

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS LONDRINA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**MILENA SANTOS TEIXEIRA**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE RECICLO DA ÁGUA EMPREGADA PARA  
TROCA TÉRMICA NOS MISTURADORES DE UMA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**  
**2022**

**MILENA SANTOS TEIXEIRA**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE RECICLO DA ÁGUA EMPREGADA PARA TROCA  
TÉRMICA NOS MISTURADORES DE UMA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS**

**PROPOSAL OF A REUSE SYSTEM OF WATER USED FOR HEAT EXCHANGE IN  
MIXERS OF A COSMETICS INDUSTRY**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Pricila Marin

**LONDRINA**

**2022**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MILENA SANTOS TEIXEIRA**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE RECICLO DA ÁGUA EMPREGADA PARA TROCA  
TÉRMICA NOS MISTURADORES DE UMA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02 de junho de 2022

---

Pricila Marin  
Doutora em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

---

Larissa Maria Fernandes  
Doutora em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina (UTFPR-LD)

---

Aristides Barion Júnior  
Veneza Indústria e Comércio de Cosméticos LTDA

**LONDRINA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa importante na minha vida. Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, minha avó e meu avô, que sempre me incentivaram, apoiaram e possibilitam que eu chegasse até aqui, servindo de alicerce para as minhas realizações.

Ao meu namorado, agradeço por estar ao meu lado em todos os momentos, pelo auxílio, carinho e incentivo que me fortaleceram e me motivaram durante o curso.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Pricila Marin, por todo ensinamento, apoio e por me guiar com sabedoria nesta trajetória.

Agradeço à Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida.

Aos meus amigos, agradeço pelo companheirismo e apoio durante toda graduação.

À equipe da Veneza Cosméticos que me ofereceram a oportunidade de iniciar minha carreira profissional, compartilharam seus conhecimentos e possibilitaram a realização desse trabalho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Visando realizar um plano de gestão circular da água, reduzir o descarte deste recurso e tornar mais sustentável o processo de fabricação dos produtos da Veneza Cosméticos, este trabalho propõe a implementação de um sistema de reciclo para a água utilizada como fluido de troca térmica nos misturadores da indústria. Para tanto, inicialmente, foram coletados dados experimentais para a determinação da vazão de água ideal para o projeto, considerando-se as temperaturas que devem ser empregadas na entrada e na saída dos misturadores. Após análise destes dados, verificou-se a necessidade de implementação de tanques de armazenamento da água, bem como a instalação de uma tubulação e de um sistema de bombeamento que sejam capazes de transportar a água desde os misturadores até o reservatório. Para o armazenamento da água, infere-se que é possível o aproveitamento de duas cisternas já existentes na indústria que, juntas, possuem capacidade de 2000 L. Visando manter a temperatura adequada para a entrada no encamisamento, sugere-se que uma torre de resfriamento seja acoplada às cisternas. A tubulação a ser instalada deve ser de aço inoxidável, com 1 cm de diâmetro, conectada a acessórios que possibilitam o controle do fluxo de água e a uma bomba centrífuga de 115,53 W de potência. A viabilidade econômica da proposta foi comprovada por meio de uma análise de custos, estimando o investimento de cada um dos itens que seriam necessários para implementação do sistema de reciclo. O retorno financeiro da proposta é possível após cerca de 358 produções, o que ocorreria em, aproximadamente, 9 meses. Pode-se concluir que, com a implementação do projeto, será possível reduzir o descarte de água potável e resultaria, também, em economia para a empresa, tornando mais sustentável o processo de fabricação dos produtos da Veneza Cosméticos.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Cosméticos. Água. Resfriamento. Reciclo.

## ABSTRACT

Aiming to carry out a circular water management plan, reduce the disposal of this resource and make the manufacturing process of Veneza Cosméticos products more sustainable, this work proposes the implementation of a recycling system for the water used as a heat exchange fluid in the reactors of the industry. Therefore, initially, experimental data were collected to determine the ideal water flow for the project, considering the temperatures that should be used at the inlet and outlet of the reactors. After analyzing these data, it was verified the need to implement water storage tanks, as well as the installation of a pipe and a pumping system that are capable of transporting water from the reactors to the tanks. For the storage of water, it is inferred that it is possible to use two cisterns already existing in the industry that, together, have a capacity of 2000 L. be attached to the cisterns. The piping to be installed must be stainless steel, 1 cm in diameter, connected to accessories that allow the control of the water flow and to a centrifugal pump of 115.53 W of power. The economic viability of the proposal was proven through a cost analysis, estimating the investment of each of the items that would be necessary to implement the recycling system. The financial return of the proposal is possible after about 358 productions, which would occur in approximately 9 months. It can be concluded that, with the implementation of the project, it will be possible to reduce the disposal of drinking water and would result in savings for the company, making the manufacturing process of Veneza Cosméticos products more sustainable.

**Keywords:** Sustainability. Water. Cosmetics. Cooling. Recycle.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de produção de cosméticos.....	17
Figura 2 - Diagrama de um misturador batelada com encamisamento .....	18
Figura 3 - Representação das resistências à transferência de calor envolvidas durante a troca térmica entre o cosmético e a água.....	20
Figura 4 - Misturadores utilizados na fabricação dos produtos na Veneza Cosméticos.....	24
Figura 5 - Misturadores utilizados na fabricação dos produtos na Veneza Cosméticos.....	24
Figura 6 - Esquema representativo do transporte de fluido impulsionado por uma bomba.....	25
Figura 7 - Fluxograma dos procedimentos realizados e ordem de apresentação dos resultados.....	31
Figura 8 - Projeto dos misturadores da Veneza Cosméticos .....	33
Figura 9 - Decaimento da temperatura da água de processos na saída do encamisamento em função do tempo .....	37
Figura 10 - Proporção de água no tanque durante o processo de resfriamento de um dos misturadores.....	38
Figura 11 - Local onde as cisternas estão localizadas na empresa. ....	39
Figura 12 - Planta baixa da fábrica.....	40
Figura 13 - Diagrama PID do projeto de reciclo proposto .....	43
Figura 14 - Relação de gastos para a implementação do projeto proposto. ....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Especificações dos misturadores utilizados na linha de produção da Veneza Cosméticos.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2: Dados coletados experimentalmente para cálculo do volume do encamisamento dos misturadores. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3: Volume do encamisamento dos misturadores da empresa.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 4: Vazão de água de resfriamento .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 5 - Dados de temperatura da água no início e no final do processo de resfriamento.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 6 - Dados de especificação da bomba proposta. ....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
HLB	Balanco hidrofílico-lipofílico
NPSH	Carga Líquida positiva de sucção
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_f$	Área de troca térmica do fluido frio [m <sup>2</sup> ]
$A_{ln}$	Média logarítmica entre a área de troca térmica quente e fria [m <sup>2</sup> ]
$A_q$	Área de troca térmica do fluido quente [m <sup>2</sup> ]
$C_f$	Capacidade térmica do fluido [J·s <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$C_{pf}$	Calor específico à pressão constante do fluido frio [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
$e$	Espessura da parede que separa os lados quente e frio [m]
$g$	Aceleração da gravidade [m·s <sup>-2</sup> ]
$h_f$	Coefficiente de convecção do lado frio [W·m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$H_{fe}$	Entalpia específica do fluido frio na entrada do trocador de calor [J·kg <sup>-1</sup> ]
$H_{fs}$	Entalpia específica do fluido frio na saída do trocador de calor [J·kg <sup>-1</sup> ]
$h_{LD}$	Perda de carga ao longo das tubulações de descarga [m]
$h_{LS}$	Perda de carga ao longo das tubulações de sucção [m]
$h_q$	Coefficiente de convecção do lado quente [W·m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$H_S$	Altura de sucção [m]
$K_M$	Condutividade térmica do material que é feito o misturador [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ];
$\dot{m}$	Vazão mássica [kg·s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_f$	Vazão mássica do fluido frio [kg·s <sup>-1</sup> ]
$P_A$	Pressão atmosférica local [Pa]
$p_D/\rho g$	Carga de pressão no ponto de descarga [m]
$p_S/\rho g$	Carga de pressão nos pontos de sucção [m]
$p^{VAP}$	Pressão de vapor do fluido [Pa]
$\dot{q}$	Taxa de transferência de calor [W]
$Q$	Vazão volumétrica do fluido [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$T_f$	Temperatura do fluido frio [K]
$T_{fe}$	Temperatura média do fluido frio na entrada do trocador [K]
$T_{fs}$	Temperatura média do fluido frio na saída do trocador [K]
$T_q$	Temperatura do fluido quente [K]
$\dot{W}_u$	Potência útil [W]

$\dot{W}_{consumida}$	Potência consumida [W]
$z_D$	Carga de elevação no ponto de descarga [m]
$z_S$	Carga de elevação no ponto de sucção [m]
$\rho$	Massa específica do fluido [Kg.m <sup>-3</sup> ]

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. Objetivos gerais.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
3.1. Empresa .....	16
3.2. Fabricação de cosméticos.....	16
3.3. Cálculos de troca térmica.....	19
3.4. Água na indústria de cosméticos .....	22
3.5. Sistema de bombeamento .....	25
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
4.1. Coleta de dados.....	29
4.2. Instalação de tanques de armazenamento.....	29
4.3. Instalação de um sistema de bombeamento .....	30
<b>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
5.1. Coleta de dados.....	32
5.2. Instalação de tanques de armazenamento.....	35
5.3. Instalação de um sistema de bombeamento .....	41
5.4. Instrumentos auxiliares do projeto.....	42
5.5. Análise de custos .....	43
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 07, de fevereiro de 2015, os cosméticos são definidos como produtos de uso externo para pele, cabelos, unhas, lábios, entre outros. São compostos por matérias-primas que podem ser de origem natural ou sintética e que objetivam a limpeza, a perfumação, a alteração de aparência, a manutenção ou a correção do estado e dos odores corporais. Esses produtos podem ser classificados como Grau 1 ou Grau 2. No primeiro grupo, enquadram-se os produtos que se caracterizam por apresentarem propriedades básicas, que não possuem finalidade específica. Já no segundo grupo, estão os produtos que possuem indicações específicas, requerem comprovação de segurança e/ou eficácia, além de informações e cuidados, modo e restrições de uso (ANVISA, 2015).

Produtos de embelezamento e cuidado pessoal vêm sendo utilizados pela sociedade desde cerca de 4.000 anos A.C., no entanto, apenas no século XIX a higiene pessoal foi considerada essencial para suprir as necessidades da população (GALEMBECK *et.al.* 2009). As mulheres fabricavam os produtos para uso familiar, de acordo com as matérias-primas que tinham acesso, mas com a grande demanda por estes produtos e com a crescente inserção das mulheres no mercado de trabalho, as indústrias cosméticas passaram a ganhar cada vez mais espaço e, desde então, seguem inovando e apresentando cada vez mais tecnologia em seus produtos (CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA, 2011).

A indústria cosmética apresenta dados de demanda crescente em todo o mundo e, segundo Mariana Webber, em uma publicação da revista FORBES, o Brasil ocupa o 4º lugar do maior mercado de beleza e cuidados pessoais do mundo. Na mesma publicação, o provedor de pesquisa de mercado Euromonitor International presume que, até o ano de 2025, esse mercado será guiado principalmente por três diferentes linhas: o engajamento digital, os posicionamentos éticos e as propriedades orgânicas e naturais (WEBBER, 2020).

Nessa crescente, o futuro dos cosméticos tende a um enfoque mais sustentável. Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE, o

mercado internacional já é guiado por essa abordagem e, no Brasil, essa tendência está em ascensão. Estudos apontam que cerca de 73% dos consumidores estão dispostos a pagar um valor maior ao adquirirem produtos de marcas sustentáveis, 70% afirmam que buscam comprar de empresas que consideram éticas e 65% procuram saber a procedência do produto antes de comprar (SEBRAE, 2021).

Diante deste cenário, as indústrias vêm buscando, cada vez mais, se adaptar ao desenvolvimento sustentável, planejando seu crescimento econômico a partir de métodos alternativos para a otimização do uso dos recursos naturais (ROMEIRO, 2012). O desenvolvimento sustentável pode ser definido como a procura por atender as necessidades atuais, fundamentais dos seres humanos, sem comprometer as futuras gerações, levando em conta as limitações do meio ambiente (BENETTI, 2006).

Um fator essencial para o desenvolvimento sustentável é minimizar os efeitos da escassez e da poluição da água, recurso fundamental para a vida humana, para atividades industriais e geração de energia. A água é indispensável na fabricação de cosméticos, visto que ela pode ser utilizada como veículo nas formulações, representando cerca de 20 a 80%, em massa, da composição do produto. Pode, também, ser empregada como diluente de matérias-primas, como no caso de soluções de corantes, como aditivo de algumas matérias-primas, na higienização de equipamentos, utensílios e ambientes, como meio de resfriamento de produtos, além do consumo e demais necessidades da indústria (ALVES, 2009).

Diante do exposto, visando tornar mais sustentável a fabricação de produtos de uma indústria de cosméticos localizada no interior do Paraná, este trabalho tem por objetivo a proposta de implantação de um sistema de reciclo da água utilizada para controle de temperatura nos misturadores da empresa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos gerais**

Buscando maior sustentabilidade na fabricação dos produtos da indústria Veneza Cosméticos, situada na cidade de Cambé, Paraná, este trabalho propõe a implantação de um sistema de reciclo da água que é utilizada para promover a troca térmica nos misturadores da empresa.

### **2.2. Objetivos específicos**

Para atender aos objetivos gerais, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Obter dados experimentais do volume de encamisamento dos misturadores e das temperaturas da água na entrada e na saída do encamisamento;
- Calcular a vazão de água do sistema, a taxa de decaimento da temperatura da água utilizada no resfriamento e o volume necessário para o tanque de armazenamento sugerido;
- Analisar a melhor proposta de armazenamento e a possibilidade de implementação de uma torre de resfriamento no tanque;
- Analisar o material e diâmetro ideal para a tubulação, bem como os acessórios necessários para transporte da água;
- Avaliar o tipo de bomba e os parâmetros requeridos para o sistema de bombeamento;
- Analisar a viabilidade econômica da proposta e estimar o tempo de retorno financeiro para a empresa.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Empresa**

A Veneza Cosméticos está no mercado há mais de 23 anos, atuando no desenvolvimento e na fabricação de produtos para sua própria marca, Vitturia, e também, para clientes que buscam a terceirização deste processo. Para a terceirização de produtos cosméticos, a empresa fornece o serviço de desenvolvimento, fabricação, envase, rotulagem e registro do produto perante a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (VENEZA, 2021).

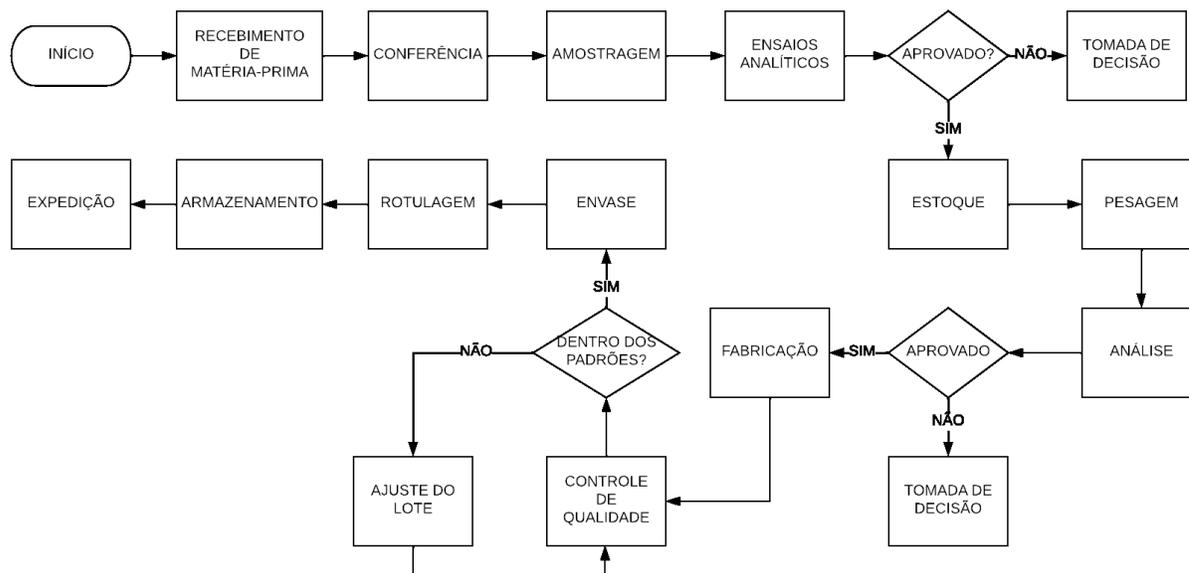
A marca Vitturia surgiu em 1998, com 17 produtos dermocosméticos em linha e, após dois anos, houve uma expansão da fábrica, que foi implantada em sede própria, possibilitando tanto o aumento na produção, como o desenvolvimento de novos produtos. Desde então, a indústria e a marca passaram por mudanças, ampliações, reestruturação e novos desenvolvimentos que fizeram com que a marca conte, atualmente, com mais de 400 produtos em linha e distribuição em um novo sistema comercial (VITTURIA, 2021).

A sede da fábrica conta com o setor comercial, administrativo e produtivo. No setor produtivo, ocorre a fabricação de cremes, sérums, loções, shampoos, sabonetes, entre outros produtos. No último ano, a indústria passou por ampliações e reestruturação da fábrica que, atualmente, produz produtos para mais de 500 marcas. Além de práticas sustentáveis já bem estabelecidas, como o portfólio com produtos veganos, que são certificados pela Associação Brasileira de Veganismo, e sem testes em animais (Cruelty Free), a empresa busca tornar-se cada vez mais sustentável. Pensando nisso, também foram implementadas placas solares para geração de energia.

#### **3.2. Fabricação de cosméticos**

O processo de fabricação de cosméticos, apresentado na Figura 1, se inicia com o recebimento das matérias-primas, que passarão por um processo de conferência, seguido de análises que buscam verificar suas propriedades e assegurar a qualidade dos produtos finais. Posteriormente a matéria-prima é armazenada no estoque, com temperatura e umidade controladas (ANVISA, 2008).

**Figura 1 - Fluxograma de produção de cosméticos**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Após a ordem de produção ser encaminhada ao laboratório, inicia-se o processo de separação e pesagem das matérias-primas. Com a aprovação do responsável técnico, estas são encaminhadas à área de fabricação, onde serão manipuladas de acordo com o método de desenvolvimento elaborado exclusivamente para cada produto, levando em consideração as especificações requeridas para as matérias-primas que os compõem.

Após a fabricação, são realizados os testes de controle de qualidade do produto final, que buscam verificar os parâmetros físico-químicos e organolépticos como cor, odor, pH, viscosidade e densidade. Se os resultados obtidos estiverem dentro dos parâmetros pré-definidos na etapa de desenvolvimento do produto, o mesmo está aprovado e pode seguir para o envase. Caso o produto não seja aprovado serão feitas as correções necessárias para atingir os parâmetros ideais (ANVISA, 2008). Os produtos aprovados são envasados, rotulados e armazenados.

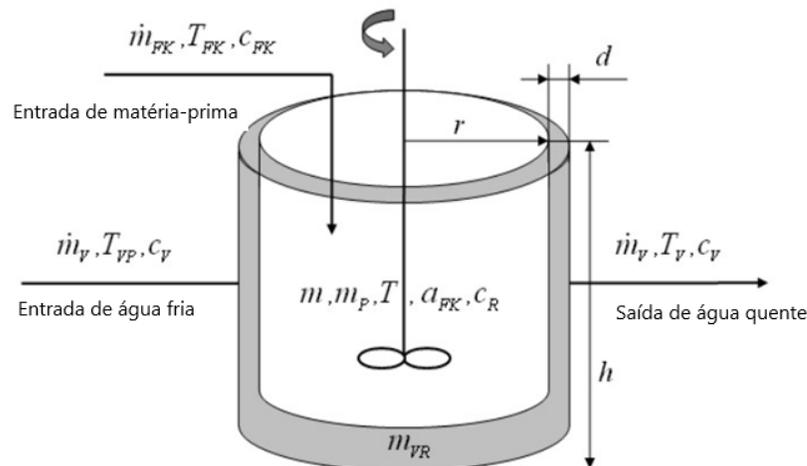
Para cada produto cosmético, diferentes formulações são desenvolvidas e, em grande parte, utiliza-se a água para reagir com diversos tipos de matérias-primas, como: emulsionantes para a formação de cremes, espessantes de fase aquosa para o aumento da viscosidade do produto, umectantes para hidratação da pele e do cabelo, conservantes para a preservação do produto, entre outros (ALVES, 2009).

Além disso, devido ao fato de que as estruturas dos produtos diferem umas das outras, o modo de fabricação, bem como o tipo de misturador utilizado também variam de acordo com as características do cosmético a ser produzido. Algumas matérias-primas utilizadas nas formulações necessitam de aquecimento para a sua incorporação ao produto, como é o caso de alguns emulsionantes, espessantes e ativos. No caso de emulsões, o valor do balanço hidrofílico-lipofílico (HLB) influencia na temperatura de inversão de fase. Por exemplo, para valores de HLB do surfactante de 8 a 11, a temperatura de inversão de fases varia de 50 a 100°C (MITSUI, 1970). Na Veneza, objetivando a homogeneização dos produtos sem a degradação das matérias-primas, o aquecimento utilizado como padrão para os produtos é de, aproximadamente, 80°C.

Após a incorporação das matérias-primas, considerando um misturador perfeitamente homogeneizado, no qual todos os pontos do produto estarão com a mesma temperatura, a mistura precisa ser resfriada para que ocorra a etapa de finalização e adição de itens que não podem ser expostos a altas temperaturas, como é o caso de alguns ativos, essências e conservantes.

O processo de resfriamento do misturador é realizado por meio de um sistema de encamisamento, representado na Figura 2, que envolve toda a parede do misturador, no interior do qual circula-se água à temperatura ambiente visando promover a troca térmica entre o fluido de resfriamento e o produto, até que este atinja a temperatura adequada.

**Figura 2 - Diagrama de um misturador batelada com encamisamento**



Fonte: Adaptado de Kähm e Vassiliadis (2018)

Na Figura 2, a área de altura  $h$  e espessura  $d$ , separada do interior do misturador por uma parede, é região na qual circula-se a água de processos, utilizada tanto para o aquecimento do produto durante a etapa de incorporação das matérias-primas, como para a etapa de resfriamento do misturador. No interior do tanque de agitação, de raio  $r$ , é adicionado o cosmético a ser processado. Na Veneza Cosméticos, o produto é agitado por um impelidor do tipo hélice âncora e o misturador, que opera aberto e em contato com o ar, também possui chicanas para aumentar a agitação dos produtos e facilitar o contato entre seus componentes.

### 3.3. Cálculos de troca térmica

Como já citado, a troca térmica entre a água, chamada de fluido frio e utilizada para o aquecimento/resfriamento do produto cosmético, chamado de fluido quente, é promovida por um sistema de encamisamento. Considerando um trocador de calor, em estado estacionário e sem geração de energia, a equação de balanço global de energia para o fluido frio pode ser dada pela Equação 1 (TADINI, 2016).

$$\dot{q} + H_{fe}\dot{m}_f = H_{fs}\dot{m}_f \quad (1)$$

Na qual:

- $\dot{q}$  é a taxa de transferência de calor [W];
- $\dot{m}_f$  é a vazão mássica do fluido frio [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ];
- $H_{fe}$  é a entalpia específica do fluido frio na entrada do trocador de calor [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ];
- $H_{fs}$  é a entalpia específica do fluido frio na saída do trocador de calor [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].

Considerando que não há mudança de estado e que o calor específico pode ser considerado constante, a taxa de transferência de calor pode ser reescrita de acordo com a Equação (2) (TADINI, 2016).

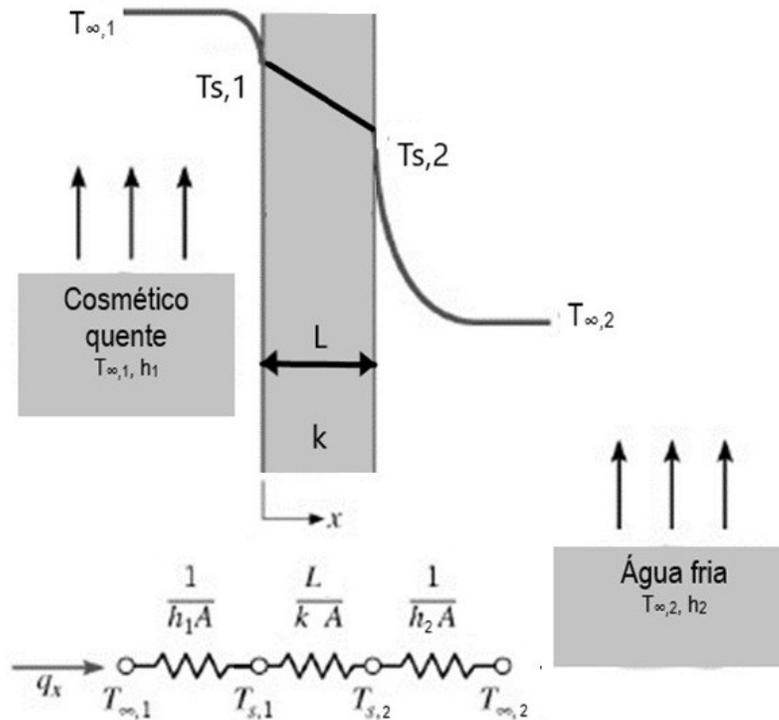
$$\dot{q} = \dot{m}_f C_{pf}(T_{fs} - T_{fe}) = C_f(T_{fs} - T_{fe}) \quad (2)$$

Na qual:

- $C_{pf}$  é o calor específico à pressão constante do fluido frio [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ];
- $T_{fe}$  é a temperatura média do fluido frio na entrada do trocador [K];
- $T_{fs}$  é a temperatura média do fluido frio na saída do trocador [K];
- $C_f$  é a capacidade térmica do fluido [ $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ].

O coeficiente global de troca térmica, desconsiderando incrustações, é dado pela soma das resistências térmicas à condução e à convecção, apresentado na Figura 3, sendo que a resistência condutiva ocorre na parede que separa os fluidos e a convectiva ocorre em ambos os fluidos, quente e frio.

**Figura 3 - Representação das resistências à transferência de calor envolvidas durante a troca térmica entre o cosmético e a água.**



Fonte: Adaptado de INCROPERA (2019)

Para o misturador batelada com encamisamento, o agitador interno é o que causa o movimento do cosmético a ser resfriado e, como consequência, promove a transferência de calor convectiva no produto. Para a água, a convecção se dá em

decorrência da vazão, pelo movimento gerado durante a sua passagem no sistema de encamisamento.

O coeficiente global de troca térmica para o misturador é representado pela Equação (3) (TADINI, 2016).

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_q A_q} + \frac{e}{K_M A_{ln}} + \frac{1}{h_f A_f} \quad (3)$$

Na qual:

- $A_q$  é a área de troca térmica do fluido quente [m<sup>2</sup>];
- $A_f$  é a área de troca térmica do fluido frio [m<sup>2</sup>];
- $A_{ln}$  é a média logarítmica entre a área de troca térmica quente e fria;
- $h_q$  é o coeficiente de convecção do lado quente [W·m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>];
- $h_f$  é o coeficiente de convecção do lado frio [W·m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>];
- $K_M$  é a condutividade térmica do material que é feito o misturador [W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>];
- $e$  é a espessura da parede que separa os lados quente e frio [m];

As áreas de troca térmica variam de acordo com a geometria do sistema. Considerando a geometria cilíndrica dos misturadores, tem-se que estas áreas são diferentes para o produto a ser aquecido/resfriado, que permanece no interior do equipamento, e para a água de aquecimento/resfriamento, que escoar no interior do encamisamento. No primeiro caso a área é dada por  $A = \pi D_i L$  e a área de troca térmica do encamisamento é dada por  $A = \pi D_e L$ , onde que  $D_i$  e  $D_e$  são os diâmetros interno e externo do misturador [m], respectivamente,  $L$  é a altura do misturador [m] e a espessura da parede do tubo é  $e = (D_e - D_i) / 2$  (TADINI, 2016).

A carga térmica do trocador de calor pode ser dada pela Equação 4, a qual é função do potencial térmico médio, que é calculado pela diferença entre as temperaturas do fluido quente ( $T_q$ ) e do fluido frio ( $T_f$ ):  $\Delta T = T_q - T_f$  (TADINI, 2016).

$$\dot{q} = UA\Delta T \quad (4)$$

### 3.4. Água na indústria de cosméticos

A diminuição do volume de água no Brasil é um assunto que vem preocupando a população e a comunidade científica. Segundo Lima e Victorino (2021), o Brasil dispõe de cerca de 13% de toda a água doce no planeta, mas, ainda assim, desde 1985, o Brasil perdeu 15% da sua água superficial. Esse recurso natural é essencial e seu consumo é proporcional a taxa de crescimento populacional, o que indica que o uso precisa ser controlado para que possa suprir a demanda por essa matéria-prima (MORETTI, 2017).

No setor industrial, a água pode ser utilizada para diversas finalidades, dentre elas, o uso como matéria-prima do produto a ser produzido, lavagem dos equipamentos e sistemas de troca térmica, tanto para refrigeração como para aquecimento. Sendo assim, devido à grande demanda hídrica, a falta desse recurso gera grande vulnerabilidade para o setor (MIERZWA, 2014).

Buscando a redução no consumo de água, muitas empresas estão reavaliando seus processos e produtos. Na indústria cosmética, algumas soluções que vêm sendo empregadas são a redução de água como matéria-prima, realizando a fabricação produtos anidros e sólidos, e a implementação de cosméticos sem enxágue, que buscam reduzir o uso de água pelo consumidor. A redução na área de processos pode ocorrer por meio da implementação de fontes alternativas de água e de um plano de gestão circular de água nas instalações da fábrica (AGUIAR *et al.*, 2021).

Para a reutilização da água, um fator que exige atenção são os parâmetros de qualidade requeridos na futura aplicação. O padrão de qualidade da água é fortemente influenciado pelas características da indústria e da finalidade para a qual ela será empregada. Nas indústrias de cosméticos, a água a ser incorporada ao produto requer um padrão elevado de pureza, visto que a presença de possíveis substâncias tóxicas e agentes patogênicos presentes na matéria-prima podem gerar contaminações do produto final (ALVES, 2009).

A água utilizada na Veneza Cosméticos é destinada, basicamente, para duas finalidades. A primeira, chamada água de processos, utilizada para o aquecimento o resfriamento do misturador, é proveniente do abastecimento municipal da cidade de Cambé-PR. Já a segunda, chamada de água purificada, é utilizada como matéria-prima

base na fabricação de grande parte dos cosméticos e, devido a isso, passa pelo processo de osmose reversa, objetivando alcançar o nível de purificação exigido para essa aplicação. De forma simplificada, o processo de osmose reversa, é realizado por meio da aplicação de pressão, que age como a força motriz do sistema, sobre a solução saturada (água sem tratamento) que passa através de uma membrana semipermeável, onde são retidas as impurezas (OLIVEIRA; PELEGRINI, 2011).

A fabricação de cosméticos conta com possibilidades restritas de reutilização da água, pois a que pode ser incorporada ao produto final precisa ser purificada e, portanto, deve ter sua qualidade comprovada. As outras possibilidades de reutilização dessa matéria-prima estão na lavagem dos misturadores, na qual não é permitido o reuso direto devido às impurezas resultantes da lavagem dos equipamentos, e no sistema de troca térmica (ALVES, 2009).

A água de processos, utilizada no sistema de troca térmica, não requer níveis elevados de purificação, visto que não tem contato direto com o produto. Segundo a ANVISA (2013), para que a sua reutilização seja possível, necessita-se apenas que a água esteja com boas condições de qualidade e que as tubulações de transporte de água apresentem um bom estado de conservação e limpeza. Na indústria Veneza Cosméticos não ocorre, até então, a reutilização da água empregada no sistema de troca térmica dos misturadores, o que acaba resultando em desperdício deste recurso e custos elevados para a empresa.

Diante do exposto, considerando os elevados volumes de água utilizados nas indústrias cosméticas e a constante busca pelo desenvolvimento sustentável, visualizou-se a oportunidade de redução do consumo deste recurso durante o processo de fabricação de cosméticos na indústria Veneza Cosméticos. Para tanto, propôs-se a reutilização da água empregada no sistema de troca térmica dos misturadores da empresa, apresentados nas Figuras 4 e 5.

**Figura 4 - Misturadores utilizados na fabricação dos produtos na Veneza Cosméticos.**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

**Figura 5 - Misturadores utilizados na fabricação dos produtos na Veneza Cosméticos.**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

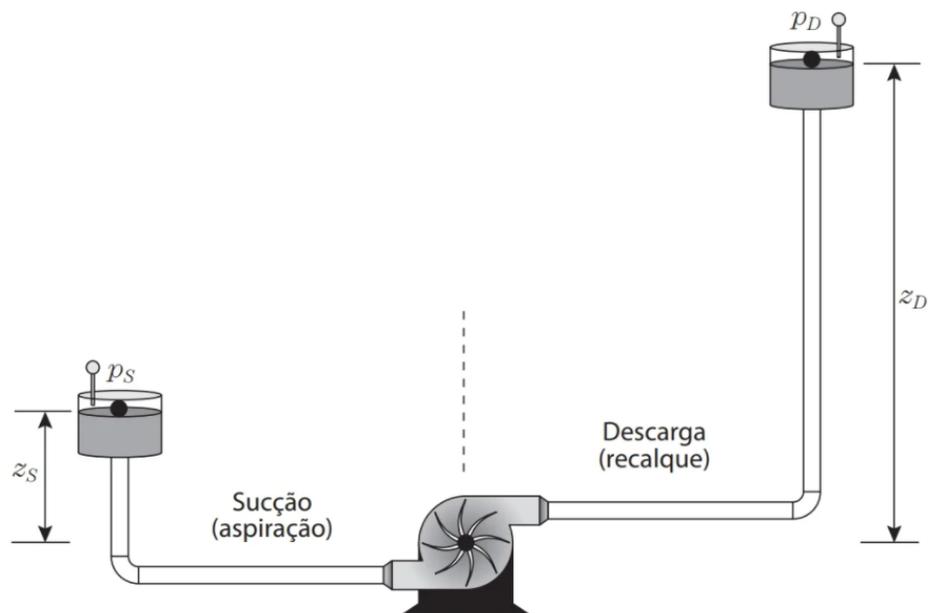
Para que seja possível um sistema de reciclo da água de processos, será necessária, também, a implementação de um tanque de armazenamento para a água, além de um sistema de bombeamento que seja capaz de transportar o fluido desde o tanque até os misturadores.

### 3.5. Sistema de bombeamento

As bombas são equipamentos responsáveis pelo transporte de fluidos incompressíveis, pois fornecem energia mecânica a esses líquidos. Esses dispositivos são amplamente empregados em sistemas de abastecimento de água, tratamento de resíduos, sistemas de irrigação e na indústria de uma forma geral. As bombas podem ser classificadas como dinâmicas ou volumétricas, de acordo com seu modo de obter e ceder energia. As bombas dinâmicas são as que atuam pela ação da força centrífuga e fornecem energia ao fluido pela rotação de um eixo, chamado de rotor. O rotor recebe o fluido na parte central e o impulsiona à saída do equipamento por meio do movimento radial realizado pelas palhetas que o compõem. Já nas volumétricas, o fornecimento da energia ocorre pela variação de volume do fluido contido em um espaço no interior da bomba (CREMASCO, 2018).

Ainda segundo Cremasco (2018), a escolha de uma bomba para determinada aplicação é função do trabalho agregado da bomba em determinada linha de escoamento de fluido, como representado na Figura 6.

Figura 6 - Esquema representativo do transporte de fluido impulsionado por uma bomba



Fonte: Cremasco (2018)

Por meio do trabalho mecânico gerado na bomba, esta fornece energia ao fluido para que ocorra o seu transporte de um ponto a outro do sistema. Para que isso seja possível, um dos principais parâmetros a serem considerados na escolha da bomba é a altura manométrica, que representa a energia específica (por unidade de massa) que o sistema necessita para transportar o fluido do ponto de sucção até o ponto de descarga, sob determinada vazão.

Considerando que os diâmetros das tubulações na sucção e na descarga sejam muito inferiores aos diâmetros dos tanques associados a ambos, a energia associada ao movimento, por unidade de massa de fluido, no interior do tanque é muito inferior ao da tubulação, tornando possível, assim, desprezar a velocidade nos tanques em relação à das tubulações. A carga manométrica da bomba ( $H$ ) pode ser descrita pela equação 5.

$$H = H_D - H_S \quad (5)$$

Sendo as cargas manométricas de descarga ( $H_D$ ) e de sucção ( $H_S$ ) dadas pelas Equações 6 e 7, respectivamente.

$$H_D = z_D + \frac{p_D}{\rho g} + h_{L_D} \quad (6)$$

$$H_S = z_S + \frac{p_S}{\rho g} + h_{L_S} \quad (7)$$

Nas quais:

- $z_D$  e  $z_S$  são as cargas de elevação nos pontos de descarga e de sucção, respectivamente [m];
- $\frac{p_D}{\rho g}$  e  $\frac{p_S}{\rho g}$  são as cargas de pressão nos pontos de descarga e de sucção, respectivamente [m];
- $h_{L_D}$  e  $h_{L_S}$  são as perdas de carga ao longo das tubulações de descarga e de sucção, respectivamente [m].

Outro parâmetro importante a ser analisado é carga líquida positiva de sucção (NPSH), que representa a condição ideal da operação de sucção do líquido pela bomba. Essa variável precisa ser determinada para evitar o fenômeno de cavitação, no qual o

limite de pressão de vácuo é ultrapassado, causando perda de rendimento da bomba e, conseqüentemente, fazendo com que o sistema de sucção opere com carga manométrica de sucção maior que a requerida pela bomba. Sendo assim, para a escolha adequada do equipamento, é necessário que o NPSH requerido pela bomba seja menor que o NPSH disponível no sistema ( $NPSH_D$ ), calculado pela Equação 8 (CREMASCO, 2018).

$$NPSH_D = H_S + \frac{(P_A - p^{VAP})}{\rho g} \quad (8)$$

Na qual:

- $P_A$  é o valor da pressão atmosférica local [Pa];
- $p^{VAP}$  é a pressão de vapor do fluido [Pa];
- $\rho$  é a massa específica do fluido [ $\text{Kg.m}^{-3}$ ];
- $H_S$  é a altura de sucção [m];
- $g$  é a aceleração da gravidade [ $\text{m.s}^{-2}$ ].

Segundo Cremasco (2018), o rendimento mecânico das bombas é dado pela Equação 9 e, quando se trata do transporte de água em bombas centrífugas, esse valor fica em torno de 75%.

$$\eta = \frac{\dot{W}_u}{\dot{W}_{consumida}} \quad (9)$$

Na qual:

- $\dot{W}_u$  é a potência útil [W];
- $\dot{W}_{consumida}$  é a potência consumida [W].

A potência útil ainda pode ser descrita como  $\dot{W}_u = \dot{m}gH = \rho gQH$ , onde  $\dot{m}$  é a vazão mássica e  $Q$  é a vazão volumétrica do fluido.

O tipo de bomba a ser utilizado depende, também, do tipo de fluido, da faixa de pressão e da vazão volumétrica requerida. As bombas centrífugas, que se enquadram

na classificação de bombas dinâmicas, apresentam aplicação em ampla faixa de vazão, em diferentes tipos de líquidos desde que não sejam muito viscosos (CREMASCO, 2018).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a proposta de um sistema de reciclo da água de resfriamento dos misturadores, as seguintes etapas foram realizadas: coleta de dados, instalação de tanques de armazenamento, instalação de um sistema de bombeamento e, finalmente, análise de custos.

### **4.1. Coleta de dados**

Os dados necessários para o desenvolvimento da proposta são referentes, basicamente, à estimativa do volume do encamisamento do misturador, da temperatura da água na saída do encamisamento, do tempo e da vazão de água necessários para o resfriamento do produto contido no interior do misturador.

O volume de água do encamisamento foi aferido experimentalmente, de acordo com a vazão de saída e o tempo de esgotamento da água. Para tanto, um cronômetro foi disparado no momento da abertura da válvula de saída do encamisamento e, a partir de então, com o auxílio de um recipiente, coletou-se a água que escoou por, aproximadamente, 15 segundos e mediu-se sua massa. Repetiu-se o procedimento de coleta e pesagem para mais duas amostras, no meio e fim do esgotamento. Ao final, desligou-se o cronômetro e anotou-se o tempo gasto para o total esgotamento.

Para aferição da temperatura da água na saída do encamisamento, bem como do tempo necessário para o resfriamento do produto, ligou-se a circulação de água no mesmo momento que se disparou o cronômetro. Com o auxílio de um termômetro, mediu-se a temperatura da água na saída do sistema de encamisamento no início e ao final do processo. Quando o produto atingiu a temperatura desejada de resfriamento, desligou-se o cronômetro e anotou-se o tempo transcorrido até este momento.

### **4.2. Instalação de tanques de armazenamento**

Para a proposta de instalação dos tanques de armazenamento, estimou-se, a partir dos dados coletados, a quantidade de água que seria necessária para o sistema de troca térmica considerando a operação simultânea de todos os misturadores da empresa. Analisou-se, ainda, o volume de armazenamento mínimo para que a

temperatura do tanque não aumente e, assim, possa ser prontamente destinada ao resfriamento dos misturadores quando necessário. Finalmente, avaliou-se a possibilidade de implantação de uma torre de resfriamento no tanque.

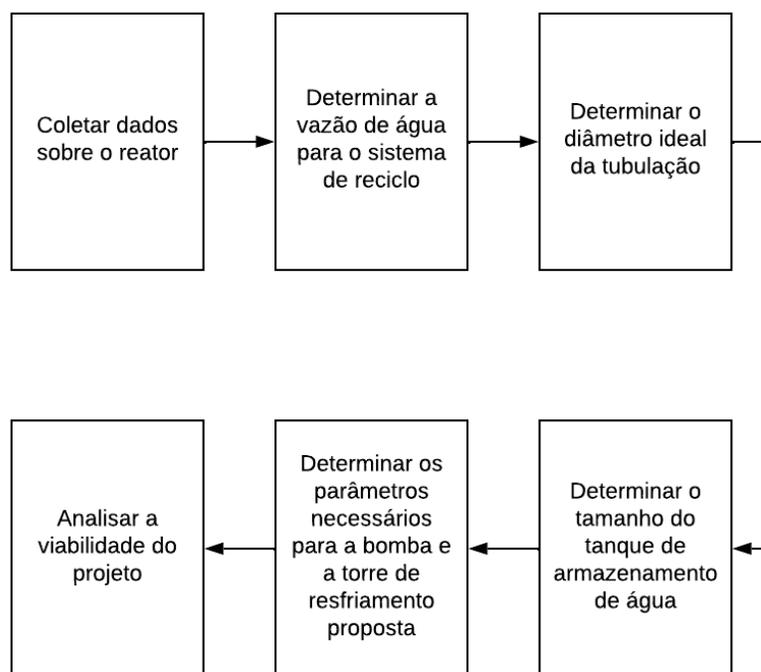
#### **4.3. Instalação de um sistema de bombeamento**

A partir da vazão média de água no encamisamento, aferida experimentalmente, e da velocidade econômica de projeto, indicada na literatura para rede de instalações industriais, estimou-se o diâmetro da tubulação e os acessórios necessários para transporte da água. Com estes dados, calculou-se a potência da bomba e os parâmetros requeridos para o sistema de bombeamento.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Buscando facilitar o entendimento sobre a sequência na qual os resultados estão dispostos e são discutidos neste trabalho, elaborou-se o fluxograma exposto na Figura 7, abaixo da qual é apresentado o detalhamento de cada etapa.

Figura 7 - Fluxograma dos procedimentos realizados e ordem de apresentação dos resultados



Fonte: Autoria própria (2022)

- Primeiramente, são expostos os dados referentes aos tamanhos e especificações dos misturadores utilizados na Veneza Cosméticos e aos parâmetros aferidos experimentalmente, como as temperaturas de processo e o volume do encamisamento dos misturadores.
- Em seguida, são apresentados os resultados dos cálculos da vazão volumétrica da água que irá circular na tubulação e no encamisamento.
- Na sequência, estão expostos os resultados e as discussões a respeito do diâmetro da tubulação e dos tipos dos acessórios necessários para o transporte, de acordo com a vazão calculada.

- Posteriormente, utilizando os dados de temperatura e vazão da água que deixa o encamisamento e considerando que a mesma não pode entrar no misturador a uma temperatura acima de 25°C, estão dispostas as análises sobre o tamanho do tanque de armazenamento com e sem fonte de resfriamento da água.
- Após, analisando todos os resultados obtidos até então, são apresentados os cálculos referentes aos parâmetros ideais para a bomba e para a torre de resfriamento.
- Finalmente, para concluir a análise da viabilidade do projeto, é apresentada uma estimativa de investimento, obtida por meio de uma pesquisa de mercado, e o tempo necessário para que a empresa tenha um retorno financeiro, caso a proposta seja aplicada.

### 5.1. Coleta de dados

Os primeiros dados coletados para análise da viabilidade da proposta são referentes à capacidade de produção da Veneza Cosméticos. O processo de fabricação dos produtos ocorre por batelada e, na área fabril, estão dispostos 8 misturadores que possibilitam a produção de cremes, sérums, loções, shampoo, sabonete, entre outros cosméticos e produtos de higiene pessoal.

Na Tabela 1 estão descritas as especificações de cada misturador de acordo com o fabricante.

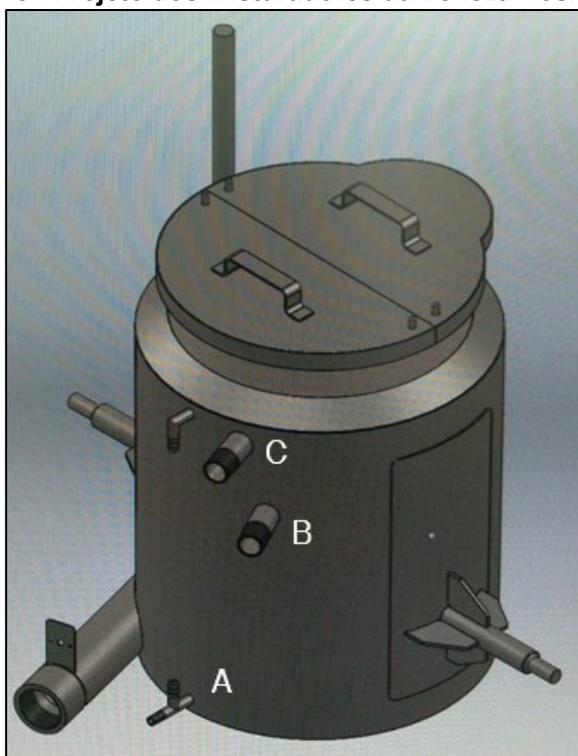
**Tabela 1 - Especificações dos misturadores utilizados na linha de produção da Veneza Cosméticos**

Misturador	Coluna de Bolhas	Sistema de Aquecimento	Capacidade (kg)
MTD18		x	10
MTD19	x	x	200
MTD20	x	x	100
MTD21	x	x	400
MTD22	x		100
MTD23	x	x	50
MTD24	x	x	50
MTD25	x	x	50

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 8 tem-se o projeto dos misturadores que, de acordo com o fabricante, é produzido em aço inoxidável. O equipamento conta com tampas removíveis, sistema de agitação, aquecimento e coluna de bolhas. Durante o processo de fabricação dos itens que necessitam de aquecimento, a água é inserida no encamisamento e, para elevar a temperatura do produto, é aquecida por um sistema já acoplado aos misturadores. Após finalizar o processo de aquecimento, inicia-se o processo de resfriamento, no qual a água quente é, aos poucos, substituída pela água fria.

**Figura 8 - Projeto dos misturadores da Veneza Cosméticos**



**Fonte: Adaptado de Veneza Cosméticos (2021)**

O fluido utilizado para troca térmica é a água de processos que, atualmente, entra no sistema de encamisamento pela abertura A, indicada na Figura 8 e que possui um diâmetro interno igual a 1 cm, e sai pela abertura B, de diâmetro interno igual a 3,5 cm.

Os dados para o cálculo do volume do encamisamento, coletados experimentalmente enquanto o misturador não estava sendo utilizado, estão dispostos na Tabela 2. Estes dados referem-se ao tempo total gasto para o esvaziamento do encamisamento, à massa de água que ocupava aquele volume e à vazão mássica média

de água durante este processo. Para o cálculo, utilizou-se, ainda, a massa específica da água a 25°C como 997 kg/m<sup>3</sup> (PERRY, 2019). Os dados experimentais foram obtidos para os misturadores com capacidade de 10, 50, 100 e 200 kg. Para o misturador com capacidade de 400 kg, devido ao elevado volume de água que seria gasto para a coleta, o valor de vazão foi determinado fazendo-se uma estimativa com base nos anteriores.

**Tabela 2: Dados coletados experimentalmente para cálculo do volume do encamisamento dos misturadores.**

	MTD 10 kg	MTD 50 kg	MTD 100 kg	MTD 200 kg
Tempo total gasto para o esvaziamento (s)	72,53	1006,35	142,96	685,68
Massa de água no encamisamento (kg)	6,091	10,38	18,12	43,17
Vazão mássica média (kg/s)	0,0840	0,0103	0,1267	0,0630
Volume de água no encamisamento (L)	6,1	10,4	18,2	43,3

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A partir da estimativa do misturador de 400 kg, feita considerando a proporção do volume do encamisamento para a capacidade do misturador, obteve-se que o volume médio do encamisamento para o MTD21 é igual a 80,9 L, com um desvio padrão de 0,0073 em relação às estimativas.

Para facilitar o entendimento, os volumes do encamisamento de todos os misturadores da empresa que possuem essa função, estão descritos na Tabela 3. Vale ressaltar que o misturador MTD22 não possui encamisamento e, por isso, não foi exposto na Tabela.

**Tabela 3: Volume do encamisamento dos misturadores da empresa.**

Misturador	Capacidade (kg)	Volume do encamisamento (L)
MTD18	10	6,11
MTD19	200	43,30
MTD20	100	18,17
MTD21	400	80,86
MTD23	50	10,41
MTD24	50	10,41
MTD25	50	10,41

**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 5.2. Instalação de tanques de armazenamento

A água utilizada para o resfriamento e o aquecimento dos misturadores é caracterizada como água de processos e, por não ter contato direto com os produtos, não necessita de tratamento específico, podendo ser utilizada a água proveniente da rede de abastecimento municipal de Cambé-PR, cidade onde a indústria está localizada.

Para que a instalação do tanque de armazenamento seja possível, faz-se necessária, também, a implementação da tubulação que realizará o transporte da água desde os misturadores até o reservatório. A vazão do fluido que circula no sistema de reciclo, assim como a temperatura da água na saída do encamisamento são fatores que foram avaliados para a construção do projeto.

Atualmente, a vazão de água de processos inserida no encamisamento dos misturadores é referente ao que é fornecido pelo abastecimento municipal, haja vista a ausência de armazenamento e bombeamento específico do fluido. Sendo assim, foram medidas as vazões médias de saída da água do processo de resfriamento em dois dias diferentes. Os valores coletados estão apresentados na Tabela 4.

	<b>Vazão 1</b>	<b>Vazão 2</b>
<b>Tempo total (s)</b>	47,61	31,72
<b>Massa de água (kg)</b>	8,25	3,8
<b>Vazão mássica (kg/s)</b>	0,1733	0,1198
<b>Vazão volumétrica (L/s)</b>	0,176	0,121

**Fonte: A autoria própria (2022)**

A vazão volumétrica média da água que passa pelo encamisamento é igual a 0,148 L/s. Para determinar o diâmetro da tubulação que transportará a água, utilizou-se a velocidade econômica para água doce em rede de instalações industriais que, segundo Telles (2004), deve estar entre 2 a 3 m/s. Buscando manter a velocidade dentro dessa faixa sem alterar o projeto dos misturadores já existentes na fábrica, verificou-se duas possibilidades de diâmetro de tubulação: a primeira seria de 1 cm, na qual a faixa de valor da vazão volumétrica da água deve ser mantido entre 0,157 L/s e 0,256 L/s; a segunda

possibilidade seria o diâmetro de 3,5 cm, onde a vazão ideal está na faixa de 1,92 L/s a 2,89 L/s.

Os dois diâmetros foram propostos considerando a abertura dos bocais de entrada e saída do sistema de troca térmica e, de acordo com os dados coletados, a água circula pelo encamisamento com vazão volumétrica média de 0,148 L/s. Sendo assim, o valor está mais próximo do ideal para a tubulação de 1 cm de diâmetro, que de acordo com as dimensões normalizadas, segundo a ANSI B.16.19, é igual a ¼ in e a espessura de 80S (FILHO, 2013). Portanto, para manter a vazão de água próximo à média estimada experimentalmente e a velocidade econômica de água na indústria, a tubulação que transportará o fluido de resfriamento terá um diâmetro de 1 cm.

Ao analisar o projeto do misturador, verificou-se a possibilidade de alteração dos pontos de alimentação e esgotamento do fluido de troca térmica. Atualmente, a água é alimentada pela abertura A, indicada na Figura 8, e esgotada pela abertura B. No entanto, acredita-se que, ao inserir o fluido pelo bocal C e retirá-lo pelo bocal A, haveria maior facilidade para troca da água presente no encamisamento, haja vista a ação da força de gravidade, que auxiliaria no movimento do fluido ao invés de ser uma resistência a ser superada. Portanto, sugere-se que a alimentação e o esgotamento do fluido de troca térmica passem a ser realizados pelos bocais C e A, respectivamente.

Ao ser alimentada no encamisamento a temperatura da água é, inicialmente, elevada por meio de resistências térmicas para que o aquecimento do produto seja possível. Após a finalização dessa etapa, é necessária uma fase de resfriamento e, para isso, o fluido quente é, aos poucos descartado e substituído por água fria. Por meio do sistema de reciclo proposto, sugere-se que a água quente que deixa o encamisamento seja, posteriormente, reutilizada no sistema de troca térmica.

Para possibilitar o resfriamento dos produtos, deve-se garantir que a temperatura de entrada da água no encamisamento seja baixa. Com o intuito de analisar experimentalmente este parâmetro, mediu-se a temperatura da água que sai do encamisamento imediatamente após a etapa de aquecimento, quando a fase de resfriamento é iniciada ( $T_{inicial}$ ) e, também, a temperatura da água no final do processo de resfriamento dos misturadores ( $T_{final}$ ). Os dados coletados, em 4 bateladas diferentes de produção, estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Dados de temperatura da água no início e no final do processo de resfriamento.**

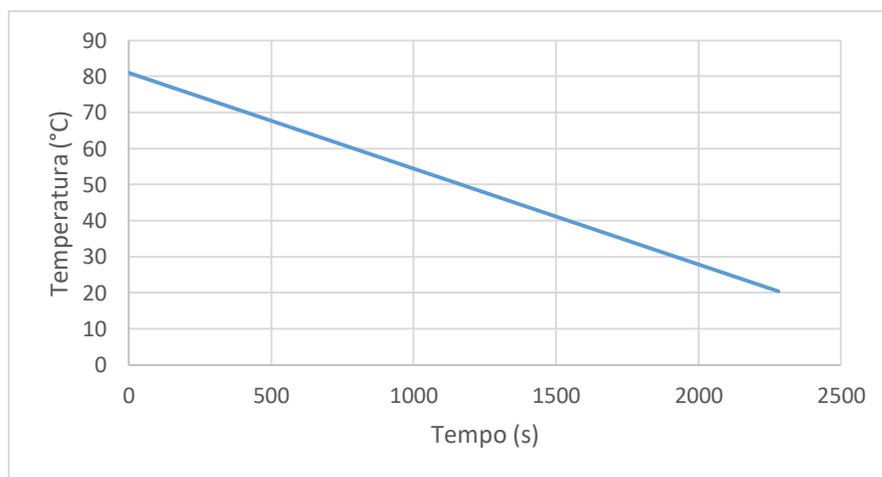
	$T_{\text{inicial}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{final}} (^{\circ}\text{C})$	$t_{\text{resfriamento}} (\text{s})$
T1	88,6	32,6	2213
T2	80,9	27,2	2012
T3	80,3	26,2	1780
T4	74,2	26,5	1991

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Por meio dos dados de temperatura coletados, observa-se que, como esperado, a temperatura da água é maior no início do processo de resfriamento, já que se refere ao mesmo fluido utilizado como meio de aquecimento para o misturador. Verificou-se, ainda, que tempo de resfriamento do misturador foi de, aproximadamente, 33min e 19s.

O decaimento médio de temperatura por segundo, de acordo com os dados coletados, foi de  $0,0266^{\circ}\text{C/s}$ . A partir disso, fez-se uma estimativa do volume ideal do tanque de armazenamento para que a água deste reservatório não esteja quente, o que impossibilitaria a troca térmica ao ser inserida novamente no encamisamento. Na Figura 9 é possível analisar o decaimento da temperatura em função do tempo.

**Figura 9 - Decaimento da temperatura da água de processos na saída do encamisamento em função do tempo**



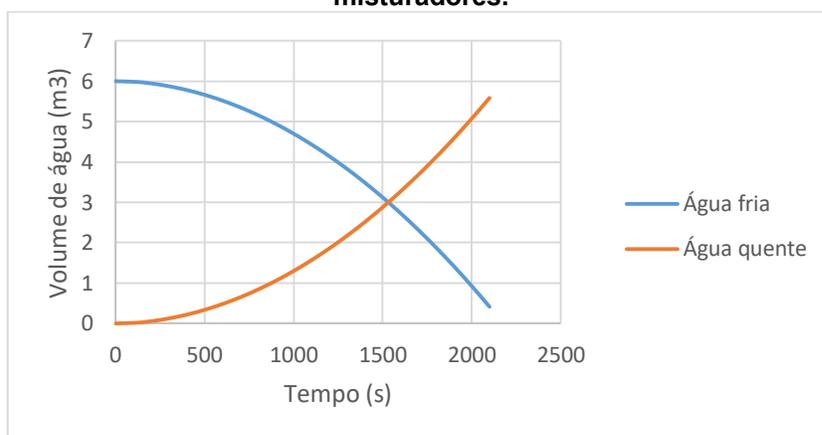
**Fonte: Autoria própria (2022)**

De acordo com verificações previamente realizadas pela empresa, para que os produtos sejam resfriados até a temperatura desejada para o processo, a água que sai do encamisamento deve estar a uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ . Assim, analisando a Figura

9, pode-se inferir que o tempo necessário para que a temperatura ideal do produto seja atingida é de, aproximadamente, 35 minutos.

A partir de todas as informações coletadas, foi possível estimar o volume de armazenamento mínimo para que a temperatura do tanque não aumente. Na Figura 10 está apresentada a proporção de água quente e água fria no tanque durante o resfriamento de um único misturador.

**Figura 10 - Proporção de água no tanque durante o processo de resfriamento de um dos misturadores.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O volume ideal estimado para o tanque de armazenamento foi igual a 6000 L, o que é consideravelmente elevado, visto que a estimativa foi feita baseando-se na água do resfriamento de apenas um dos misturadores da indústria.

Na empresa, existem duas cisternas que não estão sendo utilizadas. Cada uma possui capacidade de 1000 L, totalizando 2000 L disponíveis que poderiam ser empregadas como reservatórios auxiliares. Portanto, sugere-se o aproveitamento destas cisternas e propõe-se o acoplamento de um sensor de temperatura e uma torre de resfriamento, para que seja possível a redução deste parâmetro, caso esteja acima 25°C.

Considerando que os sete misturadores que possuem encamisamento estejam operando juntos, com uma vazão média de água quente na saída de cada equipamento aproximada em 0,148 L/s, tem-se uma vazão total estimada em cerca de 1,04 L/s.

Após uma pesquisa de mercado, verificou-se uma opção de torre de resfriamento com 87,22 kW de potência, capaz de resfriar até 4,17 L/s. Para analisar se esta torre seria capaz de suprir as necessidades do projeto, estimou-se que a temperatura média

da água de processos que deixa o sistema de troca térmica é igual a  $54,56^{\circ}\text{C}$  e que, para esta temperatura, a capacidade calorífica do fluido é de  $4,183 \text{ kJ/kg.K}$ . Além disso, considerando que a taxa mássica de água é  $0,145 \text{ kg/s}$  e que a variação média entre a temperatura inicial e a temperatura final da água que deixa o sistema de encamisamento é de  $52,87^{\circ}\text{C}$ , estimou-se que a energia gasta no processo de resfriamento é de cerca de  $32,21 \text{ kW}$ . Sendo assim, o modelo de torre de resfriamento supre as necessidades do projeto e é capaz de resfriar a água até a condição adequada para ser reutilizada.

Para analisar a capacidade total de armazenamento necessária considerando a proposta de utilização das cisternas acopladas à torre de resfriamento, verificou-se que, além dos  $2000 \text{ L}$  de capacidade referentes às duas cisternas disponíveis, a torre de resfriamento tem, também, uma capacidade de  $206 \text{ L}$ , além do volume total de água no encamisamento dos misturadores que, conforme apresentado na Tabela 3, somam cerca de  $179,68 \text{ L}$ . Estimou-se, portanto, um volume total de capacidade de armazenamento de água igual a  $2385,68 \text{ L}$ . Assim, sabendo que o volume total de água gasto para resfriar todos os misturadores por 35 minutos foi calculado em  $2184 \text{ L}$ , conclui-se que a utilização das cisternas já existentes na indústria como reservatório de armazenamento da água, acopladas à torre de resfriamento, é uma alternativa viável.

Na Figura 11, pode-se observar o local onde as cisternas já estão localizadas na empresa. A proposta é mantê-las neste local, fazendo apenas as devidas adequações de manutenção e instalação, de modo que a água possa ser armazenada de forma adequada.

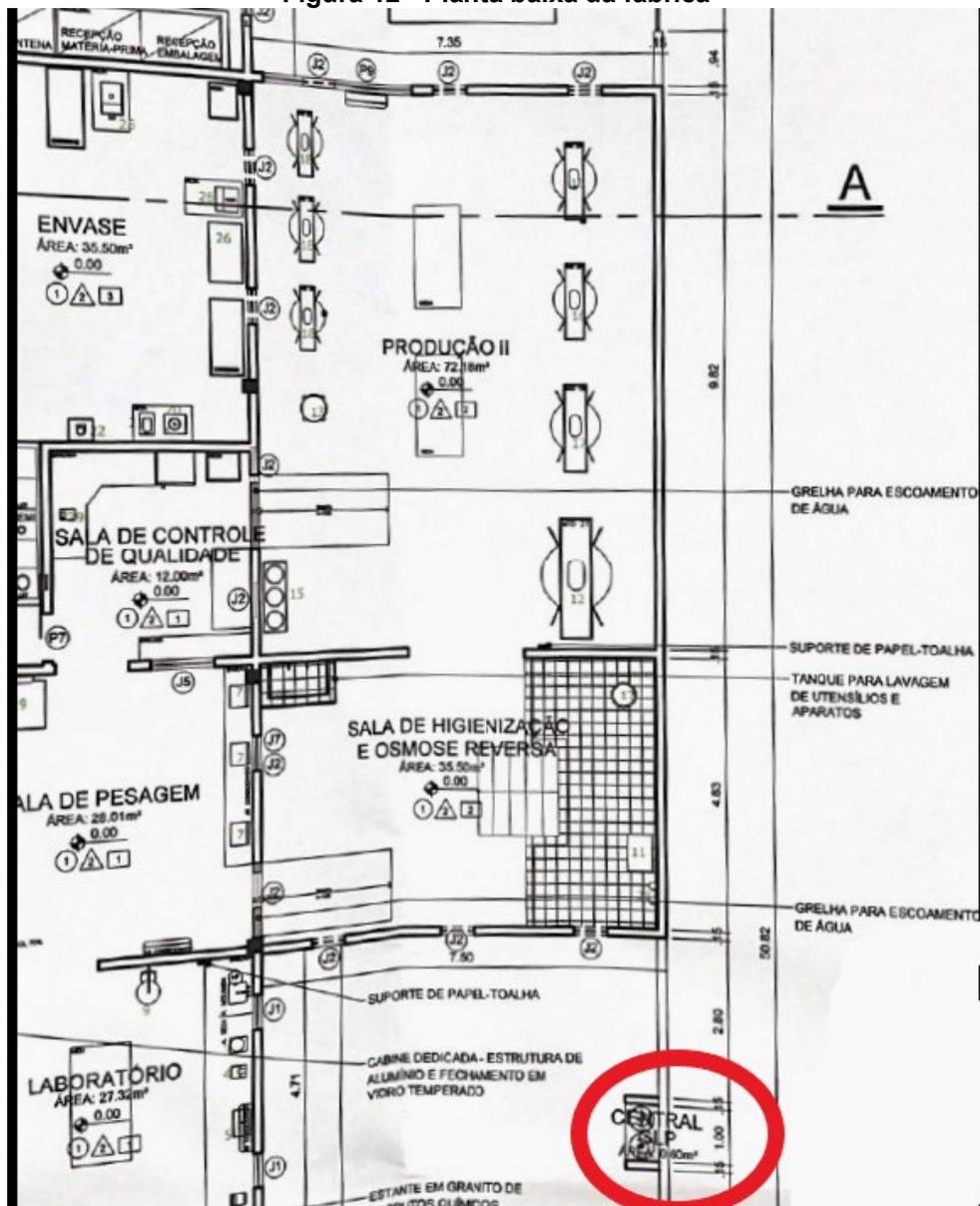
**Figura 11 - Local onde as cisternas estão localizadas na empresa.**



Fonte: Autoria própria (2021)

A proposta de utilização deste local para a instalação dos reservatórios justifica-se, também, pelo fato de que ele fica situado ao lado da área de produção, conforme pode ser verificado na planta baixa da empresa (Figura 12). Para melhor visualização, o local proposto está circulado em vermelho e identificado como Central SLP.

Figura 12 - Planta baixa da fábrica



Fonte: Veneza Cosméticos (2021)

Para possibilitar o transporte da água de um ponto a outro, utilizou-se, novamente, a planta baixa da empresa e calculou-se a distância que o fluido precisaria percorrer. A partir disso, determinou-se o comprimento da tubulação necessária desde

os misturadores até o tanque de armazenamento proposto. Verifica-se que os misturadores estão localizados na área de produção e que o último fica distante 18,9 m do local proposto para a instalação dos tanques. Considerando que a tubulação precisará contornar toda área de produção, que possui um perímetro de 7,35 m, tem-se um total de 36,07 m de tubulação a serem utilizados para o transporte da água fria e 36,07 m para o transporte da água quente.

Além da tubulação, para que seja possível o transporte da água, é necessário, também, a implementação de uma bomba.

### **5.3. Instalação de um sistema de bombeamento**

Após análise de diferentes possibilidades, a bomba proposta para o projeto foi a bomba centrífuga que, além de atender às necessidades de projeto, possui algumas vantagens em relação às demais, como baixo custo, construção simples descarregamento do fluido a pressão uniforme, menores custos de manutenção, entre outros (CREMASCO, 2018).

Considerando que o tanque de armazenamento permanecerá no mesmo nível do chão e que a entrada mais alta de água no misturador é equivalente a 1,80 m, pode-se estimar que a carga de elevação máxima para o projeto é de 2,80 m. A proposta é que a bomba seja instalada na área de produção, a uma distância de 8,93 m para a sucção no tanque de armazenamento e 43,42 m até a descarga no tanque novamente. Considerou-se, também, a perda de carga localizada nos acessórios necessários para a implementação da tubulação. Estima-se que os seguintes acessórios e acidentes sejam necessários para o transporte: 17 cotovelos 90°, 7 bocais, 1 captação em reservatório, 1 descarga em reservatório, 14 registros ângulo, 1 registro de globo e 14 conexões em tê, com saída bilateral.

Ponderando todos estes fatores e considerando os parâmetros para água a 25°C, com vazão de 0,148 L/s e diâmetro de tubulação de 1 cm, analisou-se inicialmente que escoamento é laminar. Considerando o coeficiente de perda de carga de cada acessório e acidentes necessários para o transporte do fluido, calculou-se as perdas de carga de

descarga e de sucção, que apresentaram os valores de 0,85 m e 0,13 m, respectivamente.

Em seguida calculou-se a carga manométrica da bomba ( $H$ ) e a potência requerida para o transporte, chamada de potência consumida ( $\dot{W}_{Consumida}$ ). Segundo Cremasco (2018), para o transporte de água em bombas centrífugas, a eficiência fica em torno de 75%. Dessa forma, obteve-se, também, a potência útil da bomba ( $\dot{W}_u$ ) e a carga líquida positiva de sucção disponível ( $NPSH_D$ ). Os valores de especificação da bomba proposta, estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Dados de especificação da bomba proposta.**

<b>Carga manométrica da bomba – <math>H</math> (m)</b>	55,37
<b>Potência Útil – <math>\dot{W}_u</math> (W)</b>	86,65
<b>Potência consumida – <math>\dot{W}_{Consumida}</math> (W)</b>	115,53
<b>Carga líquida positiva de sucção disponível – <math>NPSH_D</math> (m)</b>	67,56

Fonte: Autoria própria (2022)

Verifica-se, portanto, que, para possibilitar o transporte de água desde os misturadores até os tanques de armazenamento propostos, necessita-se de uma bomba centrífuga com potência mínima de 115,53 W. Além disso, o NPSH disponível foi igual a 67,56 m. Dessa forma, para evitar cavitação, a bomba a ser implementada deve apresentar um NPSH requerido menor do que o NPSH calculado.

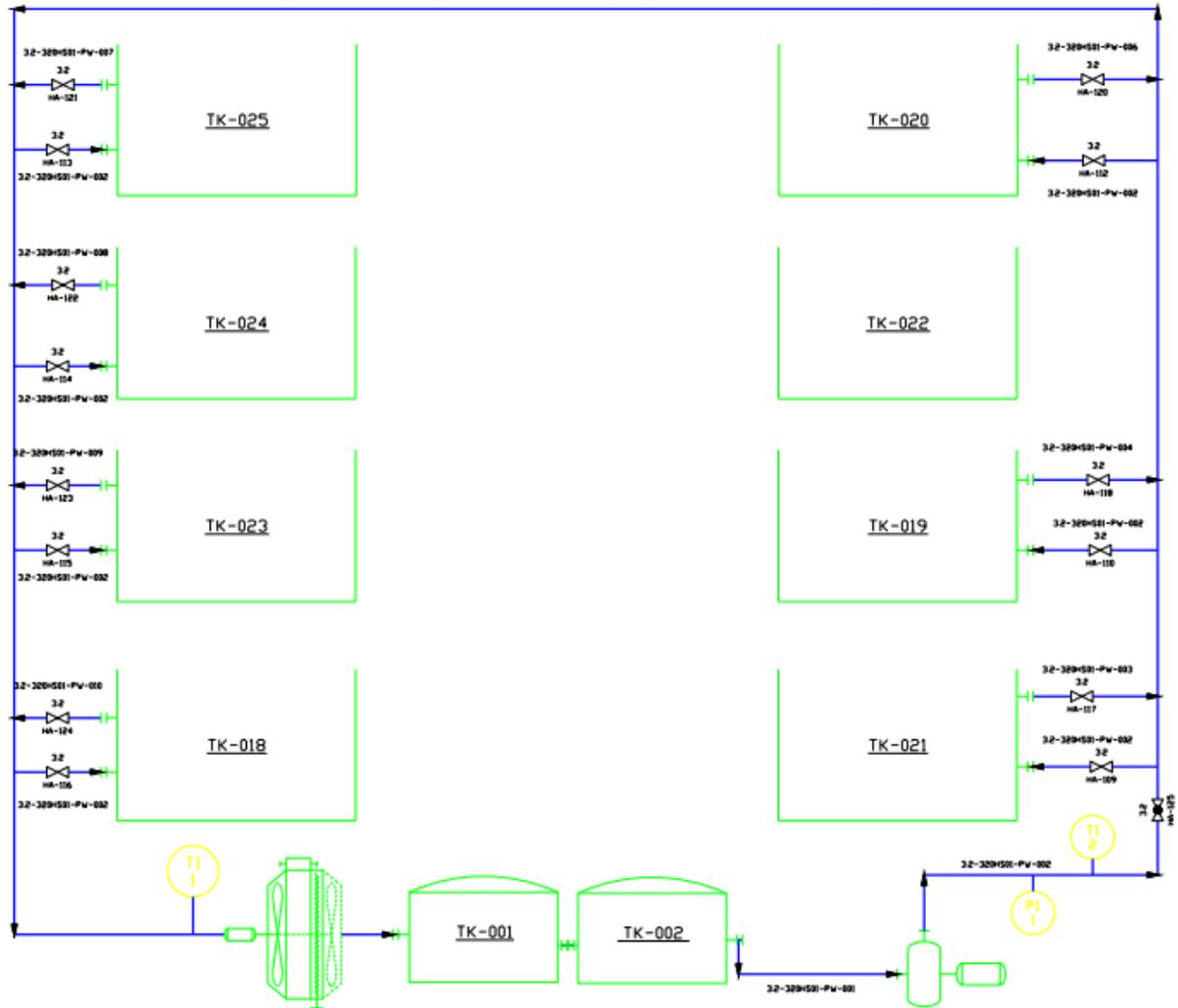
#### **5.4. Instrumentos auxiliares do projeto**

Para o projeto de instrumentação do sistema de reciclo da água, foram considerados os acessórios que auxiliariam no controle de processos. Para isso, visando monitorar a pressão da linha de bombeamento, sugere-se a inserção de um manômetro após a bomba que realiza o transporte do fluido. Buscando, também, um monitoramento da temperatura da água, propõe-se acoplar sensores do tipo termopar para medição deste parâmetro na entrada, na saída e no interior dos tanques de armazenamento.

Para o material da tubulação de transporte da água, sugere-se a utilização de aço inoxidável 316L (MALGUEIRA *et.al.*, 2018).

O diagrama PID do projeto de reciclo proposto está apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Diagrama PID do projeto de reciclo proposto



Fonte: Autoria própria (2022)

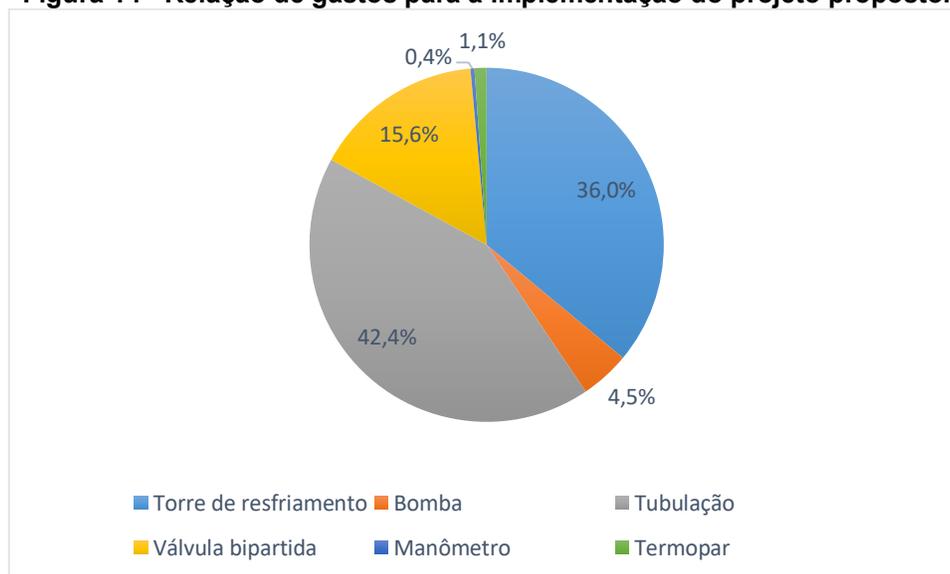
No diagrama foram inseridos os 8 misturadores, sendo que um deles não está conectado a tubulação pela ausência de encamisamento, 2 tanques de armazenamento (TK-001 e TK-002), uma bomba (P-001), uma torre de resfriamento (E-002), um registro globo para controle da vazão após a bomba e registros ângulo na entrada e saída de todos os misturadores.

## 5.5. Análise de custos

Buscando analisar a viabilidade econômica do projeto, realizou-se uma pesquisa de mercado sobre o custo de todos os itens que seriam necessários para implementação

do sistema de reciclo proposto. O percentual de gastos de cada item está apresentado na Figura 14.

**Figura 14 - Relação de gastos para a implementação do projeto proposto.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O investimento total em equipamentos, estimado em maio do ano de 2022, seria de cerca de R\$ 13.852,61. Vale lembrar que não haveria gastos com a compra dos tanques de armazenamento, já que as cisternas existentes na empresa são capazes de suprir a demanda do projeto.

É possível verificar que o maior investimento seria referente aos itens necessários para a tubulação, seguido da torre de resfriamento. Devido ao alto valor da tubulação em aço inox 316 L, verificou-se a possibilidade do uso de aço inox 304 que, mesmo apresentando menos resistência à corrosão, é uma alternativa viável para o transporte de água e possui valor inferior, reduzindo o custo total em cerca de 21%, resultando em um investimento total de R\$ 10.824,91 (TRIDAPALLI, 2011).

Considerando que a vazão média de água utilizada no processo de resfriamento é de 0,148 L/s e que o tempo médio para esta etapa é de 35 min, tem-se um gasto de, aproximadamente, 5,6 L de água, por produção, para o resfriamento do misturador. O tanque de armazenamento de água proposto terá um volume de 2000 L. Portanto, considerando que sejam realizadas aproximadamente 100 produções por mês e que,

dessas, 40% requerem aquecimento, o sistema começaria a trazer retorno financeiro para a empresa pela economia de água proposta pelo sistema de reciclo após 358 produções que, de acordo com as atividades normais da empresa, são concluídas em cerca de 9 meses.

## 6. CONCLUSÃO

Diante do cenário cada vez mais sustentável que, atualmente, impulsiona o mercado de cosméticos, buscando a redução do uso de água durante o processo de fabricação, propôs-se um sistema de reciclo para a água que promove a troca térmica nos misturadores da indústria Veneza Cosméticos.

Foram realizados cálculos a partir de dados experimentais para determinar a vazão de água ideal para o projeto, o diâmetro da tubulação e a melhor opção de armazenamento da água, buscando o aproveitamento do espaço e priorizando o uso dos equipamentos já disponíveis na empresa.

Para isso, sugere-se que o armazenamento da água que promove a troca térmica seja realizado aproveitando-se a disponibilidade de duas cisternas já existentes na indústria. Propõe-se, ainda, que a estas cisternas seja acoplado um sistema de resfriamento, visando manter a água a 25 °C, visto que esta é a temperatura adequada para a entrada no encamisamento.

Para o transporte da água, foi proposta uma tubulação de aço inoxidável 304, com diâmetro de 1 cm (1/4"). Sabendo que a vazão média da água será de, aproximadamente, 0,148 L/s e, tendo em que vista os acessórios e acidentes que são necessários para o transporte do fluido desde os misturadores até os tanques de armazenamento, verificou-se a necessidade de instalação de uma bomba centrífuga, com potência mínima de 115,53 W.

A viabilidade econômica da proposta foi comprovada por meio de uma análise de custos, estimando o investimento de cada um dos itens que seriam necessários para implementação do sistema de reciclo. Pode-se inferir que o retorno financeiro da proposta é possível após 358 produções, o que ocorreria em, aproximadamente, 9 meses.

Sendo assim, conclui-se que a proposta de implementação de um sistema de reciclo da água utilizada na troca térmica dos misturadores é uma alternativa atraente, uma vez que, ao mesmo tempo que é capaz de suprir as necessidades de aquecimento e/ou resfriamento dos produtos, reduziria o descarte de água potável e resultaria, também, em economia para a empresa, tornando mais sustentável o processo de fabricação dos produtos da Veneza Cosméticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Joana B. *et al.* Water sustainability: A waterless life cycle for cosmetic products. **Sustainable Production and Consumption**, Lisboa, Portugal, v. 32, p. 35-51, 2021.

ALVES, S. S. **Conservação e reuso de água em indústria de cosméticos - um estudo de caso da natura cosméticos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-05082009-115605/publico/Dissertacao\\_PHD\\_Sebastiao\\_Sampaio\\_Alves\\_15JUN2009.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-05082009-115605/publico/Dissertacao_PHD_Sebastiao_Sampaio_Alves_15JUN2009.pdf). Acesso em: 1 out. 2021.

ANVISA, Resolução da Diretoria Colegiada – **RDC nº 07, de 10 de fevereiro de 2015**, dispõe sobre os requisitos técnicos para a regularização de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 de fev. 2015. BRASIL. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2015/rdc0007\\_10\\_02\\_2015.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2015/rdc0007_10_02_2015.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2021.

ANVISA, Resolução da Diretoria Colegiada – **RDC nº 48, de 25 de outubro 2013**, dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas de Fabricação para Produtos de Higiene Pessoal, Cosméticos e Perfumes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 de out. 2013. BRASIL. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0048\\_25\\_10\\_2013.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0048_25_10_2013.html)>. Acesso em: 24 abr. 2022.

BENETTI, L. B. **Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (ids) do município de Lages/SC através do método do painel de sustentabilidade**. 2006. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88555/232769.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 1 out. 2021.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos**: Uma Abordagem sobre os Ensaios Físicos e Químicos, BRASÍLIA, ed. 2, 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/cosmeticos/manuais-e-guias/guia-de-controle-de-qualidade-de-produtos-cosmeticos.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2022.]

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. **História dos Cosméticos**. 2011. Disponível em: <[CREMASCO, M. A. \*\*Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos e outros trabalhos\*\*. \[São Paulo - SP\]: Editora Blucher, 2018.](https://www.crq4.org.br/historiadoscsmeticosquimicaviva#:~:text=A%20hist%C3%B3ria%20dos%20cosm%C3%A9ticos%20come%C3%A7a,de%20folhas%20esmagadas%20e%20orvalho.&text=Mas%20tudo%20indica%20que%20foram,de%20tocado%20em%20larga%20escala.></a>>. Acesso em: 22 set. 2021</p></div><div data-bbox=)

9788521208563. Disponível em:  
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208563/>>. Acesso  
em: 19 out 2021.

FILHO, José Luiz de F. **Manual para Análise de Tensões de Tubulações Industriais - Flexibilidade**. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2013. 978-85-216-2385-4. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2385-4/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GALEMBECK, F., CSORDAS, Y. **Cosméticos: a química da beleza**. 2009. Disponível em :< <http://old.agracadaquimica.com.br/quimica/arealegal/outros/175.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2021.

INCROPERA. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 648 p. Disponível em:  
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636656/cfi/6/10!/4/2@0:0>. > Acesso em: 10 jul. 2021.

KÄHM, Walter; VASSILIADIS, Vassilios S. Thermal stability criterion integrated in model predictive control for batch reactors. **Chemical Engineering Science**, 188, p. 192–207, 2018.

LIMA, B.; VICTORINO, L. Escassez de água é um problema cada vez mais comum no país. **Correio Brasileiro**, 23 ago. 2021. Meio ambiente. Disponível em: <https://www.correiobrasiliense.com.br/brasil/2021/08/4945311-escassez-de-agua-e-um-problema-cada-vez-mais-comum-no-pais.html>. Acesso em: 18 out. 2021.

MALGUEIRA, Rafaella P. *et al.* Avaliação de um Sistema de Geração, Armazenagem e Distribuição de Água Purificada em uma Indústria de Cosméticos. **Revista Processos Químicos**, 2018.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de textos, 2014

MITSUI, T. *et al.* An application of the phase-inversion-temperature method to the emulsification of cosmetics. I. Factores Affecting the phase-inversion Temperature. **Bulletin of the chemical society of Japan**, Yokohama, v. 43, ed. 10, p. 3044-3048, 24 fev. 1970. Disponível em: <https://www.journal.csj.jp/doi/pdf/10.1246/bcsj.43.3044>. Acesso em: 14 out. 2021.

MORETTI, Edvaldo Cesar. **Água, recurso hídrico: bem social transformado em mercadoria**. Tupã: ANAP, 2017.

OLIVEIRA, F. C.; PELEGRINI, D. D. Controle de qualidade do sistema de produção de água purificada obtida por osmose reversa em indústria farmacêutica. **SaBios**, v. 6, ed. 1, p. 36-42, 2011. Disponível em: <https://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/sabios/article/view/672/339>. Acesso em: 18 out. 2021.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos avançados**, v. 26, n. 74, p. 65-92, 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/F9XDcdCSWRS9Xr7SpknNJPv/?lang=pt>>. Acesso em: 13 out. 2021.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **Caderno de tendências 2019-2020**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/CADERNO%20DE%20TENDENCIAS%202019-2020%20Sebrae%20Abihpec%20vs%20final.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2021.

TADINI, C.C. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos** - Vol. 2. Rio de Janeiro, RJ: Grupo GEN, 2016. 9788521632689. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521632689/>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

TRIDAPALLI, CLAUDIA. **ESTUDO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS DE ENSAIOS ACELERADOS DE CORROSÃO POR FRESTAS NAS LIGAS DE AÇO INOX AISI 430 E AISI 304**. 2011. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95434/301172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 jun. 2022.

ENEZA. **Quem somos**. 2021. Disponível em: <<https://venezacosmeticos.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2021.

VITTURIA. **Nossa história**. 2021. Disponível em: <<https://vitturia.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2021.

WEBBER, M. Brasil é o quarto maior mercado de beleza e cuidados pessoais do mundo. **FORBES Brasil**, 4 jul. 2020. Negócios, p. 1-7. Disponível em: <<https://forbes.com.br/negocios/2020/07/brasil-e-o-quarto-maior-mercado-de-beleza-e-cuidados-pessoais-do-mundo/>>. Acesso em: 22 set. 2021.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**, 9th. ed., New York, McGraw-Hill Education, 2019.