

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO ZAMBONI BATISTA

**SISTEMA DE AGITAÇÃO EM COBRE ALCALINO NA GALVANIZAÇÃO DE
ZAMAK**

LONDRINA

2022

GUSTAVO ZAMBONI BATISTA

**SISTEMA DE AGITAÇÃO EM COBRE ALCALINO NA GALVANIZAÇÃO DE
ZAMAK**

SHAKERING SYSTEM IN ALKALINE COPPER IN ZAMAC GALVANIZATION

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).
Orientador(a): Felipi Luiz de Assunção Bezerra
Coorientador(a): Larissa Maria Fernandes Gatti

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

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

GUSTAVO ZAMBONI BATISTA

**SISTEMA DE AGITAÇÃO EM COBRE ALCALINO NA GALVANIZAÇÃO DE
ZAMAK**

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: Dia/mês por extenso/ano

Felipi Luiz de Assunção Bezerra
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Larissa Maria Fernandes Gatti
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Admilson Lopes Vieira
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lisandra Ferreira de Lima
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA
2022**

Dedico este trabalho à minha família e noiva, pela oportunidade, apoio e pela paciência nos momentos de ausência, para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte dessa trajetória, a minha família, pela oportunidade, apoio e incentivo durante todo este período. Em especial ao meu avô, mesmo não estando entre nós neste momento de formalização, sou grato por toda inspiração em conquistar este título. A minha noiva por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse. Aos meus amigos, por terem me acompanhado neste percurso. Ao meu orientador Prof. Felipe Luiz de Assunção Bezerra e a minha coorientadora Prof^a Larissa Maria Fernandes, por terem me guiado para a finalização deste ciclo.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu sincero obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a redução do percentual de peças não conformes, visualmente, nos critérios exigidos pela qualidade, por meio do dimensionamento, análise e seleção de um sistema de agitação eficiente e de baixo custo, para implementação em um tanque de cobre alcalino no processo de cromagem do *zamac* em uma linha de galvanoplastia automática instalada na empresa PADO SA. Após um levantamento de cinco meses realizado no processo de inspeção, posterior a galvanoplastia sobre os principais defeitos, constatou-se um grande número de perdas de peças de *zamac* por não conformidade em aspectos visuais, deste modo, há extrema necessidade de ações para resolução do problema. Levando em consideração as propriedades da liga de *zamac*, apesar de possuir diversas vantagens, como facilidade de processamento, principalmente, para acabamentos de eletrodeposição e pinturas, baixa temperatura de fusão e baixo custo, após a etapa de fundição apresenta grande porosidade em sua superfície, resultado da estrutura hexagonal formada após seu resfriamento. Sendo assim, foram levantados três sistemas possíveis de agitação. Após análise, verificou-se com base na literatura e no custo, maior viabilidade para implementação de um sistema de agitação utilizando eductors, esperando-se reduzir a degradação do cianeto pela carbonatação, melhorar a eficiência na uniformidade de depósito de cobre alcalino na superfície porosa do *zamac* e, assim, reduzir as perdas, principalmente, de defeitos como porosidades, chuveiros, asperezas e manchas.

Palavras-chave: galvanoplastia; protetivo; decorativo; indústria.

ABSTRACT

This work aims to reduce the percentage of parts that do not visually conform to the criteria required by quality, through the design, analysis and selection of an efficient and low-cost agitation system, for implementation in an alkaline copper tank in the chrome plating process. of *zamak* in an automatic electroplating line installed in the company PADO SA. After a five-month survey carried out in the inspection process, after electroplating on the main defects, a large number of losses of *zamak* parts were found due to non-compliance in visual aspects, so there is an extreme need for actions to solve the problem. Taking into account the properties of the *zamak* alloy, despite having several advantages such as ease of processing mainly for electroplating and painting finishes, low melting temperature and low cost, after the casting stage it presents great porosity on its surface, a result of the structure hexagonal shape formed after cooling. Thus, three possible agitation systems were raised after analysis, it was verified based on the literature and on the cost, greater feasibility for implementing an agitation system using eductors, hoping to reduce the degradation of cyanide by carbonation, improve efficiency in uniformity of alkaline copper deposit on the porous surface of the *zamak* and thus reduce losses mainly from defects such as porosity, drizzle, roughness and stains.

Keywords: electroplating; protective; decorative; industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de fases liga Zinco-alumínio	16
Figura 2 - Micrografia Zamac aumentada em 100x	16
Figura 3 - Desenho esquemático de uma injetora de câmara fria	18
Figura 4 - Desenho esquemático de uma injetora de câmara quente	18
Figura 5 - Bolhas na estrutura de ZAMAC	19
Figura 6 - Representação esquemática do vibroacabamento	20
Figura 7 - Fluxograma galvanização liga metálica	22
Figura 8 - Superfícies dos discos de aço recobertos com cobre sob diferentes concentrações de carbonato, após tratamento térmico a 250 °C em atmosfera de nitrogênio.	26
Figura 9 - Representação escoamento em um tubo de venturi	27
Figura 10 - Sistema de agitação eductor venturi	28
Figura 11 - Principais defeitos encontrados na etapa de Galvanoplastia A- asperezas, B- manchas, C- mal fechamento, D- chuviscos.	33
Figura 12 - Sistema de insuflação de ar para banhos galvânicos	35
Figura 13 - Furação da tubulação do sistema de insuflação de ar	35
Figura 14 - Distribuição dos eductors pelo tanque	38
Figura 15 - Simulação do sistema eductor em Autocad Plant3D	39
Figura 16 - Isométricos do sistema de agitação eductor	39
Figura 17 - Curva de desempenho bomba centrífuga STANCOR PST-AB-TFE 3500 rpm	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição dos materiais por liga vazada no coquilhamento	17
Tabela 2 - Relatório de Não conformidades setor Galvanoplastia no período de 01/01/22 até 31/05/22	32
Tabela 3 - Tabela para seleção modelo eductor	37
Tabela 4 - Dimensional eductors.	38
Tabela 5- Coeficientes de resistência no sistema de agitação eductor em tubulação de 2”	40

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.	<i>Zamac</i>	15
2.2.	Fundição	17
2.3.	Polimento	20
2.4.	Galvanoplastia	21
2.4.1.	Preparação	22
2.4.2.	Cobreação Alcalina	23
2.4.3.	Cobreação Ácida	30
2.4.4.	Niquelação	30
2.4.5.	Cromação	31
2.5.	PADO SA	31
3.	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	32
3.1.	Hipóteses para a solução problema	34
3.1.1.	Hipótese 01: Sistema de agitação a ar.....	34
3.1.2.	Hipótese 02: Aquisição de bomba filtro de maior potência.....	34
3.1.3.	Hipótese 03: Sistema de agitação com eductors.....	34
4.	ANÁLISE DAS HIPÓTESES.....	34
5.	CONCLUSÃO	42
6.	REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a galvanoplastia acompanhou o respectivo crescimento das indústrias automobilísticas. Indiretamente houve crescimento também das plantas de galvanoplastia.

A técnica de galvanoplastia foi desenvolvida no século XVIII pelo italiano Luigi Galvani, consiste na eletrodeposição de uma fina camada de metal com menor potencial de oxidação a uma peça metálica ou condutiva (VALANDRO, et al., 2019). Um mercado rigoroso com relação a qualidade superficial do acabamento encontrado nas peças, visto que a maioria das aplicações dos componentes são decorativos e, deve-se estar dentro dos parâmetros de qualidade atendendo a todos os critérios antes de chegar ao mercado. As aplicações que antes eram estritamente para o ramo automotivo, na cromação de para-choques e rodas de carros de luxo. Atualmente, encontra-se nas mais diversas áreas, acessórios de moda, adereços para bolsas e calçados, metais sanitários, automotivo, construção civil, etc.

Em termos de finalidade, pode-se separar a galvanoplastia em: “Banhos Protetivos”, “Banhos Decorativos”, “Banhos Funcionais” e “Banhos Ecológicos”.

Nos “Banhos Protetivos” visa-se proporcionar maior vida útil às peças, garantindo maior resistência a abrasão e corrosão.

Em “Banhos Decorativos”, propõe-se agregar maior valor as peças, comercialmente, através de processos variados como níquel fumê, níquel branco, cromo negro, anodização colorida e metais preciosos com várias nuances. Ainda, pode-se encontrar os “Banhos Funcionais”, através de processos de: cromação dura, anodização e estanhagem. Pode-se também obter propriedades mecânicas e a resistência, em peças submetidas a grande abrasão.

Portanto, os “Banhos Ecológicos”, com apelo na redução dos riscos ambientais dos banhos cianídricos, principalmente, pela substituição de passivações hexavalentes por trivalentes (NOSSA HISTÓRIA DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 2018).

Diversas superfícies metálicas podem ser utilizadas para o processo de galvanização, variando de acordo com a finalidade do produto, o custo e ponto de fusão necessário para injeção nos moldes de fundição.

Portanto, este trabalho tem como objetivo principal investigar no processo de eletrodeposição de cobre alcalino em ligas de *zamac* numa linha de cromação, a influência do sistema de agitação do banho na qualidade superficial final das peças.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a obtenção de resultados satisfatórios na qualidade superficial, é de grande importância o conhecimento da liga metálica a ser utilizada na eletrodeposição, para obtenção de resultados excepcionais em qualidade e resistência superficial final.

A variedade nas aplicações dos materiais, permite a combinação de ligas metálicas utilizadas como substrato na fundição e galvanização, para obter a resistência, qualidade e custo desejados (HORNER, 1997).

A escolha da liga dependerá da composição química obtida pela estrutura do metal tratado, visando a otimização de características que aumentem o desempenho para determinadas aplicações. Dentre os diversos tipos de ligas, podemos elencar algumas mais utilizadas :

- *Zamac*: Uma liga com 95% de zinco, 4% de alumínio, 0,97% de cobre e 0,03% de magnésio, com coloração metálica cinza clara, geralmente é empregada na fabricação de acessórios para calçados, bolsas, roupas, fechaduras, etc. Sofre corrosão em meio ácido e seu ponto de fusão está entre 420 a 450°C.
- Latão: Uma liga com 40% de zinco e 60% de cobre, coloração metálica amarela, geralmente é empregada na fabricação de cadeados, acessórios de moda. Seu ponto de fusão é 1000°C;
- Liga 88: Uma liga constituída de 88% estanho, 10% chumbo e 2% antimônio, é um metal mole cinza, geralmente empregado em bijuterias. Seu ponto de fusão está entre 270 a 300°C;
- *ABS*: Material plástico metalizado por cobre ou níquel, após aplicação de um catalisador à base de paládio para promover a deposição química na superfície do plástico.

Normalmente, a escolha da liga está associada diretamente ao processo de fundição, que pode ser variado de acordo com o substrato do produto a ser usado, podendo ocorrer na utilização de injetoras com câmara quente ou câmara fria. No processo de câmara quente, são utilizados metais de baixo ponto de fusão e peças que requerem pressões de injeção baixas como ligas de Zinco, Estanho, Chumbo e Magnésio.

Para o processo de injeção de câmara fria, no qual as pressões são maiores, exigem ligas com maior ponto de fusão (KIMINAMI, et al. 2013).

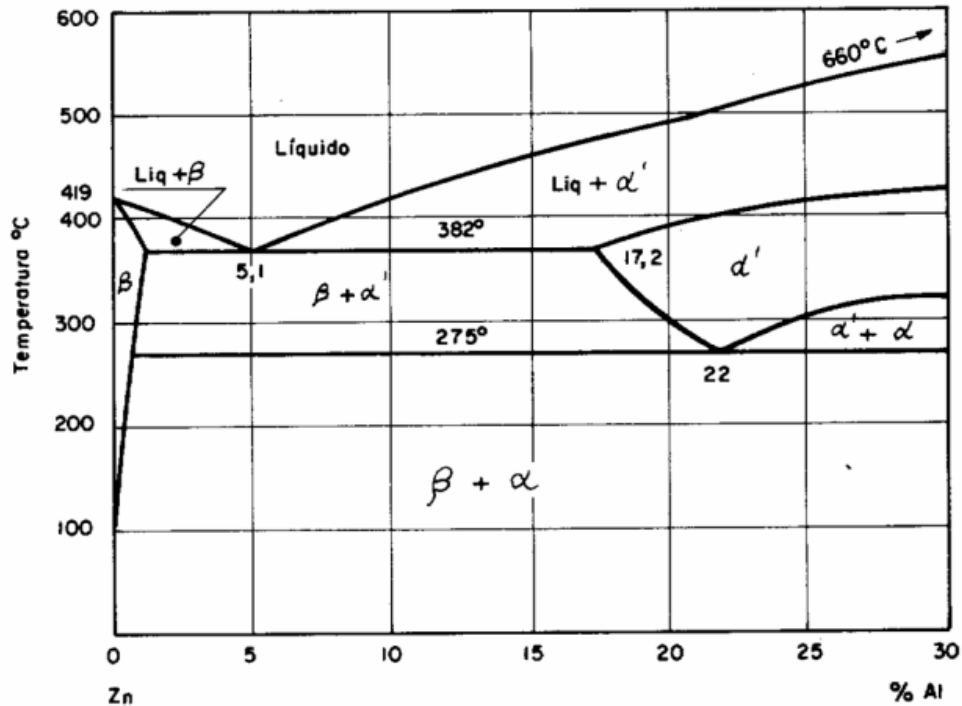
2.1. Zamac

Denominada liga hipoeutetóides de zinco, comercialmente nomeada pelas iniciais dos elementos que a compõem: zinco, alumínio, magnésio e cobre. Levando em consideração as propriedades físicas, mecânicas e facilidade de processamento, devido a presença de alumínio, essas ligas são facilmente revestidas por acabamentos de eletrodeposição e pinturas.

Sendo capaz de obter peças complexas com finas paredes, porém apresentam oxidação branca em contato com a umidade, além de baixa resistência à corrosão (SOARES, et al., 2008).

Segundo Soares (2008), no resfriamento da liga *Zamac* para a fase β ocorre a formação de cristais de zinco, com 98,86% Zn a 382 °C e estrutura hexagonal, como demonstra a Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de fases liga Zinco-alumínio



Fonte:(Soares, 2008).

Ainda segundo Soares (2008), ao continuar o resfriamento surge envolto a fase β uma camada eutética de zinco e uma segunda fase α' , de estrutura cúbica com 22% de Alumínio. Ao atingir 275 °C a liga eutetóide se condensa em $\alpha + \beta$, no qual α é uma solução sólida de Zinco no Alumínio, como representa a micrografia da Figura 2.

Figura 2 - Micrografia Zamac aumentada em 100x



Fonte: (Votoratim, 2007).

A fase sólida β composta por alumínio pode ser observada pelas partes escuras em relevo, envolto pela fase α de zinco (SOARES, et al., 2008).

Para fundição sob pressão, as ligas de zinco são as que possuem maior espectro de fabricação dentre a gama de ligas utilizadas para este tipo de processo.

2.2. Fundição

Fundição é o processo em que metal líquido preenche a cavidade de um molde, com medidas e formato equivalentes ao modelo, para produção de peças metálicas. Um processo utilizado desde a antiguidade, devido a vasta possibilidade de objetos que podem ser obtidos a partir deste método (DIAS, 2010).

A primeira etapa consiste na construção do molde baseado no modelo de peça no qual se quer reproduzir as peças metálicas. São elaborados “machos”, furos dentro da peça colocados nos moldes, para facilitar o escoamento do metal líquido para dentro do molde após a fusão.

O coquilhamento ocorre em processos de pequena escala, o líquido é vazado por gravidade utilizando um molde/coquilha com dureza e resistência suficiente para manter a estabilidade durante o trabalho. A Tabela 1 indica a composição dos materiais para fundição em coquilha.

Tabela 1- Composição dos materiais por liga vazada no coquilhamento

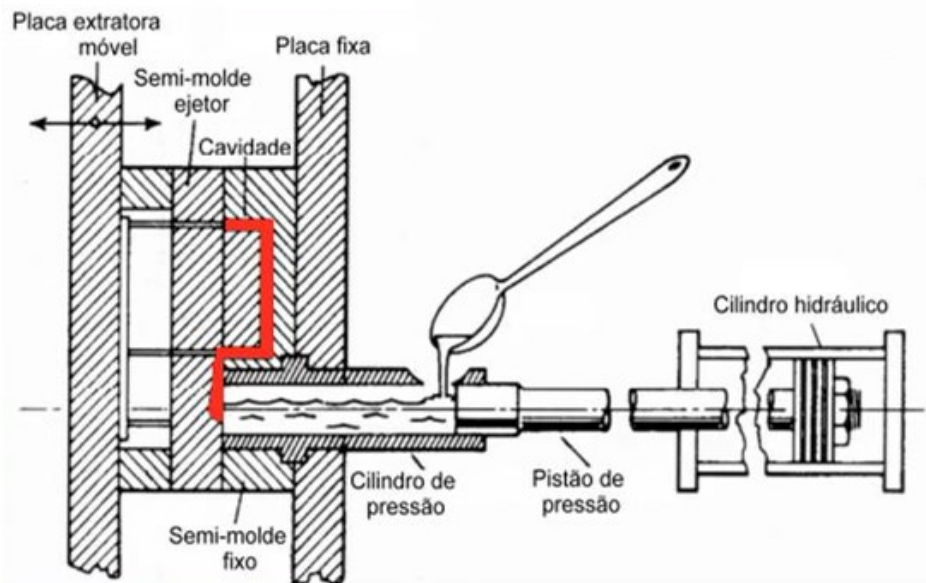
Liga Vazada	Materiais para Machos
Zinco	Aço, Gesso, Ferro Fundido Cinzento, Aço 1020
Alumínio; Magnésio	Aço 1010 ou 1020, Areia, Gesso, Aço H11, Carbono
Cobre	Areia, Aço 1020, FFC, Gesso, Grafite
Ferro Fundido Cinzento	Areia, Grafite, Carbono, FFC

Fonte : (DIAS et al., 2010)

A fabricação de partes requisitadas termicamente no processo de coquilha estão sujeitas a erosão, portanto, deve-se recorrer às ligas de maior ponto de fusão (DIAS, 2010).

Industrialmente, a fundição costuma ocorrer de forma automática, através da tecnologia de injetoras de câmara quente e câmara fria, utilizando fundição sob pressão. Nas injetoras de câmara fria, pode destacar o fato de o forno estar dissociado da injetora. A representação do equipamento pode ser encontrada na Figura 3.

Figura 3 - Desenho esquemático de uma injetora de câmara fria.

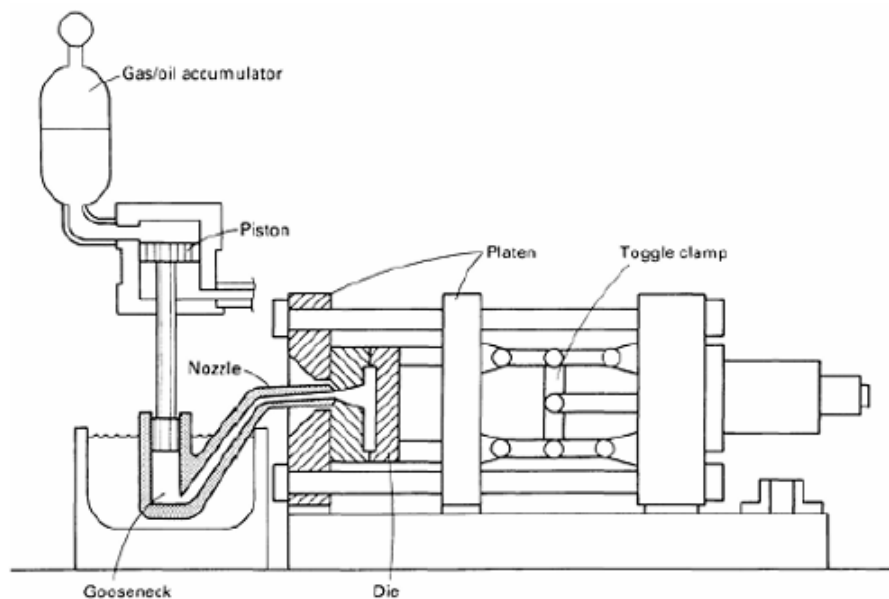


Fonte:(KIMINAMI, 2013).

O pistão e o injetor são instalados verticalmente e o grupo de fechamento na posição inversa. Assim, ao ser acionado o pistão, o orifício de acesso ao molde é aberto pelo contra pistão, forçando a passagem do metal líquido. Ao ocorrer a retração do pistão, o contrapistão realiza o bloqueio do orifício (KIMINAMI, et al., 2013).

Nas injetoras de câmara quente, ocorre o acoplamento entre o forno e a câmara de injeção. A Figura 4 representa o desenho esquemático deste tipo de equipamento.

Figura 4 - Desenho esquemático de uma injetora de câmara quente.



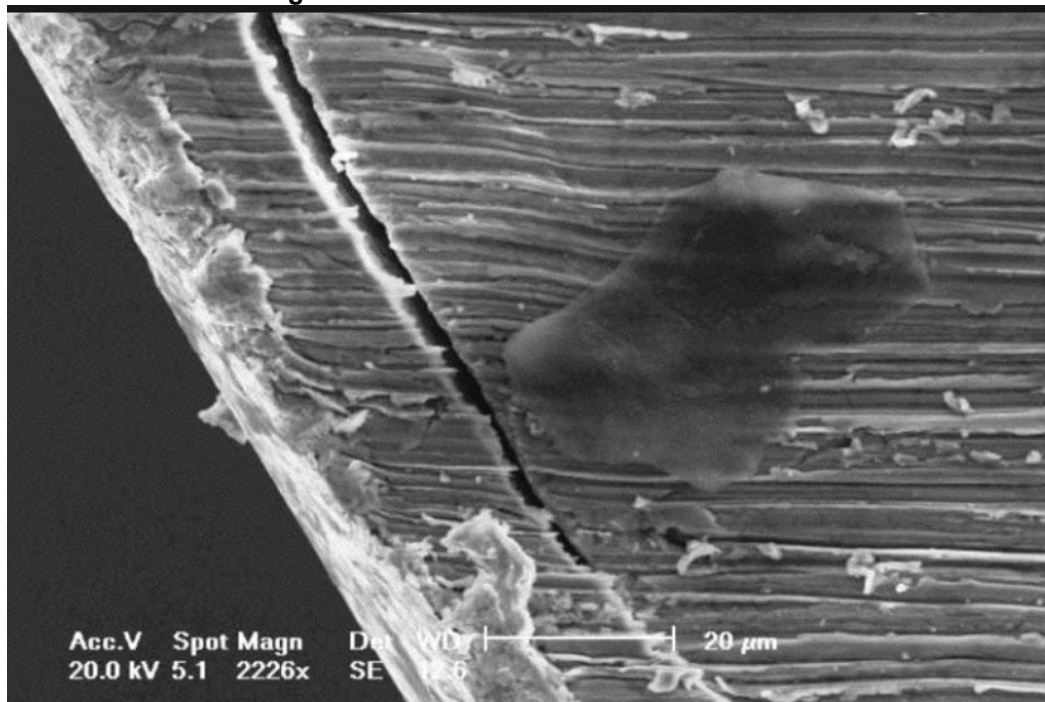
Fonte:(RICK, 2006).

As resistências elétricas aquecem o interior do forno, o pistão e a câmara de injeção (*Gooseneck*) presentes no interior do metal líquido. Injetam o metal líquido na

câmara de injeção, através de orifícios, preenchendo toda sua cavidade, assim que ocorre a retração do pistão (KIMINAMI, et al., 2013).

Neste tipo de processo, é ideal a utilização das características associadas às ligas de zinco, tais como, baixa temperatura de fusão e baixo custo, no qual favorece a injeção sob pressão e reduz os gastos com energia ou gás. Porém, pode ocorrer uma série de problemas, tais como: a formação de bolhas, devido a porosidade gasosa causada ao injetar o metal fundido no molde, com turbulência durante o escoamento ou rápida taxa de preenchimento durante o processo, mal dimensionamento das bolsas ou obstrução das saídas de gases no molde, assim como evidencia a Figura 5 (RICK, 2006).

Figura 5 - Bolhas na estrutura de ZAMAC.



Fonte : (Rick, 2006)

A retenção de gases ocorre no interior da peça, e, durante os banhos de eletrodeposição, a temperatura dos banhos colabora para a expansão dos gases e, conseqüentemente, para a formação de bolhas no revestimento final do produto (RICK, 2006).

Dessa forma, a composição química da quantidade de impurezas presentes na liga, devem ser controladas para evitar perdas nas propriedades mecânicas.

Variações na composição durante superaquecimento da liga podem ocasionar oxidação do alumínio e do magnésio podendo prejudicar a qualidade do produto final.

A fundição tem papel fundamental nos processos posteriores e na qualidade final da peça. Posteriormente, o polimento tem como objetivo a remoção das irregularidades superficiais residuais da fundição.

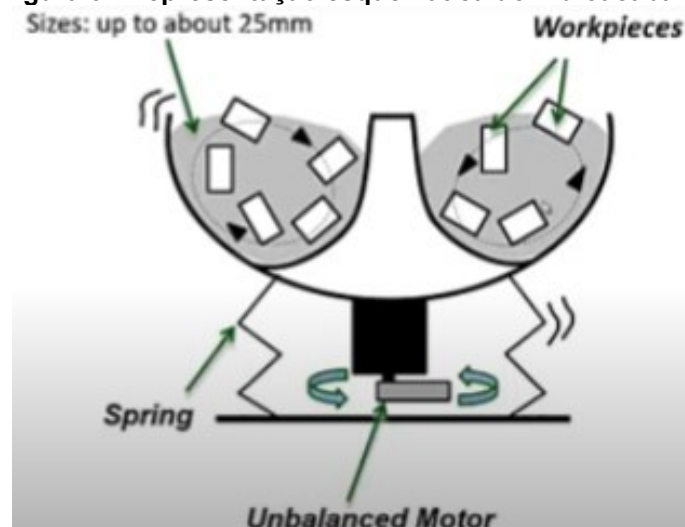
2.3. Polimento

É estabelecida uma sequência de abrasivos em ordem decrescente de grãos, até que a superfície reflita a luz de maneira uniforme, utilizando uma combinação de lixas 320, 220 e polimento com diversas rodas de algodão, com auxílio de massas de polir e lustrar, o processo em estudo explora a obtenção de um polimento com riscos não visíveis a olho nu (KIMINAMI, 2013).

Industrialmente, este processo pode ser realizado através de equipamentos automáticos de lixamento, polimento ou de vibroacabamento e tamboreamento, este último em peças de acabamento bruto ou cujo formato dificulta outro tipo de processo.

O vibroacabamento consiste em uma bacia circular, cujo interior são colocadas as peças que serão trabalhadas, material abrasivo na forma de pó ou pasta, água e chips abrasivos/mídias. Por meio de movimentos oscilatórios gerados pelo motor descentralizado, a onda de vibração causa atrito constante entre as peças de trabalho e a mídia, conforme a representação esquemática da Figura 6 (INOVATEC, 2022).

Figura 6 - Representação esquemática do vibroacabamento.



Fonte : (INOVATEC,2022)

A composição e volume do chip abrasivo estarão relacionados a utilização e a capacidade do equipamento em exigir mídias, com características de rebarbação e polimento das peças. O movimento e vibração quando controlados removem rebarbas e cantos vivos, alisam superfícies de maneira uniforme, assim como, garantem um aspecto visual mais bonito e brilhante.

2.4. Galvanoplastia

Na galvanoplastia ou eletrodeposição metálica, ocorre migração de íons do metal de interesse em uma solução aquosa até a superfície do substrato metálico a qual quer se revestir pela redução de um determinado componente a forma iônica, devido ação de corrente elétrica, o menor potencial de oxidação do metal protege contra as intempéries e processos corrosivos nos quais as estruturas metálicas estarão sujeitas, assim como agrega valor e embeleza a peça (FODES, 1973).

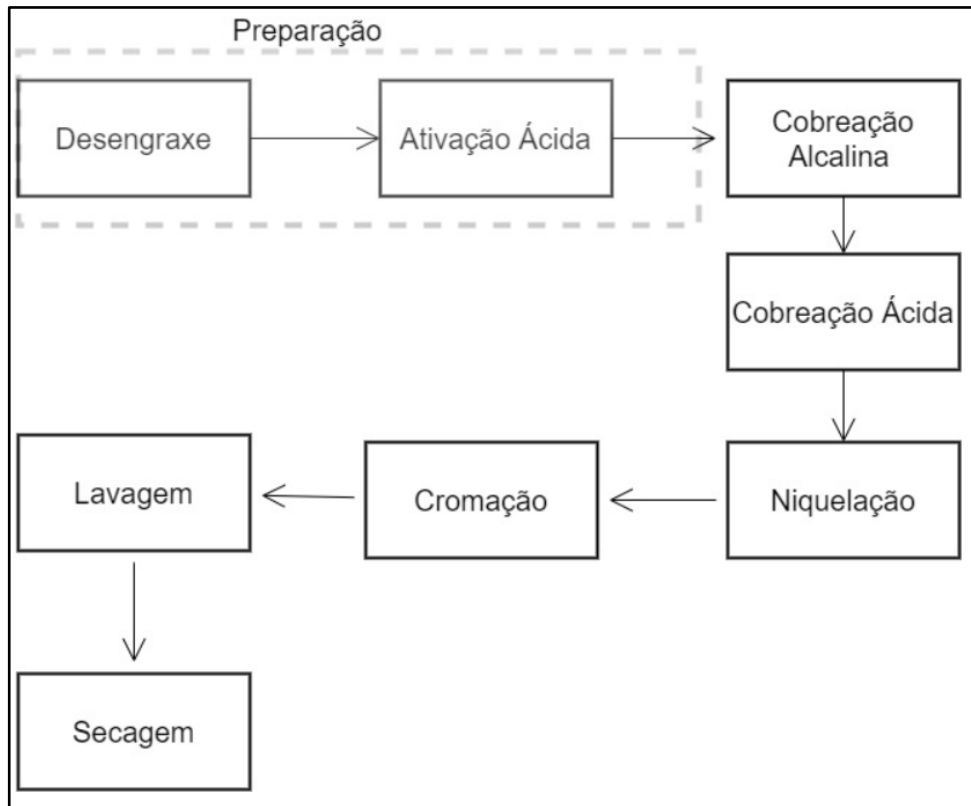
Na eletrodeposição, utiliza-se uma célula eletrolítica/banho a qual contém o eletrólito de sais iônicos do metal a ser depositado. Os mais utilizados para essa técnica são cobre, cromo, estanho, níquel, zinco, outros metais nobres, como ouro, prata, ródio, platina e ligas cobre/estanho, zinco/ferro, zinco/níquel e zinco/cobalto.

Em relação aos processos protetivos, a cobreação se destaca, pois se enquadra como camada intermediária importante para receber outros depósitos como cobre-níquel-cromo sobre o aço ou liga de zinco, proporcionando proteção e bom acabamento ao produto. Segundo Silva et al., (2008), um bom acabamento pode ser obtido quando a camada de cobre for espessa, compacta e proporcionar porosidade mínima. Quando o depósito de cobre ocorre no estado monovalente, utiliza-se de banhos à base de cianeto, no caso do depósito divalente baseia-se a solução num banho de sulfato, sulfamato ou fluoroborato.

Neste contexto, os mais utilizados são os banhos de cobreação a base de cianeto, apesar de serem tóxicos e possuírem alguns cuidados para manuseio, são mais fáceis para operação e oferecem depósitos com alta aderência e coesão de grãos finos e uniformes (GEDULD, 1967).

Pode-se representar o processo de cobreação através do fluxograma representado pela Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma galvanização liga metálica.



Fonte : (Autor, 2022)

2.4.1. Preparação

A primeira etapa para qualquer tipo de galvanização consiste na limpeza da superfície, sendo necessário eliminar qualquer tipo de sujidade ou partícula orgânica advinda de processos anteriores, como pastas de polimento, óleos, graxas, óxidos de ferro, resíduos de solda ou tintas (HORNER, 1997). A etapa de desengraxe pode utilizar diversos mecanismos, linhas completas apresentam até 4 etapas, dentre elas desengraxe químico, desengraxe spray, desengraxe ultrassom e desengraxe eletrolítico.

O desengraxe químico pode ser realizado a quente ou a frio, a depender do tipo de solvente orgânico utilizado. A eficiência do solvente pode ser verificada através do teste de *waterbreak* presente na norma ASTM F22. Após as peças serem desengraxadas deve-se verificar a formação de um filme contínuo na superfície. A presença de gotículas aderidas rompendo o escoamento, indica a presença de

contaminantes hidrofóbicos, prejudicando as etapas ácidas seguintes pelo arraste e principalmente a aderência durante a cobreação.

O desengraxe *spray* utiliza-se dos mesmos mecanismos do desengraxe químico, porém o solvente é aplicado sobre pressão na superfície da peça para retirada de qualquer material orgânico aderido.

No desengraxe ultrassom, é utilizado um tanque contendo solventes orgânicos em baixa concentração. Ao aplicar uma voltagem nos elementos piezoelétricos acondicionados dentro de transdutores, ocorre a geração de uma onda de aproximadamente 33Hz (SCHNEIDER, 2005). As bolhas colapsam violentamente a superfície da peça pelo processo de cavitação, realizando a limpeza mecânica da superfície do material (Conceitos da Física do Ultra-Som, 2022).

No quesito eficiência de limpeza pode citar o desengraxe eletrolítico, composto por um solvente orgânico utilizado na sequência catódica e anódica.

No desengraxe catódico aplica-se corrente ligando o pólo positivo ao ânodo, a corrente flui dos ânodos para as peças. A limpeza ocorre pela ação mecânica do gás hidrogênio gerado na superfície das peças.

No desengraxe anódico o polo positivo é ligado a peça, a corrente flui no sentido inverso da peça em direção ao barramento. A geração de oxigênio na superfície do material retira mecanicamente qualquer resíduo incrustado (NOSSA HISTÓRIA DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 2018).

Toda etapa de desengraxe exige etapas de lavagens seguidas de ativações ácidas para neutralizar os solventes orgânicos utilizados nas etapas de desengraxe. Finalizada a etapa de preparação, a peça está condicionada para receber a camada de metal que será eletrodepositada na superfície.

2.4.2. Cobreação Alcalina

Os banhos do tipo cianídricos utilizados para ligas de zinco, são geralmente compostos por cianeto de cobre(I); cianeto de sódio; hidróxido de sódio; carbonato de sódio e sal de Rochelle (tartarato de sódio e potássio). Comumente, encontramos em processos de tratamento de superfícies, sistemas de recirculação para filtrar toda solução do banho, dispendo de filtros de papel ou filtros de cartucho. Este tipo de

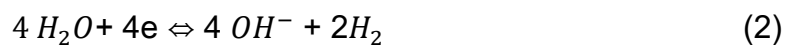
processo conta com bombas de baixa pressão e alta vazão, para evitar qualquer dano aos filtros.

Segundo Silva et. al. (2008) o cianeto de cobre (I) (CuCN) fornece os íons de cobre necessários para a deposição do metal, devido à formação de cianocomplexos de cobre o CuCN se mantém solúvel, até atingir o excesso no qual se torna presente na forma mais estável $[Cu(CN)_3]^{-2}$. Há grande importância em manter a concentração próxima dos parâmetros ideais, para não ocorrer a precipitação de CuCN nos ânodos formando uma camada aderente a ponto de tornar o ânodo passivo ou polarizado, diminuindo a eficiência de corrente anódica.

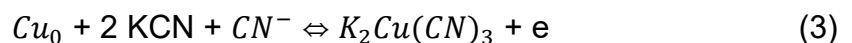
Ao manter o cianeto em excesso, seu potencial de redução é minimizado comparado ao ferro, dessa forma, as reações de deslocamento galvânico são cessadas, favorecendo a eletrodeposição com aumento da aderência de depósitos de granulação mais fina e mais brilhantes. O pH alcalino mantido pelo hidróxido de potássio mantém os cianocomplexos de cobre sem ocorrer decomposição e liberação de gás cianídrico, além da inibição, a formação de carbonatos pela decomposição do cianeto, através da absorção de CO₂ presente no ar. A eletroquímica de deposição do cobre cianídrico pode ser descrita por:



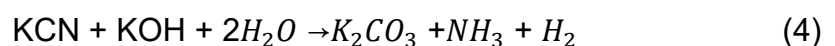
O desprendimento de gás hidrogênio se dá por:



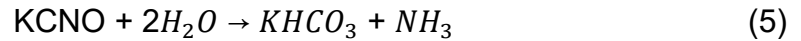
A dissolução do cobre contido no ânodo:



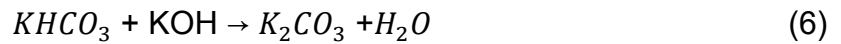
Ocorre a oxidação do cianeto a cianato:



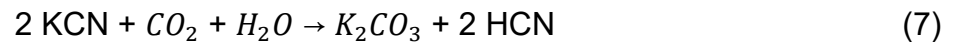
Ocorre a formação do bicarbonato de amônia pela hidrólise do cianato:



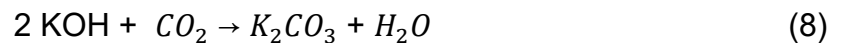
O bicarbonato por sua vez reage com hidróxido de potássio dando carbonato:



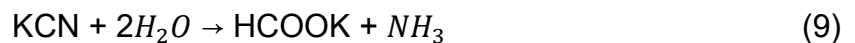
Banhos alcalinos sofrem decomposição do cianeto pela ação gradativa do dióxido de carbono absorvido do ar, formando naturalmente carbonato.



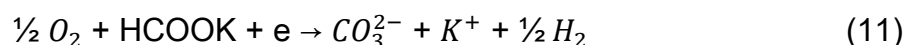
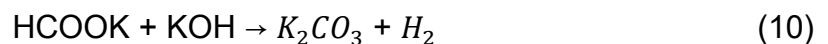
A reação do hidróxido com o dióxido de carbono absorvido do ar ocorre segundo a reação:



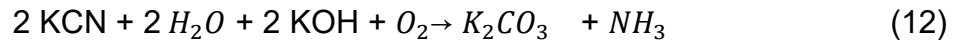
A hidrólise do cianeto se dá com formação de amônia e formiato:



O formiato sofre oxidação gradativa a carbonato, tanto eletroquímica como quimicamente:

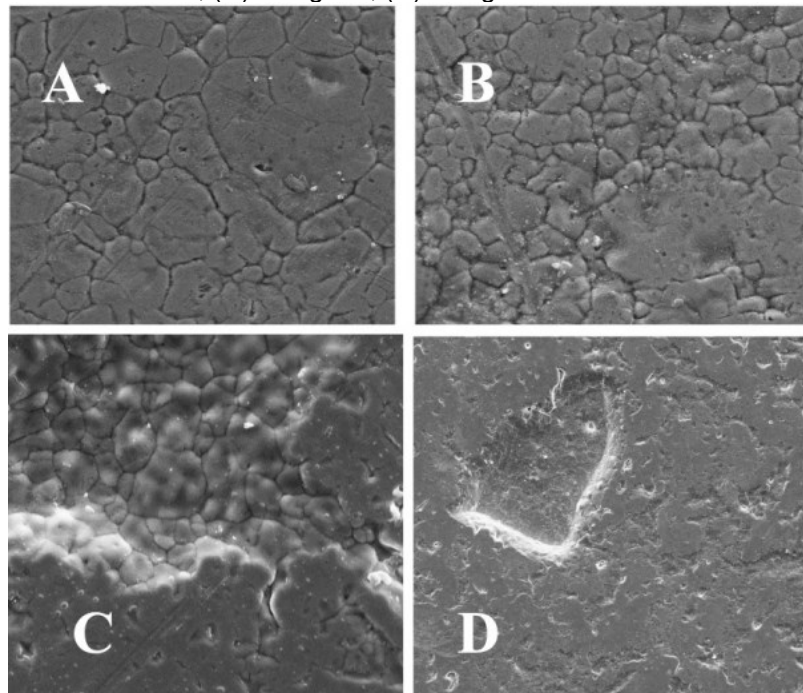


Ainda ocorre a reação do cianeto com o hidróxido, na presença de oxigênio dissolvido:



Segundo Silva et. al. (2008) a agitação e o controle da temperatura em banhos alcalinos cianídricos devem ser rigorosos. Operações com altas densidades de corrente implicam em temperaturas acima de 71°C durante a deposição, favorecendo a carbonatação do banho. O aumento na concentração de carbonatos prejudica a qualidade da deposição nas peças, ocorre incorporação de carbonatos insolúveis causando asperezas, redução do brilho no depósito, diminuição da faixa operacional de densidade de corrente e aumento do arraste. Tornando extremamente necessário um sistema de agitação eficiente, no qual a solução se mantenha homogênea integralmente. Na Figura 8 observa-se o efeito do alto teor de carbonato numa placa de carbono após tratamento térmico a 250 °C em atmosfera de nitrogênio.

Figura 8 -Superfícies dos discos de aço recobertos com cobre sob diferentes concentrações de carbonato, após tratamento térmico a 250 °C em atmosfera de nitrogênio: (A) 20 g L-1; (B) 50 g L-1; (C) 300 g L-1; (D) 350 g L-1



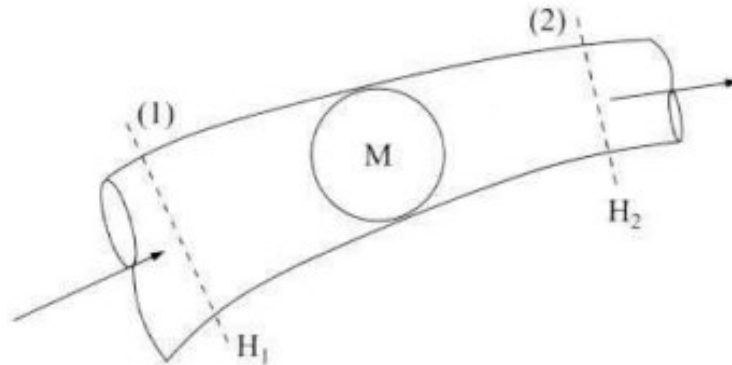
Fonte: Silva et. al. (2008)

Na figura anterior em A observa-se um depósito uniforme com grãos de cobre bem compactados na superfície, com o aumento do teor de carbonato ao avançar para 50g/L em B,C e D, verifica-se a diminuição no tamanho dos grãos, o surgimento

de lamelas, depressões e porosidades indicando má aderência dos grãos de cobre na superfície da placa.

Existem diversos tipos de sistemas de agitação aplicados em galvanoplastia, do tipo jato/*eductor* são os mais utilizados, possui baixa perda de carga e dependem de um bombeamento a alta pressão e alta vazão para realizar o fluxo adequado e movimentação de toda solução. Em 1738, Daniel Bernoulli apresentou o Princípio de Bernoulli, no qual demonstra o princípio de conservação de energia para fluidos ideais, relacionando a velocidade do fluido com a pressão no mesmo. Munido com tal conhecimento, o físico italiano Giovanni Battista Venturi desenvolveu o tubo de Venturi, mecanismo utilizado para medir a velocidade do escoamento de um líquido incompressível, como representa a Figura 9.

Figura 9 - Representação escoamento em um tubo de venturi



Fonte: Brunetti (2008)

A figura apresenta o volume de controle de tubo, no qual um líquido atravessa uma região com maior seção transversal e em seguida outra região de menor seção transversal. Aferindo a diferença de pressão entre as duas regiões pelo deslocamento de colunas do líquido através da Equação 13, obtemos as velocidades do líquido nas regiões (TÉCNICO, 2010).

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (13)$$

Cujo 'H' representa a energia total, 'P' a pressão na região, 'v' a velocidade do fluido, 'ρ' o peso específico e 'g' a gravidade local.

Visto que o tubo de venturi consiste de uma seção convergente gradual, seguida de um estrangulamento e de uma seção divergente gradual, no qual podemos observar a diminuição da pressão devido ao aumento da velocidade. Os *eductors*/jatos exploram tal efeito, a entrada da solução para o interior do tubo devido ao fluxo criado pelo bombeamento, cria uma queda de pressão que atrai um fluxo

secundário. Segundo Gabe (2006) o fluxo total de saída pode ser até 5 vezes maior que o fluxo inicial. Podemos representar o efeito do eductor na Figura 10.



Fonte: Schutte & Koerting (2022)

Seu formato garante a máxima eficiência do fluxo secundário, criando assim, um dispositivo de agitação de jato eficiente. Ainda segundo Gabe (2006), no início do século XX, esse sistema que também pode ser encontrado como *Serductors* ou *Floductors*, era utilizado além da galvanoplastia, aliado a diversos processos de tratamento de superfície como anodização, enxágue e limpeza e decapagem.

Para o dimensionamento do sistema é necessário conhecimento de alguns parâmetros do processo:

- Diâmetro da tubulação de entrada do tubo
- Diâmetro da tubulação de saída do tubo
- Diâmetro da garganta
- Ângulo de divergência do cone difusor

Sendo o formato e o ângulo de divergência especificado pelas normas ISO 4006, ISO 5167, ASTM D2458-69. Comercialmente, podemos encontrar nas dimensões 1/4", 3/8", 1/2", 1", 1.1/2".

No projeto, a seleção da bomba correta irá garantir o perfeito funcionamento do sistema de *eductors*, evitando quebra dos acessórios, gasto de energia em excesso e garantia da pressão mínima de operação. Para seleção, nos catálogos de fornecedores disponíveis deve ser calculada a altura manométrica total do sistema.

A altura manométrica consiste na soma da altura geométrica, perda de carga localizada (h_l) e perda de carga distribuída na tubulação (h_d). Dada pela relação a seguir (TÉCNICO, 2010) :

$$H_{MAN} = H_g + h_l + h_d \quad (14)$$

O número adimensional Reynolds, categoriza o tipo de escoamento do fluido no sistema, exprimindo uma relação entre forças de inércia e viscosidade (BRUNETTI, 2008).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (15)$$

Sendo V a velocidade do fluido (m/s), D o diâmetro da tubulação (m) e ν a viscosidade dinâmica do fluido (m^2/s).

A equação de Darcy-Weisbach foi obtida empiricamente para descrever a perda de carga ao longo da tubulação. Dependendo do fator de atrito (f), comprimento percorrido pelo fluido (L), velocidade do fluido (V), o diâmetro da tubulação (D) e a constante gravitacional (g). Pode ser utilizada no cálculo de perda de carga contínua tanto em regimes laminares, quanto em regimes turbulentos (BRUNETTI, 2008).

$$h_d = \frac{fLV^2}{D2g} \quad (16)$$

Swamee-Jain descreve o fator de atrito no escoamento em regime de fluxo transitório, cujo ϵ é a rugosidade absoluta do tubo (m) (BRUNETTI, 2008):

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (17)$$

Para cálculo das perdas de carga localizadas segue a relação (BRUNETTI, 2008):

$$h_l = \frac{(\Sigma K)V^2}{2g} \quad (18)$$

Sendo K a constante adimensional tabelada de acordo com o material utilizado para cada tubulação, V a velocidade do fluido (m/s) e g a constante gravitacional (m/s^2).

2.4.3. Cobreação Ácida

São compostos por sulfato de cobre, ácido sulfúrico, abrillantadores, niveladores, tensoativos e ânodos de cobre fosforoso (possuindo de 0,02- 0,07% de impurezas de outros metais).

Segundo FODES (1973) o sulfato de cobre é responsável pelo fornecimento de íons cobre II para o banho, o ácido sulfúrico mantém a condutividade e auxilia na dissolução dos ânodos, enquanto os aditivos fazem a correção do brilho e nivelamento de acordo com a faixa de densidade de corrente utilizada. São aplicados após o banho de cobre alcalino, oferecem nivelamento e brilho, com depósitos dúcteis de baixa tensão interna. Possuem os mesmos tipos de sistema de filtração e agitação utilizado nos tanques de cobre alcalino.

2.4.4. Niquelação

Composto basicamente por sulfato de níquel, cloreto de níquel, ácido bórico, aditivos e ânodos de níquel. O sulfato de níquel fornece íons níquel para o eletrólito, enquanto o cloreto de níquel, além de, também fornecer os íons níquel, auxilia na decomposição do ânodo e aumento da condutividade; ácido bórico funciona como tampão para o pH, impedindo as reações de hidrogênio para melhorar o depósito final (FODES, 1973).

A camada de níquel possui grande importância para a proteção contra corrosão, com espessura suficiente para nivelar a peça. Porém, ao ser depositado sobre o zamac, ambos com estrutura porosa, é necessário de antemão proteger com acabamento em cromo decorativo ou outro tipo de processo, como verniz cataforético, revestimento orgânico de ácido fórmico, etc (Valandra, 2019).

2.4.5. Cromação

O cromo oferece ótima opção entre os metais revestidos mais importantes, suas características físicas oferecem maior vida útil às peças, gerando grande economia em relação às peças sem cromo galvanizado, no qual, necessitam de substituição ou reparo ocasionado por desgastes, corrosões, etc.

O processo mais comum utiliza cromo decorativo do tipo trivalente, composto por uma solução de trióxido de cromo, ácido sulfúrico, catalisadores, anti-névoa e ânodos de chumbo. O trióxido de cromo oferece os íons necessários de cromo, os catalisadores e radicais ácidos auxiliam na deposição do metal na superfície, o anti névoa age diminuindo a tensão superficial e colabora para formação de uma camada de espuma na superfície do banho, a fim de evitar o desprendimento das gotículas de gases que arrastam soluções de cromo para o ambiente e os ânodos de chumbo fornecem a distribuição da corrente, além de auxiliar a reoxidação do cromo trivalente a hexavalente (Brass & Copper, 2022).

2.5. PADO SA

Foi fundada em 1936, em São Paulo, hoje é líder no setor de fechaduras e cadeados. O parque fabril está instalado em Cambé (Norte do Paraná) com a colaboração de 1500 funcionários, avançados equipamentos e modernos sistemas de produção. Hoje a Pado produz diversos itens como cadeados, fechaduras, ferragens e acessórios, anualmente renovando o mercado com novidades em acabamentos e tecnologias em todas as linhas de produtos. Com atendimento a todo Brasil e a diversos países, seu maior compromisso com o mercado é garantir a satisfação de seus clientes, por meio da qualidade de seus produtos.

Para isso, todo processo produtivo deve estar alinhado: desde o recebimento da matéria-prima até o produto final. Sua missão é oferecer ao mercado produtos de segurança com design inovador, produzindo de modo responsável com a sociedade

e o meio ambiente. Visando ser referência no mercado em que atuamos, buscando melhoria contínua e inovação constante.

3. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Em conformidade com os objetivos da PADO SA e visando a redução dos índices de não conformidade na qualidade visual de peças polidas no processo produtivo de Galvanoplastia. Foi constatada a necessidade do melhoramento do padrão visual das peças, por meio do controle das condições operacionais dos banhos. Visto que, peças polidas apresentam maior valor agregado dentre as peças produzidas pela empresa, sua perda impacta diretamente nos custos do setor e no faturamento mensal.

Entre a grande quantidade de defeitos apontados no período, durante a inspeção, ao final do processo de cromação das 1.916.183 peças, houve a perda de 7,6% em peças polidas, sendo os mais recorrentes chuviscos e asperezas, indiretamente também surgem defeitos associados a má eficiência de depósito, como porosidades, mal fechamento dos furos e manchas. Na Tabela 2 pode-se observar os índices de perdas por não conformidade visual dos últimos meses. Todos os defeitos foram reunidos na Figura 11

Tabela 2 - Relatório de Não conformidades setor Galvanoplastia no período de 01/01/22 até 31/05/22

	DEFEITOS	Qt. Defeitos	% Defeito	% Acumul.
1	CHUVISCO DE BANHO	32.022	21,9%	21,9%
2	AMASSADO/BATIDO	27.588	18,9%	40,8%
3	MANCHAS	20.951	14,3%	55,2%
4	QUEIMA NO CROMO	19.094	13,1%	68,3%
5	ASPEREZA	6.254	4,3%	72,5%
6	BOLHAS DE FUNDIÇÃO	6.016	4,1%	76,7%
7	SUJEIRA	5.716	3,9%	80,6%
8	MARMORIZAÇÃO	4.471	3,1%	83,6%
9	QUEIMA NO COBRE	4.003	2,7%	86,4%
10	BOLHA DE GALVANO	3.644	2,5%	88,9%
11	POROSIDADE	3.103	2,1%	91,0%
12	AMARELO NO CROMO	2.596	1,8%	92,8%
13	MAL LIXADO/MARCAS DE LIXA	2.227	1,5%	94,3%
14	FALHA DE FUNDIÇÃO	1.750	1,2%	95,5%
15	DESPLACAMENTO2	1.710	1,2%	96,7%
16	PARADA DE LINHA	1.208	0,8%	97,5%
17	RISCO DA BASE	1.110	0,8%	98,3%
18	MANCHAS DE ÁGUA	563	0,4%	98,6%
19	RISCO APÓS PROCESSO	502	0,3%	99,0%
20	MAL CONTATO DE CORRENTE	467	0,3%	99,3%
21	FALHA DO OPERADOR	384	0,3%	99,6%
22	MAL CONTATO / SOMBRA	267	0,2%	99,7%
23	FOSCO	238	0,2%	99,9%
24	QUEDA DE ENERGIA	61	0,0%	100,0%
25	OUTROS	69	0,0%	100,0%
	TOTAL	146.014		

Fonte: Autor (2022)

Figura 11 - Principais defeitos encontrados na etapa de Galvanoplastia A- asperezas, B- manchas, C- mal fechamento, D- chuviscos.



Fonte: Autor (2022)

Evidente a necessidade de melhoria do processo em se obter depósitos mais uniformes, sem partículas inconvenientes aderidas na superfície, com maior eficiência na deposição de lacunas ou poros presentes nas peças.

3.1. Hipóteses para a solução problema

Conhecendo o mecanismo de funcionamento da linha de galvanoplastia e as adversidades a serem enfrentadas, pode-se estabelecer três hipóteses para promover a resolução do problema. Estas soluções partem da premissa de garantia total das etapas de preparação das peças e correta manutenção dos banhos.

3.1.1. Hipótese 01: Sistema de agitação a ar

Visando a disponibilidade de recursos e baixo investimento, foi proposto a instalação de um sistema de agitação a ar, com ligação automática após as peças serem retiradas do tanque. Visando a homogeneização da solução para melhorar o aspecto de deposição.

3.1.2. Hipótese 02: Aquisição de bomba filtro de maior potência

Partindo-se do princípio de que um banho com alta capacidade de filtração e alta renovação da solução no tanque possa garantir melhores características de depósito, podemos considerar como hipótese viável para ser analisada.

3.1.3. Hipótese 03: Sistema de agitação com eductors

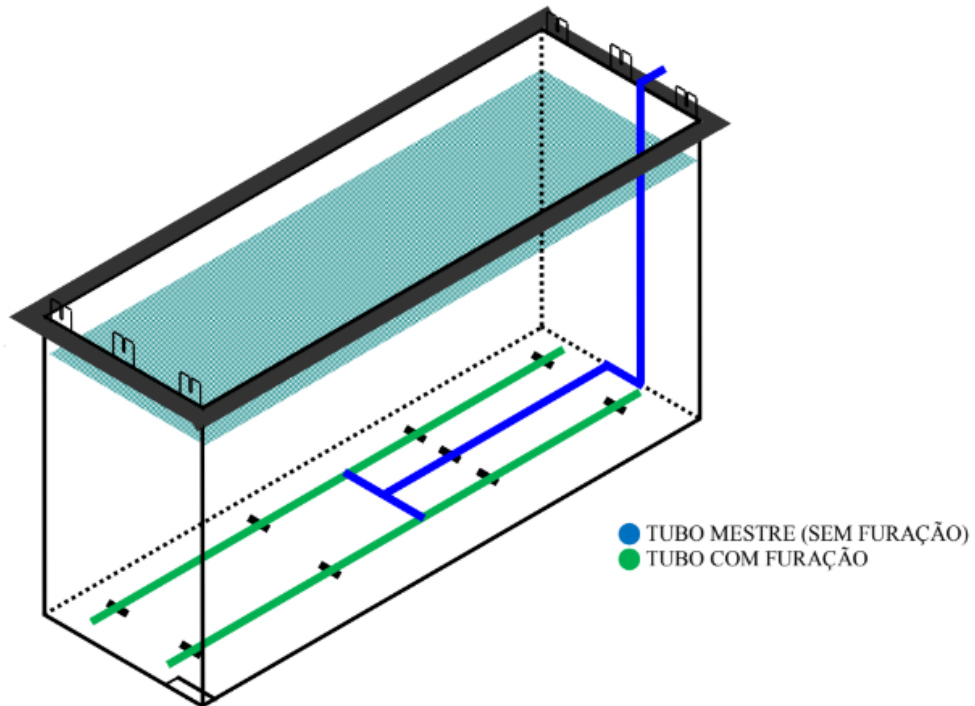
Visto que a qualidade visual final das peças se dá pela uniformidade de camada realizada pela deposição durante o banho de cobre alcalino, ausentando de qualquer porosidade, selando a peça de maneira eficiente. Portanto, é necessária a implementação de um sistema de agitação para renovar a solução em contato com a peça durante a reação eletrolítica de deposição.

4. Análise das hipóteses

Em relação à hipótese 1, podemos desenvolver a construção de um sistema costumeiramente utilizado neste tipo de linha de produção, um agitador de ar em H. Localizado no fundo do tanque, propulsionado por um soprador de ar, como ocorre nos tanques de níquel e cobre ácido. O distanciamento correto das paredes do tanque e do fundo devem ser levadas em conta, com o insuflamento de ar podemos obter ótimas condições de agitação no banho.

Importante destacar neste tipo de projeto o furo de 2 a 3 mm de diâmetro 50 mm acima do banho, para evitar o efeito da sifonação, evitando o contato do banho com demais sujidades presentes na tubulação mestre do insuflador, a Figura 12 ilustra o sistema em questão.

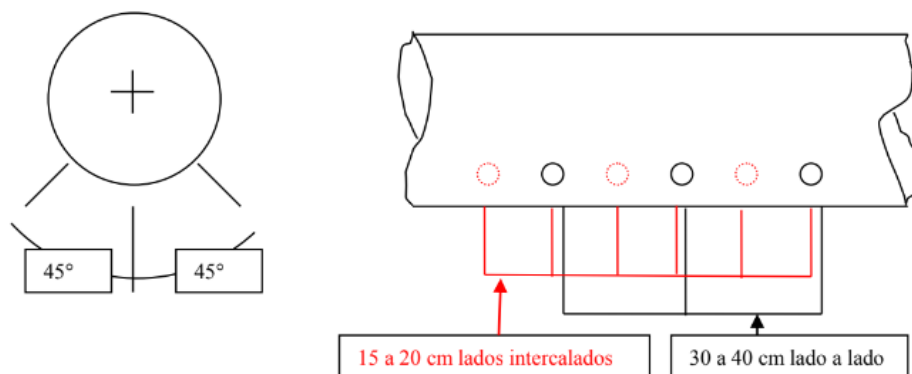
Figura 12 - Sistema de insuflação de ar para banhos galvânicos



Fonte: MacDermid (2022)

A distribuição uniforme de ar ao longo do tanque depende do distanciamento correto entre os furos da tubulação de distribuição de ar, conforme a Figura 13.

Figura 13 - Furação da tubulação do sistema de insuflação de ar.



Fonte: MacDermid (2022)

Espera-se obter um bom movimento de agitação direcionando o fluxo de ar para o fundo do tanque, intercalando os furos, a distribuição será perfeitamente uniforme durante a eletrodeposição. Segundo SCHLESINGER (2000), a insuflação de ar aliada a alta temperatura ocasionada pela alta densidade de corrente utilizada, favorece a decomposição do cianeto pela ação gradativa do dióxido de carbono absorvido do ar, conseqüentemente, com o aumento do carbonato verificamos mudanças no depósito, indícios de porosidade e diminuição da eficiência de depósito.

A perda de qualidade está associada à diminuição da aderência, no depósito de partículas maiores pela introdução da massa de carbonato durante a eletrodeposição. Portanto, podemos desclassificar tal hipótese para resolução do problema em questão.

Na hipótese 2, será necessário adquirir uma bomba filtro com capacidade maior do que as já utilizadas no processo atual, no qual são do modelo MEFIAG MDF-3500-PP-SY-MSP20 com capacidade de 20m³/h (13 vezes o volume do tanque) e área filtragem de 2,6m². Visto que a bomba atual já possui grande capacidade de filtração em relação ao volume do tanque, e os problemas associados à baixa qualidade obtida nos depósitos têm persistido por meses. O custo de compra para um modelo de maior capacidade estende-se acima de R\$100.000,00 para importação de um modelo com qualidade e durabilidade comparável a atual. Dessa forma a hipótese se torna inviável para a resolução do problema.

Por fim, a hipótese 3 foi escolhida para a solução do problema, a bomba filtro já utilizada no tanque será mantida a fim de garantir total filtragem do sistema.

Será adquirida uma bomba centrífuga para realizar a movimentação constante do banho através do sistema de *eductors*. A escolha deve se pautar num equipamento com baixo risco de vazamento pelo selo, devido a alta concentração de cianeto e sua alta toxicidade.

O dimensionamento e escolha dos *eductors* seguindo os parâmetros do fornecedor. Para cálculo do fluxo de agitação necessário do tanque segue (SCHUTTE & KOERTING, 2022):

$$Q_t = \frac{V_t.V_h}{60} \quad (19)$$

O volume total V_t do tanque correspondente a 2100 L e V_h o número de circulações por hora no tanque (indicado de 5-15 rotações em tanques de cobre alcalino, 30 rotações para tanques de níquel e 10 rotações para tanques de limpeza).

Obtendo 350 L/min para agitação necessária do cobre alcalino com 10 renovações por hora. Com a relação de 5:1 entre o fluxo de entrada e saída do fluido nos *eductors* (Gabe, 2006). A vazão de entrada pode ser calculada da relação:

$$Qp = \frac{Qt}{5} \quad (20)$$

Obtemos 70 L/min na vazão de entrada, para o conjunto de 8 *eductors* utilizado no tanque, será necessário um modelo que impulse no mínimo 8,75 L/min para cada acessório. Portanto, através da Tabela 3 podemos selecionar o modelo ideal de equipamento:

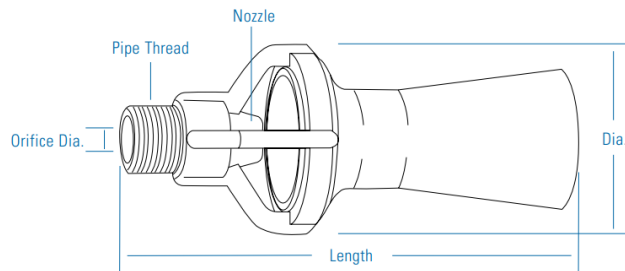
Tabela 3 - Tabela para seleção modelo eductor.

Nozzle No.	Flow Rate	Inlet Liquid Pressure psi (bar)							
		10 (.5)	15 (1)	20 (1.5)	25 (2)	30 (2.5)	35 (3)	40 (3.5)	50 (4.0)
46550-1/4—	Inlet Flow Rate gpm (l/min)	3.5 (11.3)	4.3 (16.0)	5.0 (19.5)	5.5 (23)	6.1 (25)	6.6 (28)	7.0 (30)	7.8 (32)
	Circulation Rate gpm (l/min)	16.2 (53.3)	19.4 (75)	22.8 (91.5)	25.1 (107)	28.1 (118)	30.6 (130)	33 (140)	36.8 (150)
	Effective Flow Field* ft. (m)	3.0 (.91)	5.0 (1.5)	7.0 (2.1)	8.5 (2.6)	10.0 (3.0)	12.0 (3.7)	14.0 (4.3)	17.0 (5.2)
46550-3/8—	Inlet Flow Rate gpm (l/min)	9.0 (29)	11.0 (42)	12.5 (51)	14.0 (59)	16.0 (65)	17.0 (70)	18.0 (77)	20 (82)
	Circulation Rate gpm (l/min)	45 (145)	55 (210)	62.5 (255)	70 (295)	80 (325)	85 (350)	90 (385)	100 (410)
	Effective Flow Field* ft. (m)	4.0 (1.2)	6.0 (1.8)	8.0 (2.4)	10.0 (3.0)	12.0 (3.7)	14.0 (4.3)	16.0 (4.9)	22 (6.7)
46550-3/4—	Inlet Flow Rate gpm (l/min)	13.5 (43)	17.0 (64)	19.0 (74)	21 (85)	23 (97)	25 (106)	27 (116)	30 (124)
	Circulation Rate gpm (l/min)	67.5 (215)	85 (320)	95 (370)	105 (425)	115 (485)	125 (530)	135 (580)	150 (620)
	Effective Flow Field* ft. (m)	5.0 (1.5)	8.0 (2.4)	11.0 (3.4)	14.0 (4.3)	17.0 (5.2)	20 (6.1)	24 (7.3)	33 (10.1)

Fonte: Spraying Systems (2011).

Dados de performance disponibilizados pelo fornecedor do equipamento para cada modelo, através da vazão de entrada Q_p corresponde a 70 L/min, o modelo de eductor nº 46550 com conexão de 3/8" em polipropileno se adequa ao nosso sistema, com operação a 3 bar. Na Tabela 4 pode-se verificar as dimensões dos acessórios para distribuição no tanque.

Tabela 4 - Dimensional eductors.



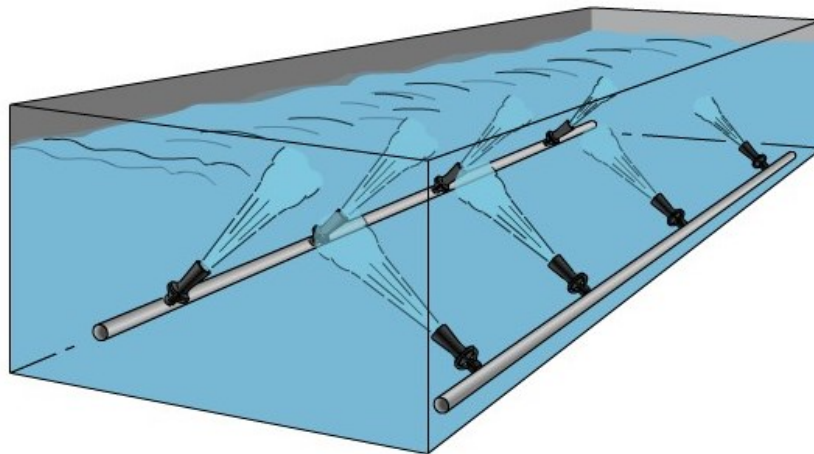
Dimensions

Nozzle No.	Inlet Conn. (in.) NPT or BSPT (M)	Orifice Dia. in. (mm)	Length in. (mm)	Dia. in. (mm)	Net Weight oz. (kg)		
					KY	PP	SS
46550-1/4—	1/4	3/16 (5)	3 (76)	1-1/4 (32)	.51 (.01)	.51 (.01)	—
46550-3/8—	3/8	5/16 (8)	4-1/16 (103)	1-11/16 (52)	—	1 (.03)	9.9 (.28)
46550-3/4—	3/4	3/8 (10)	6-3/8 (162)	3 (76)	—	2.8 (.08)	24.5 (.69)

Fonte: Spraying Systems (2011).

Assim, serão necessários 8 *eductors* distribuídos uniformemente pelo tanque com inclinação de 11°, segundo as normas, como evidencia a Figura 14.

Figura 14 - Distribuição dos eductors pelo tanque



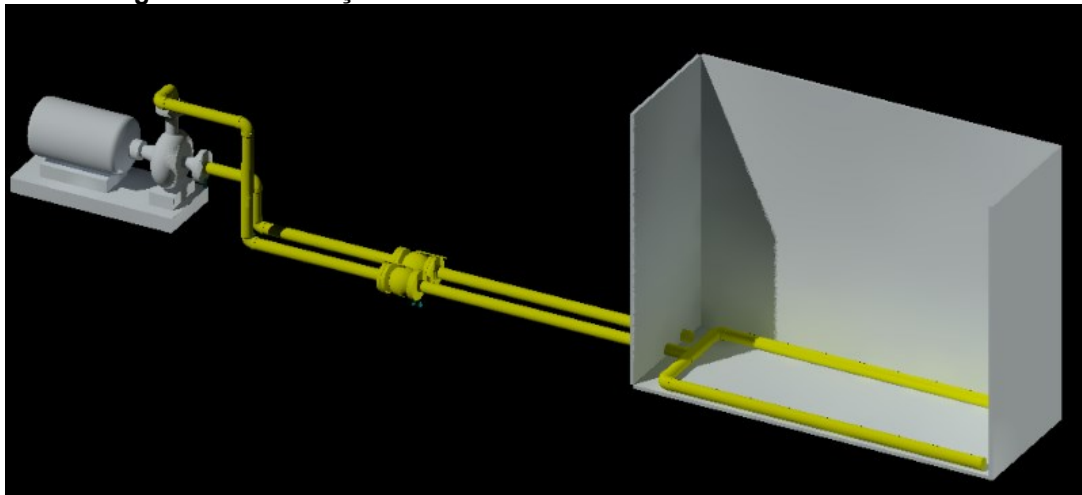
Fonte: Accessories (2022).

Partindo para o projeto do sistema, devemos levar em consideração aspectos como facilidade de manutenção caso haja quebra em qualquer componente, instalado uniões com capacidade de rotação para ajuste do ângulo de trabalho, orifícios rosqueados preparados para a colocação dos *eductors*.

Neste sistema podemos considerar como principal desvantagem o consumo de energia, devido ao bombeamento do fluido. Assim, para o correto dimensionamento

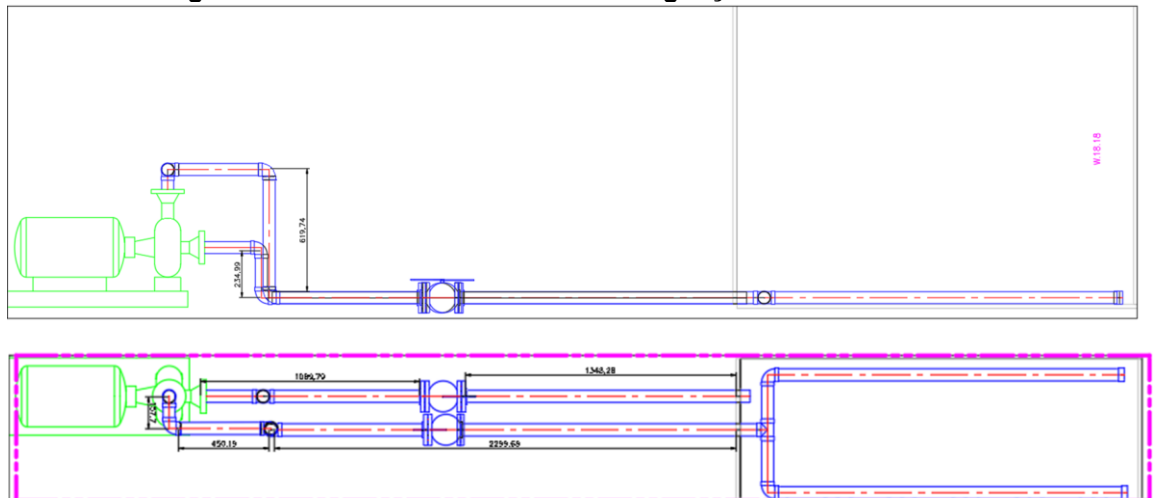
da bomba deve ser calculada a altura manométrica total e a vazão de entrada, para correta seleção no catálogo de fornecedores a fim de evitar consumo de energia em excesso. Na Figura 15 temos a representação em 3D do sistema de bombeamento e na Figura 16, seus respectivos isométricos.

Figura 15 - Simulação do sistema eductor em Autocad Plant3D.



Fonte: Autor (2022).

Figura 16 - Isométricos do sistema de agitação eductor.



Fonte: Autor (2022).

O sistema foi construído utilizando 10,3 metros lineares de tubulação de 2'' em polipropileno, visto que o cobre alcalino possui alta toxicidade, alto grau de corrosão e impregnação. A partir dos isométricos apresentados anteriormente obtém-se a altura geométrica do sistema (H_g), a partir da soma da altura de sucção e recalque, sabendo-se que a bomba irá operar afogada. Obtém-se uma altura geométrica $H_g = 0,285$ m para o sistema em estudo.

Obtendo-se o fator de atrito pela Equação 17 a partir do cálculo de Reynolds com a Equação 15. Com base na literatura, o banho de cobre alcalino apresenta $\nu = 0,0094 \text{ cm}^2/\text{s}$ (BALLESTEROS et al., 2011) e $\rho = 1,150 \text{ g/cm}^3$ (AUROSQUÍMICA, 2022), para um sistema de agitação com vazão $Q_t = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ obtida pela Equação 19, tem-se que $Re = 158026,2$ e fator de atrito correspondente a $f = 0,0173$, utilizando-se da rugosidade absoluta $\varepsilon = 0,000007 \text{ m}$ fornecida pelo catálogo do fornecedor da tubulação (TÉCNICO, 2022). Aplicando na Equação 16 para obter a perda de carga distribuída equivalente a $h_d = 1,6 \text{ m}$ ao longo da tubulação.

Através da Tabela 5 obtida a partir dos catálogos de fornecedores, coleta-se os coeficientes para perda de carga localizada nas conexões ao longo da tubulação.

Tabela 5 - Coeficientes de resistência no sistema de agitação eductor em tubulação de 2".

Descrição	Coeficiente de resistência localizada	conexões na sucção	conexões no recalque
conexão de entrada	1,5	0	1
conexão de saída	1,5	1	0
joelho de 90°	2	2	6
registro globo	17,4	1	1
tee passagem bilateral	1,8	0	1

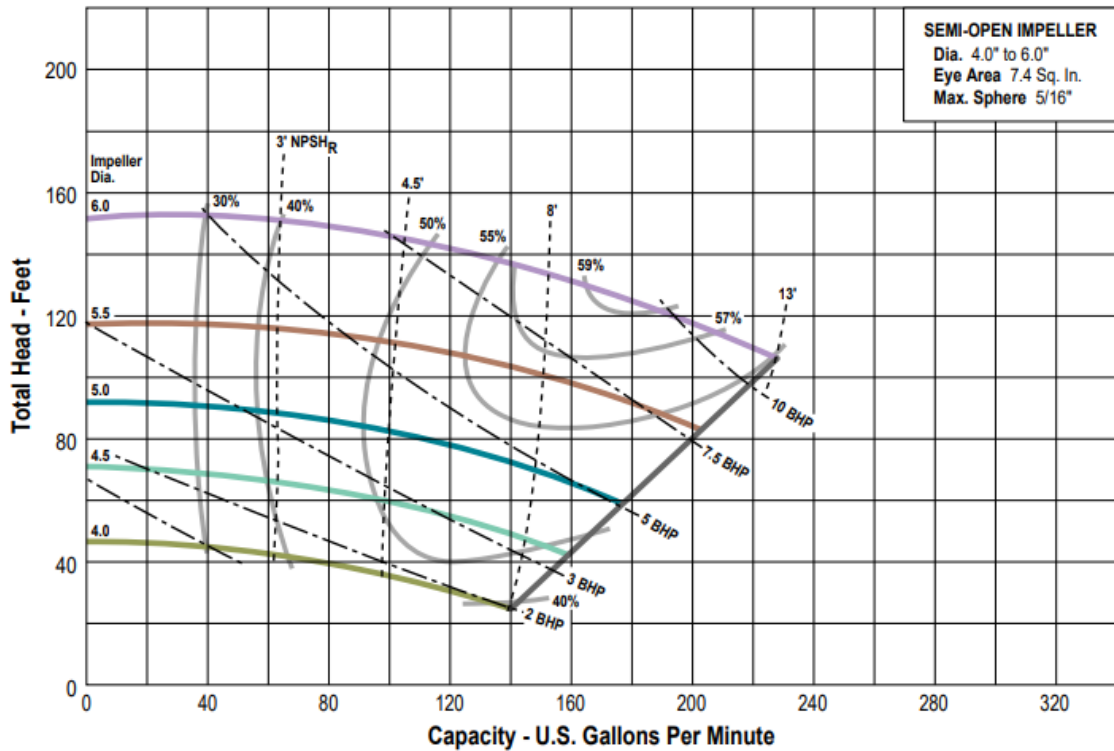
¹baseado em AZEVEDO NETO et al., 1998 e TÉCNICO, 2022

Fonte: Autor (2022).

Aplicando na Equação 18, a soma dos coeficientes obtidos anteriormente, tem-se $h_l = 25,01 \text{ m}$. Por fim pode-se obter a altura manométrica na Equação 14, ao qual resulta em $H_{MAN} = 26,9 \text{ m}$.

Conhecido os parâmetros para a seleção da bomba de 92,46 gpm e 88,26 ft de altura manométrica, com base na necessidade de um modelo resistente a corrosão química, optou-se pelo catálogo de bombas STANCOR, cujo modelo PST-AB-TFE melhor se adequou ao sistema proposto, sua curva de desempenho está representada na Figura 17.

Figura 17 - Curva de desempenho bomba centrífuga STANCOR PST-AB-TFE 3500 rpm.



Fonte: STANCOR (2022).

O modelo conta com revestimento em teflon, motor de aproximadamente 5 BPH e conexão de 1.½", seu custo está em torno de aproximadamente R\$30.000,00 sem taxas e impostos de importação.

Portanto, a hipótese é uma escolha viável para redução das perdas de peças polidas não conformes em qualidade visual durante o processo de galvanoplastia.

Para implementação do projeto com base em valores disponíveis no mercado, é necessário um investimento de aproximadamente R\$32.000,00, não foi possível mensurar monetariamente as perdas no período de estudo, e consequentemente o levantamento de *payback*, devido ao reaproveitamento quase total dessas peças no setor da pintura. Porém, considerando o impacto no faturamento pelos custos do setor para processamento e posterior retrabalho de 8% das peças que passam pela linha de cromação e avaliando o alto valor agregado associado as peças, a quantia de investimento para o projeto se torna ínfima.

5. CONCLUSÃO

Por fim, embasado no projeto apresentado na hipótese 3 para resolutiva do estudo de caso realizado na PADO SA, foi desenvolvido um sistema de baixo custo para obter maior uniformidade de depósito no *zamac* durante a eletrodeposição em cobre alcalino, ao garantir a perfeita homogeneização durante o processo.

Evita-se a degradação do cianeto pela carbonatação através do ar, obtêm-se melhor qualidade no aspecto visual das peças e assim diminui-se a quantidade de perdas por não conformidade na qualidade aparente, durante a etapa de inspeção após a galvanoplastia.

Espera-se a redução em defeitos do tipo porosidade, chuviscos, asperezas e manchas, sendo necessário um investimento de aproximadamente R\$32.000,00 para cobrir os custos materiais do sistema proposto, a mão de obra de instalação pode ser atendida internamente, sem a necessidade da contratação de terceiros.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Accessories. Disponível em: <<https://www.lafonte.eu/products/accessories/?lang=en>>. Acesso em: 28 out. 2022.
- [2] AUROSQUÍMICA, **BANHO COBRE ALCALINO ALTA EFICIENCIA** 1 - DESCRIÇÃO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.aurosquimica.com.br/data/pdf/COBREALTAEFICINCIA.pdf-1409920047.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- [3] AZEVEDO NETTO, J.M. de; FERNANDEZ, M.F.; ARAÚJO, R. de; ITO, A.E. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669 p
- [4] BALLESTEROS, J. C. et al. **Electrochemical studies of Zn Underpotential/overpotential deposition on a nickel electrode from non-cyanide alkaline solution containing glycine**. *Electrochimica Acta*, v. 56, n. 16, p. 5443–5451, jun. 2011.
- [5] Brunetti, Franco. **mecânica dos fluidos** (2a. ed.).Prentice Hall, f. 223, 2008. 446 p.
- [6] **Conceitos da Física do Ultra-Som** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/28799/1/DOC082003.pdf>>.
- [7] DIAS, F. et al. **Desenvolvimento do Processo de Vazamento em Coquilhas Rotativas** INEGI Relatório do Projeto Final do MIEM. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59421/1/000141291.pdf>>.
- [8] FODES, Peter Albert. **Galvanotécnica prática**. v. 2. São Paulo: Polígono, 1973.
- [9] GEDULD, H. **Practical problems in copper cyanide plating**. *Metal Finishing*, v.65, n.8, p.52-56, Agosto de 1967.
- [10] HORNER, J.; **Plat. Surf. Finish.** 84 (1997), p. 52.
- [11] INOVATEC. **The Vibratory Finishing** 101: A Layman's Guide. Disponível em: <<https://www.inovatecmachinery.com/blog/vibratory-finishing/>>. Acesso em: 10 out. 2022.
- [12] KIMINAMI, Claudio Shyinti e CASTRO, Walman Benício de e OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013. . Acesso em: 29 set. 2022.

- [13] Brass & Copper. Disponível em: <<https://industrial.macdermidenthone.com/products-and-applications/decorative/brass-and-copper>>. Acesso em: 9 nov. 2022.
- [14] **NOSSA HISTÓRIA DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA.** [s.l: s.n.]/set 2018 Disponível em: <https://www.abts.org.br/images/img-publicacoes/tratamento_de_superficie-210/rts-210.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2022.
- [15] RICK, Cristiane Fonseca. **Estudo da liga à base de Zn-Al-Cu-Mg aplicada na fabricação de jóias folhadas.** 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- [16] Schlesinger, M.; Paunovic, M.; **Modern Electroplating**, 4th ed., John-Wiley: Nova Iorque, 2000, cap. 2.
- [17] SCHNEIDER, C. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELotas INSTITUTO DE QUÍMICA E GEOCIÊNCIAS CURSO DE BACHARELADO E LICENCIATURA EM QUÍMICA **UTILIZAÇÃO DE ULTRASSOM EM QUÍMICA ORGÂNICA.** [s.l: s.n.], Pelotas, 2005. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/wwverde/files/2014/12/Utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Ultrassom-em-Qu%C3%ADmica-Org%C3%A2nica.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2022.
- [18] SCHUTTE & KOERTING. **Eductors.** Londrina, 2022. Disponível em: <https://www.s-k.com/eductors-syphons/tank-mixing-eductors.cfm>. Acesso em: 3 set. 2022.
- [19] Silva, Angélica & Afonso, Júlio & Sobral, Luis. (2008). **Avaliação do efeito da concentração de carbonato na eletrodeposição de cobre sobre discos de aço-carbono.** Quimica Nova - QUIM NOVA. 31.
- [20] SOARES, O. J. A. **Melhorias De Produto / Processo Pela Utilização De Ligas De ZAMAC.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, São Paulo, 2008. 167 f.
- [21] STANCOR, **60 Hz Kynar ANSI Pumps.** Disponível em: <<https://www.stancorpump.com/60-hz-kynar-ansi-pumps/>>. Acesso em: 9 nov. 2022.
- [22] TÉCNICO, M. **Linha Amanco PPR.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/37/baixa_amco_atualizacao_manual_tecnico_amanco_PPR_2010_v11.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- [23] VALANDRO, L. et al. **Revista Tecnologia e Tendências | Novo Hamburgo | a. 10 | n. 2 | jul. [s.d.].| jul./dez. 2019.**