

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

**Bolsa Ensino**

**Projeto:** Simuladores e Experimentos Práticos  
voltados à Eletrônica Analógica.

**Apostila Teórica Projetos de PCBs**

Aluno: Israel Rodrigues Dutra  
Professor: Marcos Vinícios Alves de Oliveira

GUARULHOS

2023

## Sumário

<b>Glossário.....</b>	<b>3</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Fluxograma de Projeto.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Componentes PTH &amp; SMD.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Datasheet.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Tipos de PCB.....</b>	<b>7</b>
Face única.....	7
Face dupla.....	8
Multicamadas.....	8
<b>5. Esquemático.....</b>	<b>9</b>
<b>6. Editor PCB.....</b>	<b>11</b>
<b>7. Biblioteca de Footprint.....</b>	<b>11</b>
<b>8. Checagem de Regras Elétricas (DRC).....</b>	<b>12</b>
Regras elétricas.....	12
<b>9. Unidades de Medida.....</b>	<b>13</b>
<b>10. Grids de Trabalho.....</b>	<b>13</b>
<b>11. Disposição de Componentes.....</b>	<b>14</b>
<b>12. Trilhas.....</b>	<b>14</b>
<b>13. Como Rotear.....</b>	<b>15</b>
<b>14. Técnica de Empescoçamento.....</b>	<b>16</b>
<b>15. Cálculo de largura de trilha.....</b>	<b>16</b>
<b>16. Pads/ilhas.....</b>	<b>17</b>
<b>17. Vias.....</b>	<b>17</b>
<b>18. Polígonos.....</b>	<b>18</b>
<b>19. Camadas Importantes.....</b>	<b>18</b>
SILKSCREEN.....	18
Contorno da Placa/ Edge Cuts.....	19
Camadas de VCC e GND.....	19
<b>20. Design de circuito digitais.....</b>	<b>20</b>
Crosstalk.....	20
Casamento de impedância.....	20
Pares Diferenciais.....	21
Interferências Eletromagnéticas.....	21
Componentes para reduzir a EMI.....	22
Capacitores de desacoplamento e bypass.....	22
<b>21. Testes em placas.....</b>	<b>23</b>
<b>22. Confeção de PCBs de forma caseira.....</b>	<b>25</b>
Método à quente.....	25
Método a frio.....	25
<b>23. Soldagem.....</b>	<b>26</b>
<b>24. Arquivos de Manufatura e Montagem.....</b>	<b>28</b>
<b>25. Capacidade de fabricação e Tolerância.....</b>	<b>29</b>
<b>26. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>30</b>

## Glossário

- **PCB**, Placa de Circuito Impresso, do inglês Printed Circuit Board.
- **PCI**, Placa de Circuito Impresso, sigla em português.
- **EDA**, Automação de Design Eletrônico, do inglês Electronic Design Automation.
- **Template**, do português Modelo.
- **Footprint**, do português Pegada.
- **THT**, Tecnologia pelo buraco, do inglês Through Hole Technology.
- **PTH**, pino através do buraco, Pin Through Hole.
- **SMD**, Dispositivo de Montagem Superficial, do inglês Surface Mounted Device.
- **EMI**, Interferência eletromagnética, do inglês Electromagnetic interference
- **EMC**, Compatibilidade Eletromagnética, do inglês Electromagnetic compatibility.

## Introdução

As placas de circuito impresso desempenham um papel fundamental no mundo da tecnologia. Elas são uma peça fundamental na maioria dos dispositivos eletrônicos que usamos no dia a dia, desde smartphones e laptops até aparelhos domésticos e equipamentos industriais. As PCBs são projetadas para fornecer uma plataforma sólida e eficiente para conectar componentes eletrônicos analógicos e digitais.

A importância das PCBs reside na sua capacidade de fornecer uma estrutura organizada e compacta para circuitos eletrônicos, permitindo a passagem de eletricidade e a transmissão de dados de maneira eficaz. Elas são essenciais para garantir que os componentes eletrônicos se comuniquem entre si de forma precisa e que a eletricidade flua sem problemas. Além disso, as PCBs contribuem para a redução de tamanho e peso dos dispositivos eletrônicos, tornando-os mais portáteis e versáteis.

Quando falamos de placas de circuito impresso alguns temas relevantes são:

**Design de PCB:** Envolve o layout e a disposição dos componentes, rotas de cobre e o dimensionamento dos componentes.

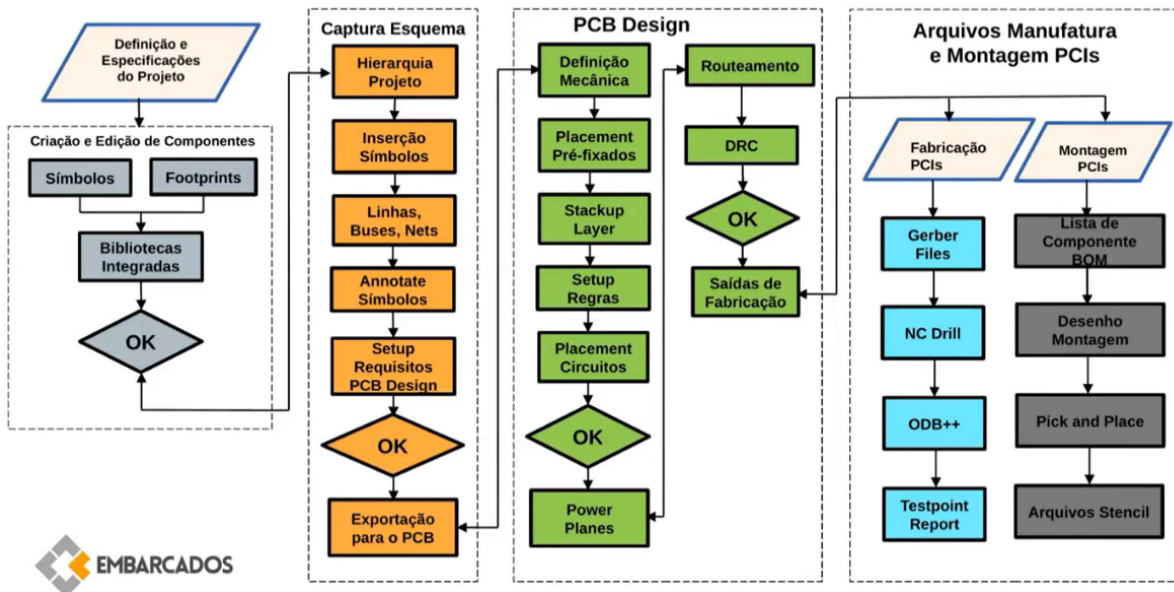
**Fabricação:** Compreende o processo de produção das PCBs, que envolve a impressão de trilhas condutoras, a inserção de componentes e a soldagem, podendo ser de forma caseira ou industrial.

**Fluxo de projeto:** método que compreende como deve ser a sequência de avanço de um projeto.

**Técnicas de design:** dicas de como obter um design confiável e que otimize a fabricação do projeto.

Essa apostila compreende temas relacionados à teoria de design em PCBs. O foco é trazer uma abordagem resumida e sólida para auxiliar no desenvolvimento de projetos de hardware eletrônico. Com a base teórica, técnicas de design, CAD, testes em placas e abordagem prática para ajudar a minimizar os erros e melhorar a compreensão sobre o tema.

## 1. Fluxograma de Projeto



Esse fluxograma é uma ótima ferramenta para seguir durante o desenvolvimento de um projeto PCB. Nele estão contidas todas as etapas do processo e setorizado em partes fundamentais como especificação de componentes, esquemático, design de PCB e manufatura.

## 2. Componentes PTH & SMD

Existem dois tipos de componentes usados para realizar circuitos em placas de circuito impresso. Os dispositivos PTH são soldados na placa por meio de furos inseridos, seus terminais são conectados às trilhas de cobre. Estes são os componentes mais usuais e com as formas mais conhecidas.

Os componentes SMD são menores e podem ser mais baratos do que os componentes PTH e possibilitam a realização de placas menores a sua desvantagem é que as rotas devem ser feitas apenas na camada superficial e para acessar camadas diferentes é necessário o uso de vias. Por serem menores a soldagem dos componentes SMD é mais complexa, por esse motivo há uma grande utilização de máquinas para realizar a soldagem.

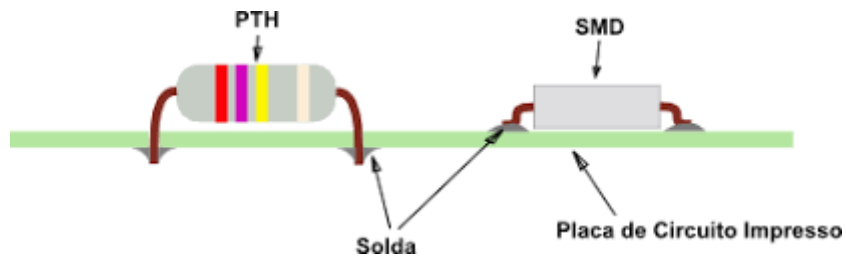


Imagem xx: Comparação entre o estilo de componente SMD e PTH.

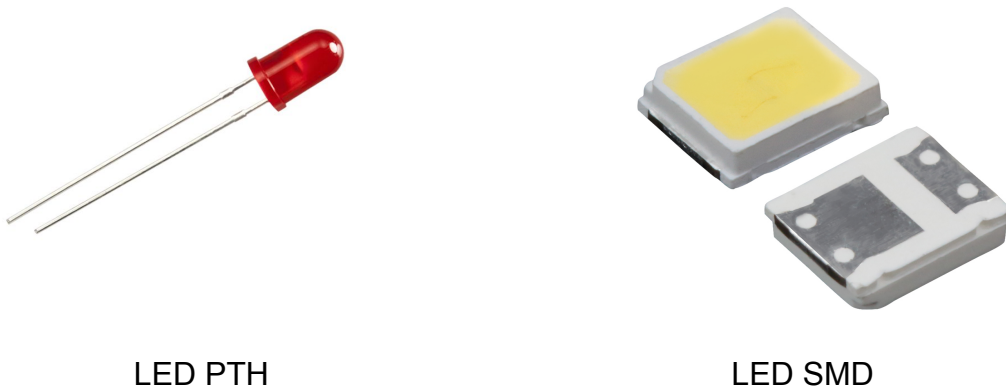


Imagem xx: Comparação entre componentes PTH e SMD.

Componentes SMD vem em “packages” que são diferentes tamanhos de componentes. Cada “package” vem com um código que está relacionado com o tamanho e esses códigos tem duas versões imperial e métrica, abaixo segue uma tabela de packages de resistores SMD.

Resistor Case Code	Imperial			Size	Metric			
	Approx. Length (in)	Approx. Width (in)	Power (W)		Resistor Case Code	Approx. Length (mm)	Approx. Width (mm)	Power (W)
<b>01005</b>	0.016	0.008	0.031	-	<b>0402</b>	0.4	0.2	0.031
<b>0201</b>	0.02	0.01	1 / 20 (0.05)	-	<b>0603</b>	0.6	0.3	1 / 20 (0.05)
<b>0402</b>	0.04	0.02	1 / 16 (0.062)	-	<b>1005</b>	1.0	0.5	1 / 16 (0.062)
<b>0603</b>	0.06	0.03	1 / 10 (0.10)	-	<b>1608</b>	1.6	0.8	1 / 10 (0.10)
<b>0805</b>	0.08	0.05	1 / 8 (0.125)	-	<b>2012</b>	2.0	1.25	1 / 8 (0.125)
<b>1206</b>	0.125	0.06	1 / 4 (0.25)	-	<b>3216</b>	3.2	1.6	1 / 4 (0.25)
<b>1210</b>	0.125	0.10	1 / 2 (0.5)	-	<b>3225</b>	3.2	2.5	1 / 2 (0.5)
<b>1812</b>	0.18	0.125	3 / 4 (0.75)	-	<b>4532</b>	4.5	3.2	3 / 4 (0.75)
<b>2010</b>	0.20	0.10	3 / 4 (0.75)	-	<b>5025</b>	5.0	2.5	3 / 4 (0.75)
<b>2512</b>	0.25	0.125	1	-	<b>6332</b>	6.3	3.2	1

### 3. Datasheet

O datasheet é o livro de instruções de algum componente. Nele estão contidas informações importantes sobre o funcionamento do dispositivo e como aplicar o componente de forma eficiente. Durante o projeto de PCB, em todas as suas etapas será necessário usar o datasheet como referência. Um bom datasheet deve conter:

- Identificação do componente
- Tipo de encapsulamento ou package
- Especificações do componente como: tensão Max, corrente, temperatura etc.
- Como aplicar o componente em um circuito teste
- Como o componente funciona
- Imagem de desenho técnico do componente

Um datasheet ruim pode gerar um uso indevido do componente, assim podendo afetar outros componentes do circuito em questão. Para achar um bom datasheet basta pesquisar no Google pelo componente em alguma loja da Internet confiável e ver o datasheet anexado ao componente. Existem alguns sites que têm datasheet os mais indicados são [alldatasheet.com](http://alldatasheet.com) e [snapeda.com](http://snapeda.com). Em referências bibliográficas está contido um vídeo para maior aprofundamento no tema.

### 4. Tipos de PCB

Para se adequar ao projeto e as especificações dos componentes diversos tipos de placas podem ser requisitados. Abaixo estão alguns tipos de PCBs.

#### **Face única**

São as mais básicas para qualquer projeto. São grandes desafios de projetos, pois nesse método não há como trilhas passem por camadas diferentes a não ser a face que foi escolhida. São os tipos mais baratos e de fácil fabricação. Suas aplicações são voltadas para dispositivos de alto volume e baixa complexidade.

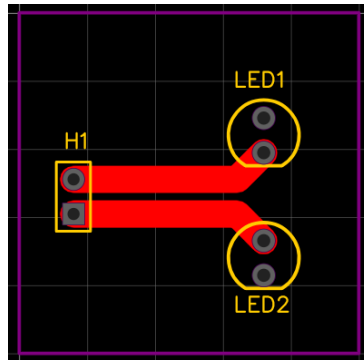


Imagem xx: representação de uma PCB de face única, a identificação de camada se dá pela cor da PCB.

### Face dupla

Possuem duas camadas que podem ser configuradas de acordo com o designer. Abrem espaço para aplicação de planos GND, vias, etc. São utilizadas em projetos de média complexidade e o design de circuitos podem ser muito mais livres.

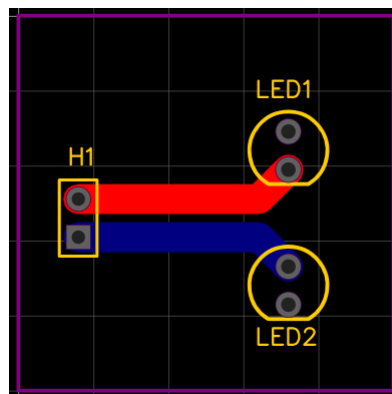


Imagem xx: representação de uma PCB de face dupla, as trilhas de cores diferentes indicam as camadas.

### Multicamadas

Podem ser de diversas quantidades de camadas, porém sempre em camadas pares. Permitem um design muito livre principalmente para tratamento de sinais. São presentes em dispositivos de grande complexidade como: equipamentos médicos, aeronáuticos e da tecnologia da informação.

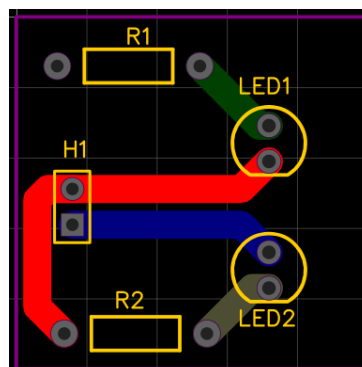




Imagem xx: representação de uma PCB de face múltipla, as trilhas de cores diferentes indicam as camadas.

## 5. Esquemático

O esquemático é sem dúvida uma das partes mais importantes de um projeto. Nele está contido o circuito eletrônico no qual vai ser realizada a PCB. Detalhes como nome de componentes, valores, número de pinos, ligações e o próprio circuito estão presentes no esquemático. Um bom esquema vai facilitar na realização da PCB, pois será o seu guia para o posicionamento dos componentes nas placas e a ligação dos mesmos.

Essa ferramenta também é fundamental para a comunicação do projeto. Caso outra pessoa tenha alguma dúvida sobre o seu circuito ou algum componente que tenha uma característica que deva ser ressaltada é possível realizar esse tipo de comunicação no esquemático. Além disso, nas folhas de projeto é possível realizar a identificação do projetista, instituição, versão do projeto entre outras coisas.

Boas práticas são:

- Sempre usar rótulos de rede para identificar pinos, caso uma ligação ocupe muito espaço.
- Separar o circuito em partes que realizam diferentes funções
- Capacitores de desacoplamento devem ser posicionados perto dos terminais dos componentes.
- Sempre realizar a identificação do seu projeto
- Atentar-se ao símbolo usado para o componente, assim evitando erros futuros.
- Enumere os componentes e também coloque os valores corretos dos componentes.
- Use datasheets para auxiliar na construção do esquemático.

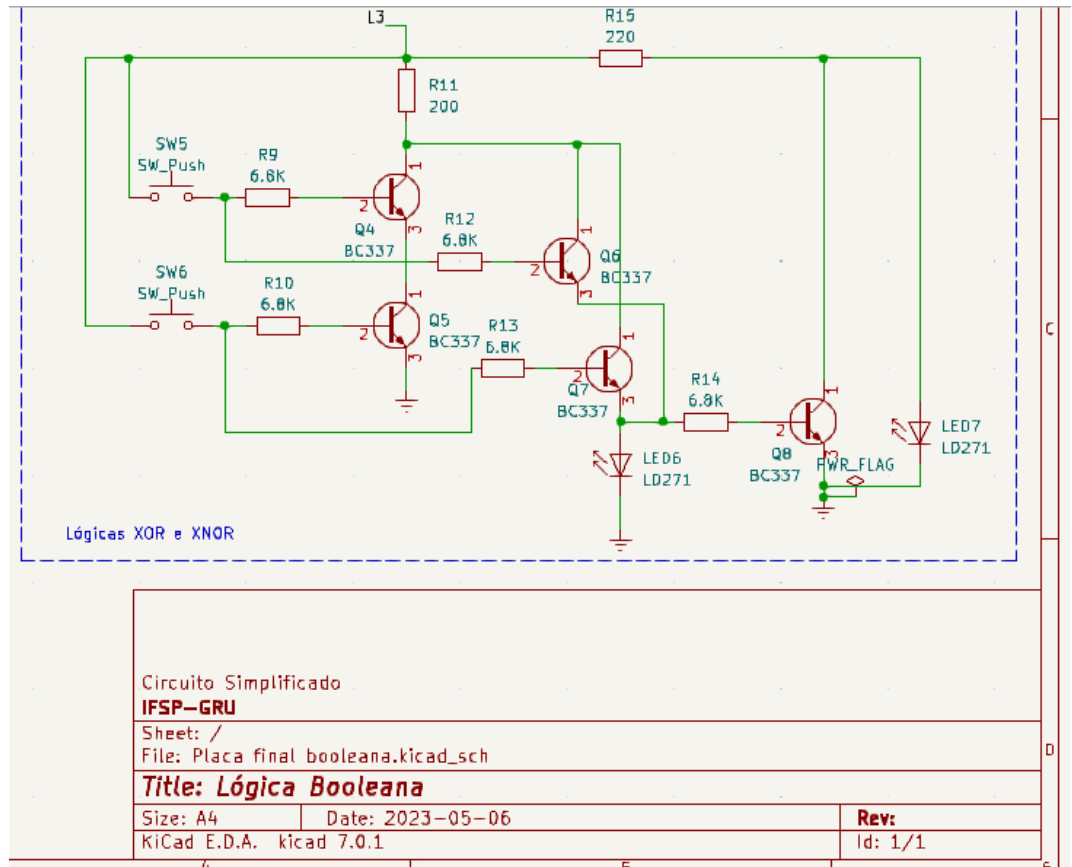


Imagem xx: Exemplo de um esquemático. Pode-se ver o circuito elétrico, a folha de identificação e a folha de projeto.

## 6. Editor PCB

A área de edição PCB tem a função de realizar a montagem e ligação da placa de circuito impresso que está sendo projetada. Dentro do editor é possível importar todos os componentes usados no esquemático, eles vêm com as ligações que foram feitas no esquemático e obedecem às regras elétricas do próprio editor. É de suma importância que na realização do projeto as ligações de trilhas não se cruzem, fato que para projetos de complexidade maior necessitará de uma grande compreensão de formação de rotas.

Uma parte importante do Editor PCB é o rastro de ligação de cada componente, consiste no rastro de cada componente com base no esquemático. É uma ferramenta extremamente útil para todos os projetos.

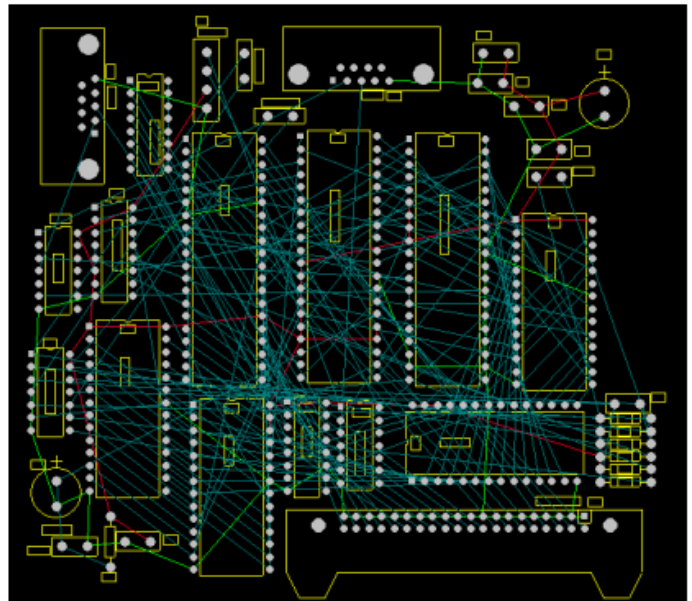
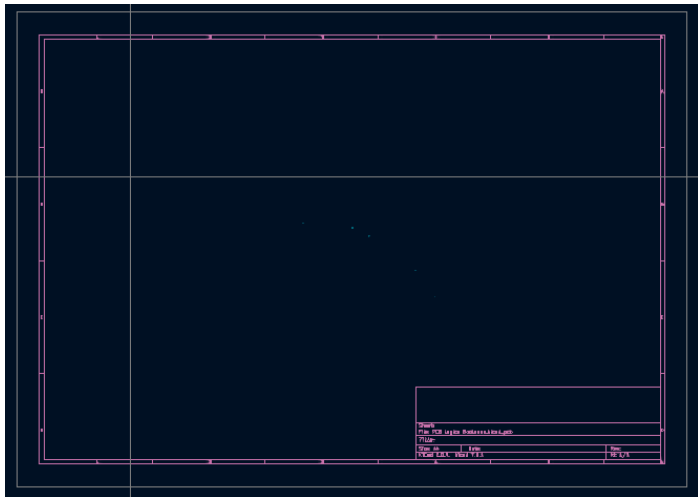


Imagem xx: Plano de trabalho no editor PCB e NETs em um editor PCB.

## 7. Biblioteca de Footprint

As footprints são imagens que estão anexadas aos componentes. Elas aparecem principalmente no editor PCB, entretanto existem na visualização 3D e no esquemático (símbolos). Existem muitas bibliotecas disponíveis no software, porém nem todos os componentes possuem uma footprint associada, para isso existe a ferramenta de criação de footprint. Outra opção é a de procurar na internet bibliotecas que outros usuários já fizeram. Existem muitos sites que são capazes de realizar o download dos arquivos, alguns exemplos são: JLC PCB PARTS, GITHUB

e Snap EDA. Para realizar um bom projeto as footprints deverão ser adequadas aos componentes selecionados, fato que adiciona complexidade ao projeto.

## **8. Checagem de Regras Elétricas (DRC)**

A maioria dos softwares de desenvolvimento de placas possuem uma ferramenta de checagem de regras elétricas, geralmente elas estão na área de construção e edição de PCB. É aconselhável usar essa ferramenta quando todo o layout da PCB ou quando o esquemático está finalizando, assim checando se há erros de construção na sua placa. A qualidade do DRC vai depender da qualidade do software utilizado e softwares mais simples podem não conter todas as funções. Com o DRC você pode checar coisas como:

### **Regras elétricas**

- Isolação
- Curto circuito
- Net abertos
- Pinos abertos
- Polígonos

### **Regras de roteamento**

- Pares diferenciais
- Camadas
- Definições de vias
- Espessuras de trilhas

### **Regras de posicionamento**

- Distâncias entre componentes
- Distância de altura (Max/min)
- Definição de layer
- Definição de áreas

### **Regras de sinais de alta velocidade**

- Casamento de impedâncias
- Número máximo de vias
- Vias sobre pads smd

### **Regras de fabricação**

- Distância das bordas
- Diâmetro dos furos
- Ilha mínima dos pads
- Solder mask
- Verificação da serigrafia

## **9. Unidades de Medida**

Estamos sempre acostumados a usar o sistema internacional (SI) para realizar qualquer tipo de projeto, porém a maioria dos componentes são fabricados com espaçamento no sistema imperial. Por causa desse fato, usar o sistema imperial durante o desenvolvimento de seu projeto pode ser uma saída viável. O uso desse sistema métrico tem o objetivo de tornar as medidas da placa mais amigáveis e portanto mais fáceis de serem assimiladas.

A unidade de medida usada é o “thou” que vale 0,001 polegada (0,0254 mm). “Thou” também pode ser chamado de “mil”. Como uma regra geral, use thou para trilhas, pads, espaçamento e grids. Use o sistema métrico para tamanhos de buracos e dimensões de placas. Muitas vezes você pode se deparar com componentes com espaçamento de 2,54 mm este número pode parecer muito “feio” no SI, porém ele fica mais amigável no IM que vale 100 Mil (100 Thou).

## **10. Grids de Trabalho**

Uma ferramenta muito importante para trabalhar com PCB são os grids fixos. Os grids são pontos fixos dentro da área de trabalho, quando um componente, trilha ou pad é selecionado ele é movido para uma parte pré selecionada pelo usuário.

A Importância do uso de grids é manter a simetria e alinhamento de sua placa. Isso resultará em uma boa estética e também facilitará o seu trabalho de alinhar as linhas de cobre pela PCB.

100 mils é o básico para o posicionamento de componentes na placa, 50 thou é o básico para trabalhar com o posicionamento de trilhas, para trabalhos mais precisos use 25 thou. Raramente use grids menores do que 10 thou para posicionar componentes e o uso de grids não múltiplos pode resultar na assimetria da sua placa. Lembre-se 1 mils é igual a 1 thou.

## 11. Disposição de Componentes

A disposição dos componentes na placa é, sem sombra de dúvidas, a parte mais importante do processo de criação de uma PCB. Uma boa organização de componentes irá melhorar o seu trabalho de conexão de componentes e dará a melhor performance elétrica. Dentro do mundo de projetos PCB não existe um método certo de organizar os componentes, muitos engenheiros/projetistas têm a sua forma única de organizar suas placas, entretanto existem algumas dicas que podem ser seguidas para realizar a organização dos componentes.

- Defina o seu grid de trabalho.
- Exporte todos os componentes do esquemático para o editor PCB
- Organize os componentes em blocos de acordo com a função que eles executam.
- Execute a ligação de cada bloco separadamente em uma área qualquer fora da placa.
- Identifique as partes críticas de seu circuito e interligue elas primeiro dentro da área final da placa.
- Posicione e interligue os demais blocos dentro da área final da placa.
- Faça uma vistoria procurando lugares em que o espaço possa ser melhor utilizado.
- Utilize a ferramenta de checagem de regras elétricas.

## 12. Trilhas

Não há um tamanho de trilha padrão para o seu projeto, entretanto uma regra geral para se usar é quanto maior a espessura da trilha melhor. Uma espessura maior facilitará na fabricação da placa, a placa terá uma menor indutância e também é fundamental para a realização caseira de placas.

Para começar, como recomendação, use 25 mils (0,635 mm) para trilhas de sinais, 50 mils (1,27 mm) para trilhas de potência e GND, 10-15 mils para ligação de IC. Na maioria dos casos a corrente que o seu circuito deve carregar para os componentes será o fator mais importante para determinar a espessura de uma trilha. Use calculadoras online para calcular a espessura usando o método da corrente, mas tente deixar a espessura sempre maior do que a calculada, principalmente respeitando as medidas da empresa fabricante de PCBs.

### 13. Como Rotear

Existem algumas preciosas dicas para ajudar um projetista a se guiar durante o processo de rotear uma PCB, são elas:

- Use os grids para te auxiliar.
- Priorizar sinais criticos como: clock, RF, CIs, etc.
- Mantenha a conexão entre PADs a menor possível. Quanto maior a distância entre PADs de uma trilha maior será a sua resistência, indutância e capacitância. Esses fatores podem gerar interferências nos sinais da placa.
- As trilhas devem conter apenas ângulos de 45°. Se é necessário realizar uma curva com ângulo maior do que 45° use incrementos de ângulos menores ou iguais a 45°.
- Para aproveitar o espaço use uma técnica chamada de “snake” que nada mais é quando duas ou mais trilhas correm paralelas umas às outras. Cuidado ao usar essa técnica o espaçamento entre trilhas será muito importante, pois trilhas muito próximas podem acarretar em interferência.
- Use trilhas com a espessura adequada. Esse tema já foi discutido em tópicos anteriores, entretanto é sempre importante lembrar.
- Atente-se a simetria. Além de deixar o seu projeto mais bonito a simetria é um bom indicativo que as conexões foram realizadas de forma correta.
- Circuitos que possuem alta corrente ou frequência devem ser tratados de forma muito cuidadosa.
- Se o seu projeto abarcar, use a própria placa com uma camada de cobre para realizar as ligações dos GNDs.
- Use designs de outras pessoas para inspirar-se e aplicar suas técnicas.
- Use a ferramenta de checagem elétrica para garantir a conexão correta dos componentes.

## 14. Técnica de Empescoçamento

O Empescoçamento é uma técnica muito usada quando há a necessidade de passar alguma trilha entre ilhas de componentes ou terminais de um circuito integrado. Ela consiste em diminuir a espessura de uma trilha entre as ilhas e depois voltar a trilha ao tamanho original. Ela é eficaz, pois é possível ter uma trilha que carregue bastante corrente e pouca impedância e ainda assim conseguir rotear por pequenos pontos do circuito.

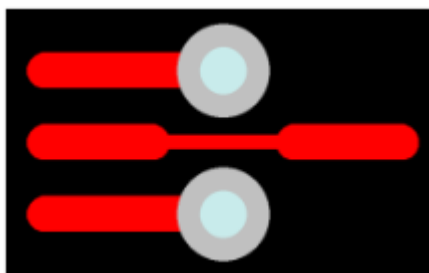


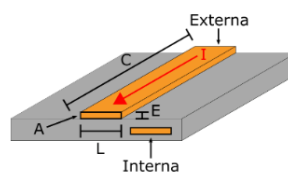
Imagem xx: Técnica de empecoçamento entre dois Pads.

## 15. Cálculo de largura de trilha

Existem calculadoras online que podem ser usadas para calcular o tamanho da trilha desejada para qualquer aplicação. Levando em conta os parâmetros de corrente, tensão e impedância para realizar o cálculo. Alguns softwares de projetos de PCBs já possuem calculadoras integradas no próprio software. Uma calculadora online é a PCB Brasil calculadora. Lembrando que apesar de existirem calculadoras a regra básica é sempre dimensionar a maior espessura de trilha possível.

### Dados do circuito impresso

Entradas		
Corrente	5	A
Espessura do cobre	2	oz/ft <sup>2</sup>
Aumento da temperatura	10	°C
Temperatura ambiente	25	°C
Comprimento do condutor	200	mm



### Resultado para trilhas externas

Largura da trilha	1,38	mm
Seção transversal	0,10	mm <sup>2</sup>
Resistência	0,036053	Ω
Queda de tensão	0,1803	V
Perdas	0,9013	W

### Resultado para trilhas internas

Largura da trilha	3,60	mm
Seção transversal	0,25	mm <sup>2</sup>
Resistência	0,013859	Ω
Queda de tensão	0,0693	V
Perdas	0,3465	W



## 16. Pads/ilhas

Ilhas são as marcações dos buracos dos componentes presentes no seu editor de PCB. Nele indica-se qual deve ser o tamanho do furo para a fixação do componente na placa. É de extrema importância que na sua biblioteca de componentes você escolha o componente com o tamanho de ilha correto, a escolha de um componente com a ilha errada pode resultar na impossibilidade da soldagem do componente ou até mesmo acarretar no contato elétrico entre a solda e partes da PCB.

Uma regra básica é a relação entre o buraco do componente e o tamanho de seu Pad. O tamanho do Pad tem que ser no mínimo 0,5 mm maior do que o tamanho do buraco do componente ou 1,8 vezes maior em diâmetro. Uma boa prática para realizar a soldagem manual de componentes é aumentar o tamanho dos Pads e furos para facilitar na soldagem.



Imagem xx: representação de um PAD. A área cinza clara é a ilha do componente e a área cinza escura é o furo do componente.

## 17. Vias

As vias são conexões entre duas ou mais camadas da placa, são furos que contém conexões elétricas e podem conectar várias camadas de uma vez. Não podem ser confundidas com Pads já que elas independem de um componente e são muito usadas para realizar ligações entre trilhas e ligação de componentes SMD em outras camadas.



seus nomes e/ou footprints para indicar a onde cada componente deve ser posicionado.

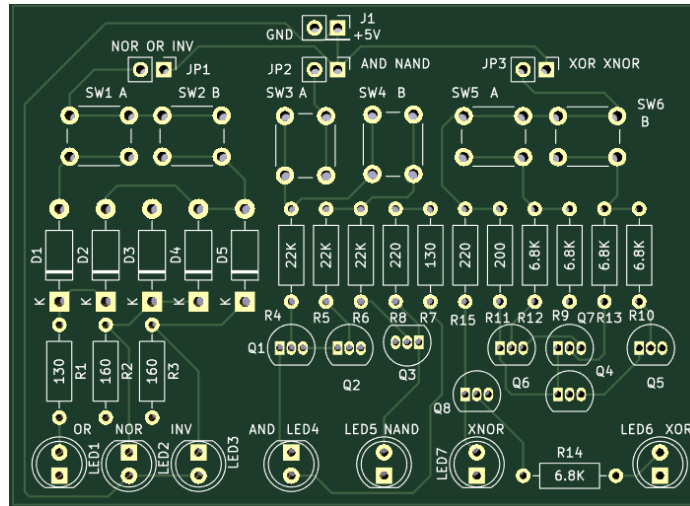


Imagem xx: Exemplo de uma camada silkscreen com a placa já finalizada.

## Contorno da Placa/ Edge Cuts

É a camada onde as medidas de sua placa estão. Ela não é necessariamente uma camada de edição, mas é importante para dizer como a placa deve ser fabricada.

## Camadas de VCC e GND

São camadas extremamente importantes para uma grande variedade de projetos. Elas distribuem tensão (VCC) ou terra (GND) em uma camada específica da placa, assim facilitando o processo de ligação das trilhas. São camadas de cobre dedicadas exclusivamente a VCC ou GND, existem casos que uma mesma camada tem VCC e GND separados por uma barreira.

Uma camada de GND bem estruturada é de extrema importância para o funcionamento de uma placa. Uma boa dica de estruturação de GND é a ligação dos GNDs na própria camada de GND sem que múltiplos pinos sejam ligados uns aos outros e depois seja ligado a camada GND. É de suma importância reduzir ao máximo o comprimento da trilha já que é o retorno da corrente ao circuito e assim evitando loop de terra. Essa técnica irá reduzir a indutância da placa e os problemas com EMC. Algumas dicas sobre construção de GND são:

- Use polígonos em designs de que não possuem camadas dedicadas a GND.

- Use camadas GND. Em designs de multicamadas separe a camada mais próxima a camada superior para GND.
- Use múltiplas vias em locais aleatórios da placa para melhorar a corrente de retorno.
- Deixe os caminhos de GND os menores possíveis.
- O mesmo conteúdo citado acima pode ser usado para camadas de VCC.

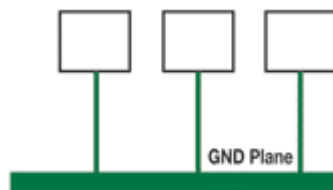


Imagem xx: Representação de um bom plano GND. Fonte Embarcados

## 20. Design de circuito digitais

Um grande desafio para área são projetos com circuitos digitais. Por em sua maioria consistem de circuitos que carregam altas velocidades de chaveamento alguns problemas ocorrem quando esses sinais não são tratados corretamente. Cada vez mais os dispositivos eletrônicos devem ser confiáveis, já que compõem dispositivos fundamentais para diversas áreas. Os sinais de clock, radiofrequência, SPI, I2C e serial devem ser tratados seguindo a particularidade de cada sinal.

### Crosstalk

É a interferência eletromagnética de uma trilha em outra, devido a indutância e capacidade contida na trilha. Trilhas que carregam sinais de alta frequência podem interferir em outras trilhas gerando tensão e corrente mesmo que essas trilhas estejam desativadas. Para minimizar o crosstalk é necessário uma distância maior entre trilhas que possuem uma grande velocidade, bem como um bom plano de GND para diminuir a impedância da trilha.

### Casamento de impedância

Linhas de transmissão devem ter impedâncias iguais para evitar a reflexão do sinal e não causar disparos eletromagnéticos indesejados. Esse é um tópico bem avançado, porém para calcular a impedância de sinais de alta frequência pode-se usar calculadoras online.

## **Pares Diferenciais**

São ferramentas para aumentar a integridade do sinal em trilhas de alta velocidade baseando-se no tratamento de impedâncias na linha de transmissão . Consiste em uma dupla de trilhas que correm em paralelo pela PCB. São bastante usados para rotear sinais de USB, I2C e SPI. Todos os softwares de projetos de PCB tem uma ferramenta para configuração de pares diferenciais.

## **Interferências Eletromagnéticas**

### **EMI/EMC**

Ambos são fenômenos eletromagnéticos que ocorrem em PCBs e podem causar o mau funcionamento dos circuitos.

### **EMI**

Ocorre quando a energia eletromagnética perturba o funcionamento de algum dispositivo, existem dois tipos de EMI, são eles :

- EMI condutiva: são causados por condutores carregados que causam ruídos ao sistema, podem ser motores, interruptores, etc.
- EMI radiada: são causados por outros dispositivos que transmitem sinais pelo ar

### **EMC**

É a capacidade de um dispositivo funcionar de forma adequada sem muita interferência eletromagnética. A rigor, ao se conseguir uma EMI baixa você conseguirá uma EMC alta, pois as duas são inversamente proporcionais.

### **Fontes de EMI**

- Fontes de clock e osciladores: esses podem ser os maiores contribuidores para interferência nos circuitos devido a alta frequência de chaveamento já que a cada mudança da onda pode-se gerar um ruído.
- Condutores de alta frequência: componentes que carregam uma grande velocidade de chaveamento podem gerar interferência.
- Conversores de Energia: Componentes como transformadores, indutores, e circuitos de comutação podem gerar EMI devido às transições rápidas de corrente e tensão.
- Componentes de Rádio Frequência (RF): Componentes que operam na gama de rádio frequência (como transmissores e receptores de RF) também podem gerar EMI significativa.

### **Técnicas de design visando a redução de EMI**

- Controle de impedância: controlar a impedância em terminação de trilhas é fundamental para minimizar a reflexão do sinal eletromagnético.
- Planos de terra e vcc: Os planos de terra e energia devem ser utilizados efetivamente para fornecer um caminho de retorno de baixa impedância para o sinal, ajudando a reduzir a EMI.
- Posicionamento de componentes críticos: componentes que possuem uma alta frequência devem ficar o mais próximo da fonte de tensão o possível.
- Blindagem: trata-se de uma barreira de metal para impedir que as interferências irradiadas cheguem até a placa ou componente.

### **Componentes para reduzir a EMI**

- Capacitores de desacoplamento: servem para reduzir a impedância e filtrar o sinal gerado na PCB.
- Filtros RC ou LC: capazes de filtrar certas bandas de frequência.
- Beads de ferrite: suprimem interferência em alta frequência.

### **Capacitores de desacoplamento e bypass**

Componentes ativos e pontos em seu circuito que consomem corrente de comutação significativa devem sempre ser filtrados. Isso serve para “suavizar” o barramento de energia que vai para um dispositivo específico. O bypass consiste em usar um capacitor de desacoplamento sempre que possível. Um valor típico do capacitor de bypass é 100nF, embora outros valores como 1uF, 10nF e 1nF sejam frequentemente usados. Como regra geral, você deve usar pelo menos um capacitor de bypass por IC ou outro componente de comutação.

Ao se trabalhar com circuitos digitais, na maioria dos casos há componentes analógicos presentes na placa. A setorização da placa é um ato necessário para garantir a integridade dos sinais de todos os circuitos. Como geralmente são designs multicamadas é necessário um plano de alimentação para cada tipo de circuito. Abaixo segue uma imagem de como deve ser feita a setorização da PCB.

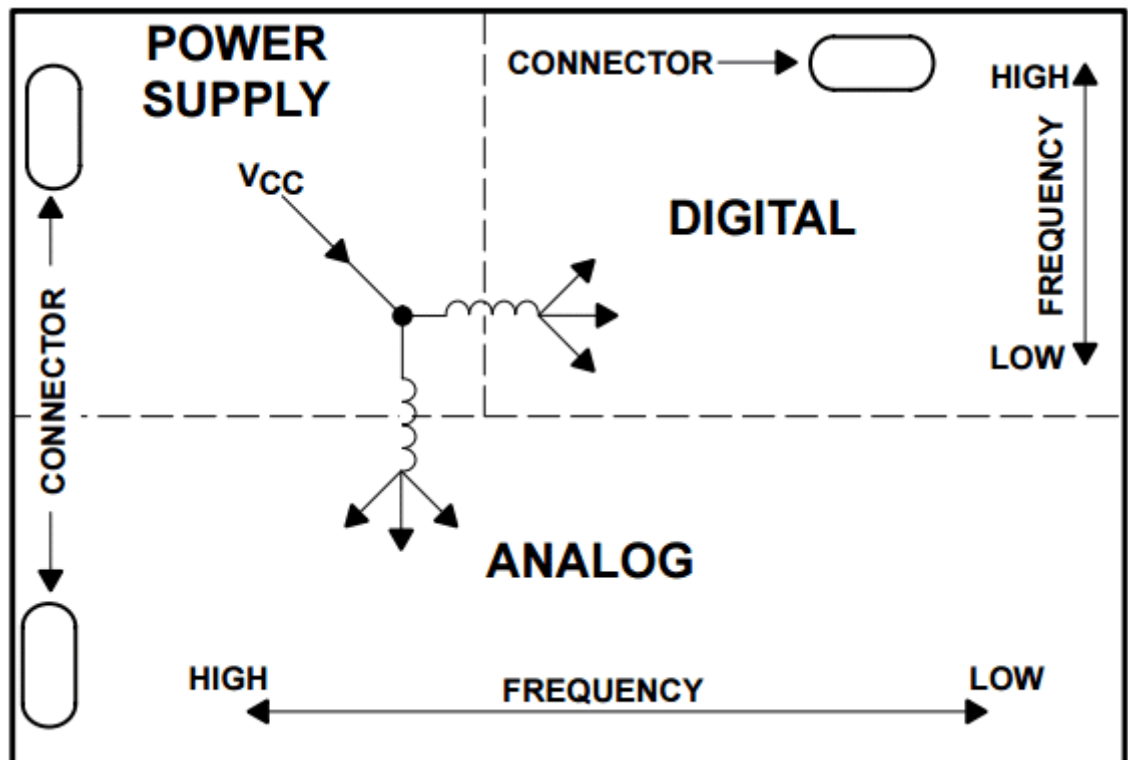


Imagem xx: Setorização PCB multicamadas.

## 21. Testes em placas

Uma vez que você está com a sua PCB em mãos ou necessita realizar a comprovação do funcionamento de um circuito em uma protoboard realizar testes é muito importante. O seu maior amigo durante um teste será o multímetro digital com ele será possível realizar a grande maioria dos testes. Primeiramente quando temos um problema de troubleshooting a nossa frente devemos realizar os testes na seguinte ordem:

- Não ligue o circuito em uma fonte, se houver algum curto circuito em sua placa poderá danificá-la.
- Utilize o multímetro na escala de diodo para checar se não há nenhum curto circuito. Se entre dois locais que não estão ligados o multímetro apitar ou em seu display aparecer o número zero há um curto no sistema.

- **Resistor:** para realizar o teste em resistores é aconselhável que use a escala de continuidade ( também chamada de escala de resistência) para medir a resistência ôhmica do componente. O resultado esperado é um valor próximo do valor original do componente.
- **Diodo:** na escala de diodo posicione a ponta de prova positiva no ânodo do componente e a ponta de prova negativa no catodo, ao realizar a medição deverá aparecer o valor da tensão do diodo ( geralmente algo próximo de 0,7 v ). Ao inverter as pontas de prova deverá aparecer o número 1 no display do multímetro, isso significa que não há a condução de corrente pelo componente, o que é característico de um diodo funcionando corretamente.
- **Transistor:** ainda na escala de diodo e com o datasheet do componente para te auxiliar no teste, caso não tenha o datasheet posicione a ponta de prova positiva em qualquer terminal do transistor e com a ponta negativa posicione no em outros terminais, qual configuração que estiver conduzindo a ponta de prova vermelha indicará a base do transistor e para determinar o coletor será o terminal com a menor resistência. Se ao posicionar a ponta de prova negativa na base e a positiva no coletor ou emissor e o transistor conduzir o componente está em curto.
- **Capacitor:** realizar o teste de continuidade com o multímetro na escala de diodo.
- **Indutor:** realizar o teste de continuidade com o multímetro.
- **LED:** na escala de diodo ao posicionar as pontas de prova nos terminais do LED ele deverá acender quando o componente estiver polarizado de forma correta. Mais uma vez se o multímetro apitar ou o display for zerado o componente está queimado. Caso não apite e o componente não ligue mas aparecer um valor de resistência o led está funcionando porém o multímetro não tem tensão suficiente para ligar o LED.
- **IC:** dessa vez utilizando a escala de resistência em seu maior valor. Seguindo o datasheet polarize o componente com o ânodo na ponta positiva e catodo na ponta negativa. Deverá aparecer um valor de resistência caso o componente esteja queimado no display do multímetro irá aparecer o número 1.



## **22. Confecção de PCBs de forma caseira**

Dependendo da finalidade e do projeto especificado é possível realizar a PCB de forma caseira. Obviamente dependendo de alguns materiais que podem ser acessíveis a pessoas ou instituições. A grande restrição de realizar uma PCB de forma caseira é que só é possível realizar projetos com apenas uma camada.

### **Método à quente**

#### **Materiais**

- Placa de cobre/fenolite (local do circuito)
- Marcador permanente (marcação do contorno da placa e correção de erros do circuito).
- Estilete (cortar a placa e limpar as trilhas)
- Furador (furar os buracos)
- Percloroeto de ferro (corrosão da placa)
- Lixa (para limpar a placa)
- Papel couchê
- Ferro de passar roupas
- Impressora (para imprimir o circuito)

#### **Método**

- Limpe a placa de fenolite, que pode conter oxidações ou gordura, com esponja de aço, detergente ou removedor de esmalte.
- Fixe a placa numa superfície plana e o papel com o circuito impresso em cima, com a face voltada para o cobre. Use fita crepe ou isolante, pois outras podem derreter
- Aplique uma fonte de calor (ferro de passar) sobre o conjunto. O desenho será transferido para o circuito. Retire o papel da placa usando água e siga para o processo de corrosão

#### **Método a frio**

Consiste na transferência do desenho do circuito para a placa de cobre não usando uma fonte de calor. É usada acetona para transferir o desenho.

#### **Materiais**

- Placa de cobre/fenolite ou fibra de vidro (local do circuito)
- Papel couchê (impressão da PCB)
- Marcador permanente (marcação do contorno da placa e correção de erros do circuito).
- Estilete (cortar a placa e limpar as trilhas)
- Furador (furar os buracos)
- Percloreto de ferro (corrosão da placa)
- Lixa (para limpar a placa)
- Acetona (remoção da tinta)
- Impressora (para imprimir o circuito)

### **Método**

- Primeiramente, limpe a placa usando uma lixa ou palha de aço.
- Alinhe o desenho com a placa.
- Aplique pouca quantidade de acetona sobre a placa e vá adicionando cuidadosamente até a placa estar completamente preenchida por acetona.
- Espere a acetona secar.
- Para retirar o papel vá até uma torneira e com pouca vazão de água vá ensopando a placa e realizando a retirada do papel com seus dedos. É aconselhado realizar movimentos leves e circulares para retirar o papel.
- Com um objeto pontiagudo tire o excesso de papel das trilhas.
- Faça o processo de corrosão.

## **23. Soldagem**

A solda é um processo vital da prototipagem e também da finalização de produtos. Existem 3 tipos de solda. A mão, onda e reflow. A soldagem a mão é a mais conhecida e consiste em aquecer o estanho por meio de um ferro de solda e ligar o terminal do componente a placa a partir do calor. Uma maior descrição do processo de soldagem a mão segue abaixo:

### **Materiais**

- Ferro de solda, é indicado usar um ferro de solda de potência baixa entre 15 e 30 W.
- Estação de solda, permite o ajuste da temperatura do ferro de solda.

- Esponja metálica para limpar o ferro de solda.
- Estanho, é sugerido um estanho de espessura pequena 0,5 mm.
- Sugador, para realizar a retirada da solda.



Imagem xx: materiais para solda. Fonte:

## Método

- Limpe a ponta do ferro de solda
- Fixar o componente na placa com um ângulo de 45° nos terminais
- Aqueça o terminal do componente, porém não aqueça em uma temperatura muito elevada, pois poderá danificar o componente.
- Aplique a solda no ponto de junção para que o estanho derreta diretamente na conexão do terminal.
- Corte os terminais do componente.

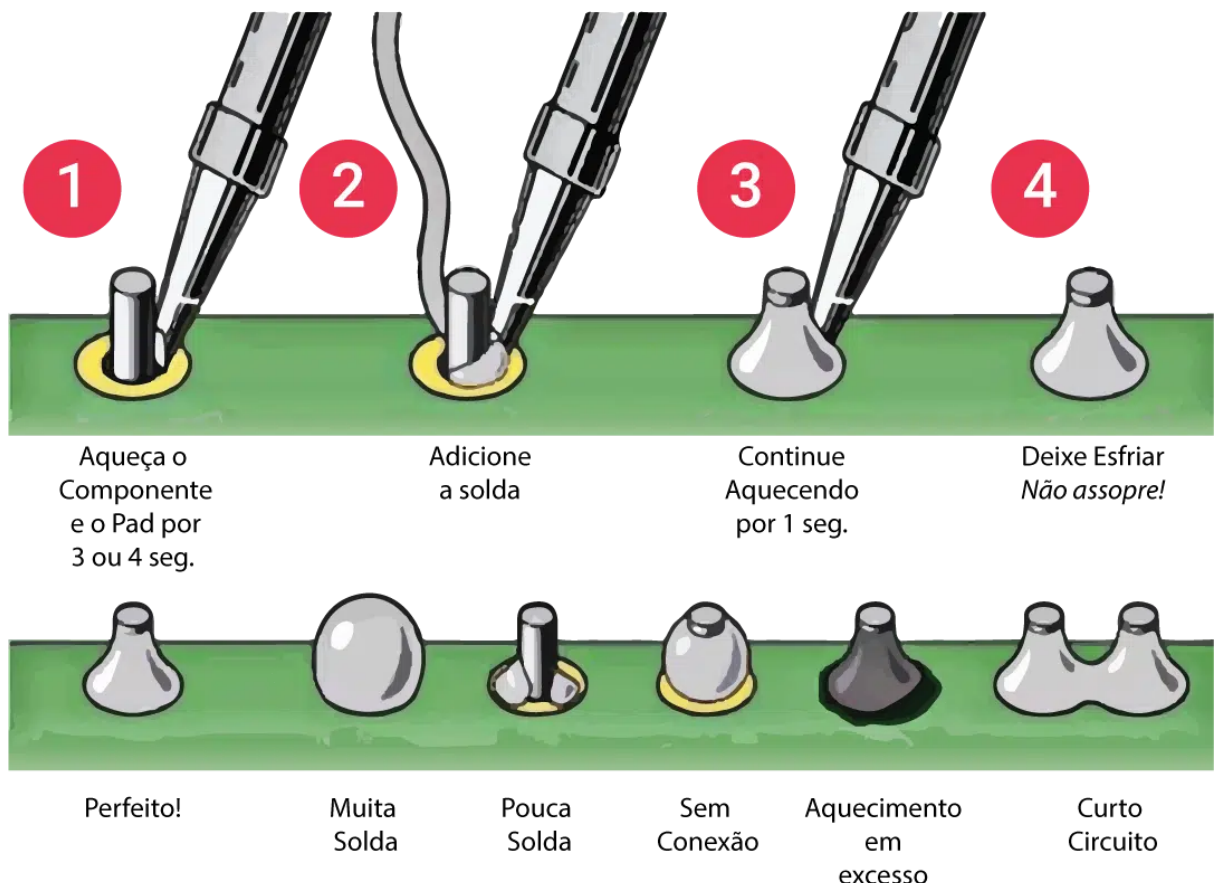


Imagem xx: Representação de como deve ser realizada a solda . Fonte:

## 24. Arquivos de Manufatura e Montagem

Quando o projeto está finalizado é necessário mandar arquivos para a fabricação das placas. Os arquivos padrão são os do tipo GERBER juntamente com o pacote de arquivos de fabricação. Os arquivos gerber exportam informações necessárias para realizar a montagem de PCB, como:

- serigrafias
- máscara de solda
- circuitos internos
- circuitos nas camadas inferior e superior.

O pacote de fabricação deve conter:

- Arquivos CNC (coordenadas de furação)
- teste elétrico e netlist
- Especificações da PCB (tipo de material, acabamento, etc.)
- Montagem stack up
- Tabela de furação

- Lista de componente (arquivos BOM)

Abaixo segue uma lista de requerimentos que as fabricantes geralmente pedem e que sempre é bom ter o conhecimento para evitar erros de manufatura. Algumas informações não serão necessárias disponibilizar

- Versão da placa
- Tempo de fabricação
- Quantidades de placas que serão fabricadas
- Grossura da placa (1,6 mm, 0,8 mm, 2,4 mm, etc). O normal é 1,6 mm.
- Tipo de material da placa. TR4 ou teflon
- silkscreen
- cor da placa e acabamento

## 25. Capacidade de fabricação e Tolerância

É muito importante seguir as capacidades de fabricação da empresa que será responsável por montar a placa. As capacidades de fabricação são os níveis máximos que a fabricante consegue manufaturar a sua placa. É muito importante que os valores especificados para o seu projeto sejam maiores do que os mínimos do fabricante. Todos os softwares de montagem de PCB tem uma ferramenta para anexar as informações mínimas de projeto. Abaixo segue uma lista de capacidade de fabricação que a fabricante JLC PCB consegue fabricar.

- 1-20 camadas
- Dimensões máximas 400x500 mm
- Tamanho do furo entre 0,15mm e 6,3 mm
- Não suporta vias cegas e vias enterradas
- Diâmetro e furo mínimo de via de 0,15mm de furo e 0,25 mm de diâmetro
- Tamanho mínimo de PAD de 1 mm
- Tamanho mínimo de silkscreen 1 mm

### Tolerância

A tolerância é a mínima distância que dois objetos na placa podem estar separados, algumas tolerâncias importantes são:

- Tamanho mínimo de rota de cobre 5 mil (0,127 mm)
- Espaçamento mínimo entre duas rotas 5 mil (0,127 mm)

- espaçamento mínimo entre dois pinos 0,5 mm
- Espaçamento mínimo entre pad e trilha 0,33 mm

Para mais informações visitar o site da fabricante escolhida.

## 26. Referências Bibliográficas

- <https://embarcados.com.br/10-mandamentos-da-pcb/>
- <https://embarcados.com.br/webinar-uma-visao-geral-sobre-projeto-de-pcb-nos-tempos-atuais/>
- <https://embarcados.com.br/roteamento-em-projetos-de-alta-frequencia-corrente-de-retorno/>
- <https://embarcados.com.br/webinar-boas-praticas-para-um-layout-de-circuito-impresso-de-sucesso/>
- <https://www.makerhero.com/blog/como-soldar-componentes-eletronicos/>
- <https://blog.raisa.com.br/reduzindo-emi-emc-em-design-de-pcbs-uma-abordagem-abrangente/>
- <https://blog.raisa.com.br/design-de-pcbs-pcis-de-alta-velocidade-melhores-praticas-e-dicas/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=1EXXqWweTkl&t=184s>
- <https://blog.fazedores.com/como-fazer-suas-proprias-pcbs-placas-de-circuito-impresso/>
- <https://www.makerhero.com/blog/como-fazer-uma-placa-de-circuito-impresso/>
- 
- LIVRO PCB DESIGN TUTORIAL por David L. Jones 29/06/2004