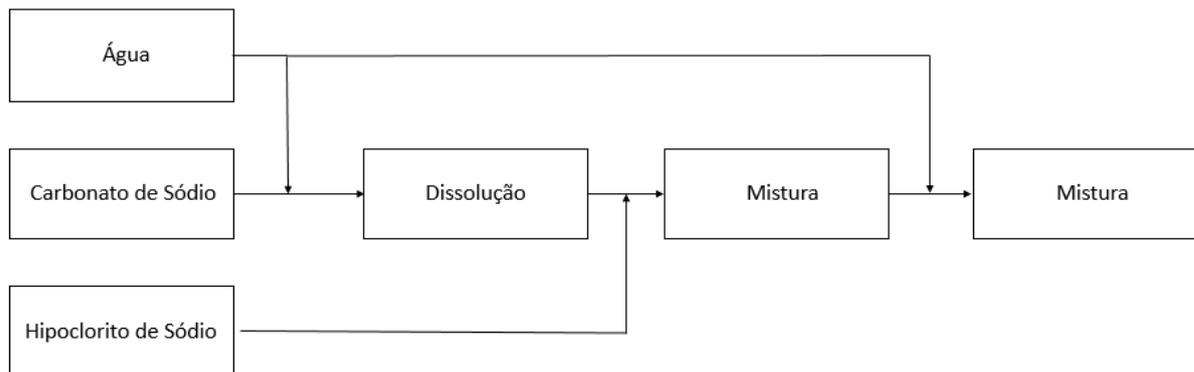
### 2.1.2 Processo de fabricação

A empresa realiza o processo de fabricação da água sanitária, inicialmente, dissolvendo o carbonato de sódio em água.

Após a dissolução é adicionada a quantidade de hipoclorito de sódio necessária, que é calculada previamente após realizar a iodometria e obter-se o teor de ativo de pelo menos 3 bombonas de hipoclorito de sódio, para obter-se um produto de 2,5% de teor de ativo.

Depois da diluição é adicionada água para atingir-se a concentração adequada, para posteriormente realizar-se testes de qualidade do produto. A figura 1 descreve esta sequência.

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de água sanitária



Fonte: Elaboração da autora, 2021.

## 2.2 CLORO ATIVO

“Cloro ativo de um produto é a medida do poder oxidante deste expressa como cloro, isto é, a quantidade de cloro puro em solução aquosa que exerce igual poder oxidante que uma quantidade unitária do produto em questão.” (LUCCA,2006, p.17)

Como abordado anteriormente o teor mínimo de cloro ativo deve ser de 2,0% p/p e máximo de 2,5% p/p durante o prazo de validade do produto. (BRASIL, 2016)

De acordo com o Brasil (2000) a ação da água sanitária não será eficiente se houver uma quantidade de cloro ativo menor do que a estabelecida pela legislação.

### 2.2.1 Degradação do cloro ativo

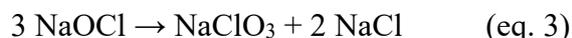
De acordo com OxyChem (2014, p.04) há cinco fatores principais que podem afetar a estabilidade e vida útil de uma solução de hipoclorito: concentração de hipoclorito, pH da solução, temperatura da solução, concentração de certas impurezas que catalisam a decomposição e exposição à luz.

“Soluções hipoclorito de sódio em baixa concentração se decompõem mais lentamente do que soluções com alta concentração.” (OXYCHEM, 2014, p.04)

OxyChem (2014, p.04) afirma também que “se o pH estiver abaixo de 11 a decomposição de hipoclorito de sódio é significativa devido à mudança no equilíbrio a favor do ácido hipocloroso. Um pH entre 12 e 13 torna a solução mais estável.” A decomposição de hipoclorito de sódio devido à mudança no equilíbrio (eq. 2) foi apresentada anteriormente.

“Deve-se ter o cuidado de manter as soluções longe de calor, à medida que as temperaturas mais altas aumentam a taxa de decomposição.” (OXYCHEM, 2014, p.04)

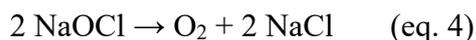
Segundo OxyChem (2014, p.03) podemos observar na equação abaixo o que ocorre quando o hipoclorito de sódio degrada-se por causa da temperatura e pH abaixo:



De acordo com OxyChem (2014):

“Traços de metais, como níquel, cobalto e cobre formam óxidos de metal insolúveis, fazem o alvejante se decompor cataliticamente. Esses vestígios de metais também como ferro, cálcio e magnésio, formam sedimento e pode descolorir a solução. Fontes potenciais para essas impurezas incluem matérias-primas, processamento equipamentos e armazenamento de produtos e recipientes.”

Podemos observar na equação química (eq. 4) apresentada por OxyChem (2014, p.03) que ocorre quando o hipoclorito sofre uma decomposição catalítica, que é causada por presença de metais e exposição a luz:



### 2.2.2 Determinação do teor de cloro ativo

A determinação do teor de cloro ativo pode ser realizada a partir de uma análise titrimétrica pela determinação iodométrica.

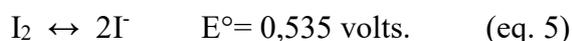
“O processo pelo qual a solução padrão é introduzida no meio reagente é conhecido por titulação que pode ser volumétrica ou gravimétrica.” (BACCAN, 1979, p. 174)

“Em uma análise volumétrica, a quantidade de um constituinte de interesse (amostra) é determinada através da reação desta espécie química com uma outra substância em solução, chamada solução padrão, cuja concentração é exatamente conhecida. Sabendo-se qual a quantidade da solução padrão necessária para reagir totalmente com a amostra e a reação química que ocorre entre as duas espécies, tem-se condições para se calcular a concentração da substância analisada.” (BACCAN, 1979, p. 174)

A titulação é realizada utilizando-se uma bureta para adicionar a solução padrão. É chamado de titulação o processo de adição da solução padronizada até que a reação se complete. O volume exato gasto para que essa reação se complete é chamado ponto de equivalência ou ponto final teórico ou estequiométrico. A modificação física produzida pela solução padronizada é a indicação para o término da titulação. (VOGEL, 2002, p. 174)

#### 2.2.2.1 Determinação iodométrica

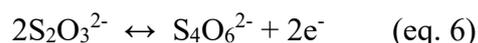
Segundo Baccan (1979), “os métodos volumétricos que envolvem a oxidação de íons iodeto (iodometria) ou a redução de iodo (iodimetria), são baseados na semi reação.”



“As substâncias que possuem potenciais de redução menores que o do sistema  $I^2/I^-$  são oxidados pelo iodo, e, portanto, podem ser titulados com uma solução padrão dessa substância.” (BACCAN, 1979, p. 196)

“O íon tiosulfato ( $S_2O_3^{2-}$ ) é um agente redutor moderadamente forte que tem sido amplamente utilizado na determinação de agências oxidantes por meio de um procedimento indireto que envolve o iodo como intermediário.” (SKOOG, 2006, p.530)

De acordo com Skoog (2006), na presença de iodo, o íon tiosulfato é quantitativamente oxidado para formar o íon tetrationato ( $S_4O_6^{2-}$ ), de acordo com a seguinte reação

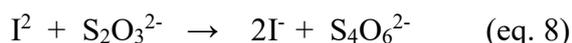
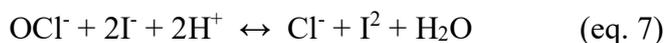


Segundo Skoog (2006):

“O procedimento empregado na determinação de agentes oxidantes envolve a adição de um excesso de iodeto de potássio (IK) há uma solução levemente ácida do analito. A redução do analito produz uma quantidade estequiometricamente equivalente de iodo. Então, o iodo liberado é titulado com uma solução padrão de

tiosulfato de sódio,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , um dos poucos agentes redutores que a estável perante a oxidação pelo ar.” (SKOOG, 2006, p.530)

Skoog (2006) afirma que “é possível realizar a determinação de hipoclorito de sódio em alvejantes através desse procedimento.” As reações estão nas equações 7 e 8:



É necessário um meio com pH ácido para que haja a conversão quantitativa do íon tiosulfato ao íon tetrionato, mostrada na equação (eq. 8). O desaparecimento da cor do iodo, ou seja, quando a solução se torna incolor é um fator que pode servir como indicador em titulações com tiosulfato de sódio. (SKOOG, 2006, p.530)

“Em iodometria é comum o uso de indicadores porque a viragem é menos perceptível devido ao cansaço visual a que o analista é submetido. O indicador geralmente usado é uma solução aquosa de amido, com o qual pode-se determinar concentrações de iodo em solução até  $2 \times 10^{-7} \text{ M}$ .” (BACCAN, 1979, p.199)

“Pelo fato de o amido decompor-se rapidamente, na titulação de soluções de iodo com tiosulfato a adição do indicador é levada até que a cor da solução mude de vermelho-marrom para amarelo, pois nesse ponto a titulação está quase completa.” (SKOOG, 2006, p.531)

De acordo com a ABNT NBR-9425 para calcular o teor de hipoclorito de sódio, em g/L, é usada a fórmula a seguir:

$$\text{NaOCl (g/l)} = \frac{\text{VG} \times 3,72}{\text{Vam}} \times \frac{100}{10} \quad (\text{eq. 9})$$

Sendo:

VG = Volume gasto de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,100N, em mL.

Vam = Volume da amostra utilizado, em mL.

Já para determinar o teor de cloro ativo do hipoclorito de sódio em porcentagem deve se utilizar a seguinte fórmula:

$$\text{NaOCl (\%)} = \frac{\text{VG} \times 0,372}{\text{Vam} \times d} \times \frac{100}{10} \quad (\text{eq. 10})$$

Onde:

VG = Volume gasto de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,100N, em mL.

Vam = Volume da amostra utilizado, em mL.

$d$  = densidade do produto, em g/L. (Utilizar  $d = 1,22$  g/L)

### 2.3 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO

“O tempo limite (vida útil) para o uso de soluções são determinados por especificações de controle de qualidade, como a concentração de cloro residual livre.” (NICOLETTI *et al.*, 2009, p. 28)

Para analisar a degradação química que uma substância sofrerá, em um curto período de tempo, sob condições normais de armazenamento são indicados os testes acelerados de estabilidade. (NICOLETTI *et al.*, 2009, p. 30)

De acordo com Mazzucco (2007):

“A velocidade específica da reação ( $k$ ) representa o termo da expressão da taxa da reação que está relacionado à temperatura do sistema reagente. Assim,  $k$  não é uma constante e somente possui a designação de constante de velocidade devido à grande quantidade de sistemas químicos com operação isotérmica.”

“A velocidade específica da reação ( $k$ ), para a grande maioria das reações, principalmente as elementares, segue a Lei de Arrhenius.” (MAZZUCCO, 2007, p.10)

$$k = k_0 e^{-\frac{EA}{RT}} \quad (\text{eq. 11})$$

Onde:  $k$  = taxa de reação específica

$k_0$  = fator de frequência

$EA$  = energia de ativação

$R$  = constante de gás ideal

$T$  = temperatura absoluta em que o fenômeno ocorre (em Kelvin)

Para determinar a velocidade específica de uma reação em uma dada temperatura, quando é conhecido o valor em outra pode ser utilizada a expressão:

$$k_{(T_2)} = k_{(T_1)} e^{\left[\frac{EA}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right]} \quad (\text{eq. 12})$$

Onde:  $k_{(T_1)}$  = taxa de reação específica para a temperatura  $T_1$

$k_{(T_2)}$  = taxa de reação específica para a temperatura  $T_2$

$EA$  = energia de ativação

R = constante de gás ideal

T = temperatura absoluta em que o fenômeno ocorre (em Kelvin)

“Baseando-se na equação da reta obtida e na ordem de reação determinada (a 50 e 70 °C) e usando a equação de Arrhenius, a velocidade de reação foi calculada para a condição de temperatura de 20°C (condições normais de armazenamento).” (NICOLETTI *et al.*, 2009, p. 28)

De acordo com Nicoletti *et al.* (2009, p. 29) “ $k_{70}$  e  $k_{50}$  foram utilizados para determinar a energia de ativação ( $E_A$ ) da reação, que foi igual a 14,82 kcal.mol<sup>-1</sup>.grau<sup>-1</sup>.”

Segundo Nicoletti *et al.* (2009, p. 29) a constante de velocidade a 20°C foi igual a  $k_{20} = 0,030165 \text{ dia}^{-1}$ . A vida útil em termos de uma diminuição no cloro residual livre de 25 para 20 mg/mL pode ser determinada usando a equação a seguir, com base na cinética de reação de ordem zero.

$$t = \frac{C_0 - C}{k} \quad (\text{eq. 13})$$

Onde: t = tempo (dias)

$C_0$  = concentração inicial

C = concentração final

k = velocidade específica da reação

## 2.4 ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA (ANOVA)

“A análise da variância é uma técnica que pode ser usada para determinar se as médias de duas ou mais populações são iguais. O teste se baseia numa amostra extraída de cada população.” (STEVENSON, 2001, p. 254)

“Na ANOVA os níveis de fatores são muitas vezes chamados de grupos. [...] O princípio básico da ANOVA consiste em comparar as variações que ocorrem nos grupos.” (SKOOG, 2006, p.149)

É necessário comparar o valor-p como nível de significância escolhido para definir se há diferença estatisticamente significativa entre as médias, onde um nível de significância 0,05, geralmente utilizado, sugere que o risco de se concluir que existe uma diferença, quando, na verdade, não existe nenhuma diferença real, é de 5%. (MINITAB, 2021)

“O valor-p é definido como a probabilidade de observar-se um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado. (FERREIRA, 2015)

De acordo com Skoog (2006, p.148) a hipótese nula ( $H_0$ ) afirma que as médias populacionais são todas iguais e a hipótese alternativa afirma que pelo menos duas médias são diferentes.

Segundo Amaral (2011, p. 32) “um p-valor pequeno é evidência para rejeitar  $H_0$ , porque a probabilidade de observarmos um valor de F tão grande quanto aquele para o qual a hipótese nula é verdadeira é muito baixa.”

Amaral (2011, p. 32) afirma ainda que “um p-valor alto é evidência para não rejeitar  $H_0$ , porque a probabilidade de observarmos um valor de F tão grande quanto aquele para o qual a hipótese nula é verdadeira é muito alta.”

### 3 METODOLOGIA

Com o intuito de identificar quais os principais fatores que podem influenciar no baixo teor de cloro ativo, observado logo após a produção da água sanitária, foi utilizado o diagrama de Ishikawa onde as possíveis causas foram distribuídas em materiais, métodos, máquinas e pessoal.

A fim de averiguar se há a variabilidade do teor de cloro ativo no hipoclorito de sódio, utilizado como matéria-prima na produção da água sanitária, realizou-se a coleta de amostra de diferentes bombonas e seguidamente executou-se a determinação do teor através da titulação iodométrica.

Com o objetivo de verificar se a água, utilizada no processo de produção, possui impurezas que interferem na qualidade da água sanitária, com relação ao teor de cloro ativo, amostras de água sanitária utilizando duas fontes diferentes de água foram produzidas e analisadas efetuando-se a determinação do pH e do teor de cloro ativo através de uma iodometria.

#### 3.1 COLETA DAS AMOSTRAS DE HIPOCLORITO DE SÓDIO

Foram realizadas coletas das amostras de hipoclorito de sódio de dez bombonas diferentes. As amostras de 200mL foram retiradas do recipiente de armazenamento e colocadas em um béquer.

Após ser recolhida, a amostra foi levada diretamente para o laboratório onde foram efetuadas análises para a determinação do pH e do teor de cloro ativo através de uma titulação iodométrica.

Somente depois de realizar as análises de uma das amostras que outra amostra foi recolhida seguindo novamente o método descrito acima.

#### 3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SANITÁRIA

Foram produzidas cinco amostras do produto para cada fonte de água, ou seja, cinco amostras do produto usando água da rede de abastecimento público e cinco amostras do produto utilizando água deionizada.

Para executar o preparo das amostras, primeiramente, foi realizada a titulação do hipoclorito de sódio, usado como matéria-prima, para a obtenção da porcentagem do teor de cloro ativo (método descrito em 3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS).

Depois da obtenção da porcentagem de cloro ativo presente no hipoclorito de sódio realizou-se o cálculo da quantidade necessária a ser utilizada para a obtenção de um produto com o teor de 2,5% para um volume de 250mL.

Em um Erlenmeyer, de 250mL, foi diluído o carbonato de sódio em 150mL de água. Em seguida adicionou-se a quantidade de hipoclorito de sódio necessária, realizando a diluição e avolumou-se a solução com água até 250mL.

Após obtidas, as amostras foram submetidas as análises físico-químicas e ao tratamento estatístico.

### 3.3 ANÁLISES FISICO-QUÍMICAS

#### 3.3.1 Determinação do pH

A determinação do pH foi efetuada utilizando o pH-metro, disponível no laboratório da empresa, do modelo AK95. O medidor de pH foi calibrado, antes da sua utilização, com as soluções tampões, pH 7,00, pH 4,00 e pH 10,00, seguindo-se as orientações do manual do fabricante.

A medição foi realizada em cada amostra, onde mergulhou-se o eletrodo na solução. Foi anotado o pH da solução após esperada a estabilização do valor mostrado no visor do pH-metro.

A cada leitura realizada o pH-metro foi lavado com água em abundância, onde foi seco o excesso com o auxílio de um papel absorvente para posteriormente realizar a outra medição.

Figura 2 - pH-metro utilizado nas análises



Fonte: Elaboração da autora, 2021.

### 3.3.2 Determinação do teor de cloro ativo

#### 3.3.2.1 Preparação das soluções

Foram preparadas as soluções de iodeto de potássio (KI) 10%, amido ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> 0,5% e ácido acético ( $CH_3COOH$ ) 1:3 para a realização da determinação iodométrica

##### 3.3.2.1.1 Solução de iodeto de potássio 10%

A solução de iodeto de potássio (KI) 10% foi realizada diluindo-se 10g, pesado em uma balança de precisão de 0,01g, em 100mL de água deionizada.

##### 3.3.2.1.2 Solução de amido 0,5%

A solução de amido, ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, 0,5% foi preparada diluindo-se 0,5g, pesado com o auxílio de uma balança de precisão de 0,01g, em 100mL de água deionizada.

##### 3.3.2.1.3 Solução de ácido acético 1:3

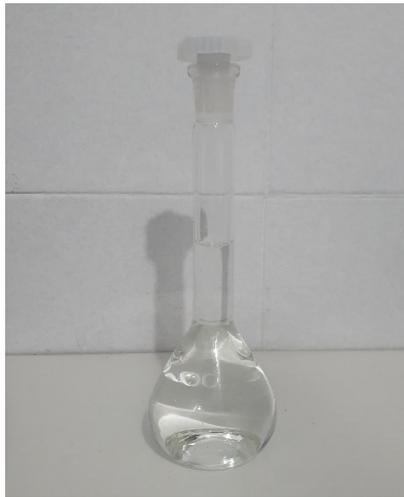
A solução de ácido acético ( $CH_3COOH$ ) 1:3 foi realizada diluindo-se 10mL de ácido acético glacial em 20mL de água deionizada.

### 3.3.2.2 Preparo da alíquota

Foi preparada a alíquota adicionando-se 10mL da amostra a um balão volumétrico de 100mL e em seguida avolumou-se com água destilada.

Essa alíquota foi preparada com cada amostra de hipoclorito de sódio coletada e com cada amostra de água sanitária que foi formulada com as diferentes águas.

Figura 3 – Alíquota preparada para análise do teor de ativo



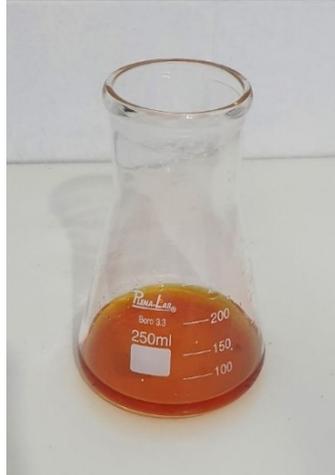
Fonte: Elaboração da autora, 2021.

### 3.3.2.3 Procedimento

Após a montagem da aparelhagem necessária para a titulação, adicionou-se 10mL da solução de iodeto de potássio a um Erlenmeyer de 250mL e, logo em seguida, acrescentou-se também, 5mL da alíquota, preparada no balão volumétrico, ao Erlenmeyer.

Imediatamente preparou-se a solução de ácido acético 1:3 e adicionou-se 20mL dessa solução ao mesmo Erlenmeyer de 250mL.

Figura 4 - Solução com a amostra a ser titulada



Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Seguidamente começou-se a titulação com o tiosulfato de sódio, previamente disposto na bureta de 50mL. Foi realizada a titulação até que a solução, que possuía uma cor vermelho-marrom (Fig. 4), passasse a apresentar uma cor amarelo-claro (Fig. 5).

Após a obtenção da cor amarelada foram adicionadas 10 gotas do indicador (solução de amido 0,5%), onde a solução adquiriu um tom marrom. Continuou-se a titulação até a viragem, ou seja, até que a solução ficasse incolor.

Figura 5 - Solução amarelo-claro e solução incolor indicando o ponto final



Fonte: Elaboração da autora, 2021.

#### 3.3.2.4 Cálculo

Observou-se então o volume de tiosulfato de sódio utilizado na titulação e realizou-se o cálculo referente a porcentagem do teor de ativo utilizando-se a equação 10.

### 3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Com o fim de analisar estatisticamente os resultados obtidos após a determinação do teor de cloro ativo da água sanitária, com relação à água utilizada na preparação, realizou-se a análise de variância (ANOVA) de fator único.

Os resultados dos teores de cloro ativo encontrados foram dispostos no programa Excel. Conseqüentemente utilizou-se a ferramenta de análise “ANOVA: fator único” e em seguida selecionou-se os resultados e informou-se o nível de significância de 0,05.

### 3.5 CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO

O cálculo da vida útil do produto para uma temperatura de 20°C foi executado utilizando a equação 13 e empregando a velocidade específica da reação ( $k_{20}$ ), para essa temperatura, de 0,030165 dias<sup>-1</sup>.

Considerando que há um aumento da temperatura de armazenamento do produto de 20°C para 30°C no verão, levando em conta que o produto, no momento, é vendido apenas na região sul do país, foi realizado o cálculo da velocidade específica da reação ( $k_{30}$ ) para a temperatura de 30°C a partir da equação 12 utilizando  $k_{20}$ .

$$k_{(30)} = k_{(20)} e^{\left[ \frac{14,82}{0,001987207} \left( \frac{1}{293,15} - \frac{1}{303,15} \right) \right]}$$

$$k_{(30)} = 0,030165 e^{\left[ \frac{14,82}{0,001987207} \left( \frac{1}{293,15} - \frac{1}{303,15} \right) \right]}$$

$$k_{(30)} = 0,069816 \text{ dia}^{-1}$$

Onde:  $E_A = 14,82 \text{ kcal.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$k_{20} = 0,030165 \text{ dia}^{-1}$

$T_1 = 20^\circ\text{C}$      $T_2 = 30^\circ\text{C}$

$R = 1,987207 \text{ cal/ mol} \cdot \text{K}$

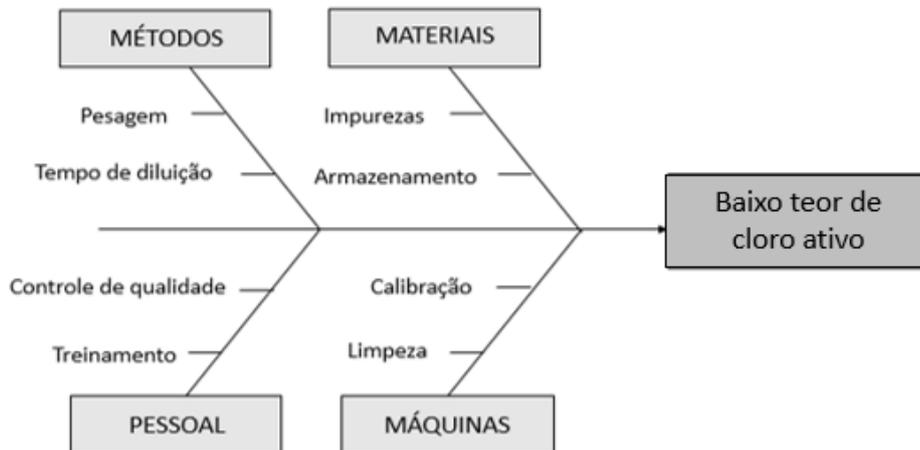
O aumento de 10°C na temperatura de armazenamento mais que duplicou o valor da velocidade específica, indicando a sensibilidade da decomposição térmica do hipoclorito de sódio.

Após ser obtido, o  $k_{30}$  foi utilizado para calcular quantos dias o produto levaria para atingir um teor de 2,0% através da equação 13.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi elaborado um diagrama de Ishikawa para elencar os principais fatores que podem estar influenciando no baixo teor de cloro ativo da água sanitária.

Figura 6 - Diagrama de Ishikawa para o baixo teor de cloro ativo



Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Dois fatores diretamente ligados aos materiais utilizados e que podem influenciar diretamente no baixo teor de cloro ativo são a pesagem e a diluição dos materiais.

É fundamental realizar o tempo de mistura necessário para a dissolução total carbonato de sódio ao realizar a produção da água sanitária, pois este é utilizado para a estabilização do hipoclorito de sódio.

Depois de realizar o cálculo do teor de ativo do hipoclorito de sódio, é obtido, então, o peso necessário para a produção do produto. Portanto, a pesagem incorreta da matéria-prima a ser utilizada pode levar ao baixo teor de ativo. Mas para obter-se uma pesagem precisa é importante também realizar a calibração das balanças.

Para a obtenção de um produto de boa qualidade as balanças, os recipientes para pesagem dos materiais e os misturadores devem ser mantidos devidamente limpos para não haver contaminação do produto.

Com relação ao pessoal, a falta de treinamento de funcionários e de controle de qualidade influenciam na obtenção de um produto dentro dos requisitos, pois é necessário que os funcionários tenham o conhecimento de como deve ser realizada a produção desde a pesagem das matérias-primas até o armazenamento do produto acabado.

Já o controle de qualidade é de suma importância para a produção a partir da análise da qualidade das matérias-primas até a qualidade do produto acabado.

Como podemos observar há vários fatores que podem acarretar no baixo teor de cloro ativo do produto, porém há evidências de que o que pode estar influenciando de maneira significativa a ponto de resultar no teor abaixo de 2,0%, logo após a sua produção, seja os materiais utilizados.

Levando isso em consideração, foi realizada uma análise mais detalhada com relação à qualidade do hipoclorito de sódio e da água utilizada na fabricação do produto.

As amostras de hipoclorito de sódio coletadas, de diferentes bombonas, foram submetidas a análises de pH e a determinação iodométrica.

Tabela 1 - Análises do NaOCl de diferentes bombonas.

ANÁLISES DO HIPOCLORITO DE SÓDIO			
Amostra	Lote	pH	Teor (%)
1	1	12,61	10,55
2	1	13,07	10,92
3	1	12,65	10,86
4	1	12,69	10,61
5	1	12,61	10,18
6	2	12,64	9,27
7	2	12,60	9,15
8	2	12,70	9,82
9	2	12,68	9,76
10	2	12,61	9,88

Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Como pode se observar, o pH da matéria-prima de todas as bombonas está acima de 12, como indicado, apontado por OxyChem (2014) na revisão teórica, para a estabilização do hipoclorito de sódio.

Porém há uma variação percentual de 7,27% do teor com relação as bombonas de menor teor e maior teor do lote 1 e uma diferença percentual de 7,90% do teor com relação as bombonas de menor teor e maior teor do lote 2, porém, se forem utilizadas bombonas de lotes diferentes essa variação percentual é ainda mais preocupante, podendo ser de até 19,34%.

Essa variação apresentada pode ter ocorrido por influência da temperatura, sendo um dos fatores principais que podem afetar a estabilidade e vida útil de uma solução de hipoclorito, como apresentado, anteriormente, na revisão teórica por OxyChem (2014).

Já que ao produzir a água sanitária, são utilizadas por volta de oito bombonas de hipoclorito de sódio, essa variação é algo que afetaria de maneira significativa o teor de cloro ativo do produto.

Com relação a água utilizada na produção, após o preparo, as amostras de água sanitária, a partir de diferentes águas, foram submetidas as análises físico-químicas.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 2 e na tabela 3, o pH de todas as amostras está acima de 11,5, estando de acordo com o indicado pela legislação (apresentado em 2.1 ÁGUA SANITÁRIA), mas ocorreu a diminuição imediata do teor de ativo ao produzir o produto para 2,23% e 2,22%, respectivamente, para a água de abastecimento público e a água deionizada.

Tabela 2 - Análises das amostras de água sanitária a partir da água da rede de abastecimento público

<b>ÁGUA SANITÁRIA A PARTIR DA ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO</b>			
<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>mL</b>	<b>Teor (%)</b>
1	12,68	3,6	2,19
2	12,68	3,6	2,19
3	12,65	3,7	2,25
4	12,67	3,7	2,25
5	12,65	3,7	2,25
			<b>MÉDIA = 2,23</b>

Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Tabela 3 - Análises das amostras de água sanitária a partir da água deionizada

<b>ÁGUA SANITÁRIA A PARTIR DA ÁGUA DEIONIZADA</b>			
<b>Amostra</b>	<b>pH</b>	<b>mL</b>	<b>Teor (%)</b>
1	12,62	3,5	2,13
2	12,66	3,7	2,25
3	12,65	3,7	2,25
4	12,66	3,6	2,19
5	12,64	3,7	2,25
			<b>MÉDIA = 2,22</b>

Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Ao realizar uma análise de variância de fator único para comprovar se há diferença entre as médias do teor de cloro ativo para cada fonte de água, para um nível de significância de 0,05, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 4 - Análise de variância para fator único

<b>RESULTADOS DA ANOVA: FATOR ÚNICO</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
Entre grupos	0,000372	1	0,000372	0,181818	0,681057	5,317655
Dentro dos grupos	0,016364	8	0,002045			
Total	0,016736	9				

Fonte: Elaboração da autora, 2021.

Comprovou-se que as médias, estatisticamente, não apresentam diferenças entre si, pois o valor-p, de 0,681057, é maior que o nível de significância adotado, de 0,05.

Para saber se a degradação ocorrida, afeta na conformidade, com relação ao tempo de prateleira do produto, aplicou-se a fórmula desenvolvida a partir da equação obtida com base na cinética de reação de ordem zero (eq. 13) e determinou-se quantos dias o produto levará para atingir o teor de 2,0% a uma temperatura de 20°C utilizando  $k_{20} = 0,030165 \text{ dia}^{-1}$  e para uma temperatura de 30°C foi utilizando  $k_{30} = 0,069816 \text{ dia}^{-1}$  calculado de acordo com o apresentado na metodologia.

Tabela 5 - Determinação da vida útil do produto

<b>VIDA ÚTIL DO PRODUTO EM DIFERENTES TEMPERATURAS</b>		
<b>Temperatura</b>	<b>Amostra 1</b> (Água da rede de abastecimento público)	<b>Amostra 2</b> (Água deionizada)
20°C	77 dias	73 dias
30°C	33 dias	32 dias

Fonte: Elaboração da autora, 2021.

A água sanitária produzida a partir da água utilizada atualmente na produção levará apenas 77 dias a uma temperatura de 20°C e como curiosidade, considerando que o armazenamento do produto no verão pode chegar próximo a 30°C, o produto armazenado nessa temperatura levará apenas 33 dias para atingir o teor mínimo de 2,0%.

Observou-se então que apesar de haver uma degradação do teor de ativo das amostras, a degradação do hipoclorito de sódio não foi indicativa ao ponto de deixar o produto não conforme logo após a sua produção.

## 5 CONCLUSÃO

Como apontado anteriormente nesse trabalho, o hipoclorito é um produto instável e reativo, assim sendo, a degradação do hipoclorito é normal ao longo do tempo, mas pode-se diminuir essa degradação.

Com os resultados das análises realizadas no hipoclorito de sódio obtidos constata-se que realmente há a variabilidade do teor de cloro ativo entre as bombonas. Para que essa variabilidade não afete o produto, ou seja, para acabar com a variabilidade é sugerido começar a armazenar o produto em contêineres IBC, onde a análise do teor de cloro ativo seria média.

Concluiu-se que a água utilizada na produção não está afetando na degradação do cloro ativo do produto logo após a sua produção, que era o problema apresentado pela empresa. Porém não indica que a água utilizada não degrada o cloro ativo de maneira significativa durante o tempo de prateleira.

Para se confirmar que a água não afeta diretamente na degradação do produto é sugerido realizar a determinação do teor de cloro ativo das amostras de água sanitária, feitas a partir das diferentes águas, durante o período de validade do produto para realizar a sua curva de degradação tendo como referência a curva de degradação da amostra de água sanitária preparada com a água deionizada.

Porém, notou-se que há uma pequena degradação que afeta consideravelmente na vida útil do produto. Para evitar essa degradação é proposto realizar um cálculo para corrigir a quantidade que deve ser utilizada de hipoclorito de sódio para obter um produto com o teor de 2,5% até que se descubra qual fator está gerando essa degradação.

Indica-se, então, a realização de novas análises para que sejam estudados de maneira mais profunda os fatores que podem estar causando a degradação do teor de cloro ativo de 0,28% a fim de minimizá-la.

Também indicada com o intuito de reduzir possibilidade de degradação do cloro ativo do produto final uma proposta simples, porém, necessária e preventiva, para evitar que hajam impurezas no tanque misturador, seria analisar o pH da água que escoar do misturador após a limpeza, antes da fabricação do produto.

Com o intuito de implementar medidas preventivas e corretivas para se evitar não conformidades com relação aos teores de cloro ativo ao longo do prazo de validade do produto que procurou-se conhecer as causas de degradação do cloro ativo.

Portanto, além do que foi esclarecido, recomenda-se que sejam estudadas, se as outras causas, apresentadas no diagrama de Ishikawa, podem estar acelerando a degradação do cloro ativo do produto.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Eurípedes. A redoma do atraso. **Veja**, São Paulo, v. 24, n. 25, p. 42-43, jun. 1991.
- AMARAL, Ernesto F. L.. **Análise de Regressão Múltipla: Inferência**. [2011]. Disponível em: <http://www.ernestoamaral.com/docs/dcp854b-112/Aula24-25.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Manual das Águas Sanitárias**. Vitória, ES, [2017]. Disponível em: <https://abes-es.org.br/manual-das-aguas-sanitarias-guia-completo-sobre-este-produto/>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-9425: Hipoclorito de sódio - Determinação de cloro ativo - Método volumétrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BACCAN, Nivaldo. **Química analítica quantitativa elementar**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1979.
- BRASIL. Inmetro. **Água Sanitária: Produto e Segurança da Embalagem**. [2000]. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/agua\\_sanitaria2.asp](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/agua_sanitaria2.asp). Acesso em: 16 mai. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **RESOLUÇÃO-RDC Nº 110, DE 6 DE SETEMBRO DE 2016**. [2016]. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23530048/do1-2016-09-08-resolucao-rdc-n-110-de-6-de-setembro-de-2016-23530032](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23530048/do1-2016-09-08-resolucao-rdc-n-110-de-6-de-setembro-de-2016-23530032). Acesso em: 16 mai. 2021.
- BRUNHARA, José Luiz. **Impurezas Encontradas na Água**. Disponível em: <https://www.digitalwater.com.br/impurezas-encontradas-na-agua/>. Acesso em: 26 mai. 2021.
- ESTRELA *et al.* Mechanism of Action of Sodium Hypochlorite. **Braz Dent J**, 113-117, 2002.
- FERREIRA, Juliana Carvalho; PATINO, Cecília Maria. O que realmente significa o valor-p?. **Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, 485. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/SWk5XsCsXTW7GBZq8n7mVMJ/?lang=pt&format=pdf#:~:text=O%20valor%20p%20%20definido,maior%20ou%20igual%20ao%20encontrado..> Acesso em: 14 jun. 2021.
- FIOCRUZ. **Grupo Técnico de Saneantes Domissanitários**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: [https://www.incqs.fiocruz.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=88&Itemid=96](https://www.incqs.fiocruz.br/index.php?option=com_content&view=article&id=88&Itemid=96). Acesso em: 10 mai. 2021.
- LUCCA, Lourenço de. **Controle de qualidade do Hipoclorito de Sódio no Processo de Produção, do Curso de Química da UFSC – Campus de Florianópolis**. 2006. Relatório de estágio (Bacharelado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MAZZUCCO, Marcos Marcelino. **Introdução à Cinética Química**. [2007]. Disponível em: <http://paginas.unisul.br/eqm/prof/marcos/cursos.htm>. Acesso em: 10 jun. 2021.

MINITAB. **Interpretar os principais resultados para ANOVA para 1 fator**. [2019]. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

NEW YORK, Department of Health. **What are coliforms?**. Disponível em: [https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/docs/coliform\\_bacteria.pdf](https://www.health.ny.gov/environmental/water/drinking/docs/coliform_bacteria.pdf). Acesso em: 27 mai. 2021.

NICOLETTI, Maria Aparecida *et al.* Shelf-life of a 2.5% sodium hypochlorite solution as determined by Arrhenius equation. **Brazilian dental journal**, 27-31 abr. Geral. p. 20.

OXYCHEM. **Sodium Hypochlorite Handbook**. [2014]. Disponível em: <https://www.oxy.com/OurBusinesses/Chemicals/Products/Documents/sodiumhypochlorite/bleach.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

PINTO, Teresa Catarina Faria. **Avaliação da degradação de cloro activo em, hipoclorito de sódio, Mestrado em Engenharia Biológica**. 2014. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Biológica – Universidade do Minho, 2014.

QUIMICLOR. **Hipoclorito de Sódio**. [2016]. Disponível em: [http://quimiclor.com.br/produtos/pdf/fispq2\\_8.pdf](http://quimiclor.com.br/produtos/pdf/fispq2_8.pdf). Acesso em: 17 mai. 2021.

SHEREVE, R. Norris. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

SKOOG, Douglas A. **Fundamentos de química analítica**. São Paulo: Thomson, 2006.

SPEIGHT, James G.; **Environmental Inorganic Chemistry for Engineers**. In: SCIEDIRECT. Química Inorgânica Industrial. Butterworth-Heinemann, 2017. E-book. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/sodium-carbonate>. Acesso em: 20 mai. 2021.

STEVENSON, Willian J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

SUEZ, Water Technologies & Solutions. **Handbook of Industrial Water Treatment**. [2021]. Disponível em: <https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/handbook-industrial-water-treatment>. Acesso em: 22 mai. 2021.

USIQUÍMICA. **Barrilha e seu uso em processos industriais e domésticos**. [2021]. Disponível em: <https://usiquimica.com.br/blog/barrilha-e-seu-uso-em-processos-industriais-e-domesticos>. Acesso em: 20 mai. 2021.

VOGEL, Arthur Israel. **Análise química quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

WASHINGTON, U.S. Department of the Interior. **Industrial Water Use**. [2021]. Disponível em: [https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/industrial-water-use?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/industrial-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acesso em: 22 mai. 2021.