

Experimento com galvanoplastia artesanal para joias autorais

An experiment with artisanal electroplating for Authorial jewelry

Claudia Regina Batista, Dra. Eng, UFSC

claudia.batista@ufsc.br

Adhemar Maria do Valle Filho, Dr. Eng, UFSC

adhemar.valle@ufsc.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória que realizou um experimento com metalização em cobre através do processo de galvanoplastia artesanal. Adotou-se este processo para fazer a eletrodeposição de metal para revestir elementos orgânicos para compor joias autorais. Durante a fase de experimentos, foram exploradas as possibilidades metalização de elementos da natureza, tais como conchas, folhas, sementes, dentre outros. Os resultados do experimento revelam que alguns elementos naturais são inviáveis por serem frágeis e quebradiços; outros apresentam maior viabilidade por possuírem estrutura rígida e resistente. Unir criatividade e elementos da natureza metalizados pode resultar joias autorais sustentáveis.

Palavras-chave: Metalização com cobre; material alternativo; joia autoral.

Abstract

This paper presents the results of an exploratory study that conducted an experiment with copper metallization through the artisanal electroplating process. This process was adopted to electroplate metal to coat organic elements to compose authorial jewelry. During the experimental phase, the possibilities of metallizing natural elements, such as shells, leaves, seeds, among others, were explored. The results of the experiment reveal that some natural elements are unviable because they are fragile and brittle; others are more viable because they have a rigid and resistant structure. Combining creativity and metallized natural elements can result in sustainable authorial jewelry.

Keywords: Copper metallization; alternative material; authorial jewelry.

1. Introdução

No universo da joalheria, as criações podem ser classificadas em diferentes categorias, como a alta joalheria, joias comerciais e joias autorais. Na alta joalheria, o design é sofisticado, exclusivo, muitas vezes feito sob encomenda; a produção é feita por ourives e cravadores extremamente habilidosos que usam materiais preciosos, raros e de alta qualidade; emprega técnicas precisas para obter um acabamento primoroso, produzido pelas tradicionais joalherias de luxo como *Cartier*, *Van Cleef & Arpels*, *Bvlgari*, entre outras famosas. As joias comerciais seguem tendências de mercado, são produzidas em larga escala, fabricadas com técnicas industriais, como fundição em série, utilizam metais preciosos e gemas (pedras preciosas) e, também, podem incluir materiais mais acessíveis para reduzir custos. As joias autorais carregam a identidade criativa do designer (autor da joia), refletindo um conceito único e um processo artesanal com produção limitada, que valoriza a originalidade, a exclusividade, a experimentação de materiais alternativos e técnicas artesanais ou inovadoras.

Segundo McCreight (1997), a joia autoral é um artefato com forte expressão artística e criativa, além dos materiais preciosos tradicionalmente empregados na joalheria, exploram-se composições inusitadas com madeira, vidro, tecidos, polímeros, elementos orgânicos, entre outros. Na bancada de ourivesaria, as técnicas usadas para produção das joias são: corte e perfuração manual de metal, forja a frio, soldagem, texturização para dar efeitos visuais decorativos na superfície do metal, cravação (fixação da gema na estrutura da peça em metal), polimento e acabamento.

Além das tradicionais técnicas de ourivesaria, outra técnica que tem sido explorada no âmbito artesanal e artístico por ceramistas, artistas de vidro e também pode ser usada por designers de joias autorais é galvanoplastia (ver figura 1). Este processo tem aplicação industrial, mas também pode ser aplicado artesanalmente para metalizar objetos não metálicos (resina, couro, plástico, gesso, argila, mineral, tecido, etc.), elementos orgânicos (flores, folhas, galhos, sementes, trigo, anis, ossos, insetos, conchas, dentre outros) e revestir outros objetos metálicos.



Figura 1: Joia autoral com concha natural metalizada. Fonte: Merbella Studios, 2023.

Inserido no contexto da joalheria autoral e exploração de técnicas inusitadas, foi conduzido um estudo experimental visando aplicar a galvanoplastia artesanal para metalizar objetos por deposição de cobre e usá-los na criação de joias autorais.

Este artigo apresenta os resultados obtidos ao explorar diferentes parâmetros do processo da galvanoplastia, como o tempo de imersão do objeto na solução, densidade de corrente e composição da solução eletrolítica.

2. Método

Este estudo inseriu-se no campo da pesquisa aplicada ou tecnológica, porque se concretizou por meio das “ciências aplicadas” e “tecnológicas” e esteve focado em resolver problemas de forma prática em um determinado contexto. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Dentre as características da pesquisa aplicada, este estudo envolveu aplicação de conhecimento disponível com a finalidade de adquirir novos conhecimentos, com vistas ao desenvolvimento ou inovação tecnológica de produtos, processos, serviços e sistemas sustentáveis.

Quanto à natureza da pesquisa, caracterizou-se como experimental, pois envolveu um experimento com a aplicação do processo de galvanoplastia para metalizar elementos orgânicos disponíveis na natureza. O experimento foi conduzido a partir das seguintes variáveis:

- TEMPO (tempo de passagem da corrente elétrica em segundos): duração do processo para ocorrer o revestimento metálico do objeto.
- INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA (unidade A – ampere): foram experimentadas diferentes intensidades de corrente elétrica e observados os resultados visando responder a seguinte questão:

Ao usar maior intensidade de corrente elétrica, haverá redução do tempo para completar o revestimento metálico do objeto?

O processo envolve as seguintes etapas:

- a) Num recipiente, coloca-se a solução aquosa.
- b) Dentro da solução, posiciona-se uma placa do metal que recobrirá o objeto: esta placa é **ânodo (+)**.
- c) Aplica-se de uma fina camada de solução metálica condutora elétrica sobre os objetos a serem metalizados. Essas peças tornam-se o **cátodo (-)**.
- d) Deve-se imergir as peças (cátodos) na solução com o metal (ânodo).
- e) Ativa-se a corrente elétrica. O metal (ânodo +) presente na solução transfere-se em direção ao cátodo, fixando-se na sua superfície. A carga elétrica do metal (+) é oposta a da solução metálica que recobre o objeto (-), por isso ele é atraído para o polo oposto. Quanto maior o tempo com a corrente elétrica ligada, maior será a camada de metal que reveste o objeto (cátodo).

O princípio da técnica que utiliza a eletrólise:

- A perda de elétrons ocorre no ânodo (+) [metal usado para revestir o objeto].

- O objeto a ser recoberto é o cátodo (-), logo, os cátions presentes na solução serão direcionados até ele, pois haverá um excesso de elétrons;
- Quando os cátions chegarem ao objeto, sofrerão o fenômeno da redução, no qual receberão elétrons e tornar-se-ão metais sólidos, aderindo ao objeto.

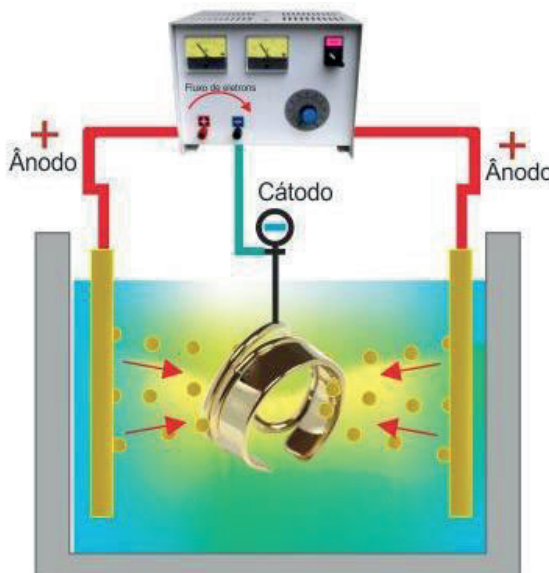


Figura 2: Eletrodeposição. Fonte: Heart Joia, 2015.

A solução final do processo apresenta uma quantidade de cátions que pertenciam aos metais utilizados é um resíduo químico e não pode ser lançada na rede de esgoto, pois é danosa ao meio ambiente. É importante salientar que todo o resíduo produzido no processo, independente de sua concentração, deve ser tratado adequadamente. Esta pesquisa foi cadastrada no setor Gestão de Resíduos da UFSC. O resíduo gerado pelo processo de galvanoplastia foi retido até a coleta de resíduos perigosos (grupo B_ químicos), conforme o calendário de coleta do campus Florianópolis. <https://gestaoderesiduos.ufsc.br/residuos-quimicos/>

3. Galvanoplastia

A galvanoplastia é um método químico para formar peças de metal inventado na Rússia, em 1838, pelo engenheiro e físico Moritz Hermann von Jacobi (1801–1874). Ele trabalhou principalmente no Império Russo, promoveu o progresso em galvanoplásticos, motores elétricos e telegrafia por fio. Durante suas investigações de células galvânicas, ele usou uma placa de impressão de cobre gravada como cátodo com uma solução de sulfato de cobre e eletrodeposou cobre sobre ela. Embora ele tivesse dificuldade em separar o eletrodepósito da placa de impressão gravada, o depósito reproduziu com precisão os detalhes gravados na placa original. Esta invenção foi imediatamente reconhecida como um importante processo industrial aplicado em diversos campos (Heinrich, 1938).

Inicialmente, este processo foi popular para banhar ouro em outros metais. No entanto, foi evoluindo continuamente e se tornando cada vez mais aplicável em todas as indústrias, tanto para fins estéticos, quanto de proteção. Envolve adicionar uma camada de metal superior ou ligas no metal do substrato por meio de deposição eletroquímica. A peça de trabalho (cátodo)

e o metal de origem do revestimento (ânodo) são imersos na solução eletrolítica e conectados por meio de uma fonte de alimentação. Conforme a corrente flui pelo circuito, os íons metálicos do ânodo se movem em direção a uma peça de trabalho carregada negativamente e formam uma camada por toda a superfície (Fogaça, 2022).

O revestimento duro de cromo, liga de níquel e zinco pode aumentar significativamente a resistência ao desgaste, a resistência à corrosão e a durabilidade dos componentes fabricados. Por outro lado, o revestimento decorativo como ouro e prata é popular em acabamentos de joias e ornamentos.

Dependendo do metal utilizado para revestir a peça, o nome do processo de galvanoplastia muda. Por exemplo, ao revestir uma peça de níquel, tem-se um processo chamado de niquelação; se for com cromo, o nome será cromeação; com prata, prateação; com ouro, douração; com cobre, cobreação.

No caso das peças de ferro e de aço revestidas com zinco, temos a galvanização, e os materiais obtidos nesses processos são chamados de ferro galvanizado e aço galvanizado.

A galvanoplastia propicia inúmeras vantagens na otimização de produtos industriais, contudo o ponto negativo é que este processo pode ser prejudicial para o meio ambiente, pois além de usar uma grande quantidade de água, também gera resíduos tóxicos. Por exemplo, na eletrodeposição do zinco, do ouro e da prata, usa-se o cianeto, que é extremamente tóxico.

Os efluentes desse processo também geram íons metálicos tóxicos como os cátions níquel (Ni^{2+}) e cobre (Cu^{2+}).

O cádmio é um metal pesado que é encontrado nos resíduos da galvanoplastia, mesmo estando em pequenas quantidades, ele é tóxico e bioacumulativo, isto é, vai se acumulando progressivamente ao longo da cadeia alimentar e não é eliminado com o tempo. Ao contaminar o ser humano, o cádmio pode causar disfunção renal, problemas pulmonares, dores reumáticas e miálgicas, distúrbios metabólicos levando à osteoporose, além de ser agente cancerígeno, provocando mutações genéticas, como a mudança das funções do sistema genital. Para diminuir os impactos ambientais dos efluentes da galvanoplastia, o cianeto é geralmente oxidado a cianato, que é menos tóxico e se hidrolisa, produzindo os íons amônio e bicarbonato, além de ser feita também a precipitação dos íons metálicos. Esse procedimento produz um resíduo sólido numa quantidade muito alta e de descarte com custos elevados. Por isso, na prática, a maioria das empresas estoca esse resíduo, pois há um grande déficit de aterros de classe I, que são para resíduos perigosos (Fogaça, 2022).

3.1 A diferença entre Galvanoplastia e Eletroformação

A galvanoplastia costuma ser confundida com o processo da eletroformação. Ambos os processos têm algumas semelhanças, mas produzem resultados diferentes e possuem aplicações distintas. Tanto a galvanoplastia, como a eletroformação são utilizadas na fabricação de produtos de metal e ambas usam o processo de eletrodeposição (Curtis, 2004).

Galvanizar é a operação de revestimento de uma peça devidamente preparada, com um metal por meio da eletrólise. A galvanoplastia faz uma eletrodeposição de uma camada de metal sobre a superfície de um objeto (forma uma camada externa num produto), ou seja, o metal depositado torna-se parte da superfície do objeto sobre o qual é depositado.

Já a eletroformação cria um produto a partir de modelo que no final do processo é retirado e o objeto eletroformado fica oco (Curtis, 2004).

A galvanoplastia é usada para depositar uma camada fina na superfície externa de um objeto, normalmente para melhorar sua aparência ou funcionalidade de alguma forma. Usa-se a galvanoplastia para melhorar o apelo estético de um objeto ou sua dureza, resistência à corrosão, condutividade ou muitos outros aspectos. O processo pode ser aplicado a uma ampla variedade de objetos e o revestimento pode ser feito de uma variedade de metais.

3.2 A teoria da eletrodeposição

Quando um sal de metal, tal como sulfato de cobre, é adicionado à água e uma corrente passada através da solução, o CuSO_4 dissocia-se para dar partículas de cobre (Cu) e partículas de sulfato (SO_4) (Curtis, 2004).

Estas partículas tem carga elétrica e são referidas como íons. Íons de cobre metálico são positivamente carregados (Cu^{++}) e são chamados cátions. Íons sulfatos não-metálicos são carregados negativamente (SO_4^{--}), e são chamados ânions. (Íons sulfatos tem uma ligação química forte e não se decompõe em suas partes componentes de enxofre e oxigênio). Passando uma corrente elétrica através da solução, é possível estimular esses ânions e cátions a se moverem em diferentes direções. Quando uma corrente elétrica passa pela solução, os cátions, estando carregados positivamente, migram em direção ao cátodo (ponto onde o metal é depositado), onde formam uma estrutura metálica (no caso, de cobre) (Curtis, 2004).

No entanto, os íons sulfato migram em direção ao ânodo (um pedaço de metal puro que se dissolve para compensar a perda de íons metálicos na solução provocada pela deposição de cátions metálicos no cátodo). Neste momento ocorre a corrosão – há a combinação com o cobre na face do ânodo para formar sulfato de cobre, que então entra no ciclo novamente para fornecer íons de cobre e sulfato. Como essa reação é cíclica, a solução é dita "em equilíbrio", com a concentração de cobre permanecendo constante (Curtis, 2004).

A reação é: $\text{CuSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cu}^{++} \text{SO}_4^{--}$

A corrosão dos ânodos deve ocorrer pelo menos tão rápido quanto a deposição de metal no cátodo. Caso contrário, a depleção de íons metálicos ocorrerá e o processo retardará os métodos pelos quais essa corrosão é facilitada. Primeiro, se a área da superfície do ânodo for pelo menos o dobro do cátodo, então, desde que a solução em si esteja ativa e os próprios ânodos não se tornem passivos, o processo será um excesso de área do ânodo disponível para corrosão eletricamente aprimorada em relação à área do cátodo. Portanto, é importante fornecer ânodos suficientes no tanque para garantir que, quando o tanque estiver segurando todo o cátodo, essa proporção seja mantida. Se os ânodos forem deixados no tanque quando o processo não estiver sendo usado, ocorrerá corrosão puramente ácida (ou alcalina) e a concentração de íons metálicos aumentará. Em teoria, isso pode ser benéfico - fornecendo uma concentração maior de cátions metálicos para deposição - mas, se for permitido que aumente acima de certos limites, pode muito bem causar outros problemas. Isso incluirá o consumo do cianeto de potássio "livre" em soluções de metais preciosos. Isso levará à baixa condutividade e ao desempenho reduzido do processo (Curtis, 2004).

O segundo método pelo qual a corrosão é facilitada envolve o nível de ácido ou cianeto na solução. Um nível de ácido (no caso de soluções ácidas) ou cianeto (em soluções cianicas) é adicionado em excesso ao que é necessário para manter o nível ideal de concentração de metal na solução. Esse excesso, conhecido como ácido "livre" ou cianeto "livre", portanto, fornece corrosão química dos ânodos. Quando não estiver em uso, o conteúdo de metal aumentará. Além desse ácido livre, é possível fornecer outro produto químico que tenha o único propósito de aumentar a corrosão dos ânodos. Em soluções ácidas de cobre, os íons cloreto — fornecidos pela adição de um nível medido de ácido clorídrico ou cloreto de sódio (sal

comum) — aumentarão efetivamente o processo de corrosão e são necessários como parte da química ativa do sistema abrillantador (Curtis, 2004).

3.3 Metalização com Cobre

Em aplicações de galvanoplastia, o Cobre é utilizado como fonte metálica consumível e fornecido como sais metálicos ou em forma de anodos.

O cobre é um elemento químico de símbolo Cu (do latim *cuprum*), número atômico 29 (29 prótons e 29 elétrons) e de massa atômica 63,6 UMA. Classificado como metal de transição, pertence ao grupo 11 (1B) da Classificação Periódica dos Elementos. O Cobre e suas ligas são o terceiro metal mais utilizado no mundo. Suas principais características são alta condutibilidade elétrica e térmica, resistência à corrosão e facilidade de fabricação, aliadas a elevadas resistências mecânicas e à fadiga (Brasil,2014).

Seu campo de aplicações se estende a praticamente todos os segmentos de indústrias. A qualidade dos ânodos de cobre, bem como sua boa compactação, é de suma importância para os banhos de cobreação ácida ou alcalina, principalmente para os modernos processos brilhantes. Esta qualidade tem pronunciado efeito nos depósitos (película), seja sob o aspecto protetivo ou decorativo, como no rendimento catódico e/ou anódico, equilíbrio do metal em solução, nivelamento, aspereza, etc. Além da pureza, é importante também boas propriedades de dissolução e condutividade elétrica. Partindo deste princípio, sob rígido controle de qualidade, produz para o mercado de galvanoplastia, tais ânodos em formas de placas ou tarugos ovais, dentro das especificações Norma SAE J461 SEP81.” (Tratho Metal Química Ltda,2020)

O Sulfato de Cobre (II) ou Sulfato Cúprico é um composto químico de fórmula molecular CuSO_4 . Este sal existe sob várias formas, que diferem por seu grau de hidratação, sendo a mais comum sua forma penta-hidratada ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), de peso molecular 249,7 g/mol, se apresentando na forma de cristais ou pedras de tonalidade azul brilhante, altamente solúvel em água (Tratho, 2021).

4. Análise dos Resultados e Discussões

A galvanoplastia foi a técnica utilizada para metalizar, ou seja, recobrir com cobre materiais orgânicos com uma camada metálica, para adquirir resistência à corrosão, proteção contra oxidação, ter maior durabilidade e ganhar aspecto decorativo, entre outros.

Os materiais orgânicos (ver fig. 3) coletados para o processo de metalização foram: folhas, anis, gravetos, casca de árvores, conchas.



Figura 3: Materiais orgânicos. Fonte: Autores.

A galvanização é um processo que engloba química, eletromagnetismo, materiais elétricos, circuitos elétricos, eletrônica de potência.

Os equipamentos utilizados na eletrólise foram:

- retificador que controla a tensão (V) e corrente (A) que são adicionadas ao circuito (as barras onde estão as peças e os anodos),
- a barra onde se localiza a gancheira com o material orgânico (que recebe a carga negativa);
- a barra onde se colocam os anodos recebe uma carga positiva dando início na liberação das partículas de cobre, para “colar” o metal até ser recoberto totalmente, tornando-se uma peça metalizada de cobre.
- Tanque/recipientes onde se deposita a solução eletrolítica.

Solução eletrolítica: Água destilada e sulfato de cobre (3 colheres sopa); esta solução eletrolítica favorece a condução da corrente elétrica para a cobreação do objeto (cátodo).

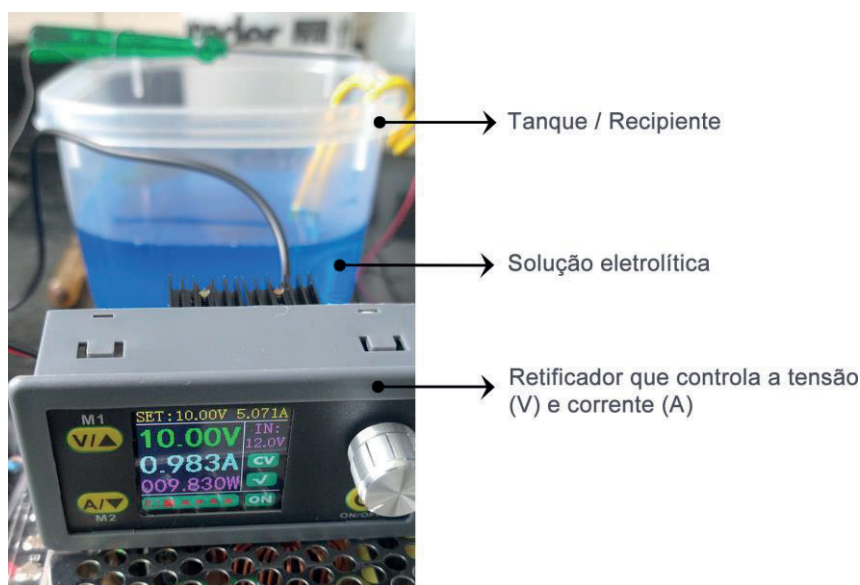


Figura 4: Equipamentos utilizados na eletrólise. Fonte: Autores.



Figura 5: Cobre na solução eletrolítica. Fonte: Autores.

A eletrodeposição foi testada variando-se os seguintes parâmetros: composição da solução eletrolítica, tensão e corrente da fonte de alimentação, agitação. Após a deposição o objeto metalizado foi limpo, lixado, para adquirir superfície lisa e a estrutura desejada.

Metalização de concha: uma concha marinha recebeu uma camada de verniz para aderir o grafite em pó. Usa-se o grafite porque é um condutor de corrente elétrica e de calor, pois cada átomo de carbono partilha três dos quatro elétrons da estrutura, cedendo o quarto a uma banda de condução comum, como nos metais. O grafite conduz eletricidade em razão do arranjo espacial de seus átomos. Na sequência a concha foi submersa na solução eletrolítica. Com tempo de depósito: 3h; e Volts/Amper entre 0,08 a 1,8, a metalização apresentou defeito, a superfície ficou áspera e rugosa (surgimento de bolinhas), conforme mostra a figura 6. Na literatura, há descrição desse tipo de dano e a causa pode ser a falta de filtragem e/ou a reposição dos aditivos não foi efetuada de forma coerente.



Figura 6: Metalização da concha. Fonte: Autores.

Metalização da folha desidratada: A folha foi submersa na solução eletrolítica com tempo de depósito: 3h; e Volts/Amper entre 0,08 a 1,8. A eletrodeposição não estava ocorrendo, então foi adicionado cloreto de sódio na solução; isso acelerou a deposição do metal, contudo observou-se a formação de cristais. Com os parâmetros descritos, ocorreram defeitos e a deposição do cobre na superfície da folha apresentou irregularidade. Na região central na parte posterior da folha, o cobre aderiu bem ao material orgânico, houve deposição satisfatória do metal, porém nas extremidades houve falha no revestimento metálico. Na face frontal, observam-se muitas falhas; há fragilidade e a folha pode quebrar facilmente.



Figura 7: Metalização da folha. Fonte: Autores.

Metalização do anis: o anis foi submerso na solução eletrolítica com tempo de depósito: 4h; e Volts/Amper entre 0,08 a 2,0. O formato do anis o torna uma peça de difícil recobrimento pelo cobre, em virtude de sua superfície irregular. Foi necessário reduzir a voltagem para recobrir uniformemente. Sua estrutura rígida permite a limpeza sem danificá-lo.



Figura 8: Metalização do anis. Fonte: Autores.

Foi testada a possibilidade de eletrodeposição com solução saturada de sulfato de cobre, mas o cátodo (objeto natural orgânico) apresentou estrutura áspera, queimada e com pouca aderência. Neste caso, vários efeitos podem ter ocorrido, tais como, a falta de cloreto de sódio na solução, a liberação de hidrogênio e a alta densidade da corrente.

Após a adição de cloreto de sódio na solução, observou-se a presença de cristais de sulfato de cobre e de cobre metálico no fundo do recipiente. Esse efeito pode ter sido causado pela polarização de concentração; como o cobre é dissolvido do ânodo, a solução perto deste tende a tornar-se mais concentrada em íons cobre do que o corpo da solução e, com a descarga de elétrons, pode ocorrer a formação de cobre metálico. No cátodo (objeto natural orgânico), visualmente o cobre depositado parecia estar mais aderente a superfície do mandril, e existia certo brilho metálico, entretanto, a superfície ainda apresentava rugosidade.

O aumento da concentração de cloreto de sódio e diminuição da densidade da corrente favoreceu a formação de depósitos menos rugosos nos primeiros 180 minutos de experimento. A redução da corrente não diminuiu a rugosidade. A diminuição da rugosidade foi conseguida pela adição de um aditivo, denominado cola. Após estes ajustes, foram observados melhores resultados sem rugosidades, tal como pode ser observado na figura abaixo.



Figura 9: Metalização sem rugosidades. Fonte: Autores.

5. Considerações Finais

Este estudo experimental usou o processo de galvanização artesanal para fazer a eletrodeposição de cobre em elementos orgânicos encontrados na natureza.

Nos experimentos realizados observou-se que determinados elementos orgânicos apresentaram falhas na deposição metálica, desta forma repetiu-se o processo reduzindo a tensão (Volts) para obtenção de maior uniformidade, porém isso gerou maior tempo de eletrodeposição.

Outro ponto observado, foi a necessidade de manutenção na produção: o tanque precisa ser filtrado, deve ocorrer a reposição dos aditivos, pois se essas medidas não forem efetuadas, podem ocorrer danos nas peças, tais como, estrias, queimas, quebra e rugosidades (formação de bolinhas na superfície do material orgânico).

Na tentativa de aumentar a agilidade e eficiência, foram aumentados os ânodos e a carga e observou-se a reação; constatou-se uma desnecessária perda de cobre, além de grande queima devido aumento de carga, porque as peças eram delicadas, pois são elementos orgânicos. Contudo, observou-se que para uma boa qualidade existe a necessidade de um tempo maior para concluir o banho de cobre.

O material orgânico que apresentou maior viabilidade para o uso em joias autorais foi a concha por ter uma estrutura rígida e resistente. Após a eletrólise, a concha pode ser lavada e lixada para remover as imperfeições e dar melhor acabamento. O anis tem estrutura rígida, porém há muitas reentrâncias e relevos na superfície e esse fato pode gerar defeitos no revestimento metálico. Folhas desidratadas de samambaia, arruda, capim dourado e limoeiro não são viáveis para uso em joias autorais porque são frágeis e quebradiças; devido a superfície muito irregular, o processo de eletrodeposição apresentou defeitos, rachaduras, estrias, queima, irregularidades na camada de metal (algumas regiões mais espessas, outras mais finas).

A utilização da galvanoplastia artesanal para obtenção de joias autorais metalizadas em cobre com boas propriedades mecânicas pode ser atingida pelo estrito controle de parâmetros de deposição.

Referências

- BLUM, W.; HOGABOOM, G. B. Principles of electroplating and electroforming. New York: Mc Graw Hill, 1942.
- CURTIS, Leslie. Electroforming. London: Bloomsbury Publishing, 2004.
- DENNIS, J.W. Wire wrap electroforming jewelry: a definitive step by step guide on how to electroform your jewelry for beginners. USA: Independently published, 2021.
- DIAS, Diogo Lopes. Galvanoplastia. In: Manual da Química. Disponível em <https://m-manualdaquimica.elav.tmp.br/amp/fisico-quimica/galvanoplastia.htm>, acesso em 09/08/2022.
- FOGAÇA, J. Consequências da Galvanoplastia para o Meio Ambiente. Disponível em <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/consequencias-galvanoplastia-para-meio-ambiente.htm>, acesso em 22/09/2022.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002.

- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2017.
- HANSON, David; HANSON, Dan; HANSON, Emily. Copper Electroforming: An in-depth look into home copper electroforming. U.K.: Independently published, 2021.
- HEART JOIA. Galvanoplastia. Disponível em <http://heartjoia.com/wp-content/uploads/2014/04/galvanoplastia-banho-prata-ouro-folheacao.jpg>, acesso em 16/07/2015.
- HEINRICH, Herbert. The Discovery of Galvanoplasty and Electrotyping. Journal of Chemical Education, 15:12 (1938), 565–75.
- LOWENHEIM, Frederick A. Electroplating. U.K: McGraw-Hill, 1995.
- MERBELLA STUDIOS. Electroformed Jewelry. Disponível em <https://shopmerbella.com/collections/electroformed-jewelry?page=3>, acesso em 18/09/2023.
- MÉRIDA, Marcelo. Joalheria artística contemporânea: a construção do pensamento criativo na joalheria. Rio de Janeiro: Editora Senai, 2011.
- MC CREIGHT, Tim. Jewelry: Fundamentals of metalsmithing. Worcester: Davis Publications, 1997.
- PELZL, Gabriele. Design de joias contemporâneo. Colônia: Könemann, 1980.
- PONTE, Haroldo de Araújo. Tratamento de efluentes líquidos de galvanoplastia. Curitiba, 2022. (Material didático disciplina Eletroquímica aplicada e corrosão)
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2a ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- SALEM, C. Joias - os segredos da técnica. 2ª ed. São Paulo. 2007
- TRATO. Sulfato de cobre. Boletim técnico, julho 2021. Disponível em <https://tratho.com.br/wp-content/uploads/2024/07/Boletim-Tecnico-TRATHO-20-Julho-21-Sulfato-de-Cobre.pdf>, acesso em 18/09/2023.
- WELSH, Jason P. Electroforming for Beginners. Independently published, 2018.