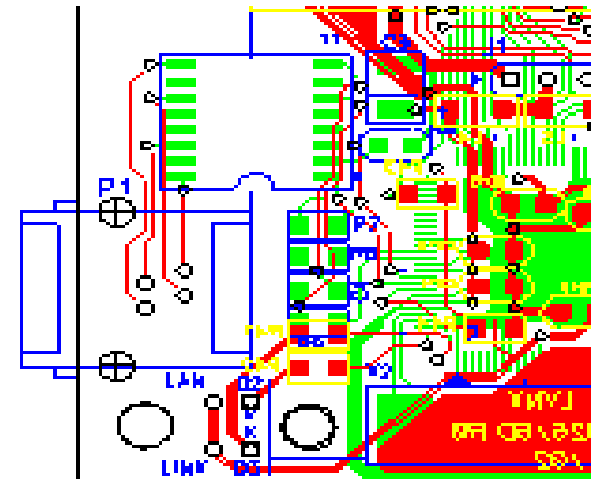


Circuito Impresso

PTC2527 – EPUSP

Guido Stolfi

2017



- Funções do Circuito Impresso
- Características dos Substratos
- Fabricação (Face Simples, Dupla, Multicamadas)
- Propriedades dos Condutores
- Regras de Projeto
- Soldagem
- Alternativas

- Origens:
 - Patente: Paul Eisler, 1943
 - Final da década de 1940 (Aplicações militares)
 - Meados da década de 1950 (Produtos de consumo, montagem automatizada)
 - Meados da década de 1960 (Componentes de Montagem Superficial – SMD)

- Funções Essenciais:
 - Suporte Mecânico dos Componentes
 - Propriedades do Substrato
 - Conectividade Elétrica do Circuito
 - Trilhas (cobre)
 - Ilhas (soldagem)
 - Furos de Transpasse (Ligação entre faces opostas)

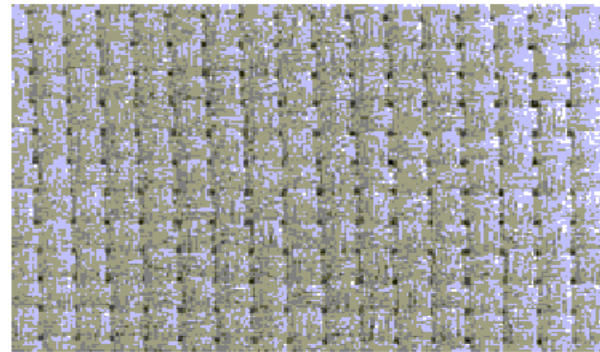
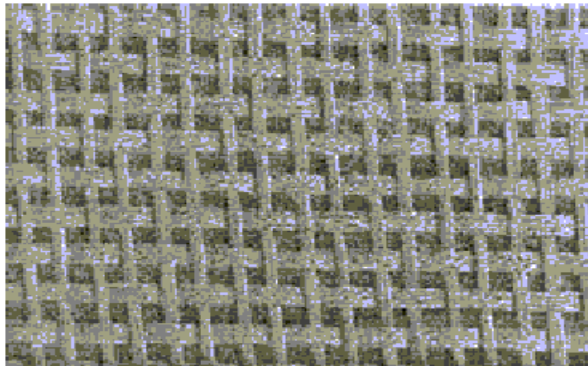
- Funções Secundárias:
 - Dissipação de calor
 - Blindagem Eletrostática
 - Elementos de Circuito
 - Indutores
 - Microlinhas
 - Contatos
 - Identificação de Componentes p/ Montagem
 - Serigrafia

- Subtrativo:
 - Corrosão Seletiva de substrato previamente metalizado
- Aditivo:
 - Deposição seletiva de condutor no substrato
- Furo metalizado:
 - Interligação (aditiva) entre 2 ou mais camadas condutoras

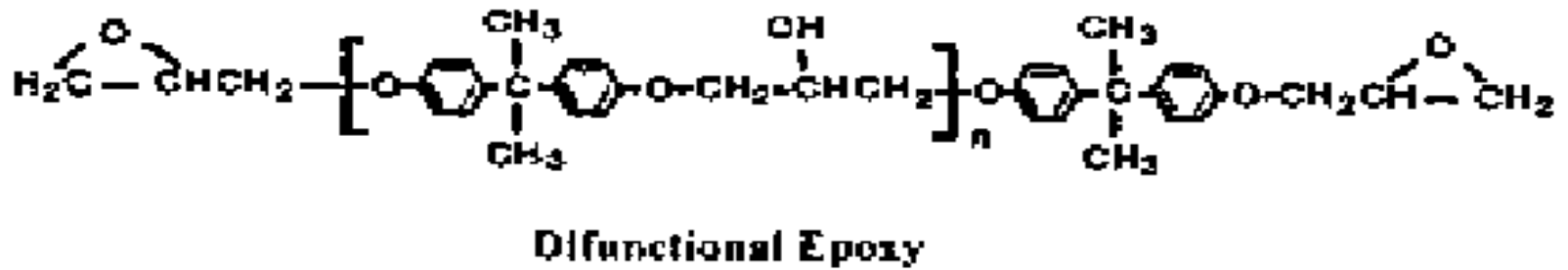
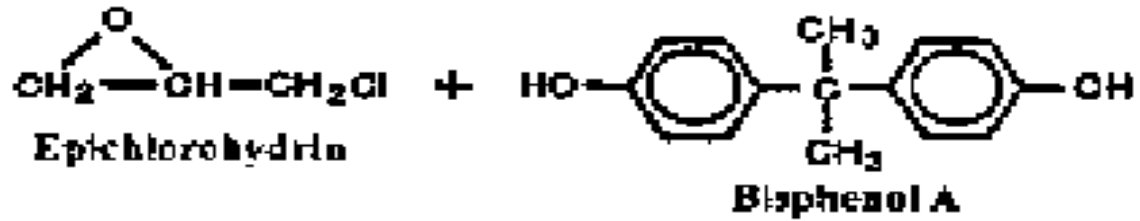
- **Fenolite** = Papel prensado, impregnado com resina fenólica
 - Vantagens:
 - Baixo custo
 - Facilidade de usinagem (puncionamento)
 - Desvantagens:
 - Baixa resistência mecânica
 - Baixa resistência térmica
 - Baixa resistência à umidade
 - Dilatação durante processamento
 - Propriedades dielétricas inferiores

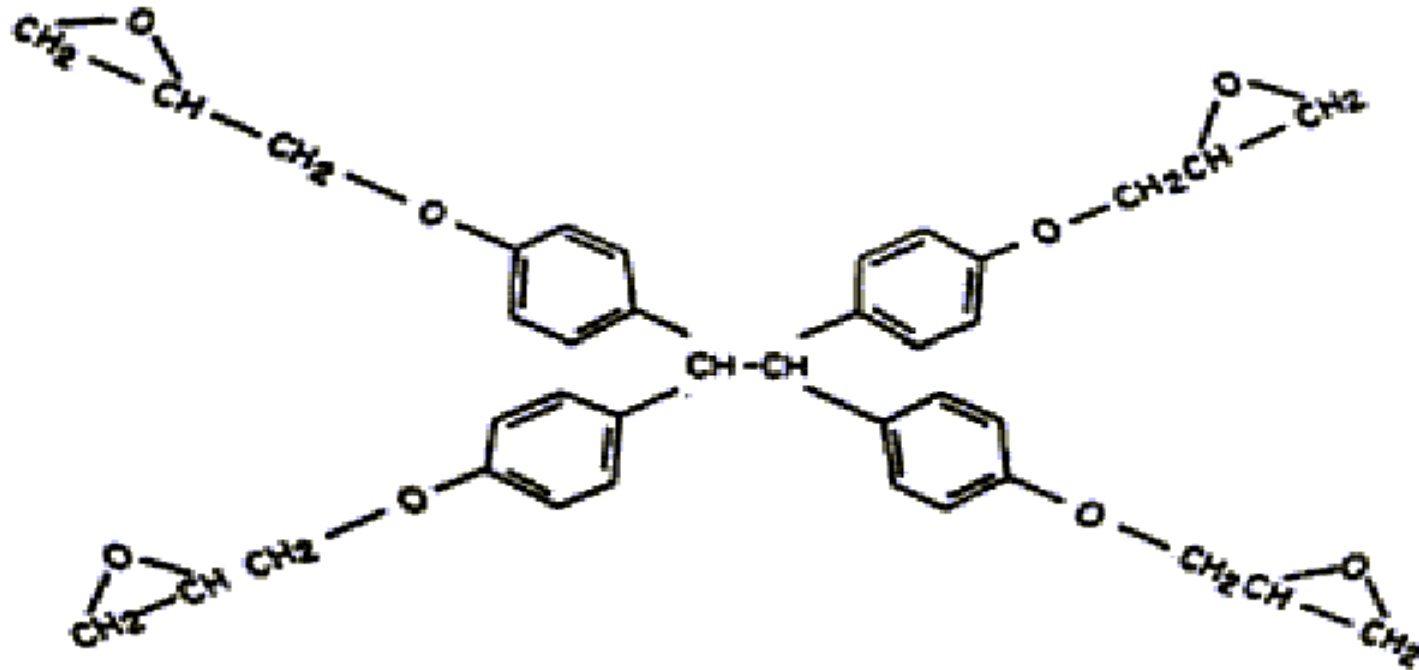
- **Fibra de Vidro/Epóxi (FR-4)** = Manta de fibra de vidro trançada, impregnada com Resina Epóxi
 - Vantagens:
 - Boa estabilidade mecânica
 - Boa resistência à umidade
 - Boa resistência térmica
 - Características dielétricas satisfatórias
 - Permite fabricação de circuitos multi-camadas
 - Desvantagens:
 - Material abrasivo prejudica usinagem
 - Custo mais elevado que a Fenolite

- “Flame Resistant”, Epóxi + Fibra de Vidro
 - $\epsilon_r = 4,2$ típico (3,8 a 4,4)
 - Coef. Dilatação linear = 12-15 ppm/°C



2 tipos de malhas de fibra de vidro;
diâmetro típico das fibras de 3 a 10 μm

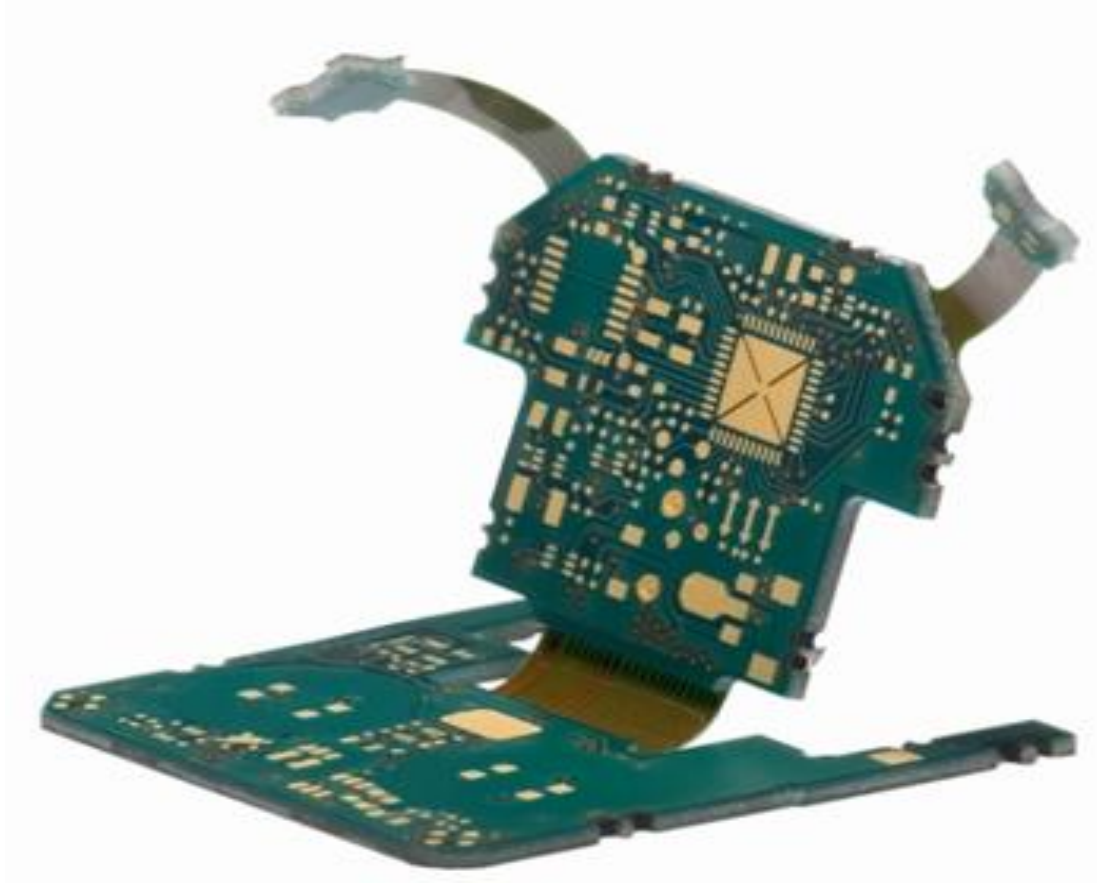




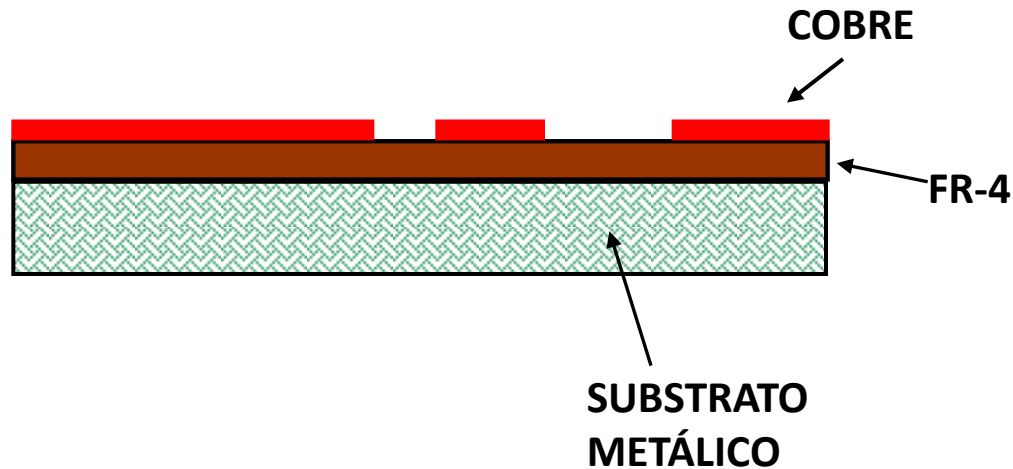
- **Fibra de Vidro/Teflon (Duroid[®])** = Manta de fibra de vidro trançada, impregnada com PTFE (Teflon[®])
 - Vantagens:
 - Propriedades dielétricas excelentes em alta frequência
 - Desvantagens:
 - Custo elevado
 - Baixa aderência ao cobre dificulta soldagem

- **Poliéster (Polietileno Tereftalato - PET; Mylar®) =**
Utilizado para circuitos impressos flexíveis
 - Vantagens:
 - Baixo custo
 - Boa resistência mecânica e química
 - Boas propriedades dielétricas
 - Desvantagens:
 - Baixa resistência térmica (soldagem difícil)

- **Poliimida (Kapton®)** = Utilizado para circuitos impressos flexíveis
 - Vantagens:
 - Boa resistência térmica
 - Boas propriedades dielétricas
 - Desvantagens:
 - Custo mais elevado



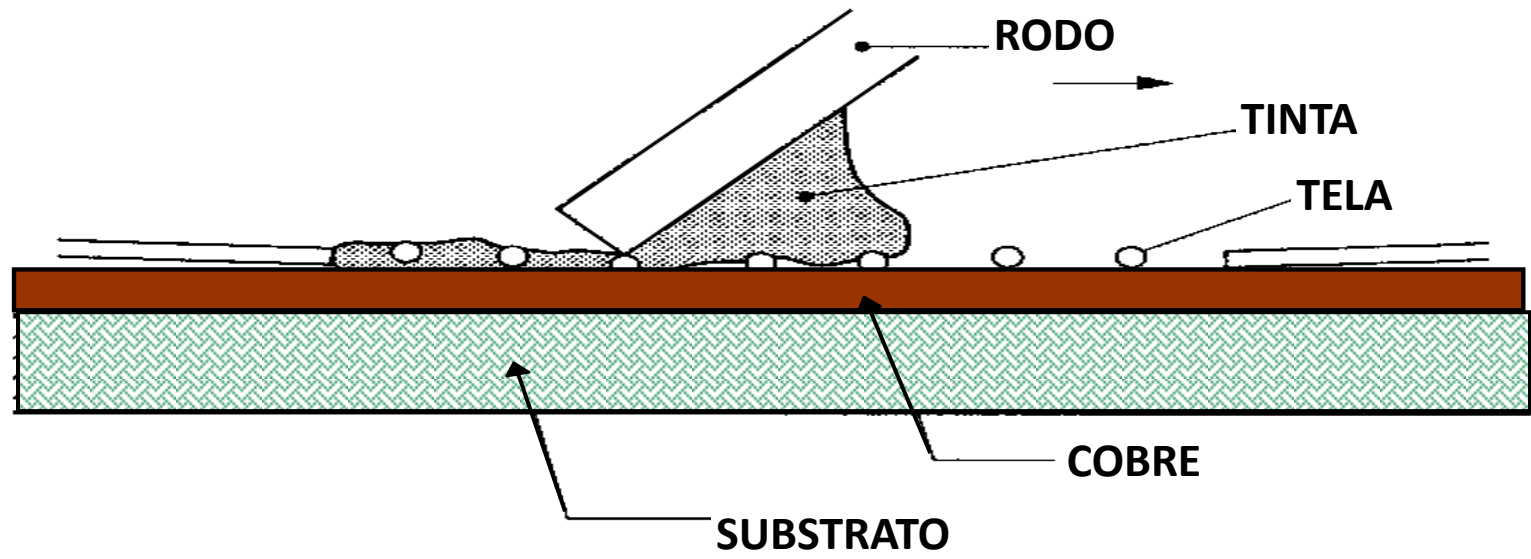
- Camadas externas em FR-4
- 1 ou 2 camadas internas em PET ou Kapton
- Furos metalizados interligam todas as camadas



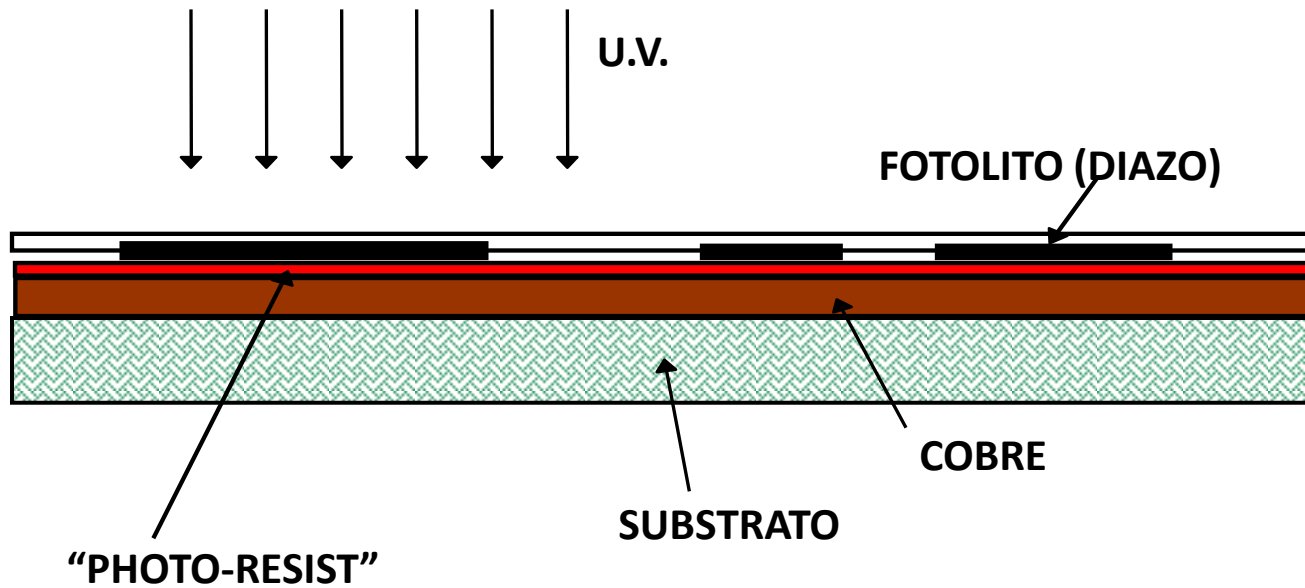
- Alumínio: Dissipação de calor (ex. Luminárias com LED's)
- Ferro: Circuitos magnéticos (ex.: motores elétricos)

- Processo Serigráfico
 - Face simples

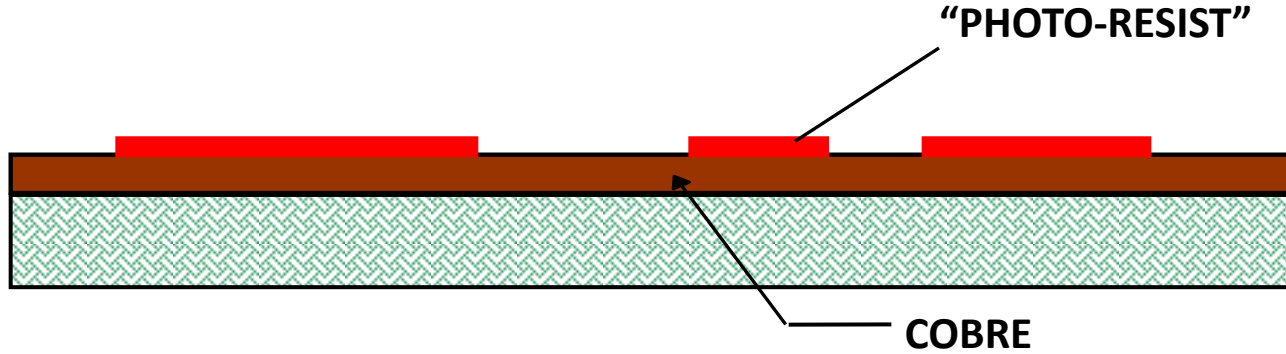
- Processo Fotográfico
 - Face Simples / Dupla
 - Multicamadas



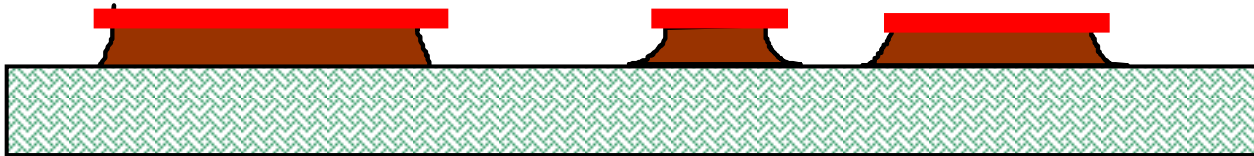
1



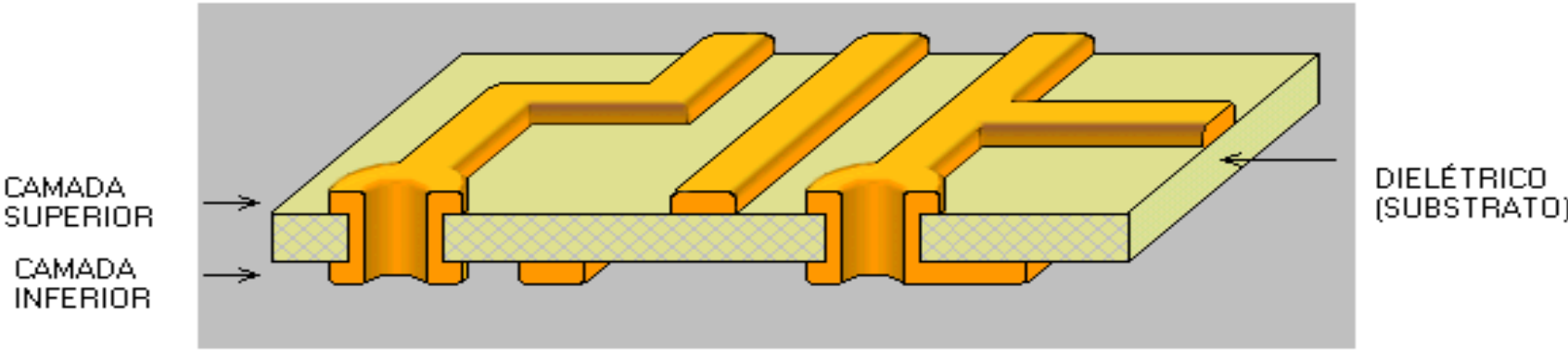
Exposição

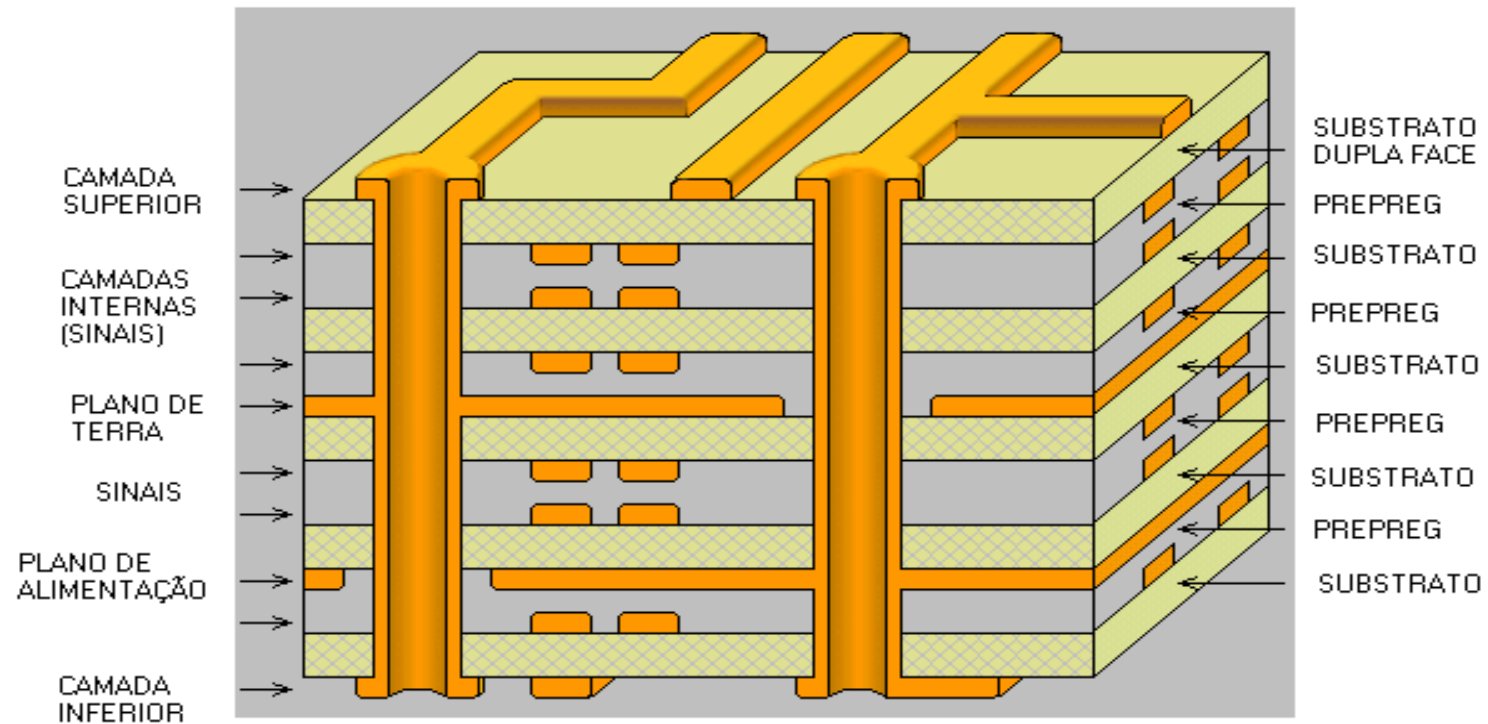


Após revelação



Após corrosão





Material Base

COBRE
17 a 70 μm



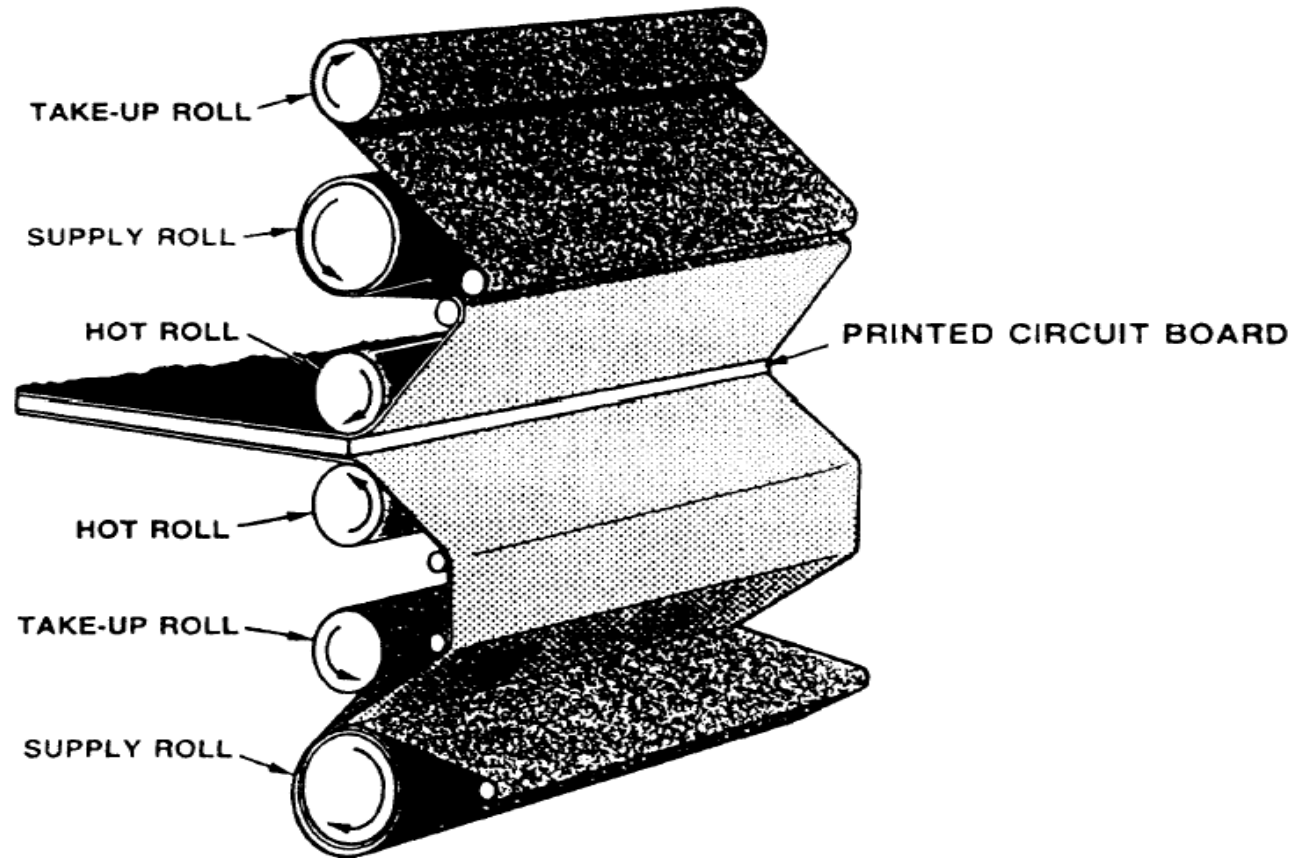
SUBSTRATO
 $\sim 1.6 \text{ mm}$

Após Furação



SUBSTRATO

Aplicação de Película Foto-Sensível (Riston®)



Exposição
Fotográfica

DIAZO

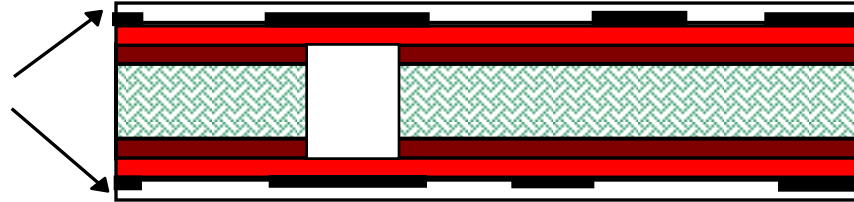


PHOTO
RESIST,
"RISTON"

Após Revelação

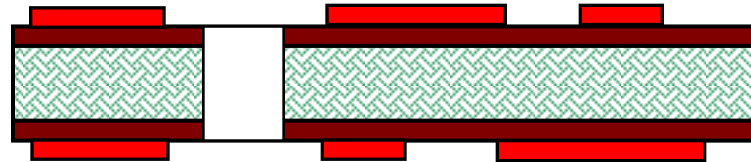
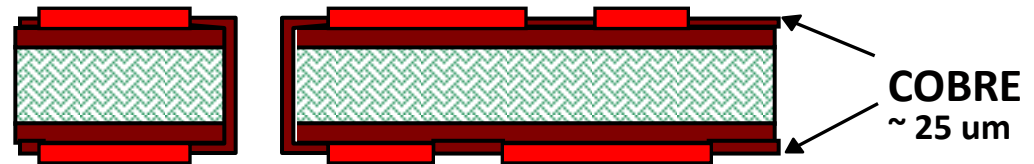
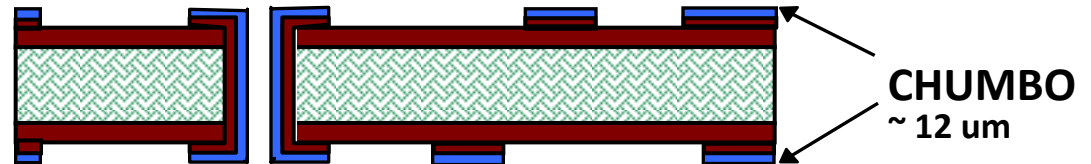


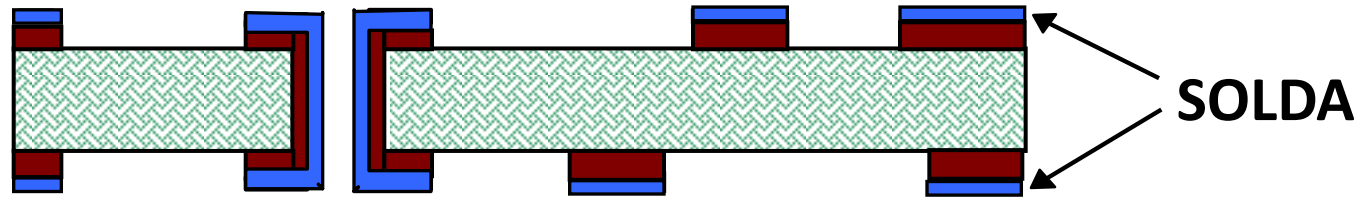
PHOTO-
RESIST

Metalização com
Cobre químico e
eletrolítico



Galvanoplastia
com chumbo e
remoção do Riston





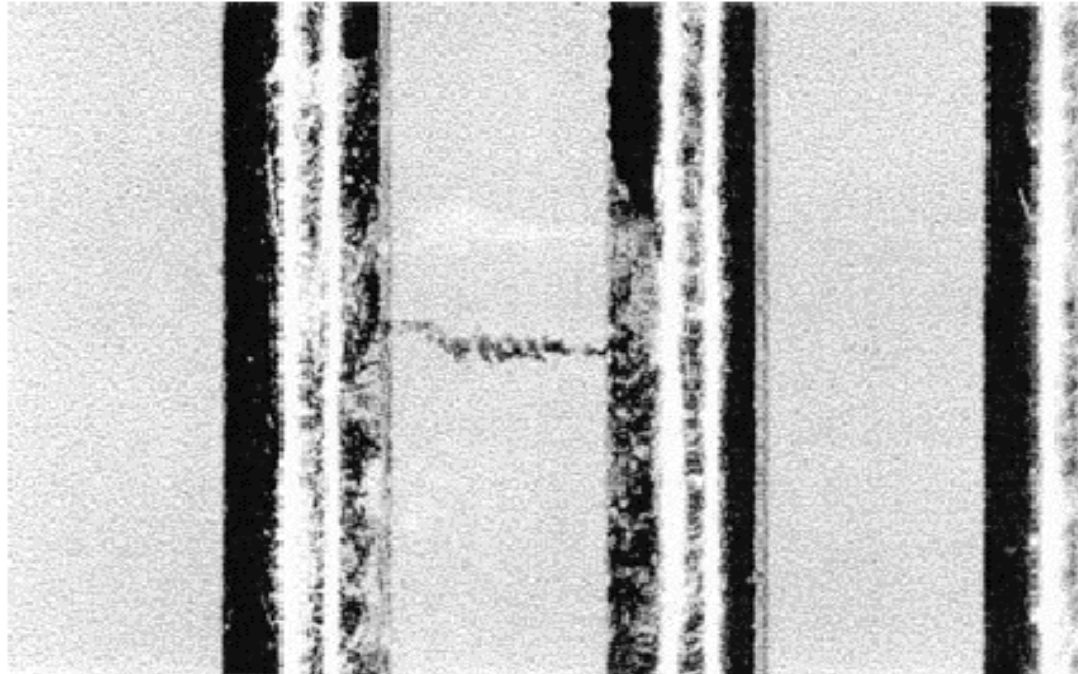
Após Corrosão e Refusão com Solda Chumbo/Estanho

- Percloroeto de Ferro (FeCl_3)
 - Solução aquosa, concentração 28% a 42% por peso
 - Barato, compatível com photo-resist
 - Incompatível com máscara de chumbo/estanho
 - Problemas ecológicos

- Persulfato de Amônia ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$)
 - Solução aquosa, concentração 20%
 - Relativamente barato, compatível com photo-resist e máscara de chumbo/estanho
 - Mais lento que percloroeto
 - Problemas ecológicos

- Hidróxido de Amônia (NH_4OH)
 - Solução aquosa, pH 8,0 a 8,8
 - Compatível com photo-resist e máscara de chumbo/estanho
 - Permite operação contínua
 - Baixa produção de resíduos na placa
 - Problemas ecológicos menores

- Reduzir curtos no processo de soldagem
- Reduzir volume utilizado de solda
- Reduzir contaminação da solda pelo Cobre
- Proteger circuito de contaminação posterior
- Proteger contra umidade
- Impedir dendritos por eletromigração
- Isolação elétrica entre trilhas e componentes



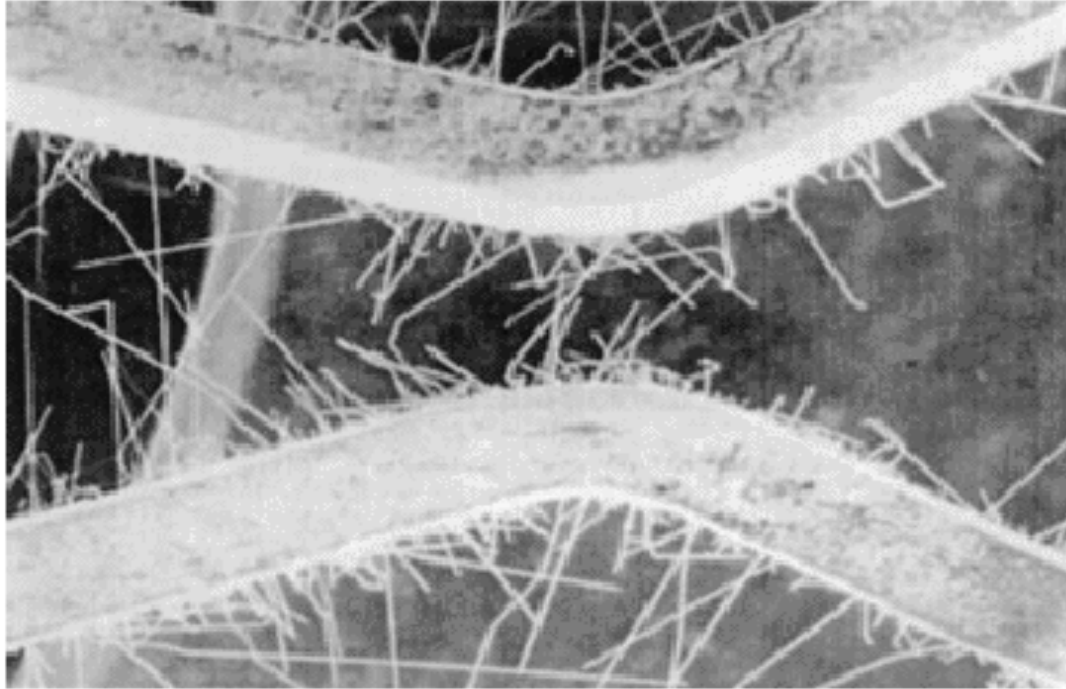
$d = 0,5 \text{ mm}$

$V = 10 \text{ V}$

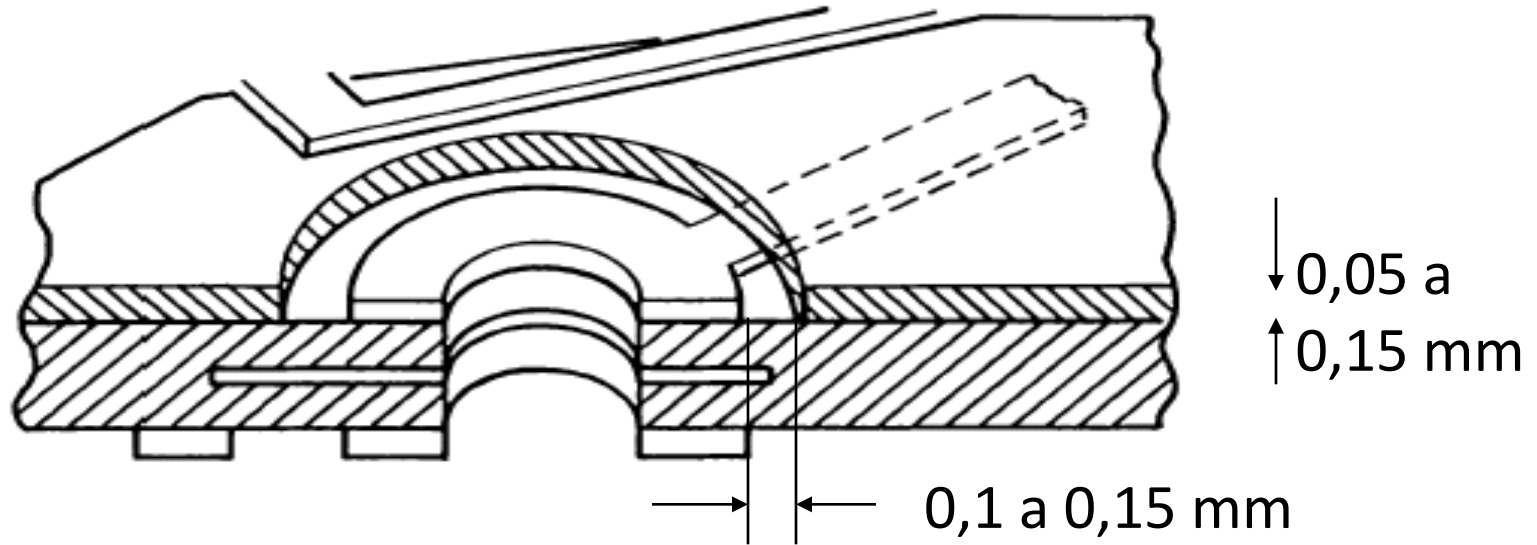
$T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

$\text{RH} = 85\%$

Crescimento cristalino entre dois condutores com cargas opostas; pode ocasionar curto-circuito.



Filamentos formados especialmente em superfícies de estanho puro, mesmo na ausência de campo elétrico ou umidade



Aplicação: Serigrafia (tinta epóxi), líquido ou filme seco foto-sensível

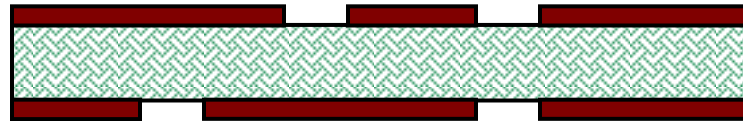
Material Base
(Faces Internas)

COBRE
17 a 35 μm

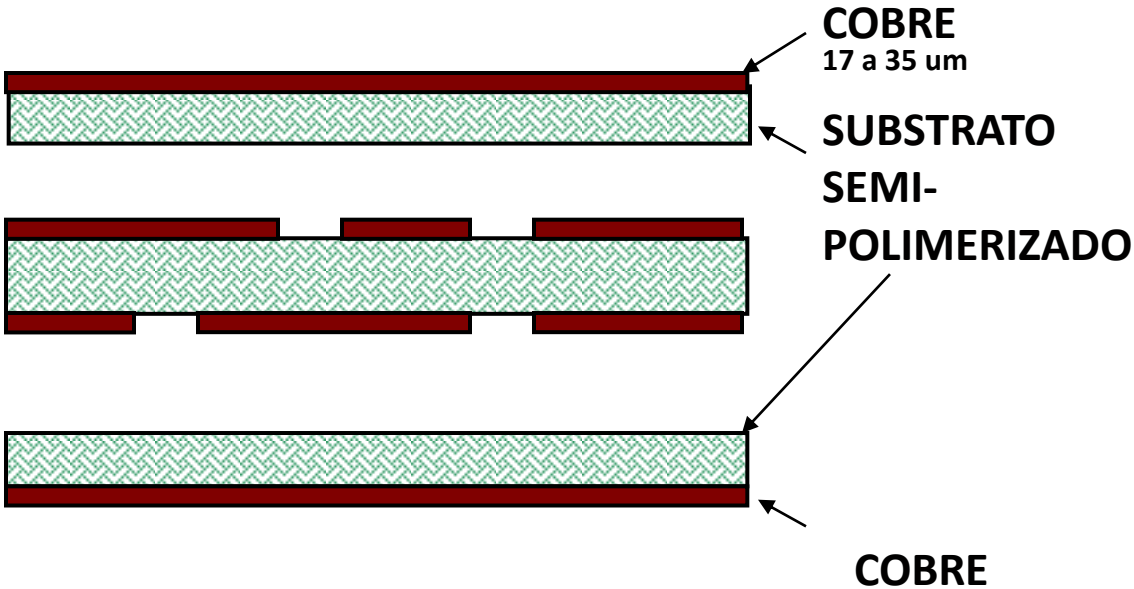


SUBSTRATO
Tip. 0.5 mm

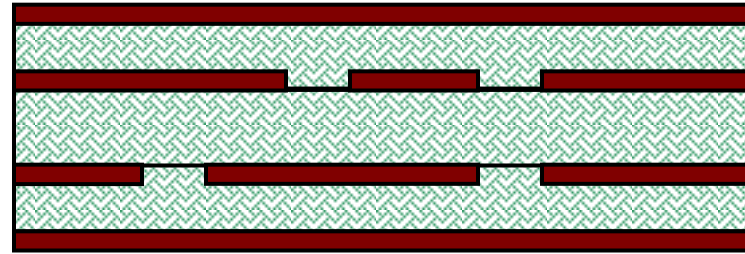
Após Exposição,
Corrosão e Remoção
de Riston



Preparação
Para Laminação

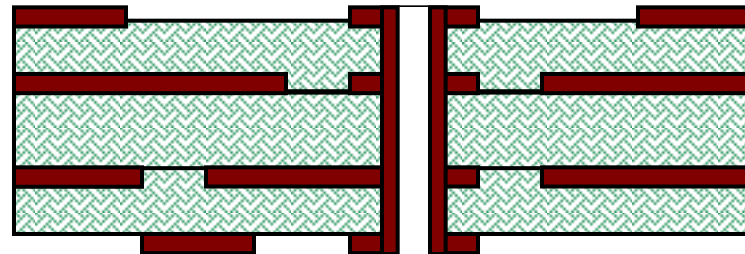


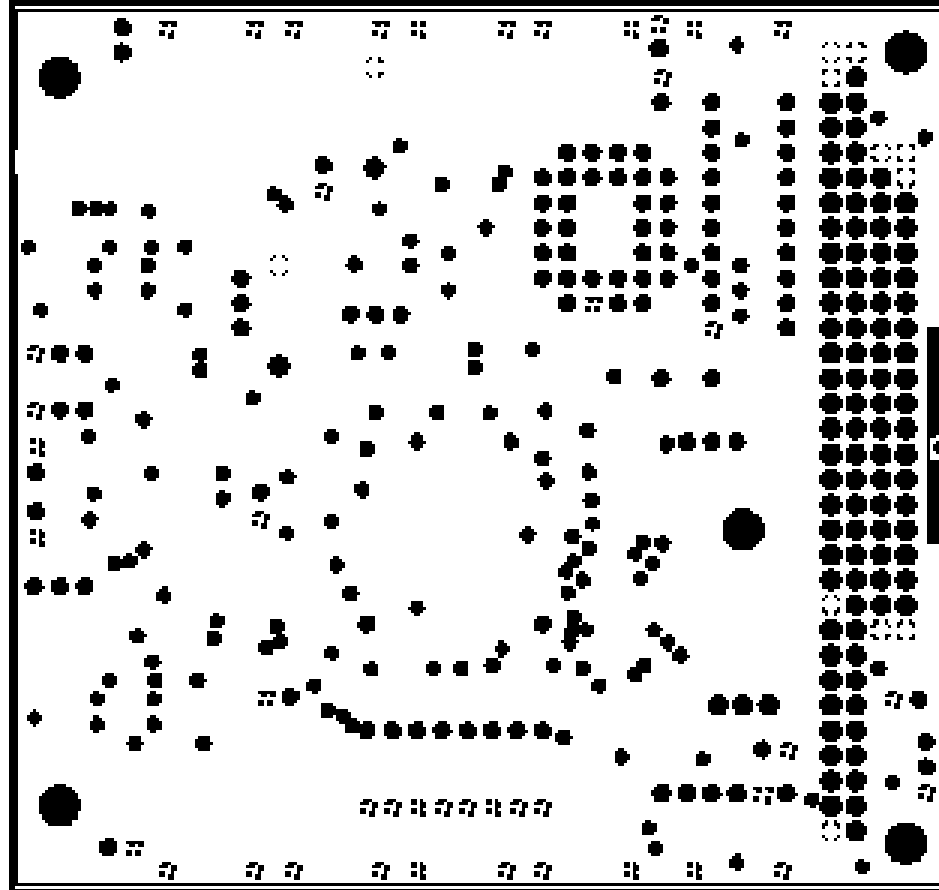
Após Laminação
e Cura

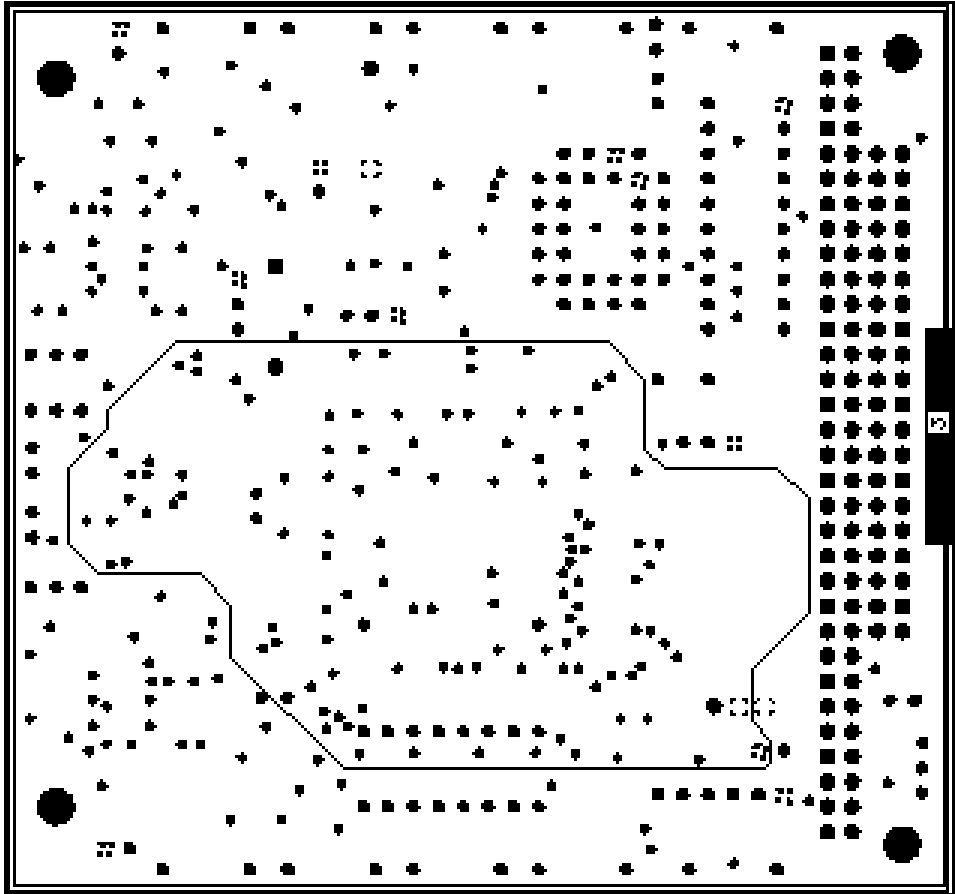


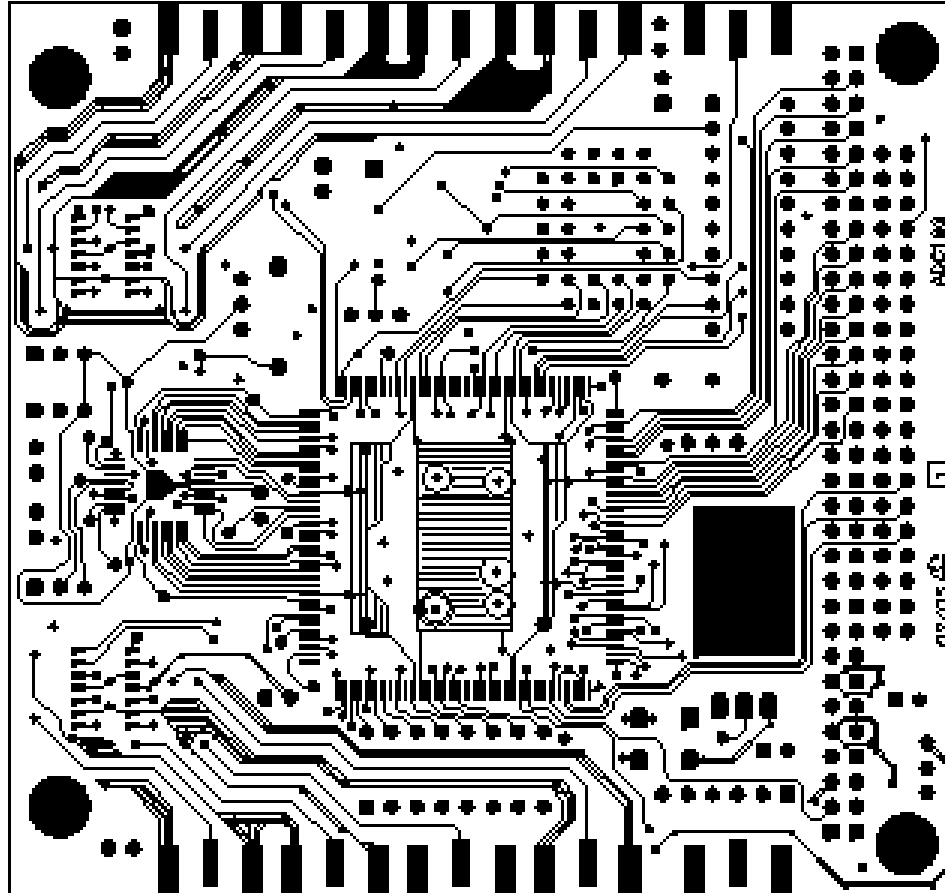
Típico
1,6 mm

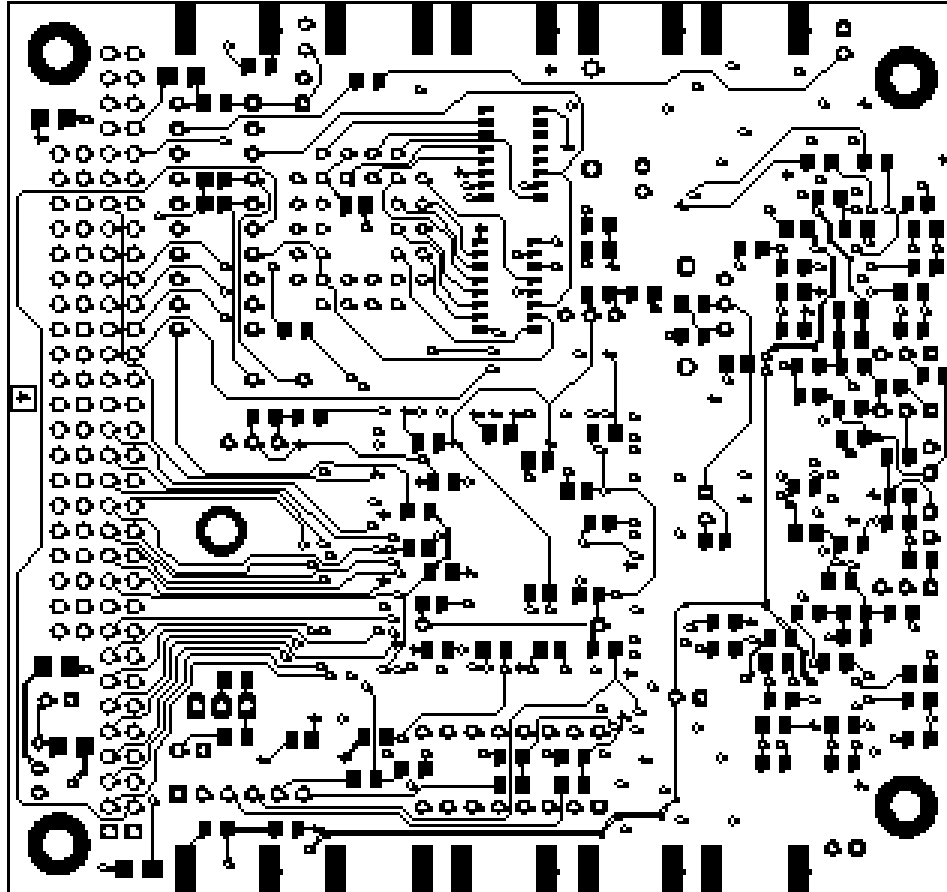
Após Processamento
das Faces Externas
(Mesmo Processo
que Dupla Face)

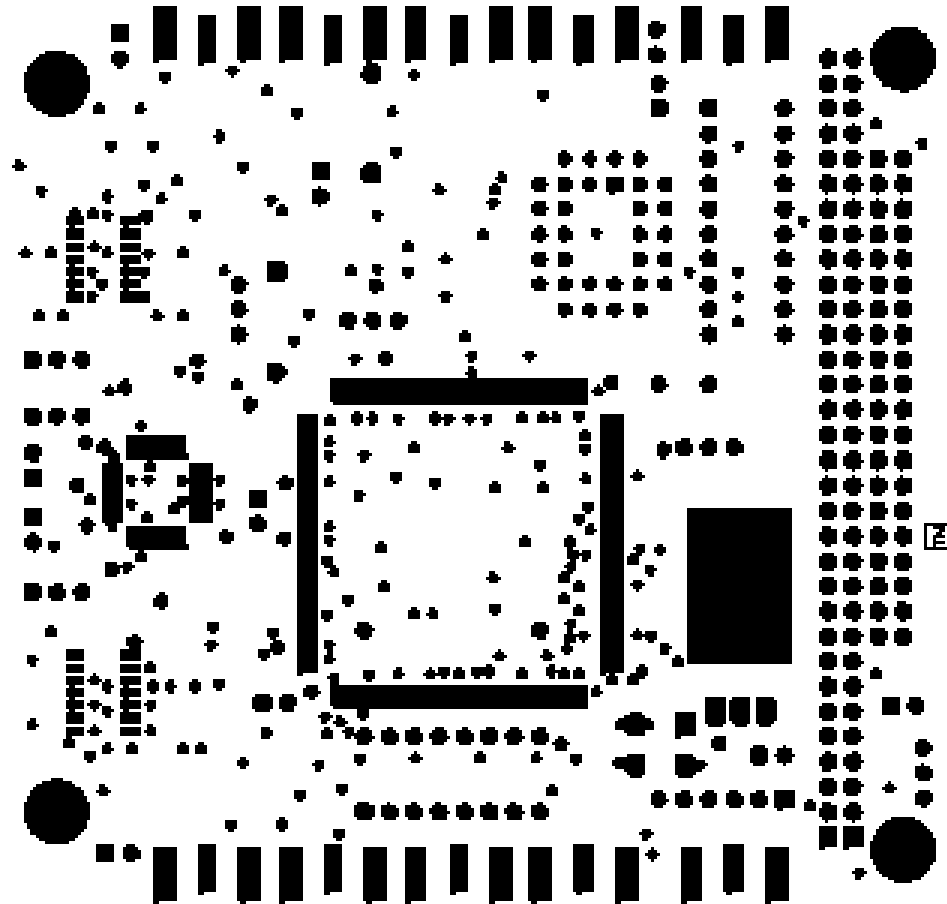


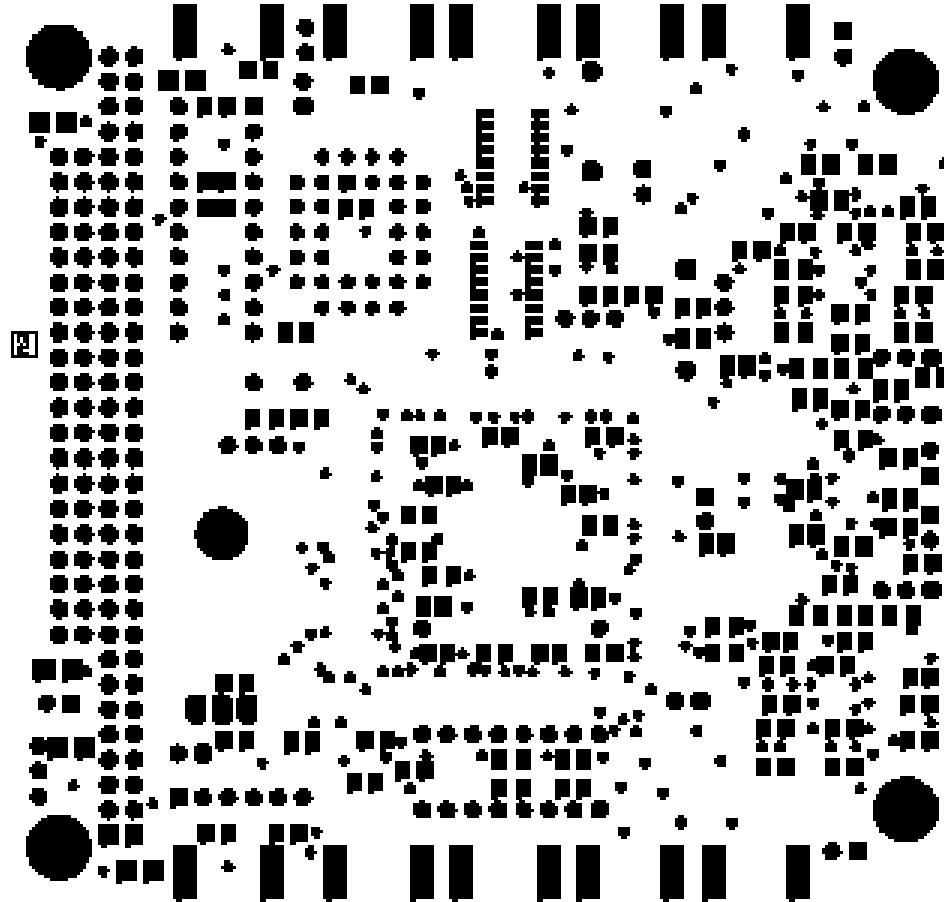


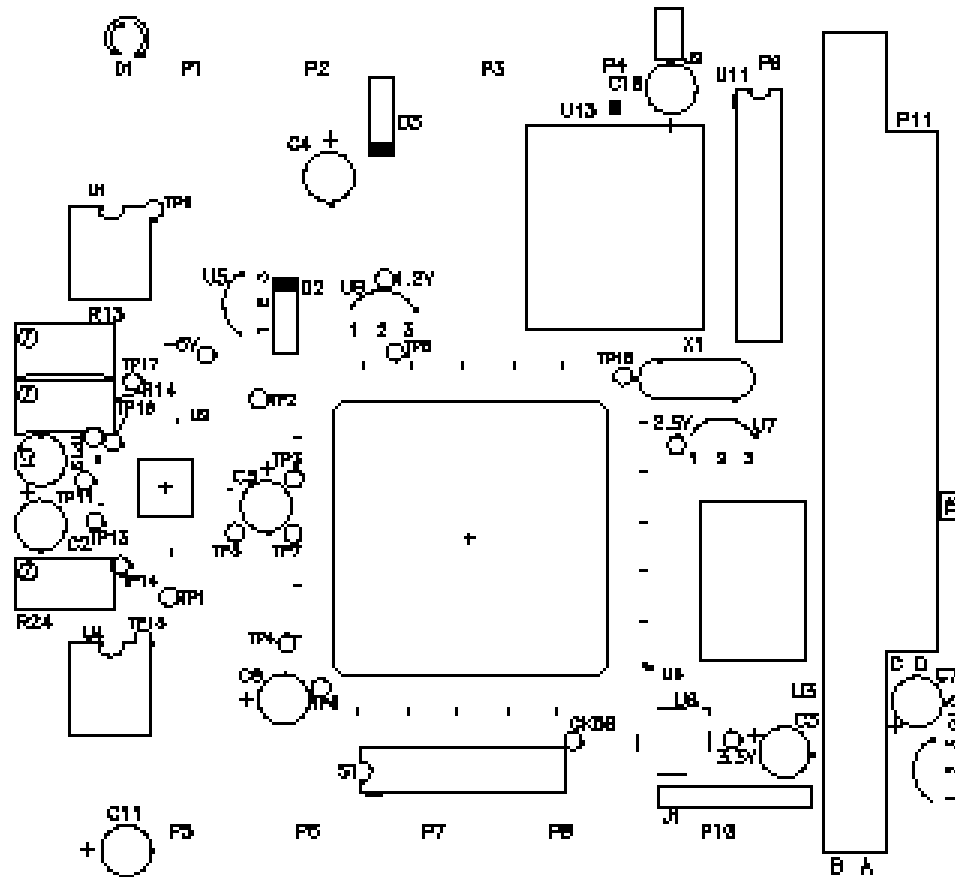


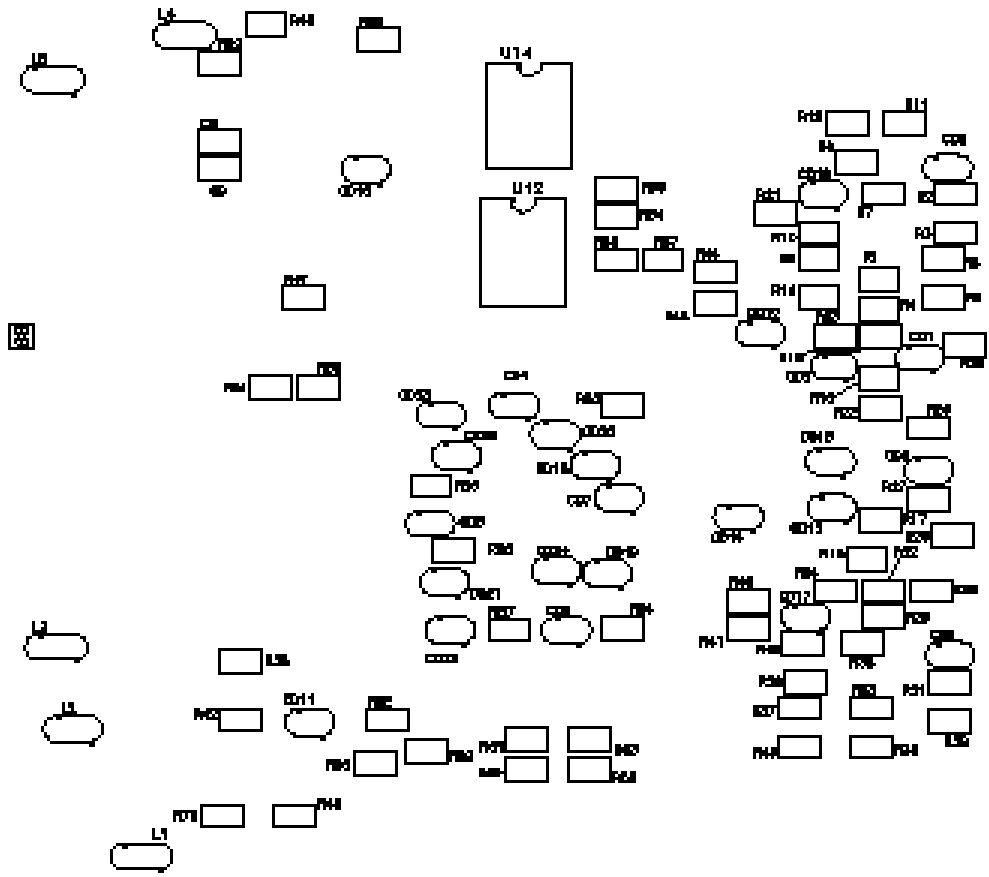


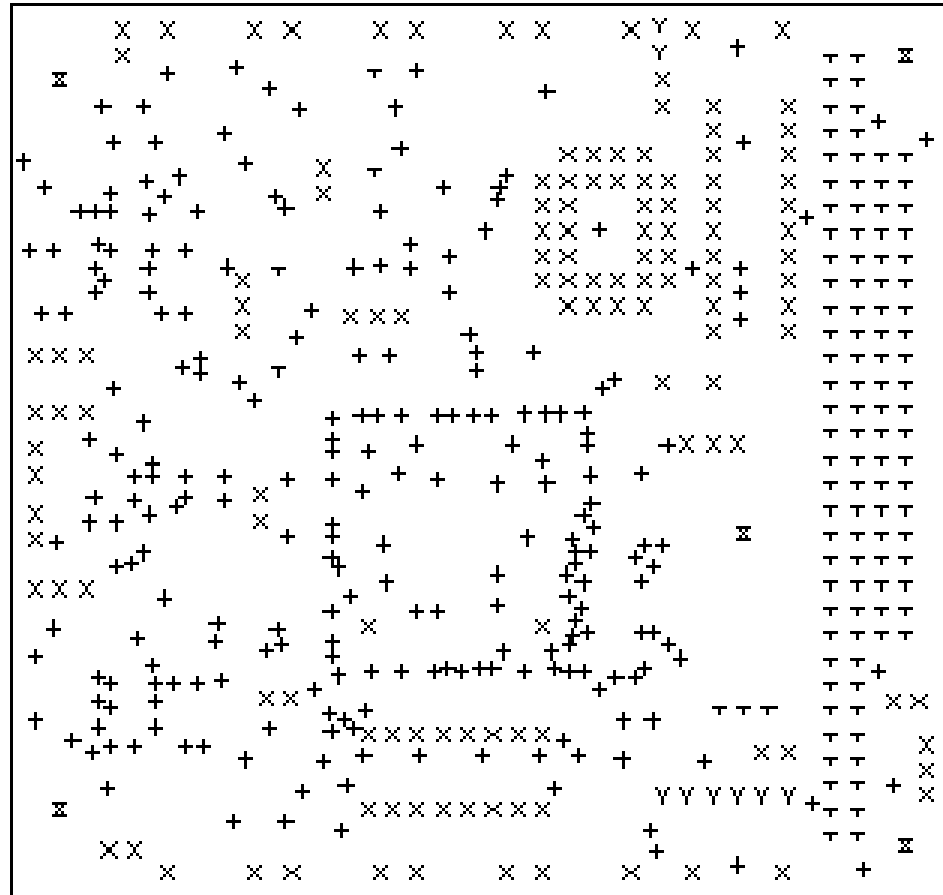




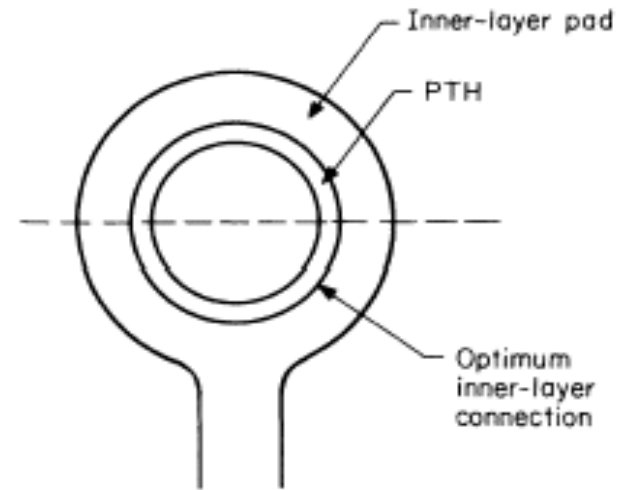
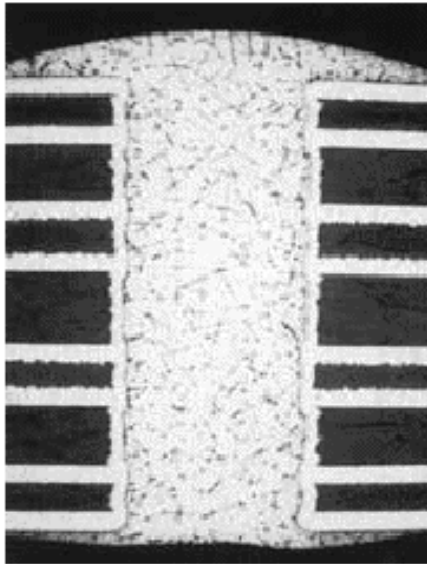




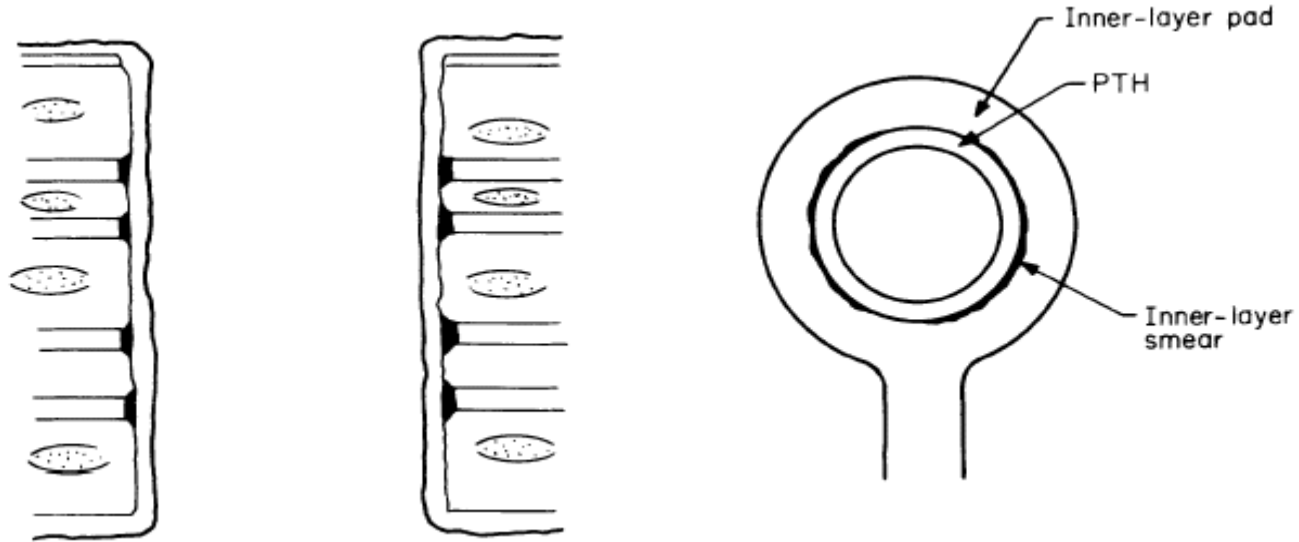




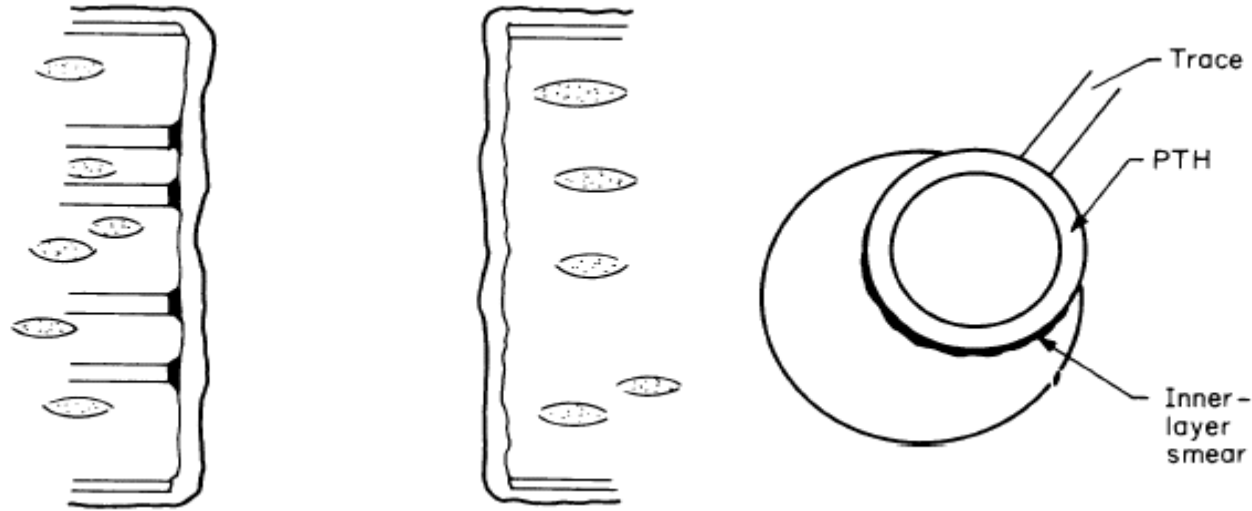
- + 6,5 mm
- X 6,0 mm
- Y 6,9 mm
- T 1,1 mm
- Z 3,3 mm



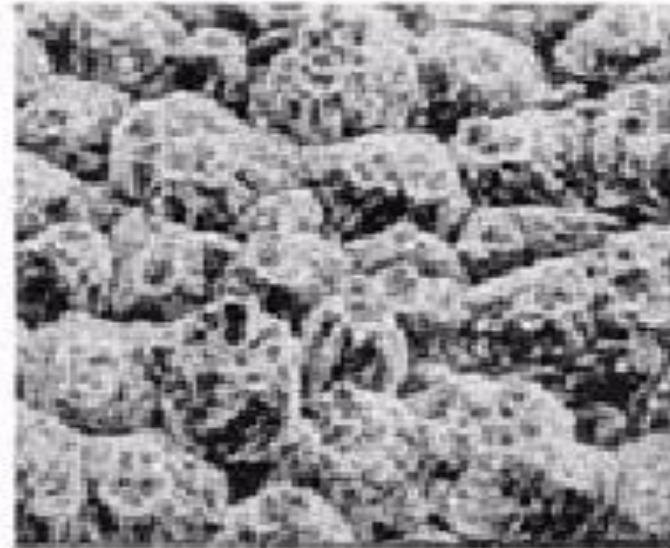
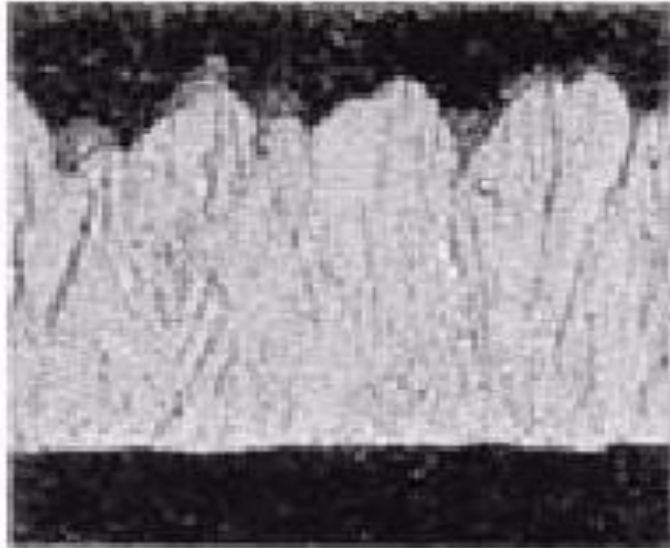
PTH = Plated Thru Hole (Furo Metalizado)



Rebarbas na furação das camadas internas

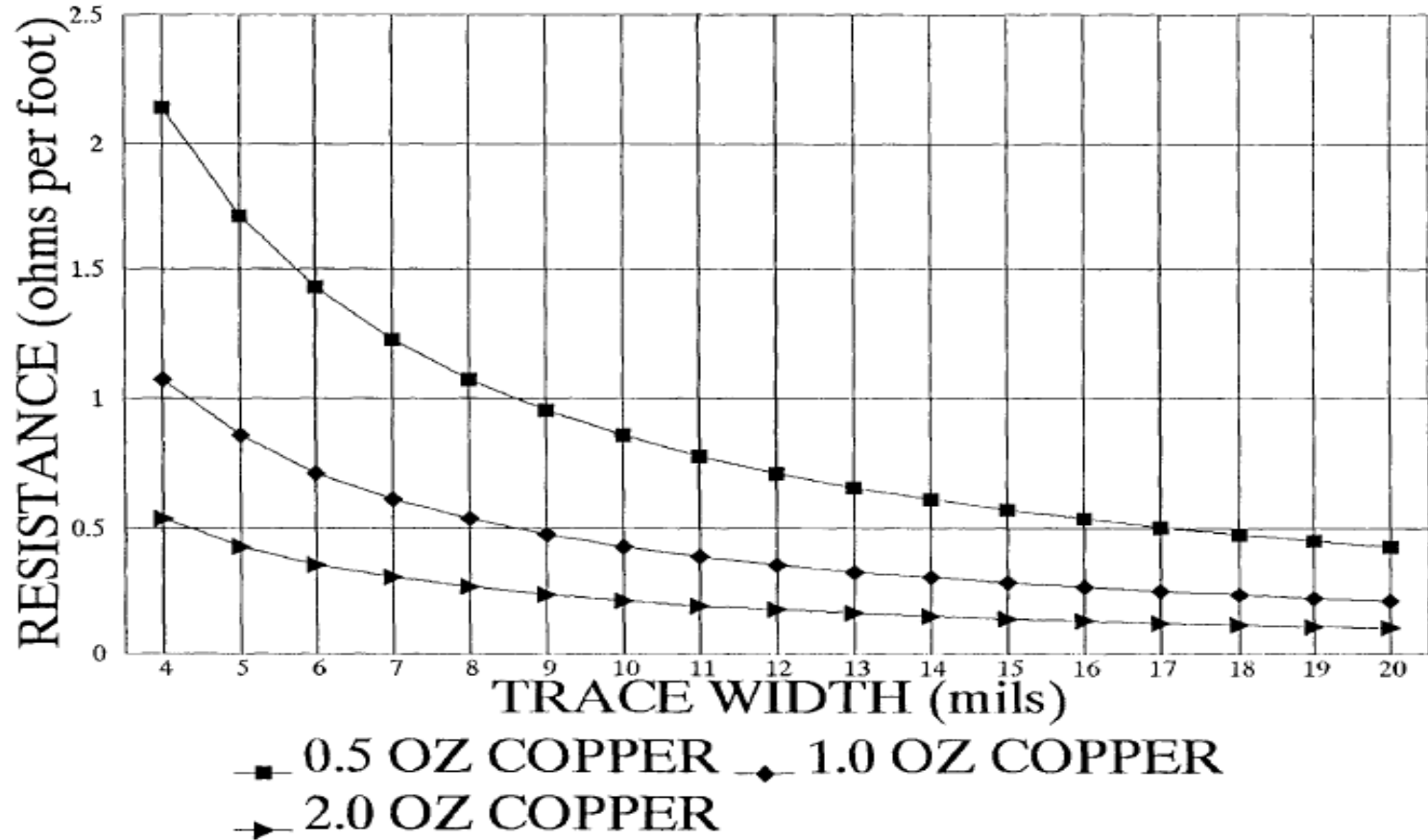


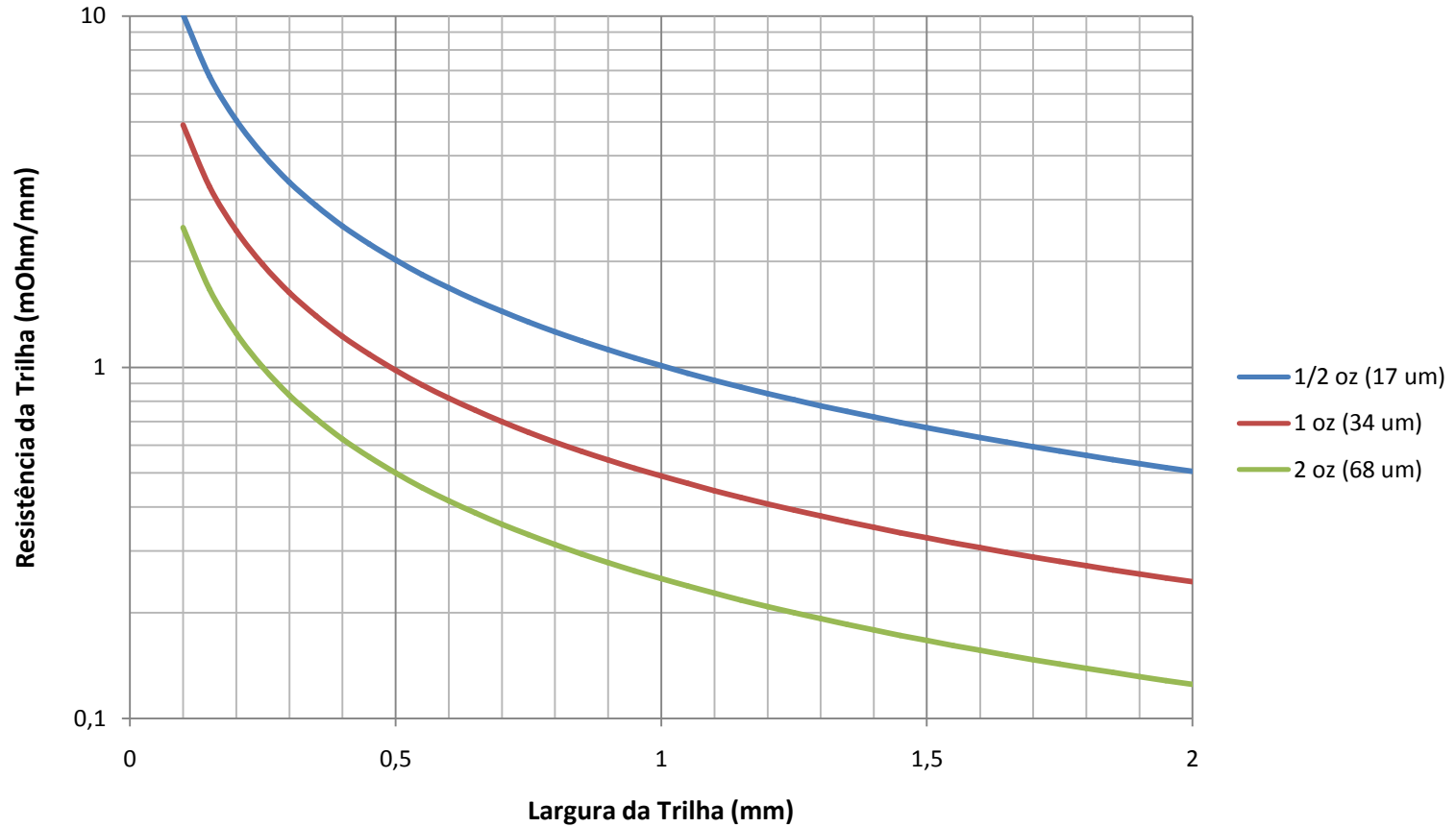
Erros de registro nas camadas internas

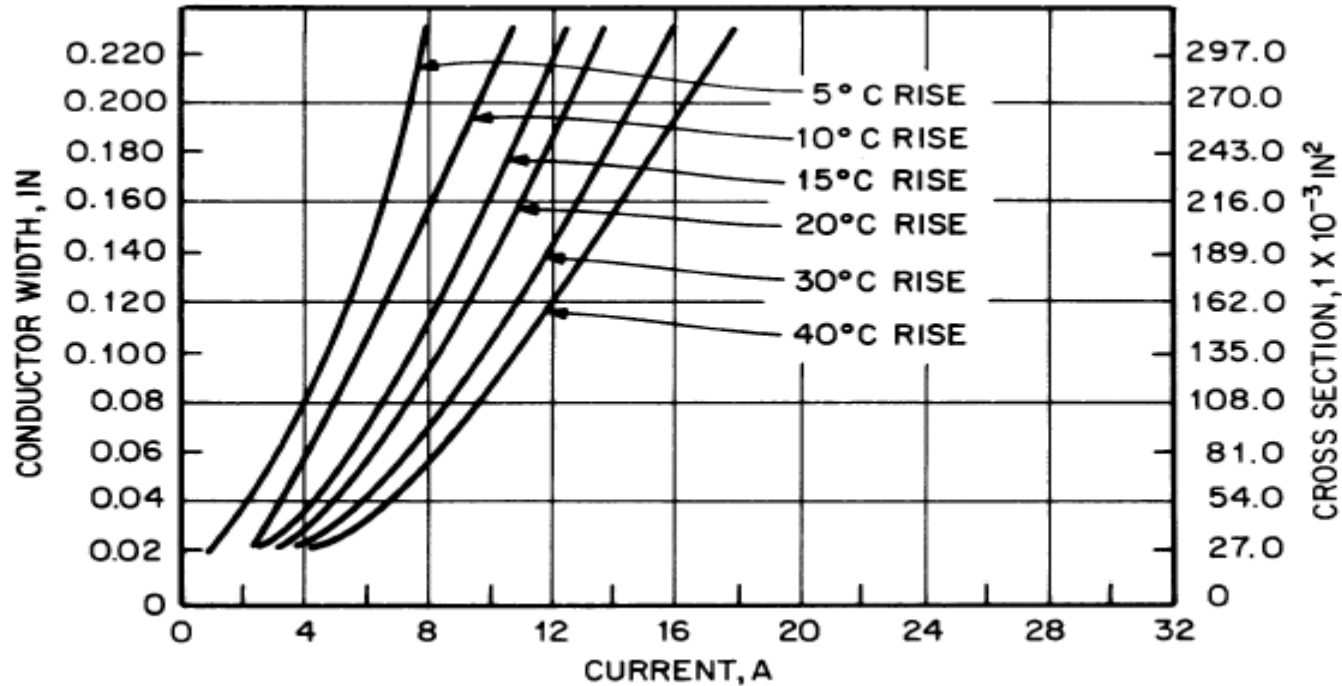


Secção transversal e superfície aderente da
Folha de cobre produzida por galvanoplastia

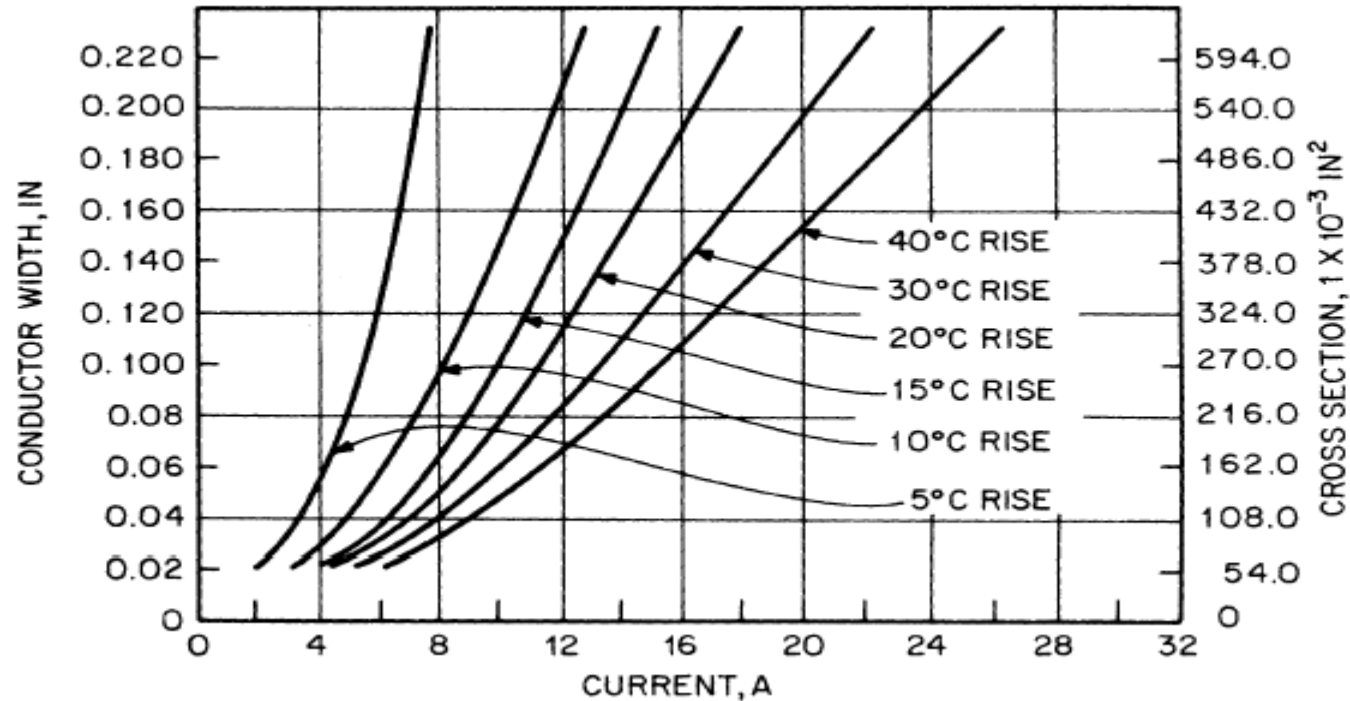
Densidade (onça/pé ²)	Densidade g/m ²	Espessura nominal (μm)	Espessura (mils)	Resistivi- dade (mΩ/sq)
½ oz.	150	17	0.68	1.01
1 oz.	300	34	1.35	0.49
2 oz.	600	68	2.7	0.25





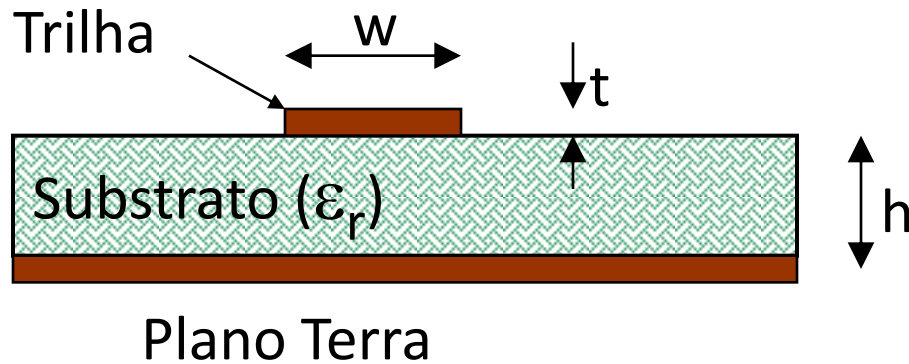


Laminado de Cobre, 1 oz. (34 μm)



Laminado de Cobre, 2 oz. ($68 \mu\text{m}$)

- Largura da trilha: $\sim 20 \text{ mils /A}$ ($0,5 \text{ mm/A}$)
(trilhas curtas, lâmina 2 oz.)
- Tensão de ruptura entre trilhas: $\sim 5 \text{ V/ mil}$ (250V/mm)
($4 \text{ mm} = 1 \text{ kV}$)



$$Z_0 = \frac{87.0}{(\epsilon_r + 1.41)^{1/2}} \ln \left[\frac{5.98 h}{0.8w + t} \right]$$

Ex.:

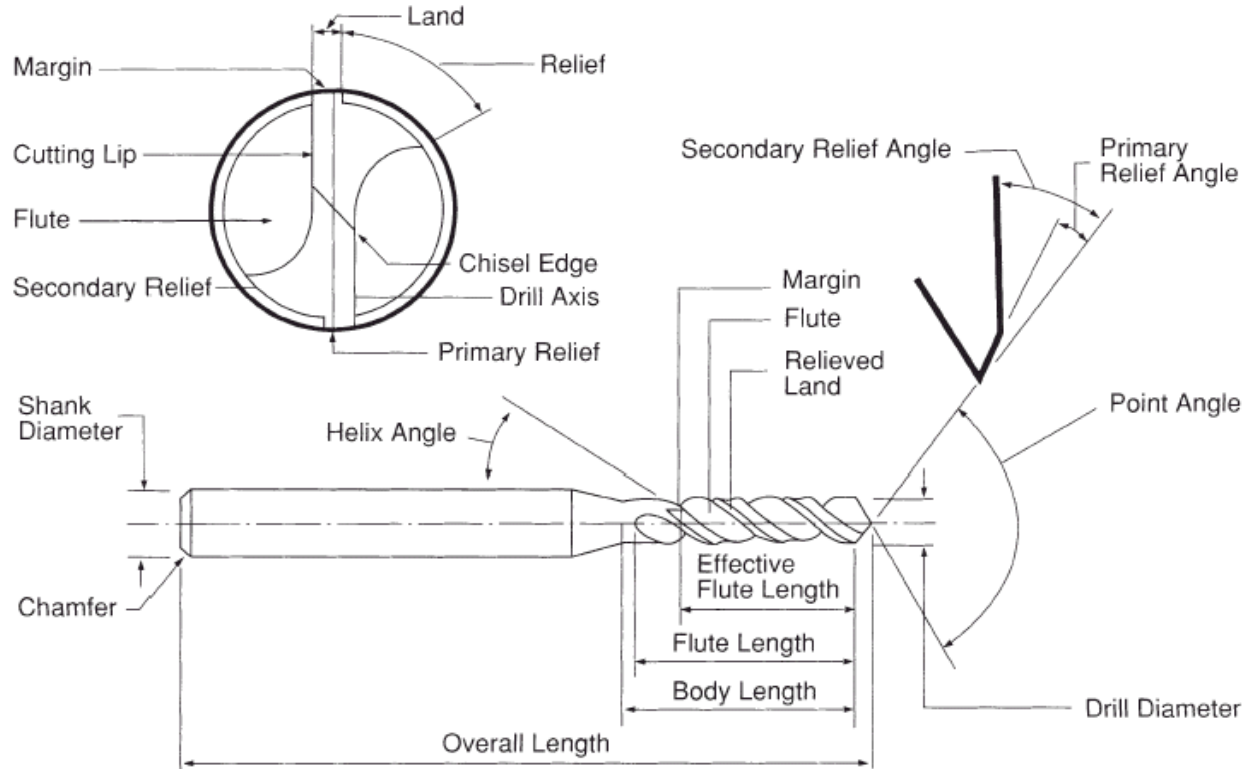
$$Z_0 = 50 \text{ Ohms}$$

$$\epsilon_r = 4.2 \text{ (FR-4)}$$

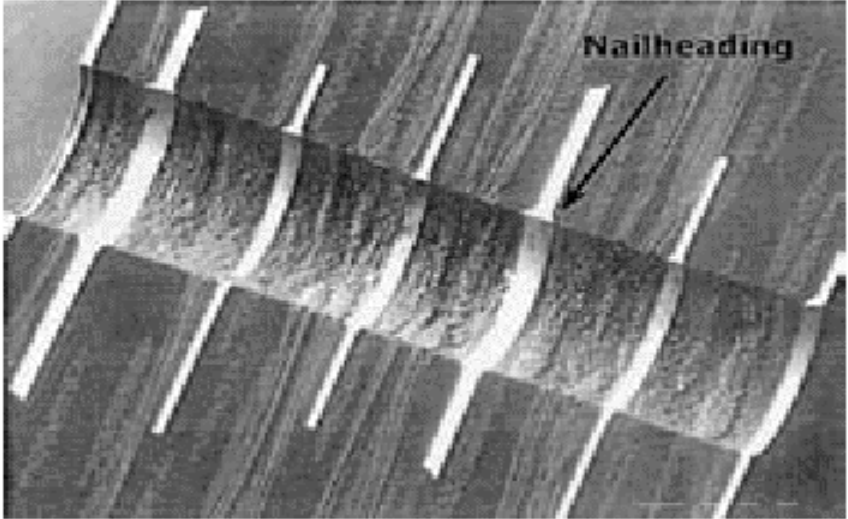
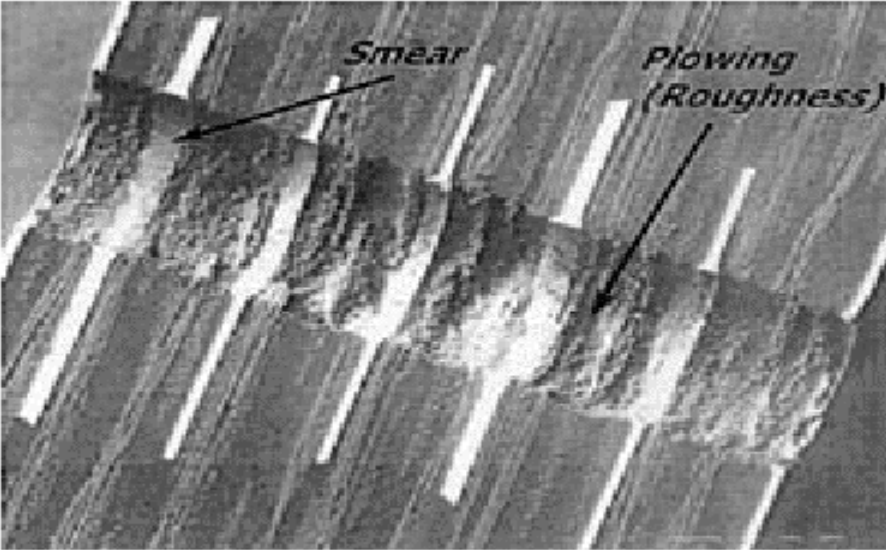
$$h = 0,8 \text{ mm}$$

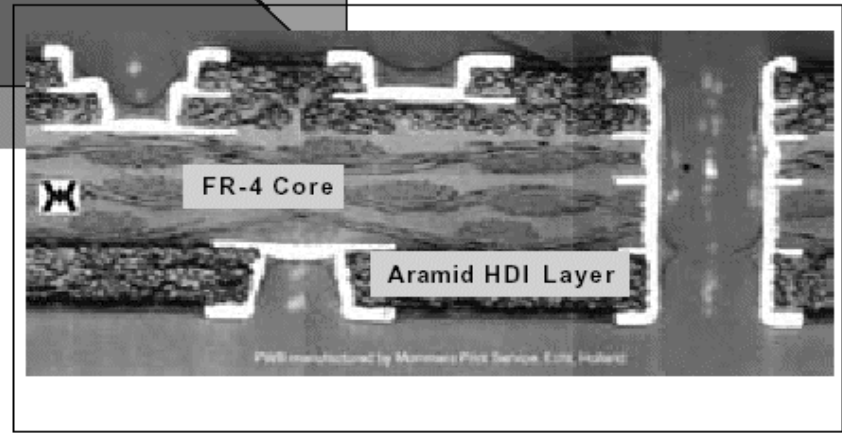
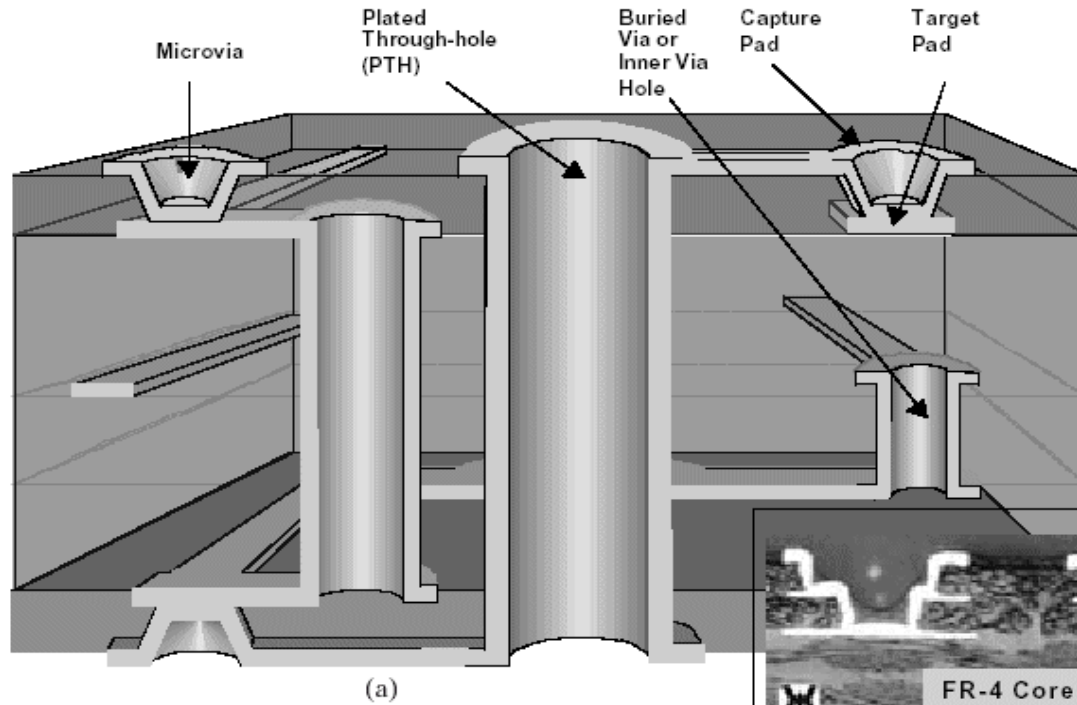
$$w = 1,5 \text{ mm}$$

$$t = 35 \mu\text{m}$$

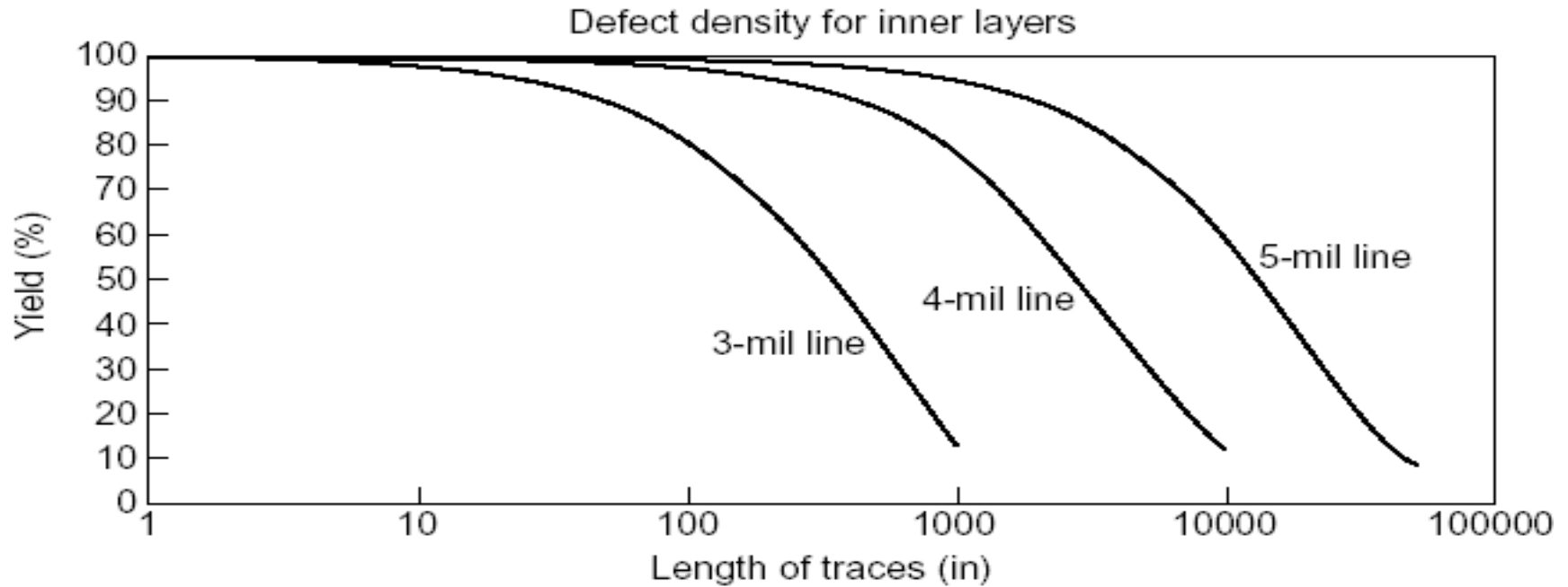


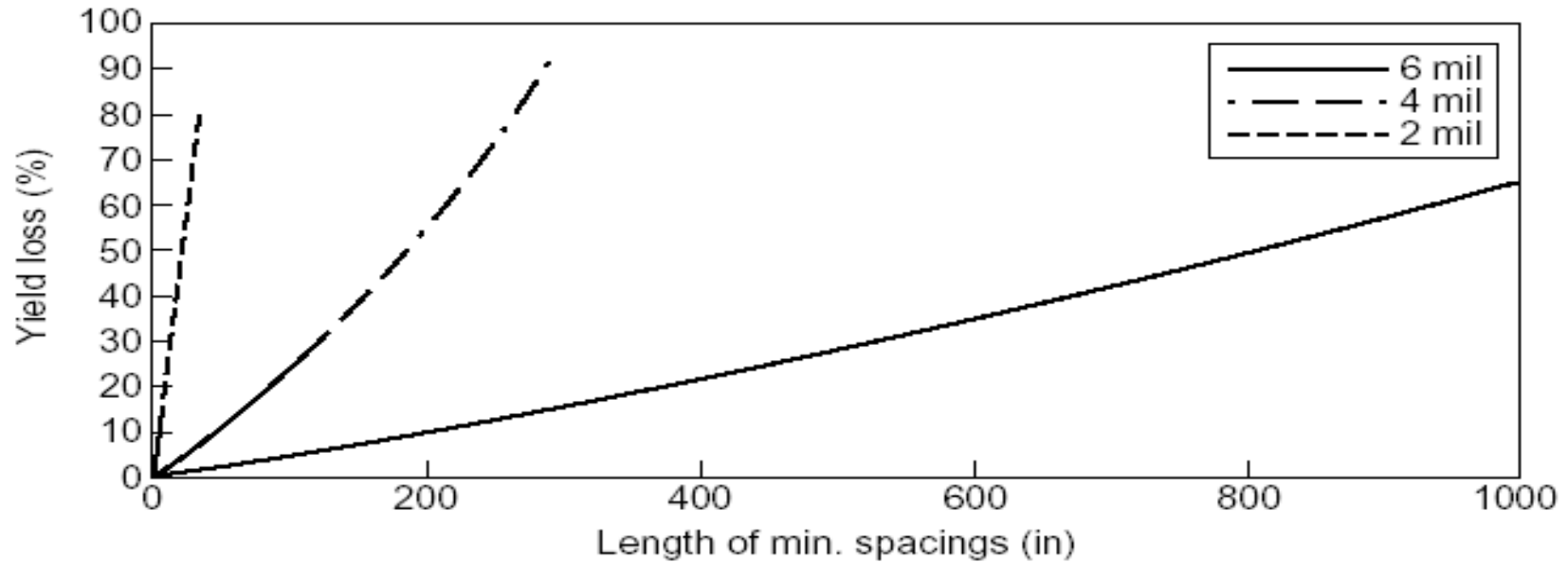
Geometria de uma broca (50000 a 150000 rpm)





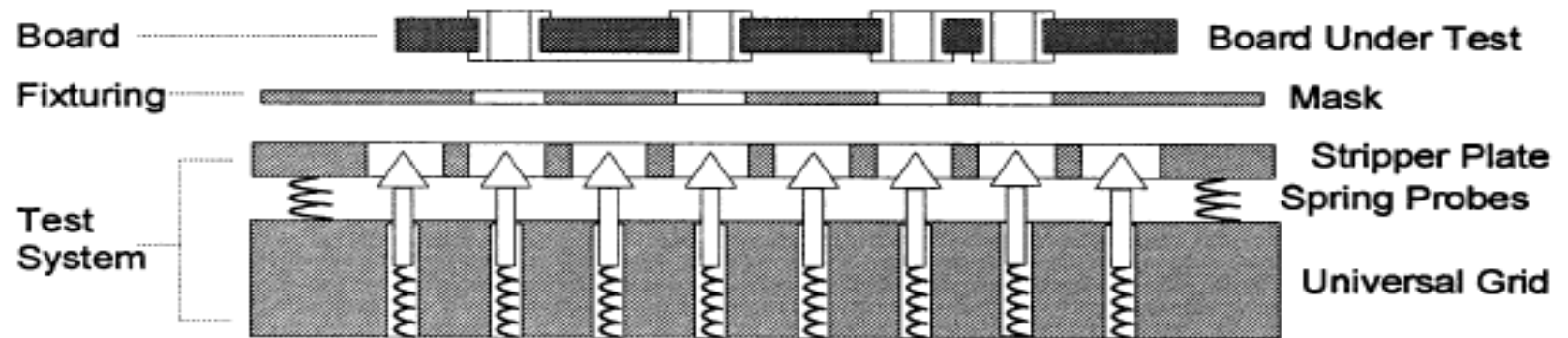
(b)



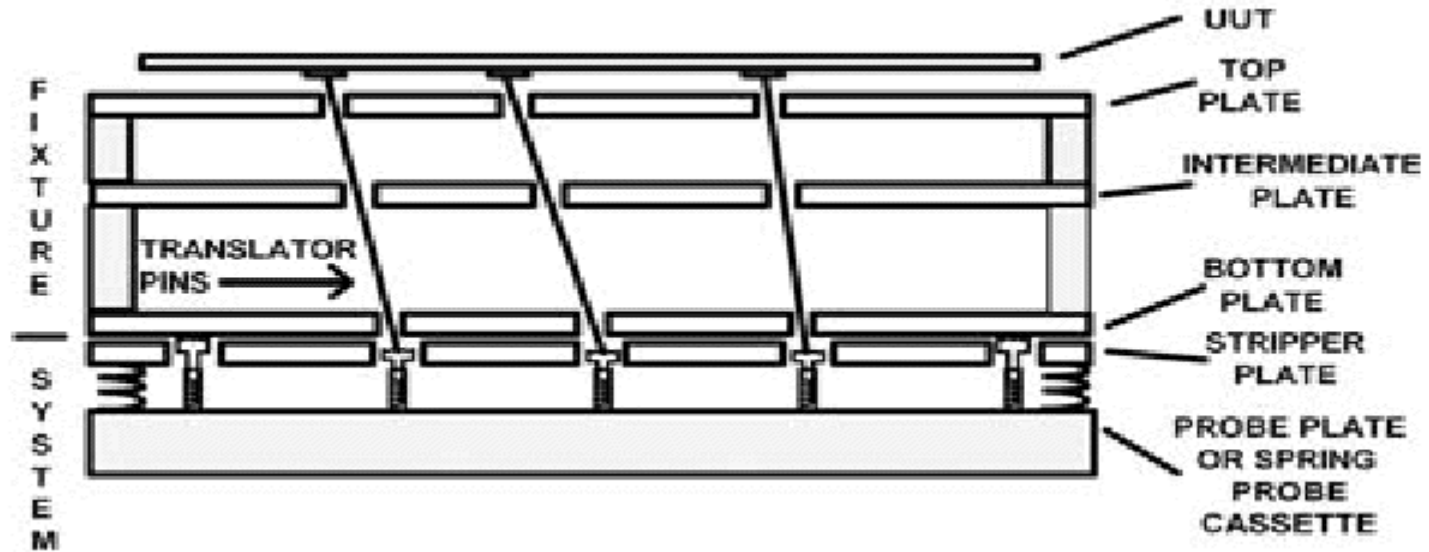


- Largura mínima de trilha: 8 mils (0,2 mm)
- Espaçamento mínimo: 8 mils (0,2 mm)
- Diâmetro de furos de transpasse: 16 mils (0,4 mm)
- Diâmetro da ilha de transpasse: 36 mils (0,9 mm)
- Número de Camadas: 2 (máximo: 4)

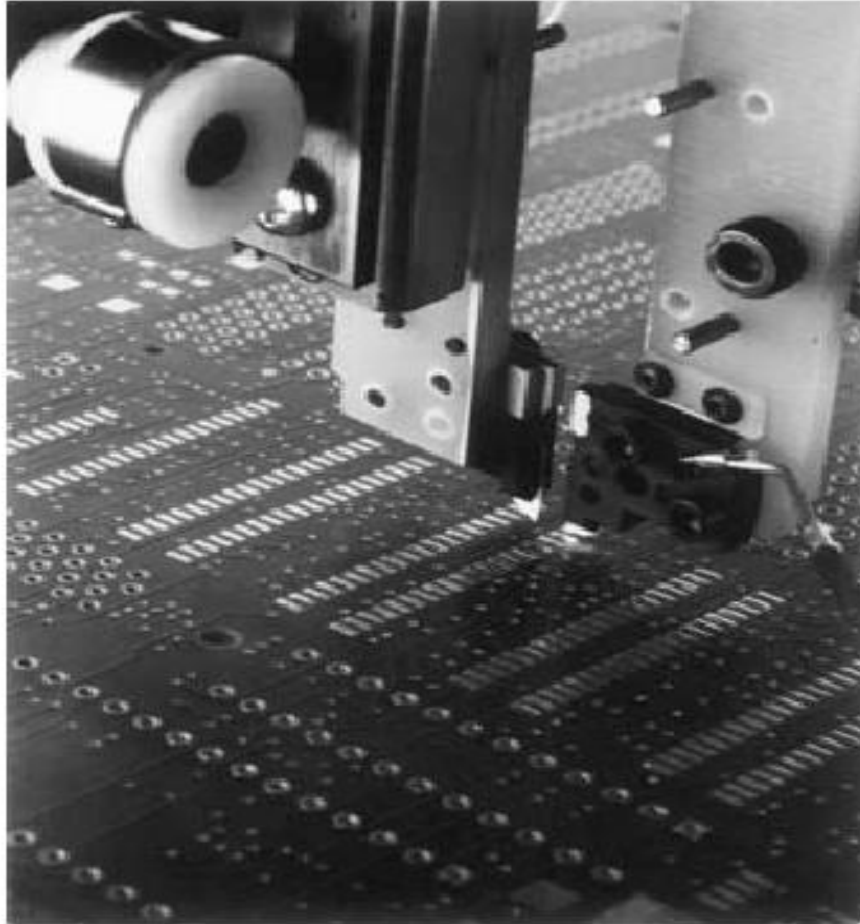
- Largura mínima de trilha: 4 mils (0,1 mm)
- Espaçamento mínimo: 4 mils (0,1 mm)
- Diâmetro de furos de transpasse: 12 mils (0,3 mm)
- Diâmetro da ilha de transpasse: 26 mils (0,7 mm)
- Número de Camadas: 6



Cama-de-pregos (para pontos em grade padrão)



Cama-de-pregos com transporte lateral
(para pontos fora da grade)

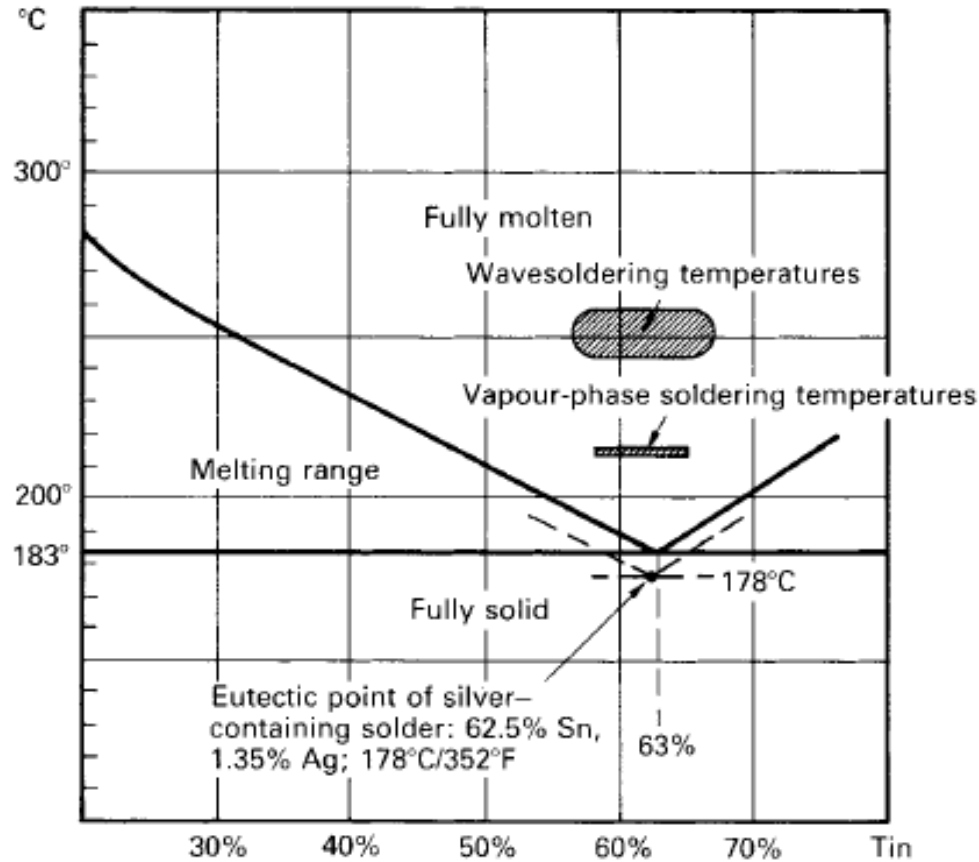


Pontas Móveis para teste
Sequencial x-y

Soldagem de Componentes

- Liga metalúrgica entre metais diferentes
- Uso de uma liga metálica com ponto de fusão menor (“Solda”)
- Produção de compostos intermetálicos nas interfaces
- Remoção de óxidos ou sulfetos das superfícies metálicas

- Conectividade Elétrica
- Fixação Mecânica
- Proteção contra Corrosão
- Solda mais utilizada: 63% Sn / 37% Pb
 - Ponto de Fusão: 183 °C
 - Acabamento brilhante
- Pode ter 1 a 2% de Ag (“Solda de Prata”)



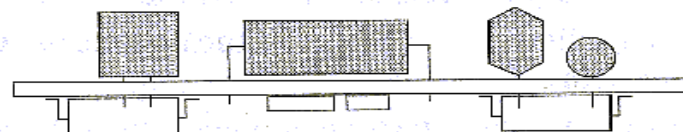
- Manual, componentes “Thru Hole”
 - Contato simultâneo de 4 corpos: Ponta do Ferro de Solda, Terminal do Componente, Ilha do circuito Impresso, e Solda
- Refusão (SMD)
 - Aplicação de pasta de solda e fusão por aquecimento
- Onda (SMD ou “Thru Hole”)
 - Colagem dos componentes SMD
 - Soldagem por banho de solda fundida



SMT type 1 B (Simple)



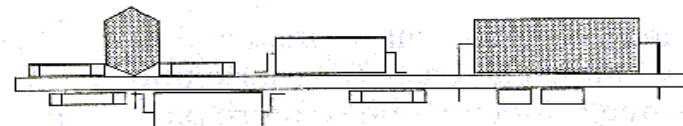
SMT type 1 C (Mixed Tech)



SMT type 1 C (Complex)



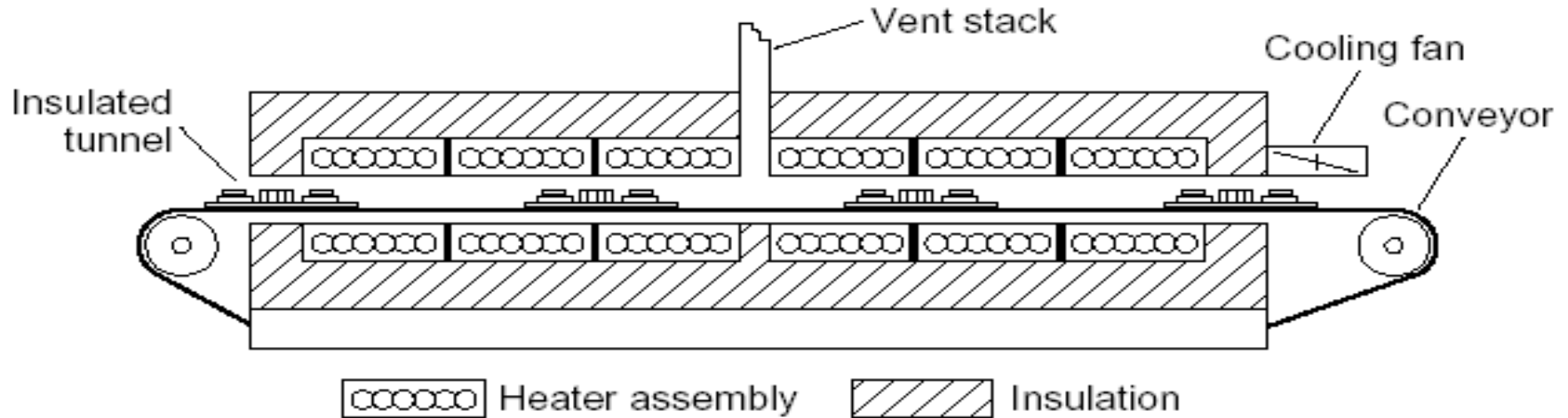
SMT type 2 B (Simple)



SMT type 2 C (Mixed Tech)

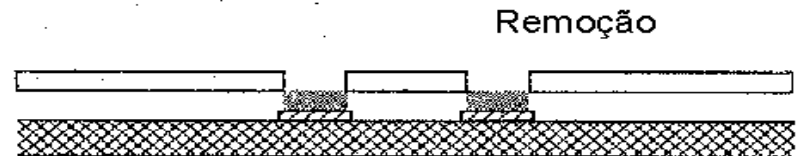
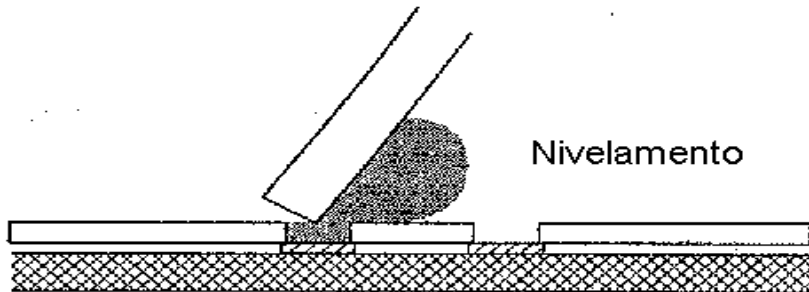
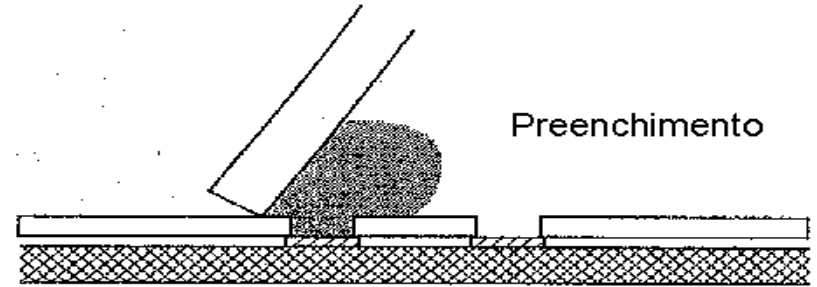
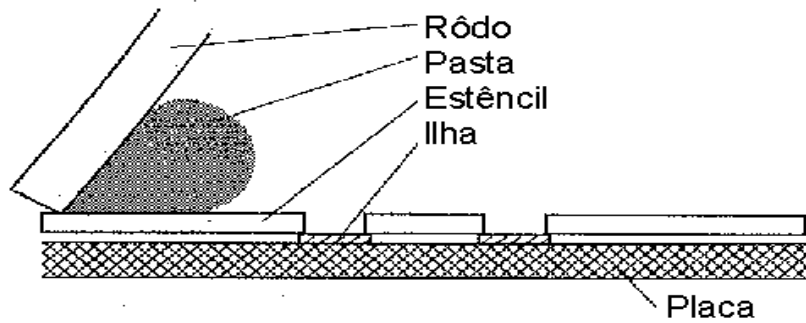


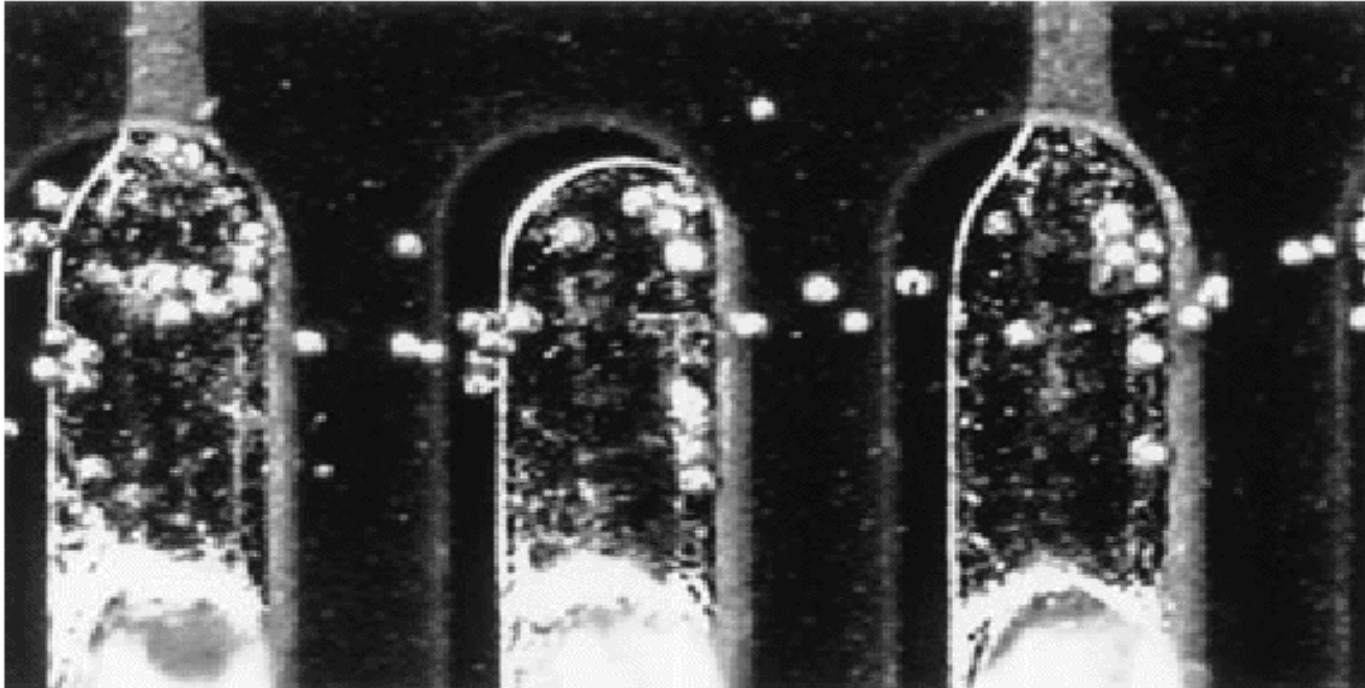
SMT type 2 C (Complex)

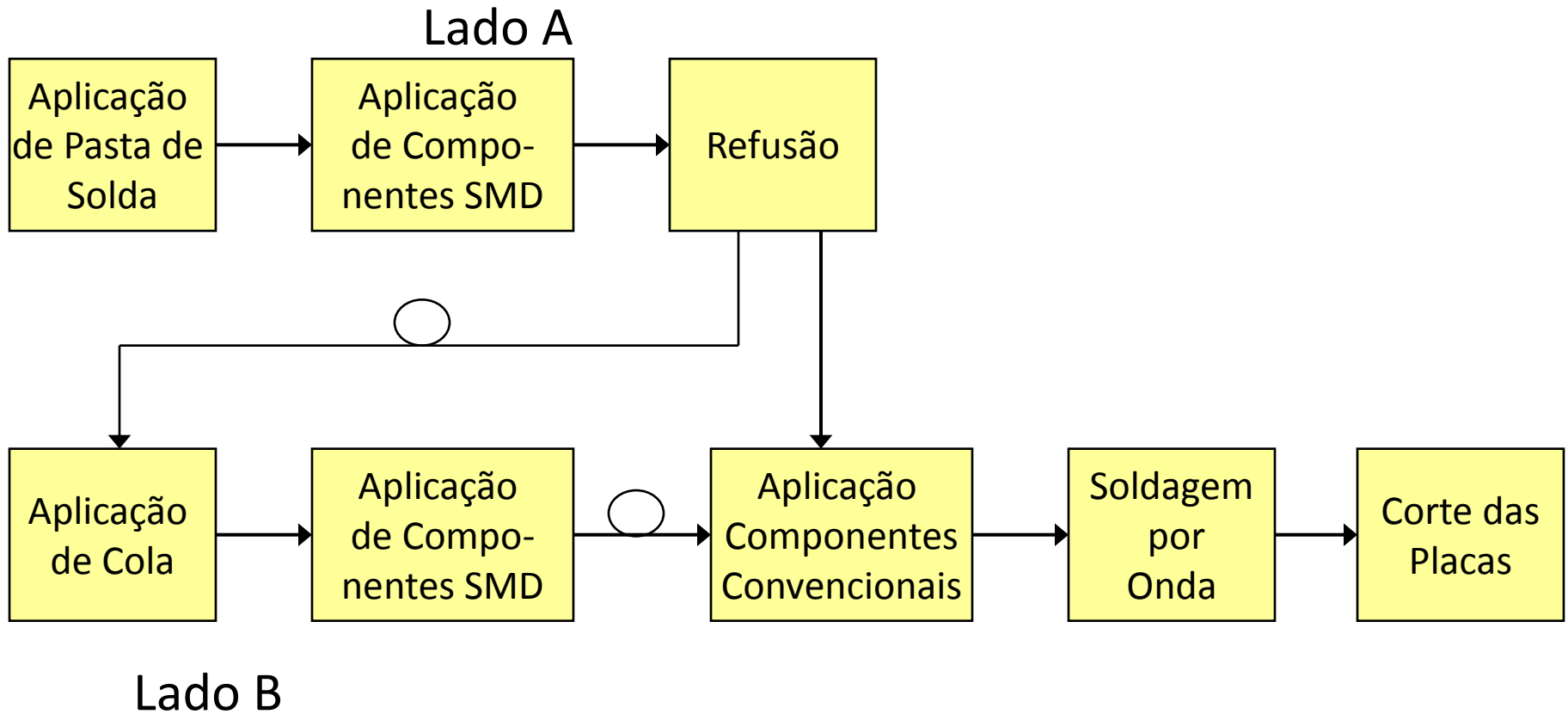


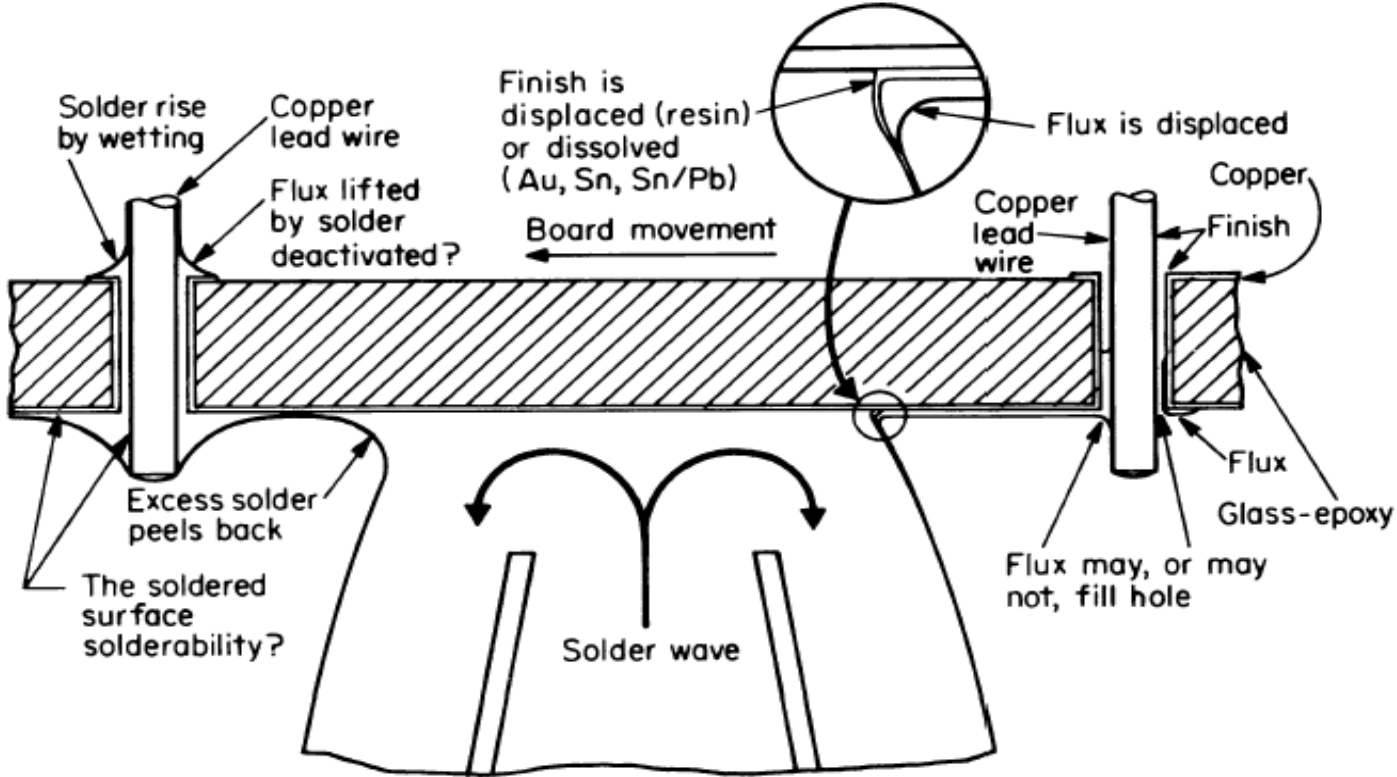
Soldagem de Componentes SMD na face superior, com uso de pasta de solda

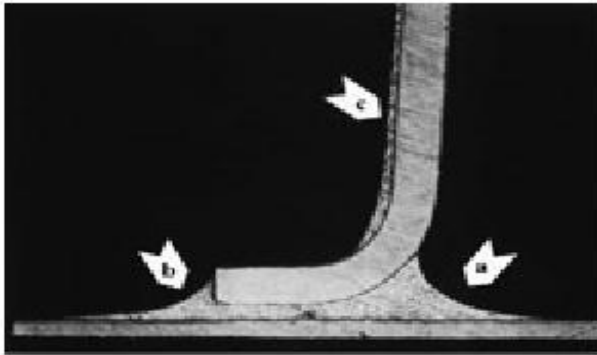
Problema: todos os componentes precisam suportar a temperatura de fusão da solda





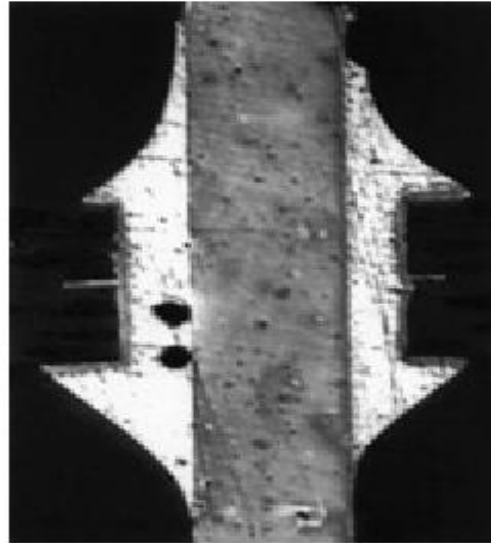






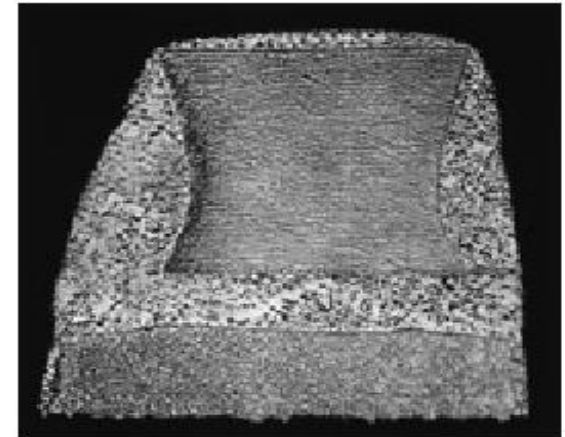
(a)

Terminal de
Componente SMD



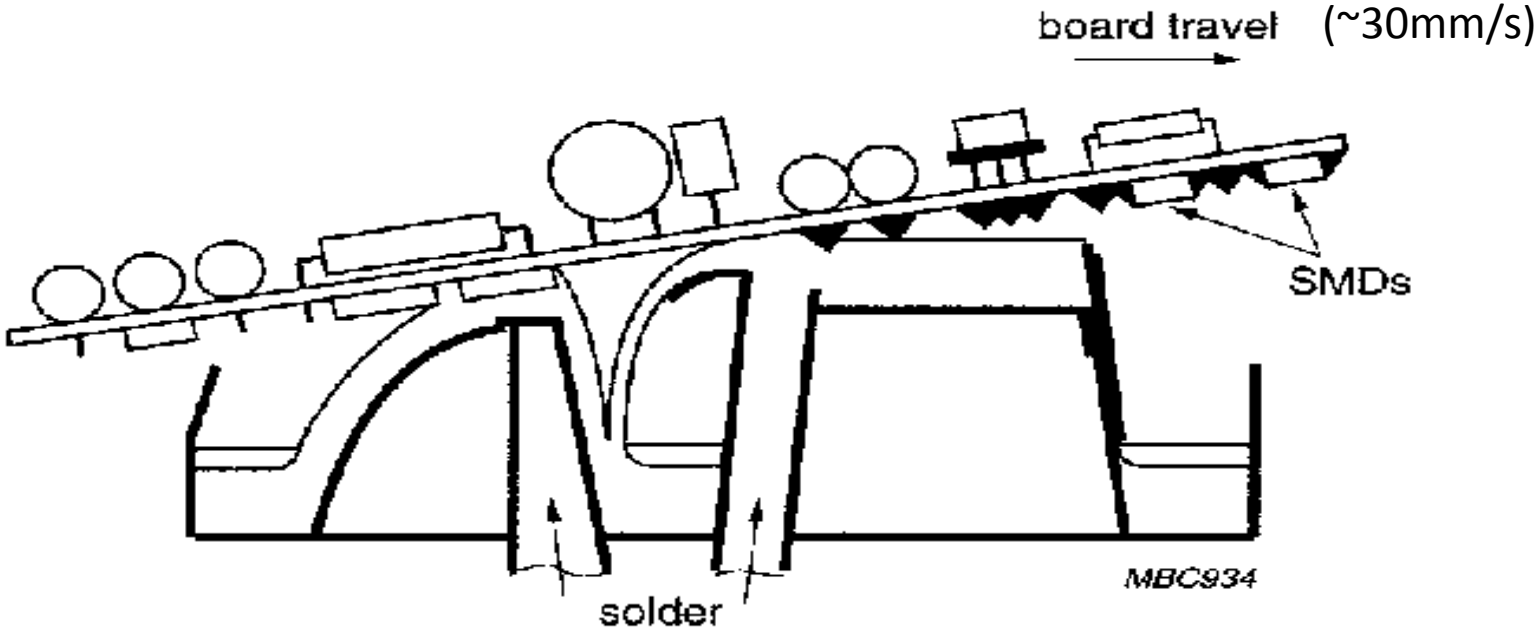
(b)

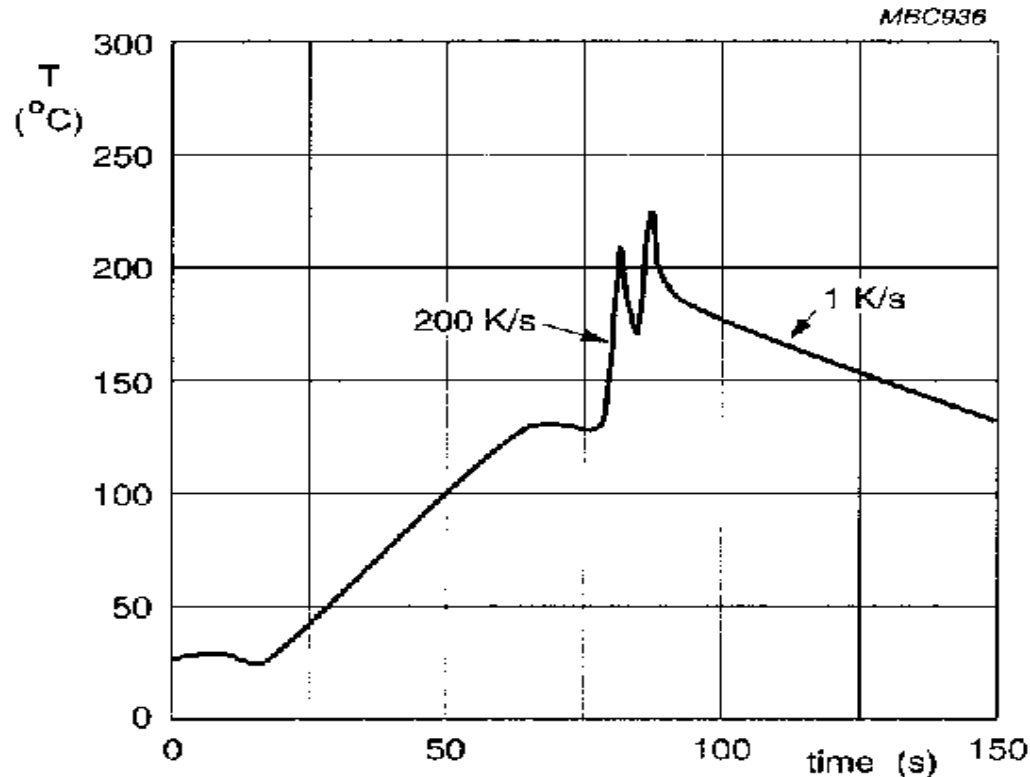
Terminal c/ furo



(c)

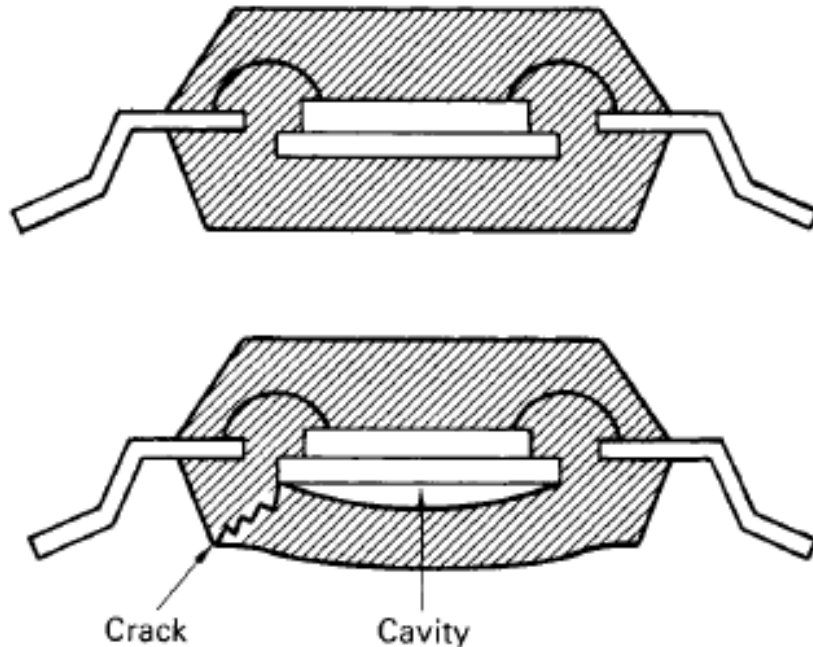
Corte transversal
de terminal SMD





Componentes na face superior precisam suportar $\sim 150^{\circ}\text{C}$

Componentes na face inferior precisam suportar choque térmico de $\sim 250^{\circ}\text{C}$

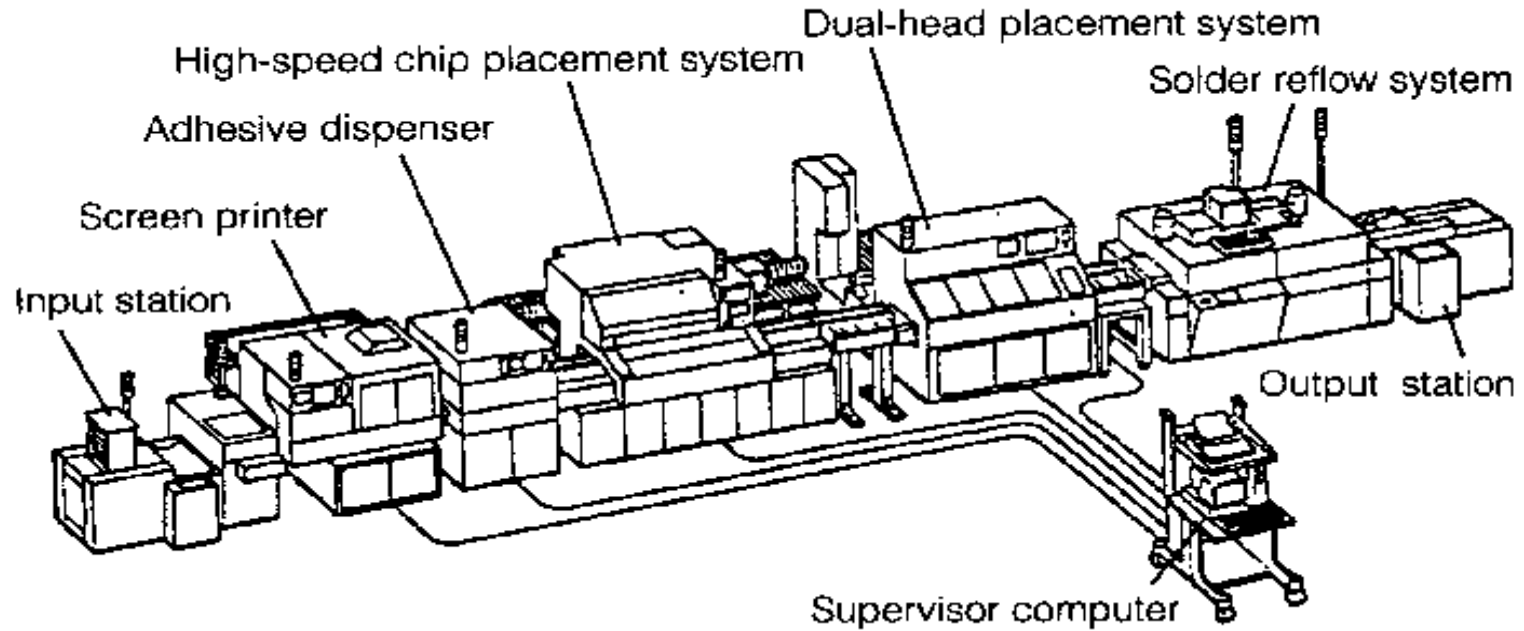


Causa: umidade aprisionada em encapsulamentos de Epóxi

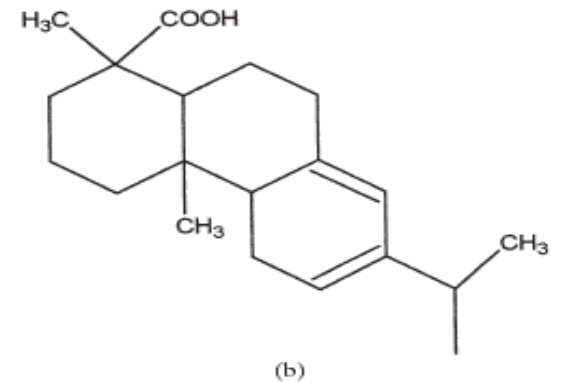
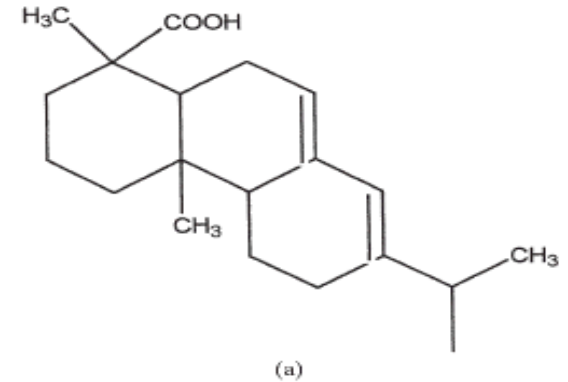
Prevenção:

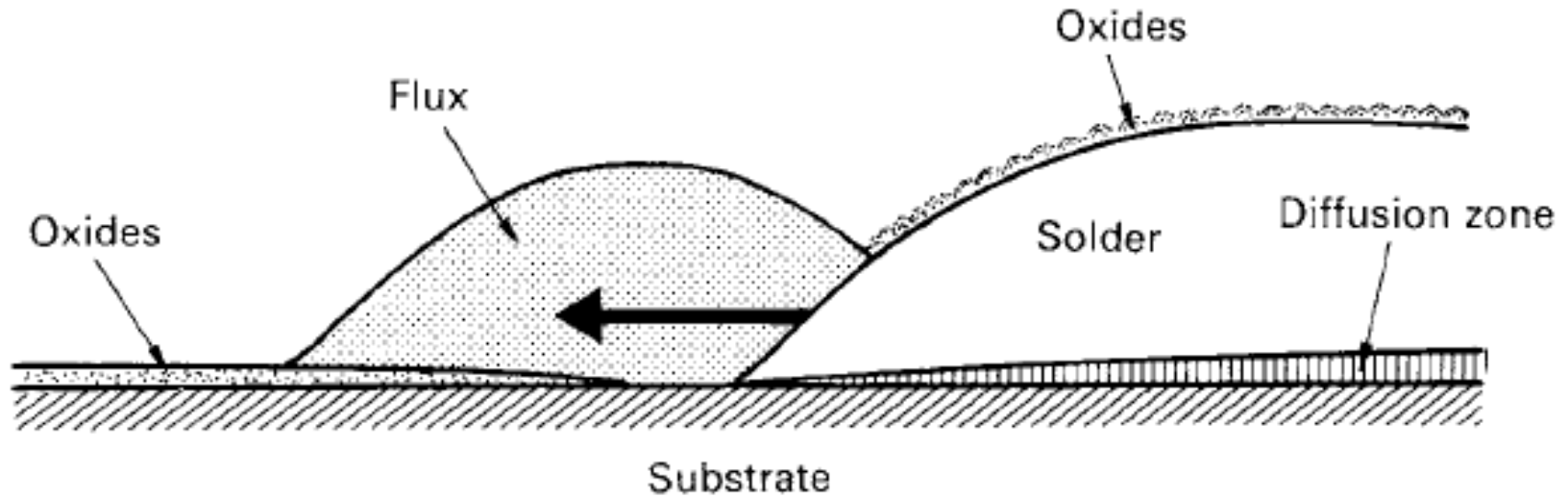
- Secagem em estufa (ex.: 100 hs a 100 °C)
- Embalagem hermética com sílica Gel

- Energias necessárias para elevar a temperatura de 20 °C para 250 °C (Temperatura de soldagem):
 - 1g de Cobre: 88 Joules
 - 1g de Solda: 102 J
 - 1 ponto de solda ($\sim 1 \text{ mm}^3$): 0,7 J
 - 1g de FR-4: 228 J
 - 1 placa de circuito impresso VME (23 x 16 cm): 20-30 kJ



- Substância redutora, dissolve os óxidos nas superfícies a serem soldadas
- Resinas orgânicas (ácido abiético, ácido pimárico)
- Ativadas ou não com haletos inorgânicos





- Problema ecológico: evitar contaminação dos lençóis freáticos por Chumbo
- Pb banido na Comunidade Europeia, Japão e mundo (ROHS)
- Exemplos de Alternativas:

Liga	P. Fusão	Liga	P. Fusão
93.6 Sn 4.7 Ag 1.7 Cu	216 °C	78 Sn 6 Zn 16 Bi	134-196
95.5 Sn 3.9 Ag 0.6 Cu	217 °C	91 Sn 9 Zn	199 °C
99.3 Sn 0.7 Cu	227 °C	92Sn 3.3Ag 3Bi 1.7In	210-214
42 Sn 58 Bi	138 °C	93Sn 3.1Ag 3Bi 0.5Cu	209-212
43 Sn 56 Bi 1 Ag	136.5 °C	95.2Sn 2.5Ag 0.8Cu 0.5Sb	216-218
91.8 Sn 4.8 Bi 3.4 Ag	211 °C	95.5 Sn 3.5 Ag 1 Zn	217 °C

- Problemas:
 - Custo mais elevado
 - Corrosão
 - Aderência inferior
 - Incompatibilidade com alguns revestimentos
 - Efeito termoelétrico 20 a 200 vezes maior

- Furos de Transpasse:
 - Tinta Condutiva (Ag)
 - Ilhós, micro-rebite
- Revestimento:
 - Ouro, Níquel
 - SMOBC (Solder Mask Over Bare Copper)
- Ligações:
 - Trilhas aditivas com Tinta Condutiva (Ag, C)
 - Wire-Wrap

- “OCCAM”



- Clyde F. Coombs: Printed Circuits Handbook – McGraw-Hill, 2001
- Micropress Circuitos Impressos
- Philips Data Handbook IC26 – 1998
- Verdant Electronics
- Rudolf Strauss: SMT Soldering Handbook - Newnes, 1998