

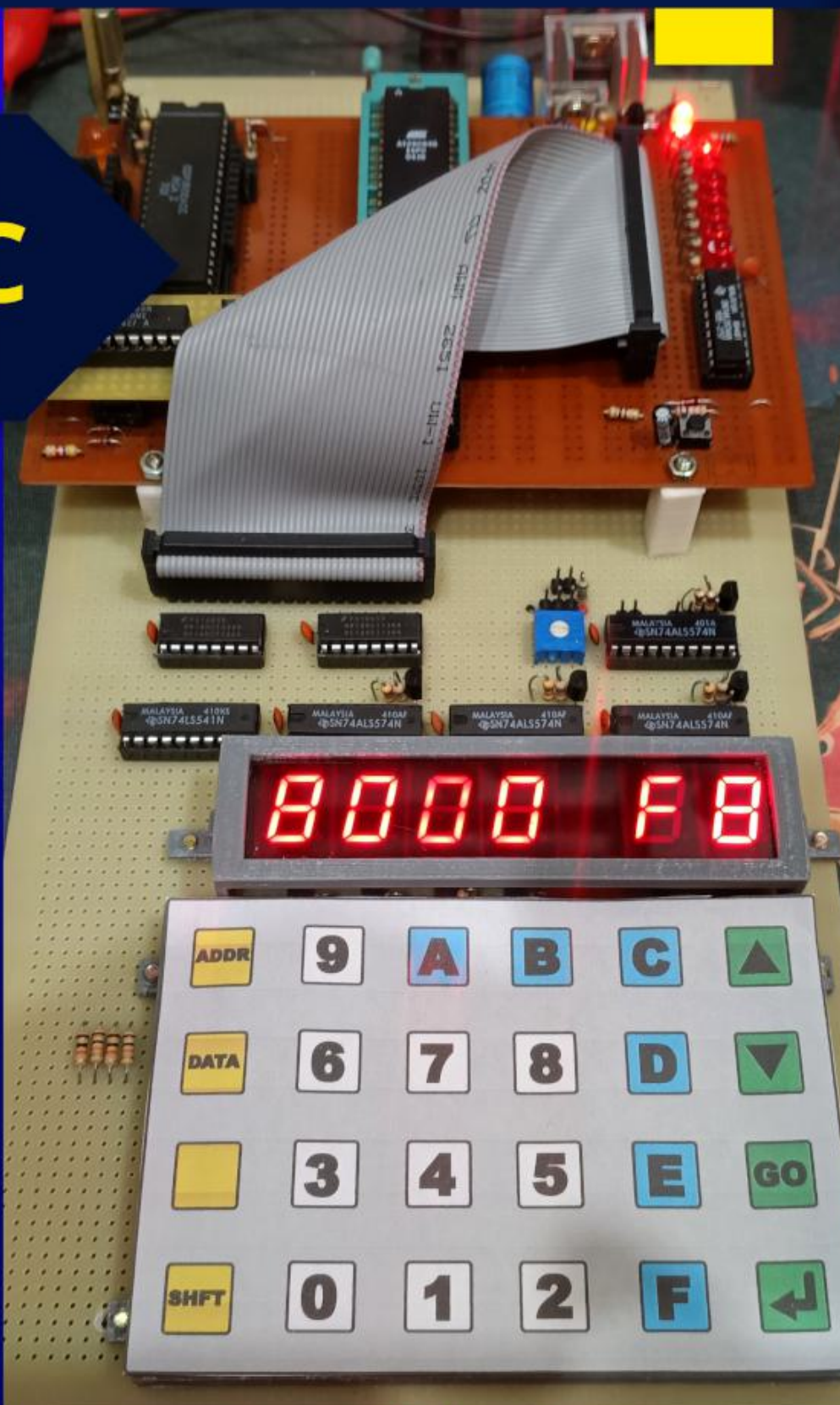
revista  
**INCBELETRÔNICA**

Computador  
**COSMAC**  
Parte Final

Isolação  
Galvânica

Como Testar o  
Chopper das  
Fontes Chaveada

Acesse páginas  
embarcadas no  
próprio ESP32  
em rede local



Olá, leitor! Nesta edição da Revista INCB Eletrônica, preparamos um roteiro que viaja desde os confins do espaço sideral até a bancada prática de manutenção, passando por conceitos fundamentais de segurança que todo projetista precisa dominar. Para quem gosta de entender o "porquê" das coisas antes de colocar a mão na massa, este número está especial. Vamos dar uma olhada no que você vai encontrar ao folhear as páginas da revista.

### O que temos nesta edição

- No artigo **A Bateria Atômica da Voyager 1**, o professor Newton C. Braga traz uma daquelas histórias fascinantes que misturam física pura e engenharia de sobrevivência. Ele explica como as sondas Voyager, Lançadas lá em 1977, continuam mandando sinais para a Terra mesmo estando a bilhões de quilômetros de distância, onde a luz do Sol é fraca demais para painéis solares. O segredo está nos geradores térmicos baseados no decaimento do Plutônio-238. É um texto excelente para entender o efeito Seebeck e como a diferença de temperatura no espaço vira energia elétrica de forma confiável por décadas.
- Em seguida, com o texto Dominando o **Isolamento Galvânico** — traduzido e adaptado pelo Engenheiro A.C.Gasparetti —, entramos em um tema que é leitura obrigatória para quem projeta circuitos de potência ou trabalha com automação industrial. O artigo desmistifica a separação elétrica de circuitos e explica conceitos essenciais de layout, como a distância de escoamento (creepage) e a separação (clearance). O grande destaque é o comparativo direto sobre quando usar acoplamento óptico, capacitivo ou indutivo, ajudando a escolher a melhor proteção para o equipamento e para o usuário.
- Fechando essa sequência direto da bancada para a revista, o artigo **Como Testar o Chopper das Fontes Chaveadas** aborda a dor de cabeça de todo técnico: o diagnóstico de transformadores de pulso. O autor apresenta um circuito testador estático super simples de montar, baseado em um oscilador Colpitts, que acusa na hora se o componente tem alguma espira em curto. Além disso, dá um show prático de como usar o osciloscópio e o gerador de sinais para medir as indutâncias de fuga e magnética em topologias Flyback e LLC, mostrando como isso afeta o rendimento e o aquecimento dos transistores. Mais uma revista repleta de conteúdos práticos e teóricos indispensáveis para o seu dia a dia na eletrônica. Boa leitura! Equipe Editorial Revista INCB Eletrônica

Mais uma revista INCB Eletrônica que disponibilizamos aos nossos leitores, sempre dentro do nosso prazo com uma boa quantidade de artigos que mostram que estamos atentos desde o que há de mais importante no mundo da tecnologia atual, até coisas do passado e também pensando no futuro. Não é simples pensar em fazer revistas em nossos dias, e fazemos duas, o que significa um por mês se considerarmos a outra publicação de nossa editora. Mais do que isso, não estamos mais no tempo em que a única mídia de uma empresa era apenas uma revista.

O Instituto INCB é mais que isso. As nossas revistas são apenas parte de uma estrutura maior que temos de cuidar. Nosso site, nossos livros, nossas lives, nossos canais na mídia e as próprias atividades que exigem nosso deslocamento como participação em eventos, oficinas e palestras. Mas, mesmo assim encontramos tempo para levar a vocês artigos de excelente qualidade como os que fazem parte dessa edição. Desde artigos de atualização técnica. Pelo índice vocês podem ter uma ideia melhor do conteúdo e é claro folheando e lendo a revista que não tem mais a limitação tradicional de páginas o que nos leva a fornecer até mais do que uma revista tradicional poderia e tudo isso de graça. Tenham uma boa leitura, leiam, aprendam, pratiquem, relembrem e façam mais: enviem seu artigo, pois ele pode fazer parte de nossa próxima edição.



## EXPEDIENTE

Revista INCB Eletrônica  
Revista do Instituto  
Newton C. Braga  
Ano 5 - Edição nº 34 -  
2026

### Editor Administrativo

Newton C. Braga (CEO)

### Produção

Renato Paiotti

### Produção Gráfica

Eng. Vander da Silva  
Gonçalves

### Atendimento ao leitor

leitor@newtonbraga.com.  
br

### Atendimento ao cliente

publicidade@newtonbraga.com.br

### Jornalista Responsável

Marcelo Lima Braga  
MTB 0064610SP

### Colaboradores

Antônio Carlos Gasparetti  
João Batista de Sousa  
Luis Carlos Burgos  
Márcio José Soares  
Newton C. Braga  
Pedro Bertolotti  
Renato Paiotti

*Não é permitida a  
reprodução das matérias  
publicadas sem prévia  
autorização dos editores.  
Não nos  
responsabilizamos pelo  
uso indevido do conteúdo  
de nossos artigos ou  
projetos.*

# ÍNDICE

Nº 34 MAIO/JUNHO - 2026

## HISTÓRIA

**4 - A BATERIA ATÔMICA DA VOYAGER 1**

**72 - SIMBOLOGIA ELETRÔNICA**

**78 - HISTÓRIA DAS SEMICONDUTORES**

## DICAS

**14 - DOMINANDO O ISOLAMENTO GALVÂNICO**

**62 - CONHEÇA AS PONTES DE MEDIDAS**

**87 - ISOLAÇÃO GALVÂNICA**

## MONTAGEM

**38 - COMPUTADOR COSMAC - PARTE 4**

## IOT

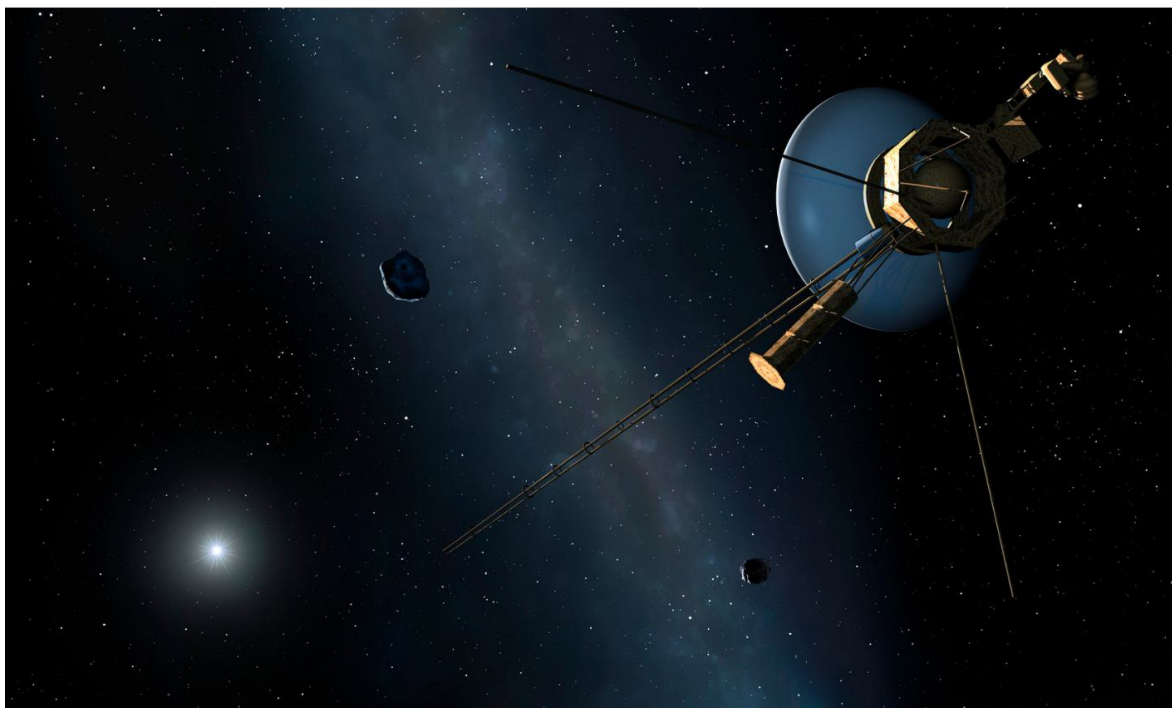
**54 - ACESSE PÁGINAS EMBARCADAS NO PRÓPRIO ESP32  
EM REDE LOCAL**

## INDÚSTRIA

**92 - PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS APLICADOS À  
MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

## REPARAÇÃO

**99 - COMO TESTAR O CHOPPER DAS FONTES CHAVEADAS**



# A Bateria Atômica da Voyager 1

Newton C. Braga

Em 1977 quando as sondas Voyager 1 e Voyager 2 foram lançadas, uma jornada que não se sabia exatamente até onde poderia chegar, tinha início. As sondas tinham por função explorar os limites do sistema solar, explorando os planetas além de Saturno. Naquela época escrevi um artigo na Eletrônica em Foco **figura 1**, falando das fontes de energia atômica que poderiam alimentar essas naves e outras que viajariam para além do ponto em que as baterias solares poderiam ser úteis. Volto a explorar esse assunto nesse artigo.

Estamos acostumados a ver notícias constantes de lançamentos de satélites **figura 2**, sondas e mesmo estações espaciais que aproveitam no espaço a fonte mais abundante de energia disponível que é a obtida da luz solar.

As células fotovoltaicas de hoje, com seu alto rendimento, são mais do que suficientes para fornecer toda a energia que precisamos para os equipamentos eletrônicos dessas naves e até mesmo motores iônicos de manobras no espaço. No entanto, isso só ocorre porque estamos relativamente próximos do Sol.

### Muita energia perto do Sol

A quantidade de energia que podemos obter do sol é abundante para a todas as nossas principais aplicações. Na verdade, ela é tão abundante que move praticamente tudo o que precisa de energia na terra, de forma direta ou indireta.

A energia de nossos alimentos é energia solar armazenada nas plantas ou na carne dos animais que consomem plantas outros animais. A energia das represas vem da água que é evaporada pelo calor solar e depois cai na forma de chuva enchendo as represas. A energia eólica vem dos ventos criados pelas diferenças de temperatura na atmosfera criadas pelo calor solar e assim por diante. Na cadeia alimentar o primeiro elemento é justamente a energia solar conforme mostra a ilustração (**figura 3**).



Figura 1 - Artigo meu da época do lançamento da Voyager 2 na Eletrônica em foco.

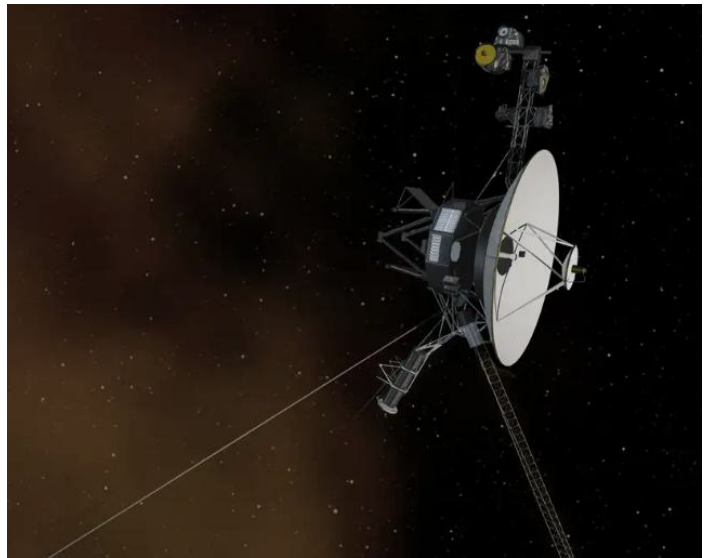


Figura 2 - NASA/acaba/picture alliance

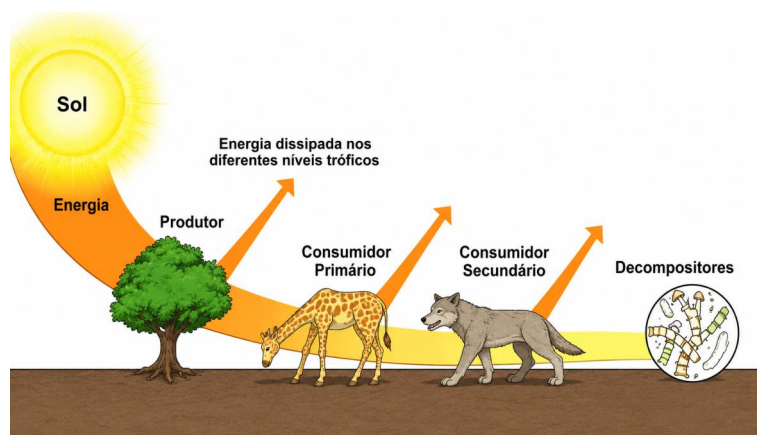


Figura 3 - Energia solar e a cadeia alimentar

Mas, o que nos interessa no caso das viagens espaciais é a energia solar que pode ser usada, já que em princípio pensamos em usar painéis solares.

### **Quanto de energia solar podemos obter de forma eficiente e até onde?**

Considerando que o sol é a única fonte de energia no espaço em nossa volta nos perguntamos: até onde podemos obter energia dele de forma eficiente. Para isso vamos partir de um parâmetro simples que é hoje utilizado pelas empresas que instalam painéis fotovoltaicos.

Podemos obter 1 kW de energia para cada metro quadrado nas melhores condições de funcionamento que seria a iluminação direta (**figura 4**).

Esse valor, além da posição é claro, depende do rendimento das células que hoje

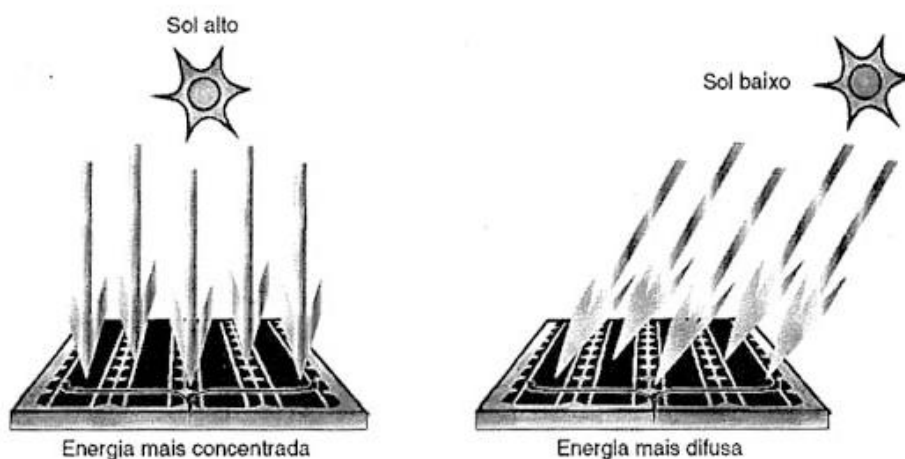


Figura 4 - Rendimento de um painel solar.

são muito melhores do que no tempo em que as primeiras naves espaciais foram lançadas. Naquela época, obter uns 200 W por metro quadrado já era um feito.

Isso, entretanto ocorre a uma distância de 150 milhões de quilômetro do sol, que onde estamos e na nossa periferia onde está a maioria dos satélites. Mas quando nos afastamos da terra e, portanto, do sol as coisas mudam. Podemos considerar esse valor como médio para efeito dos cálculos que vamos fazer para que nossos leitores tenham uma ideia das dimensões do problema.

Ora, se considerarmos que a quantidade de energia obtida depende da quantidade de luz que incide na fotocélula e que pela lei do inverso quadrado ela se reduz a  $\frac{1}{4}$  quando dobramos a distância, a uma distância de 300 milhões de quilômetros ( $2r$ ) que seria um pouco além de Marte que se encontra a 225 milhões de quilômetros do sol, já

teríamos apenas 250 W por metro quadrado se considerarmos o rendimento médio de um painel atual. A 450 milhões de quilômetros, já no anel dos asteroides teremos 111,1 W/m<sup>2</sup> (**figura 5**).

Indo além, a 600 milhões de quilômetros, que seria quatro vezes a distância da terra ao sol, teríamos apenas 1/16 da energia que temos aqui, ou 62,5 W por metro quadrado. Um pouco mais, 700 milhões de quilômetros seria a distância de Jupiter. Podemos dizer que em Jupiter considerando uma distância média de 778 milhões de quilômetros, já teríamos menos de 50 W por metro quadrado.

Ora, a nave Voyager 1 se encontra hoje 25 bilhões de quilômetros ou 168 AU (\*) e que, portanto, a quantidade de energia solar que ela recebe por metro quadrado e que poderia ser convertida por uma célula solar é 1 / 1682 ou 1/28 224 o que nos leva a apenas 35 mW por metro quadrado.

Isso não seria suficiente para alimentar os transmissores que precisam enviar seus sinais até nós. Para que vocês tenham uma ideia os sinais de rádio demoram 23 horas e 20 minutos para chegar aqui! – quase 1 dia-luz (**figura 6**).

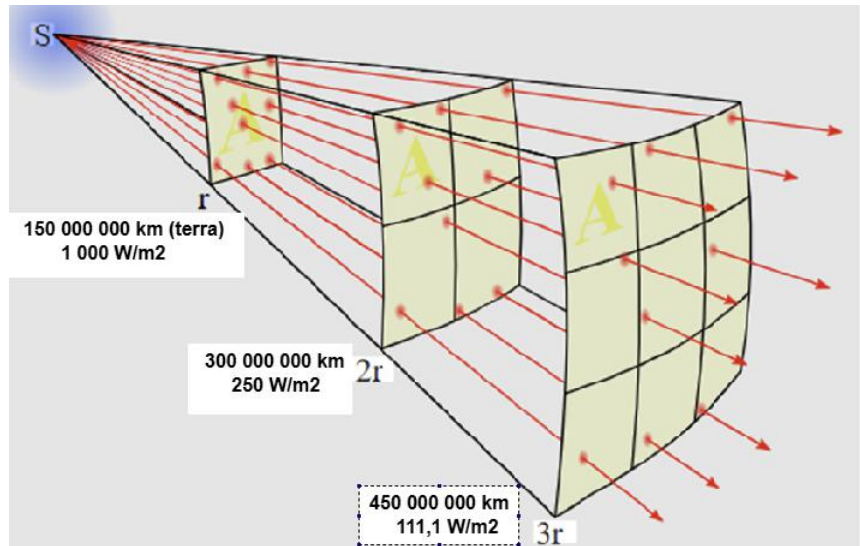


Figura 5 - Lei do inverso do quadrado.

(\*) AU significa Unidade Astronômica (Astronomical Unit) que é distância média da terra ao sol da ordem de 150 000 km.

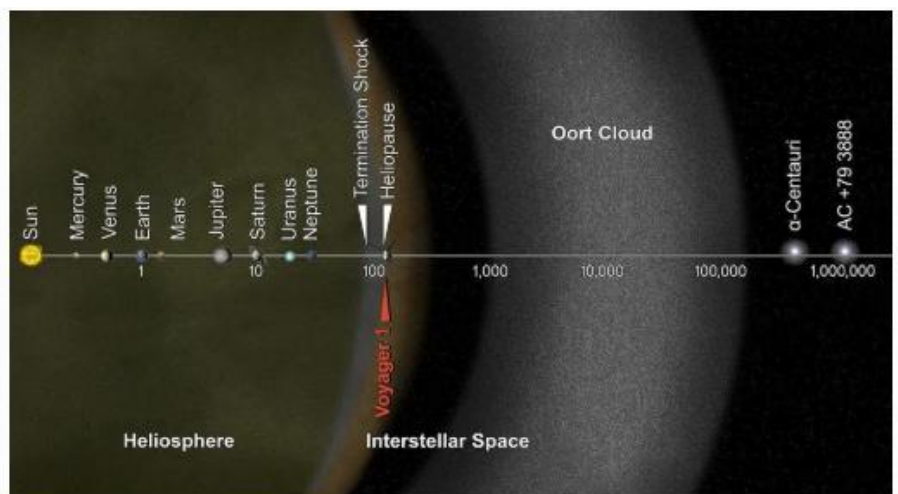


Figura 6 - Posição do Voyager 2 se aproximando da nuvem de Oort já fora dos limite do nosso sistema solar. (Imagem NASA - Calltech) - Obs?: A Voyager 1 seguiu uma rota diferente, mas já está a 21 bilhões de quilômetros.



Figura 7 - Deep Space Station 35 em Canberra \*(Austrália) - imagem NASA/ZUMA.

Os sinais extremamente fracos que chegam até nós não vêm de transmissores alimentados por fotocélulas. Outra fonte de energia foi usada. A energia atômica e como isso é feito é que veremos a seguir. Na **figura 7** uma das antenas receptoras do Deep Space Network que monitora seus sinais.

### **Pilhas atômicas**

A conversão direta da energia atômica em eletricidade ainda não é possível. O que se faz já há um bom tempo é aproveitar essa energia de forma indireta. Por exemplo, convertendo a luz que determinados materiais radioativos podem produzir pela radiação em eletricidade usando uma célula solar, ou ainda fazendo ainda a radiação emitida incidir num material fosforescente e colocar sobre esse material uma célula solar. Na **figura 8** temos um exemplo de célula atômica desse tipo.

Num artigo que escrevemos para a revista Eletrônica em Foco nos anos 70, explicamos o funcionamento da bateria de promécio-147.

O promécio ou promethium-147 é um isótopo usado em pilhas atômicas para diversas aplicações incluindo marca-passos e satélites. No entanto, sua meia-vida pequena (2,62 anos) torna as baterias operacionais por apenas uns 5 anos.

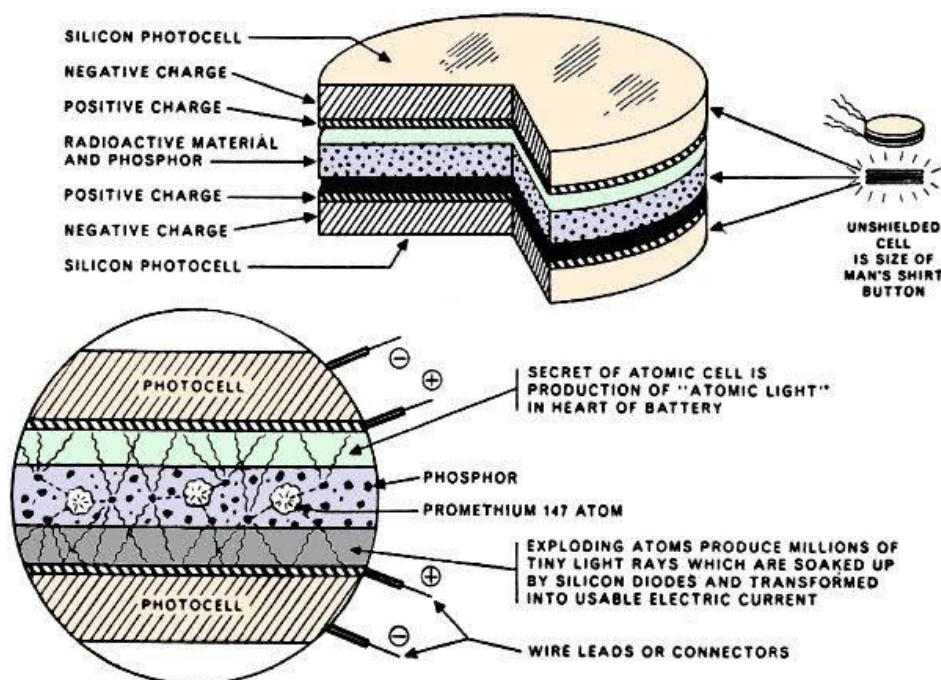


Figura 8 – Um sanduiche é feito com um pedaço de material radiativo em disco recoberto com fósforo e depois de cada lado uma fotocélula de silício.

Lembramos que vida-média ou meia-vida para um material radioativo é o tempo que ocorre para que a intensidade de sua radiação se reduza à metade (**figura 9**).

Nesse tipo de pilha as partículas Beta emitidas incidem numa camada de fósforo sobre a qual é colocada uma célula fotovoltaica. O promécio ou Promethium é um dos elementos do grupo das terras-raras. Na verdade, é tão raro que não é encontrado na natureza, sendo produzido em reatores.

Evidentemente, com esse curto tempo de capacidade operacional, essas baterias não seriam as melhores para alimentar uma sonda como a Voyager. A solução foi outra.

### As baterias de Plutônio-238

Um elemento que se mostrou interessante para a aplicação desejada foi um isótopo de plutônio, o Plutônio-238 que tem uma meia-vida de 87,7 anos.

Lembrando que a meia-vida de um elemento é o tempo que ocorre até que sua radiação se reduza à



Figura 9 – Curva de decaimento de uma substância radioativa.

metade, no caso da Voyager a potência de suas baterias ainda estão bem acima dos 50%, levando em conta a potência inicial e a curva de decaimento do Plutônio-238, ela está perdendo algo em torno de 4 W por ano de sua potência (**figura 10**).

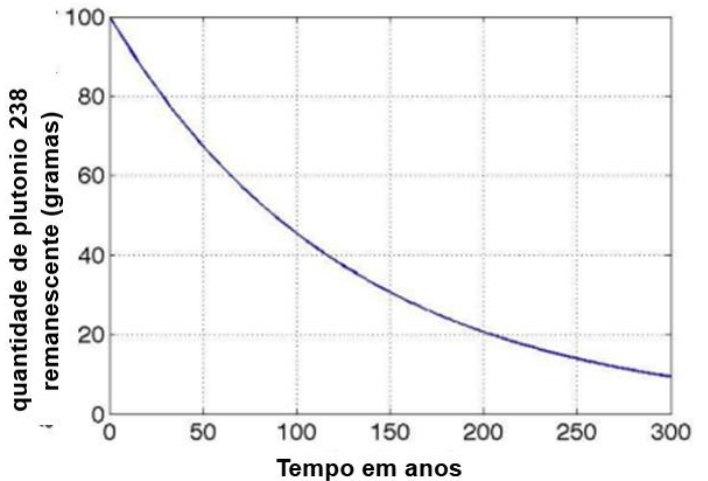


Figura 10 - Curva de decaimento do plutônio 238.

As baterias de plutônio-238 da Voyager têm um princípio um pouco diferente das primeiras células atômicas de que tratamos. Em lugar de converter radiação beta em luz e luz em eletricidade ou ainda a própria fosforescência de um material e eletricidade com uma célula fotovoltaica, elas convertem o calor do material em eletricidade usando uma célula Seebeck que é o efeito Peltier invertido, conforme mostra a **figura 11**.

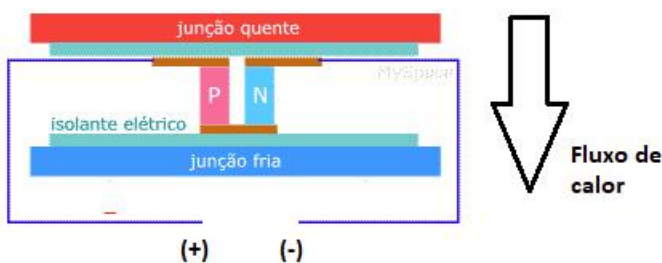


Figura 11 - Efeito seebeck

Como se sabe, uma junção semicondutora que tenha materiais em temperaturas diferentes cria uma tensão que pode ser aproveitada externamente. É o princípio das células termoelétricas. As pastilhas de efeito Peltier que é justamente o contrário, em que uma corrente numa junção tira o calor de um lado e o passa para o outro criando assim uma diferença de temperatura, podem ser usadas para criar eletricidade.

Assim, usando um material radioativo que se aquece pela desintegração natural, como o Plutônio 238 e uma célula que, ao transferir o calor para o frio espaço exterior temos a produção da energia que a sonda precisa, conforme mostra a **figura 12**.

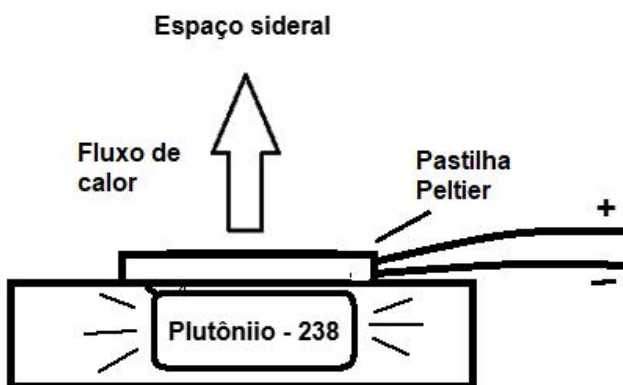


Figura 12 - A pila atômica de Plutônio-238.

No caso da Voyager, a célula termoelétrica usada tem 420 W de potência. Na **figura 13** temos a bateria da Voyager 2.

A estrutura interna dessa pilha é mostrada na **figura 14**.

### Uma pedra de gelo no lugar do Plutônio 238

Onde há uma diferença de temperatura cria-se um gradiente térmico, ou seja, um vetor que determina um fluxo de energia e esse fluxo de energia térmica pode ser convertido em outras formas de energia.

Calor é algo que se pode obter com facilidade e convertido em energia elétrica também, mas o que muitos talvez não pensem é que o frio também é uma fonte de energia, uma fonte de energia potencial térmica negativa!

Uma fonte de energia térmica negativa é uma pedra de gelo. O calor ambiente pode fluir para ela e nesse processo gerar energia. Exploramos isso num post em que falamos na quantidade de energia que está armazenada no gelo da Groenlândia e até demos um link para um artigo e um livro em que o assunto é explorado. (**figura 16**)

Sim, energia do gelo. Publicamos em nosso site um interessante projeto em que você pode usar uma pedra de gelo para alimentar um motor ou mesmo um radinho ou carregador de celular (sem brincadeiras – veja o link no final).

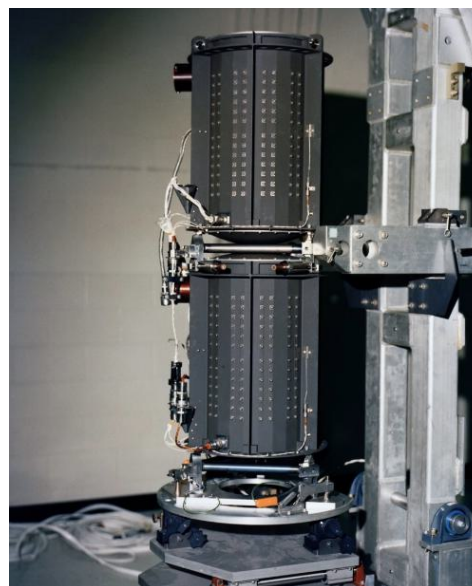


Figura 13 - A bateria da Voyager 2 (Imagem NASA/JPL Caltec).

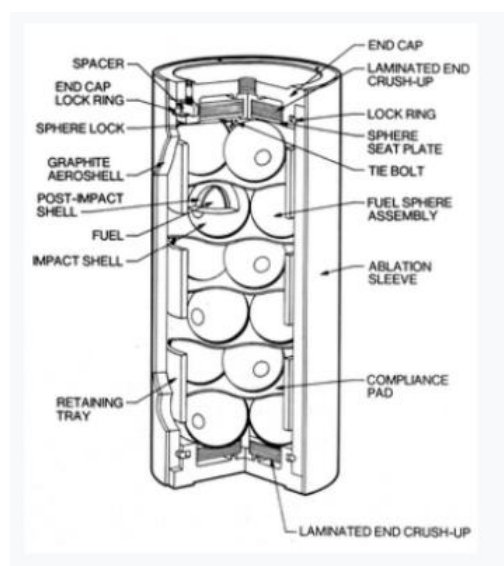


Figura 14 – Estrutura da bateria atômica – imagem NASA.



Figura 15 – Tirando energia do gelo.

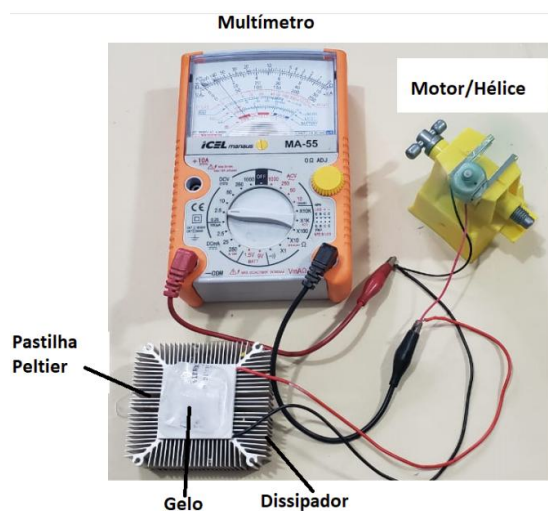


Figura 16 - Alimentando um motor com energia do derretimento do gelo.



Figura 17 - Vídeo em que mostramos a energia do gelo sendo utilizada para movimentar um motor. [https://www.youtube.com/watch?v=vahlb\\_ea-xg](https://www.youtube.com/watch?v=vahlb_ea-xg)



Figura 18- Link para a compra do livro <https://www.newtoncbraga.com.br/?view=article&catid=42&id=19562>

Como falamos, o que ocorre é que, pela física podemos obter energia de qualquer movimentação do calor e ela ocorre de um ponto mais quente para um mais frio. Estamos acostumados a obter a energia do calor usando um objeto aquecido que transfere o calor para o meio ambiente. Carnot explica.

No entanto, o fluxo pode ser ao contrário se o ar ambiente estiver mais quente que o local para que ele precisa transferir o calor, uma pedra de gelo. Assim, uma pedra de gelo, ao derreter (energia potencial térmica negativa) pode provocar um fluxo de calor que através de um dispositivo apropriado pode gerar energia elétrica. Energia do gelo é o artigo e o vídeo no link em que mostramos isso e você pode comprovar em casa que não é fake.

Mostramos um motor sendo alimentado pela energia gerada pelo derretimento de uma pedra de gelo. Na verdade, a energia vem do meio ambiente e parte dela ao derreter o gelo converte-se em eletricidade (se tem dúvidas, estude o ciclo de Carnot e veja por que não é toda energia que pode ser convertida).

Temos até um interessante livro chamado O Desafio do Gelo com o Professor Ventura e seus alunos Beto e Cleto em que mostramos de forma divertida como gerar energia suficiente para carregar seu celular ou alimentar um radinho com uma simples pedra de gelo.

Mas, o importante é que a Groenlândia que tem 2,6 milhões de quilômetros quadrados coberto por uma camada de gelo que em alguns lugares chega a 3km de espessura derreter pelo efeito do aquecimento global, a

quantidade de energia que pode ser devolvida a circulação, pois foi sua dissipação pelo homem que causou o desequilíbrio térmico da terra.

Alguns bem interessantes. Quer ver como obter energia do gelo em sua casa, veja o artigo no link. Basta comprar uma ou duas pastilhas de efeito Peltier (em torno de 25 reais cada) e ter seu radinho alimentado pelo gelo. Veja nossos projetos com energia alternativa no QR-code ao lado.



<https://www.newtoncbraga.com.br/robotica-e-mecatronica/36208-energia-do-gelo-%E2%80%93-uma-prova-de-fogo-mec568.html>

### **Morte Térmica do Universo**

Nosso universo existe graças ao fluxo de calor que é possível entre partes quentes e frias e nesse movimento temos as conversões que movem tudo.

Tudo que ocorre no nosso mundo envolve transformações de energia que no final se convertem em calor. O calor é o fim de tudo e segundo Lord Kelvin teremos o momento em que não haverá mais diferença nenhuma de temperatura entre todas as partes do universo.

Quando esse ponto de equilíbrio ou entropia máxima for atingido teremos a morte térmica do Universo ou Big Freeze em oposição ao Big Bang.

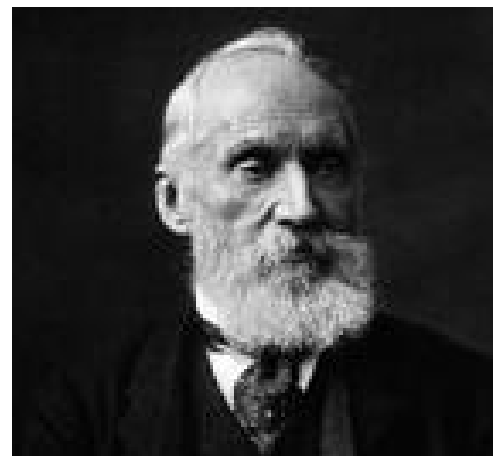


Figura 19 - William Thomson (Lord Kelvin).

### **Referências:**

1. Nasa – Missão Voyager - <https://science.nasa.gov/mission/voyager/>
2. Handbook of Elementary Physics – N. Koshkin - MIR – 1968
3. Desafio do gelo: <https://www.newtoncbraga.com.br/robotica-e-mecatronica/36208-energia-do-gelo-%E2%80%93-uma-prova-de-fogo-mec568.html>
4. Los Tesoros del Firmamento – F. Ziquel – Paraninfo
5. A Natureza do Universo – Fred Hoyle – 1962
6. Radio Astronomy for the Amateur – D. Heisenman
7. Seção de astronomia site INCB - <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/ astronomia-e-astrofisica>



# DOMINANDO O ISOLAMENTO GALVÂNICO

**Garantindo a Segurança em Eletrônica de Alta  
Potência com Produto Würth Elektronik**

AUTOR ULUDAG, IHSAN-TIMUR WÜRTH ELEKTRONIK EISOS  
TRADUÇÃO/ADAPTAÇÃO ENGº. ANTONIO CARLOS GASPARETTI.

## **1. INTRODUÇÃO**

O isolamento galvânico é necessário ao projetar eletrônica de alta potência segura e fiável. Neste contexto, o isolamento galvânico refere-se à separação elétrica de dois circuitos sem contacto elétrico direto entre eles, permitindo ainda assim a transferência de sinal ou energia. As situações em que o isolamento é necessário incluem aplicações onde existem diferenças de alta tensão entre secções do circuito, onde a integridade do sinal deve ser preservada em ambientes ruidosos e

onde os regulamentos de segurança exigem separação elétrica para proteger os utilizadores e o equipamento contra tensões perigosas.

Nesta nota de aplicação, exploramos os diferentes métodos para alcançar o isolamento galvânico, examinamos as suas vantagens e compromissos, e discutimos como selecionar a solução de isolamento apropriada para várias aplicações industriais utilizando as ofertas de produtos da Würth Elektronik.

## 2. ISOLAMENTO, POR QUE É IMPORTANTE E OS DIFERENTES TIPOS

Em ambientes industriais, o isolamento galvânico desempenha três funções principais:

- Primeiro: melhora a segurança ao prevenir a transferência de tensão letal para circuitos acessíveis ao utilizador e ao proteger eletrônica sensível contra picos de tensão.
- Segundo: melhora o desempenho da compatibilidade eletromagnética (CEM) ao mitigar ruído, suprimir interferências de modo comum e eliminar laços de terra que poderiam levar a comportamentos erráticos do sistema.
- Finalmente: o isolamento galvânico garante a integridade do sinal ao prevenir interferências indesejadas e, assim, permitindo uma transmissão de dados precisa mesmo em condições eletricamente ruidosas.



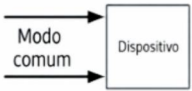
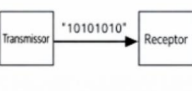
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Primeiro</b>, ele melhora a segurança ao impedir a transferência de tensões perigosas para circuitos acessíveis ao usuário e ao proteger eletrônicos sensíveis contra picos de tensão.</li> </ul>
 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Segundo</b>, ele melhora o desempenho de compatibilidade eletromagnética (CEM) ao reduzir ruídos, suprimir interferências em modo comum e eliminar loops de terra que podem causar comportamento errático do sistema.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Por fim</b>, o isolamento galvânico garante a integridade do sinal ao evitar interferências indesejadas, permitindo assim a transmissão de dados precisa, mesmo em ambientes eletricamente ruidosos.</li> </ul>

Tabela 1 - Funções primárias do isolamento galvânico.

## 2.1 Termos técnicos sobre o tema "isolamento galvânico"

Quando se trata do tema isolamento galvânico, surgem os seguintes Termos-chave (ver **Figura 1**):

- Padrões (Standards)
- Tipos de Isolamento
- Distância de Escoamento e Distância de Separação (Clearance & Creepage)
- Distância através do Isolamento



Figura 1 - Termos-chave relacionados ao isolamento galvânico.

## 2.2 Categorias de Padrões

Existem três categorias diferentes de padrões: padrões de componentes, padrões de dispositivos e padrões básicos de segurança. Os padrões de componentes aplicam-se a componentes eletrônicos individuais (ex: resistências, condensadores, indutores, optoacopladores). Os padrões de dispositivos aplicam-se a dispositivos ou sistemas eletrônicos completos (ex: smartphones,

Isolação Galvânica					Isolador Digital
Relés de Estado Sólido	Isoladores Digitais	Transformadores Isoladores	Conversores CC-CC Isolados	Outros	Isoladores Digitais
Fotovoltaico	Digital / Isolação	Isolação	Regulação de Tensão	Isoladores ópticos e drivers	Isolação de Sinal Digital
					

Tabela 2 - Visão geral das categorias de padrões.

# Inovação, variedade de componentes e serviço em perfeita harmonia

Milhões de componentes

Opções ilimitadas de projetos

---



Disponível para o envio hoje  
[br.mouser.com/adi-selection](http://br.mouser.com/adi-selection)

computadores, maquinaria industrial). Um padrão básico de segurança fornece princípios e diretrizes fundamentais aplicáveis a uma vasta gama de produtos, sistemas ou indústrias.

- Padrão de Componente: IEC60747-5-5 (Optoacopladores), IEC60747-17 (Isoladores Digitais), IEC61558-2-16 (Transformadores), IEC60384-14 (Condensadores), UL1577 (Optoacopladores/Isoladores Digitais).
- Padrão de Dispositivo: IEC62368-1 (Módulos de Potência).
- Publicação Básica de Segurança: IEC60664-1.

### 2.3 Tipos de Isolamento

- Isolamento Funcional: Refere-se ao nível mínimo de separação necessário para que um circuito opere corretamente. Não oferece proteção ao utilizador contra choques elétricos ou condições de falha.
- Isolamento Básico: O primeiro nível de proteção do utilizador contra choques elétricos. Consiste numa única barreira de isolamento entre partes de alta tensão e partes acessíveis ao utilizador.
- Isolamento Suplementar: Uma camada adicional de isolamento independente do isolamento básico. O seu objetivo é proteger o utilizador caso o isolamento básico falhe.
- Isolamento Duplo: Combina isolamento básico e suplementar para fornecer proteção ao utilizador sem depender de uma ligação de terra de proteção.
- Isolamento Reforçado: Fornece o mesmo nível de proteção que o isolamento duplo, mas alcançado através de um sistema de isolamento único testado com padrões mais rigorosos para rigidez dielétrica, escoamento (creepage) e separação (clearance).

### 2.4 Escoamento e Separação no Isolamento

- Separação (Clearance): É a distância mais curta através do ar entre dois elementos condutores. Determina quanto potencial elétrico a folga de ar pode suportar antes que a rutura dielétrica cause uma descarga. A separação é a distância direta através do ar entre o Traço 1 e o Traço 2 representados na **Figura 2**.
- Escoamento (Creepage): É o caminho mais curto ao longo da superfície de um material isolante entre duas partes condutoras. Considera a possibilidade de degradação da superfície, contaminação

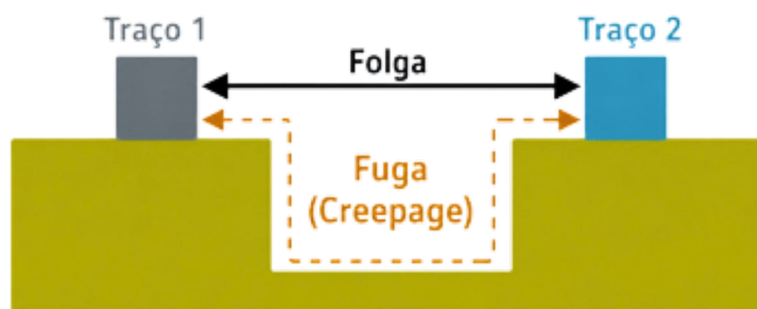


Figura 2 - Visualização de separação e escoamento.

ou trilhas ao longo do tempo. O escoamento é o caminho mais longo ao longo da superfície do material isolante.

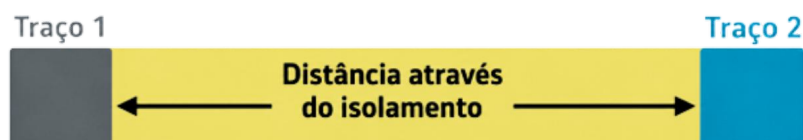


Figura 3 - Visualização da distância através do isolamento.

## 2.5 Distância através do Isolamento

A distância através do isolamento é o caminho mais curto através de um material isolante entre dos condutores, garantindo a separação elétrica.

## 3. IMPLEMENTANDO O ISOLAMENTO



Figura 4 - Visão geral dos métodos de isolamento galvânico.

As opções mais comuns ao implementar o isolamento galvânico incluem:

- Óptico: Optoacopladores.
- Capacitivo: Isoladores digitais, Condensadores.
- Indutivo: Módulos de potência isolados, Transformadores.

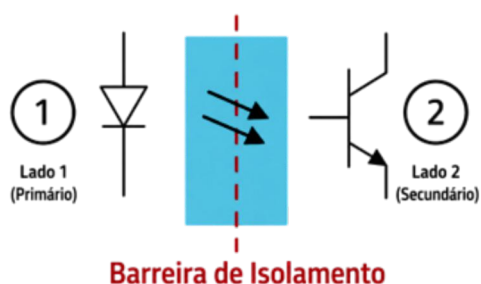


Figura 5 - Conceito de isolamento galvânico com fototransistor Optoacoplador.

#### 4. OPTOACOPLADORES

Os optoacopladores fornecem isolamento galvânico transmitindo sinais através de um meio ótico em vez de uma conexão elétrica direta. Utilizam um LED e um detetor sensível à luz (ex: fototransistor) para transferir sinais através de uma barreira de isolamento. **Figura 5.**

Onde usar optoacopladores?			
✓	✓	✓	✓

Tabela 3 - Casos de uso de optoacopladores.

A operação começa quando um sinal de entrada elétrico aciona o LED interno. O LED (1) emite luz infravermelha, que é recebida pelo fotodetector (2) no outro lado da barreira. O fotodetector converte o sinal ótico de volta num sinal elétrico de saída, efetivamente transferindo informações entre dois circuitos eletricamente isolados. Como LED e o fotodetector não compartilham um caminho condutor direto, os circuitos permanecem eletricamente separados enquanto ainda se comunicam.

Este método de isolamento é particularmente eficaz em aplicações críticas de segurança, onde é necessário impedir que transientes de alta tensão atinjam componentes sensíveis ou acessíveis ao usuário. Por esse motivo, os optoacopladores são amplamente utilizados em automação industrial, eletrônica de potência e interfaces de comunicação para garantir que os sinais sejam transmitidos de forma confiável, sem expor os circuitos de controle de baixa tensão a tensões perigosas.

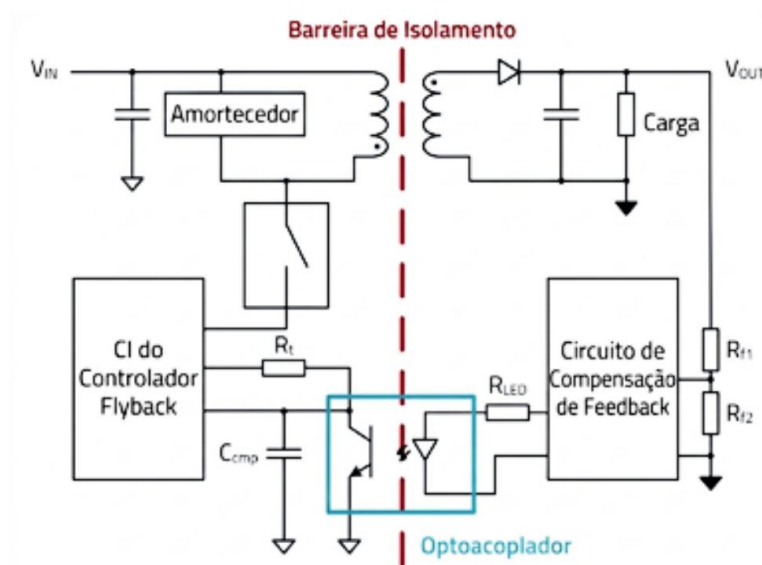


Figura 6 - Optoacoplador para a malha de feedback do conversor flyback.

#### 4.1 Casos de uso comuns para Optoacopladores

- **Eletrônica de Potência:** Em sistemas de conversão de energia, os optoacopladores facilitam o isolamento por realimentação em fontes de alimentação chaveadas (SMPS) e conversores CC-CC isolados. Ao permitir a regulação do lado secundário enquanto mantém a separação elétrica do lado primário de alta tensão, os optoacopladores contribuem para um gerenciamento de energia estável e eficiente, veja a **Figura 6**.

- **Comunicações de Baixa Velocidade:** Interfaces de comunicação serial como RS-232, RS-485 e CAN bus.

- **Dispositivos Médicos:** Desfibriladores, sistemas de monitorização de pacientes e equipamentos de imagiologia médica.

- **Automação Industrial:** Entradas de controladores lógicos programáveis (PLC), interfaces de sensores e redes industriais.

#### 4.2 Produtos de Optoacopladores da Würth Elektronik

A Würth Elektronik oferece uma gama abrangente de optoacopladores projetados para aplicações industriais e de eletrônica de potência. Nossa série WL-OCPT inclui optoacopladores de fototransistor de alto isolamento com encapsulamento robusto e classificações de alta tensão.

As características notáveis desta linha de optoacopladores incluem:

- **Altas Classificações de Tensão:** Com tensões de isolamento de até 5 kV, estes optoacopladores proporcionam uma forte separação elétrica.
- **Fatores de Forma Compactos:** Disponíveis em pacotes DIP, SOP e LSOP, os optoacopladores da Würth Elektronik suportam projetos com restrições de espaço.
- **Taxa de Transferência de Corrente Consistente:** Os optoacopladores da Würth apresentam uma classificação rigorosa de CTR (Current Transfer Ratio) para garantir um desempenho previsível durante toda a vida útil do componente.
- **Variantes de Grau Industrial e Automotivo:** Os optoacopladores da Würth oferecem faixas de temperatura estendidas e construção robusta para ambientes agressivos.

**Comunicações de Baixa Velocidade.** Em interfaces de comunicação serial de baixa velocidade, como RS-232, RS-485 e barramento CAN, os optoacopladores fornecem isolamento eficaz. Esses protocolos operam dentro de larguras de banda que se alinham bem com o desempenho dos optoacopladores, o que torna os optoacopladores uma excelente escolha para isolar a transmissão de dados.

### **5. ISOLADORES DIGITAIS**

Os isoladores digitais alcançam isolamento galvânico usando acoplamento capacitivo em vez do método de transmissão óptica usado em optoacopladores. O isolador digital (diagrama de blocos Figura 7) consiste em um oscilador e um modulador no lado primário. No lado secundário, há um demodulador e um buffer. Os componentes do lado primário são separados galvanicamente dos componentes do lado secundário por uma estrutura de capacitor com uma barreira de isolamento feita de SiO<sub>2</sub>. A transmissão do sinal através da barreira de isolamento é realizada por um método de modulação conhecido como chaveamento liga/desliga (on/off keying). O oscilador integrado no chip é usado para modular o sinal de entrada disparado por Schmitt. O modulador gera um sinal diferencial que é transmitido através das linhas capacitivamente isoladas. O demodulador está localizado no lado secundário e é usado para

amplificar, filtrar e reconstruir o sinal de entrada. O atraso e a distorção do sinal são mínimos. Finalmente, o sinal da saída do demodulador é passado através de um buffer para a saída; o buffer amplifica o sinal para o nível necessário.

Os isoladores digitais são particularmente eficazes em aplicações críticas de segurança, onde é necessário evitar que transientes de alta tensão alcancem componentes sensíveis ou acessíveis ao usuário. Eles são conhecidos por sua alta velocidade de transmissão de dados, com alguns modelos suportando taxas superiores a 100 Mbps. Esse recurso torna os isoladores digitais a escolha preferencial para protocolos de alta velocidade, como SPI, I2C e USB, nos quais os optoacopladores teriam dificuldade em manter a integridade do sinal em taxas de dados elevadas.

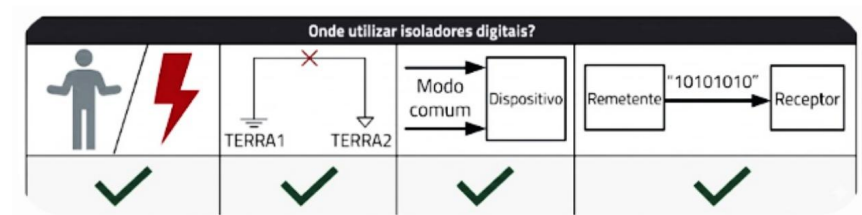


Tabela 4 - Casos onde isoladores digitais são usados.

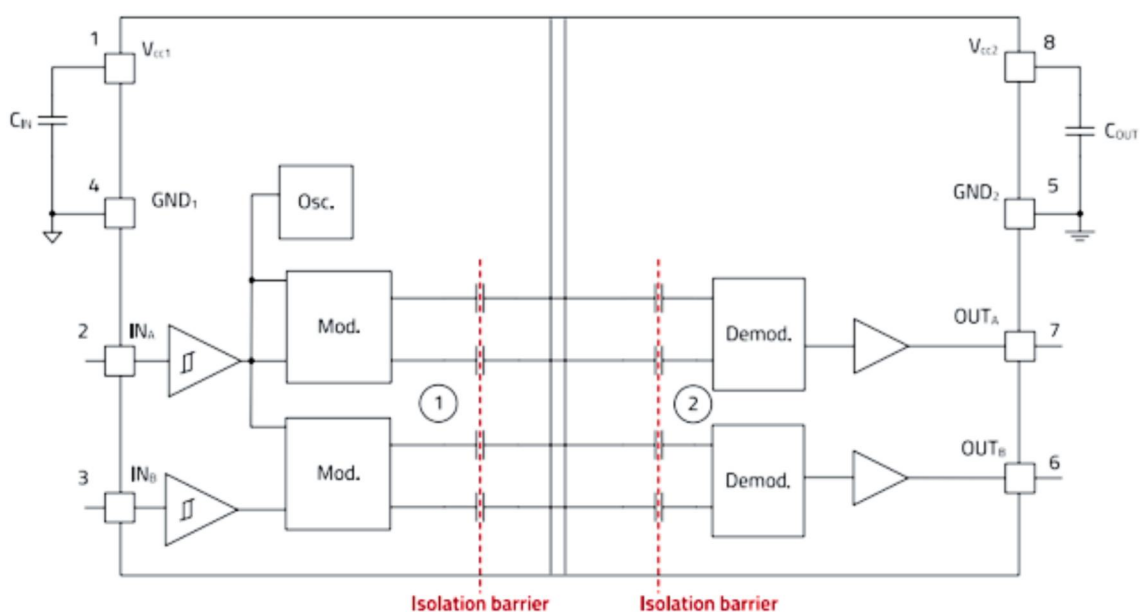


Figura 7 - Um diagrama de blocos do isolador digital CDIS 18012x15411x, mostrando o uso de técnicas de modulação para comunicação através de uma barreira de isolamento

### **5.1 Casos de uso comuns para Isoladores Digitais**

- Automação Industrial: Protocolos de comunicação fieldbus, interfaces de sensores e interconexões de microcontroladores de alta velocidade.
- Projetos com restrições de espaço: Oferecem múltiplos canais de isolamento num único pacote e alta eficiência energética, ideais para eletrônica de consumo, dispositivos vestíveis e aparelhos a bateria.

### **5.2 Produtos de Isoladores Digitais da Würth Elektronik**

A Würth Elektronik oferece uma gama de isoladores digitais de alto desempenho. Por exemplo, a série WPME-CDIS oferece isolamento de sinal de alto desempenho para automação industrial, controle de motores, conversão de energia e sistemas de gerenciamento de bateria. Algumas das características notáveis desta série incluem:

- Configurações de Múltiplos Canais: Disponível em versões de dois e quatro canais para acomodar diferentes necessidades de isolamento.
- Alta Tensão de Isolamento: Suporta até 5000 VRMS.
- Encapsulamento Compacto de Grau Industrial: Oferecido em SOIC-8NB para isolamento básico e SOIC-16WB para isolamento reforçado.
- Transmissão de Dados em Alta Velocidade: Alcança velocidades de até 150 Mbps.

## **6. MÓDULOS DE ALIMENTAÇÃO ISOLADOS**

Um conversor DC/DC isolado funcionalmente é normalmente necessário quando se precisa de transferir energia entre dois circuitos, mantendo-os isolados eletricamente. Um módulo de alimentação isolado é um conversor DC/DC totalmente integrado que transfere energia elétrica através de uma barreira isolada galvanicamente usando um transformador de alta frequência, onde os enrolamentos primário e secundário estão magneticamente acoplados, mas eletricamente separados.

O módulo opera tipicamente através de técnicas de modulação por largura de pulso (PWM) ou comutação ressonante para converter uma tensão DC de entrada numa forma de onda AC de alta frequência, que é então transferida indutivamente para o enrolamento secundário e retificada de volta para DC. A barreira de isolamento evita a condução direta entre a entrada e a saída, mantendo a transferência de energia controlada através da indutância mútua do transformador, como mostra a **Figura 9**.

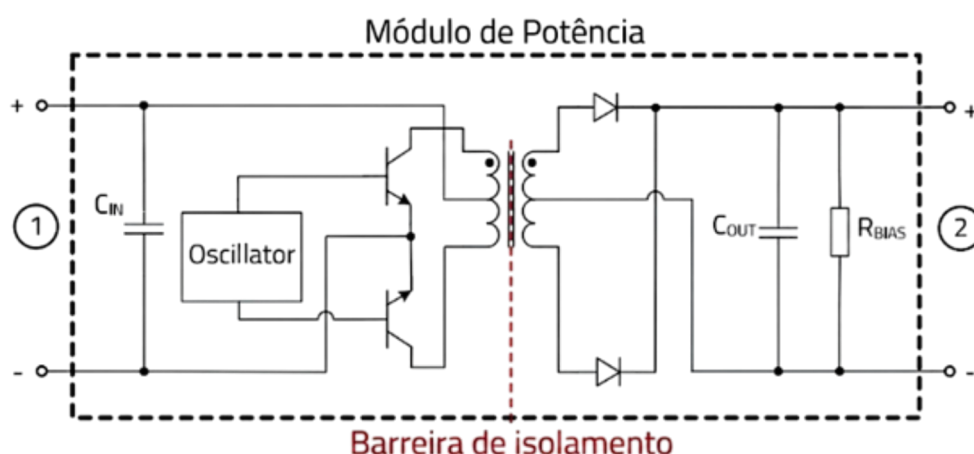


Figura 9 - Diagrama de blocos de um módulo de potência isolado da série FISM

Ao integrar estas funções numa única unidade, os módulos de alimentação isolados fornecem uma solução fiável e pronta a usar para fornecer energia isolada em sistemas elétricos complexos.

Onde utilizar módulos de potência isolados?			
<b>X</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>

Tabela 5 - Casos de uso de módulos de potência isolados.

### 6.1 Casos de uso comuns para Módulos de Alimentação Isolados

- Automação Industrial e Sistemas de Controlo: Ambientes de automação industrial com maquinaria de alta potência e redes de comunicação extensas requerem soluções que sejam altamente

fiáveis e imunes a ruído elétrico. O isolamento desempenha um papel crítico ao eliminar laços de terra (ground loops), que podem introduzir ruído, interferência de sinal ou causar danos ao equipamento. É essencial em aplicações como sistemas de medição, interfaces de comunicação e equipamento de áudio. Além disso, quando os subsistemas operam a potenciais de terra diferentes, o isolamento garante uma operação segura e correta sem curto-circuitos; cenários comuns incluem sensores remotos e sistemas de alimentação distribuída.

## 6.2 Módulos de Alimentação Isolados da Würth Elektronik

A Würth Elektronik oferece um portfólio diversificado de módulos de alimentação isolados concebidos para aplicações como aquisição de dados, sistemas de teste e medição e controles industriais. A variante isolada dos nossos módulos MagI<sup>3</sup>C utiliza topologias flyback, full-bridge e push-pull para fornecer isolamento funcional até 4 kV, eliminar laços de terra e garantir altos níveis de integridade de sinal.

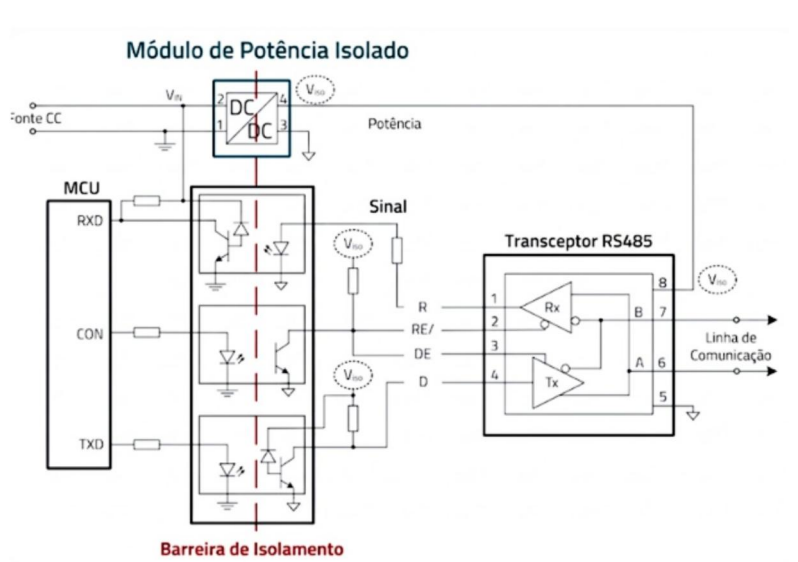


Figura 10 - Comunicação RS485 isolada com um módulo de alimentação isolado para isolamento do caminho de energia.

Recursos notáveis desta série incluem:

- Isolamento funcional com VISO até 4 kV.
- Potência de saída contínua até 2 W.

- Solução autônoma (CIN e COUT integrados, sem componentes externos).
- Configuração de pinos e encapsulamento padrão industrial.
- Baixa EMI conduzida e irradiada (em conformidade com EN55032 classe B).
- Certificações da Indústria: Compatível com UL 62368-1.

Estes módulos são apoiados pelas ferramentas de design online da Würth, como o REDEXPERT, MagI<sup>3</sup>C Power Module Designer que permite aos engenheiros simular e otimizar o desempenho do módulo de alimentação isolado nas suas aplicações específicas. A Würth também fornece designs de referência e notas de aplicação para facilitar a integração em arquiteturas de potência existentes.

## 7. TRANSFORMADORES PARA ISOLAMENTO

Os transformadores fornecem isolamento galvânico transferindo energia elétrica entre circuitos através de indução magnética, mantendo uma separação elétrica completa entre os enrolamentos primário e secundário. Nesta disposição, a corrente alternada (AC) no enrolamento primário gera um campo magnético que varia no tempo no núcleo do transformador, o que induz uma tensão correspondente no enrolamento secundário. Este comportamento permite uma transferência eficiente de energia enquanto mantém a separação elétrica e evita o fluxo de corrente contínua (DC) entre a entrada e a saída.

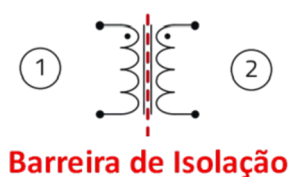


Figura 11 - Esquema de um transformador de potência mostrando o acoplamento magnético entre os enrolamentos primário e secundário.

### 7.1 Casos de uso comuns para Transformadores

Alta capacidade de gerenciamento de potência

Os transformadores têm alta capacidade de gerenciamento de potência porque transferem energia por indução magnética em vez de condução elétrica direta, permitindo que eles ajustem a tensão e a

corrente de forma eficiente sem perdas resistivas excessivas. Os transformadores de potência usados em redes elétricas lidam com centenas de megawatts, enquanto transformadores menores em eletrônica de potência podem gerenciar com eficiência watts a quilowatts de potência.

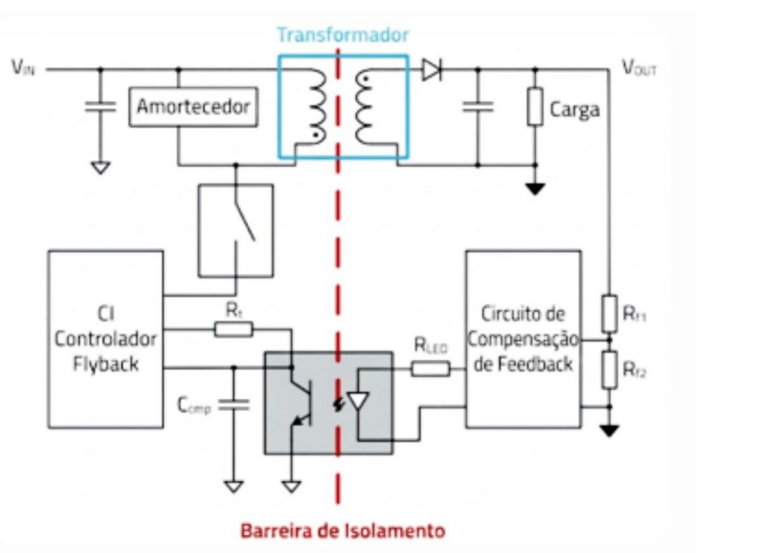


Figura 12 - Transformador para transferência de potência do conversor flyback.

## 7.2 Drivers de Porta com Isolamento de Alta Tensão

Os transformadores são úteis em gate drivers de alto isolamento, pois permitem sinais de controle isolados para MOSFETs e IGBTs usados em acionamentos de motores, inversores industriais e sistemas de distribuição de energia. Os transformadores de acionamento de porta (gate drive) são concebidos para fornecer uma transmissão de sinal rápida e sem ruído com alta rejeição de tensão de modo comum. Versões especiais com baixa capacitância parasita fornecem energia auxiliar isolada para CIs de gate driver.

Devido à procura crescente de velocidade de comutação e precisão de temporização, os transformadores de sinal estão a atingir os seus limites. Por esta razão, CIs de gate driver integrados e isolados são cada vez mais utilizados em sistemas de potência modernos de alta velocidade, especialmente com semicondutores de wide-bandgap como SiC e GaN.

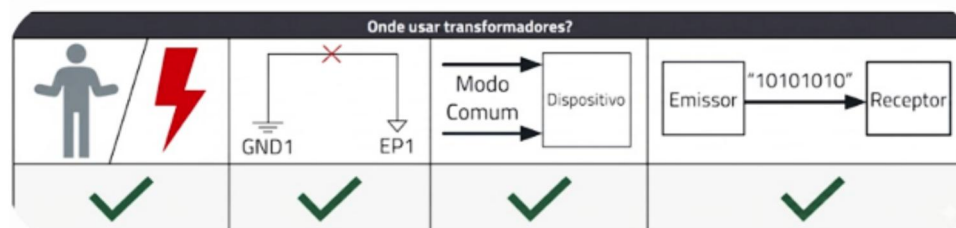


Tabela 6 - Casos de uso de transformadores.

Embora esses CIs integrem recursos avançados de isolamento e temporização, eles ainda requerem uma fonte de alimentação auxiliar isolada separada para polarizar o estágio de acionamento de porta (gate drive). Isso gera uma demanda contínua por transformadores de potência capazes de fornecer as tensões e os níveis de isolamento exigidos, especificamente adaptados para aplicações de acionamento de porta. Para manter a clareza no contexto de especificação e aplicação, referimo-nos a esses componentes como Transformadores de Alimentação Auxiliar para Acionamento de Porta (WE-AGDT), enfatizando seu papel no suporte à funcionalidade dos drivers de porta isolados.

### **Isolamento de Sinais em Sistemas AC/DC de Alta Potência**

Sistemas AC/DC de alta potência frequentemente envolvem transientes de comutação rápidos e fortes campos eletromagnéticos. Os transformadores são excelentes para o isolamento de sinais nesse contexto, pois suportam elevados níveis de tensão ao mesmo tempo em que permitem a transmissão precisa de sinais em ambientes eletricamente ruidosos. Além disso, sua dupla funcionalidade — no isolamento tanto de potência quanto de sinais — permite-lhes transferir eficientemente os sinais de controle, realizando simultaneamente a elevação ou a redução das tensões.

### **Isolamento de Sinais Ethernet e RS-485**

Os transceptores Ethernet e as redes de comunicação RS-485 dependem de transformadores, pois a transmissão de sinais diferenciais utilizada nesses protocolos se beneficia da capacidade dos transformadores de rejeitar ruído de modo comum (Figura 10). Esse recurso ajuda a garantir que apenas os sinais diferenciais

pretendidos sejam transmitidos, enquanto a interferência externa é suprimida. Além disso, projetos de transformadores de alta largura de banda — com baixa indutância de dispersão e casamento de impedância otimizado — podem facilitar a transmissão de sinais rápida e com baixa distorção ao longo de extensos trechos de cabos.

### **Produtos de Transformadores da Würth Elektronik**

A Würth Elektronik oferece uma ampla gama de transformadores para isolamento de potência e de sinais. Alguns desses produtos incluem:

- **WE-AGDT Transformadores de Acionamento de Gate:** Projetados para a comutação de alta velocidade de MOSFETs e dispositivos SiC/GaN, estes transformadores fornecem — com capacitância parasita muito baixa, baixa indutância de dispersão e alta tensão de isolamento — a alimentação isolada para CIs de acionamento de gate (gate drivers).
- **WE-FB Transformadores Flyback:** Otimizados para conversores DC-DC isolados e fontes de alimentação AC/DC offline, estes transformadores oferecem alta eficiência, baixas perdas no núcleo e um desempenho de isolamento robusto.
- **Transformadores Planares WE-LPLN:** Projetados para aplicações de alta densidade de potência, estes transformadores oferecem enrolamentos de fio plano com baixa resistência CC (DCR) e proporcionam tensões de isolamento de até 2250 VCC.
- **Transformadores de Gate Drive WE-GDTI:** Projetados para a comutação de alta velocidade de MOSFETs e IGBTs, estes transformadores proporcionam transmissão rápida de sinais, baixa indutância de dispersão e alta tensão de isolamento.
- **Transformadores Push-Pull WE-PPTI:** Projetados para topologias Push-Pull de baixa potência, com níveis de tensão e potência adequados para a maioria das aplicações industriais de baixa potência — tais como fontes de alimentação isoladas para comunicação serial RS232, RS-485, CAN, módulos de E/S de PLCs e muito mais.
- **Transformadores Flyback WE-UOST:** Otimizados para fontes de alimentação isoladas AC/DC \*offline\*, estes transformadores oferecem alta eficiência, baixas perdas e um desempenho de isolamento

robusto, proporcionando isolamento reforçado com tensões de suportabilidade dielétrica de até 4200 VCA.

## 8. CAPAVITORES PARA ISOLAMENTO

Um capacitor pode realizar o isolamento galvânico ao permitir a transferência de sinais AC ou sinais transitórios entre dois circuitos, enquanto bloqueia sinais DC. Isto é conseguido porque um capacitor consiste em duas placas condutoras separadas por um material isolante, conhecido como dielétrico. Figura 13 detalhe 1 e 2. Quando uma tensão AC é aplicada através

do capacitor, a corrente alternada pode passar, devido ao campo elétrico variável, enquanto o dielétrico evita qualquer conexão elétrica direta entre os dois lados. Isso garante que não haja um caminho de corrente contínua, proporcionando, assim, isolamento galvânico.

Esta propriedade é particularmente útil em aplicações onde é necessário evitar laços de terra DC ou isolar diferentes secções de um circuito por razões de segurança ou funcionais.



Figura 13 - Princípio de isolamento por capacitor.

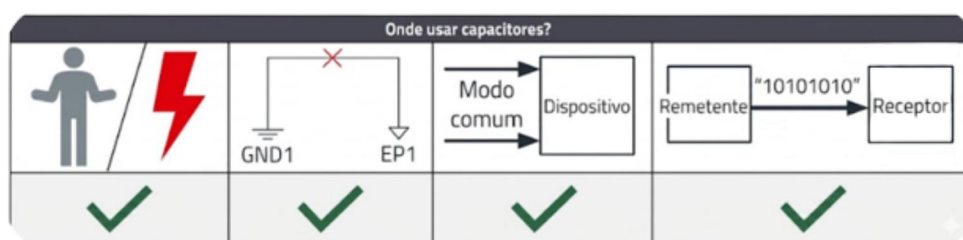


Tabela 7 - Casos de uso de capacitores.

### 8.1 Casos de uso comuns para Capacitor

- **Ligação de Barreiras de Isolamento:** Os capacitores são amplamente utilizados para ligar GND-GND ou VDD-a-VDD através de uma barreira de isolamento para estabilizar potenciais de tensão e reduzir o acoplamento de ruído. Em conversores DC/DC isolados e fontes de alimentação chaveadas, os capacitores são

estrategicamente colocados entre planos de terra isolados para fornecer um caminho de retorno para correntes de ruído de alta frequência, de modo a que os transitórios de comutação não interfiram com o desempenho do sistema.

- Filtragem de CEM (Compatibilidade Eletromagnética EMC): Em fontes de alimentação isoladas, os capacitores ajudam a suprimir emissões conduzidas e irradiadas para alcançar a conformidade com normas de EMI como CISPR 32, FCC Part 15, e IEC 61000-6-4. Ao integrar capacitor Y e capacitor X em redes de filtragem de entrada e saída, os projetistas podem minimizar o ruído de modo diferencial e modo comum, melhorando a estabilidade geral do sistema de potência.

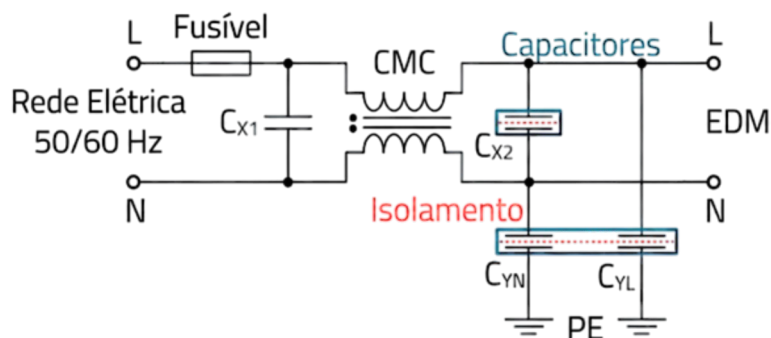


Figura 14 - Capacitores em X- & Y-

## 8.2 Produtos de Capacitores da Würth Elektronik

A Würth Elektronik oferece uma linha abrangente de capacitores projetados para aplicações de supressão de EMI (Electromagnetic Interference), filtragem de ruído e isolamento. Alguns desses produtos incluem:

- Capacitores de Filme WCAP-FTX2: Estes capacitores X2 proporcionam supressão de interferência e filtragem de EMI em aplicações de rede elétrica CA, além de oferecerem conformidade com as normas de segurança ENEC 10, c (canadá) UL (certificado pela UL) e us (Estados Unidos) "c UL us" e CQC (China Quality Certification Centre), um dos principais organismos de certificação da China.

- Capacitores Cerâmicos WCAP-CSSA: Estes capacitores de segurança X1/Y2 e X2 oferecem supressão eficaz de interferências e filtragem de EMI em linhas de alimentação CA, apresentando

capacitância estável e opções robustas de dielétrico cerâmico (NP0, X7R).

- Futuros Capacitores de Filme WCAP-FTY2: Utilizados em aplicações na rede elétrica CA de até 310 VAC para conectar cada fase ao terra e eliminar interferências de modo comum.

## **9. QUANDO USAR CADA MÉTODO DE ISOLAMENTO**

### **9.1 Optoacopladores: Isolamento de Baixa Velocidade e Alta Tensão - Segurança**

- Casos de Uso: UARTs isolados, isolamento de I/O digital de baixa velocidade e transmissão de sinais analógicos.
- Vantagens: Alta tensão de isolamento (até 10 kV), integração de circuito simples e baixo custo.
- Limitações: Largura de banda limitada (<1 Mbps em modelos padrão), efeitos de envelhecimento do LED e maior consumo de energia em comparação com isoladores digitais.

### **9.2 Isoladores Digitais: Comunicação de Alta Velocidade em Designs Compactos - Segurança**

- Casos de Uso: Transceptores SPI, I2C, barramento CAN e RS-485 isolados em sistemas automotivos, médicos e de automação industrial.
- Vantagens: Operação de alta velocidade (>100 Mbps), menor consumo de energia e fiabilidade a longo prazo sem degradação do LED.
- Limitações: Tensões de isolamento nominais mais baixas do que os optoacopladores, suscetibilidade a transitórios de modo comum e custo mais elevado em alguns casos.

### **9.3 Módulos de Alimentação Isolada: Alimentação Simplificada Soluções de Isolamento — não Seguro**

Os módulos de alimentação isolada integram a conversão CC-CC e o isolamento em um único encapsulamento, sendo ideais para a rápida implementação de projetos.

- Casos de Uso: Aplicações que requerem uma implementação simplificada de conversão de energia e isolamento, tais como o isolamento da alimentação de microcontroladores e de interfaces de comunicação.

- Vantagens: Solução \*plug-and-play\*, alta eficiência (85% – 95%) e conformidade com normas de segurança para isolamento reforçado.
- Limitações: As classificações fixas de tensão e corrente podem limitar a flexibilidade, e o custo é superior ao de soluções discretas baseadas em transformadores.

### **9.4 Transformadores: Aplicações de Potência e Sinais de Acionamento (Gate Drive) - Segurança**

- Casos de Uso: Conversores DC/DC isolados, gate drivers para IGBT/MOSFET, aplicações de alta potência e fontes de alimentação auxiliares.
- Vantagens: Alta eficiência, alta capacidade de gestão de potência, tolerância a picos de corrente e robustez em ambientes industriais.
- Limitações: Requerem componentes periféricos adicionais (retificadores, filtros, controladores), maior volume físico (tamanho).

## **10. RESUMO E CONCLUSÃO**

O isolamento galvânico é um pilar fundamental no design de eletrônica de potência industrial moderna, sendo indispensável para garantir a segurança do utilizador e a integridade operacional do sistema. Através deste guia, explorámos os métodos principais — ópticos, capacitivos e indutivos — cada um com o seu conjunto específico de vantagens e aplicações ideais. A escolha da solução correta depende de uma avaliação cuidadosa dos requisitos de isolamento, da largura de banda necessária, das restrições de espaço e dos padrões de segurança aplicáveis. A Würth Elektronik oferece um ecossistema abrangente de componentes, ferramentas de design (como o REDEXPERT) e suporte técnico especializado para ajudar os engenheiros a selecionar a melhor solução de isolamento para os seus desafios.

## APÊNDICE A

### A.1 Literatura

[1] **Compreendendo Optoacopladores com Fototransistor:**

<https://www.we-online.com/en/support/knowledge/applicationnotes?d=ano007-understanding-optocouplers>

[2] **Vida útil dos Optoacopladores:**

<https://www.we-online.com/en/support/knowledge/applicationnotes?d=ano006-lifetime-of-optocouplers>

[3] **Compensação da malha de realimentação de um conversor Flyback em modo de corrente com optoacoplador:**

<https://www.we-online.com/en/support/knowledge/applicationnotes?d=anp-113-feedback-loop-compensation>

[4] **ANS020 | Isoladores Digitais:**

[https://www.we-online.com/en/components/media/o823104v410%20ANS020a\\_EN.pdf](https://www.we-online.com/en/components/media/o823104v410%20ANS020a_EN.pdf)

[5] **ANS021 | Garantindo segurança sem comprometer a integridade dos dados: características críticas dos isoladores digitais:**

[https://www.we-online.com/en/components/media/o827501v410%20ANS021\\_EN.pdf](https://www.we-online.com/en/components/media/o827501v410%20ANS021_EN.pdf)

[6] **ANS019 | Fonte de alimentação bipolar e transmissão isolada de sinais com MagI<sup>3</sup>C-FIMM:**

<https://www.we-online.com/en/components/media/o742200v410%20ANS019a%20EN.pdf>

[7] **ANS022 | Capacitor de ponte para módulos de potência isolados — toda a verdade, sem mitos:**

[https://www.we-online.com/en/components/media/o856424v410%20ANS022a\\_Bridge%20capacitor%20for%20isolated%20power%20modules\\_EN.pdf](https://www.we-online.com/en/components/media/o856424v410%20ANS022a_Bridge%20capacitor%20for%20isolated%20power%20modules_EN.pdf)

[8] **ABC dos Módulos de Potência — Funcionalidade, estrutura e manuseio de um módulo de potência:**

[https://www.we-online.com/en/components/products/ABC\\_OF\\_POWER\\_MODULES\\_GERMAN](https://www.we-online.com/en/components/products/ABC_OF_POWER_MODULES_GERMAN)

[9] **ANP113 | Compensação da malha de realimentação de um conversor Flyback em modo de corrente com optoacoplador:**

<https://www.we-online.com/components/media/o760916v410%20ANP113a%20EN.pdf>

[10] **ANP015 | Projeto de filtro de linha monofásico:**

[https://www.we-online.com/components/media/o109029v410%20ANP015\\_EN.pdf](https://www.we-online.com/components/media/o109029v410%20ANP015_EN.pdf)

[11] **ANP109 | Espectros de impedância de diferentes tecnologias de capacitores:**

<https://www.we-online.com/components/media/o720421v410%20ANP109b%20EN.pdf>

[12] **ABC dos Capacitores — Princípios básicos, características e tipos de capacitores:**

[https://www.we-online.com/en/components/products/ABC\\_OF\\_CAPACITORS\\_EN](https://www.we-online.com/en/components/products/ABC_OF_CAPACITORS_EN)

### **LINKS ÚTEIS E INFORMAÇÕES DE CONTACTO**

- Notas de Aplicação: [www.we-online.com/appnotes](http://www.we-online.com/appnotes) | [appnotes@we-online.com](mailto:appnotes@we-online.com)
- Plataforma de Design REDEXPERT: [www.we-online.com/redexpert](http://www.we-online.com/redexpert)
- Caixa de Ferramentas (Toolbox): [www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)
- Catálogo de Produtos: [www.we-online.com/products](http://www.we-online.com/products)

## **TRAVOU NO SEU PROJETO?**

**SOU O PEDRO BERTOLETI. A MINHA MENTORIA TÉCNICA 1: 1 EM SISTEMAS EMBARCADOS AJUDA VOCÊ A RESOLVER, AVANÇAR E ATIGIR SEU OBJETIVO**

- ✓ Mais de 15 anos de experiência ao seu dispor
- ✓ Cobre: sistemas embarcados, conectividade e IoT
- ✓ É individual, prática e focada em resultado
- ✓ Você compartilha o problema, eu te ajudo a resolver

**CONHEÇA A MENTORIA!**



<http://pedrobertoleti.com.br>



**Travou?**

**Eu te ajudo!**



 PCBWay

# Seu Parceiro Confiável de Manufatura no Exterior

Experiência sem  
complicações para todos.  
Comece sua jornada em  
PCB com segurança!

## Prototipagem de PCB rápida e acessível

Especificação	Preço de Referência	Prazo Padrão	Prazo Expresso
2 camadas – 100 x 100 mm – 10 pcs	<b>US\$ 5</b>	24 horas	12 horas
4 camadas – 100 x 100 mm – 5 pcs	<b>US\$ 25.97</b>	4-5 dias	24 horas
6 camadas – 100 x 100 mm – 5 pcs	<b>US\$ 99.04</b>	5-6 dias	24 horas



### Pedido com quantidade mínima

Atendemos pequenos pedidos com PCBs padrão a partir de 5 unidades e outros tipos a partir de 1 unidade. Perfeito para prototipagem e projetos personalizados.



### Rigorous controle de qualidade

Certificações internacionais obtidas, como ISO 9001, ISO 14001, UL e RoHS. A qualidade estável é garantida por meio de um sistema de gestão de qualidade certificado.



### Sistema de cotação instantânea

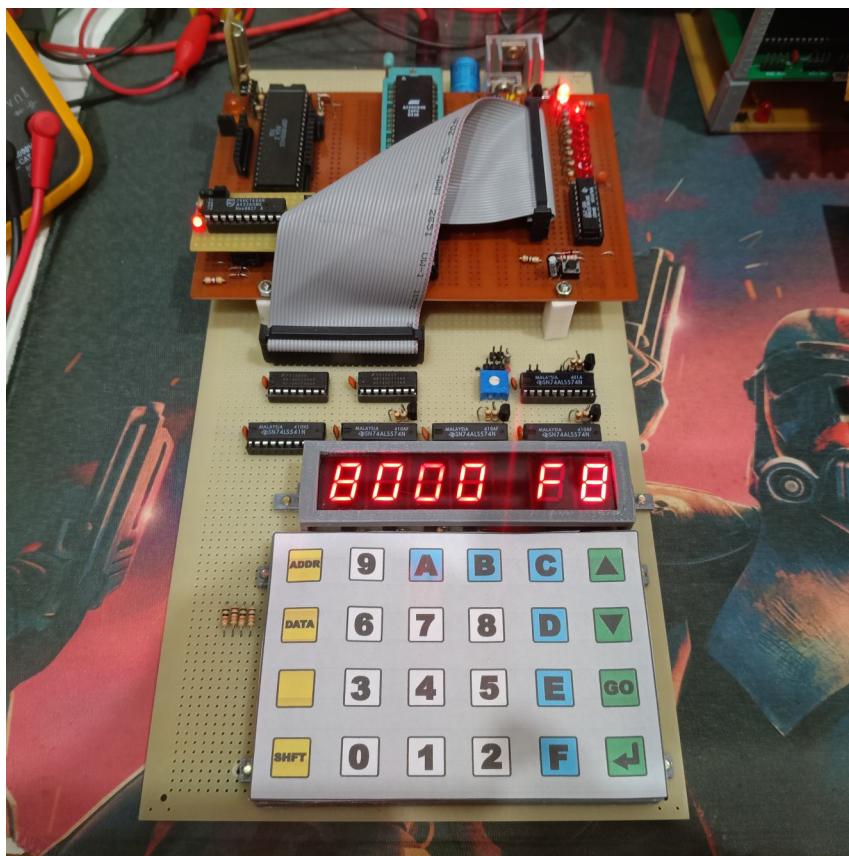
Basta inserir as especificações no site oficial que o sistema calcula instantaneamente o preço de referência e a data de entrega.



### Atendimento 24/7

Cada cliente conta com um representante de atendimento exclusivo, e o chat ao vivo também está disponível 24 horas por dia.





# Computador COSMAC - Parte 4

Eng. Márcio José Soares

Este é o último artigo da saga COSMAC-ELF iniciada na edição nr 31. Se você ainda não fez o download das edições anteriores, não perca tempo, faça ainda hoje! Vale a pena!!! Nesta quarta e última parte falaremos sobre as I/Os, a fonte de alimentação e apresentaremos também o programa “monitor” que fará o controle do nosso pequeno microcomputador.

## **A proposta**

A proposta deste artigo é permitir ao leitor finalizar a montagem da placa de acessórios, apresentada nas edições nr32 e nr33, que permite ampliar os recursos do COSMAC-ELF CPU presente na edição nr31. Agora com uma fonte de alimentação adequada, as I/Os digitais para acessar o “mundo exterior” e um programa monitor, nosso pequeno microcomputador COSMAC-ELF está pronto para uso.

## **Um pouco de teoria – O que é um programa “monitor”**

Se o leitor não vivenciou a era dos microprocessadores que aconteceu durante as décadas de 1970/1980 pode ser que esse termo não lhe seja comum. Mas saiba que o termo é bem mais simples do que parece. Um programa monitor serve para monitorar/controlar a entrada e saída de dados de um determinado dispositivo microprocessado. Em outras palavras, ele atua como um sistema operacional bastante primitivo, limitado exclusivamente para a máquina que foi escrito. Sua principal função é permitir o controle básico das operações do dispositivo, garantindo ao usuário uma interface mínima entre homem e máquina.

Um programa monitor, desenvolvido para uma placa “XPTO” não pode ser aplicado em uma outra placa diferente da primeira em hardware, mesmo que está segunda use o mesmo microprocessador. E o mesmo vale para placas com diferentes microprocessadores. É preciso compreender que um programa monitor é completamente dependente do hardware, microprocessador e propósito geral para o qual foi escrito.

No caso do nosso projeto COSMAC-ELF by Arne, o programa monitor garantirá ao usuário:

- Ler qualquer posição de memória ROM ou RAM;
- Escrever um byte em qualquer posição da memória RAM;
- Inserir um programa na memória RAM;
- Executar um programa inserido na memória RAM;
- Executar sub-rotinas de usuário inseridas na ROM.

Um outro detalhe importante é que neste tipo de microcomputador, também conhecido como SBC – Single Board Computer, quando falamos em entrada e saída de dados/endereços os mesmos serão sempre tratados no formato hexadecimal. Veremos isso mais a frente.

**Circuito das I/Os**

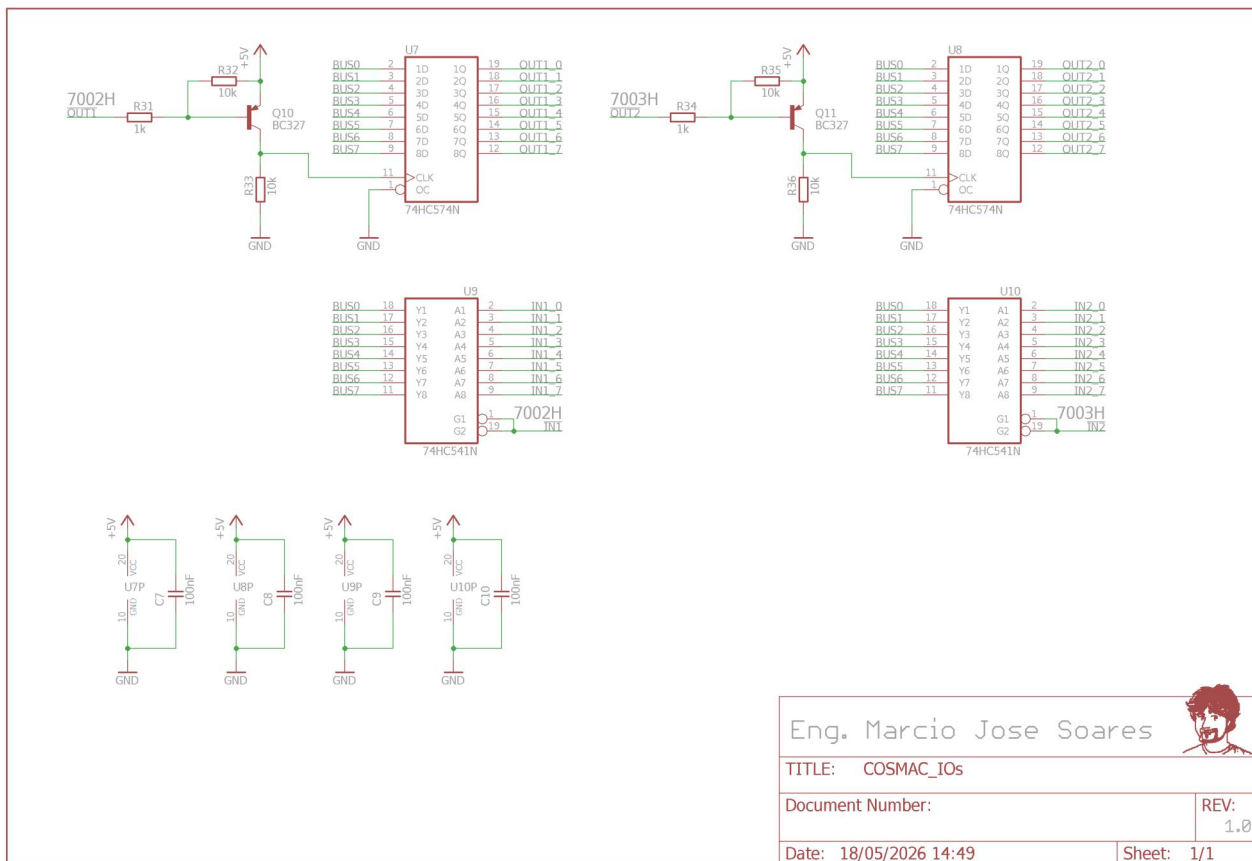


Figura 1 - Circuito das I/Os do COSMAC\_elf

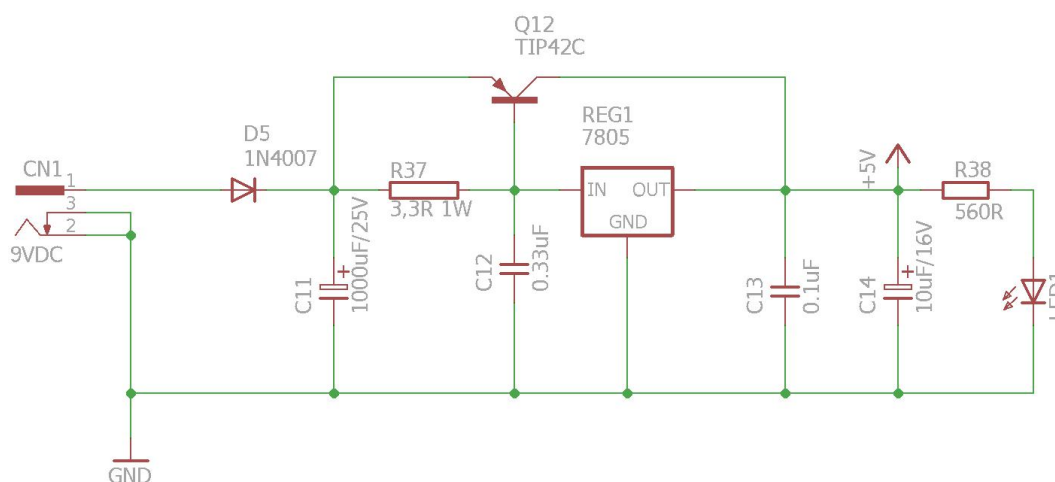
Na **figura 1** o leitor tem o diagrama elétrico das I/Os a serem montadas na placa de acessórios. U7 é um circuito integrado do tipo Octal D Lath com saída 3-state utilizado na transferência do byte presente no barramento de dados do COSMAC-elf para as saídas OUT1\_0 à OUT1\_7. Essa transferência ocorre quando Q10 é devidamente polarizado através de U1 pino 13 no circuito do teclado – edição nr 32, com endereço de saída 7002H. A mesma análise se aplica para U8, porém com o endereço 7003H (circuito do teclado, U1 pino 12).

Já os resistores R31, R32, R33 são utilizados na polarização de Q10, assim como R34, R35 e R36 na polarização de Q11.

O circuito integrado U9 é um Octal Buffer and Line Drive com saída 3-state que realiza uma transferência no sentido contrário, ou seja, das linhas IN1\_0 à IN1\_7 para o barramento de dados do COSMAC-ELF através do endereço de leitura 7002H habilitado por U2 pino 13 no circuito do teclado. Aqui a mesma análise deve ser aplicada para U10, porém com o endereço 7003H (pino 12 de U2 no circuito do teclado).

Os capacitores C7 à C10 servem para o desacoplamento dos circuitos integrados U7 à U10, respectivamente.

### Circuito da fonte




Eng. Marcio Jose Soares		
TITLE: COSMA_FONTE		
Document Number:		REV: 1.0
Date: 19/05/2026 14:37	Sheet: 1/1	

Figura 2 - Circuito da Fonte para o COSMAC-ELF.

A **figura 2** apresenta o diagrama para uma fonte “linear” com um “Booster de Corrente”. O regulador REG1 é o controle de tensão e regula a saída da fonte em 5VDC. O transistor Q12 fará o controle da corrente mais pesada e analisando o circuito vemos que a corrente sobre o regulador 7805 será:

$$I_{7805\_atuacao} = V_{BE} / R$$

$$I_{7805\_atuacao} = 0,7 / 3,3 = 0,212A \text{ ou } 212mA$$

Desta forma o leitor percebe que até uma corrente de 212mA o 7805 estará “sozinho” no fornecimento da corrente ao circuito, que é um valor dentro da faixa do regulador. Somente a partir de correntes mais altas é que teremos o transistor “atuando”. Vamos estipular uma corrente de consumo máxima de 1000mA para auxiliar nos cálculos:

$$I_C = I_{Total \ circuito} - I_{7805 \ atuacao}$$

$$I_C = 1000 \times 10^{-3} - 212 \times 10^{-3}$$

$$I_C = 788 \times 10^{-3} A \text{ ou } 788mA$$

Como a tensão de entrada é de 9VDC a potência dissipada no 7805 pode ser calculada da seguinte maneira:

$$V_{Drop} = V_{IN} - V_{Reg} \Rightarrow V_{Drop} = 9 - 5 = 4V$$

$$P_{7805} = V_{Drop} \times I_{7805 \ atuacao}$$

$$P_{7805} = 4 \times 212 \times 10^{-3}$$

$$P_{7805} = 0,848W \text{ ou } \simeq 0,9W$$

Dissipando essa potência e considerando uma operação de longos períodos um pequeno dissipador de alumínio tipo TO-220 é mais que suficiente para que o regulador trabalhe praticamente na temperatura ambiente.

Para o transistor também podemos calcular sua dissipação, considerando a corrente máxima de 1A, usando os cálculos a seguir (considerando que  $V_{Drop} = V_{CE}$ ).

$$P_{\text{Transistor}} = V_{CE} \times I_C$$

$$P_{\text{Transistor}} = 4 \times 788 \times 10^{-3}$$

$$P_{\text{Transistor}} = 3,152W \text{ ou } \simeq 3,2W$$

Note que o transistor dissipa uma potência que pode facilmente levá-lo a ruptura caso o mesmo opere sem um dissipador de calor. Aqui é recomendável um dissipador de calor TO-220 de alumínio tipo “U” com aletas com pelo menos 25x15x15mm (C x L x AL) de área, ideal 38x15x25mm (C x L x AL). Isso permitirá que o mesmo trabalhe de maneira segura com a corrente máxima de 1A.

O resistor R37 também pode ter sua potência dissipada calculada conforme a seguir:

$$P_{R37} = V_{BE} \times I_{7805 \text{ atuação}}$$

$$P_{R37} = 0,7 \times 0,212 = 148,4 \times 10^{-3} W \text{ ou } \simeq 150mW$$

Note que a potência aqui ficou abaixo dos 250mW ou 1/4 de Watt, mas não é recomendável o uso deste tipo de resistor para R37. Isso porque é preciso aplicar uma regra de segurança que nos diz que um resistor nunca deve trabalhar continuamente entre 50% à 70% da sua potência nominal. E conforme demonstrado, um resistor de 1/4W iria operar a 60% da sua capacidade máxima. O recomendável aqui então é um resistor com 1W de dissipação, assim ele operará a apenas 15% de sua capacidade máxima.

O diodo D5 serve de proteção ao circuito. O capacitor C11 atua como filtro principal e pode ter seu valor elevado até 2200uF sem maiores problemas (mantendo a mesma tensão de trabalho solicitada no circuito). Já C12 e C13 são capacitores de estabilização/filtros recomendados no manual do fabricante do regulador. C14 também é um outro capacitor de filtro, agora para a saída de 5VDC. O LED1 juntamente com seu resistor limitador de corrente R38 informam “fonte ligada”.

**Obs.:**

C = comprimento;

L = largura;

AL = altura das aletas.

## Montagem

### Contatos:

- Página Web – <http://www.arnrobotics.com.br>
- Instagram - <https://www.instagram.com/arnesake/>
- YouTube - <https://www.youtube.com/c/arnesake>
- Thingiverse - <https://www.thingiverse.com/arnesake/designs>

### Montagem

A montagem deve seguir o mesmo padrão adotado pelo leitor nas edições anteriores. Aqui, como feito anteriormente, é recomendável o uso de soquetes para todos os CI's. As saídas OUTX\_0 à OUTX\_7 e entradas INY\_0 à INY\_7 podem ser montadas com barra de pinos ou ainda conectores do tipo KRE (**figura 3**) com 8 segmentos cada (4 x 2 segmentos). É recomendável a montagem de pelo menos 3 ou 4 pontos para 5VDC e outros 3 ou 4 pontos para GND. Isso garantirá a conexão das suas entradas/saídas à placas externas (GND comum) e ainda o fornecimento da alimentação a circuitos experimentais conectados ao COSMAC.

Cuidado ao montar os componentes polarizados como os capacitores

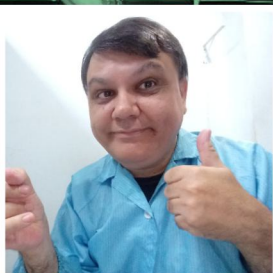


Figura 3 - Conector tipo KRE.

# ELETRÔNICA NA PRÁTICA

## Kit de Componentes do Curso Eletrônica na Prática

# + DE 195 COMPONENTES



Luis Carlos Burgos  
[youtube.com/@Burgoseletronica05](https://www.youtube.com/@Burgoseletronica05)

Compre  
já o seu



COMPONENTES PARA O CURSO  
**ELETRÔNICA NA PRÁTICA**

- Kit com mais de 195 componentes
- Acompanha caixa organizadora
- Consegue fazer 16 projetos do curso

Prof. Luis Carlos Burgos

Curso vendido separadamente com desconto de 60%

**BURGOSELETRONICA**



eletrolíticos, os transistores, diodos, LEDs e também os soquetes para os CIs. O resistor R37 deve ter 1W de potência no mínimo.

A entrada da fonte deve ser feita através de um conector P4 fêmea 90° para PCI. Isso facilitará o uso de uma fonte externa 9VDC/1A do tipo comercial, facilmente encontrada no mercado especializado.

Após a montagem verifique tudo quantas vezes forem necessárias. Não tenha pressa. Lembre-se que alguns componentes como a própria CPU são “raros” e sua perda pode significar dias de espera por novos componentes e mais dinheiro investido.

### Programa monitor

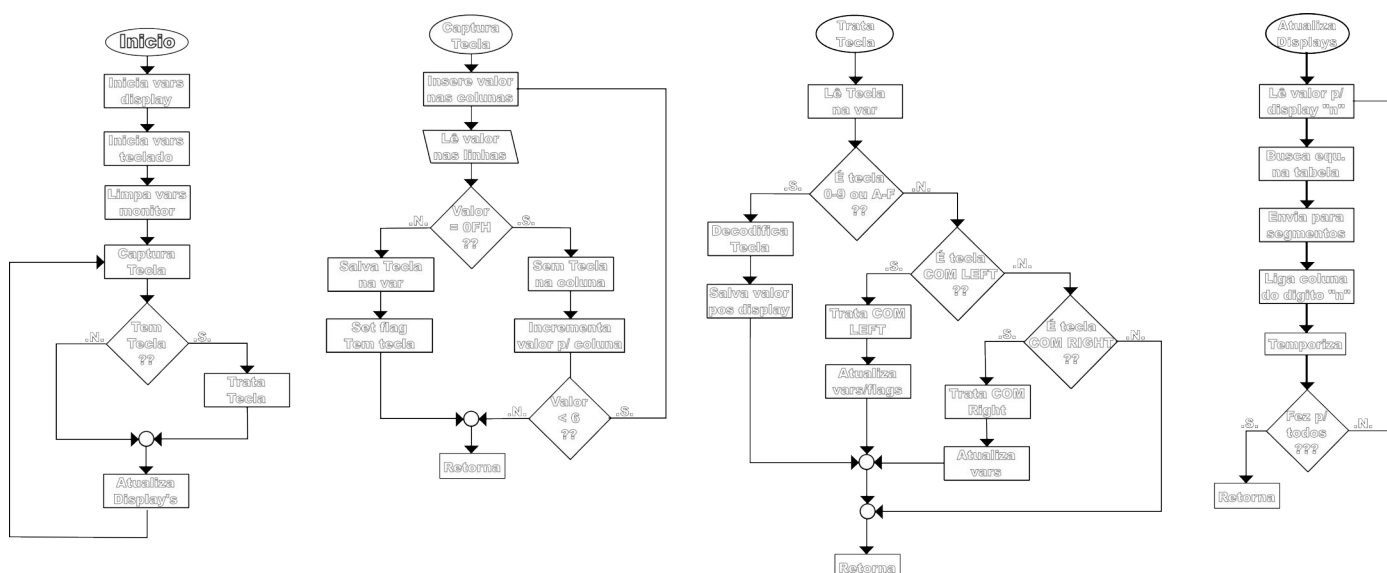


Figura 4 - Fluxograma do programa monitor.

A **figura 4** mostra o fluxograma simplificado do programa monitor. Sua operação é muito simples. Após configurar algumas variáveis importantes, o programa inicia um laço eterno em busca de uma tecla, sua decodificação e da atualização do display com endereço e dado.

**Obs.:**

A listagem do programa não será inserida nas páginas da revista já que a mesma possui mais de 1450 linhas de código. Porém o leitor poderá fazer o download do pacote contendo o programa através do site oficial do autor (link presente neste artigo) e também poderá ver o mesmo clicando ao lado.



### Teste e uso do COSMAC

Após uma verificação minuciosa, alimente o circuito. Nos display's 1, 2, 3 e 4 deverá aparecer o endereço 8000H (início da RAM) e nos display's 5 e 6 um byte qualquer que neste primeiro momento não tem a menor importância (chamamos o valor inicial presente em uma memória tipo RAM, ao ser ligada, de "indeterminado"). O LED conectado à saída "Q" piscará a cada varredura indicando o funcionamento do sistema. Ao pressionar qualquer tecla o leitor também poderá ver o valor binário da decodificação da mesma nos LEDs ligados à porta 7000H.

Ao pressionar a tecla UP (seta para cima) o endereço avançará para 8001H e um outro valor surgirá na parte dos dados. Pressione DOWN (seta para baixo) para voltar a 8000H. Também é possível "descer" ainda mais usando "DOWN" entrando na ROM do COSMAC, sem nenhum problema.

A tecla ADDR permite entrar com um endereço qualquer. Ao pressioná-la, os displays 1, 2, 3 e 4 mostraram "traços" confirmando que você entrou no modo edição do endereço. Cada valor de 0 a 9 e/ou de A a F será inserido nos displays da esquerda para direita. Se você errar ou a tecla se repetir, não tem problema, basta pressionar novamente ADDR para voltar ao início. Após inserir o endereço desejado, tecler ENTER. Experimente qualquer um entre 0000H e FFFFH. Sempre que você troca de endereço o valor presente na referida posição de memória é colocado nos displays 5 e 6.

Entre os endereços 8000H e FFFFH a tecla DATA permite editar/inserir um byte na posição de memória apontada pelo endereço. Funciona da mesma forma. Pressione DATA e os displays 5 e 6 mostrarão traços indicando que você entrou no modo edição. Ao teclar ENTER, o valor digitado será inserido na posição de memória apontada pelos displays 1 a 4. Experimente!

Já para as posições 0000H e 7FFFH só é possível ver o dado, nunca editá-lo (esse trecho pertence a ROM).

A tecla GO permite executar um programa do usuário presente no endereço apontado pelos displays 1 a 4. O programa monitor carrega o endereço no Program Counter (P) do microprocessador e em seguida faz o desvio do fluxo de processamento para a posição de memória.

Isso facilita muito a execução de qualquer programa válido que o usuário venha a colocar na ROM também, por exemplo. Dessa forma rotinas mais complexas podem ser executadas sem a necessidade de serem digitadas a todo momento. Alguns exemplos seriam:

- Carga de programas em RAM através de outros meios/portas (paralela, serial, etc);
- Envio dos bytes presente na RAM para outras portas (paralela, serial, etc);
- Programas diversos para testes e outros;

**Obs.:**

*Só é possível inserir um programa na ROM usando um gravador de EPROM. O programa monitor precisa ser compilado em conjunto com as rotinas desejadas e seus endereços anotados para que estes possam ser executados! O uso correto da diretriz ORG# aqui é fundamental!*

A tecla SHIFT por enquanto não tem função nesta versão do programa monitor, mas poderá ser utilizada para execução de outras funções/comandos que o leitor desejar.

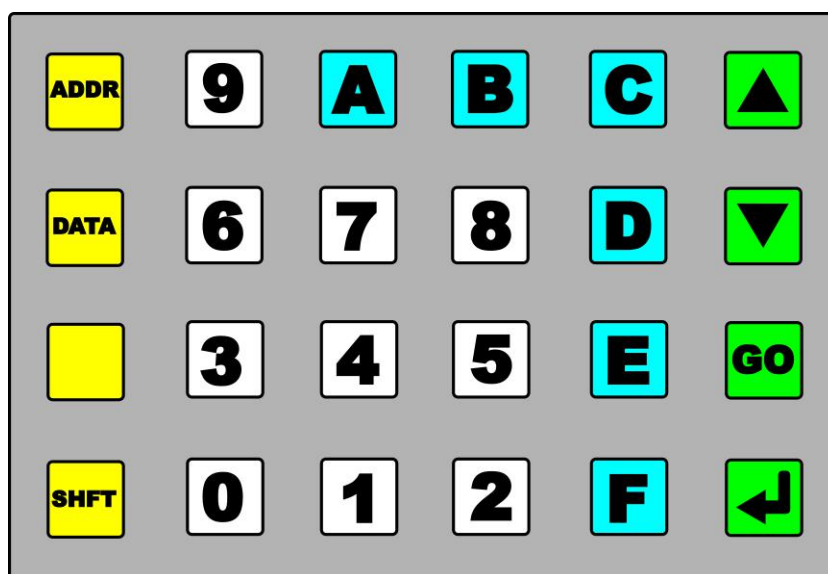


Figura 5 - Silk para teclado do COSMAC.

Para ajudar um pouco mais na digitação, o autor criou um “silk” para o teclado que facilita compreender melhor onde cada tecla está. Veja a **figura 5**.

### Programa de testes

Em listagem 1 apresentamos um pequeno programa que o usuário poderá utilizar em seu primeiro teste. Ele fará o LED conectado ao pino “Q” do microprocessador piscar a uma frequência aproximada de 2Hz

e também apresentará um efeito sequencial na porta 7000H (LED1 à LED8). A listagem tem a frente o endereço e uma sequência de bytes.

### Obs.:

É importante o leitor compreender que o programa a ser digitado precisa estar no formato Hexadecimal e para isso será necessário usar o arquivo com extensão ".lst" resultante da compilação do seu programa de usuário. O compilador literalmente traduz as instruções assembly com operador e operando para o que chamamos de OPCODE's (códigos de operação ou código de máquina).

### Listagem 1 – Programa para teste

8000	F8 70 B4 F8	INIT: LOAD	R4,SLED	; R4 aponta p/ endereço 7000H
8004	00 A4			
8006	F8 01	LDI	01H	; carga de D com 1
8008	B3	PHI	R3	; carrega R3
8009	54	STR	R4	; envia para end apontado por R4
800A	F8 49	START:LDI	49H	; carga imediata de 73 em D
800C	B2	PHI	R2	; colca D no MSB de R2
800D	22	LOOP: DEC	R2	; decrementa R2
800E	92	GHI	R2	; colaca em D a parte MSB de R2
800F	3A 0D	BNZ	LOOP	; desvia se não for zero
8011	CD	LSQ		; se Q = 1 pula 2 instruções
8012	7B	SEQ		; liga Q
8013	38	SKP		; pula a próxima instrução
8014	7A	REQ		; desliga Q
8015	93	LEDs: GHI	R3	; carrega D com R5
8016	FE	SHL		; shift left
8017	3A 1B	BNZ	CONT	; se não é zero desvia
8019	F8 01	LDI	01H	; se sim, recarrega com 1
801B	B3	CONT: PHI	R3	; carrega em R3
801C	54	STR	R4	; envia para end apontado por R4
801D	30 0A	RET2: BR	START	;
801F	00	IDL		; break se chegar aqui

Note que a primeira coluna contém o endereço a ser utilizado e a segunda coluna os bytes a serem inseridos no endereço. Perceba também que em alguns casos temos mais de um byte. Neste caso o primeiro byte vai no endereço apontado na primeira coluna, e os próximos bytes devem ser colocados nos endereços seguintes (+1) e assim sucessivamente. A listagem também apresenta as instruções em Assembly e os comentários sobre o funcionamento do programa.

O leitor mais atento deve ter percebido que o programa da listagem 1 é o mesmo sugerido para os testes da placa CPU COSMAC apresentada na edição nr 31. A diferença entre eles está no uso da diretriz ORG #XXXX presente no início de ambos os programas. Aqui foi usado ORG #8000H. Desta forma o compilador passa a considerar esse endereço como base e todo e qualquer desvio leva isso em conta.

## **Conclusão**

Finalizamos nesta edição nossa saga COSMAC-ELF. Esperamos que o leitor tenha gostado de acompanhar essa série de artigos onde demonstramos um pouco a respeito de como foram desenvolvidos os primeiros circuitos microprocessados nas décadas de 1970 e 1980. Acreditamos que agora o leitor tem uma noção maior sobre as dificuldades enfrentadas pelos pioneiros da eletrônica digital no passado. O autor promete em breve trazer novidades sobre o projeto! Fique atento! Acompanhe seu canal no YouTube e também nossas próximas edições! Boa montagem e até a próxima!

## **Lista de materiais**

### Semicondutores

U7, U8 – 74HC574N - Octal D Lath com saída 3-state

U9, U10 – 74HC541 - Octal Buffer and Line Drive com saída 3-state

D5 – 1N4007 – diodo retificador 1A

REG1 – 7805 – regulador 5VDC/1A TO-220

Q10, Q11 – BC327 – transistor PNP de uso geral

Q12 – TIP42 – transistor PNP de potência

LED1 – LED comum difuso redondo 5mm

### Resistores (1/8W – 5%, salvo indicação contrária)

R31 – 1k (marrom, preto, vermelho)

R32, R33 – 10k (marrom, preto, laranja)

R34 – 1k (marrom, preto, vermelho)

R35, R36 – 10k (marrom, preto, laranja)

R37 – 3R3/1W – (laranja, laranja, dourado) (veja texto)

R38 – 560R (verde, azul, marrom)

### Capacitores

C7, C8 – 100nF – capacitor cerâmico

C9, C10 – 100nF – capacitor cerâmico

C11 – 1000uF/25V – eletrolítico (veja texto)

C12 – 0.33uF/63V – poliéster

C13 – 0.1uF/63V – poliéster

C14 – 10uF/16V – eletrolíticos

### Diversos

CN1 – plug/conector P4 fêmea 90° PCI

4 – suportes para CI c/ 20 pinos

1 – dissipador de calor TO-220 para REG1 (veja texto)

1 – dissipador de calor TO-220 para Q12 (veja texto)

1 – barra de pinos com 40 pinos ou conectores tipo KRE (veja texto)

Solda, fio wire wrapping, etc

**Referências bibliográficas**

STMICROELECTRONICS. **TIP41C, TIP42C: Low voltage complementary power transistors.** Genebra: STMicroelectronics, 2025. Datasheet técnico. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tip41c.pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators.** Dallas: Texas Instruments, 2000. Reviso em set. 2016. Datasheet técnico. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

TEXAS INSTRUMENTS. **SN54HC574, SN74HC574 octal edge-triggered D-type flip-flops with 3-state outputs.** Dallas, Dez. 1982. Revisado em Mai. 2022. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc574.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

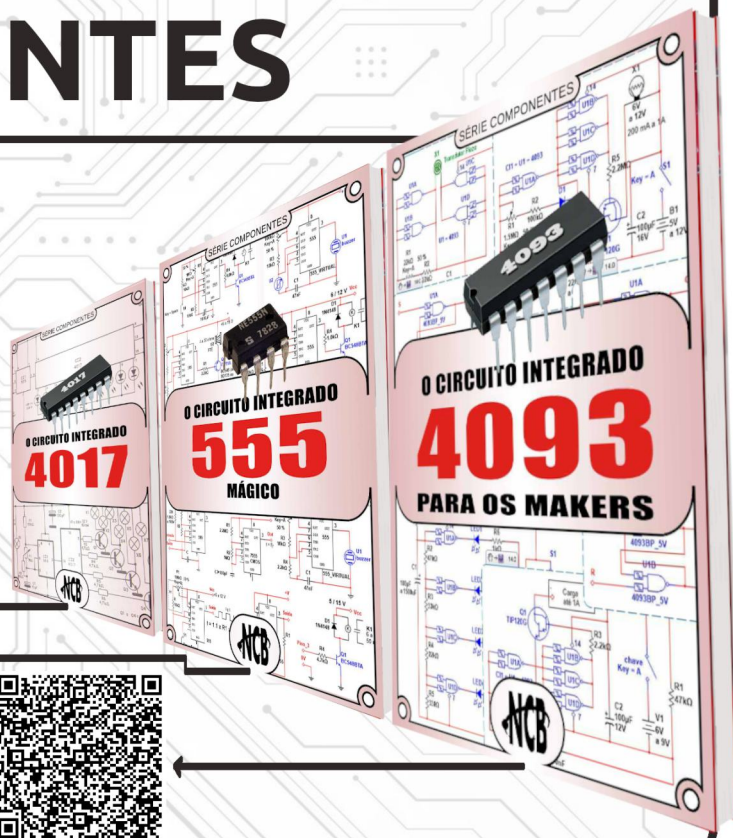
TEXAS INSTRUMENTS. **SNx4HC541 octal buffers and line drivers with 3-state outputs.** Dallas, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc541.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SÉRIE DE LIVROS

# COMPONENTES

Conheça o funcionamento e os principais circuitos onde os componentes mais utilizados do mercado são aplicados.

No formato e-Book e Impresso



# KIT DE MICROCONTROLADOR HOLTEK

- ✓ Alimentação de 7 à 15V
- ✓ Display de 7 segmentos
- ✓ Conversor USB serial



- ✓ Alimentação de 7 à 15V
- ✓ Display de 7 segmentos
- ✓ Conversor USB serial
- ✓ Conector para módulo micro Holtek HT66F0185
- ✓ Portas de expansão
- ✓ Oito Leds de alto brilho
- ✓ Um buzzer ativo de 5V
- ✓ Um display Oled com SSD1307
- ✓ Quatro chaves de pressão
- ✓ Regulador interno de 5V e outro de 3,3V

📍 Rua Ezequiel Freire 192, Sala 503. São Paulo - SP



11 98647-0924



[www.qsptec.com.br](http://www.qsptec.com.br)



suficiente para funcionarem não somente como dispositivos em campo dotados de conectividade, mas também como pequenos servidores. A capacidade de hospedar uma interface de usuário baseada em página web diretamente no ESP32 flexibiliza e barateia ações como provisionamento de dispositivos em campo e uso dos mesmos, uma vez que tudo isso pode ser feito via navegador, de um computador, smartphone ou tablet qualquer.

Este artigo descreve o processo técnico de configuração, estruturação e execução de um servidor web no ESP32 WROOM-32, detalhando desde as capacidades de rede do hardware até a implementação prática de uma página acessível via rede local.

### **Wi-Fi no ESP32**

O ESP32 possui, de forma nativa (ou seja, sem precisar de hardware adicional), conectividade Wi-Fi (2.4GHz). Isso significa que ele pode facilmente ser integrado em rede, seja em ambientes residenciais, comerciais ou industriais.

Além disso, uma característica que chama a atenção no Wi-Fi do ESP32 é a sua versatilidade em relação aos modos de operação, que pode ser configurada de três formas principais de acordo com a necessidade do projeto:

- **Modo Station (STA):** permite que o ESP32 se conecte a um ponto de acesso existente, como um roteador residencial, integrando-se à rede local e obtendo um endereço IP via DHCP ou IP estático. Este modo é frequentemente usado quando o dispositivo feito com ESP32 precisa se comunicar com servidores em nuvem ou ser acessado por outros dispositivos dentro da mesma infraestrutura de rede.
- **Modo Access Point (AP):** aqui, o ESP32 funciona como um roteador, criando uma rede Wi-Fi na qual outros dispositivos (como smartphones e computadores) possam se conectar ao ESP32 de forma sem fios via Wi-Fi. Neste modo, o ESP32 define seu próprio SSID e senha da rede Wi-Fi criada, estabelecendo uma rede local privada que não depende de roteadores externos.

- **Modo AP+STA:** modo que junta os modos AP e STA mostrados anteriormente. Ele permite que o ESP32 mantenha uma conexão com uma rede externa (provida por um roteador Wi-Fi) enquanto provê uma rede Wi-Fi própria. Este modo é especialmente útil quando se deseja um canal único e dedicado para configuração do dispositivo que porta o ESP32 (AP), enquanto o ESP32 comunica-se com serviços externos via Internet ou rede local (STA).

### **Webserver no ESP32**

Além de possuir Wi-Fi, ainda é possível embarcar nele um pequeno (e limitado) webserver, capaz de fornecer / servir páginas web e tratar as respostas / ações do usuário nelas. Em outras palavras, o ESP32 pode funcionar como um pequeno e portátil servidor web suficientemente poderoso para servir como IHM (Interface Homem-Máquina) ou permitir o provisionamento e configuração de um produto que usa ESP32 como SoC.

A execução de um servidor web dentro do ESP32 WROOM-32 é viabilizada por bibliotecas que implementam o protocolo HTTP. Este servidor atua como um serviço que aguarda requisições em uma porta específica (usualmente, na porta 80), e responde enviando os dados solicitados ao cliente, que tipicamente é um navegador web rodando em um computador, smartphone ou tablet comuns. É importante ressaltar que as capacidades de um webserver embarcado no ESP32, embora sejam suficientes para IHM, provisionamento e configurações de forma sem fios, se restringem a hospedagem de páginas estáticas e a geração de conteúdo dinâmico baseado no estado atual dos pinos de entrada e saída ou nos valores lidos de sensores periféricos. Ou seja, não é destinado para aplicações de soluções web complexas que envolvam frameworks pesados ou multimídia.

As principais aplicações para webserver embarcados em um ESP32 envolvem:

- A criação de painéis (dashboards) de status para monitoramento de telemetria, onde é possível visualizar em tempo real o funcionamento de máquinas e processos.

- Implementação de portais de configuração, onde o usuário pode alterar parâmetros de funcionamento do equipamento, como nomes de rede, chaves de segurança ou limites de operação, sem a necessidade de conexão física via cabo. Aqui, tudo é feito de forma sem fio, de um computador, smartphone ou tablet comuns.

- Interface IHM: permite o controle direto de dispositivos que fazem uso de ESP32 (atuadores, como o acionamento de relés ou o ajuste de intensidade luminosa via PWM, por exemplo) através de elementos gráficos como botões e barras de rolagem, tudo via navegador.

Outro ponto interessante é que o funcionamento deste webserver embarcado é estruturado através de handlers. Handlers são funções de retorno (callbacks) associadas a caminhos específicos da URL (rotas). Ou seja, quando o servidor recebe uma requisição para um caminho determinado (um formulário dentro de uma página, por exemplo), ele invoca o handler correspondente para processar o evento e enviar a resposta adequada. Essa abordagem é muito interessante, pois permite o tratamento individualizado de cada evento gerados por páginas embarcadas, permitindo ações específicas no programa do ESP32 (tais como acender LEDs ou comandar PWM) quando o usuário preenche um formulário ou aperta um botão na página embarcada, por exemplo.

### **Embarcando uma página no ESP32**

Há basicamente duas formas de armazenar uma página no ESP32 para ser servida no webserver embarcado:

1. Armazenamento da(s) página(s) em array(s) de tipo char, fixo na flash (ou seja, usando const).
2. Fazer upload da página (e demais arquivos necessários para página, como CSS e JS) para uma partição do tipo SPIFFS.

Neste artigo, para fins de didática e maior foco no assunto principal, será adotada a forma número 1.

Na forma número 1, define-se uma variável global do tipo const char\* contendo o código HTML da página desejada (ou páginas, já que é possível servir múltiplas páginas), o desenvolvedor cria uma representação estática da interface que pode ser enviada diretamente pelo webserver através da função de resposta. Essa maneira é ideal

para páginas simples ( = que não precisam de arquivos adicionais, como CSS, por exemplo) e garante alta velocidade de carregamento, visto que os dados já estão em um formato pronto para o envio imediato via HTTP. Além disso, essa maneira simplifica a distribuição do firmware, pois todo o conteúdo necessário para o funcionamento da interface web está contido em um único arquivo binário resultante da compilação.

Como exemplo de página embarcada no ESP32 na forma de um array do tipo char (com const), temos:

```
const char HTML_PAGINA[] PROGMEM = R"rawliteral(
    <!DOCTYPE html>
    <html lang="pt-br">
    <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport"
content="width=device-width, initial-scale=1.0">
    <title>ESP32 Interface Local</title>
    <style>
body {font-family: Arial, sans-serif; text-align: center; margin-top: 50px; background-color: #f4f4f9; }
    h1 { color: #333; }
    .container { border: 1px solid #ccc; padding: 20px;
display:inline-block; border-radius: 10px; background-color: #fff; }
    .status { color: green; font-weight: bold; }
</style>
</head>
<body>
<div class="container">
<h1>Servidor Web ESP32</h1>
<p>Status do Sistema:
<span class="status">Online</span></p>
<p>Esta página está sendo servida diretamente da memória flash do ESP32 WROOM-32.</p>
</div>
</body>
</html>
)rawliteral";
```

### Material necessário

Para a realização do exemplo prático que demonstra e valida os conceitos apresentados neste artigo, é necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Um módulo (kit de desenvolvimento) com ESP32 WROOM-32, facilmente encontrado no mercado nacional.

- Para a alimentação e programação do ESP32 WROOM-32, deve ser utilizado um cabo micro-USB, também facilmente encontrado no mercado nacional.

Além destes itens de hardware, é necessário também que exista, no local que for implementar este exemplo prático, uma rede Wi-Fi na qual o ESP32 e um computador, tablet ou smartphone possam acessar. O ESP32 e o computador, smartphone ou um tablet devem estar conectados à mesma rede Wi-Fi para que a comunicação local seja estabelecida.

## **O exemplo prático deste artigo é desenvolvido com Arduino IDE.**

### Exemplo prático

O código-fonte do exemplo prático pode ser visto a seguir.

### Observações:

1. Leia atentamente os comentários contidos no código, de forma que possa ter total compreensão do mesmo.
2. Não se esqueça de substituir `NOME_DA_SUA_REDE` e `SUA_SENHA_AQUI` pelo SSID e Senha da sua rede Wi-Fi, respectivamente.

```
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
// Definição das credenciais da rede Wi-Fi local
const char* ssid = "NOME_DA_SUA_REDE";
const char* password = "SUA_SENHA_AQUI";
// Instância do servidor web na porta padrão 80
WebServer server(80);
// Conteúdo HTML da página armazenado como constante na memória Flash
const char HTML_PAGINA[] PROGMEM = R"rawliteral(
<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-br">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<title>ESP32 Interface Local</title>
<style>
body { font-family: Arial, sans-serif; text-align: center; margin-top: 50px; background-color: #f4f4f9; }
h1 { color: #333; }
```

```
.container { border: 1px solid #ccc; padding: 20px; display: inline-block; border-radius: 10px;
background-color: #fff; }
.status { color: green; font-weight: bold; }
</style>
</head>
<body>
<div class="container">
<h1>Servidor Web ESP32</h1>
<p>Status do Sistema: <span class="status">Online</span></p>
<p>Esta página está sendo servida diretamente da memória flash do ESP32 WROOM-32.</p>
</div>
</body>
</html>
)rawliteral";
// Handler para a rota raiz (/)
void handleRoot() {
Serial.println("Requisição recebida na rota raiz.");
server.send(200, "text/html", HTML_PAGINA);
}
// Handler para rotas não encontradas (404)
void handleNotFound() {
String message = "Recurso não encontrado\n\n";
message += "URI: ";
message += server.uri();
server.send(404, "text/plain", message);
}
void setup() {
// Inicialização da comunicação serial para depuração
Serial.begin(115200);
delay(1000);
Serial.println("\n--- Iniciando Sistema de Webserver ESP32 ---");
Serial.print("Conectando-se à rede: ");
Serial.println(ssid);
// Início do processo de conexão Wi-Fi no modo Station
WiFi.begin(ssid, password);
// Aguarda a conexão ser estabelecida
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
delay(500);
Serial.print(".");
}
// Informações de diagnóstico após conexão bem-sucedida
Serial.println("\nConexão estabelecida com sucesso.");
Serial.print("Endereço IP obtido: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.println("Use o IP acima no seu navegador para acessar a página.");
// Configuração das rotas e handlers do servidor
```

```
server.on("/", handleRoot);
server.onNotFound(handleNotFound);
// Início do servidor HTTP
server.begin();
Serial.println("Servidor HTTP iniciado e aguardando requisições.");
}
void loop() {
// Processamento das requisições HTTP
// Esta função deve ser chamada continuamente no loop() para manter o servidor ativo
server.handleClient();
}
```

Para testar, basta acessar o IP que o ESP32 obteve na rede (informado no Serial Monitor, no meu caso foi 192.168.68.120) via navegador, a partir de um computador, tablet ou smartphone. O resultado deve ser a página web mostrada na **figura 1**.



Figura 1 - Página web hospedada e servida de um ESP32, que contém um webserver embarcado nele.

### Conclusão

A implementação de pequenos webserver em ESP32 é algo muito interessante no desenvolvimento de sistemas modernos e integrados, pois proporciona uma forma fácil, sem fios e simples de interação com produtos e projetos em campo, seja para provisionar e configurar os mesmos, ou para uso efetivo de tais produtos e projetos.

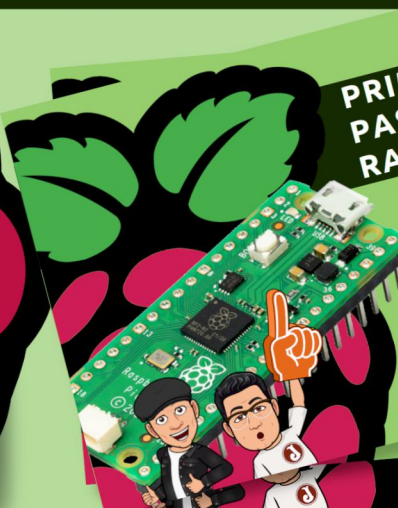
Ao compreender a arquitetura de handlers oferecida pelo webserver embarcado no ESP32, o desenvolvedor é capaz de criar soluções que são simultaneamente estáveis e acessíveis a partir de qualquer navegador na rede local. A utilização da memória flash para o armazenamento de páginas web (HTML) é um uso simples e inteligente dos recursos de hardware, permitindo que tanto a aplicação quanto páginas sejam compreendidos num só binário, o que facilita o uso, manutenção e expansão do software embarcado.

ACOMPANHE A NOSSA SÉRIE NO YOUTUBE

## PRIMEIROS PASSOS COM A RASPBERRY PI PICO

PRIMEIROS PASSOS COM A RASPBERRY PI PICO 2

Conectando a Pi Pico 2W na rede WiFi



#01

# MANUAL DE MECATRÔNICA

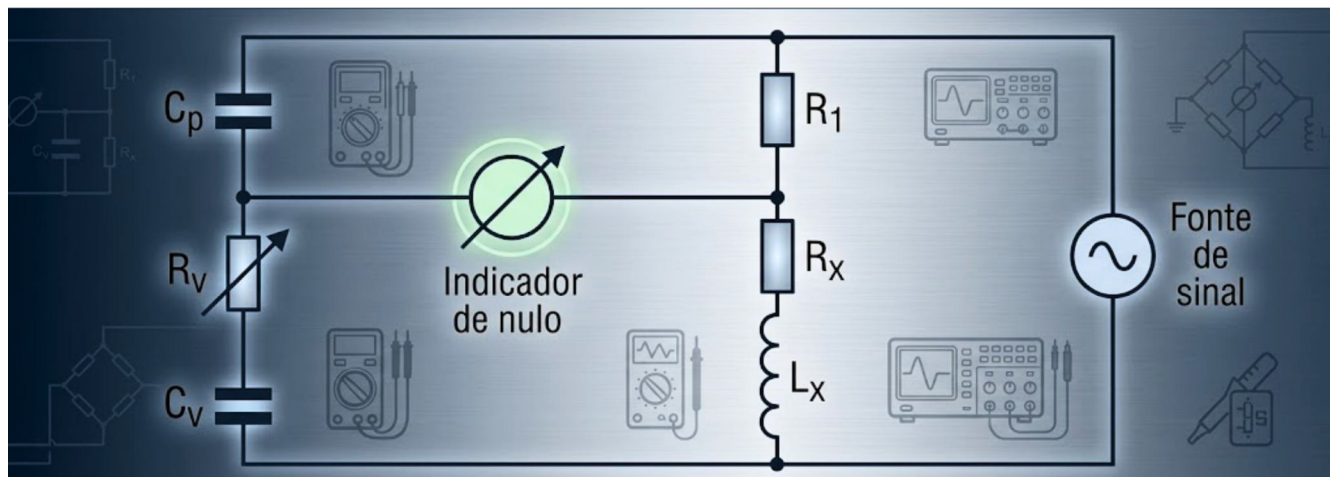
Reunimos neste livro uma enorme quantidade de informações, fórmulas e tabelas para ajudar àqueles que elaboram projetos, fazem instalações ou reparos em máquinas, circuitos, automatismos e muito mais. O autor apresenta de forma didática as ciências por trás de cada uma das áreas que envolvem a Mecatrônica.

Uma obra onde o autor nos leva passo a passo do conceito à montagem de protótipos simples utilizados no ensino da Mecatrônica.

IMPRESSO  
OU E-BOOK

+INFORMAÇÕES





# Conheça as Pontes de Medidas

Newton C. Braga

As pontes de medida consistem num recurso importante que o profissional da eletrônica conta para a determinação de diversas grandezas no laboratório ou bancada de desenvolvimento de projetos. Se bem que possamos contar com instrumentos precisos para a medida de resistências, indutâncias, capacitâncias e frequências, existem casos em que as propriedades das pontes tornam-nas mais apropriadas para um trabalho. Neste artigo falaremos de algumas das principais pontes de medida.

A maioria dos nossos leitores conhece a ponte de Wheatstone, usada na medida de resistências e que serve de ponto de partida para muitos estudos de laboratório de instrumentação. No entanto, para esta mesma maioria, existem muitas outras pontes que são desconhecidas, mas cuja importância não é menor do que a própria Ponte de Wheatstone. É dessas pontes que vamos falar neste artigo.

## O que é uma ponte

Uma ponte nada mais é do que um circuito de medida que faz uso de uma fonte de sinal ou de tensão contínua e um detector de nulo que pode ser um fone de ouvido, um indicador de bobina móvel ou qualquer outro conforme o tipo de aplicação exija, tudo isso conforme mostrado na **figura 1**.

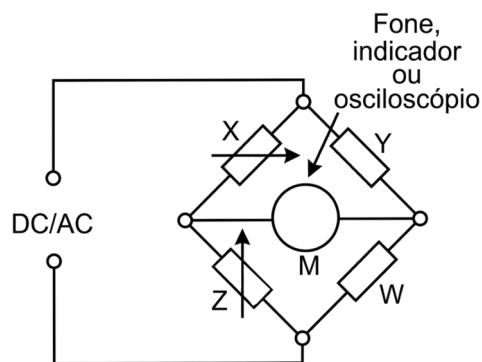
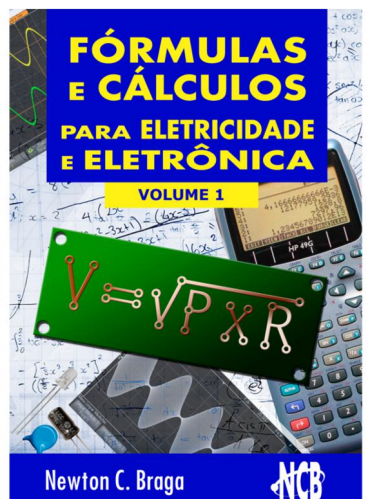


Figura 1 - Uma ponte de medida.

Quando os componentes desta ponte apresentam uma determinada relação de valores, não há sinal ou não circula corrente pelo detector de nulo. Diz-se, nestas condições, que a ponte se encontra em equilíbrio.

Se tivermos um componente de valor desconhecido, e tivermos um componente variável que compense seu valor, podemos sempre obter o equilíbrio da ponte ajustando o componente variável. Isso significa que podemos dotar o componente variável de uma escala



Mais de 160 livros sobre Eletrônica, Mecatrônica, Iot e muito mais.



de tal forma que nos permita determinar o valor do componente desconhecido, quando for alcançado o equilíbrio.

Conforme os componentes usados, o tipo de grandeza que vai ser medida as pontes recebem diversas denominações que passamos agora a analisar.

### **Ponte de Thomson**

Esta é uma ponte muito interessante destinada à medida de resistências muito baixas, menores que 1 ohm. Esta ponte recebe o nome de seu descobridor, que a desenvolveu em 1862, tendo o circuito básico mostrado na **figura 2**.

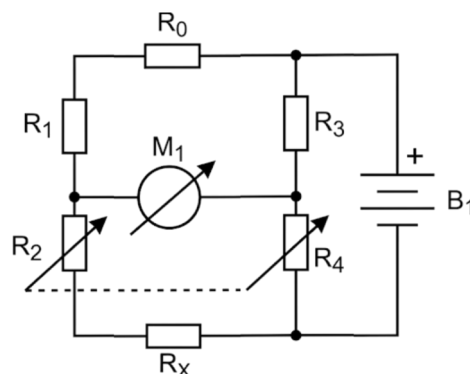


Figura 2 - Ponte de Thomson usada na medida de resistências muito baixas.

As resistências do circuito devem manter inicialmente as seguintes relações de valores:

$$\begin{aligned}R_1 &= R_3 \\R_2 &= R_4\end{aligned}$$

A resistência  $R_0$  é fixa e tem um valor que deve ser aproximadamente o valor da resistência que se espera medir ( $R_x$ ). As resistências  $R_2$  e  $R_4$  são conjugadas, ou seja, variam ao mesmo tempo por um eixo único.

Nestas condições o nulo da ponte será obtido quando as resistências do circuito satisfizerem a seguinte igualdade:

$$R_x = R_0(R_4/R_3)$$

A principal vantagem no uso deste tipo de ponte é que a influência da resistência dos fios que fazem a ligação a Rx pode ser eliminada, o que é importante quando se mede resistências muito baixas.

### Ponte de Sauty

A Ponte de Sauty tem seu circuito mostrado na **figura 3** e serve para a medida de capacitâncias.

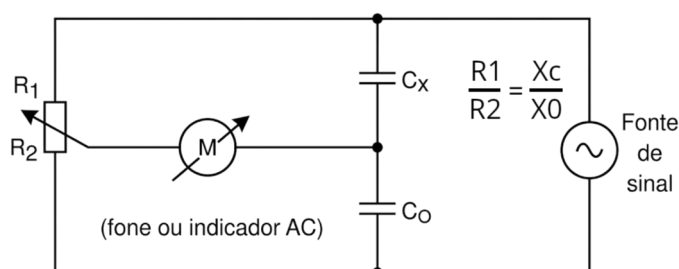


Figura 3 - Ponte de Sauty para a medida de capacitâncias.

O que se faz nesta ponte é trocar um dos resistores da ponte de Wheatstone por um capacitor e além disso aplica-se na alimentação um sinal de frequência de acordo com os capacitores a serem medidos. Desta forma, as reatâncias capacitivas do capacitor a ser medido e de um capacitor de referência é que são usadas no equilíbrio da ponte.

Chamando-se de  $X_c$  a reatância do capacitor a ser medido e de  $X_o$  a reatância do capacitor de referência, o equilíbrio da ponte vai ser conseguido quando a seguinte relação de valores entre todos os elementos da ponte for satisfeita:

$$R_1/R_2 = X_c/X_o$$

Trabalhando-se com um fone de ouvido de alta impedância e com sinais na faixa de 1 kHz a 5 kHz a detecção de nulo deve ser feita no ponto em que o som desaparecer. Para capacitâncias muito pequenas pode-se usar sinais de frequências mais altas e como detector de nulo um osciloscópio.

Um problema que pode ocorrer neste tipo de ponte vem do fato de o capacitor medido pode não apresentar uma capacitância pura. Lembramos que um capacitor real tem uma certa resistência parasita em série a ser considerada.

Um resistor variável pode ser agregado em série com o capacitor de referência também para compensar essa resistência parasita caso em que o equilíbrio, ao ser conseguido, leva tanto a determinação da capacitância  $C_x$  como a resistência parasita ligada em série, conforme mostra a **figura 4**.

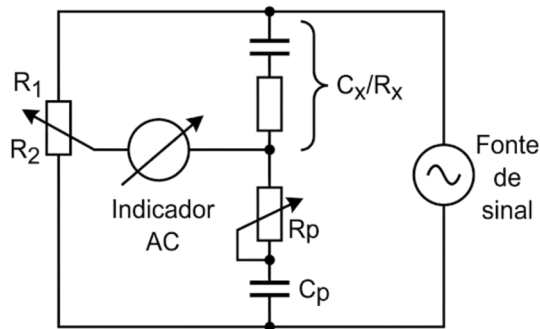


Figura 4 - Acréscimo de  $R_0$  para compensar a resistência parasita de um capacitor.

Variações da ponte de Sauty existem para medição de capacitores eletrolíticos caso em que se agregam elementos como uma fonte de polarização contínua para este componente, indutâncias e capacitâncias com a finalidade de filtrar correntes contínuas e sinais usados nos testes.

### Ponte de Schering

Na **figura 5** temos o diagrama básico de uma Ponte de Schering que é usada na medida de capacitâncias com excelente precisão.

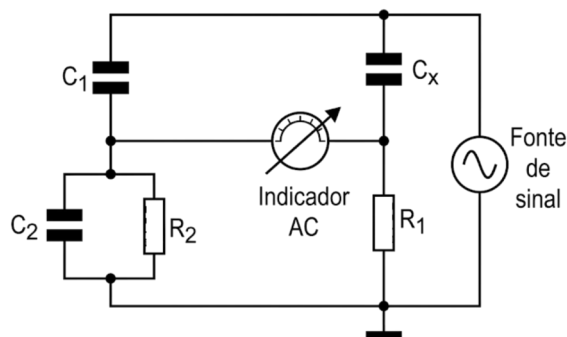


Figura 5 - Ponte de Schering para medida de capacitâncias.

Uma característica desta ponte é que ela possibilita a medida de capacitores mesmo que apresentem fugas, pois ela pode ser equilibrada em função da resistência paralela ao capacitor. A fonte de sinal vai depender dos valores a serem medidos, assim como o detector de nulo.

Para capacitores comuns na faixa de 1 nF a 1 uF pode-se usar um gerador de sinais de 1 kHz e um fone de ouvido como elementos da ponte. O equilíbrio desta ponte ocorre quando as seguintes relações entre os componentes forem satisfeitas:

$$C_x = C_1 \left( \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_x = R_1 \left( \frac{C_2}{C_1} \right)$$

Onde  $C_x$  é a capacitância do capacitor em teste e  $R_x$  a resistência de fuga.

### Ponte de Wien

Uma característica importante das pontes que vimos até agora é que seu equilíbrio independe da frequência do sinal de entrada. Para a medida de sinais de áudio, uma ponte interessante, que na verdade foi a que deu origem à ponte de Schering, é a chamada ponte de Wien, mostrada na **figura 6**.

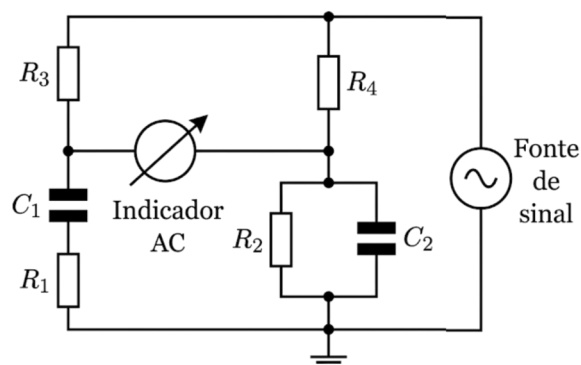


Figura 6 - Ponte de Wien para medidas de frequência.

Esta ponte equilibra-se quando um capacitor  $C_x$  adquire um valor tal que:

$$C_x = 1 / (R_1 * R_2 * C_1 * \omega)$$

Onde:  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , sendo  $f$  a frequência do sinal

Se o capacitor utilizado é variável, previamente ajustado em função dos demais elementos, pode-se determinar a frequência do sinal.

Fazendo-se com que:

$$R_3 = 2 * R_4$$

$$C_1 = C_2$$

O equilíbrio da ponte ser obtido quando:

$$f = 1/(2 * \pi * C_x * R_2)$$

Veja o leitor que esta configuração é a mesma utilizada nos denominados osciladores por ponte de Wien, cujo circuito básico do elo de realimentação que determina a frequência é mostrado na **figura 7**.

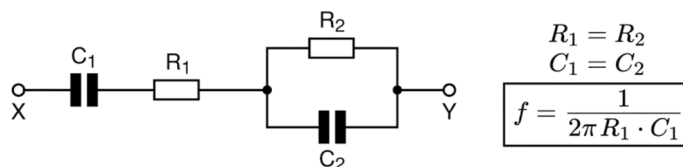


Figura 7 - Circuito de realimentação usado nos osciladores por ponte Wien.

**Ponte de Maxwell**

Esta ponte, cujo diagrama básico é mostrado na **figura 8**, é utilizada na medida de indutâncias.

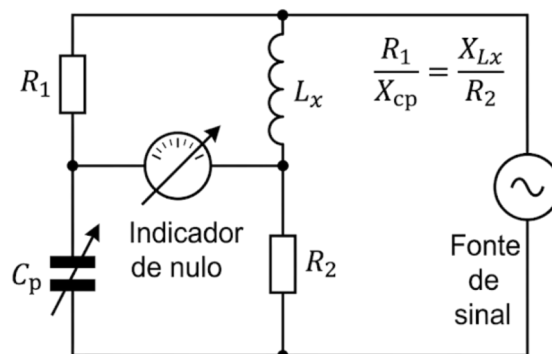


Figura 8 - Ponte de Maxwell para a medida de indutâncias.

A ideia básica é fazer a comparação de uma indutância com uma capacitância, com base em suas reatâncias, isso porque é mais difícil obter-se um padrão de indutâncias do que de capacitâncias. Assim,

quando esta ponte está em equilíbrio temos a relação mostrada no próprio diagrama.

O equilíbrio ocorre quando as reatâncias, da bobina e do capacitor de referência, adquirem valores que mantêm uma proporção que depende dos valores dos resistores dos outros braços. A frequência do sinal usado vai depender da ordem de grandeza da indutância que se pretende medir.

Um aperfeiçoamento desta ponte é mostrado na **figura 9** em que se acrescenta ao circuito também um resistor variável.

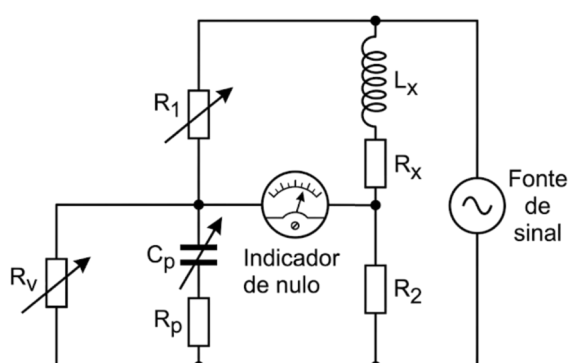


Figura 9 - Aperfeiçoamento de Maxwell para compensar a resistência  $R_x$  do enrolamento.

Este componente é necessário para se equilibrar a ponte levando-se em conta também a resistência ôhmica do enrolamento da bobina que se soma à sua indutância. Lembramos que a bobina equivale, em seu circuito real, a uma indutância ligada em série com uma resistência.

Veja que o equilíbrio desta ponte é feito por meio de dois ajustes e um ponto importante é que, através da medição tanto da indutância, como da resistência associada, pode-se ter uma ideia também de seu fator de qualidade (fator Q).

### Ponte de Hay

Esta ponte, cujo diagrama básico é mostrado na **figura 10**, também se destina à medida de indutâncias.

O princípio de funcionamento é o mesmo da ponte de Maxwell, utilizando-se um capacitor para equilibrar com sua reatância, a reatância apresentada por um indutor, que está sendo medido. O equilíbrio desta ponte vai ser conseguido quando a relação de valores de componentes mostrada em seu diagrama for alcançada.

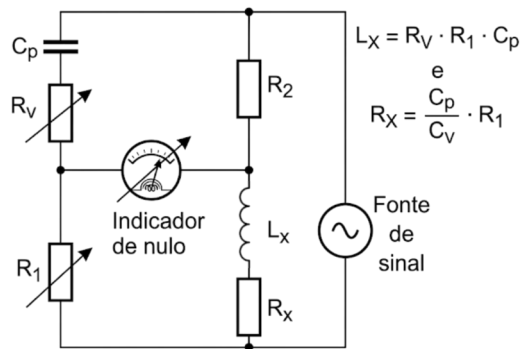


Figura 10 - Ponte de Hay para a medida de indutâncias.

**Ponte de Owen**

Na **figura 11** temos o diagrama básico de uma ponte de Owen que é destinado a medição de indutâncias.

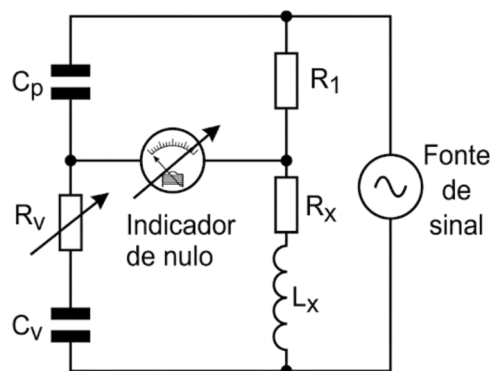


Figura 11 - Ponte de Owen para medida de indutâncias.

Esta ponte tem por característica importante o fato de seu funcionamento não depender da frequência do sinal. No diagrama temos a relação de valores de componentes que deve ser satisfeita para que ela fique em equilíbrio.

**Conclusão**

As pontes são de grande importância nos laboratórios de medidas eletrônicas. Neste artigo demos uma pequena noção sobre seus tipos e utilidades.

No entanto, os circuitos indicados, quando levados à equipamentos profissionais podem ter recursos adicionais importantes como por exemplo controles de sensibilidade, seleção de faixas de valores medidos, além de detectores de nulo com diversos níveis de sensibilidade e outros.

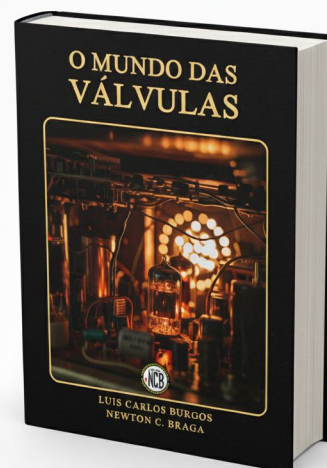
**Referências**

Link para o artigo no site: INS065  
<https://www.newtoncbraga.com.br/usando-os-instrumentos/1896-ins065.html>

# Literatura Técnica



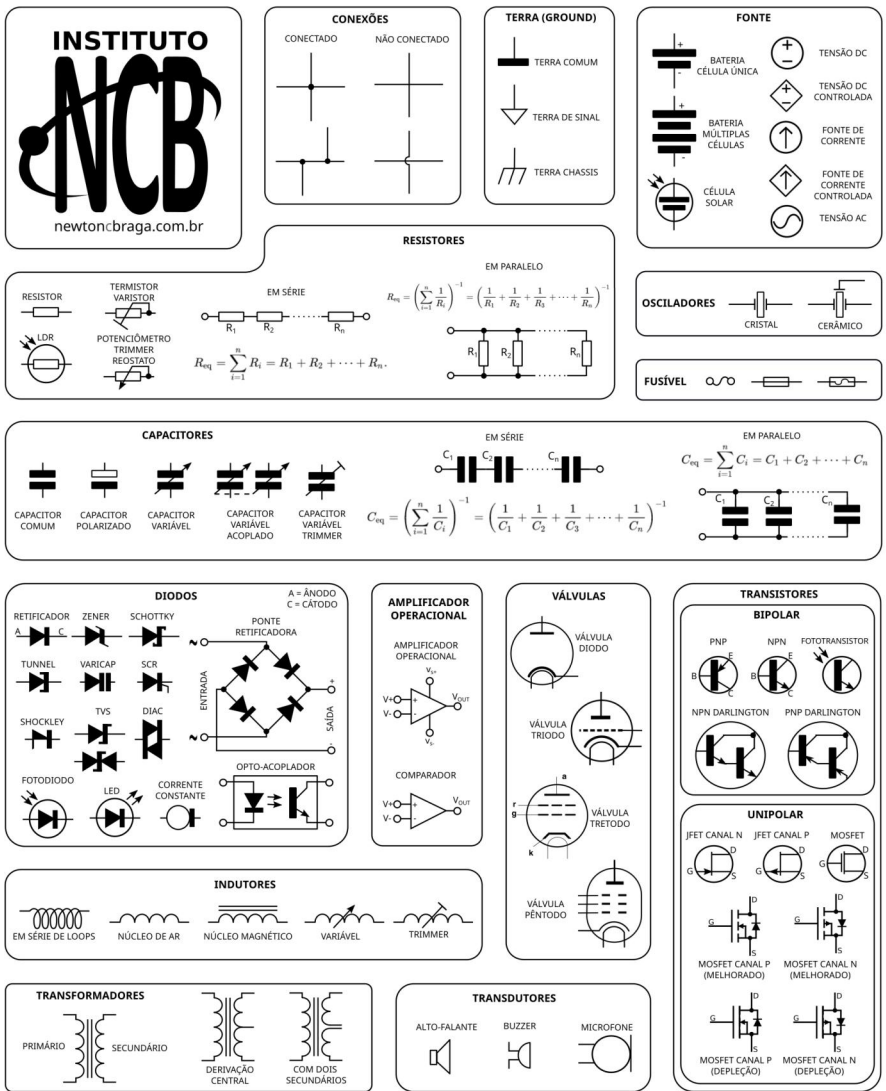
**Linguagem C#**  
**Na prática de verdade**  
Wagner Rambo



**O Mundo das Válvulas**  
Luis Carlos Burgos e  
Newton C. Braga



Para mais livros  
acesse nossa seção "**Livros Técnicos**" e  
tenha acesso ao nosso catálogo de obras técnicas  
acesse: [www.newtoncbraga.com.br](http://www.newtoncbraga.com.br)



# Simbologia Eletrônica

**Renato Paiotti**

Para facilitar a comunicação entre todas as nações do mundo, a humanidade criou sinais, como as letras o qual é possível ler neste artigo. Quando a humanidade começou a sua jornada movimentando os elétrons, descobrindo assim a eletricidade, se fez necessário a criação de símbolos para designar cada tipo de componente empregado num determinado sistema, facilitando a compreensão do esquema elétrico ao redor do mundo.

## Como tudo começou

Assim como acontece com o sistema de medidas, onde temos países que adotam o sistema métrico e um outro país que o sistema imperial. O mesmo acontece com a simbologia de componentes eletrônicos, onde temos o padrão ANSI/IEEE usado pelos Estados Unidos, e o padrão IEC usado pela Europa. Com os simuladores de circuitos é possível escolher qual é o padrão que o usuário deseja usar, mas no passado, onde tudo era feito na prancheta de desenho, um padrão tinha que ser adotado.

Mesmo sendo diferentes, onde o sistema ANSI/IEEE usa uma ilustração baseada na função do componente e o padrão IEC usa formas geométricas, é possível entender facilmente ambos os padrões pois são muito semelhantes entre si. Na **figura 1** podemos ver o resistor no padrão ANSI/IEEE que parece uma “resistência” e no padrão IEC onde temos um quadrado representando o “espaço” que ele ocupa.

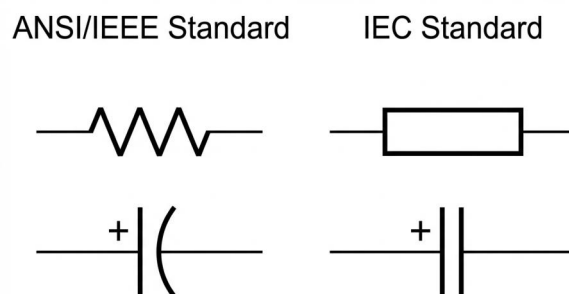


Figura 1 - Diferenças de padrões.

## Padrão ANSI/IEEE

Chamamos este padrão de padrão americano, pois foi elaborado em 1975, nos Estados Unidos, depois de unir diversos tipos de esquemas de décadas anteriores, este padrão é utilizado até hoje, principalmente na área acadêmica.

## Padrão IEC

Atualmente este padrão conta com mais de 1900 símbolos, e foi criado em Londres no ano de 1906, mas a ideia de padronização surgiu dois anos antes para resolver o problema de venda de componentes para o mundo inteiro de forma fácil.

## Padrão ABNT

A ABNT e o Cobei utilizam como base o padrão IEC.

## O padrão utilizado na Saber Eletrônica

Quando comecei a fazer desenhos na Editora Saber, tinha como editor da revista o Sr. Frank, um senhor de uma inteligência incrível e um sistema de regras rígido. Ele integrava a revista Saber Eletrônica mesmo antes da Editora Saber assumir a sua publicação, e era ele o responsável por manter a estética técnica dos desenhos.

O padrão escolhido era o IEC e naquela época os desenhos eram feitos à mão, sobre uma prancheta técnica e nanquim. Na época a Isabel Pereira, que também tinha trabalhado com o Sr. Frank nas edições que antecederam as edições Editora Saber, era de extrema habilidade com os esquemas e placas.

Na época existiam régua com os desenhos dos símbolos (**figura 2**), mas anos mais tarde surgiram os “transfers”, onde foi possível criar folhas e mais folhas de símbolos que não precisava desenhar, era só colocar sobre o papel e riscar na parte inversa (**figura 3**).

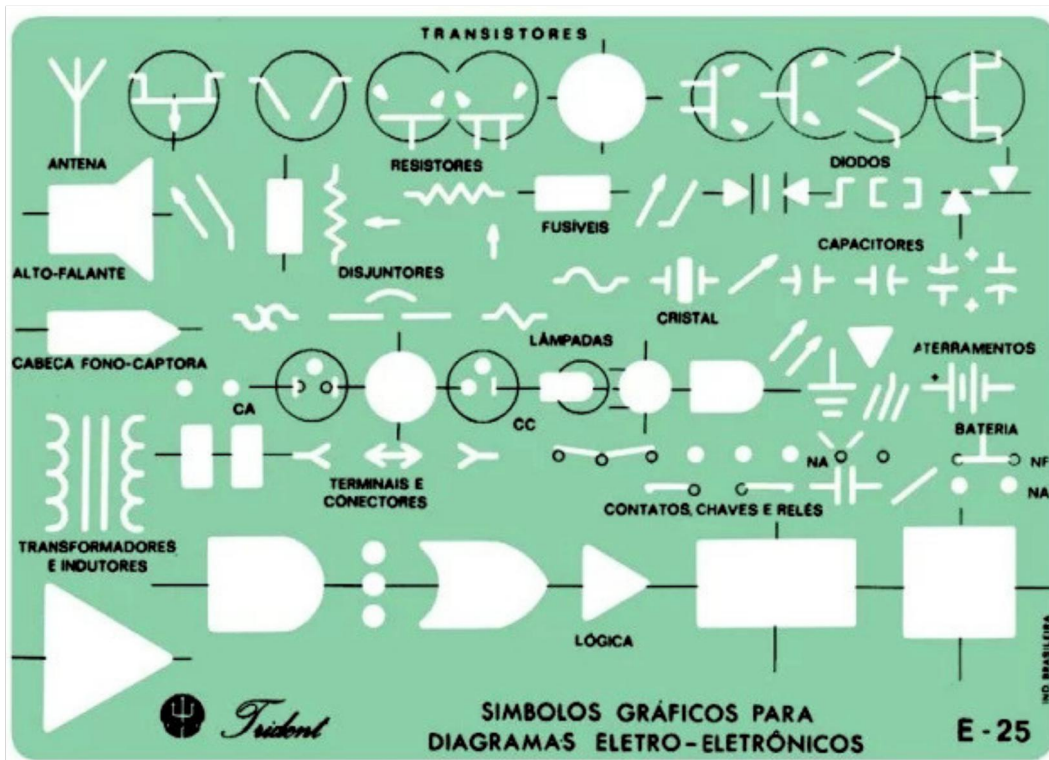


Figura 2 - A régua de símbolos.

## Símbolos Eletrônicos

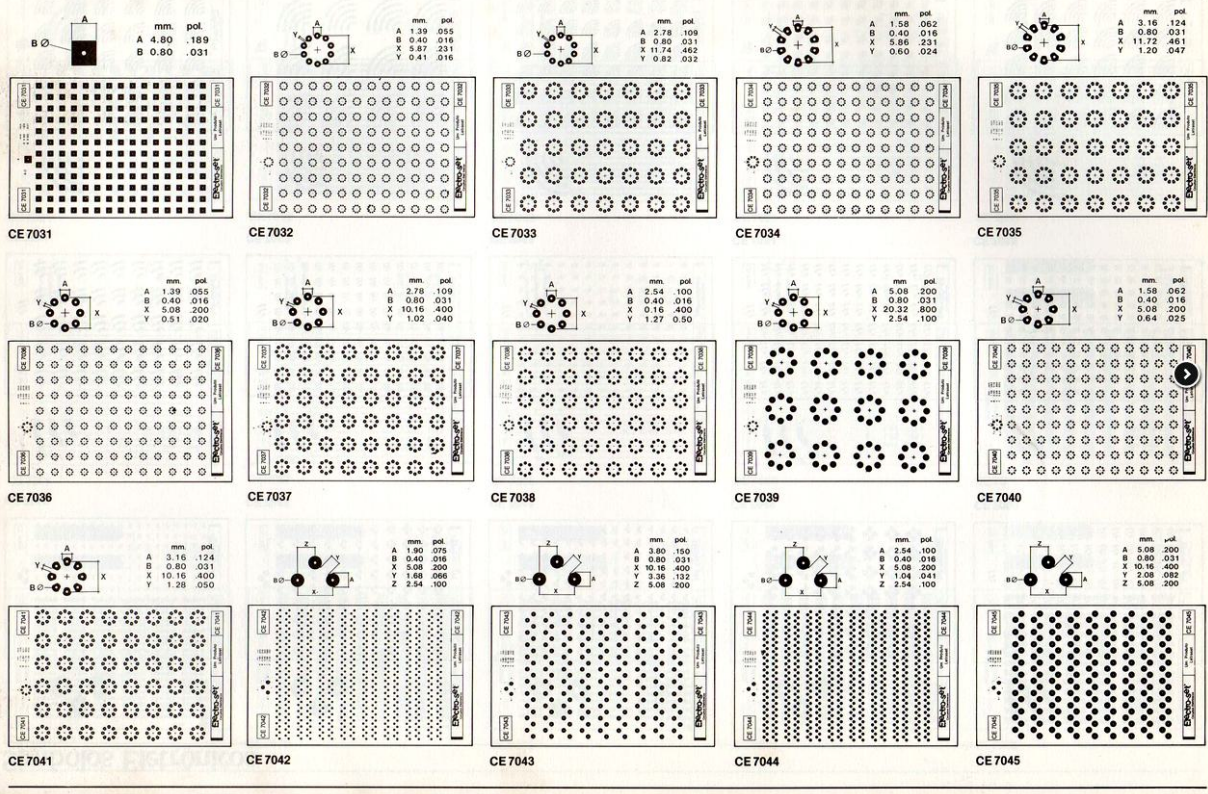


Figura 3 - Letraset.

Na década de 90, conversando com o Sr. Frank e a Isabel, falei que poderia ser possível desenhar os símbolos no meu 486 e imprimir os esquemas. Depois de alguns meses de desenhos e testes usando o Paintbrush e o Corel 3, foi possível migrar das pranchetas para o computador, que gerava os esquemas para serem colocados no fotolito. Anos depois direto do computador para o fotolito.

### O padrão utilizado na INCB Eletrônica

Quando o artigo visa o lado educacional, ainda prefiro utilizar o mesmo padrão criado pelo Sr. Frank. Porém usamos ou publicamos esquemas feitos por simuladores, tais como o Kicad, EaseEDA, Eagle, Proteus e outros.

Durante anos alguns projetistas perguntam porque não é possível fazer o Kicad usar o nosso estilo de símbolo, e a resposta que dou é que não ficaria prático, pois alguns símbolos ficariam grandes demais e espaço nos circuitos atuais se tornam cada vez menores. Um dos motivos que me fazem ir para o Kicad ao invés de desenhar o esquema nos padrões antigos é a complexidade de um circuito, e se um leitor chegou num circuito complexo, ele já

passou pela fase do aprendizado básico e já conhece a simbologia aplicada. Vou utilizar o estilo antigo ou artístico sempre que puder, pois é gratificante buscar qualquer circuito na internet e ver os traços inconfundíveis criados pelo Sr. Frank.

Deixo abaixo os links para os exemplos que sempre utilizei quando criei meu banco de imagens vetorizados para você que deseja criar os seus próprios esquemas à moda antiga.

## Referências

Régua

<https://desenhoepintura.com.br/gabarito-e-25/>

Transfers Letraset

<https://www.leterset.com.br/electro-set-circuitos-eletronicos-leterset>

IEEE

[standards.ieee.org](https://standards.ieee.org)

IEC

[www.iec.ch](https://www.iec.ch)

COBEI

[www.cobei.org.br](https://www.cobei.org.br)

ABNT Catálogos

<https://www.abntcatalogo.com.br/>



Régua



Transfer Letraset



IEEE



IEC



COBEI



ABNT Catálogos

# A História da Eletrônica

Acompanhe em seu tocador de podcast preferido a saga da História da Eletrônica narrada pelo Prof. Newton C. Braga.



**Toda semana um novo episódio**



# História dos Semicondutores

**A história do Vale do Silício: como começou, como cresceu e para onde está indo.**

**João Batista de Souza**

O recente falecimento de Gordon Moore, cofundador da Intel e pioneiro dos semicondutores, trouxe o Vale do Silício de volta aos holofotes da mídia. Moore foi fundamental para o desenvolvimento da indústria de tecnologia dos EUA e ajudou a consolidar o Vale do Silício como um polo de inovação em TI. Exploramos a fascinante história do Vale do Silício e analisamos para onde esse importante centro tecnológico pode estar se encaminhando no futuro.

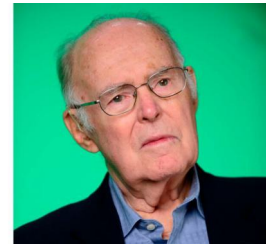
O Vale do Silício começou a se consolidar como um epicentro de inovação em 1955, com a chegada do Laboratório de Semicondutores Shockley. No entanto, os tempos áureos do Vale do Silício ficaram para trás – este artigo explica o porquê.

Gordon Moore, um dos principais pioneiros dos semicondutores Gordon Moore, figura importante no setor de TI e na indústria de TI, faleceu recentemente. Em 24 de março de 2023, Moore faleceu pacificamente aos 94 anos em sua casa no Havaí. Moore era talvez mais conhecido por ter fundado a Intel em 1968 ao lado de Robert Noyce e por ter atuado como vice-presidente executivo e CEO por quase duas décadas. No entanto, Gordon Moore também foi uma figura fundamental no desenvolvimento da tecnologia de semicondutores e desempenhou um papel importante no estabelecimento do Vale do Silício. Vale como um polo de inovação nos EUA.

Hoje, o Vale do Silício abriga mais de 30 empresas multinacionais que figuram regularmente na lista Fortune 1000 da Forbes. O Vale do Silício é composto por 85 bilionários e cerca de 163 mil milionários. Sede de gigantes da TI líderes mundiais e milhares de startups do setor, o próprio nome Vale do Silício é sinônimo de tecnologia de ponta. Mas como essa região, antes discreta, da Baía de São Francisco se tornou um dos principais polos da era digital moderna?

## **Os primeiros anos do Vale do Silício**

A área que hoje conhecemos como Vale do Silício faz parte do Vale de Santa Clara, situado a sudeste de São Francisco, no norte da Califórnia. Até a década de 1890, o Vale de Santa Clara era famoso por seus pomares, que produziam principalmente cerejas, peras, damascos e ameixas francesas. As ameixas eram colhidas, secas e processadas para se transformarem em ameixas secas, que eram então exportadas. De fato, o Vale de Santa Clara já foi responsável por 30% do fornecimento mundial de ameixas secas.



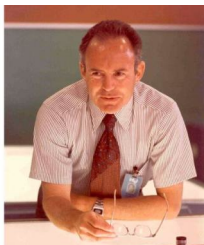
*Figura 1 - Gordon Moore foi cofundador da Intel Corporation e autor da Lei de Moore. Ele cofundou a Intel Corporation em julho de 1968 e atuou na empresa como vice-presidente executivo, presidente, diretor executivo e presidente do conselho. - (Fonte: Intel Corporation)*



*Figura 2 - Uma foto da década de 1970 mostra Gordon Moore (à esquerda) e Robert Noyce. Moore e Noyce foram cofundadores da Intel Corporation em julho de 1968. Moore atuou na empresa como vice-presidente executivo, presidente, diretor executivo e presidente do conselho. (Fonte: Intel Corporation)*



*Figura 3 - Esta foto mostra Gordon Moore (da esquerda para a direita), Robert Noyce e Andy Grove. Juntos, eles ficaram conhecidos como a "Trindade da Intel", e seu legado continua até hoje. (Fonte: Intel Corporation)*



*Figura 4 - Em uma foto sem data, Gordon Moore trabalha na Intel Corporation. (Fonte: Intel Corporation)*

A atmosfera bucólica do Vale de Santa Clara, contudo, não durou muito no século XX. O magnata das ferrovias Leland Stanford morava no Vale de Santa Clara e fundou a Universidade Stanford ali, em 1891. Apesar de um começo instável, a Universidade Stanford ganhou destaque em 1909, quando o então reitor David Starr Jordan investiu no desenvolvimento da válvula audion por Lee de Forrest. A invenção de de Forrest era uma válvula eletrônica capaz de amplificar um sinal elétrico fraco. Ela anunciou o início de uma revolução nos produtos elétricos e foi utilizada em uma enorme variedade de bens, desde serviços telefônicos e rádios até máquinas de somar. As sementes do Vale do Silício haviam sido plantadas.

Muitos historiadores atribuem o início do crescimento do Vale do Silício a outra figura proeminente da Universidade Stanford, Frederick Terman. Depois de uma década transformando o departamento de engenharia elétrica de Stanford em um centro de pesquisa de classe mundial, Terman ficou frustrado ao ver os alunos deixarem a região do Vale de Santa Clara assim que se formavam. Para incentivar os graduados a permanecerem no Vale, Terman investiu fortemente em empresas que se estabeleceriam na região e empregariam jovens talentosos. Uma dessas empresas foi a pioneira Hewlett-Packard, uma empresa de eletrônicos fundada em uma garagem pelos ex-alunos de Stanford William Hewlett e David Packard.

Na década de 1940, o Vale de Santa Clara abrigava muitas empresas de engenharia e aeroespaciais que prestavam serviços cruciais durante a guerra, fabricando rádios, radares e equipamentos elétricos para o governo dos EUA. Embora as raízes estivessem começando a se firmar, o Vale do Silício só floresceria por si só na década de 1950, com a criação de um parque industrial e a chegada de uma empresa de engenharia elétrica singular.

### **A chegada da Shockley Semiconductor e o nascimento do Vale do Silício**

Em 1951, Frederick Terman provou mais uma vez ser um visionário ao fundar o Parque Industrial de Stanford. O parque foi uma colaboração entre a Universidade de Stanford e a cidade de Palo Alto. Com 660 acres dedicados a laboratórios de pesquisa, escritórios e instalações de produção, o Parque Industrial de Stanford foi verdadeiramente o início do Vale do Silício como o conhecemos hoje.

O Vale do Silício começou a se consolidar como um epicentro de inovação em 1955 com a chegada do Laboratório de Semicondutores Shockley. Seu fundador, William Shockley, foi um dos inventores do transistor de contato pontual no Laboratório Bell, operado pela AT&T. Shockley, no entanto, não foi mencionado na patente. Famoso por seu temperamento explosivo, Shockley ficou tão ressentido com isso que deixou a AT&T e fundou sua própria empresa, a Shockley Semiconductors Laboratory.

O Laboratório de Semicondutores Shockley estabeleceu sua base em Mountain View, no Vale de Santa Clara. Shockley começou a recrutar os engenheiros mais talentosos que conseguiu encontrar. Entre eles, estavam dois jovens excepcionalmente talentosos, Gordon Moore e Robert Noyce. O temperamento volátil de Shockley tornava o trabalho com ele incrivelmente difícil. Um grupo de engenheiros, incluindo Moore e Noyce, discordava de Shockley sobre o tipo de material a ser usado na fabricação de semicondutores. O grupo defendia o silício, mais resistente ao calor, enquanto Shockley insistia que o germânio era a melhor escolha. Oito membros da equipe de Shockley, conhecidos como os Oito Traidores, deixaram a empresa em 1957 e fundaram a Fairchild Semiconductor.



*Figura 5 - Gordon Moore, cofundador da Intel Corporation, é entrevistado por Tom Friedman em 2015 durante as cerimônias do 50º aniversário da Lei de Moore. (Fonte: Walden Kirsch/Intel Corporation)*



*Figura 6 - Durante sua vida, Moore também dedicou seu foco e energia à filantropia, particularmente à conservação ambiental, à ciência e à melhoria do atendimento ao paciente. (Fonte: Intel Corporation)*



*Figura 7 - Juntamente com sua esposa, com quem foi casado por 72 anos, ele fundou a Fundação Gordon e Betty Moore, que doou mais de US\$ 5,1 bilhões para causas beneficentes desde sua fundação em 2000. (Fonte: Intel Corporation)*



*Figura 8 - “Gordon Moore definiu a indústria de tecnologia por meio de sua perspicácia e visão. Ele foi fundamental para revelar o poder dos transistores e inspirou tecnólogos e empreendedores ao longo das décadas...”, disse hoje Pat Gelsinger, CEO da Intel. (Fonte: Intel Corporation)*

Um ano depois, Noyce e sua equipe inventariam o circuito integrado. (CI), que também foi desenvolvido independentemente na mesma época por Jack Kilby, da Texas Instruments. O circuito integrado foi talvez a invenção tecnológica mais importante de nossa época e marcou o início da era digital. Nasceu o Vale do Silício e, com ele, a era da computação moderna.

### **A corrida espacial e a ascensão da indústria tecnológica dos EUA**

No final da década de 1950, os Estados Unidos e a então URSS travaram uma acirrada corrida para ver quem conseguiria desenvolver primeiro a tecnologia necessária para levar um ser humano à Lua. Em uma derrota humilhante para os Estados Unidos, a URSS assumiu a liderança na corrida espacial com o lançamento do satélite Sputnik. Isso levou o presidente Eisenhower a criar a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) e a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada (DARPA).

Esses dois departamentos dedicavam-se ao desenvolvimento de novas tecnologias, independentemente do custo. Qualquer empresa que demonstrasse ser merecedora receberia financiamento praticamente ilimitado. No início da década de 1960, a DARPA financiava mais de 70% de toda a pesquisa em tecnologia da computação nos EUA. Muitas das empresas recém-criadas no Vale do Silício aproveitaram a oportunidade e, em pouco tempo, a região tornou-se o centro de desenvolvimento do programa de mísseis balísticos dos EUA, bem como de tecnologias utilizadas em satélites militares, sistemas de rastreamento e microeletrônica para sistemas de armas avançados.

A Fairchild Semiconductor foi uma das empresas que aproveitou esses contratos militares para se transformar de uma pequena empresa de engenharia elétrica em

uma gigante da tecnologia. Nessa época, Moore formulou o que hoje é conhecido como Lei de Moore, a teoria de que o número de transistores em um circuito integrado dobraria a cada dois anos.

### **O Vale do Silício se torna o epicentro da inovação tecnológica nos EUA.**

Durante a década de 1960, o Vale do Silício consolidou-se como um importante polo industrial. A Guerra Fria e a corrida espacial criaram uma demanda crescente por circuitos integrados. O programa Apollo fez com que a NASA obtivesse cerca de 60% de todos os seus circuitos integrados da região do Vale de Santa Clara. Somente em 1964, a NASA comprou 100.000 circuitos integrados da Fairchild Semiconductor. Um quinto de todos os contratos militares e 44% dos contratos da NASA foram destinados a empresas sediadas no Vale de Santa Clara. Em 1965, o Parque Industrial de Stanford abrigava 40 empresas, empregando mais de 11.400 pessoas.

O final da década de 1960 testemunhou dois marcos na história da computação: em 1969, a Universidade de Stanford estabeleceu um dos quatro nós utilizados na ARPANET. A ARPANET foi um programa experimental de rede de computadores financiado pela DARPA e formou a base do que hoje conhecemos como Internet.

Outro ponto revolucionário foi alcançado em 1968, quando Robert Noyce e Gordon Moore deixaram a Fairchild Semiconductor para fundar a Intel. Em três anos, a Intel produziria os primeiros microprocessadores do mundo, anunciando uma explosão de avanços tecnológicos que continua inabalável há mais de 40 anos.

O termo Vale do Silício foi cunhado pelo jornalista Don Hoefler em um artigo de 1971 para a revista especializada Electronic News. Logo depois, Vale do Silício tornou-se o nome aceito para a região do Vale de Santa Clara.



*Figura 9 - Em 24 de março de 2023, a Intel e a Fundação Gordon e Betty Moore anunciaram o falecimento do cofundador da empresa, Gordon Moore, aos 94 anos. Ele deixa sua esposa, Betty Irene Moore, seus filhos Kenneth e Steven, e quatro netos. (Fonte: Intel Corporation)*

### **O Vale do Silício durante os anos de expansão e recessão.**

A disponibilidade de financiamento fácil e relativamente livre de riscos por parte do governo e das forças armadas dos EUA impulsionou a inovação e uma nova forma de abordar os negócios no Vale do Silício. Além do influxo de fundos governamentais, duas empresas de capital de risco foram fundadas no Vale do Silício em 1972: Kleiner Perkins e Sequoia Capital. Essas empresas ainda são grandes firmas de capital de risco atualmente.

Durante as décadas de 1970 e 1980, gigantes da TI foram criados no Vale do Silício. Essa lista inclui ícones como Apple e Microsoft, além de Atari, Oracle, Adobe, Sun Microsystems e Cisco. O IPO da Apple em 1981 gerou US\$ 1,3 bilhão e impulsionou um enorme influxo de capital de risco. Atualmente, o Vale do Silício possui mais empresas de capital de risco do que qualquer outro lugar do mundo.

O sucesso do Vale do Silício e o ritmo frenético do avanço tecnológico que ele trouxe também causaram preocupação. Durante um período em meados da década de 80, a região foi chamada de Vale da Morte, uma referência ao temor de que a robótica e os computadores substituíssem a necessidade de trabalhadores humanos.

Ao longo da década de 1980, o Vale do Silício prosperou enormemente, e o sucesso estrondoso continuou na década de 1990. A era da internet demorou a ganhar força inicialmente, mas em meados da década de 1990, a era das empresas ponto-com chegou, e os investidores entraram em frenesi. Os gastos desenfreados atingiram o ápice em 2000, quando a bolha das empresas ponto-com eliminou US\$ 1,755 trilhão em valor de mercado das ações de empresas de internet.

Embora alguns analistas especulem que o Vale do Silício nunca tenha se recuperado totalmente do estouro da bolha da internet, a mania de investimentos ajudou a produzir muitas das tecnologias que formam a espinha dorsal da moderna internet.

### **Vale do Silício – Como é agora e o que o futuro reserva.**

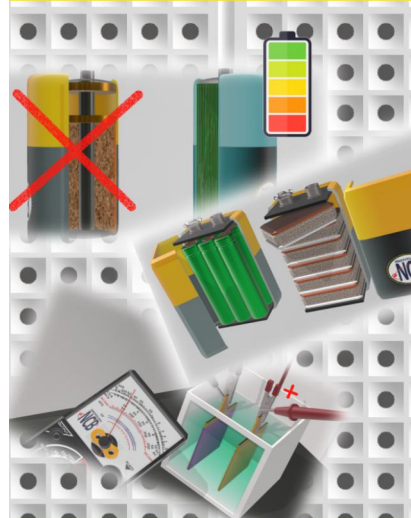
Será que os tempos áureos da era de ouro do Vale do Silício chegaram ao fim? Certamente, os dias de ouro do boom do Vale do Silício ficaram para trás. O setor de TI agora enfrenta dificuldades com o aumento da inflação, a falta de confiança nas empresas de tecnologia e as consequências da pandemia de COVID-19.

Embora a pandemia tenha impulsionado a demanda por serviços de tecnologia, a ascensão do trabalho remoto fez com que muitos profissionais de TI deixassem o Vale do Silício. Não é difícil entender por que viver no Vale do Silício é complicado para quem não ganha salários de seis dígitos. A desigualdade de renda no Vale do Silício é maior do que em qualquer outro lugar nos EUA, e o custo da moradia é uma grande preocupação para trabalhadores de baixa renda em todos os setores.

A inflação reduziu significativamente o investimento. Muitas empresas líderes em tecnologia cortaram pessoal e congelaram novas contratações. O recente colapso desastroso do Silicon Valley Bank, com 40 anos de história, e a recusa de um resgate governamental podem prejudicar o desenvolvimento de startups na região a médio e longo prazo.

O colapso dramático de startups unicórnio de tecnologia badaladas, como WeWork e Theranos, a crise nos mercados de criptomoedas e a gestão caótica em grandes empresas de tecnologia como Meta e Twitter fizeram com que investidores e o público perdessem a fé nas empresas de TI. O lançamento do software de IA generativa ChatGPT foi criticado como prematuro e gerou especulações de que ele sobrecarregará a internet com conteúdo

## **CURSO ONLINE DE ELETRÔNICA**



*Estude onde e quando quiser...*



**MAIS DE 30 ANOS DE EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE ELETRÔNICA À DISTÂNCIA**



**SAIBA MAIS**



falso, desestabilizará setores inteiros e eliminará milhões de empregos, alimentando uma desconfiança renovada nas grandes empresas de tecnologia e reintroduzindo o conceito do Vale do Silício como Vale da Morte.

Será que o Vale do Silício sobreviverá como um centro de inovação? Analistas argumentam que nenhum outro lugar no planeta possui uma cultura de empreendedorismo e inovação tão forte. Embora o Vale do Silício possa estar no fim de um ciclo de crescimento, certamente não está em completo declínio. A professora Margaret O'Mara, autora de "The Code: Silicon Valley and the Remaking of America" (O Código: Vale do Silício e a Reconstrução da América), foi citada no jornal The Guardian dizendo: "Pode ser o fim de uma era para o Vale do Silício, mas é improvável que seja o fim do Vale do Silício."

### Referências

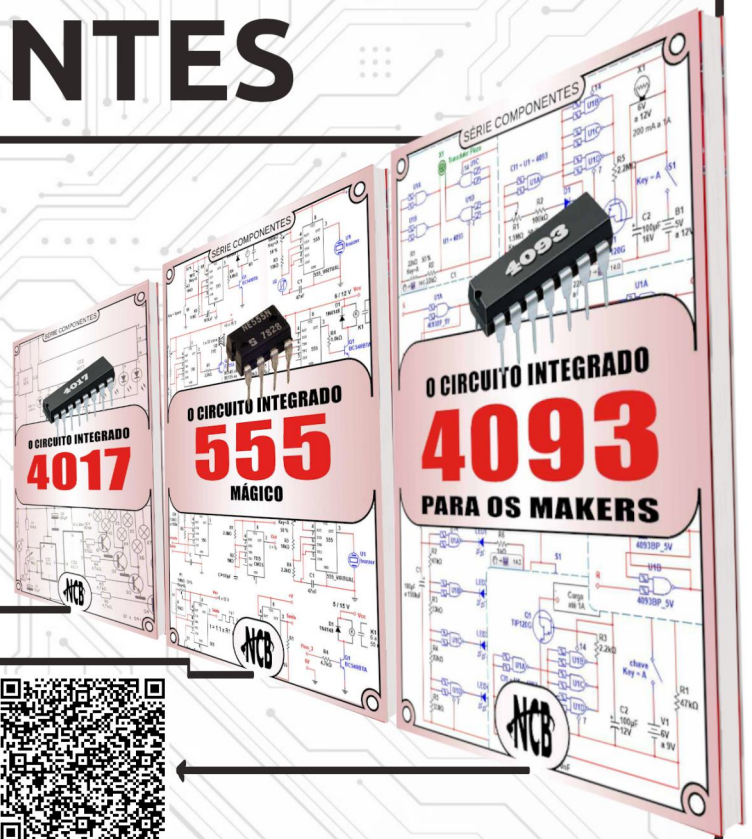
PCIM News Platform, Mesago, Simon Morrison. **HISTÓRIA DOS SEMICONDUTORES**. A história do Vale do Silício: como começou, como cresceu e para onde está indo. Disponível em: <https://news.pcim.mesago.com/the-story-of-silicon-valley-how-it-began-how-it-boomed-and-where-its-headed-a-9836fd8f0adf6d3535810e709d99fec3/>. Acesso em: 15 mar. 2026.

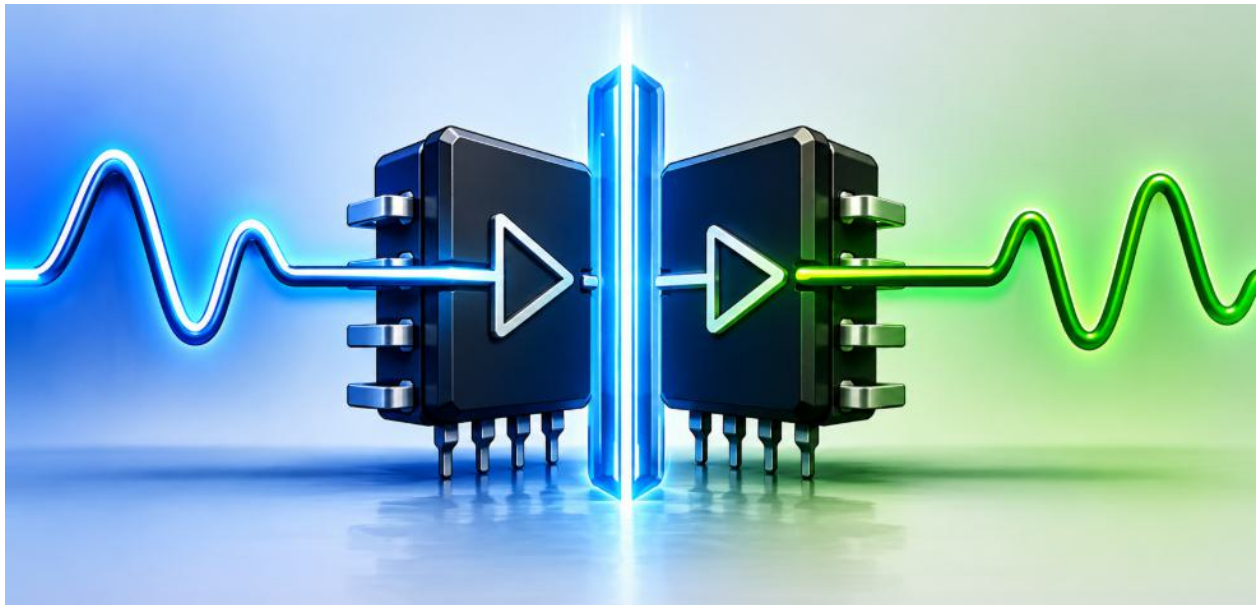
SÉRIE DE LIVROS

# COMPONENTES

Conheça o funcionamento e os principais circuitos onde os componentes mais utilizados do mercado são aplicados.

No formato  
e-Book e Impresso





# Isolação Galvânica

Eng. Antonio Carlos Gasparetti

A isolação galvânica é uma técnica empregada para separar eletricamente dois circuitos, permitindo a transferência de sinais ou energia sem contato elétrico direto entre eles. Seu objetivo principal é proteger equipamentos e usuários contra choques elétricos, sobretensões, correntes de fuga e interferências eletromagnéticas (KUFFEL; ZAENGL; KUFFEL, 2000).

Segundo High Voltage Engineering Fundamentals, a isolação é obtida pela inserção de uma barreira dielétrica entre dois sistemas elétricos.

Essa barreira impede o fluxo de corrente contínua, mas permite transferência de energia ou informação por mecanismos indiretos, como:

- acoplamento magnético (transformadores);
- acoplamento óptico (optoacopladores);
- acoplamento capacitivo.

A **figura 1** ilustra o princípio físico da isolamento galvânica em dispositivos eletrônicos, evidenciando a separação elétrica entre os circuitos primário e secundário por meio de uma barreira isolante.

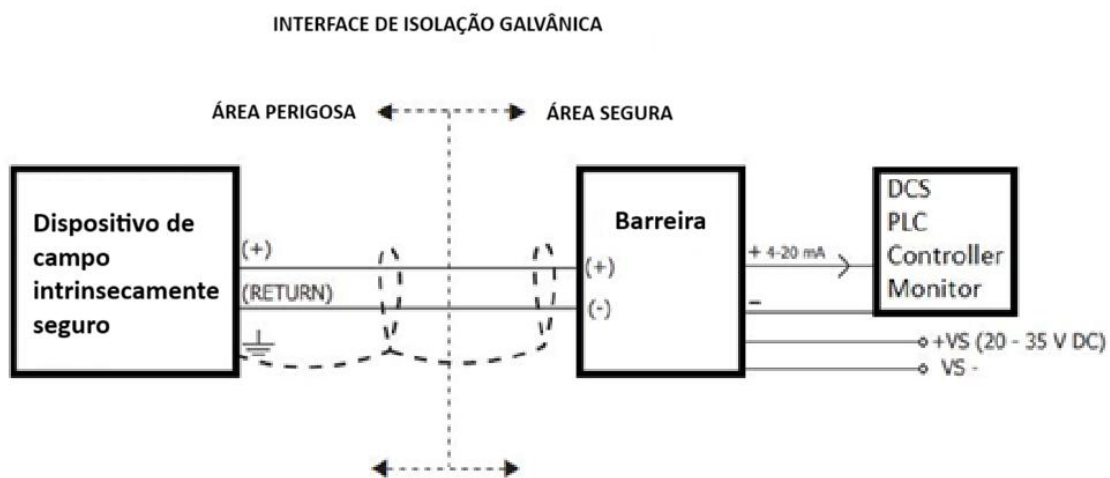


Figura 1 - Princípio da isolamento galvânica por barreira dielétrica.

De acordo com HOROWITZ e HILL (2015), em condições normais o material dielétrico suporta o campo elétrico aplicado sem permitir a condução elétrica entre os circuitos. Entretanto, quando a tensão excede a rigidez dielétrica do material, ocorre ionização local e formação de caminhos condutivos, caracterizando o rompimento da isolamento.

A relação física fundamental associada ao campo elétrico aplicado no dielétrico é dada por:

$$E = \frac{V}{d}$$

onde:

- $E$  representa o campo elétrico;
- $V$  é a diferença de potencial aplicada;
- $d$  corresponde à espessura do isolante.

Segundo KIND e FUCHS (2001), quando o campo elétrico ultrapassa a rigidez dielétrica crítica do material, inicia-se o processo de ruptura dielétrica. Esse fenômeno pode ocorrer devido à presença de defeitos internos, umidade, envelhecimento térmico ou descargas parciais.

**Os principais mecanismos físicos de ruptura da isolação galvânica são:**

1. Ruptura dielétrica

Ocorre quando o campo elétrico aplicado excede a rigidez dielétrica do material isolante, formando um caminho condutivo permanente. Figura 2A.

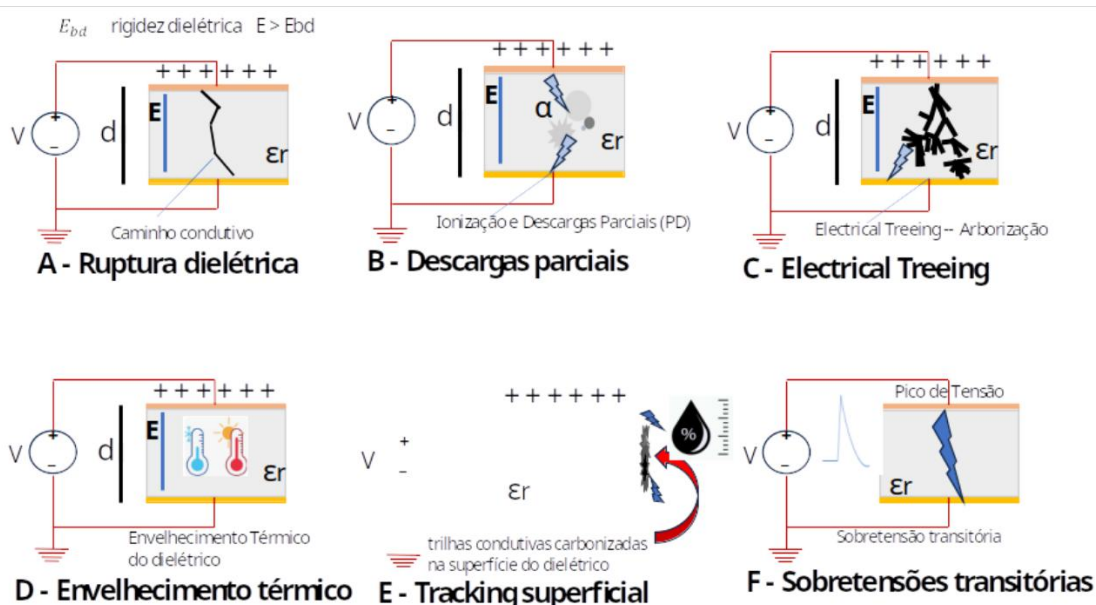


Figura 2 - Mecanismos físicos de ruptura da isolação galvânica.

2. Descargas parciais

Ionizações localizadas em cavidades, bolhas de ar ou defeitos internos do dielétrico que degradam progressivamente o isolamento. Conforme descrito por KUFFEL, ZAENGL e KUFFEL (2000), as descargas parciais degradam progressivamente o dielétrico até formar um canal condutivo permanente entre os circuitos anteriormente isolados. Esse mecanismo reduz a confiabilidade do sistema e pode provocar falhas catastróficas em equipamentos elétricos e eletrônicos. Figura 2B.

3. Electrical Treeing (arborização elétrica)

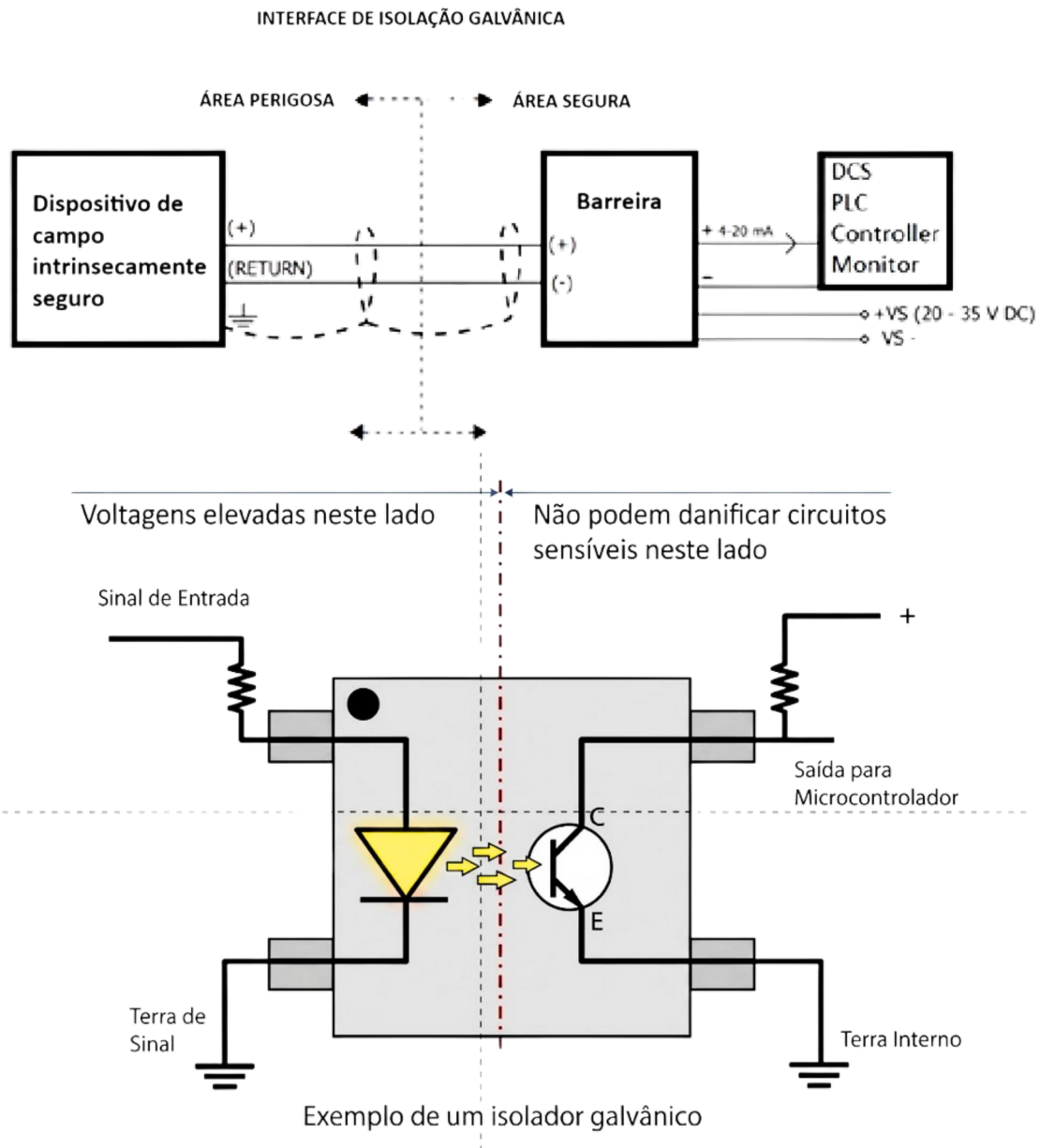
Formação de microcanais ramificados no interior do dielétrico devido à ação contínua de descargas elétricas internas. Figura 2C.

4. Envelhecimento térmico

Degradação molecular do material isolante causada por temperaturas elevadas ao longo do tempo. Figura 2D.

5. Tracking superficial

Formação de Sobretensão transitória na superfície do isolante devido à umidade e contaminantes. Figura 2E.



## 6. Sobretensões transitórias

Perfuração instantânea do dielétrico causada por surtos elétricos, manobras de chaveamento ou descargas atmosféricas. Figura 2F.

A coordenação adequada da isolação galvânica é regulamentada internacionalmente pela norma International Electrotechnical Commission IEC 60664-1, que estabelece critérios para espaçamentos elétricos, níveis de isolamento e suportabilidade dielétrica em sistemas de baixa tensão.

### Referências bibliográficas

- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The Art of Electronics**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- KIND, Dieter; FUCHS, Klaus. High-Voltage **Test Techniques**. 2. ed. Oxford: Newnes, 2001.
- KUFFEL, E.; ZAENGL, W. S.; KUFFEL, J. High Voltage **Engineering Fundamentals**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
- International Electrotechnical Commission. IEC 60664-1: **Insulation Coordination for Equipment within Low-Voltage Systems**. Geneva, 2020.



COMUNIDADE  
**KiCad**  
BRASIL

**FAÇA PARTE  
VOCÊ TAMBÉM**

**ACESSE  
kicadbrasil.com.br**



LISTADA  
**KiCad**  
FÓRUM  
kicad.org  
OFICIALMENTE



# Princípios Matemáticos aplicados à manutenção preventiva

## Administração industrial.

**João Batista de Souza**

Os estudantes de curso Técnico em Administração, graduação em administração, Engenharia de produção e Gerentes da fábrica, Engenheiro da fábrica, Gerente de Manutenção, Gerente de Produção, Chefe do Controle da Produção, Programador de manutenção, Planejador de manutenção, Analista de manutenção, Supervisores, se e como conveniente, terão em suas mãos um artigo relevante sobre teoria da manutenção preventiva para a tomada de decisões assertivas durante a supervisão no chão de fábrica.

Assim como cada companhia acha necessário o estabelecimento de práticas de manutenção que diferem das aplicadas em outras fábricas, porque os seus produtos diferem daqueles das outras fábricas, seu pessoal não é o mesmo e seus métodos de produção são outros, assim também cada organização que se utiliza da manutenção preventiva cria seu próprio vocabulário para descrever as várias funções da manutenção preventiva. Isto não significa que as funções sejam totalmente diferentes, mas é perfeitamente possível e compreensível que uma firma de construções navais designe certa função por determinado nome, enquanto uma fábrica de ferramentas e matrizes utilize outra denominação, e uma terceira indústria empregue ainda outro termo para designar a mesma função. Procuramos, neste artigo, empregar os termos que são usados com maior frequência.

1. Inspeção – exame planejado e programado de uma máquina, equipamento ou instalação, realizado por inspetores do grupo de controle ou por operários da produção, a intervalos regulares, com a finalidade de descobrir deficiências e iniciar uma ação corretiva.

2. Reparo - restabelecimento das condições originais de operação de um item, por troca de peças ou revisão ou ajuste.

3. Revisão – desmontagem planejada do equipamento para reparo, substituição ou ajuste de todas as peças cujas condições de desgaste exijam providências de manutenção.

4. Substituição ou reposição - ambos os termos são utilizados para designar a troca de peças de máquinas ou equipamento, ou das próprias máquinas ou equipamento, baseada na vida útil das peças ou unidades completas, na capacidade produtiva, nos custos de manutenção, etc.

Partindo-se do princípio de que o sistema de controle de manutenção não existe por si só, mas é parte integrante do sistema geral de informações da fábrica, e funciona de acordo com a padronização e a coordenação gerais, conclui-se que a manutenção preventiva que faz parte do sistema de controle de manutenção deve estar perfeitamente entrosada com os programas de engenharia e de manutenção, para que se possam manter as despesas administrativas em nível razoável.

A existência de um sistema efetivo de controle de manutenção representa grande passo à frente no que se refere ao fornecimento de dados à administração de uma fábrica. Estes dados são

indispensáveis para o acerto de decisões a serem tomadas quanto ao planejamento de inspeções, reparos e revisões. A implantação de um programa de manutenção preventiva transforma-se, neste caso, numa simples adição de um item aos que já são, normalmente, processados pelo sistema. Quando integrado com um sistema bem planejado de controle de manutenção, os dados obtidos pela manutenção preventiva servirão como novos e úteis fatores que influenciarão as decisões da administração.

A experiência mostra que algumas técnicas matemáticas podem ser utilizadas com proveito para a solução de problemas que serão postos à frente da administração pelas informações obtidas através da manutenção preventiva. Embora eu tenha afirmado, repetidas vezes, que a tônica da manutenção preventiva são os custos, e não a técnica é evidente que o gerente de manutenção deve sempre tratar dos problemas de manutenção preventiva tendo por base técnicas aprovadas e corretas, pois isto já deve ter sido levado em conta, no cômputo geral de custos. As previsões de custos baseadas nos tempos de vida útil das peças ou do item devem ser sistematicamente comparadas com os custos reais até a data, e com a experiência que se tem na utilização de máquinas do mesmo tipo.

### **Alguns fatores que podem influenciar na análise do problema das reposições são citados abaixo:**

1. Custo de reparo é excessivo.
2. Obsolescência do equipamento.
3. Incapacidade da máquina de realizar as funções que dela se requerem.
4. Necessidade de reduzir os custos de manutenção.
5. Necessidade de aumentar o volume de produção a fim de reduzir o custo unitário.

Muitos outros fatores podem ser considerados, mas os dois pontos básicos são um aumento que se faz necessário na capacidade e na utilização da máquina e uma redução nos custos de operação. Pode-se afirmar que, em média, uma redução de 10% nos custos de manutenção produzirá um aumento de 4% no lucro líquido da fábrica. Só isto já é justificativa para que se envidem esforços na solução dos problemas da manutenção.

Outro termo que empregamos com frequência é programação e, aqui também, se faz necessária uma definição. PROGRAMAÇÃO, no sentido que empregamos, significa a determinação da ocasião em que cada máquina ou equipamento deve ser desmontado para revisão ou troca de peças ou componentes. É o entrosamento dos requisitos de produção, indicados pela programação geral, com os requisitos de manutenção, isto é, as revisões programadas, em separado, pela manutenção. O tempo é sempre o fator mais importante. Veja-se, por exemplo, o tempo de produção de um produto, a vida útil de uma máquina ou equipamentos ou a vida útil de uma peça medida em horas. A VIDA ÚTIL de uma peça ou componente pode ser definida como sendo o número de horas que decorrem até sua quebra ou falha, quando deverá ser substituída.

**A reposição de máquinas ou equipamentos vai depender das respostas dadas às suas perguntas seguintes:**

1. A reposição implicará em aumento do volume de produção?
2. Os custos serão reduzidos por efeito da reposição?

Até que estas duas perguntas sejam respondidas afirmativamente, não deve entrar em cogitações o problema da reposição. Particularizando, podemos tratar o problema da substituição de peças por método muito semelhante a este. A substituição de uma peça requer interrupção no programa de produção, a desmontagem parcial ou total da máquina e representa custos extras de manutenção. Se estes custos extras são menores que a economia alcançada através do aumento de produção introduzido pela troca de peças pela menor possibilidade futura de falha da máquina, então a troca é justificável.

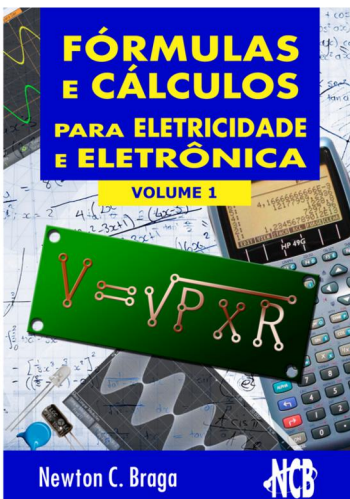
A vida útil de cada peça ou componente é determinada a partir da vida útil sugerida pelo fabricante e da experiência adquirida, com algum bom senso, por parte da supervisão. Esta determinação, extremamente importante para a programação do controle de manutenção, é necessariamente estatística. É totalmente impossível calcular ou prever, com precisão a vida útil real de uma peça pois, como a maioria dos fatores custo de uma fábrica, ela é uma variável aleatória; uma peça de vida útil calculada de 500 horas pode durar até 1.500 horas. Se esta peça tivesse sido trocada após as 500 horas

## PROJETOS COM ESP32 e LoRa

PEDRO BERTOLETI



Guilherme Razgriz



Newton C. Braga



Mais de  
160 livros  
sobre  
Eletrônica,  
Mecatrônica,  
Iot e muito  
mais.



previstas, teríamos perdido 1.000 horas de trabalho da peça, além das horas necessárias para trocá-la e a consequente queda no volume da produção, devido à parada para efetuar a troca. A solução está na obtenção de todos os dados e informações relativas à peça ou componente, os quais a gerência tomará como base para a definição de vida útil que se aproxime o mais possível da verdadeira. O estudo comparativo da vida útil de cada componente de uma máquina dará o tempo mínimo de funcionamento contínuo da máquina.

Neste artigo apresentamos métodos para a aplicação da análise matemática na determinação do tempo de reposição de máquinas ou equipamento, baseados em fatores-custo, com a finalidade de aumentar a precisão da programação de reposição. É bom ter em mente que o emprego de fórmulas só deve ser facultado a pessoas que estejam bem a par do seu manejo e limitações. O uso de fórmulas, supérfluo poucos anos atrás, faz-se necessário hoje, pois os problemas tornaram-se tão complexos que apenas métodos científicos são capazes de os resolver. Apresentaremos apenas algumas das fórmulas entre as muitas existentes e que servem à mesma finalidade.

A primeira fórmula é utilizada para o cálculo do custo total anual da produção programada, estando subentendido o emprego de máquinas especializadas.

Este método visa aumentar a eficiência da produção através de uma melhor utilização das máquinas e um consequente acréscimo no volume produzido.

$A =$  Investimento em equipamento (existente ou proposto).

Nota: a) O valor do equipamento existente deve ser calculado com base na reposição por equipamento usado nas mesmas condições. Este valor difere do valor contábil.

b) No valor do equipamento proposto devem ser computados todos os custos, inclusive o de instalação.

$B =$  Retorno percentual anual do investimento

$C =$  Percentagem anual de depreciação

*D = Percentagem anual correspondente a impostos e seguros.*

*E = Custo total anual, em Real, de manutenção.*

*F = Custo total anual, em reais, de energia, peças trocadas e compras várias.*

*G = Custo total anual, em reais, do espaço ocupado pelo equipamento.*

*H = Custo total anual, em reais, da matéria-prima.*

*I = Custo total anual, em reais, da mão-de-obra indireta.*

*J = Custo total anual, em reais, da mão-de-obra direta.*

*K = Custo fixo total anual, em reais,  $K = A (B + C + D)$ .*

*L = Custo total anual, em reais, da produção anual do equipamento.*

*$L = K + E + F + G + H + I + J$*

A segunda fórmula a ser considerada é a empregada no método MAPI, que leva também em consideração fatores financeiros relacionados com a reposição de máquinas e equipamento. A conceituação desta fórmula pode ser resumida no seguinte: à medida que aumenta o número de horas de utilização de uma máquina, o seu custo de capitalização decresce, enquanto sua inferioridade produtiva relativa aumenta. Obviamente, o ponto no qual a soma do custo de capitalização com a inferioridade produtiva é mínima, representara a ocasião ótima para a reposição.

A fórmula geral MAPI exprime a soma das médias atualizadas do custo de capitalização e da inferioridade operativa, para uma determinada vida útil. O ponto de prejuízo mínimo é dado por substituições sucessivas, na fórmula, de vários valores de vida útil, até que seja atingido o mínimo.

O ponto de prejuízo mínimo é o valor mais baixo da soma das médias atualizadas do custo de capitalização e da inferioridade operativa que pode ser obtido, para determinada máquina. O custo de capitalização é a média anual do retorno de capital, com juros.

Soma do custo de capitalização com a inferioridade operativa =

$$G(n - 1)/2 + n - 1/n + i(c + s)/2$$

*g = gradiente de inferioridade operativa anual, em reais (índice de aumento da inferioridade);*

*n = tempo de serviço, em anos;*

(\*) *Dynamic Equipament Policy*, G. Terborgh (McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1949).

$c$  = custo inicial, em reais;  
 $s$  = valor residual (sucata), em reais;  
 $i$  = juros, em decimais.

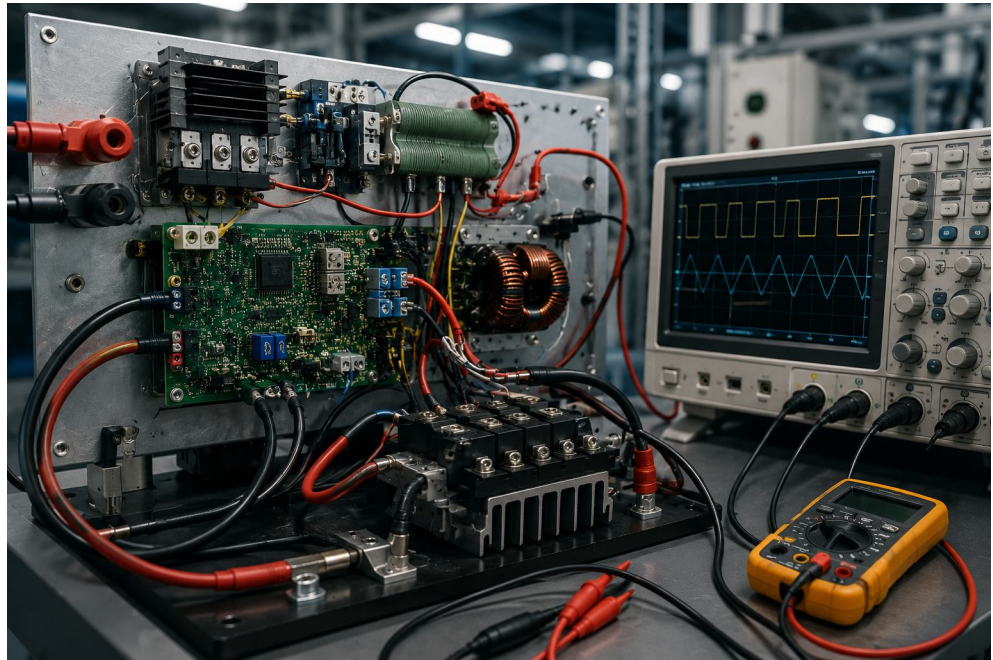
Também pode ser usada a seguinte fórmula, que não leva em conta o valor residual:

$$\text{Prejuízo mínimo} = \sqrt{2cg} + ic - g/2n \quad (*)$$

Neste artigo mostramos alguns dos métodos que podem ser utilizados na análise matemática das frequências de inspeções preventivas, procurando estabelecer bases científicas para as decisões, em substituição à “experiência”. Acredito ter realçado bastante a importância do emprego de informações, cientificamente obtidas, nos julgamentos e decisões relativas às frequências de inspeções preventivas e à reposição de máquinas através do qual são eliminados muitos erros induzidos por informações inexatas e confusas fornecidas por supervisores não capacitados para isto.

### **Bibliografia**

Manual de Manutenção Preventiva VOLUME 3, pgs 63, 64, 65,66, 67, 68, 69, 70, Bernard T. Lewis, B. S., M. A. Gerente, Setor de Engenharia Industrial, Escritório de Obras Públicas, Nova York, Departamento da Marinha. Professor Adjunto Assistente de Gerência de Manufatura, Divisão de Educação Geral do Instituto de Gerência, Universidade de Nova York e Departamento de Administração de Empresas, The City College, da Cidade de Nova York. E William W. Pearson, B. A., M. A. Diretor Assistente, Instituto de Gerência, Divisão de Educação Geral, Universidade de Nova York. DENISA-Demétrio Nicolau S.A. – Planejamento e controle. Primeira edição brasileira julho de 1965. Título Original em inglês: Management Guide for Preventive Maintenance. Novembro de 1960. Brooklin, Nova York. Editado por: John F. Rider Publisher, Inc., New lork. Copyright por: “John F. Rider Publisher, Inc., New York”. Tradução de Arthur Luiz de Amorin Nobrega Engenheiro de Produção.



# Como Testar o Chopper das Fontes Chaveadas

**Luis Carlos Burgos**

Transformadores empregados em fontes chaveadas ou inversores, frequentemente denominados "choppers", utilizam núcleos de ferrite para operar eficientemente em frequências elevadas, que variam de dezenas de quilohertz (kHz) a alguns megahertz (MHz). Essa característica é fundamental para a compactação e o desempenho desses dispositivos.

Uma particularidade construtiva desses transformadores reside na formação de seus enrolamentos. Cada espira é composta por múltiplos fios condutores de menor diâmetro, em vez de um único fio de maior bitola. Essa abordagem visa mitigar o Efeito Pelicular (também conhecido como "skin effect"), um fenômeno físico onde, em altas frequências, a corrente elétrica tende a circular predominantemente pela superfície externa do condutor, e não por toda a sua seção transversal. O Efeito Pelicular provoca um aumento significativo da resistência efetiva do condutor, resultando em perdas de energia por aquecimento excessivo tanto no fio quanto no transformador.

Ao empregar múltiplos fios finos e entrelaçados (configuração conhecida como fio Litz), a área superficial disponível para a condução da corrente é maximizada, minimizando os efeitos adversos do Efeito Pelicular. Conseqüentemente, o aquecimento do componente é reduzido, otimizando a eficiência e a durabilidade do transformador.

Neste artigo, aprofundaremos o conhecimento sobre esses transformadores, abordando métodos para testá-los e para medir suas indutâncias no enrolamento primário.

### **Transformador Ideal x Real**

Observe na **figura 1** os dois tipos de transformadores, o ideal e o real.

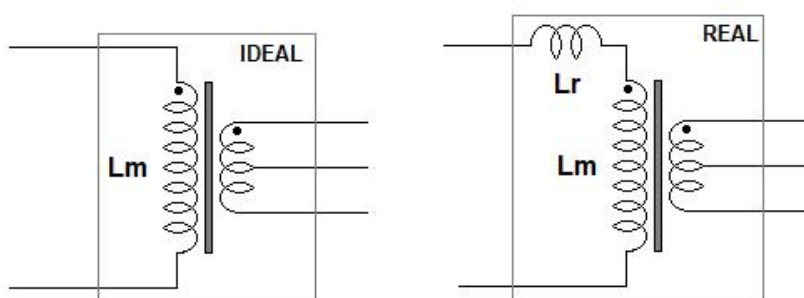


Figura 1

No transformador ideal todas as espiras do primário são envolvidas pelas linhas do campo magnético, formando uma única indutância chamada de indutância magnética indicada por  $L_m$ . Porém no transformador real o primário é dividido em duas indutâncias: A indutância magnética  $L_m$  é a maior delas formada pelas espiras envolvidas pelo campo magnético e a indutância de fuga  $L_r$  é a menor formada pelas espiras não envolvidas pelo campo magnético. Num

conversor tipo Flyback (com um único transistor chaveador) a indutância de fuga é inconveniente pois ela produz um pico de tensão muito alto no transistor quando ele corta e por esta razão o circuito Snubber deve ser muito bem planejado para amortecer tal tensão. Já nos conversores LLC a indutância de fuga é útil pois ela faz parte do circuito tanque quando os transistores e diodos do secundário estão conduzindo, enquanto isso a indutância magnética vai armazenando energia. Quando transistores e diodos cortam a indutância magnética despeja sua energia nas capacitâncias e diodos internos dos transistores fazendo eles chavear em zero Volt (ZVS) e desta forma reduzir bastante o aquecimento destes componentes.

### Testador de transformador Chopper

Nas **figuras 2, 3 e 4**, temos o esquema elétrico bem simples do testador. Ele é formado por três transistores Q1, Q2 formando um Darlington para acionamento do LED e Q3 funcionando como um oscilador de onda senoidal junto com os componentes associados. A bobina do Chopper junto com C2 e C4 formam um oscilador Colpitts. Caso o transformador esteja normal, ele vai oscilar, o sinal gerado passa por C3, terá os semiciclos negativos cortados por D1, os semiciclos positivos amplificados pelo Darlington fazendo o LED piscar rapidamente e o enxergamos totalmente aceso. Se houver alguma espira em curto em qualquer enrolamento do Chopper, a indutância magnética é anulada e a de fuga não é suficiente para o oscilador funcionar, mantendo o LED apagado indicado transformador com defeito.

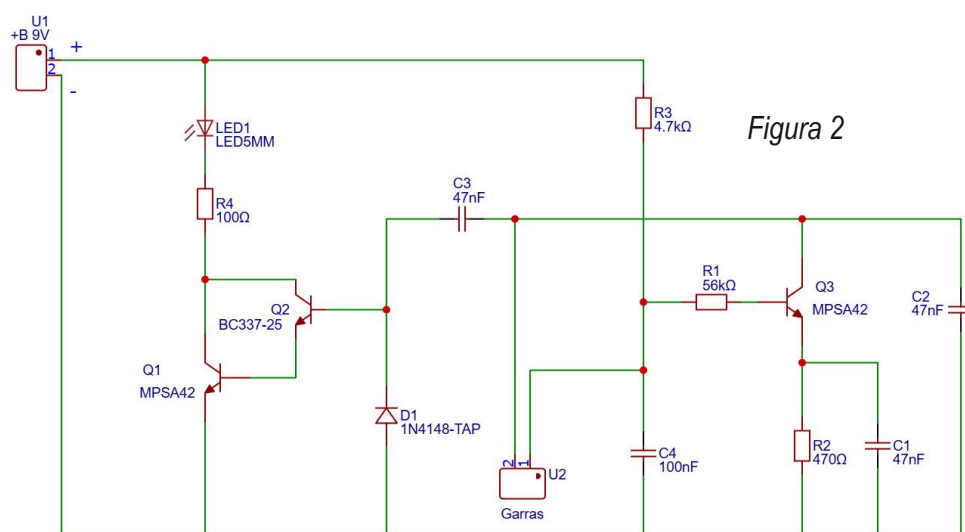


Figura 2

Figura 3

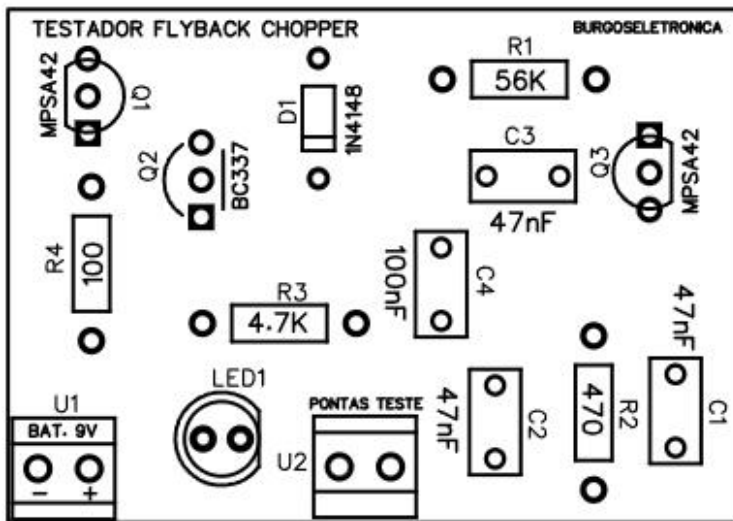
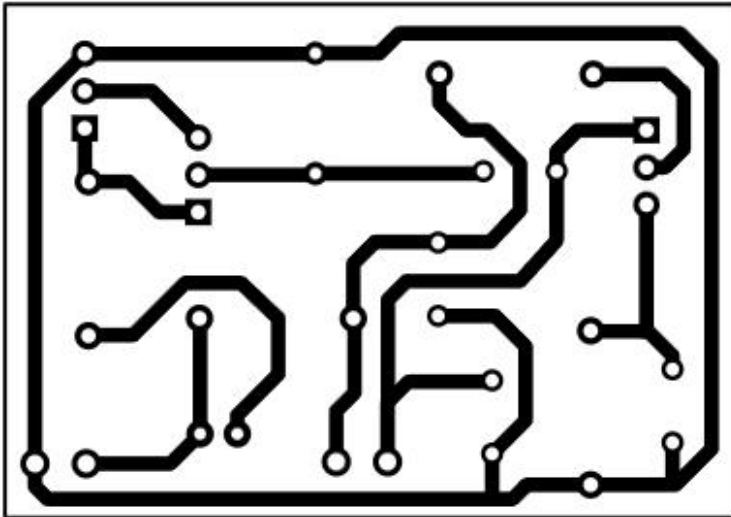


Figura 4

Na **figura 5** temos o circuito montado e em uso no teste de dois transformadores.

Para fazer o teste podemos usar duas ponteiras de prova da mesma cor (pois não tem polaridade) ou duas garras jacaré. O teste deve ser feito nos pinos do primário do Chopper (os mais afastados), porém pode-se testar os pinos dois a dois também. Não é necessário retirar o transformador do circuito, porém a placa deve estar desligada da rede e os capacitores de filtro descarregados. O LED deve acender e permanecer aceso. Se o LED não acender ou apenas piscar sem ficar aceso, há alguma espira em curto no transformador indicando um defeito e a necessidade da troca do componente.

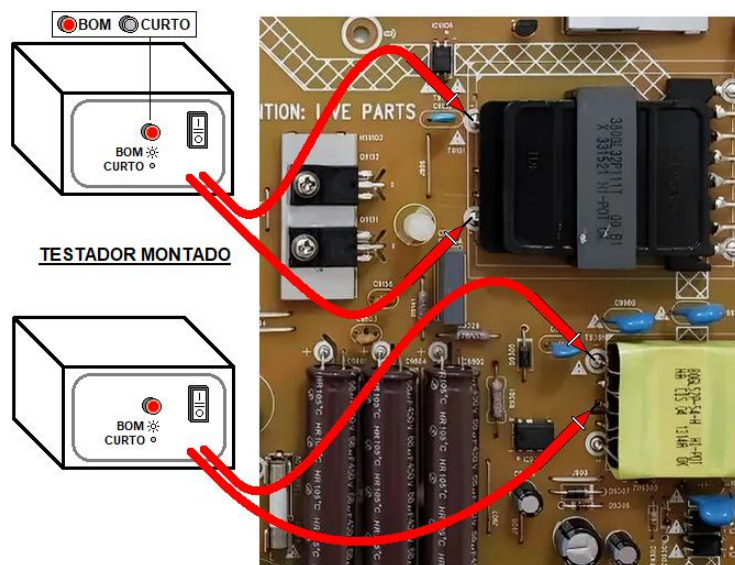


Figura 5

### **Lista de materiais**

- Bateria de 9 V
- Clip de bateria;
- Resistores de 100  $\Omega$ , 470  $\Omega$ , 4,7 K $\Omega$  e 56 K $\Omega$  todos de  $\frac{1}{4}$  W (um para cada valor);
- 3 Capacitores de poliéster de 47 nF x 63 V;
- 1 Capacitor de poliéster de 100 nF x 63 V;
- 2 Transistores MPSA42;
- 1 Transistor BC337;
- 1 Diodo 1N4148;
- 1 Led vermelho difuso de 5 mm;
- 2 Ponteiros ou garras jacaré da mesma cor;
- 1 Placa de circuito impresso padrão ou feita para o circuito proposto;
- 1 Caixa plástica ou metálica para colocação do circuito e acabamento.

### **Como medir as indutâncias do primário do Chopper dos conversores LLC**

O teste será com a fonte desligada da rede e os capacitores de filtro descarregados. Usaremos um osciloscópio e um gerador de sinais do próprio osciloscópio se tiver ou separado. Vamos dividir o teste em duas partes:

a) Medindo a indutância total do primário ( $L_m + L_r$ ) – Coloque o gerador em onda quadrada de 1 KHz e 5 Vpp e o conecte no pino do primário do Chopper ligado no meio dos transistores chaveadores. O osciloscópio em escala de 1 V por divisão deve ficar no pino do primário ligado em série com o capacitor ressonante ( $C_r$ ). Veja as ligações na **figura 6**.

Aparecerá uma onda quadrada com oscilações amortecidas. Pegamos um ciclo desta oscilação e teremos a frequência de ressonância do circuito. Aqui usamos uma placa de fonte da Philips 715G-5778, porém o teste é o mesmo em todos os conversores LLC. Colocando a frequência de 37,31 KHz e o valor do capacitor ressonante  $C_r$  (22nF) neste exemplo em calculadoras online como a deste link:

<https://www.omnicalculator.com/pt/fisica/calculadora-frequencia-de-ressonancia> teremos o valor total da indutância em 827  $\mu$ H.



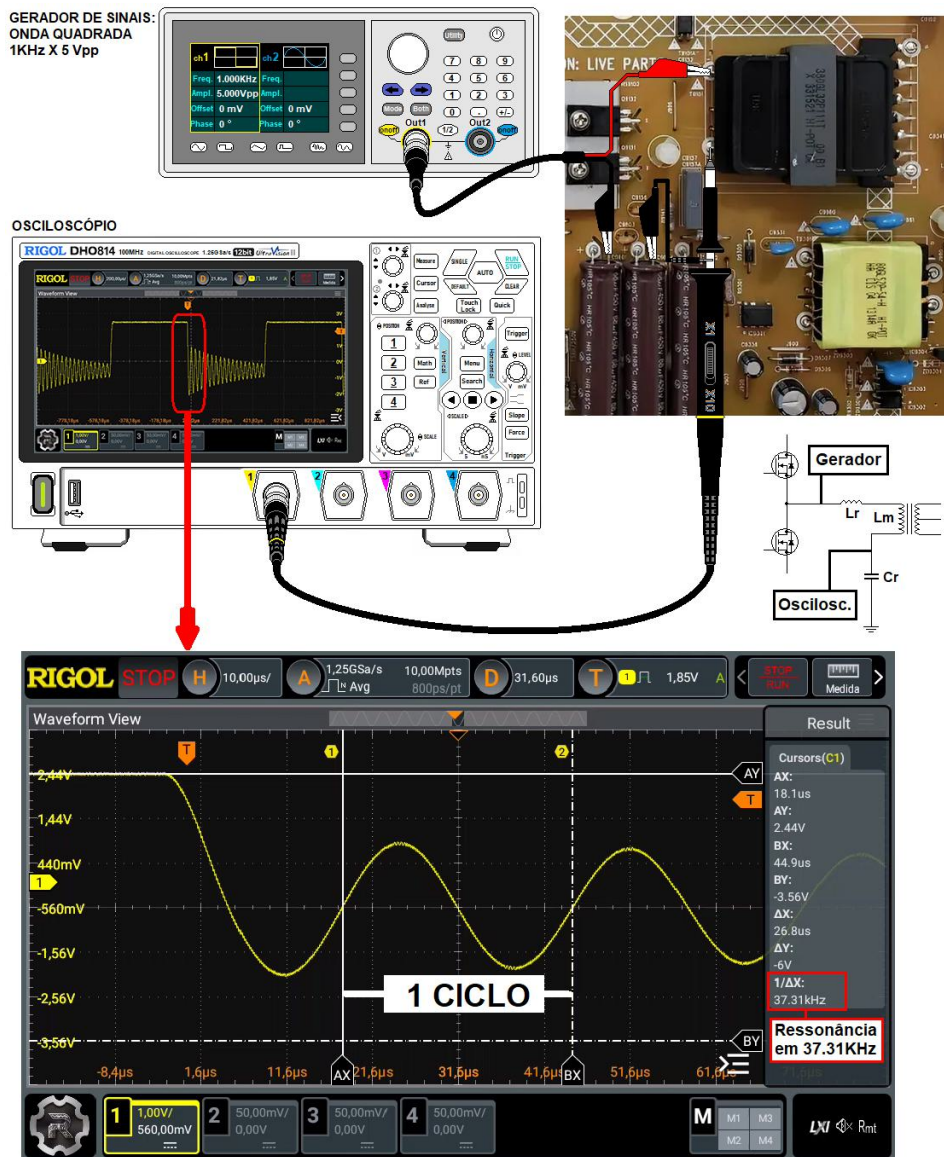


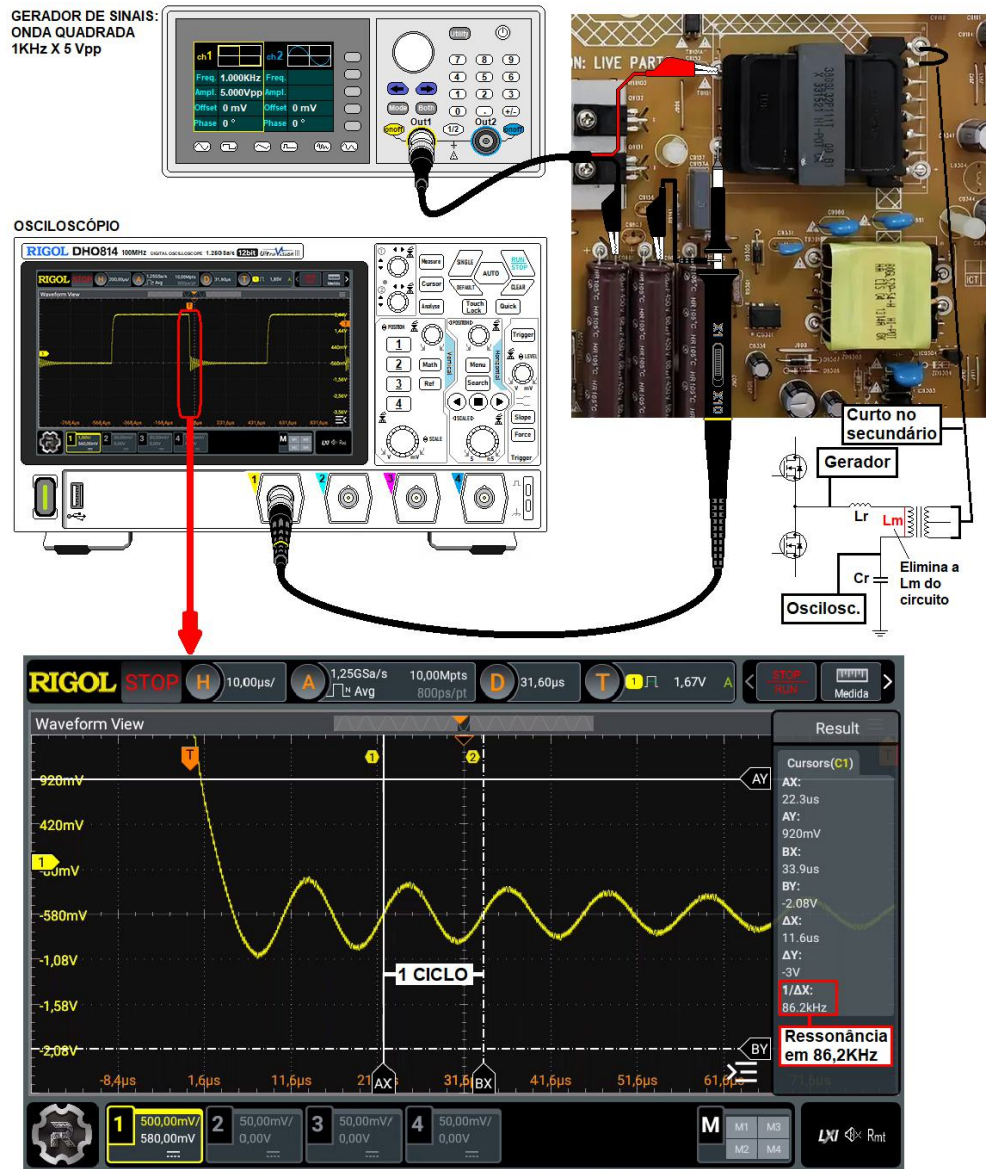
Figura 6

b) Medindo a indutância de fuga do primário ( $L_r$ ) – O procedimento é o mesmo e desta vez colocamos um curto secundário do Chopper com um fio. Veja na **figura 7**.

Colocando o curto no secundário anulamos a indutância magnética  $L_m$ , ficando só a de fuga  $L_r$  no circuito e daí a oscilação ficou mais rápida, aumentando a frequência de ressonância para 86,2 KHz. Colocando os valores junto com o  $C_r$  de 22 nF na mesma calculadora online do link acima obtemos 155  $\mu$ H. Como a indutância total é de 827  $\mu$ H e a  $L_r$  é 155  $\mu$ , logo a  $L_m$  é de 672  $\mu$ H.

### Como medir as indutâncias do primário do Chopper dos conversores Flyback

Aqui usamos apenas um osciloscópio, a fonte deve estar ligada com uma carga na saída, escala de 100 V por divisão e ponteira em X10. Basta medir o sinal no dreno do MOSFET como vemos na **figura 8**.



Quando o MOSFET corta temos duas oscilações: uma bem rápida no começo devido à indutância de fuga e outra mais lenta no final da transferência de energia do primário ao secundário devido às duas juntas. Neste exemplo a oscilação mais lenta é de 609,7 KHz. Usando a capacitância parasita ( $C_{oss}$ ) de saída do MOSFET desta fonte de 25 pF para tensões altas (150 a 400 V), valor encontrado no datasheet do CI oscilador e chaveador, usando a mesma calculadora online obtemos 2,72 mH para as indutâncias  $L_m + L_r$  do primário. Veja na figura 9 o teste feito na oscilação mais rápida devido à  $L_r$ .

Figura 7

Sempre pegamos um ciclo de sinal para este cálculo. No caso da oscilação menor e mais rápida temos a frequência de 4,651 MHz e colocando na mesma calculadora obtemos a  $L_r$  de 47  $\mu$ H. Então como a indutância total do primário foi de 2,72 mH ou 2720  $\mu$ H e a  $L_r$  47  $\mu$ H, resulta na  $L_m$  2673  $\mu$ H. Como observamos os conversores Flyback possuem um chopper com um primário de maior indutância total e menor indutância de fuga, pois como explicado quanto maior for a  $L_r$ ,

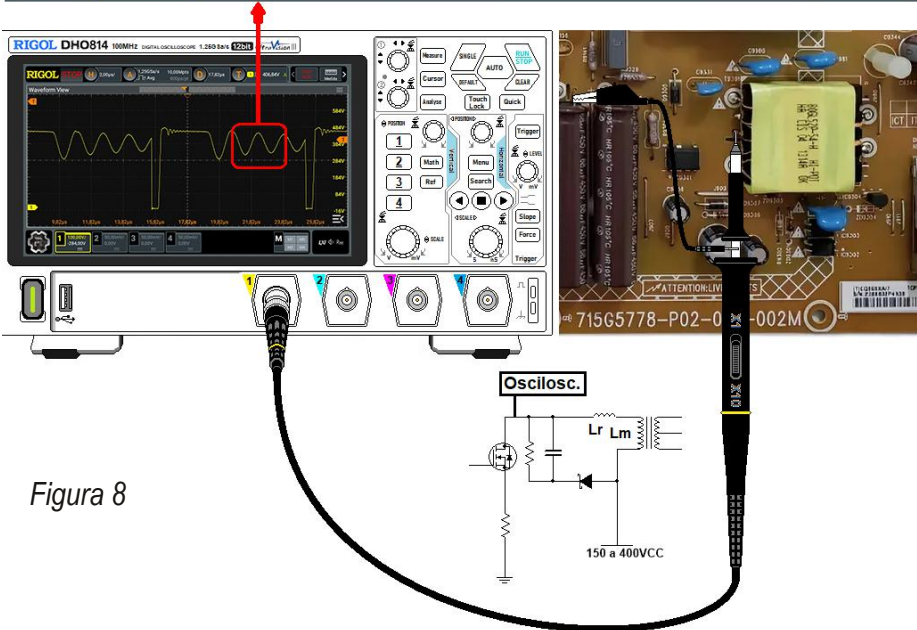
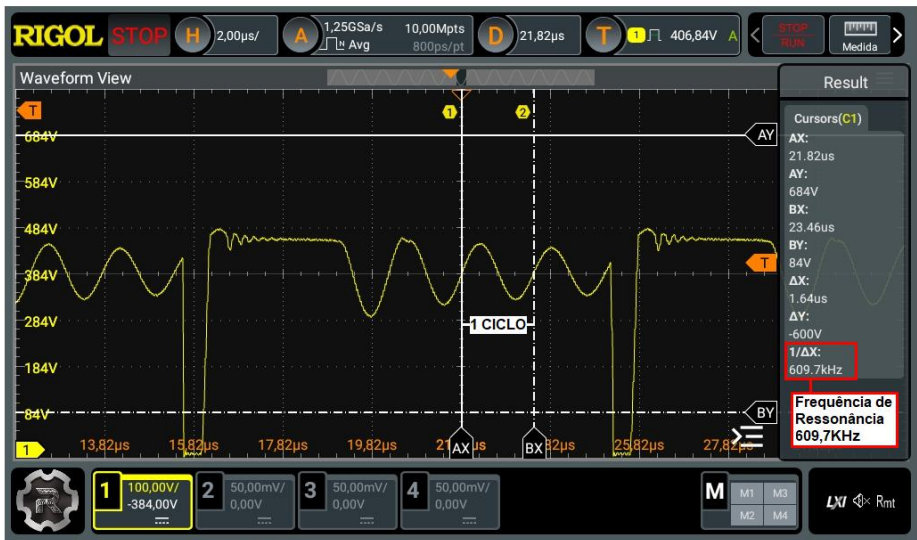


Figura 8

maior será o pico de tensão no dreno do mosfet quando ele cortar e o snubber terá que ser muito bem elaborado. Já o Chopper dos conversores LLC tem menor indutância no primário e maior  $L_r$ , pois nestes a  $L_r$  e a  $L_m$  trabalham em conjunto para o correto funcionamento do circuito. A  $L_r$  atua durante a condução dos transistores e diodos e a  $L_m$  durante o corte dos elementos ativos (dead time) descarregando o  $C_{oss}$  e colocando em condução o diodo interno do próximo transistor a entrar em condução, fazendo-o chavear no modo ZVS, frio sem produzir ruídos, estresse e perdas de chaveamento.

No QR code que acompanha o artigo temos um video exclusivo aos leitores com os testes ensinados aqui na prática. Se quiserem acompanhar é só usar o código ou o link.



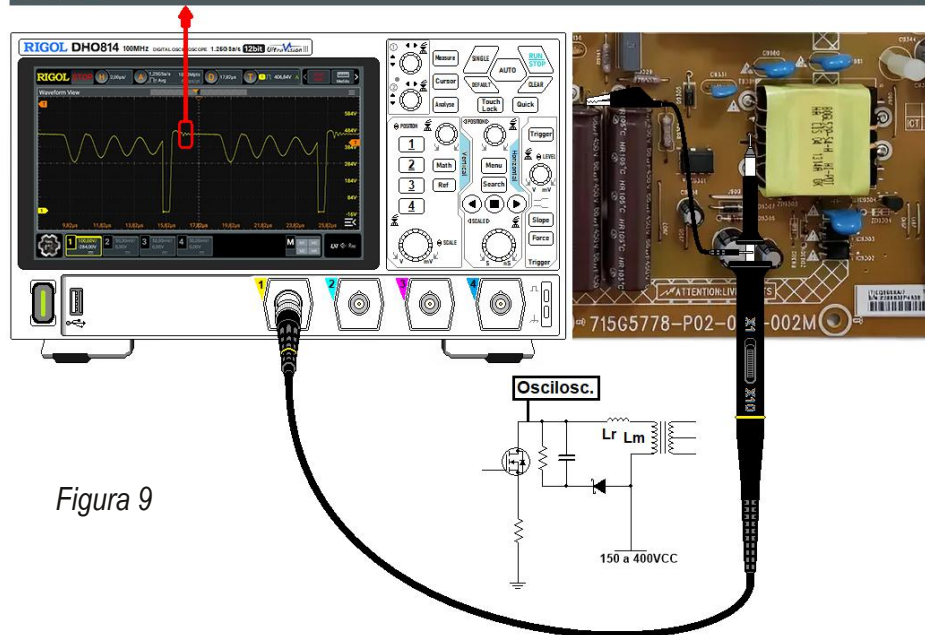


Figura 9

**Link para a aula:**

<https://www.youtube.com/watch?v=kOsu1pz6wl>

A Burgoseletronica Ltda vende cursos e livros técnicos neste endereço:

<http://burgoseletronica.com.br>

Canal no YouTube: [www.youtube.com/c/Burgoseletronica05](http://www.youtube.com/c/Burgoseletronica05)

**Referências**

Efeito Skin - <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-3/more-on-the-skin-effect/> - consultado em 26/03/2026

Efeito Pelicular - Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 2, Junho, 2000 - [https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_285.pdf](https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_285.pdf) – consultado em 26/03/2026

Diagrama da placa de fonte da Philips 715G-5778 testada - <https://pt.scribd.com/document/425299111/715G5778-P03-W21-002M-AOC>