



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia Eletrônica**

**Metalização de furos de Placas de Circuito Impresso.**

**Autor: Didan Junqueira Ribeiro  
Orientador: José Camargo da Costa**

**Brasília, DF  
2018**

Didan Junqueira Ribeiro



# **Metalização de furos de Placas de Circuito Impresso.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. José Camargo da Costa

**Brasília, DF**  
**2018**

Ribeiro, Didan J

Metalização de furos de Placas de Circuito Impresso

90p, 210 x 297 mm (FGA/UnB Gama, Engenharia Eletrônica, 2018)

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1. PCI         | 2. Design      |
| 3. Metalização | 4. Tecnologias |

Didan Junqueira Ribeiro

# **Metalização de furos de Placas de Circuito Impresso.**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Nome do Curso) da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação dd/mm/aa) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA**  
Orientador

---

**Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2018

Dedico esse trabalho a todos os meus amigos, colegas, familiares, professores e orientadores que eu tive ao longo de minha vida. Agradeço de forma especial ao meu orientador Professor Dr. José Camargo da Costa pelo aceite em ser meu orientador ao meu pai, José Luiz Ribeiro Gomes, que me deu forças para chegar com saúde e persistência até ao final de minha graduação.



## RESUMO

A confecção de Placas de Circuito Impresso (PCI), é uma técnica de interconexão utilizada para componentes eletrônicos em produtos eletrônicos, presentes nos mais diversos setores industriais como o de aviação, telecomunicações, microeletrônica, informática, aplicações médicas e militares. Este trabalho propõe uma técnica com uma metodologia de metalização barata, eficiente e caseira para hobbistas, utilizando solução de eletrólise disponível para o público em geral a fim de resolver o problema da metalização de furos em PCI de dupla face. Além disso, são propostos produtos para o mercado *handmade* (DIY) que facilitam a aplicação da técnica para metalização de uma PCI levando em consideração a segurança e a saúde física de quem o manuseia para fabricação de furos metalizados para PCI de dupla face. Visto que não tem muitas informações disponíveis em relação a técnicas para metalização de furos de PCI voltados ao público em geral, procura-se elencar um banco de conhecimentos bibliográficos úteis que possam dar suporte a este trabalho.

**Palavras-chave:** PCI, metalização de furos, DIY

## **ABSTRACT**

The manufacture of Printed Circuit Boards (PCI) is an interconnection technique for the top of electronic systems, present in various sectors of telecommunications, telecommunications, microelectronics, information technology, medical and military applications. This work is a technique with an efficient and homemade methodology for the use of an electrolysis solution available to the general public, with the objective of solving the problem of double-sided PCI. In addition, products for the handcrafted market (DIY) are proposed that facilitate the application for the metallization of a PCI taking into account the safety and the physical health of those who handle for the manufacture of metallized holes for double-sided PCI. This information is the use in relation to the techniques to metalization of PCI researches to public in general, search-to-text database knowledge to the works to support this work.

**Keywords:** PCB, Through Hole Plating, DIY.





## Lista de Ilustrações

Figura 1 – Fluxograma de metalização de PCI.....	18
Figura 2 – Montagem experimental para ilustrar o processo de galvanoplastia.....	21
Figura 3 – Escala de PH.....	26
Figura 4 – Fluxograma de processo para revestimento de cobre.....	41
Figura 5: Diagrama de fluxo de processo para nivelamento de ar quente (a) configuração básica (b) circuito impresso imerso em fluxo (c) circuito impresso retirado do tabuleiro de banho de fluxo (d) pré-aquecido com placa de ar quente (e) mergulhada em solda com nivelamento de ar quente (f) excesso de solda removido com facas de ar [1].....	44
Figura 6: Seção transversal vertical de um PTH.....	49
Figura 7: Corte transversal vertical da PTH, que ilustra um revestimento de cobre desigual e espesso. Nódulos devido à contaminação de partículas também são mostrados.....	50
Figura 8: Diagrama de blocos – passos para metalização de furo de PCI.....	53
Figura 9: Circuito para eletrodeposição pulsativa e com pulso reverso. Adaptado de[1].....	56
Figura 10: Pulsos gerados pelo E-Platter com PWM a 100% .....	57
Figura 11: Pulso gerado pelo E-Platter com o PWM a 40% tanto no pulso quanto no pulso reverso.....	57
Figura 12: Placa montada E-Platter V2.0.....	58
Figura 13: Sistema de metalização constituído por Fonte de alimentação, E-Platter V2.0 e Placas imersas na solução de eletrodeposição para o processo de eletrólise.....	58
Figura 14: Passo 1 e 3.....	59
Figura 15: Passo 2.....	59
Figura 16: Passo 4.....	59
Figura 17: Passo 5.....	60
Figura 18: Passo 6 e 7.....	60
Figura 19: Passo 8.....	60
Figura 20: Passo 8.....	60
Figura 21: Passo 10.....	61
Figura 22: Passo 11.....	61
Figura 23: Peso da Placa 1 (à esquerda) e da Placa 2 (à direita) após aquecimento em forno ilustrando os passos 6 e 7.....	63
Figura 24: Peso da Placa 1 (à esquerda) e da Placa 2 (à direita) após eletrólise ilustrando os passo 11.....	63
Figura 25: Figura 37: (a) Foto da placa teste de lateral evidenciando pelo reflexo do cobre na incidência de luz que o cobre está depositado no furo face a lateral da placa que não tem cobre e fica verde (b) e (c) e (d) Solda apenas nas paredes internas do furo, evidenciando a metalização dos furos.....	65
Figura 26 Símbolos de Segurança.....	89

## Lista de tabelas

Tabela 1: Equivalente eletroquímico.....	23
Tabela 2: Constituintes de um banho eletrolítico e suas funções.....	31
Tabela 3: Medidas da altura e comprimento das placas do ensaio 1.....	61
Tabela 4: Peso das placas do ensaio 1 em g.....	62
Tabela 5: Dados centrais do ensaio número 1.....	65
Tabela 6: Efeitos do grupo A com o grupo B Geração de calor e reação violenta.....	88

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

PCI ou PCB – Placa de Circuito Impresso;

DIY – Faça você mesmo;

FR-2 – Referente a PCI com laminado de fenolite;

FR-4 – Referente a PCI com laminado de fibra de vidro;

CEM-1 – Referente a PCI com laminado de composite;

PTH – Componentes eletrônicos discretos;

SMD – Dispositivos montados em superfície;

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS DO PROJETO	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1 TECNOLOGIA DE METALIZAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	16
2.2 METALIZAÇÃO PADRÃO	17
2.2.1 REVESTIMENTO DE PAINÉIS	18
2.2.2 GALVANOPLASTIA	20
2.2.3 PROCESSO BÁSICO DE GALVANOPLASTIA	21
2.2.4 CONDUÇÃO DOS ELETRÓLITOS	22
2.2.5 LEIS DE FARADAY PARA ELETRÓLISE	22
2.2.6 QUALIDADE DE ÁGUA	24
2.2.7 OSMOSE REVERSA	25
2.2.8 ÁGUA DESTILADA	25
2.2.9 PH DE UMA SOLUÇÃO	26
2.2.10 BUFFER	27
2.2.11 ANODOS	27
2.2.12 SACOS DE ANODO	28
2.2.13 PRÉ TRATAMENTO PARA GALVANOPLASTIA	28
2.3 TÉCNICAS DE REVESTIMENTO	28
2.3.1 REVESTIMENTO POR IMERSÃO	29
2.3.2 REVESTIMENTO ELETROLÍTICO	30
2.3.3 PROCESSO PARA REVESTIMENTO ELETROLÍTICO	32
2.3.4 REVESTIMENTO COM NÍQUEL ELETROLÍTICO	37
2.3.5 REVESTIMENTO COM OUTRO ELETROLÍTICO	37
2.4 ELETRODEPOSIÇÃO	39
2.4.1 ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE	39
2.4.2 ELETRODEPOSIÇÃO DE ESTANHO	42
2.4.3 ELETRODEPOSIÇÃO COM NÍQUEL	43
2.4.4 ELETRODEPOSIÇÃO POR OURO	46
2.5 PROBLEMAS GERAIS COM REVESTIMENTO	48
2.6 DEFEITOS GERAIS NO REVESTIMENTO	49
2.6.1 VAZIOS	49
2.6.2 BLOW HOLES	50
2.6.3 OUTGASSING	50
2.7 NORMAS UTILIZADAS	50
<b>3 METODOLOGIA ADOTADA</b>	<b>51</b>
3.1 METALIZAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	51
<b>4 IMPLEMENTAÇÃO DOS PROCESSOS TECNOLÓGICOS</b>	<b>54</b>
4.1 DISCUSSÃO	66
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>68</b>
<b>5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>
<b>5.2 ANEXOS</b>	<b>70</b>
5.2.1 CONFIGURAÇÃO DO E-PLATTER	70
5.2.2 CÓDIGO UTILIZADO NO E-PLATTER	71
5.2.3 DESCARTE E REUSO DE RESÍDUOS QUÍMICOS GERADOS EM EXPERIMENTOS	87

## ESTRUTURA DO TCC2

Este trabalho foi elaborado em cinco capítulos, descritos a seguir:

- Capítulo 1: Introdução e contextualização;
- Capítulo 2: Tecnologias de Metalização de Placas de Circuito Impresso;
- Capítulo 3: Implementação do Processo Tecnológico;
- Capítulo 4: Resultados obtidos e discussão;
- Capítulo 5: Conclusões e trabalhos futuros.

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

Os equipamentos eletrônicos são uma combinação de componentes elétricos e eletrônicos conectados para produzir uma determinada função projetada. Na era dos tubos a vácuo, os equipamentos eletrônicos eram construídos por fiação manual e soldagem ponto-a-ponto. Os fios eram removidos de seu isolamento, estanhado e soldado. Cada componente discreto era instalado à mão, eletricamente e mecanicamente. O equipamento era grande e volumoso. Era difícil atender aos requisitos exigentes para o uso deste equipamento em aeronaves, no setor de saúde e em usos de emergência doméstica, exigindo o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos menores e mais compactos.

Uma evolução natural ocorreu em várias áreas. Cada vez mais componentes menores foram desenvolvidos, diminuindo o tempo entre falha unitária e o seu reparo, devido à fácil substituição dos módulos. O uso da miniaturização no design de equipamentos eletrônicos deu origem a uma nova técnica de fiação e montagem entre componentes, popularmente conhecida como placa de circuito impresso (PCI). As PCIs fornecem a estrutura física para montagem, espaço para manter os componentes eletrônicos bem como a interconexão elétrica entre componentes. [1]

Existem muitas razões para o uso de placas de circuito impresso:

1. O tamanho da montagem do componente é reduzido com uma diminuição de peso correspondente;
2. Diminuição de custo com aumento da produtividade;
3. A fiação e a montagem dos componentes podem ser mecanizadas;
4. Eles garantem um alto nível de repetibilidade e oferecem uniformidade de características elétricas, do início ao fim da montagem;
5. A localização das peças é fixa, o que simplifica a identificação e manutenção de equipamentos e sistemas eletrônicos.
6. Diminui a probabilidade de erros
7. A probabilidade de fiação errada ou curto-circuito são minimizadas.

A história do desenvolvimento das PCIs não é muito antiga. Elas começaram a ser usadas comercialmente apenas no início dos anos 1950, mesmo que seu conceito tenha se originado quase 50 anos antes de seu uso comercial. [1]

Frank Sprague, fundador da Sprague Electric, teve a ideia, em 1904, de eliminar a fiação de ponto-a-ponto. Quando ele se reuniu com o seu mentor, Thomas Edison, para implementar seu conceito, foi sugerido que a redução de prata, como era usado na fabricação de espelhos ou na impressão de pastas de grafite em papel de linho, pudessem ser adequados para atingir esse objetivo. Posteriormente, foram desenvolvidos vários esforços pioneiros para o desenvolvimento de placas de circuito impresso. [1]

A primeira contribuição significativa veio do Sr. Charles Ducas, que arquivou um pedido de patente no Escritório de Patentes dos EUA em 02 de março de 1925 para sua proposta de montar depósitos de metal elétrico na forma de condutores diretamente sobre o material de isolamento para simplificar a construção de aparelhos elétricos. [1]

A principal contribuição para o desenvolvimento da moderna tecnologia de circuitos impressos foi feita pelo Engenheiro Austríaco Dr. Paul Eisler, que propôs um material de isolamento revestido de cobre em forma de folha para uso como material de base na fabricação de placas de circuito [1]

Ele também propôs a geração de condutores em ambos os lados do material de base revestido de cobre, com conexão entre os condutores em ambos os lados sendo feita através de ilhas. O trabalho de Eisler não só deu origem a um método de produção em massa e um esquema de montagem, mas também ofereceu economia em peso e espaço, o que é especialmente importante, por exemplo, em equipamentos militares. O Dr. Paul Eisler é muitas vezes chamado de o pai da tecnologia das Placas de Circuito Impresso. No entanto, deu preferência ao uso de ilhas, em vez da tecnologia *plated-through hole* (PTH), que, com o tempo, se tornou um processo essencial para a fabricação de placas de circuito impresso de duas faces e multicamadas. [1]

Durante os anos de 1953-55, a Motorola introduziu o processo de metalização de metal de cobre para fornecer interconexão entre dois lados de uma placa, que se verificou ser mais adequado para o processo de fabricação em massa. Na década de 60, o método eletrolítico foi introduzido usando ativadores de catalisadores, enquanto a Photo Circuits, EUA, desenvolveu o processo totalmente aditivo em 1964. Neste método, o material de base não tem cobre sobre ele e o cobre é revestido seletivamente nos lugares necessários para interligações. [1]



O final dos anos 60 testemunhou o crescimento no campo da eletrônica de consumo, o que exigiu a introdução de automação na fabricação e em testes de placas de circuito com os componentes montados. Logo depois, na década de 70, as placas de circuito impresso foram firmemente inseridas no mercado de eletrônicos de consumo, equipamentos científicos, equipamentos médicos, equipamentos militares, telecomunicações, e em quase todos os ramos da eletrônica, que mais tarde culminou na indústria de computadores pessoais. [1]

Vários novos processos foram desenvolvidos para aplicações como laminação de filme fotográfico, Dry Film, máscara de solda, impressão de legenda de componentes, perfuração CNC, etc. O tamanho da placa impressa foi consideravelmente reduzido com a fabricação de placas de circuitos multicamadas e rígidas flexíveis que usavam “buried vias” (vias enterradas) e “blind vias” (vias cegas) conexões por meio de furos metalizados e química do processo úmido. [1]

PCBs constituem um componente estratégico muito importante para produtos eletrônicos. Portanto, não é surpresa que a indústria de PCB no mundo seja um mercado em expansão. Portanto, os circuitos impressos provavelmente continuarão a ser o ícone da indústria eletrônica através das próximas décadas, o que pode trazer maior funcionalidade, melhor custo e confiabilidade através de processos de baixo custo e rigidamente controlados.

## 1.1 OBJETIVOS DO PROJETO

O objetivo deste trabalho é a metalização de 21 furos feitos em duas PCI de teste utilizando solução de eletrólise feitas no laboratório de química da Faculdade UnB Gama, a fim de validar a eficiência da solução de eletrólise fabricada em conjunto com a utilização de uma placa de controle chamada E-Platter para ajudar na metalização dos furos das duas PCI de teste controlando as condições de contorno: densidade de corrente e tempo de metalização, importantes para se obter depósito de cobre suficiente para condutividade entre as duas camadas da PCI.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em: Validar os resultados fazendo testes de condutividade entre as duas camadas da placa teste em cada um dos 21 furos com diâmetro iniciando em 0.8mm até 3.2mm após a metalização dos furos utilizando solução de eletrólise. Feito isto, será comparado com os resultados esperados de soluções de metalização utilizadas na indústria que serão descritos no capítulo 2.

Para se conseguir esses objetivos foi realizada uma revisão bibliográfica acerca do tema de Placa de Circuito Impresso, elencando as principais tecnologias de metalização de furos de PCI, destacando quais os principais processos, soluções químicas utilizadas na indústria e ferramentas para sua produção bem como seu controle de qualidade comumente utilizados e adotados na indústria eletrônica.

## 1.3 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Diante dos objetivos apresentados, espera-se apresentar uma técnica com uma metodologia de metalização barata, eficiente e caseira para hobbistas, utilizando solução de eletrólise disponível para o público em geral que queira desenvolver PCI dupla face mas esbarram na dificuldade ao fabricar esse tipo de PCI pela necessidade de metalizar seus furos e garantir uma boa condutividade entre as suas camadas.

## Capítulo 2

### 2.1 TECNOLOGIA DE METALIZAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Nas placas de circuito impresso, o cobre é usado para interligar os componentes ao substrato. Embora seja um bom material condutor na PCB para formar o padrão das trilhas, é muito suscetível a manchas devido à oxidação, se exposto à atmosfera durante um longo período de tempo. Ele sofre corrosão e, portanto, perde sua soldabilidade. Portanto, várias técnicas são usadas para a proteção das trilhas de cobre através de furos impressos (PTH). Entre elas, estão o revestimento por laca orgânica, revestimento de óxido e revestimento metálico [1]

O revestimento por laca orgânica, embora simples na aplicação, não é adequado para uso a longo prazo devido a variações na espessura, composição e ciclos de cura da placa. Também pode provocar desvios imprevisíveis na soldabilidade. O revestimento de óxido pode ser usado para proteger o circuito da corrosão, mas não consegue preservar a soldabilidade. O revestimento ou o processo de revestimento metálico é uma prática padrão para garantir a soldabilidade e proteger o circuito da corrosão. Por isso, desempenha um papel importante na fabricação de PCB de placas de face simples, dupla face e multicamada (PTH). Em particular, o revestimento de um metal soldável sobre as trilhas se tornou uma prática padrão para garantir uma proteção solúvel para as trilhas de cobre [1]

Os conectores de borda com contatos acoplados a guias de conexão adequadamente projetadas em placas de circuito impresso, são usados para a interconexão de vários módulos em equipamentos eletrônicos. Esses contatos devem ter um alto grau de resistência ao desgaste e baixa resistência de contato. Este requisito resultou em colocação de metais preciosos nesses contatos e o metal mais usado é o ouro. Outros metais utilizados para o revestimento são o estanho das trilhas, o níquel, e em alguns casos, o revestimento de cobre para construir algumas áreas de trilha [1]

Outro tipo de revestimento nas trilhas de cobre é de tipo orgânico, que geralmente é uma máscara de solda, um revestimento epóxi impresso por tela para cobrir as áreas que não são necessárias para serem soldadas. O processo de aplicação de um revestimento de proteção de superfície orgânica (OSP) não requer trocas de elétrons, uma vez que a placa de circuito é

revestida após a submersão em um banho químico. Um composto orgânico contendo nitrogênio permite a adesão às superfícies metálicas expostas e não é absorvido pelo laminado [1]

Os requisitos técnicos precisos dos produtos eletrônicos e as exigências de um rigoroso cumprimento de normas para o meio ambiente e da segurança resultaram em práticas de revestimento altamente avançadas. Estes são evidentes na tecnologia para produzir placas complexas e de alta resolução de alta resolução. Na colocação em chapa, esse nível de precisão foi alcançado pelo desenvolvimento de máquinas de metalização automáticas, controladas por computador, técnicas instrumentais para a análise química de aditivos orgânicos e metálicos e a possibilidade de controlar com precisão o processo químico [1]

Existem dois métodos padrão para obter acumulação de metal nas trilhas do circuito e nos furos: metalização padrão e revestimento de painéis. Estes são discutidos abaixo.

## 2.2 METALIZAÇÃO PADRÃO

Este é o processo em que apenas o padrão de circuito desejado e os furos recebem acumulação de cobre e revestimento de metal resistente à corrosão. Durante o revestimento padrão, as trilhas e os pads do circuito aumentam em largura em cada lado, tanto quanto a espessura da superfície durante o chapeamento. Por este motivo, é necessário fazer uma comparação e verificação em relação ao circuito original [1]

O revestimento de padrões envolve basicamente encobrir a maior parte da superfície de cobre e revestir apenas as trilhas e pads do padrão de circuito. Devido à área de superfície reduzida, uma fonte de corrente de capacidade muito menor é geralmente necessária. Além disso, ao usar máscaras de revestimento de película seca de foto polímero de inversão de contraste (o tipo mais comum), uma imagem positiva é produzida em uma impressora laser ou plotter de caneta relativamente barata. O revestimento de padrões consome menos cobre do banco de ânodos e requer a remoção de menos cobre durante a gravação, reduzindo assim a análise e manutenção do banho [1]

A desvantagem desta técnica é que o padrão de circuito é necessário para ser revestido com resíduo de estanho/chumbo ou um material de resistência eletroforética antes da gravura e, em seguida, removido antes da aplicação da máscara de solda. Isso aumenta a complexidade e adiciona outro conjunto de banhos químicos ao processo [1]

### 2.2.1 REVESTIMENTO DE PAINÉIS

Este é o processo em que toda a área da superfície e os furos são revestidos em cobre, pendurados com resistências nas superfícies de cobre desejadas e depois revestidos com o metal resistente à corrosão. Embora isso requer uma fonte de corrente bastante grande para um PCB de tamanho médio, o resultado final é uma superfície de cobre lisa e brilhante que é fácil de limpar e se prepara para processamento posterior. Se você não tem acesso a uma foto plotter, há uma necessidade de usar trabalhos de arte negativos para expor o padrão de circuito na reversão de contraste comum de filme seco fotorresiste. Quando você grava uma placa de painel, você acaba removendo a maior parte do material que você metalizou, de modo que o peso da erosão extra dos bancos de ânodo é exacerbado por um aumento de carga de cobre no gravador. A Figura 22 mostra um diagrama de fluxo de metalização da placa de circuito impresso para o processo subtrativo [1]

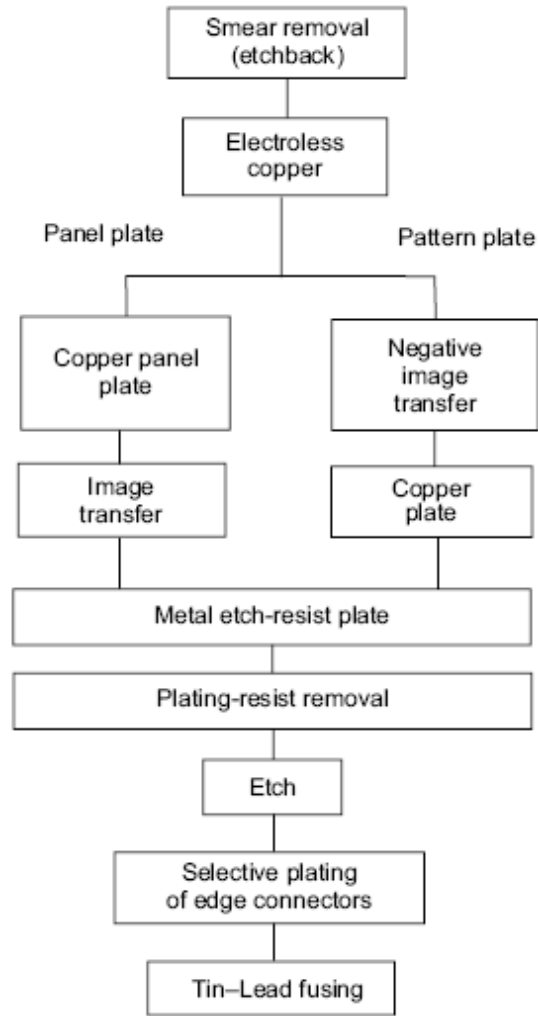


Figura 1: Fluxograma de metalização de PCI [1]

O revestimento padrão é o método preferido para a fabricação de PCBs, com a espessura padrão como segue:

- Cobre: 1 mil
- Liga estanho-chumbo(trilhas,furos,pads): 0.5 mil
- Níquel: 0.2 mil
- Ouro(ponta de conectores): 50um

Os parâmetros do processo de galvanoplastia são mantidos de modo que os depósitos de metal fornecem alta condutividade elétrica, boa soldabilidade e alta resistência mecânica e

ductilidade para suportar painéis dos terminais dos componentes e preencher a cobertura de cobre da superfície em PTH.

### 2.2.2 GALVANOPLASTIA

A galvanoplastia é o processo pelo qual um metal é depositado sobre uma superfície condutora passando uma corrente através de uma solução eletrolítica contendo um sal solúvel do metal.

Quando uma corrente DC flui através de uma solução, resulta em movimento das partículas carregadas através dela. Essas partículas são chamadas íons e os terminais que são usados para passar a corrente na solução são chamados de eletrodos. A combinação dos dois eletrodos e a solução formam o que é conhecido como célula eletrolítica. Os outros termos eletroquímicos associados à galvanoplastia estão listados abaixo. [1]

**Anodo:** O pólo ou eletrodo em que ocorre a reação química da oxidação é chamado de ânodo. É um eletrodo carregado positivamente. Durante a eletrólise, os íons positivos são formados neste eletrodo.

**Anion:** Este é um radical carregado negativamente que, na eletrólise, é atraído para o ânodo.

**Cátodo:** O eletrodo ou pólo em que ocorre a reação química de redução é chamado de cátodo. É um eletrodo carregado negativamente. Durante a eletrólise, os íons negativos são formados neste eletrodo.

**Cátion:** Este é um radical carregado positivamente que, na eletrólise, é atraído para o cátodo.

**Eletrólito:** Este é um meio condutor em que o fluxo de corrente é acompanhado pelo movimento de íons. Para a galvanoplastia, o eletrólito deve conter o sal dissolvido do metal que deve ser depositado.

O metal a ser banhado é usado como o cátodo na célula eletrolítica. O ânodo na célula pode ser o mesmo que o metal a ser revestido no cátodo ou qualquer outro metal inerte com boa condutividade. A reação que ocorre na junção entre o eletrólito e os eletrodos é chamada de eletrólise. É acompanhada pela transferência de elétrons.

### 2.2.3 PROCESSO BÁSICO DE GALVANOPLASTIA

O objeto a ser galvanizado é primeiro limpo completamente para torná-lo livre de óleo, graxa e partículas estranhas. O objeto limpo é usado como cátodo em uma solução eletrolítica. O eletrólito é mantido em um tanque de galvanoplastia. Os dois eletrodos, ânodo e cátodo, são mergulhados no eletrólito.

Quando a corrente direta flui através do eletrólito, o revestimento de íons metálicos migra para o cátodo e fica depositado. A maioria das soluções de revestimento são de natureza semelhante. Portanto, seu uso e a qualidade dos depósitos resultantes dependerão das variáveis de processamento envolvidas. Conseqüentemente, a deposição depende da temperatura, densidade de corrente, concentração de íons metálicos, pH, movimento da solução e filtração. A Figura 23 mostra o princípio básico da galvanoplastia. Portanto, as condições devem ser controladas para que a composição uniforme seja mantida em uma ampla gama de variáveis operacionais.

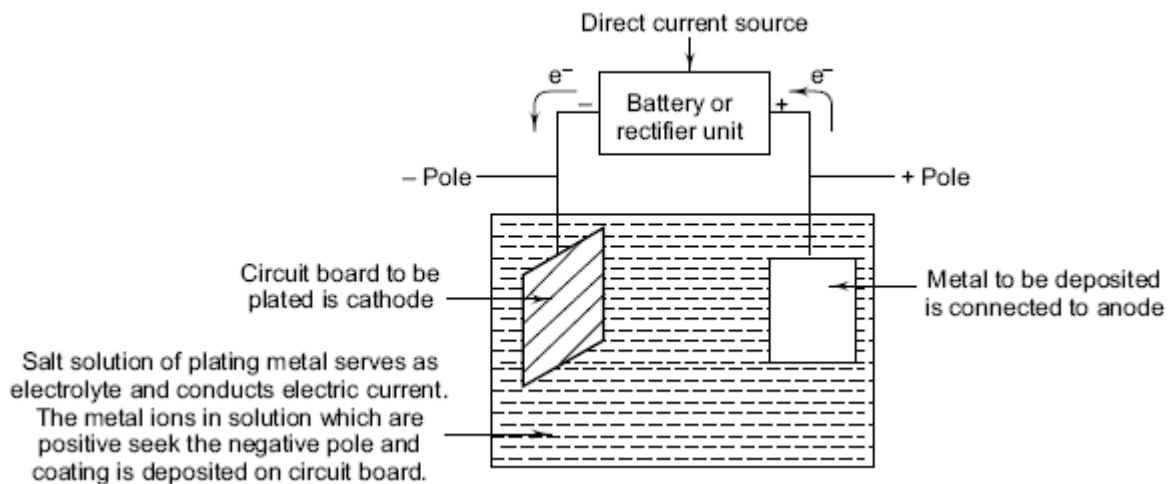


Figura 2: Montagem experimental para ilustrar processo de galvanoplastia[1]

Se o ânodo é constituído por um metal que é o mesmo que o metal a depositar no cátodo, a concentração de eletrólito permanece a mesma durante a eletrólise. O metal que é depositado no cátodo é removido do eletrólito. Esta perda no eletrólito é compensada uma vez que o ânodo se dissolve proporcionalmente no eletrólito. Se a deposição e a dissolução não forem iguais, isso afetará a concentração de metal no eletrólito e a taxa de deposição.



## 2.2.4 CONDUÇÃO DOS ELETRÓLITOS

A quantidade de carga (corrente) que flui através de um eletrólito depende da tensão aplicada (potencial) e da resistência da solução. Nos processos de eletrodeposição costuma-se considerar a condutividade ou condutância,  $C$ , da solução que é o inverso da resistência,  $R$ . [1]

Com um propósito de possibilitar comparações, utilizam-se termos como resistência específica,  $\rho$ , que é definida como a resistência oferecida por 1 cm<sup>3</sup> de solução, e condutividade específica,  $k$ , que é o recíproco de  $\rho$ . Desta forma, se " $a$ " é a área dos eletrodos, em centímetros quadrados, posicionados a uma distância " $l$ " de 1 cm; [1]

$$R = \rho (l/a) \text{ ou } C = k (a/l) \quad (1)$$

onde  $\rho$  é dado em ohm.cm e  $k$  em S/cm (Siemens/cm) ou seja, (1/ohm).cm. Portanto, desejando-se aumentar o fluxo de cargas (corrente) num processo de eletrodeposição tem-se como alternativas:

- a) melhorar a condutividade específica do banho pela adição de sais ou ácidos, aumentando assim o número de transportadores de carga;
- b) aumentar a área dos eletrodos;
- c) diminuir a distância entre os eletrodos;
- d) aumentar a temperatura que, por aumentar a mobilidade dos íons, causa um aumento da condutividade. [1]

## 2.2.5 LEIS DE FARADAY PARA ELETRÓLISE

Para que qualquer reação eletroquímica ocorra numa cela, os elétrons devem passar através de um circuito conectando os dois eletrodos. Por esta razão, a corrente  $I$  se torna uma medida conveniente da taxa de reação na cela enquanto a carga  $Q$ , que passa durante um período " $t$ ", indica a quantidade total de reação que ocorreu. Na verdade, a carga necessária para a conversão de " $m$ " moles de um material em produto, em uma reação com " $n$ " elétrons (onde " $n$ " é o número de cargas envolvidas na reação), é perfeitamente calculada usando-se a Lei de Faraday:

$$Q = \int I dt = mnF \quad (2)$$

onde  $F = 96.500C$ . O número de moles do material depositado é obtido pela razão entre o peso do material depositado,  $P$ , e seu peso atômico,  $A$ , ou seja:

$$m = \frac{P}{A} \quad (3)$$

O Faraday é, portanto, por definição, a carga necessária para se depositar um equivalente eletroquímico de um material, ou seja,  $m/n = e$ .

O equivalente eletroquímico, é, usualmente expresso em miligramas ou em gramas por Ampere por hora (g/Ah) como verificado na tabela abaixo. A quantidade de energia é, normalmente, medida em Ah e o Faraday é igual a 26,8 Ah.

Tabela 1: Equivalente eletroquímico

Metal	Valência	Peso Atômico	Equivalente Eletroquímico (g/Ah)
Cromo	6	52,00	0,323
Cobre	1	63,54	2,372
Ferro	3	55,85	1,042
Chumbo	2	207,19	3,865
Níquel	2	58,71	1,095
Estanho	2	118,69	2,213
Zinco	2	65,38	1,220

#### PRIMEIRA LEI

A massa de uma substância produzida ou consumida em um eletrodo (ânodo ou cátodo) é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que passa pela solução.

$$M \propto Q \quad Q = It \quad \text{ou} \quad M \propto It$$

$$\text{Portanto,} \quad M = ZIt$$

Onde,

$M$  = Massa da substância em gramas,

$I$  = Corrente (em amperes),

$Z$  = equivalente eletroquímico e

$t$  = tempo em segundos.

Quando  $I = 1$  A,  $t = 1$  seg. então  $M = Z$

## SEGUNDA LEI

Quando a mesma quantidade de eletricidade é passada através de diferentes eletrólitos, o peso do metal depositado é proporcional ao seu equivalente químico

$$M = ITA / nF,$$

Onde:

$A$  = Peso atômico (ou peso equivalente  $\div$  valência),

$N$  = Valência (número de elétrons envolvidos na redução de íons metálicos) e

$F$  = constante de Faraday.

O revestimento ocorre no cátodo, isto é, o eletrodo negativo. Portanto, a espessura do depósito na superfície do cátodo dependeria do tempo e da corrente impressionada nele. Por exemplo, 0,5 mil (0,0005 in) de liga de estanho e chumbo é chapeado a 17A / ft<sup>2</sup> por quinze minutos. [1]

### 2.2.6 QUALIDADE DE ÁGUA

O fornecimento de água para as soluções de revestimento e para o processo de limpeza deve ter baixo nível de impurezas. [1]

Se o abastecimento de água contiver níveis elevados de minerais iônicos dissolvidos e impurezas como cálcio, magnésio, sílica, ferro e cloreto, eles podem causar oxidação de cobre,

resíduos em PTH, descamação, manchas, rugosidade e contaminação iônica. Esses problemas resultam em rejeições na placa e no tempo de inatividade do equipamento, redução da vida útil do banho e dificuldade na recuperação da água. Portanto, é necessário ter água de boa qualidade com baixa dureza e sólidos dissolvidos totais. Geralmente, a quantidade de sólidos dissolvidos não deve ser superior a 5 ppm. [1]

Os sólidos dissolvidos são geralmente medidos pela gravação da condutividade da solução. Isso é feito com medidor de condutividade. A presença de 5 ppm de sólidos dissolvidos corresponde a 1 m mho cm.

Para a obtenção de água de alta pureza necessária para o revestimento e fabricação de PCB, dois processos são amplamente utilizados: osmose reversa e processo de desionização. Estes são discutidos abaixo.

#### 2.2.7 OSMOSE REVERSA

Neste processo, a água bruta sob pressão é forçada através de uma membrana semipermeável. A membrana possui uma porosidade selecionada que permite a rejeição de sais dissolvidos e matéria orgânica e particulada. A membrana permite a passagem de água através da membrana.

Para entender o processo, consideremos que há água pura e uma solução salina em lados opostos de uma membrana semipermeável. A água pura irá difundir através da membrana e diluir a água salina do outro lado. Este processo é chamado de "osmose", e a pressão sob a qual este processo ocorre é chamada de pressão osmótica. Da mesma forma, se a pressão é aplicada na solução salina, a pressão de osmose é revertida. Isso é chamado de "osmose reversa". A osmose reversa é um método eficaz de purificação de água e permite a remoção de 90-98% de minerais dissolvidos e 100% orgânicos com pesos moleculares superiores a 200.

#### 2.4.8 ÁGUA DESTILADA

A água destilada é preparada pela técnica de permuta iônica. Isso envolve a passagem de água contendo íons dissolvidos através de um leito de resinas orgânicas sólidas. Estes

convertem os conteúdos de água iônica para  $H^+$  e  $OH^-$ . O processo ocorre em colunas de permuta iônica, que estão comercialmente disponíveis. O processo de purificação de água destilada é usado quando é necessária água de alta pureza em aplicações como banhos de *make-ups* e para enxágue no processo de revestimento. A água destilada típica deve ter as seguintes características:

- Sólidos dissolvidos residuais em ppm <1
- Condutividade elétrica em micron / cm a 20 ° C <1
- Turbidez 1,0 NTUSílica ( $SiO_2$ ) em ppm 0,05
- Valor de pH a 25 ° C 6,8 a 7,0
- Cloreto em ppm 2,0
- Carbono orgânico total em ppm 2,0

### 2.2.9 PH DE UMA SOLUÇÃO

A água pura contém concentração igual de íons  $H^+$  e íons  $OH^-$ .  $H_2O = H^+ + OH^-$ . O produto iônico da água é expresso como  $[H^+][OH^-] = 10^{-14}$ . Quando o ácido é adicionado na água, a concentração de íons  $H^+$  aumenta e a dos íons  $OH^-$  diminui. Quando o álcali é adicionado, a concentração é vice-versa. A acidez ou alcalinidade de uma solução é expressa pelo seu valor de pH. A concentração de íons de hidrogênio constitui a base fundamental da escala de pH como mostrado na Figura 24. O valor real da concentração de íons de hidrogênio é extremamente baixo e, por conveniência, é expresso como um logaritmo negativo.  $pH = \log 1/H^+ = -\log [H^+] = 10^{-pH}$  ou  $[H^+] = 10^{-pH}$ . O pH é o fator mais importante no controle do processo de galvanoplastia.

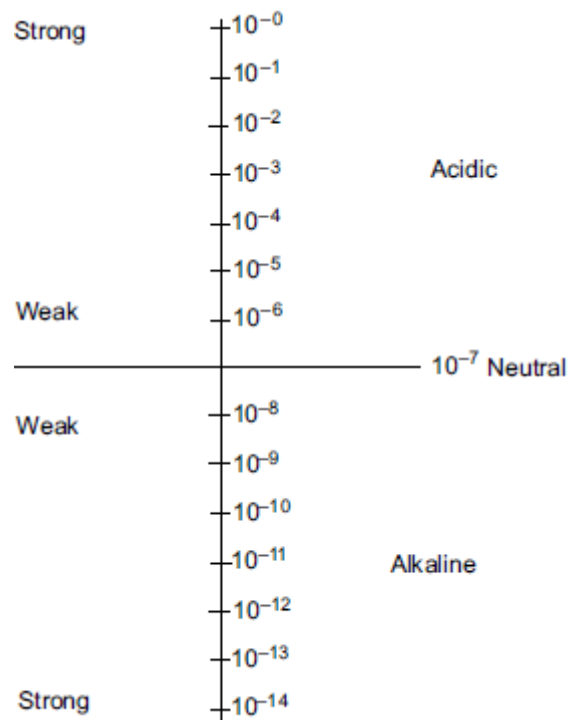


Figura 3: Escala de PH. [1]

#### 2.2.10 BUFFER

Quando uma solução contém um ácido ou alcalino fraco, o seu alcalino ou ácido conjugado é conhecido como solução tampão. Os buffers são apenas parcialmente dissociados em solução. Eles são adicionados a uma solução para reduzir o efeito da adição de ácido ou alcalino no seu valor de pH e manter o valor do pH constante. Na galvanoplastia, os buffers têm uma influência importante nos parâmetros do processo. [1]

#### 2.2.11 ANODOS

Na galvanoplastia, os eletrodos ou ânodos positivos são usados na forma de barras, placas, varas ou paletas. O metal usado pode ser o mesmo que o eletrólito ou pode ser diferente, mas deve estar livre de quaisquer impurezas. O ânodo contaminado afetará o processo de

galvanoplastia. Deve, portanto, ser 99,9% puro. O tamanho do ânodo também é muito importante, pois determina sua capacidade de conduzi corrente elétrica. [1]

#### 2.2.12 SACOS DE ANODO

Os sacos de ânodo são usados para cobrir os ânodos e filtrar as partículas dissolvidas. Os sacos de ânodo são compostos de materiais de polipropileno. Eles estão disponíveis em vários graus de 1 micron a 10 microns.[1]

#### 2.2.13 PRÉ TRATAMENTO PARA GALVANOPLASTIA

Uma superfície de metal de cobre bem limpa pré tratada é essencial no revestimento da placa de circuito. Muitas falhas de ligação em metal de cobre podem ser detectadas diretamente devido a limpeza fraca de suas superfícies antes da aplicação do revestimento de metais. Os seguintes métodos são usados para ativar as superfícies metálicas de cobre: [1]

- a) Limpeza de solventes;
- b) limpeza alcalina; e
- c) Limpeza mecânica.

#### 2.3 TÉCNICAS DE REVESTIMENTO

As placas de circuito impresso são revestidas de metal por três tipos de técnicas. Eles são:

- Revestimento por imersão;
- Revestimento Eletrolítico;
- Galvanoplastia.

### 2.3.1 REVESTIMENTO POR IMERSÃO

O revestimento por imersão é a técnica mais simples na qual a deposição de um revestimento metálico em um substrato ocorre por substituição química de uma solução de sal do metal de revestimento. O metal no substrato reduz os átomos do seu estado iônico na solução.

Embora este método não seja muito caro e tenha uma boa capacidade de depositar em intervalos, ele permite apenas uma espessura limitada de deposição. Isso ocorre porque assim que o metal do substrato é quase que completamente coberto pelo depósito, a reação diminui até a velocidade no qual o substrato metálico está disponível em descontinuidades ou poros do revestimento. A espessura limitada oferece apenas proteção de curto prazo. Portanto, a técnica de revestimento por imersão é feita somente quando se planeja a montagem imediata dos componentes. O revestimento por imersão geralmente é realizado com apenas dois metais de revestimento. Estes são estanho e suas ligas e o ouro. As placas impressas e gravadas são estanhadas pela imersão da placa em solução de estanho e o metal estático é depositado em cobre metálico. A quantidade de cobre dissolvido na solução é igual à deposição de estanho na PCB. A espessura típica depositada por hora é de aproximadamente 3 um.

Uma solução típica de estanho tem a seguinte composição:

- Sulfato de Estanho: 5-8 g / L
- Tiourea [CS (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]: 70-80 g / L
- Ácido Sulfúrico: 10-15 ml / L
- Temperatura de trabalho do banho: 30 ° C
- Tempo de imersão: 5 a 20 minutos

O cobre sobre o qual o estanho deve ser depositado forma uma célula eletrolítica. O potencial do eletrodo que existe devido à ionização é chamado de potencial de eletrodo. A reação que ocorre no tanque de imersão é a seguinte:



$\text{Cu}^{++}$  e  $\text{Sn}^{++}$  são íons metálicos carregados positivamente, devido à falta de dois elétrons. O potencial do eletrodo de cobre pode ser mais negativo ao adicionar um agente complexante na solução de estanho. A tiourea é utilizada como agente complexante que também forma complexos estáveis.



Revestimento de imersão por ouro: Oferece uma vantagem em que os revestimentos de ouro são relativamente sem poros. Uma formulação típica de imersão por ouro pode depositar cerca de 0,025 um em meia hora. [1]

### 2.3.2 REVESTIMENTO ELETROLÍTICO

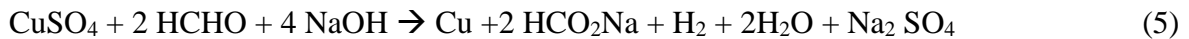
Com a introdução da tecnologia de furos de passagem revestidos e o desenvolvimento de placas de várias camadas, foi necessário fornecer uma camada de cobre em um furo em sua área isolante para conectar as diferentes camadas em uma placa de circuito impresso de várias camadas para obter sua condutividade elétrica. O método mais popular para conseguir isso é o revestimento de cobre eletrolítico. Uma vez que a superfície da resina esteja conduzindo, o revestimento eletrolítico pode ser usado para construir a espessura de cobre desejada.

O processo de revestimento é feito depois que os furos são feitos no substrato e antes do processo de corrosão ser realizado. O revestimento de cobre eletrolítico depende de muitos processos químicos, de equipamentos e materiais diferentes (Hodson,1991). A sinergia desses elementos determina a qualidade da interconexão e o desempenho final da placa.

O mecanismo de revestimento eletrolítico é semelhante à galvanoplastia, mas os elétrons são obtidos a partir do processo de redução química. Na galvanoplastia, os elétrons são obtidos a partir de uma fonte de corrente elétrica para reduzir os íons metálicos ao estado metálico. Mas, no caso de revestimento eletrolítico, não é utilizada uma fonte externa de energia. O processo de revestimento eletrolítico é muito simples. O agente de redução química reduz os íons metálicos em solução para átomos de metal neutro para deposição.

Com este processo, uma acumulação contínua de revestimento de metal em um substrato ocorre por simples imersão em uma solução aquosa apropriada. O agente redutor químico na solução fornece elétrons para a reação. Mas a reação ocorre apenas em uma superfície catalítica. O cobre eletrolítico é um processo auto catalítico de imersão em eletrólise ou galvanoplastia que dispensa a necessidade de fornecer conectividade elétrica entre as camadas externa e interna de uma placa de circuito impresso. Uma superfície catalítica é uma superfície na qual um metal nobre como o paládio é produzido para desencadear o processo de redução química. Na prática, a placa de circuito impresso perfurada é ativada por revestimento com uma fina película de paládio por um ativador e então imerso no banho de cobre.

O processo autocatalítico deposita o metal sem usar corrente elétrica. O cobre fornece uma camada metálica condutora necessária para o processo de galvanoplastia. A química da redução de cobre no revestimento eletrolítico é bastante complexa. No entanto, a seguinte equação resume o processo de deposição usando formaldeído como agente redutor.



Este revestimento autocatalítico envolve necessariamente o uso de uma solução aquosa de íons de cobre, complexantes de cobre, formaldeído, hidróxido de sódio e estabilizadores. Esses constituintes e suas funções são mostrados na tabela a seguir

Tabela 2: Constituintes de um banho eletrolítico e suas funções. [1]

	<b>Constituent</b>	<b>Function</b>
Copper salt	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Supplies copper
Reducing agent	HCHO	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}^0$
Complexer	EDTA, titrates, Rochelle salt	Holds $\text{Cu}^{2+}$ in solution at high pH, controls rate
pH controller	NaOH	Controls pH rate, 11.5–12.5 optimum for HCHO reduction
Additives	NaCN, metals, S, N, CN organics	Stabilize, brighten, speed rate strengthen

Keeler (1990), explica que em placas de circuito impresso de dupla face processadas subtrativamente, o revestimento eletrolítico aplica cobre nas paredes de furos para proporcionar conectividade elétrica entre a parte superior e a parte inferior da PCB. No caso de várias camadas, o cobre revestido no furo interconecta não apenas as duas camadas externas, mas também os circuitos nas camadas internas. O revestimento eletrolítico é feito sobre esta camada primária condutora.

Em placas processadas aditivamente, além de revestir as paredes de furos e vias, o cobre eletrolítico serve para formar os padrões de circuito básicos no substrato. Já no processamento semi-aditivo, apenas a camada inicial de cobre é depositada a partir de um banho de cobre eletrolítico e o restante do metal de cobre é depositado eletronicamente na placa.

### 2.3.3 PROCESSO PARA REVESTIMENTO ELETROLÍTICO

O procedimento para revestimentos de cobre eletrolítico é complexo. O processo exato de química e processo de cobre eletrolítico variará dependendo do tamanho e do tipo do substrato e das demandas de produção. Há uma série de soluções químicas e fornecedores de equipamentos de revestimento eletrolítico que fabricam produtos diferentes para realizar mais ou menos o mesmo processo. Portanto, para garantir que o revestimento de cobre eletrolítico seja feito corretamente, o fabricante deve entender as complexidades dos produtos químicos e equipamentos de revestimento junto com o material de substrato usado na PCB. Em geral, as seguintes operações são realizadas em sequência para completar o revestimento eletrolítico em um PCB:

- Rebarba por laminação;
- Limpeza e laminação;
- Enxague com água;
- Corrosão de placas de várias camadas;
- Enxague com água;
- Mergulho em ácido sulfúrico de 20% concentração;
- Enxague com água;
- Sensibilização ao mergulho;
- Tratamento ativador / catalisador;
- Enxague com água;
- Diminuição do acelerador;
- Enxague com água;
- Revestimento eletrolítico (revestimento eletrolítico por cobre)
- Enxague com ácido.

**Rebarbação:** as superfícies da placa perfurada são limpas usando uma máquina de rebarbação e uma escova de carboneto de silício de grade 320.

**Limpeza e laminação:** nesta etapa, os furos são limpos em uma solução de limpeza alcalina, removendo qualquer pó ou resíduo. Isso também removerá quaisquer impressões digitais, óleos, camadas de graxa e manchas de epóxi. O banho contém produtos químicos alcalinos mistos. A temperatura do banho é mantida a 60-70 ° C e o tempo de imersão é de cerca de vinte minutos.

**Enxague com água:** Após cada passo do processo, o substrato é enxaguado para garantir que nenhum dos produtos químicos seja transferido para o próximo banho. Cada passo depende da reação química dentro de si e pode contaminar a reação de outro banho.

**Micro corrosão:** Isto é feito com ácidos persulfatos, ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio e estabilizadores. É usado para micro corrosão ou limpeza de superfícies de cobre já existentes no laminado. No processo, uma certa quantidade de cobre é retirada das superfícies de cobre e dissolve-se na solução usada para fornecer uma superfície uniforme. A importância do micro corrosão é que garante uma superfície metálica uniforme e aumenta a ligação entre as camadas de cobre ao raspar as superfícies. Isso também permite eliminar quaisquer contaminantes que possam prejudicar a oxidação. O método *Etch-Back* é usado apenas para o processo em placas multicamadas de PTH para limpar as paredes do furo.

**Mergulho em ácido:** o ácido sulfúrico absorve a placa de quaisquer restos do processo de micro corrosão. Se o substrato for colocado no mergulho com ácido sulfúrico, ele deve ser enxaguado antes do estágio pré-catalisador. São usados 20% de ácido sulfúrico para o processo de imersão.

**Dissipador Sensibilizador:** Este é o estágio pré-catalisador, que prepara o substrato para o próximo passo, ou seja, a catalisação. Este banho é uma combinação de sal e ácido, e é uma mistura de cloreto de estanho e ácido clorídrico. O banho também pode servir como pré aquecedor para a fase de ativação.

**Ativador tratamento de catalisador:** o ativador/catalisador é um processo de tratamento de superfície que faz com que as superfícies do substrato e as paredes dos furos sejam acessíveis ao cobre. Nesse sentido, o sensibilizador e o ativador são misturados em um banho para obter uma solução de catalisador misto. O catalisador misto produz uma película catalítica de paládio.

O filme catalítico é produzido apenas na superfície do isolante (resina e enchimento), mas a folha de cobre do laminado permanece inativada. O filme de paládio fino melhora a adesão entre o cobre base e o cobre chapeado.

Para o passo da sensibilização, envolve a imersão da placa em uma solução ácida (sensibilizante) contendo íons de estanho, que são absorvidos pela superfície da resina. Os íons de estanho reduzem o íon paládio e os íons de estanho são oxidados em íons estanho IV de acordo com uma reação de redução. O estanho é removido no próximo passo, deixando a camada de paládio pronta para deposição de cobre. A temperatura no ativador/tanque de catalisador é extremamente importante. Uma bomba de ar é usado neste banho para agitar a solução para criar uma temperatura uniforme durante todo o banho. Devido à volatilidade deste banho, a placa deve ser enxaguada cuidadosamente para que não contamine o banho acelerador / pós-acelerador. Geralmente, a PCB é submetida a dois ciclos de enxague.

**Acelerador:** O acelerador é um ácido ou álcali forte e sua função é remover o estanho coloidal do banho do ativador. Os restos deste banho podem neutralizar o banho de revestimento de cobre eletrolítico, portanto, o enxague é novamente muito importante nesta fase.

**Banho eletrolítico:** O cobre é revestido nos furos e a superfície do substrato no revestimento de cobre eletrolítico. Isso pode ser feito como um processo subtrativo ou aditivo. O processo de subtração envolve a inserção de um substrato com cobre condutor e, em seguida, expondo-o ao revestimento eletrolítico. Então, o padrão de circuito de substratos pode ser criado por máscara e gravura.

No processo aditivo, o substrato é exposto a um processo de cobre apenas uma vez. O processo aditivo metaliza os substratos através dos furos e do padrão de circuitos ao mesmo tempo, eliminando assim a necessidade de galvanoplastia. Com a indústria pressionando para PCB de alta densidade, o uso de revestimentos aditivos está aumentando. Isso ocorre porque o processo aditivo pode produzir as linhas mais finas exigidas pela tecnologia de montagem em superfície em comparação com as placas produzidas usando o processo de gravação padrão. Outra razão pela qual o revestimento de aditivos está se tornando mais popular é a sua habilidade para metalizar os furos de alto aspecto uniformemente.

As soluções para revestimento de cobre eletrolítico se dividem em duas categorias: (i) Temperatura ambiente, e (ii) Soluções quentes. Uma composição típica para uma solução de temperatura ambiente é a seguinte:

- Sulfato de cobre de 5: a 10g/l

- Tartarato de sódio e potássio: 40 a 50g/l
- Formaldeído (37%): 10 a 20 ml/l
- Hidróxido de sódio: 10 a 15 g/l
- Carbonato de sódio: 5 g/l
- Cianeto de potássio: 1 a 10 ppm
- Agente molhante: 0,5 ml/l

Para os parâmetros operacionais típicos do banho de temperatura ambiente:

- Temperatura: 15 a 30 ° C
- pH: 11 a 13
- Deposição / hora: 1 a 1,6 mícron

Estas condições de operação ajudam a obter a deposição de uma fina camada de cobre, suficiente para o revestimento eletrolítico subsequente, em cerca de 15 a 30 minutos.

O banho de temperatura ambiente não é adequado para o processo aditivo porque a taxa de deposição é muito lenta e o volume de carga é de 1 a 1,2 dm<sup>2</sup> / hora.

As soluções quentes são baseadas no estabilizador de EDTA, que é um agente complexante de cobre ou quelante. Assim, estabiliza o banho, mesmo a temperaturas bem acima da temperatura ambiente. O seguinte é uma formulação típica para solução quente de revestimento eletrolítico:

- CuSO<sub>4</sub> - 5H<sub>2</sub>O: 5 a 10 g/l
- EDTA [etilenodiamina-tetra-acetato]: 5 a 25 g/l
- Formaldeído: 10 a 20 ml/l
- Hidróxido de sódio: de 10 a 20 g/l
- Cianeto de cobre :1 a 10 ppm
- Estabilizador [dimetil poli siloxano]: 200 ppm
- Agente molhante: 0,5 ml/l

As condições de trabalho típicas para banhos a quente são:

- Temperatura: de 35 a 70 ° C

- pH: 11 a 12
- Deposição / hora: 3 a 8 microns

Neste processo, a taxa de revestimento aumenta tanto com a temperatura quanto com o teor de cobre e formaldeído, enquanto que o EDTA e o cianeto de cobre têm o efeito oposto. Os banhos de alta velocidade são mais sensíveis aos contaminantes e são menos estáveis. Portanto, eles exigem controle mais frequente e ajuste de sua composição.

Os banhos quentes são usados principalmente para o processo aditivo. Um condutor de 25 micron (1mil) geralmente pode ser construído em 6-12 horas.

À medida que o banho é repetidamente utilizado, os parâmetros químicos mudam com o tempo. Isso muda a dinâmica do cobre. Os parâmetros químicos do banho devem ser monitorados de perto, porque se eles estiverem fora de equilíbrio, a qualidade do revestimento diminuirá. Isso pode resultar em cobertura insuficiente de cobre (vazios), fissuração do material de revestimento ou descamação do material de revestimento longe da parede do furo.

Os banhos são inspecionados e controlados por análise química. O hidróxido de sódio e o formaldeído são analisados e reabastecidos. O controle de banho e o procedimento de reposição variam de fabricante para fabricante.

Enxague com Ácido: após o banho de cobre eletrolítico, a placa é enxaguada em um ácido sulfúrico ou fosfórico para neutralizar qualquer solução cáustica que possa permanecer no painel. A placa é então colocada em um banho antioxidante para evitar que o cobre recentemente depositado se oxide. Em seguida, os substratos revestidos podem ser esfregados e submetidos a um processo de revestimento de cobre rápido.

O revestimento eletrolítico bem-sucedido é determinado pela espessura do cobre e o quanto ele adere às paredes dos furos e às superfícies do substrato. Os parâmetros mais importantes que influenciam a qualidade do revestimento são a química, a agitação do banho e a temperatura. O revestimento de cobre eletrolítico é vital para o desempenho de uma placa de circuito impresso de várias camadas. Independentemente de o revestimento ser feito substrativamente ou de forma aditiva, o controle rigoroso do processo deve ser mantido para garantir uma espessura de revestimento uniforme.

As máquinas de revestimentos automatizadas são necessárias para uma produção de grande volume para garantir a integridade das placas de circuito impresso. Nestas máquinas, é possível manter a uniformidade monitorando e controlando continuamente parâmetros como

temperatura, concentrações de solução e a atividade do banho. Em operações menores, onde o alto rendimento não é necessário, podem ser utilizadas máquinas de revestimento manual.

#### 2.3.4 REVESTIMENTO COM NÍQUEL ELETROLÍTICO

Assim como no revestimento de cobre eletrolítico, o níquel também é depositado sobre o substrato pelo método eletrolítico. A temperatura do banho é alta e pode subir até 90 ° C enquanto a faixa de pH será de 8 a 10. O hipofosfito de sódio é usado como agente redutor e é adicionado hidróxido de amônio para ajustar o pH. A composição típica do banho é a seguinte:

Banho alcalino de níquel eletrolítico [Valores típicos]

- Cloreto de níquel 30 g / l
- Hipofosfito de sódio 10 g / l
- Citrato de sódio 100 g / l
- Cloreto de amônio 50 g / l
- pH 8 a 10
- Temperatura 90 ° C

O níquel eletrolítico é usado no processo aditivo.

#### 2.3.5 REVESTIMENTO COM OURO ELETROLÍTICO

O revestimento de ouro é melhor que o revestimento de ouro por imersão. Como no revestimento de níquel eletrolítico, o hipofosfito de sódio é usado como agente redutor e citrato de sódio como agente complexante. A temperatura do banho é de 90 a 95 ° C com um pH entre 7 a 8. A composição típica do banho é dada abaixo:

- Cianeto de ouro de potássio 2 g / l
- Citrato de sódio 50 g / l
- Cloreto de amônio 75 g / l
- Hypophosphite de sódio 10 g / l



- pH 7 a 7,5
- Temperatura 90-95 ° C

Este processo é usado para revestir a seção de conector de borda da PCB em um processo totalmente aditivo.

O ouro é uma alternativa cara para outros métodos de revestimento de superfície. Embora tenha vantagens significativas em muitas aplicações, existem certas limitações à sua utilidade geral. O inconveniente desse revestimento de ouro é que, se não for devidamente controlado, o metal dourado na união de solda pode levar à fragilização e falhas precoce. Portanto, quando o ouro é especificado, uma consideração cuidadosa deve ser dada a todos os trade-offs. [2]. Observa que, quando controlado corretamente, o revestimento de ouro nos pads da placa de circuito impresso oferece proteção de soldabilidade altamente efetiva e não prejudica as juntas de solda.

## 2.4 ELETRODEPOSIÇÃO

### 2.4.1 ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE

Nas placas de circuito impresso, o cobre é galvanizado para aumentar a espessura da camada de cobre na superfície e paredes de furos. A espessura do revestimento na superfície é de 70 mm e no furo de passagem é de 30 mm. O revestimento de cobre é feito principalmente para construir furos revestidos em placas de dupla face ou multicamadas. O cobre tem muitas propriedades que o tornam adequado para uso geral em PCBs. No entanto, as placas são, por vezes, sujeitas a condições ambientais severas durante a soldagem e montagem e, portanto, devem ter boas propriedades de aderência e expansão térmica. Várias formulações estão comercialmente disponíveis. No entanto, no processo industrial, é utilizada uma solução ácida de sulfato de cobre, contendo sulfato de cobre, ácido sulfúrico, íons cloreto e aditivos orgânicos. Os reagentes utilizados para deposição de cobre tipicamente são:

- Sulfato de cobre: produz íons de metal de cobre
- Ácido sulfúrico: melhora o movimento iônico ou aumenta a condutividade da solução

- Ácido clorídrico: melhora a dissolução uniforme do ânodo
- Aditivos: aumenta o fator do cátodo e fornece agentes molhantes
- Deposição uniforme de cobre no cátodo
- A composição típica do banho para revestimento de cobre ácido é a seguinte:
- Sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>) 75 - 100 gm / l
- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 90 - 110 ml / l
- Ácido clorídrico 30 - 70 ppm
- Aditivos e molhantes 4 - 8 ml / l Agentes

Os aditivos mais comuns utilizados são a gelatina e o tartarato de potássio.

As condições operacionais ótimas para o revestimento uniforme são as seguintes:

- Temperatura 25-30 ° C
- Densidade de corrente do ânodo: 150-300 A / m<sup>2</sup>
- Densidade da corrente do cátodo: 300-600 A / m<sup>2</sup>
- Agitação: Ar quente sem óleo, Movimento de cátodo e Filtração de solução contínua
- Anodo de Cobre desoxidado de fósforo [0,03 por cento de fósforo]
- Anodo bolsas de Polipropileno
- Ganchos de aço inoxidável [grau 316 ou titânio]
- Distância do ano para o catodo: 2:1 no mínimo
- Distância entre ânodo e cátodo 15 cm [máximo]
- Taxa de revestimento de 1 micron

O revestimento é geralmente cerca de 25 mm de cobre em quarenta minutos a 300 A / m<sup>2</sup> para realizar galvanoplastia de cobre. Os painéis são revestidos e imersos verticalmente no banho de eletrólito. Os racks estão conectados à barra de cátodo da célula (eletrodo -ve de um gerador de corrente). Anode é geralmente uma barra de cobre vertical.

Os íons cúpricos na solução são atraídos para o cátodo, onde eles adquirem dois elétrons e são depositados como cobre metálico:



O ânodo se dissolve na solução de acordo com a seguinte reação:



Ambas as reações ocorrem simultaneamente. Eles são causados pela corrente que flui através do banho de ânodo para cátodo e vice-versa fora do banho.

O cobre eletro depositado deve satisfazer requisitos rigorosos em termos de ductilidade, resistência à tração, resistência à fadiga, baixa resistividade elétrica, baixa porosidade e forte adesão ao cobre não eletrodo. A maioria dessas propriedades dependeria da composição do banho e das suas condições de operação.

Na prática, seria difícil testar a camada de cobre. A qualidade do revestimento é, portanto, muitas vezes julgada por sua aparência e exame de microestrutura como métodos de controle de qualidade indireta.

Um parâmetro, relacionado à espessura do revestimento, é conhecido como "Poder de lançamento". É definido como a proporção da espessura chapeada na metade dos orifícios até a espessura média chapeada na superfície do painel. Um banho terá um poder de lançamento igual a 1, quando ele coloca um revestimento uniforme sobre toda a área de platina. Como os furos perfurados são perpendiculares à placa, um banho de alta potência de lançamento permite uma depreciação adequada dentro do furo sem excesso de revestimento na superfície da placa plana.

As PCBs são revestidas de cobre em diferentes estágios, que são:

- Painel de revestimento, e
- Padrão de revestimento.
- O diagrama de fluxo para o processo de revestimento de cobre é mostrado na Figura 25.
- Processo de revestimento de painel - isso envolve:
- Revestimento de cobre eletrolítico;

- Inspeção;
- Dose ácida - 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Enxaguamento de água (água desmineralizada);
- Galvanoplastia de cobre;
- Enxaguamento de água;
- Secagem; e
- Resist Coating [Resistência à tela e resistência ao filme seco].
- Processo de revestimento de padrões - Isso envolve:
- Galvanoplastia de cobre ou cobre eletrolítico;
- Revestimento de resistência [exposição e desenvolvimento];
- Enxaguamento de água com spray;
- Mergulho ácido;
- Água mergulhada [água desmineralizada];
- Galvanoplastia de cobre;
- Enxaguamento de água;
- Mergulho ácido;
- Enxaguamento de água [água desmineralizada];
- Revestimento de metal resistente;
- Enxaguamento de água;
- Decapagem e gravura.

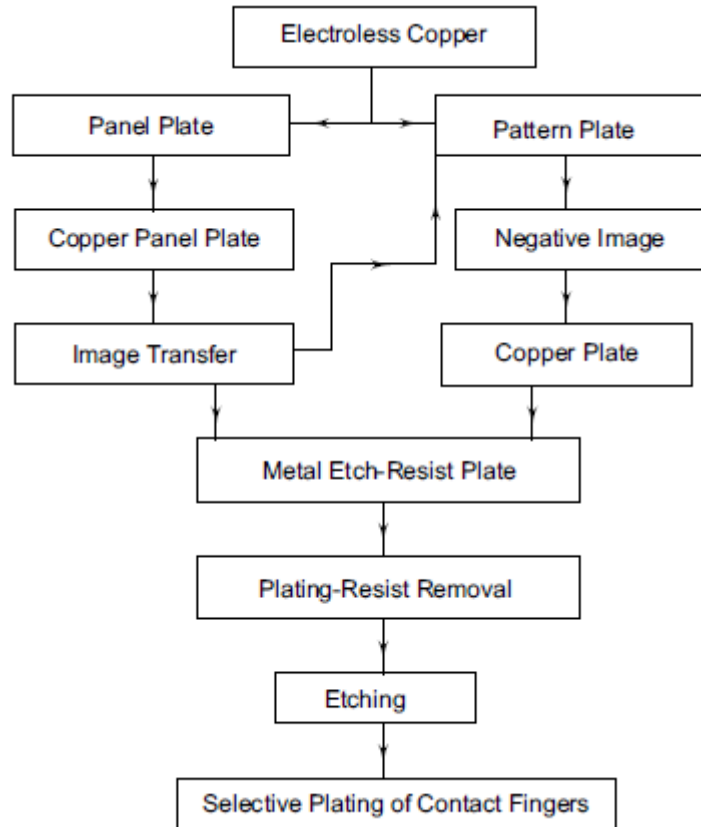


Figura 4: Fluxograma de processos para revestimento do cobre

#### 2.4.2 ELETRODEPOSIÇÃO DE ESTANHO

O estanho puro é amplamente utilizado para revestir placas de circuito impresso devido às suas vantagens de ter boa soldabilidade, fácil controle de revestimento, resistência à corrosão e propriedades resistentes ao metal. Recomenda-se também que o estanho seja fundido nas derivações dos componentes. [1]

Embora haja uma variedade de processos disponíveis para o estanho, o processo que utiliza eletrólitos tipo sulfato de ácido é o sistema mais utilizado. O estanho é banhado a partir de eletrólitos de tipo sulfato ácido semelhantes à galvanoplastia de ácido de cobre. [1]

Os ingredientes do banho para estanho possuem as seguintes funções:

- Sulfato estanhoso: Fornece o íon metálico de estanho;
- Ácido sulfúrico: meio para movimento iônico;
- Aditivos: aumentar o nivelamento da deposição e aumentar o brilho

As composições de banho de vários constituintes da solução são:

- Sulfato estanhoso ( $\text{SnSO}_4$ ) 25 a 30 g / l
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 100 ml / l
- Aditivos
- Ácido fenol sulfônico 30 g / l
- Gelatina 28 g / l
- B-Napthal 1 g / l

As condições de operação típicas são:

- Temperatura 20 a 30 ° C
- Densidade de corrente do ânodo de 0,5 a 1,5 A / dm<sup>2</sup>
- Densidade da corrente de cátodo 1,5 a 3,0 A / dm<sup>2</sup>
- Tensão de 1 a 3 volts
- Agitação: movimento da haste do cátodo, agitação do ar não recomendada e filtração contínua
- Taxa de ânodo para cátodo 2: 1
- Bolsas de ânodo Polipropileno (3 a 10 microns)
- Taxa de revestimento de 1 micron / minuto a 2 A / dm<sup>2</sup>
- Barras de estanho de ânodo 99,99% puro
- Comprimento Comprimento da prateleira menos 5 cm
- Ganchos de titânio ou aço inoxidável (316 graus)

O estanho tem um acabamento lustroso uniforme e a superfície revestida deve ser suave ao toque. Os depósitos de brocas são devidos a componentes e condições de operação fora de equilíbrio. O controle de níveis de aditivos e qualidade de chapeamento pode ser testado com células Hull Cell. O revestimento geral pode ser verificado usando Hull Cell.

Este teste também mostra a necessidade de peptona, aditivos ou tratamento de carbono, bem como a presença de cobre dissolvido na solução.

Nivelamento de ar quente (HAL): O cobre nu na placa de circuito impresso geralmente tende a deteriorar-se com o tempo, resultando em uma má aparência e dificultando a soldagem. Como tal, as placas de cobre nua são aceitáveis apenas para trabalhos experimentais e de prototipagem. Para produtos de alta qualidade, algum tipo de revestimento é aplicado para evitar a ocorrência desses problemas. O tipo mais comum de revestimento é o estanho das faixas de cobre. Isso é feito por estante de rolos ou galvanoplastia. Um processo modificado de revestimento de rolos é o processo de nivelamento de ar quente. [1]

O nivelamento de ar quente é um processo de aplicação de um revestimento fino de liga chumbo-estanho eutética e de chumbo na porção exposta em uma placa de circuito impresso. Esta deposição aumenta a soldabilidade da placa durante as operações de montagem. A solda tem muitas vantagens em relação a outros revestimentos orgânicos convencionais. Estes revestimentos de solda têm uma vida útil muito boa, um tempo de molhagem de solda curto durante a montagem e uma estabilidade mecânica muito alta. A formação de uma ligação intermetálica mesmo antes da montagem de PCB é uma característica única da HAL. Devido à presença de solda em cobre, a PCB pode suportar múltiplas operações de soldagem durante o ciclo de montagem, sem efeito adverso sobre a soldabilidade da placa. A HAL também oferece muitas vantagens no campo do SMD e pacotes de quadros finos. [1]

O procedimento envolve a imersão de uma placa na solda fundida pura e o excesso de ar entre as facas de ar. As etapas para o nivelamento de ar quente são mostradas na Figura 26. As placas são mergulhadas verticalmente em um banho de solda. Eles são então submetidos a explosões de ar quente à medida que são retirados do banho. Este processo remove todo o excesso de solda e limpa vias e furos que deixam uma superfície plana de alta qualidade.

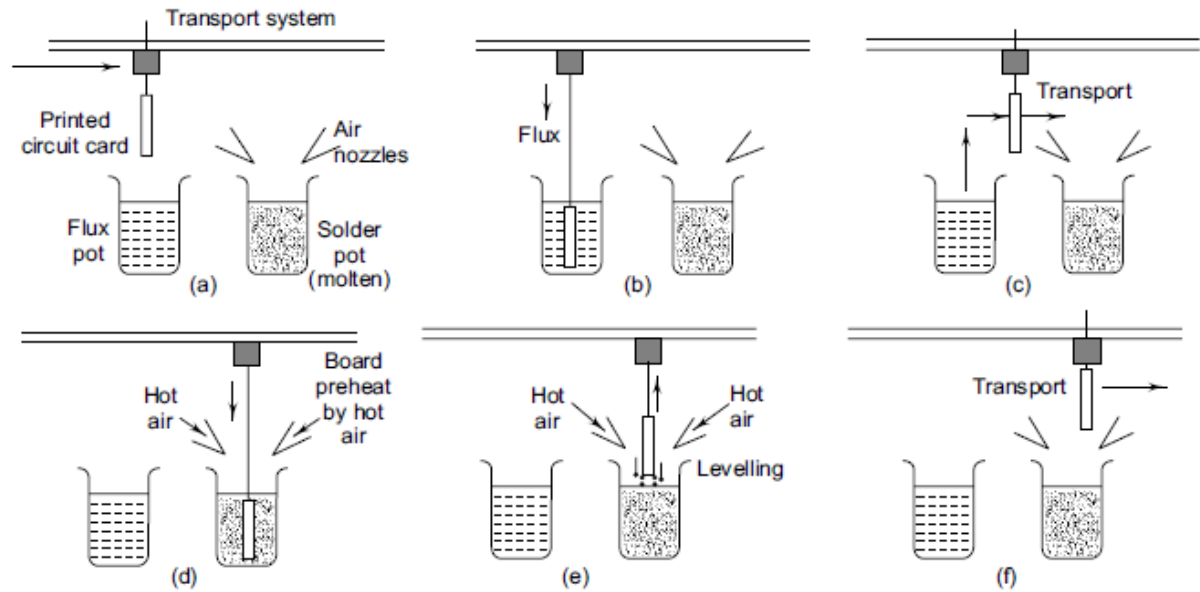


Figura 5: Diagrama de fluxo de processo para nivelamento de ar quente (a) configuração básica (b) circuito impresso imerso em fluxo (c) circuito impresso retirado do tabuleiro de banho de fluxo (d) pré-aquecido com placa de ar quente (e) mergulhada em solda com nivelamento de ar quente (f) excesso de solda removido com facas de ar [1]

#### 2.4.3 ELETRODEPOSIÇÃO COM NÍQUEL

O revestimento de níquel é usado principalmente como um *undercoat* para metais preciosos como o ouro para atuar como uma camada de barreira para evitar a migração de cobre, bem como para aumentar a resistência ao desgaste do revestimento. Conseqüentemente, reduz o depósito mínimo de ouro necessário para uma determinada aplicação.

Normalmente para o revestimento por níquel, os banhos de sulfamato de níquel são usados em conjunto com agentes molhantes. A espessura normal do revestimento do níquel é de 4-6  $\mu\text{m}$ . O sulfamato de níquel é usado tanto como um revestimento inferior para revestimento de furos e em pontas.

A composição de um banho de níquel típico é:

- Sulfamato de níquel 350 ml / l a 750 ml / l
- Cloreto de níquel 15 g / l



- Ácido bórico 30 g / l
- Aditivos conforme necessário

As condições operacionais ótimas são:

- Temperatura 45 - 60 ° C
- pH 3,5 - 4,5
- Densidade da corrente do catódico 2,5 - 10 A / dm<sup>2</sup>
- Barras ou paletes polarizadas de ânodo roladas
- Gancho de titânio
- Sacos de polipropileno
- Comprimento da prateleira menos 5 cm
- Agitação Solução de circulação através da bomba de filtro ou movimento de cátodo
- Taxa de deposição de espessura do chapeamento de 4 microns durante 10 a 15 min durante o chapeamento a corrente é 25 A / ft<sup>2</sup>

Um parâmetro importante relacionado ao revestimento de níquel é o "estresse". Isso se refere à causa do cracking de depósitos. Embora o baixo teor de níquel cause uma fraca corrosão por ânodo (queda rápida no teor de níquel), o cloreto alto causa excesso de estresse. Para evitar isso, o pH, a densidade de corrente e o ácido bórico devem ser mantidos dentro dos limites especificados. A condição de funcionamento do banho e a presença de contaminantes podem ser verificadas pelo teste de células Hull Cell.

#### 2.4.4 ELETRODEPOSIÇÃO POR OURO

Ouro por natureza é suave e, para proporcionar o brilho desejado e maior dureza, é sempre ligado com pequenas quantidades de níquel, cobalto ou índio. Possui boa condutividade elétrica, boa resistência à corrosão e características resistentes a manchas. Embora a tecnologia precoce da placa de circuito impresso tenha usado o ouro extensivamente, devido a problemas de soldagem e alto custo, agora não está completamente revestido nas PCBs. O ouro é revestido

apenas na área do conector de borda e áreas selecionadas de PCBs, pois proporciona baixa resistência de contato e alta resistência ao desgaste. [1]

Normalmente, o revestimento de ouro para a área do conector de borda depende do requisito do cliente. A maior parte do ouro de 5 microns é revestida com uma camada inferior de níquel de 4 microns para conexão de borda. As máquinas de revestimento automático são usadas devido ao controle de espessura aprimorado, uso eficiente de ouro, produtividade e qualidade. Para o controle do processo, o teor de ouro, pH e densidade são mantidos em valores ótimos. Para o controle do pH, o hidróxido de potássio é usado para elevá-lo, enquanto que para abaixá-lo, são utilizados sais ácidos. A condutividade da solução é controlada pela densidade, enquanto pode ser ajustada com células de condutividade. [1]

O ouro é depositado de eletrodo a partir de um banho alcalino, fraco, alcalino, neutro ou ácido para contatos e revestimentos de condutores de alta frequência. Uma grande variedade de banheiras está disponível para prender tanto o metal puro de 24 quilcar e o ouro ligado com quantidades variáveis de metais como o níquel, cobalto, índio, etc.

Conseqüentemente, é possível adaptar o depósito de ouro às necessidades do designer PCB. Os eletrólitos de revestimento de ouro são classificados em quatro categorias: (i) eletrólitos de ouro ácido, (ii) eletrólitos de ouro neutro, (iii) eletrólitos de ouro alcalino e (iv) eletrólitos de ouro sulfato. [1]

Eletrólito de ouro ácido: Eles têm pH variando de 3,5 a 4,5 e contêm níquel ou cobalto. Eles fornecem revestimentos úteis para guias de contato de PCB, da mesma forma que para conectores de borda. A espessura do revestimento é limitada a cerca de 5 microns. No entanto, a espessura normal do revestimento nos condutores de PCB, incluindo contatos, é de 1,25 a 2,5 microns. (Price, 1992) explica que um acabamento de níquel / ouro em PCB de montagem em superfície de linha fina fornece ao montador de placas benefícios significativos.

Eletrólito de ouro neutro: Neutro (pH 6.00 a 8.5) banhos de ouro banhos facilitam a deposição de 99,9 por cento de revestimento puro, quando operado a temperaturas entre 35-45 ° C. Este tipo de revestimento é mais adequado para conectores de borda.

Eletrólitos de ouro alcalino: com pH na faixa de 8,5-13,8, estes não são muito populares na fabricação de PCB, porque eles têm um efeito prejudicial sobre laminados revestidos de cobre.

Eletrólitos de ouro de sulfato: facilitam a deposição de ouro com uma pureza de 98,0-99,9 por cento com distribuição excepcionalmente uniforme em todo o painel. Isso resulta em

economia de ouro em até 20 a 40 por cento em banho de sulfito em comparação com o banho ácido convencional. No entanto, a sua desvantagem reside na sua extrema sensibilidade às variações de pH: por exemplo, se o pH cair abaixo de 8, o ouro é rapidamente reduzido.

Os ingredientes de banho ácidos utilizados são:

- Cianeto de potássio de ouro de 6 a 10 g / l
- Cobalto 0,15 a 0,25 g / l
- Citrato de potássio A ser adicionado ao eletrólito para manter a densidade em
- 10 a 15Be

As condições de operação para o banho de ácido são:

- Temperatura 30 - 40 ° C
- pH 3,8 a 4,5
- Corrente de cátodo 0,3 a 1,5 A / dm<sup>2</sup>
- Anodo Platinized Titanium
- Gancho de titânio platinado
- Agitação de ar livre de óleo e movimento de cátodo
- Composição do depósito 99,8 ou 99,7 por cento de ouro
- 0,2 a 0,3 por cento de cobalto
- Taxa de deposição de 5 micron de espessura dentro de 13 mts à densidade de corrente de
- 1,0 A / dm<sup>2</sup>

## 2.5 PROBLEMAS GERAIS COM REVESTIMENTO

Se os parâmetros do processo não forem adequadamente mantidos, resultará em um acabamento de baixa qualidade. Os problemas que podem aparecer depois do chapeamento são:

a) Baixo poder de lançamento;

- b) Soldabilidade ruim;
- c) Corrosão inadequada do ânodo;
- d) Defeitos de superfície [barracas, poços, vazios, orifícios e inclusões];
- e) Vida no banho; e
- f) Depósitos opacos.

Portanto, é necessário manter os parâmetros do processo para minimizar as variações na composição, temperatura e contaminantes do banho.

## 2.6 DEFEITOS GERAIS NO REVESTIMENTO

### 2.6.1 VAZIOS

Se os furos não forem perfurados e limpos adequadamente durante o revestimento eletrolítico, gases ou produtos químicos orgânicos são aprisionados ou acumulados nas paredes dos furos. Quando as placas são soldadas em onda ou pré-aquecidas, os produtos químicos ou gases presos escapam com alta pressão e causam descontinuidades ou fissuras nas paredes do furo. Estes são chamados vazios. A Figura 27 mostra uma seção transversal vertical da PTH que ilustra os vazios de cobre típicos.

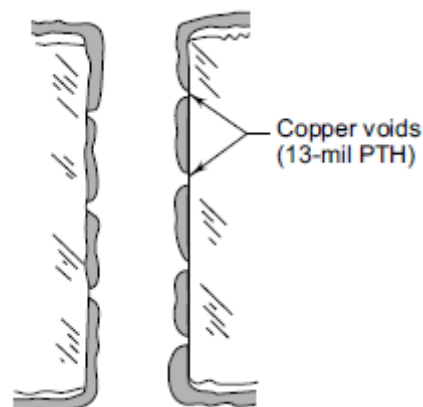


Figura 6: Seção transversal vertical de um PTH

### 2.6.2 BLOW HOLES

Durante o revestimento e a fabricação de revestimentos de cobre, algum ar pode ficar preso entre as camadas de cobre ou entre o cobre e o material de base. Este ar sai quando a placa é submetida a altas temperaturas, como no processo de soldagem. Isso resulta em fissuras no padrão de revestimento, o que dá origem a furos de sopro. Pequenos vazios também produzem buracos de sopro.

### 2.6.3 OUTGASSING

Os nódulos pinholes ou pequenas "erupções do vulcão" são formados durante a fusão da superfície de estanho-chumbo. Isso é mostrado na Figura 28. Isto é devido à co-deposição de aditivos orgânicos durante a galvanoplastia de estanho-chumbo. Isso é corrigido por tratamento de carbono em lote.

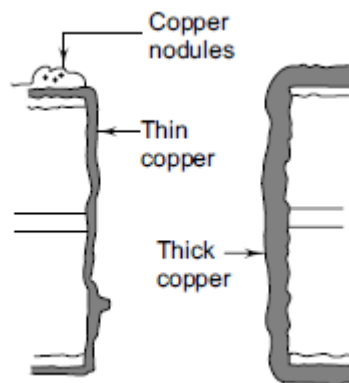


Figura 7: Corte transversal vertical da PTH, que ilustra um revestimento de cobre desigual e espesso. Nódulos devido à contaminação de partículas também são mostrados [1].

### 2.7 NORMAS UTILIZADAS

- IPC-4552: Especificação para Placas de circuito impresso de níquel / imersão eletrolítico (ENIG) para placas de circuito impresso: define os requisitos para o uso de

ouro de imersão de níquel sem eletrólito como acabamento de superfície para placas impressas e inclui requisitos de espessuras de depósitos com base em critérios de desempenho.

- IPC-HDBK-830: Diretrizes para Design, Seleção e Aplicação de Revestimentos Conformais:
- Uma compilação da experiência prática da indústria de revestimento conformal para auxiliar os designers e usuários de revestimentos conformados a fazer escolhas informadas.
- IPC-SM-840C: Qualificação e desempenho da máscara de solda permanente - inclui a alteração 1: cobre os requisitos para a qualificação e conformidade de qualidade da máscara de solda líquida e seca.
- IPC-SM-839: Diretrizes de limpeza da aplicação de máscara de pós e pós-solda: abrange todos os aspectos da limpeza relacionados à aplicação da máscara de solda, incluindo a preparação da placa, o controle no processo e a manutenção da limpeza durante os processos de pré-montagem.

### 3. METODOLOGIA ADOTADA

#### 3.1 METALIZAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Considerando a revisão bibliográfica no capítulo 2 referente as formulações existentes e utilizadas na indústria, foi pensado uma maneira mais econômica e viável para preparo destas soluções. O processo de eletrodeposição foi adotado para os testes de metalização em PCIs de dupla face. Desta forma, a solução ativadora para sensibilização das paredes dos furos é o primeiro passo a ser feito. Os reagentes utilizados para esta solução ativadora foram:

- Água Destilada ( $H_2O$ ) – 180 ml
- Sulfato de Cobre Pentahidratado ( $CUSO_4 \cdot 5H_2O$ ) – 30g
- Hipofosfito de Cálcio ( $Ca(H_2PO_2)_2$ ) – 32g
- Solução de Hidróxido de Amônio a 10% ( $NH_4OH$ ) – 100ml

- Sabonete Líquido Neutro e sem Corantes – 6ml

A sequência de passos para o preparo dessa solução é mostrada a seguir:

- 1- Dissolva 30g de sulfato de cobre em 140ml de água destilada
- 2- Junte na solução 22g de hipofosfito de cálcio e misture durante 5 minutos. Quando juntar o hipofosfito de cálcio na solução, aparecerá sedimento que mudará a cor da solução para azul claro. Pode parecer que o sedimento é o hipofosfito que não dissolveu, mas na verdade este sedimento é resultado da reação química entre o sulfato de cobre e o hipofosfito de cálcio. É importante mexer a solução para que a reação aconteça por completo.
- 3- Filtre a solução usando papel filtro e coador de café. Não use filtros feitos de pano. O processo poderá ser lento devido ao sedimento. Não jogue o filtro de papel com o sedimento! A solução filtrada terá uma coloração mais clara do que a solução inicial que tinha apenas sulfato de cobre.
- 4- Passe pelo filtro de papel com sedimento mais 40ml de água destilada, juntando as duas soluções filtradas.
- 5- Elimine o filtro com o sedimento e junte lentamente 100ml de solução de hidróxido de amônio a 10% mexendo sem parar. Quando o hidróxido de amônio estiver sendo despejado na solução, novos sedimentos aparecerão e deixarão a solução opaca e cada vez mais grossa com aspecto de creme. Com aproximadamente 65ml do hidróxido de amônio despejado na solução, ela começará a se tornar cristalina novamente e com um tom roxo e o sedimento será todo dissolvido deixando a solução líquida novamente. Quando todo o hidróxido de amônio tiver sido misturado na solução, ela deverá ter o aspecto líquido cristalino com uma cor azul profundo e um forte cheiro de amônia.
- 6- Adicione 6ml de sabonete líquido neutro sem corantes. Ele serve para quebrar a tensão superficial na superfície da placa e conseqüentemente nas paredes dos furos.
- 7- Adicione 10g de hipofosfito de cálcio na solução. Parte dela irá se dissolver e parte ficará sob forma de sedimento no fundo do frasco.

- 8- Deixe a solução repousar por pelo menos 20min e verifique se há sedimento de hipofosfito de cálcio no fundo do frasco. Caso não exista sedimentos, repita os procedimentos 7 e 8.

A solução está pronta para uso e poderá ser guardada por muito tempo sem perder suas propriedades, desde que em local seco, fresco, e com frasco bem fechado. Verifique sempre se há sedimento no fundo do frasco, e caso não tenha, adicione mais hipofosfito de cálcio.

Com base nos objetivos do projeto, as placas de circuito impressa foram metalizadas utilizando a sequência de passos da figura 19:

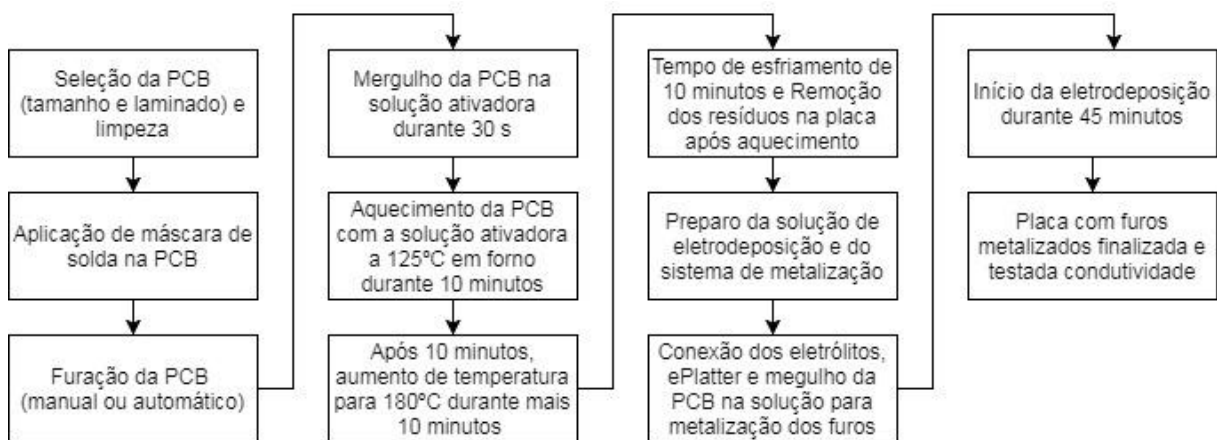


Figura 8: Diagrama de blocos – passos para metalização de furo de PCI

Do diagrama de blocos acima, de forma geral se pode elencar os seguintes passos:

1. Foram selecionadas como placa de teste, 2 PCBs de dupla face com laminado FR4 de tamanho 92x43 cm e feita sua limpeza utilizando palha de aço;
2. Foi aplicada máscara de solda na cor azul em um dos lados da PCB;
3. Foram feitos 21 furos no total, começando com diâmetros de 0.8mm até 3.2mm em passos de 0.4mm e com três furos para cada diâmetro;
4. Foi preparada a solução ativadora em uma bacia de plástico e mergulhada a PCB de teste durante 30s para preencher os seus furos com a solução;
5. Após preenchimento dos furos, as placas foram colocadas em uma bandeja de alumínio e levada para forno elétrico a uma temperatura de 125°C durante 10 minutos;
6. Após 10 minutos, a temperatura do forno foi elevada para 180°C durante mais 10 minutos;



7. Após 10 minutos a 180°C, foi aberta a tampa do forno elétrico e a placa começou a resfriar durante 10 minutos e após esse tempo foi levado para enxague dos resíduos que ficaram após a pirólise da solução ativadora;
8. Foi preparada a solução de eletrodeposição em um béquer de 1L e de todo sistema de metalização como os eletrodos, E-Platter, fonte de alimentação e demais componentes;
9. Foram feitas todas as conexões para deixar o sistema de metalização pronto para operação e então mergulhada as duas placas de teste na solução de eletrodeposição;
10. É iniciada a eletrodeposição de cobre sobre os furos das placas de teste durante 45 minutos com corrente controlada pela placa E-Platter e ciclos de clock.
11. Placa finalizada e teste elétrico para verificação da condutividade entre as camadas

Foi realizado 1 ensaio no total. No capítulo 4, será apresentado os resultados desses ensaios para duas placas de teste com laminado FR-4, cada uma com 21 furos, começando com diâmetro de 0.8mm e aumentando em passos de 0.4mm até furos com diâmetros de 3.2mm, sendo que para cada diâmetro foram realizados 3 furos.

#### 4. IMPLEMENTAÇÃO DOS PROCESSOS TECNOLÓGICOS

Neste capítulo, foram analisados, com base na revisão bibliográfica do capítulo dois, a implementação dos processos tecnológicos utilizados para metalização de furos de PCI. O autor desse trabalho utilizou placas de dupla face com laminado de fibra de vidro. Para a metalização da placa foram utilizadas soluções químicas produzidas no laboratório de química da Faculdade UnB Gama.

Uma das maiores dificuldades para a confecção de uma PCI aqui no Brasil, podendo ser considerado até mesmo uma limitação, seja a dificuldade em metalizar seus furos. Em outros países existem kits para esta finalidade que possuem produtos químicos capazes de fazer a metalização de forma rápida e fácil. Em alguns casos onde queremos apenas ligar uma camada a outra, a metalização pode ser contornada usando um pedaço de fio ligando as duas vias, mas existem casos onde um componente PTH deve ser inserido e a trilha fica do mesmo lado do componente tornando quase impossível a soldagem. Muitos dos que não podem abrir mão de

ter uma PCI com furos metalizados tem como única saída enviar o layout para empresas especializadas em protótipos, que cobram caro pelo serviço.

Foi preciso pesquisar por alguns meses uma forma caseira de se fazer protótipos com qualidade o mais próximo da industrial a ponto de não depender mais dessas empresas. Fazer PCI com método caseiro tem vantagens como economia de tempo, dinheiro e o trabalho ser mais flexível para alterações de forma ágil sem depender de terceiros.

Os principais métodos para revestir um substrato com metal foram abordados no capítulo 2, sendo eles: deposição química (electroless plating) e a galvanoplastia ou eletrodeposição (electroplating). Na deposição química o objeto a ser revestido de metal passa por vários banhos até ganhar uma camada de metal. Na eletrodeposição o objeto é mergulhado em uma solução ácida com o sulfato do metal desejado e então é ligado ao polo negativo de uma fonte de energia elétrica. O polo positivo é ligado a um eletrodo feito com o mesmo metal que se deseja depositar na superfície do objeto. A parte boa deste método é que ele tem um custo baixo e os reagentes não são tão perigosos, porém só é possível metalizar uma superfície condutora. Industrialmente se usa uma solução a base de paládio coloidal para ativar superfícies não condutoras e esta solução é extremamente cara.

Para metalização de furos de PCI desenvolvidos pelo autor deste trabalho, foi utilizada uma placa chamada E-Platter, aparelho desenvolvido para fazer eletrodeposição pulsada (PED). Este aparelho foi projetado por Ricardo Trombeta, do blog Engenharia Caseira [9]

Pesquisas revelam que as moléculas na superfície de um material eletricamente depositado usando corrente contínua apresentam-se por vezes desorganizado o que pode resultar em uma superfície irregular e enrugada. [9]

É possível controlar a composição e espessura da camada depositada em uma ordem atômica através da configuração da amplitude e largura de um pulso. Os pulsos favorecem a iniciação dos núcleos de grãos e ampliam o número de grãos por unidade de superfície resultando no mais fino depósito com melhores propriedades. [9]

As características técnicas do E-Platter são apresentadas a seguir:

- Alimentação: 12V DC
- Corrente máxima de saída: 7A
- Sequência de loop do pulso: A+ K-, repouso, K+ A-, repouso
- Período mínimo de cada estágio do pulso: 10uS

- Período máximo de cada estágio do pulso: 127.5mS
- Período mínimo de funcionamento do gerador de pulsos: 1 min. Período máximo de funcionamento do gerador de pulsos: 120 min.
- Interface: Display, Teclas e Potenciômetro
- Microcontrolador: PIC16FK22 8 bits RISC 64Mhz Tipo de licença: Código Aberto

O diagrama esquemático do E-Platter encontrado em [9], é mostrado a seguir:

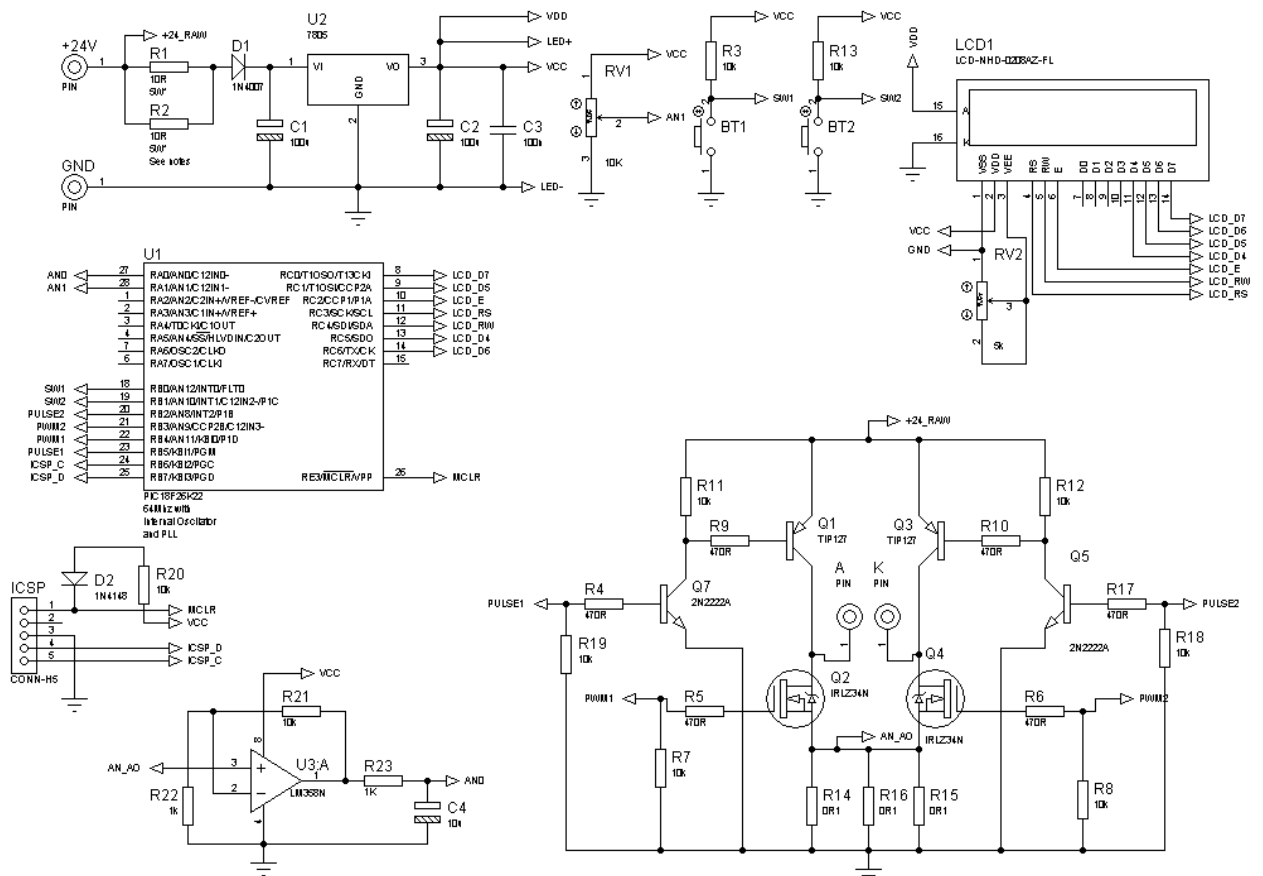


Figura 9: Circuito para eletrodeposição pulsativa e com pulso reverso. Adaptado de [9].

controlam a deposição e são chamados de “brighteners”. Isso pode ser feito eletronicamente se for possível manipular a forma de onda e aplicar na deposição.

O circuito da figura acima foi desenvolvido para permitir gerar a forma de onda e a corrente a ser aplicada aos eletrodos durante a deposição. É possível ajustar o tempo do pulso em nível alto, em nível baixo (repouso), em nível alto com polaridade invertida (pulso reverso) e mais um repouso antes de reiniciar o ciclo com resolução de 10 $\mu$ s.

Isto funciona como um sinal PWM, pois se tem uma frequência fixa que será definida dependendo dos valores que forem programados em cada parâmetro. Mas não é só isso que ele

faz, por trás dos pulsos que ele gera, ainda existe um PWM rodando a 100KHz que controla a intensidade de cada pulso. Os pulsos gerados pelo E-Platter com PWM a 100% é visto abaixo:

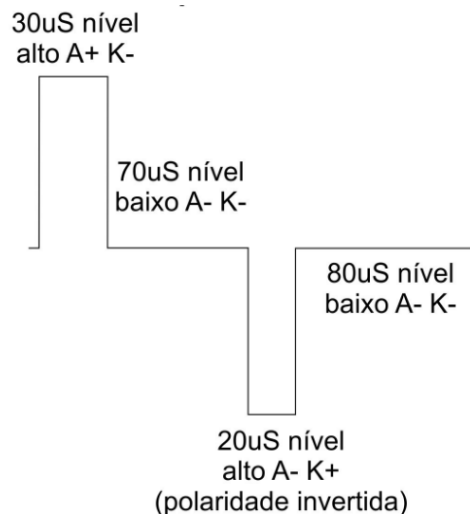


Figura 10: Pulsos gerados pelo E-Platter com PWM a 100%. [9]

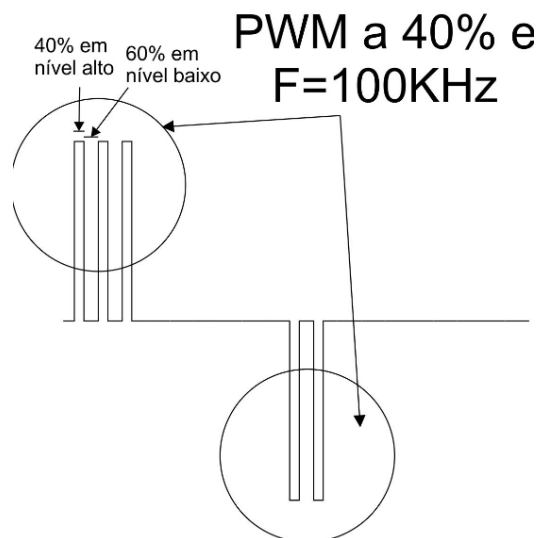


Figura 11: Pulso gerado pelo E-Platter com o PWM a 40% tanto no pulso quanto no pulso reverso[9]

A resolução é propositalmente de 10µs, pois com o PWM rodando a 100Khz, se tivéssemos uma resolução maior, de nada adiantaria devido a frequência e resolução do PWM usados no projeto. [9]

A seguir a placa E-Platter V2.0 utilizada para eletrodeposição. A placa foi feita em uma empresa de fabricação de PCI. O autor deste trabalho realizou a montagem da placa com a solda dos componentes.

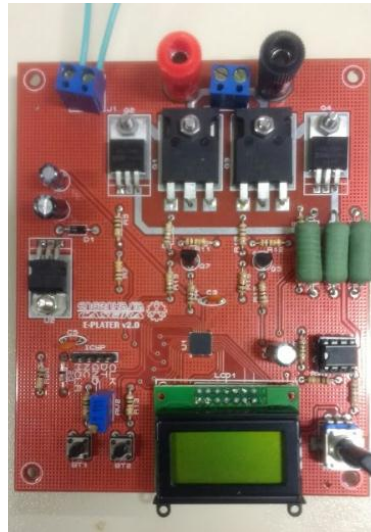


Figura 12: Placa montada E-Platter V2.0

Adicionalmente, o esquemático do E-Platter capturado pelo autor deste trabalho no Proteus 8.5 Professional, para possibilitar a geração de layout e fabricação do E-Platter v2.0 pelo autor deste trabalho, sem a necessidade de adquirir a placa para montagem é visto na figura a seguir:

A seguir é apresentado algumas fotos que ilustram o processo de metalização feito pelo autor deste trabalho no laboratório de química da FGA:

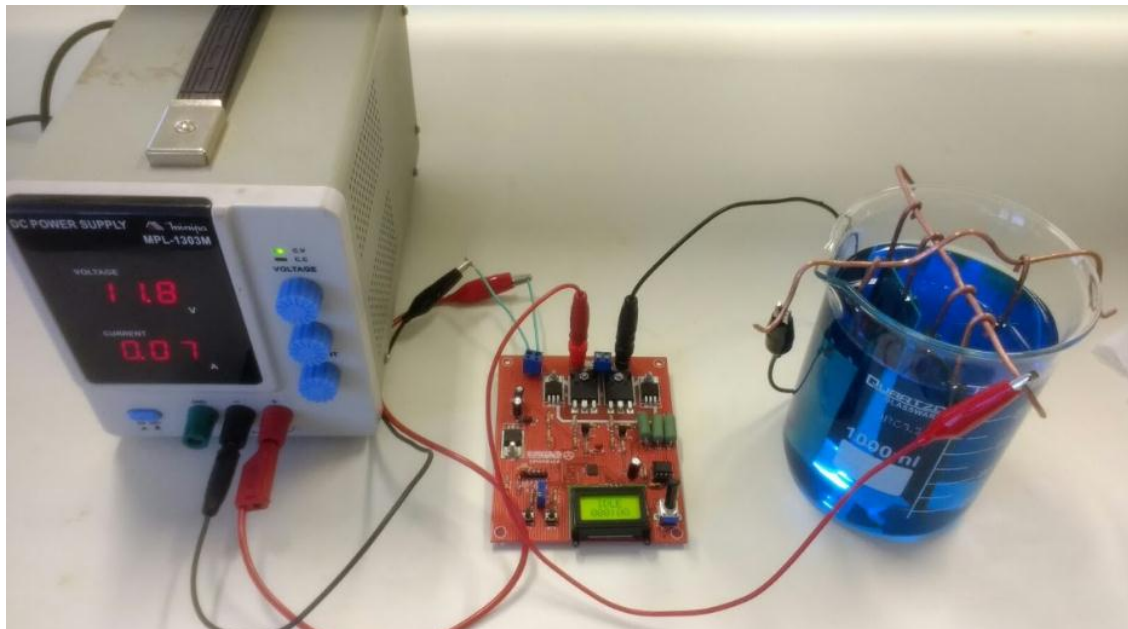


Figura 13: Sistema de metalização constituído por Fonte de alimentação, E-Platter V2.0 e Placas imersas na solução de eletrodeposição para o processo de eletrólise

Foram feitos 2 testes no total com essa solução, e em cada tentativa se ajustava parâmetros para se ter um melhor resultado na próxima tentativa. Foi produzido um gabarito com 21 furos partindo de 0.8mm até 3.2mm e depois conferido a condutividade de cada furo na placa.

Para o primeiro ensaio, os passos elencados na figura 19 do capítulo 3, podem ser vistos a seguir:



Figura 14: Passo 1 e 3



Figura 15: Passo 2



Figura 16: Passo 4

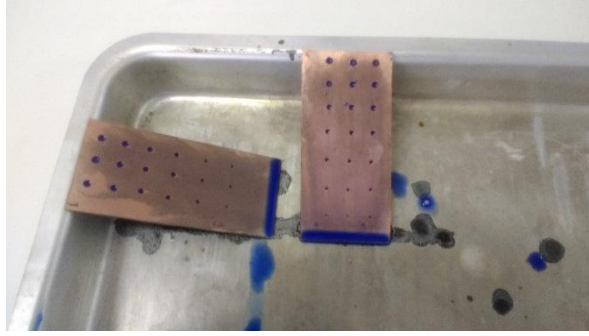


Figura 17: Passo 5



Figura 18: Passo 6 e 7



Figura 19: Passo 8

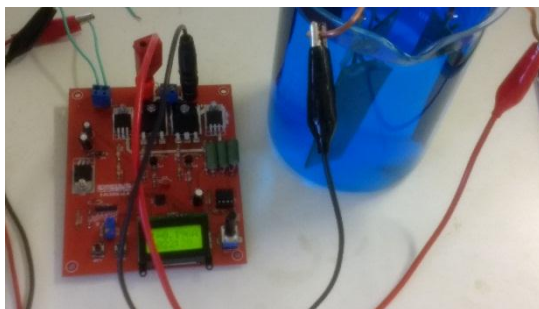


Figura 20: Passo 8

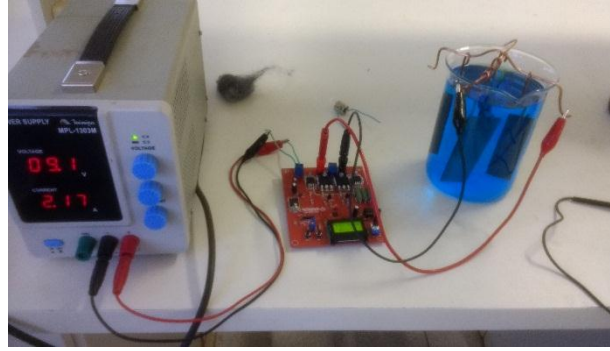


Figura 21: Passo 10



Figura 22: Passo 11

Será apresentado em algumas tabelas a seguir, os dados coletados durante o ensaio 1 que abrange medidas como: comprimento e largura da placa, peso da placa antes de ser furada, após ser furada, antes de aplicar a máscara de solda, após a eletrodeposição e após passar pelo forno e todos os dados relativos aos passos da figura 19 a fim de comprovar com a teoria as fórmulas da 1ª e 2ª Lei de Faraday apresentadas no capítulo 2 deste trabalho. Após análise da tabela, serão discutidos os seus principais resultados.

Tabela 3: Medidas da altura e comprimento das placas do ensaio 1 em mm.

	Comprimento Placa 1	Altura Placa 1	Comprimento Placa 2	Altura Placa 2
	$43,5 \pm 0,05$	$91,5 \pm 0,05$	$46,2 \pm 0,05$	$86,2 \pm 0,05$
	$43,3 \pm 0,05$	$91,8 \pm 0,05$	$46,3 \pm 0,05$	$86,3 \pm 0,05$
	$43,2 \pm 0,05$	$92 \pm 0,05$	$46,3 \pm 0,05$	$86,5 \pm 0,05$
	$42,3 \pm 0,05$	$91,6 \pm 0,05$	$46,4 \pm 0,05$	$86,6 \pm 0,05$
	$42,6 \pm 0,05$	$91,8 \pm 0,05$	$46,5 \pm 0,05$	$86,7 \pm 0,05$



Média	42,98 ± 0,05	91,74 ± 0,05	46,34 ± 0,05	86,46 ± 0,05
-------	--------------	--------------	--------------	--------------

Da tabela 3 acima, pode-se ver que foram realizadas cinco medidas em diferentes pontos da placa para ter uma média de suas medidas, uma vez que o corte da placa foi feito utilizando uma Dremmel4000, seu corte não saiu perfeito bem como as medidas de suas dimensões quando se parte de um ponto fixo. Por essa razão, foram realizadas medidas experimentais e calculada uma média a fim de minimizar o erro das dimensões das duas placas. Foi utilizado um paquímetro digital para todas as medidas da placa com incerteza do instrumento de 0,05mm.

A tabela 4 a seguir mostra as medidas levantadas em relação aos pesos da placa:

Tabela 4: Peso das placas do ensaio 1 em g.

	Peso	Furada	Com a Máscara de Solda	Forno	Após Eletrólise do cobre	Diferença entre forno e eletrólise
Placa 1	12,7 ± 0,5	12,5 ± 0,5	12,524 ± 0,0005	12,507 ± 0,0005	12,570 ± 0,0005	0,063 ± 0,0005
Placa 2	13,6 ± 0,5	13,3 ± 0,5	13,550 ± 0,0005	13,432 ± 0,0005	13,490 ± 0,0005	0,058 ± 0,0005

Da tabela 4 acima, pode-se ver que foram realizadas medidas em diversas etapas do processo conforme ilustrado na figura 19 do capítulo 3 deste trabalho, para mensurar de forma mais efetiva possível o cálculo do peso do depósito e espessura de depósito de cobre sobre a placa. A incerteza nas medidas do peso da placa e com ela furada foi apenas de ± 0,5 uma vez que foi utilizada uma balança de precisão do autor deste trabalho que continha apenas 1 casa decimal após a vírgula. As demais medidas do peso da placa com a máscara de solda, após passar pelo forno, pela eletrólise e a medida da diferença de peso entre o forno e a eletrólise para determinar quanto de cobre foi depositado, foram pesados com balança analítica do laboratório de química da Faculdade UnB Gama, que possui 3 casas decimais de precisão, portanto, apresentando a incerteza ± 0,0005 visto na tabela 4.



Figura 23: Peso da Placa 1 (à esquerda) e da Placa 2 (à direita) após aquecimento em forno ilustrando os passos 6 e 7



Figura 24: Peso da Placa 1 (à esquerda) e da Placa 2 (à direita) após eletrólise ilustrando os passo 11

Da tabela 7 podemos ver o valor do peso depositado de cobre, que é a diferença de peso das placas 1 e 2 em relação à quando ela sai do forno, após passar pela solução ativadora e ir para a eletrólise, como 0,063g ou 63mg para a placa 1 e de 0,058g ou 58 mg de cobre depositado para a placa 2. Conforme descrito no capítulo 2, a fórmula na teoria para estimar o peso de depósito de cobre na eletrodeposição é dada pela Lei de Faraday. Considerando que para a Placa 1 e a Placa 2 o tempo de deposição foi de 30 minutos, com um densidade de corrente  $J = 0,12 \text{ A/cm}^2$ , tendo sido utilizada uma corrente média ao longo dos 30 minutos, que variou conforme ilustrado no display do E-Platter durante o tempo que foi monitorada a eletrodeposição de 0,12 A, e considerando que o peso atômico do cobre  $M_{\text{Cu}} = 63,546 \text{ g/mol}$  e a sua valência  $n = 2$ , chegamos no seguinte resultado para o peso de depósito de cobre para as placas 1 e 2:

$$P = \frac{I \cdot t \cdot A}{96500 \cdot n} = \frac{0,12 \cdot 1800 \cdot 63,546}{96500 \cdot 2} = 0,071111g \quad (8)$$

Dessa maneira, pode-se ver que o erro relativo percentual na medida considerando os valores experimentais da tabela 7 e teórico foi de:

$$E = \frac{|Valor\ exato - Valor\ aproximado|}{Valor\ exato} * 100 = \frac{0,0711 - 0,063}{0,0711} * 100 = 11,39\% \quad (9)$$

Considerando que o monitoramento da corrente pela placa E-Platter pelo autor deste trabalho não foi com supervisão constante, tendo que ter saído em alguns momentos e pela estimativa ter sido um chute baseado na corrente inicial que apresentava no display e no final da deposição, o erro de 11,39% já era esperado e se pode considerar como muito bom dado as circunstâncias de eletrodeposição para o primeiro ensaio.

Além do peso de cobre depositado também foi calculado a espessura de depósito do cobre. A fórmula teórica para esse cálculo é vista a seguir:

$$L = \frac{P}{ad} \quad (10)$$

Onde, “a” é a área depositada das placas 1 e 2 e “d” a densidade do material depositado. O cobre tem uma densidade  $d = 8,93 \text{ g/cm}^3$ .

Aplicando-se a equação acima obtêm-se para a placa 1:

$$L = \frac{P}{ad} = \frac{0,0711}{39,429 \cdot 8,93} = 2,019 \mu m \quad (11)$$

Para a placa 2 temos:

$$L = \frac{P}{ad} = \frac{0,0711}{40,065 \cdot 8,93} = 1,987 \mu m \quad (12)$$

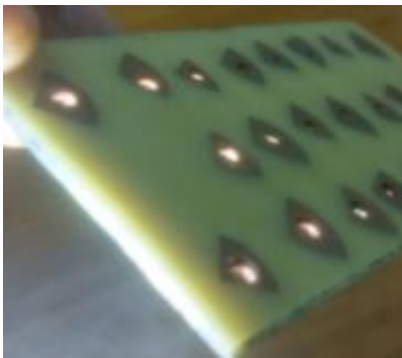
Como descrito no capítulo deste trabalho, para processos de galvanoplastia essa espessura estava dentro do esperado com os parâmetros que foram utilizados nesse ensaio.

Dessa forma, podemos elaborar uma tabela resumo com todas as informações que foram importantes em todo o processo:

Tabela 5: Dados centrais do ensaio número 1

	Área	Peso depositado experimental	Peso depositado teórico	Erro relativo percentual	Espessura do depósito de cobre
Placa 1	39,429 cm <sup>2</sup>	0,063 g	0,07111 g	11,39%	2,019 μm
Placa 2	40,065 cm <sup>2</sup>	0,058 g	0,0711 g	18,43%	1,987 μm

Para fins de comprovação de que o furo foi realmente metalizado e houve depósito de cobre, foram tiradas algumas fotos com alguns de seus furos coberto por solda a seguir:



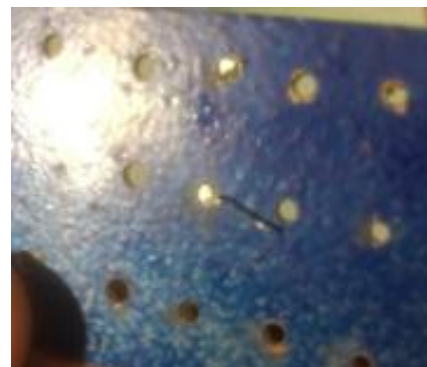
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 25: (a) Foto da placa teste de lateral evidenciando pelo reflexo do cobre na incidência de luz que o cobre está depositado no furo face a lateral da placa que não tem cobre e fica verde (b) e (c) e (d) Solda apenas nas paredes internas do furo, evidenciando a metalização dos furos.

#### 4.1 DISCUSSÃO

Nesta seção, são feitos comparativos em relação aos tipos de soluções químicas utilizadas industrialmente para o processo de eletrodeposição de cobre em relação as feitas artesanalmente em laboratório de química, mostrando suas vantagens ou desvantagens para o processo de fabricação de furos metalizados para PCIs descritos ao longo deste trabalho.

Para o processo de metalização de furos de PCIs utilizadas neste trabalho, a melhor precisão alcançada foi revestimento dos furos no diâmetro de 0.8mm. A densidade de corrente se manteve baixa, com  $J = 0,12A/cm^2$ , o que é uma vantagem já que alta corrente pode provocar aparição de bolhas e consequentemente aumentar a resistência da solução. O sistema montado para eletrodeposição seguiu o recomendado na literatura, utilizou-se uma fonte de alimentação regulada em 12V que fornecia no máximo 2A, de modo a não elevar bastante a tensão de 12V, uma vez que a placa E-Platter suporta uma tensão de no máximo 12V.

É importante salientar que o mais importante no processo de metalização de furos é a solução ativadora que foi aplicada nas paredes dos furos das PCIs, pois é ele que faz com que as superfícies do substrato e as paredes dos furos sejam acessíveis ao cobre na eletrodeposição. Por causa disso foi redobrada a atenção quanto ao preparo desta solução, que utiliza como reagentes sulfato de cobre pentahidratado, hipofosfito de cálcio, solução de hidróxido de amônio, água destilada e sabão líquido neutro para quebrar a tensão superficial no substrato da placa.

Na literatura, foram encontradas formulações para solução ativadora que envolve a imersão da placa em uma solução ácida contendo íons de estanho, que reduzem os íons de paládio e então o estanho é removido deixando a camada de paládio pronta para deposição de cobre. A desvantagem de utilizar a solução ativadora/catalítica no método industrial é o seu preço, pois paládio é muito caro, além disso, é necessária uma bomba de ar no banho para agitar a solução para criar uma temperatura uniforme durante todo o processo de ativação, o que na solução feita pelo autor deste trabalho não tem necessidade.

Em relação a solução para revestimento de cobre eletrolítico, foi preparada uma solução na categoria de temperatura ambiente, feita em laboratório de química utilizando os seguintes reagentes: água destilada, sulfato de cobre, ácido sulfúrico, ácido clorídrico e polietilenoglicol. Em comparação com as soluções de eletrodeposição encontradas na literatura e citados neste trabalho no capítulo 2, temos os seguintes reagentes: Sulfato de cobre, tartarato de sódio e potássio, formaldeído, hidróxido de sódio, carbonato de sódio, cianeto de potássio e agente molhante.

Os seus parâmetros em relação a temperatura é que deve ser mantida entre 15 a 30°C, ter um pH entre 11 e 13 e sua deposição fornece de 1 a 1,6 microns por hora. Nestas condições fica mais fácil obter a deposição de uma fina camada de cobre. A desvantagem da solução industrial mais uma vez acaba sendo a complexidade da solução, seu custo elevado e dificuldade de obter esses reagentes em distribuidores nacionais. No ensaio 1 realizado pelo autor deste trabalho, foi dito com base na tabela 8 no capítulo quatro que a espessura de cobre depositado para placa 1 e 2 foi aproximadamente de 2 microns, o que era esperado segundo a revisão bibliográfica realizada.

## 5. CONCLUSÃO

Os objetivos deste trabalho quanto aos processos de metalização de furos de PCIs foram alcançados como desejado, tanto no preparo das soluções feitas pelo autor deste trabalho como a de ativação para que as paredes dos furos da PCI sejam acessíveis ao cobre na eletrodeposição, como na solução de eletrodeposição feita onde será feita a deposição do cobre. Na teoria da revisão bibliográfica feita, foram levantados os parâmetros mais importantes e comparados com o que está na teoria e o que foi constatado na prática. Por exemplo, algumas informações importantes teóricas era o cálculo do peso de depósito do cobre após a eletrodeposição e a espessura de cobre depositado sobre a placa.

Os resultados que foram obtidos experimentalmente foram ótimos considerando que foi apenas um ensaio de teste e o autor deste trabalho ficou por realizar um segundo ensaio para obter melhores resultados. Os resultados apontaram um erro relativo percentual em relação ao peso de depósito de cobre teórico e experimental de 11,39% para a placa 1 e de 18% para a placa 2, e esse erro foi principalmente pela falta de monitoramento constante ao longo do período de deposição, uma vez que a densidade de corrente começou menor e aumentou durante os 30 minutos que as placas ficaram imersas na solução de eletrodeposição. Já em relação a espessura de cobre depositado, foram obtidos 2 microns o que também é muito bom, uma vez que na solução de eletrodeposição citadas na literatura diziam que a espessura depositada varia entre 1 a 1,6 microns por hora. Foi conseguido uma espessura até maior com a metade do tempo.

Desta forma, pode-se concluir que no comparativo de soluções químicas industriais utilizadas em processos de revestimento metálico por eletrodeposição que estão na literatura com soluções caseiras, e obter uma boa eficiência em metalização de furos a partir de 0.8mm até 3.2mm que foram testadas.

Validar um dos processos na fabricação de furo metalizados de PCIs sem dúvidas, foi um dos principais pontos fortes deste trabalho, já que foram utilizados uma grande quantidade de reagentes químicos diferentes. Outro ponto forte deste trabalho foi a placa E-Platter, que facilitou no processo de eletrodeposição de cobre no substrato desejado. Seus objetivos foram alcançados quase que totalmente, pois não foi possível colocar em operação a placa em seu limite de funcionamento de corrente, que é de 5 A, tendo sido utilizado uma fonte de alimentação mais simples que pôde fornecer até 2 A de corrente, mas que não comprometeu o resultado esperado.

## 5.1 Referências Bibliográficas

- [1] Khandpur, R. S, 2006, “Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, Assembly and Testing”, Ed. Mc Graw Hill, Mohali, CEDTI, Mohali, 707p.
- [2] Fjelstad, J. (2001) Flexible Thinking, Internet Note, [www.circuit-tree.com](http://www.circuit-tree.com).
- [3] Bosshart, W.C (1983) Printed Circuit Boards, *Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.*, New Delhi.
- [4] Braun, M.S.W. (2003) PCB Handbook for Assembling and ESD Control, *CEDTI*, January 2003, p. 25
- [5] Braun, M.S.W., (2002), PCB Design Hand Book, *CEDTI*, Mohali.
- [6] Biancini A.J , Supernova (1991) Advanced Surface Mount Design for Manufacturability, *Electronic Packaging and Production*, March 1991, p. 40
- [7] Ferrari, G. (1997) The Evolution of New Design Standards, *Circuits Assembly Asia*, May/ June 1997, p. 32.
- [8] Camilo, E. (2015) Propostas de Design de Layout da PCI para redução de custo de solda a onda, para processo de montagem de placa eletrônica
- [9] <http://www.engenhariacaseira.com.br/blog/?p=38> Acessado dia 30/06/2017
- [10] Chandrasekar M.S, Pushpavanam Malathy (2007) Pulse and pulse reverse plating – Conceptual, advantages and applications.
- [11] JARDIM, Wilson de Figueiredo. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, Out 1998, vol 21, nº 5, p.671-673.
- [12] Normas de Gerenciamento de Resíduos Químicos do Instituto de Química da UNICAMP, disponível em: <http://www.iqm.unicamp.br/>. Acessado em: 26/07/2011.
- [13] Resolução CONAMA 430/2011, disponível em, <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em : 26/07/2010.
- [14] SANTANA, Genilson Pereira. Elemento-traço ou metal Pesado? Disponível em: <http://www.cq.ufam.edu.br/>. Acessado em: 06 mar 2012.



## 5.2 ANEXOS

**5.2.1 Configuração do E-Platter:** Vamos começar pelas chaves. Para facilitar vamos chamar de botão A (esquerda) e B (direita).

- Para entrar no setup, pressione o botão B e segure por 5 segundos.
- Para alterar o valor de um parâmetro, use o potenciômetro.
- Para confirmar o valor e prosseguir para o próximo parâmetro ou gravar caso esteja no ultimo parâmetro, pressione o botão B.
- Para sair do setup em qualquer momento sem gravar, pressione o botão A.
- Para iniciar o gerador de sinais pressione o botão B seguido do botão B novamente.
- Para interromper o loop do gerador de sinal, pressione qualquer botão durante o loop.

1-(A>K +Wid) controla o tempo em que o e-plater emitirá o pulso com o positivo em A e negativo em K. A unidade de tempo é em uS (micro-segundos) e varia de 10uS a 500uS em passos de 10uS.

2-(A>K Mult) é um multiplicador do tempo configurado no parâmetro 1, e serve para estender o período do pulso multiplicando o valor do parâmetro 1 por até 255 vezes. Isso faz com que o tempo em que A-K fica em positivo e negativo se estenda de 500uS para 127ms.

3-(A>K -Wid) controla o período em que A e K ficam ambos em 0V, ou seja, sem corrente. A unidade de tempo é em uS (micro-segundos) e varia de 10uS a 500uS em passos de 10uS.

4-(A>K Mult) é um multiplicador do tempo configurado no parâmetro 3, e serve para estender o período do pulso multiplicando o valor do parâmetro 1 por até 255 vezes. Isso faz com que o tempo em que A-K fica em repouso se estenda de 500uS para 127ms.

5-(K>A +Wid) controla o tempo em que o e-plater emitirá o pulso com o positivo em K e negativo em A (corrente inversa). A unidade de tempo é em uS (micro-segundos) e varia de 10uS a 500uS em passos de 10uS.

6-(**K>A Mult**) é um multiplicador do tempo configurado no parâmetro 5, e serve para estender o período do pulso multiplicando o valor do parâmetro 1 por até 255 vezes. Isso faz com que o tempo em que A-K fica em negativo e positivo se estenda de 500uS para 127ms.

7-(**K>A -Wid**) controla o período em que A e K ficam ambos em 0V, ou seja, sem corrente. A unidade de tempo é em uS (micro-segundos) e varia de 10uS a 500uS em passos de 10uS.

8-(**K>A Mult**) é um multiplicador do tempo configurado no parâmetro 7, e serve para estender o período do pulso multiplicando o valor do parâmetro 1 por até 255 vezes. Isso faz com que o tempo em que A-K fica em repouso se estenda de 500uS para 127ms.

9-(**A>K +W%I**) é o ajuste de corrente do pulso com positivo em A e negativo em K. Este é o valor do PWM com A+ e K- e varia de 0% a 100%.

10-(**K>A +W%**) é o ajuste de corrente do pulso com positivo em K e negativo em A. Este é o valor do PWM com A+ e K- e varia de 0% a 100%.

11-(**Run Time**) é o tempo em minutos (1 a 120) de deposição em que o e-plater permanecerá em loop gerando corrente entre A e K.

## 5.2.2 CÓDIGO UTILIZADO NO E-Platter

```

/*
 *      Project:      E-Plater
 *      Author:      Ricardo A. Trombetta
 *      Date:        2016-10-17
 *      Compiler:    CCS-C >= 5.0
 */

#include <18F26k22.h>
#define adc=10

#FUSES NOWDT           //Watch Dog Timer
#FUSES INTRC_IO       //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES PLLEN          // 64mhz
#FUSES PUT            //Power Up Timer
#FUSES MCLR           //Master Clear pin enabled
#FUSES PROTECT        //Code protected from reads
#FUSES NOCPD         //No EE protection
#FUSES BROWNOUT       //Reset when brownout detected
#FUSES NOIESO         //Internal External Switch Over mode
disabled
#FUSES FCMEN          //Fail-safe clock monitor enabled

```

```

#FUSES NOLVP //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NODEBUG //No Debug mode for ICD
#FUSES NOWRT //Program memory not write protected
#FUSES BORV29 //Brownout reset at 2.9V
#FUSES CCP2B3
#use delay(clock=64Mhz)

//#priority timer1, ext ,timer5, timer0

#include <stdlib.h>
#include <string.h>
/*
// PCB V1.0
#define LCD_ENABLE_PIN PIN_C2
#define LCD_RS_PIN PIN_C3
#define LCD_RW_PIN PIN_C4
#define LCD_DATA4 PIN_C5
#define LCD_DATA5 PIN_C1
#define LCD_DATA6 PIN_C6
#define LCD_DATA7 PIN_C0
*/
// PCB V2.0
#define LCD_ENABLE_PIN PIN_C2
#define LCD_RS_PIN PIN_C1
#define LCD_RW_PIN PIN_C0
#define LCD_DATA4 PIN_C6
#define LCD_DATA5 PIN_C3
#define LCD_DATA6 PIN_C5
#define LCD_DATA7 PIN_C4
#include <LCD.C>

#define PULSE1 PIN_B5
#define PULSE2 PIN_B2
#define PWM1 PIN_B4
#define PWM2 PIN_B3

#define KEY1 PIN_B0
#define KEY2 PIN_B1

// versao
unsigned int32 version=20161016;
unsigned int32 R1=1000;
unsigned int32 R2=10000;
float R3 = 0.15;
unsigned int32 Imax=7000;
// Mensagens
static char idle[8]={' ',' ','I','D','L','E'};
static char cancel[8]={' ','C','A','N','C','E','L'};

//
unsigned int16 pak=0;
unsigned int8 mpak=0;
unsigned int16 pka=0;
unsigned int8 mpka=0;
unsigned int16 repl=0;
unsigned int8 mrepl=0;
unsigned int16 rep2=0;

```

```

unsigned int8 mrep2=0;
unsigned int8 ipak=0;
unsigned int8 dipak=0;
unsigned int8 ipka=0;
unsigned int8 dipka=0;
unsigned int8 ciclo=0;
unsigned int8 key=0;
unsigned int8 segundo=0;
unsigned int8 minuto=0;
unsigned int8 cls=0;
unsigned int8 c4ms=0;
unsigned int16 I=0;
unsigned int16 adc=0;
int1 adc_ready=0;
int1 t1s=0;
int1 t4ms=0;
int1 tciclo=0;

unsigned int16 fator( unsigned int32 r1, unsigned int32 r2, float r3,
unsigned int32 imax) {
    /*
    Gain = 1 + (R2 / R1) = 1 + (10000 / 1000) = 11
    Res = 0.15R
    Req = (0.15 * 0.15 * 0.15) / (0.15 + 0.15 + 0.15) = 0.0075R
    IMax = 10A
    Vin = IMax * 0.0075 = 0.075
    Vout = Vin * 11 = 0.825V
    ADC = (0.825 * 1024) / 5 = 169
    F = (IMax * 1000) / ADC = 59
    */
    float gain = 1 + (r2 / r1);
    float req = 1/(1/r3 + 1/r3 + 1/r3);
    float vin = (imax/1000) * req;
    float vout = vin * gain;
    unsigned int32 ad = (vout * 1024) / 5;
    float ftv = ((imax * 10) / ad);
    return (int16)ftv;
}

// config
void config() {
    setup_oscillator( OSC_64MHZ );

    // Configura Portas
    port_b_pullups( false );

    // A0 - ENTRADA      AN0 I
    // A1 - ENTRADA      AN1 POT
    // A2 - ENTRADA      NC
    // A3 - ENTRADA      NC
    // A4 - ENTRADA      NC
    // A5 - ENTRADA      NC
    // A6 - ENTRADA      NC
    // A7 - ENTRADA      NC
    set_tris_a(0b11111111);

    // B0 - ENTRADA      INT0 CHAVE 1
    // B1 - ENTRADA      INT1 CHAVE 1

```

```

// B2 - SAIDA      PULSE2
// B3 - SAIDA      PWM2
// B4 - SAIDA      PWM1
// B5 - SAIDA      PULSE1
// B6 - ENTRADA    ICSP C
// B7 - ENTRADA    ICSP D
set_tris_b(0b11000011);

// C0 - SAIDA      LCD_D7
// C1 - SAIDA      LCD_D5
// C2 - SAIDA      LCD_E
// C3 - SAIDA      LCD_RS
// C4 - ENTRADA    LCD_RW
// C5 - SAIDA      LCD_D4
// C6 - SAIDA      LCD_D6
// C7 - ENTRADA    NC
set_tris_c(0b10010000);

// DESLIGA TRANSISTORES
output_low(PULSE1);
output_low(PULSE2);
output_low(PWM1);
output_low(PWM2);

// seta ADC
setup_adc_ports( sAN0 | sAN1 | VSS_VDD );
setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );

// timer 0
// contador incremental rodando a 62.5KHz
// seta contador para dividir por 250 (256 - 250 = 6)
// estouro a 250Hz - 4mS
setup_timer_0( RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_256 | RTCC_8_BIT );
set_timer0( 6 );

// timer 1
// contador incremental rodando a 2Mhz
// estouro a 30.517Hz - 32.768mS
setup_timer_1( T1_DISABLED | T1_DIV_BY_8 );

// timer 3
// contador incremental rodando a 2Mhz
// estouro a 30.517Hz - 32.768mS
setup_timer_3( T3_DISABLED | T3_DIV_BY_8 );

// timer 5
// contador incremental rodando a 2Mhz
// estouro a 30.517Hz - 32.768mS
setup_timer_5( T5_DISABLED | T5_DIV_BY_8 );

// direciona PWM1 para RB4
setup_ccp1( CCP_PWM | CCP_PULSE_STEERING_D );
setup_ccp2( CCP_PWM );

// Ajusta frequencia e resolucao PWM
// 64Mhz / 4 = 16Mhz / 4 = 4Mhz
// 4Mhz / 40 = 100Khz
setup_timer_2( T2_DIV_BY_4, 39, 1 );

```

```

// DESLIGADO
setup_timer_4( T4_DISABLED,99,1 );

setup_timer_6( T6_DISABLED,255,16 );

// desliga pwm
set_pwm1_duty(0);
set_pwm2_duty(0);

// desativa interrupcoes;
disable_interrupts( INT_RB );
disable_interrupts( INT_EXT );
disable_interrupts( INT_EXT1 );
disable_interrupts( INT_AD );
disable_interrupts( INT_TBE );
disable_interrupts( INT_RDA );
disable_interrupts( INT_TIMER0 );
disable_interrupts( INT_TIMER1 );
disable_interrupts( INT_TIMER3 );
disable_interrupts( INT_TIMER5 );
disable_interrupts( INT_TIMER2 );
disable_interrupts( INT_TIMER4 );
disable_interrupts( INT_TIMER6 );
disable_interrupts( INT_CCP1 );
disable_interrupts( INT_CCP2 );
disable_interrupts( INT_SSP );
disable_interrupts( INT_BUSCOL );
disable_interrupts( INT_EEPROM );
disable_interrupts( INT_COMP );
disable_interrupts( INT_COMP2 );

setup_wdt ( WDT_OFF );
// seta interrupcao na borda de descida
ext_int_edge(0, H_TO_L );      // configura interrupcao para ativar
ao pressionar o botao
ext_int_edge(1, H_TO_L );      // configura interrupcao para ativar
ao pressionar o botao
}

//=====
//   interpolacao linear
//=====
signed long interp(signed long x,signed long x1,signed long x2,signed
long y1,signed long y2) {
    float tmp1, tmp2, tmp3;
    signed long ret_val;

    if (x <= x1) {
        ret_val = y1;
    } else if (x >= x2) {
        ret_val = y2;
    } else if ((x > x1) && (x < x2)) {
        tmp1 = y2 - y1;
        tmp2 = x2 - x1;
        tmp1 /= tmp2;
        //

```

```

    tmp3 = x - x1;
    tmp1 *= tmp3;
    tmp1 += y1;
    ret_val = (long)tmp1;
}
return ret_val;
}

// memoria
// 1-2   = pulso A-K de 0 a 32.768mS
// 3     = multiplicador do pulso A->K de 0 a 255 (repeticao)
// 4-5   = repouso de 0 a 32.768mS
// 6     = multiplicador do repouso de 0 a 255 (repeticao)
// 7-8   = pulso K-A de 0 a 32.768mS
// 9     = multiplicador do pulso K->A de 0 a 255 (repeticao)
// 10-11 = repouso de 0 a 32.768mS
// 12    = multiplicador do repouso de 0 a 255 (repeticao)
// 13    = intensidade do pulso A->K de 0 a 40
// 14    = intensidade do pulso K->A de 0 a 40
// 15    = tempo do ciclo de 0 a 60 min
void grava_mem() {
    write_eeprom(1,make8(pak,1));
    write_eeprom(2,make8(pak,0));
    write_eeprom(3,mpak);
    write_eeprom(4,make8(rep1,1));
    write_eeprom(5,make8(rep1,0));
    write_eeprom(6,mrep1);
    write_eeprom(7,make8(pka,1));
    write_eeprom(8,make8(pka,0));
    write_eeprom(9,mpka);
    write_eeprom(10,make8(rep2,1));
    write_eeprom(11,make8(rep2,0));
    write_eeprom(12,mrep2);
    write_eeprom(13,dipak);
    write_eeprom(14,dipka);
    write_eeprom(15,ciclo);
}

void loadmem() {
    pak = read_eeprom(1);
    pak <<= 8;
    pak += read_eeprom(2);
    if (pak > 500) { // se pak > 500 le padroes
        pak = 60;
        mpak = 1;
        rep1 = 30;
        mrep1 = 1;
        pka = 40;
        mpka = 1;
        rep2 = 30;
        mrep2 = 1;
        dipak = 65;
        ipak = interp(dipak,0,100,0,39);
        dipka = 35;
        ipka = interp(dipka,0,100,0,39);
        ciclo = 30;
        grava_mem();
    }
}

```

```

    } else {
        pak = read_eeprom(1);
        pak <<= 8;
        pak += read_eeprom(2);

        mpak = read_eeprom(3);

        rep1 = read_eeprom(4);
        rep1 <<= 8;
        rep1 += read_eeprom(5);
        if (rep1 > 500) rep1 = 500;

        mrep1 = read_eeprom(6);

        pka = read_eeprom(7);
        pka <<= 8;
        pka += read_eeprom(8);
        if (pka > 500) pka = 500;

        mpka = read_eeprom(9);

        rep2 = read_eeprom(10);
        rep2 <<= 8;
        rep2 += read_eeprom(11);
        if (rep2 > 500) rep2 = 500;

        mrep2 = read_eeprom(12);

        dipak = read_eeprom(13);
        if (dipak > 100) dipak = 50;
        ipak = interp(dipak,0,100,0,39);

        dipka = read_eeprom(14);
        if (dipka > 100) dipka = 50;
        ipka = interp(dipka,0,100,0,39);

        ciclo = read_eeprom(15);
        if (ciclo > 120) ciclo = 120;
    }
}

void setup() {
    int1 retval=0;
    unsigned int16 old_adc=0;
    int1 changed = 0;
    printf(lcd_putc, "\f SETUP! ");

    while (key == 2);
    set_adc_channel(1);
    delay_ms(250);
    printf(lcd_putc, "\fA>K +Wid");
    old_adc = read_adc();
    changed = 0;
    key = 0;
    while (key != 2) {
        adc = read_adc();
        if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {

```



```

        pak = interp(adc,0,1023,0,50);
        pak *= 10;
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3lu us ",pak);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fA>K Mult");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if ((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc) ||
(changed == true)) {
        mpak = interp(adc,0,1023,1,255);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "+W x %3u",mpak);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fA>K -Wid");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if ((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc) ||
(changed == true)) {
        repl = interp(adc,0,1023,0,50);
        repl *= 10;
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3lu us ",repl);
    if (key == 1) {

```

```

        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fA>K Mult");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if ((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc) ||
(changed == true)) {
        mrep1 = interp(adc, 0, 1023, 1, 255);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1, 2);
    printf(lcd_putc, "-W x %3u ", mrep1);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fK>A +Wid");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if ((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc) ||
(changed == true)) {
        pka = interp(adc, 0, 1023, 0, 50);
        pka *= 10;
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1, 2);
    printf(lcd_putc, " %3lu us ", pka);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

```

```

}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fK>A Mult");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        mpka = interp(adc,0,1023,1,255);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "+W x %3u ", mpka);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fK>A -Wid");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        rep2 = interp(adc,0,1023,0,50);
        rep2 *= 10;
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3lu us ", rep2);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fK>A Mult");
old_adc = read_adc();
changed = 0;

```

```

key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        mrep2 = interp(adc,0,1023,1,255);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, "-W x %3u ",mrep2);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fA>K +W%%I");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        dipak = interp(adc,0,1023,0,100);
        ipak = interp(dipak,0,100,0,39);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3u%% ",dipak);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fK>A +W%%I");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        dipka = interp(adc,0,1023,0,100);
        ipka = interp(dipka,0,100,0,39);

```

```

        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3u%% ", dipka);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

while (key == 2);
delay_ms(250);
printf(lcd_putc, "\fRun Time");
old_adc = read_adc();
changed = 0;
key = 0;
while (key != 2) {
    adc = read_adc();
    if (((adc > (old_adc + 10)) || ((adc + 10) < old_adc)) ||
(changed == true)) {
        ciclo = interp(adc,0,1023,1,120);
        changed = true;
    }
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc, " %3u min", ciclo);
    if (key == 1) {
        printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);
        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        retval=1;
        return;
    }
}

if (retval == 0) {
    grava_mem();

    printf(lcd_putc, "\f SAVED! ");
    key = 0;
    delay_ms(1000);
}
lcd_putc("\f");
}

void varre_teclas() {
    switch (key) {
        case 1: // botao 1 pressionado
            if (!t4ms) { // se o contador esta desligado
                c4ms=0; // reseta contador
                t4ms=1; // liga contador
            } else if (c4ms == 20) { // se tiver ligado e
o contador for maior que 80ms

```

```

                                if (!input(KEY1)) key = 1; // se a tecla
for solta
                                else key = 0;
                                t4ms=0; // desliga timer
                                }
                                break;
                                case 2: // botao 2 pressionado
                                if (!t4ms) { // se o contador esta desligado
                                        c4ms=0; // reseta contador
                                        t4ms=1; // liga contador
                                } else if (c4ms == 20) { // se tiver ligado e
o contador for maior que 80ms
                                        if (!input(KEY2)) key = 2; // se a tecla
for solta
                                                else key = 0;
                                                t4ms=0; // desliga timer
                                }
                                break;
                                default:
                                        t4ms = 0;
                                        key = 0;
                                }
}

#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void) {

}

#int_EXT
void EXT_isr(void) {
    key = 1;
}

#int_EXT1
void EXT1_isr(void) {
    key = 2;
}

#int_TIMER0
void TIMER0_isr() {
    static unsigned char conta=0;

    set_timer0(6);

    if (conta == 250) {
        conta = 0;
        if (tciclo) {
            if (segundo < 59) segundo++;
            else {
                segundo = 0;
                minuto++;
            }
        }
        if (t1s) if (c1s < 255) c1s++;
    } else conta++;
    varre_teclas();
    if (t4ms) if (c4ms < 255) c4ms++;
}

```

```

}

#int_AD
void ADC_isr() {
    adc = read_adc(ADC_READ_ONLY);
    adc_ready = 1;
}

void main () {
    int x=0;
    unsigned int8 olds=0;
    unsigned int16 F = fator(R1,R2,R3,Imax);

    config();
    lcd_init();
    loadmem();

    // ativa interrupcoes
    enable_interrupts( GLOBAL );
    enable_interrupts( INT_AD );
    enable_interrupts( INT_TIMER0 );
    enable_interrupts( INT_EXT );
    enable_interrupts( INT_EXT1 );

    printf(lcd_putc, "\fE-PLATER\n%lu", version);
    delay_ms(1000);
    printf(lcd_putc, "\f");
    // reseta variaveis

    set_pwm1_duty(0);
    set_pwm2_duty(0);
    output_low(PULSE1);
    output_low(PULSE2);

    key = 0;
    t1s = 0;
    c1s = 0;
    while (true) {
        if (key > 0) {
            switch (key) {
                case 2:
                    t1s=0;
                    c1s=0;
                    t1s=1;
                    while ((key == 2) && (c1s < 3));
                    if ((key == 2) && (c1s >= 3)) {
                        t1s = 0;
                        c1s = 0;
                        setup();
                    } else {
                        printf(lcd_putc, "\f START? \n<-N Y->");
                        while (key == 2);
                        delay_ms(100);
                        key = 0;
                        while (key == 0);
                        switch (key) {
                            case 1: // CANCELA
                                printf(lcd_putc, "\f%s", &cancel);

```

```

        delay_ms(1000);
        key = 0;
        lcd_putc("\f");
        break;
    case 2:          // RODA
        printf(lcd_putc, "\fRUNNING!");
        delay_ms(500);
        key = 0;
        // desliga saidas
        set_pwm1_duty(0);
        set_pwm2_duty(0);
        output_low(PULSE1);
        output_low(PULSE2);
        // zera timer
        tciclo=0;
        minuto=0;
        segundo=0;
        // inicializa AD
        set_adc_channel(0);
        adc = 0;
        I=0;
        // inicia timer
        tciclo=1;
        // loop do gerador de pulsos
        while ((I < Imax) && (key == 0) && (minuto <
ciclo)){
            if (olds != segundo) {
                olds = segundo;
                if (adc_ready == 1) {
                    adc_ready = 0;
                    I = adc;
                    I *= F;
                    I /= 10;
                    adc=0;
                }
                lcd_gotoxy(1,1);
                printf(lcd_putc, "I=%01.3wA", I);
                lcd_gotoxy(1,2);
                printf(lcd_putc, "%03u:%02u", minuto, segundo);
            }

            // nivel alto A->K
            if (pak > 0) {
                set_pwm2_duty(ipak);
                output_high(PULSE1);
                for (x=0;x<mpak;x++) {
                    delay_us(pak);
                }
                output_low(PULSE1);
                set_pwm2_duty(0);
                read_adc(ADC_START_ONLY);

                // 64Mhz / 4 = 16Mhz = 62.5nS

                // 48 * 62.5nS = 3uS
                delay_cycles(48);    // aguarda
desligamento do transistor

```



```

}

// nivel baixo A->K
if (rep1 > 0) {
    for (x=0;x<mrep1;x++) {
        delay_us(rep1);
    }
}

// nivel alto K->A
if (pka > 0) {
    set_pwm1_duty(ipka);
    output_high(PULSE2);
    for (x=0;x<mpka;x++) {
        delay_us(pka);
    }
    output_low(PULSE2);
    set_pwm1_duty(0);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    delay_cycles(48);
}

// nivel baixo K->A
if (rep2 > 0) {
    for (x=0;x<mrep2;x++) {
        delay_us(rep2);
    }
}
}

// desliga tudo
output_low(PULSE1);
output_low(PULSE2);
set_pwm1_duty(0);
set_pwm2_duty(0);

// se parou por conta da corrente mostra motivo
if (I > Imax) {
    printf(lcd_putc, "\fWARNING!\nI=%01.3wA", I);
    // zera timer para indicar que foi parado!
    minuto = 0;
    segundo = 0;
    delay_ms(5000);
} else {
    // se parou por conta da tecla mostra

    if (key > 0) {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc, "  STOP  ");
        // zera timer para indicar que foi

        minuto = 0;
        segundo = 0;
    } else {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc, " FINISH ");
    }
}
}

```

STOP

parado!

```

// reseta variaveis
tciclo=0;
delay_ms(1000);
key = 0;
lcd_putc("\f");
break;
}
}
break;
}
}

lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"%s",&idle);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," %03u:%02u ",minuto,segundo);
if (cls >= 2) {
    t1s = 0;
    c1s = 0;
    lcd_putc("\f");
}
}
}
}

```

### 5.2.3 Descarte e Reuso de Resíduos Químicos gerados em Experimentos

Os reagentes químicos feitos neste trabalho para metalização de furos de PCB, como a solução ativadora e a solução de eletrodeposição explicadas no Capítulo 3, podem gerar resíduos químicos e também ser reutilizadas durante algum tempo. Para isso, é importante seguir algumas dicas quando se utiliza reagentes químicos na elaboração de experimentos. [11]

1. Antes de realizar um experimento é importante prever o tipo e quantidade de resíduo que será gerado.
2. Para o final do experimento, é preciso ter recipientes identificados com as diferentes categorias de resíduos que serão gerados.
3. Evite frascos muito grandes.

#### Gerenciando os resíduos formados após um experimento

Resíduos devidamente separados e identificados podem ter diferentes destinos, como por exemplo:

1. Envio para tratamento por empresa especializada.
2. Descarte na pia, se for seguro ou permitido.
3. Armazenamento para reuso, se for seguro ou permitido. [11]

#### Substâncias que podem ser descartadas diretamente na pia

Substâncias com características ácidas ou básicas (não contaminadas com produtos químicos perigosos); como por exemplo;

HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, NaOH, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub> deverão ser neutralizados antes do descarte até pH entre 6 e 8.

Alguns cátions (em concentrações baixas) Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sup>4+</sup>

Alguns ânions (em concentrações baixas) CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

### Como proceder no descarte de alguns ácido e bases.

- 1- Utilize o resíduo ácido para neutralizar resíduo básico.
- 2- Vá adicionando CUIDADOSAMENTE o resíduo ácido ao resíduo básico. Ao atingir pH entre 6 e 8, a mistura pode ser descartada na pia.
3. Acompanhe o pH com papel indicador universal.

#### Tratamento de Resíduos Contendo Metais Pesados

- Alguns metais pesados podem ser precipitados na forma de hidróxidos.
- Resolução 430/2011 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) admite uma concentração de 1mg cobre por litro no efluente a ser lançado em corpo hídrico. [12]

### Armazenamento

O armazenamento de reagentes deve ser feito em local fresco, com iluminação e ventilação adequados, em frascos e temperatura compatíveis.

### Algumas Dicas de armazenamento

- 1. Consultar tabelas de incompatibilidade, existentes na literatura.
- 2. Separar reagentes incompatíveis.
- 3. Armazenar reagentes afastados da luz solar direta.
- 4. Verificar condições das prateleiras e, havendo necessidade, realizar a troca de prateleiras condenadas.
- 5. Evitar excesso de peso;
- 6. Ordenar reagentes segundo a classe química;
- 7. Frascos maiores devem ser alocados na parte inferior do armário, nunca no alto;
- 8. Não dispor frascos de reagentes e de resíduos lado a lado.
- 9. Evitar excesso de estoque. As condições dos materiais estocados devem ser verificadas anualmente. Materiais que não estejam mais sendo utilizados devem ser descartados ou doados.

Exemplo de tabela de incompatibilidade

Tabela 6: Efeitos do grupo A com o grupo B Geração de calor e reação violenta.

<b>Grupo A</b>	<b>Grupo B</b>
<i>Ácidos</i>	<i>Bases</i>
<i>Agentes Oxidantes</i>	<i>Agentes Redutores</i>
Cloratos Cromatos / Dicromatos Halogênios Nitratos / Ácido Nítrico Permanganatos Persulfatos Percloratos Peróxidos	Amônia Carbono (Carvão) Hidretos Metálicos Compostos Orgânicos Enxofre Fósforo

### Alguns Símbolos de Segurança



corrosivo



explosivo



Comburente



inflamável



Tóxico



Irritante



Perigoso para o ambiente

Figura 26: Símbolos de Segurança

Com estas informações, agora será possível manusear os reagentes químicos para metalização PCBs de forma segura, correta e com o conhecimento adequado de descarte