

Introdução a Engenharia Elétrica - 323100

Aula S3

Módulo 3 – GPIO como entradas digitais

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamentos da Engenharia Elétrica



PCS Computação e Sistemas Digitais

PEA Energia e Automação Elétricas

PSI Sistemas Eletrônicos

PTC Telecomunicações e Controle

V1.3

Agosto de 2016



Sumário

- 1. Lei de Ohm e instrumentos de medição.**
2. Protoboard, medidas elétricas e sinais digitais.
3. Aplicação com o microcontrolador.

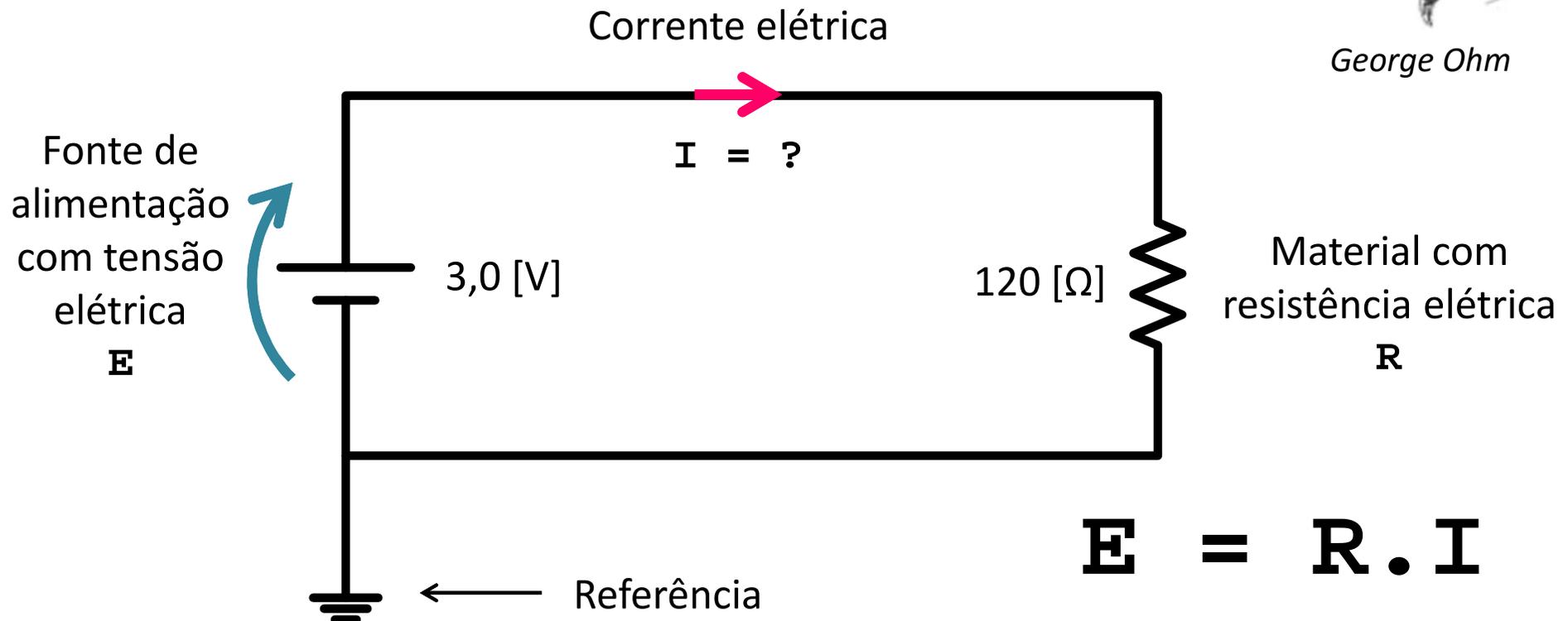


Lei de Ohm

- Um material, quando submetido a uma certa tensão elétrica contínua, permite a passagem de uma certa quantidade de corrente elétrica. A razão entre tal tensão e corrente é denominada de resistência elétrica, medida em Ohms [Ω].



George Ohm

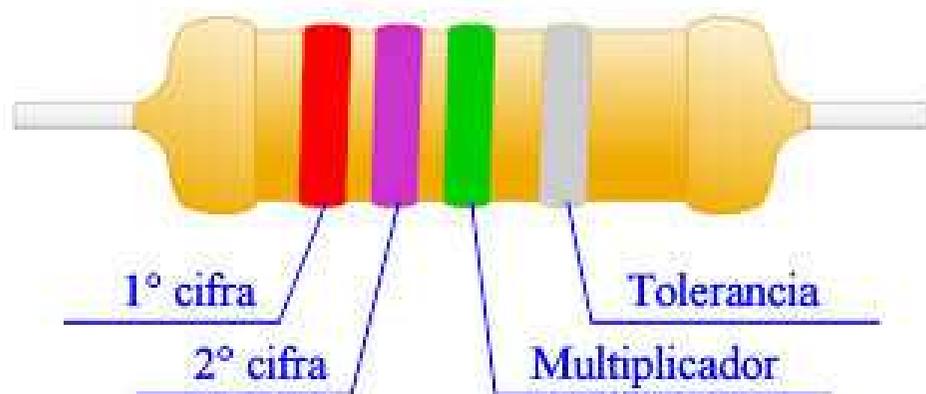




Conhecendo um resistor



- Alguns tipos tem o valor de sua resistência identificados por um código em faixas coloridas.



Cifra	Multiplicador
Preto 0	1
Marrom 1	10
Vermelho 2	100
Laranja 3	1000
Amarelo 4	10000
Verde 5	10E+5
Azul 6	10E+6
Violeta 7	10E+7
Cinza 8	10E+8
Branco 9	10E+9

Tolerância
Ouro ±5%
Prata ±10%

Detalhe de um resistor PTH de 1/8W e tol. de 5%



Vários tipos e tamanhos



Resistor de carbono



Resistores para aplicações Shunt



Resistor de maior potência



Resistor SMD





Instrumentos de medição

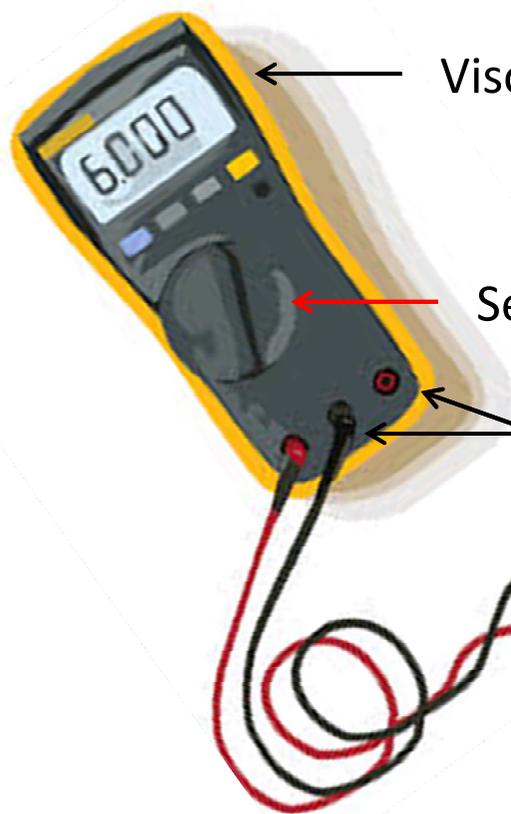
- George Ohm realizou experimentos empíricos para verificar sua teoria, com aparatos complicados para medir tensão e corrente.
- Atualmente dispõe-se de vários instrumentos para o propósito de medições elétricas.





Multímetro digital

- Mede tensões, correntes, resistências, frequências, capacitâncias, ganhos, temperaturas, ...
- Vários tipos, fabricantes, funcionalidades, tamanhos e custos.



← Visor para leitura direta

← Seletor de funções e escalas de medição

← Bornes para conexão das pontas de prova

← Ponta de prova preta

← Ponta de prova vermelha

Pontas de prova são colocadas nos pontos onde deseja-se efetuar as medidas





Cuidados

- Segurar as pontas de prova apenas pelas partes isoladas.
- Não tocar nas partes metálicas.
- Durante as medições em um circuito energizado, deve-se manter as pontas de prova afastadas uma da outra para evitar curto-circuitos.





Multímetro para medição de resistência

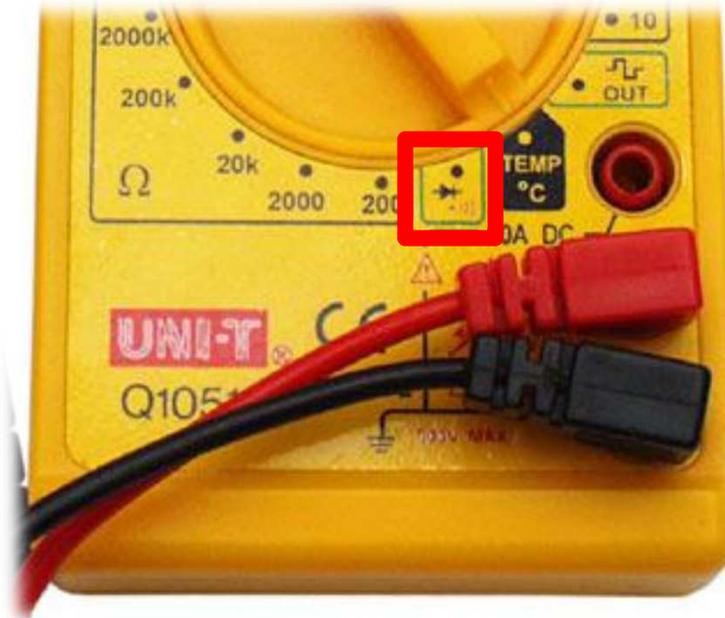
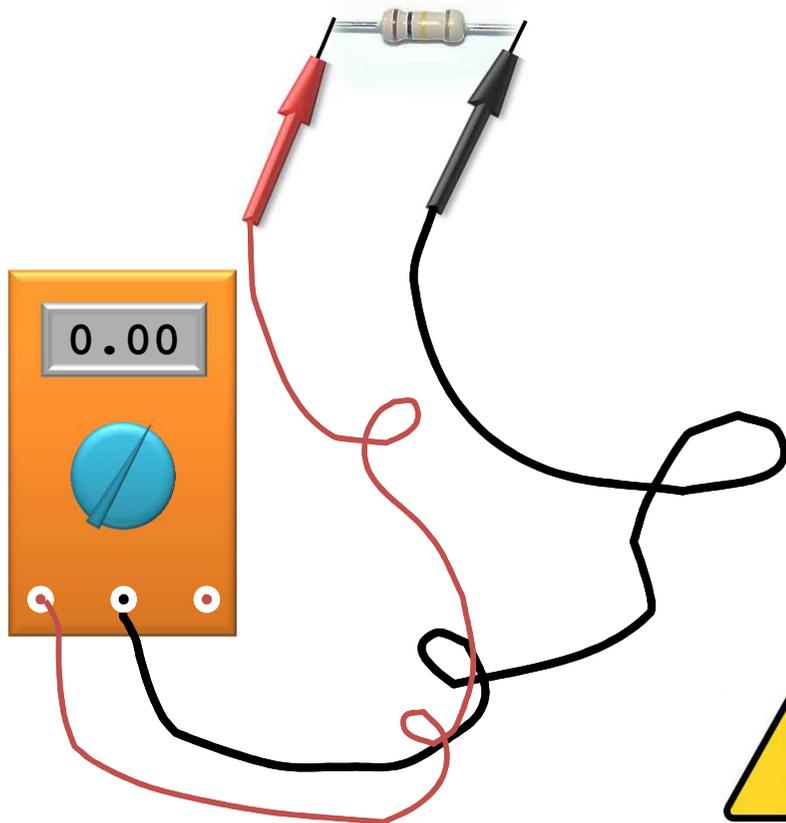
- Ajuste um multímetro para leitura de resistência elétrica, em uma faixa até 200 $[\Omega]$.
- A ponta de prova preta, ficará ligada no multímetro no borne ou terminal COMUM ou COM.
- A ponta de prova vermelha ficará ligada no multímetro no terminal multifuncional denominado V/ Ω (para tensão ou resistência).





Atividade

- Medir a resistência elétrica dos resistores fornecidos para a aula.



- Para a verificação de continuidade elétrica (pequenos valores de resistência), o multímetro conta com uma função que fornece um sinal sonoro, indicando a presença de continuidade elétrica. Teste essa função com os fios elétricos fornecidos.



Atenção: **Jamais tente medir resistência elétrica ou continuidade de um circuito energizado!!!!**





Multímetro para medição de tensões elétricas

- Ajuste um multímetro para leitura de tensões elétricas, em corrente contínua, até uma faixa de 20,0 [V].
- A ponta de prova preta, ficará ligada no multímetro no borne ou terminal COMUM ou COM.
- A ponta de prova vermelha ficará ligada no multímetro no terminal multifuncional denominado V (para tensão).



Atenção: Assegure-se que as pontas de prova estão conectadas aos terminais corretos do multímetro!!!





Fonte de alimentação de bancada

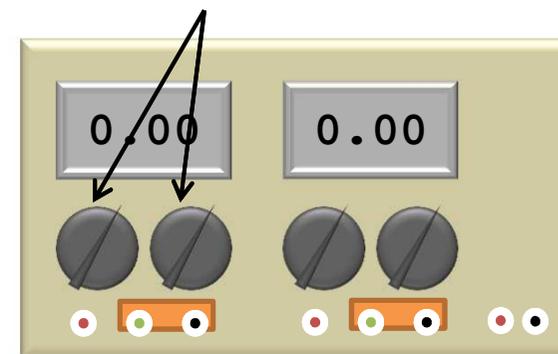
- Ao invés de um suporte de pilhas, os alunos poderão usar uma fonte ajustável de bancada.
- Essa fonte pode possuir mais de uma saída, com ajuste da tensão máxima e da corrente máxima que podem ser fornecidas ao equipamento sob teste.
- Peça ajuda ao professor para ajustar sua fonte. Mantenha a tensão em 3,0 [V].



Uma vez ajustada, cuidado para não alterar seus parâmetros!!!



Ajustes dos limites de tensão e corrente



Saída 1

Saída 2

Saída 3
Não ajustável



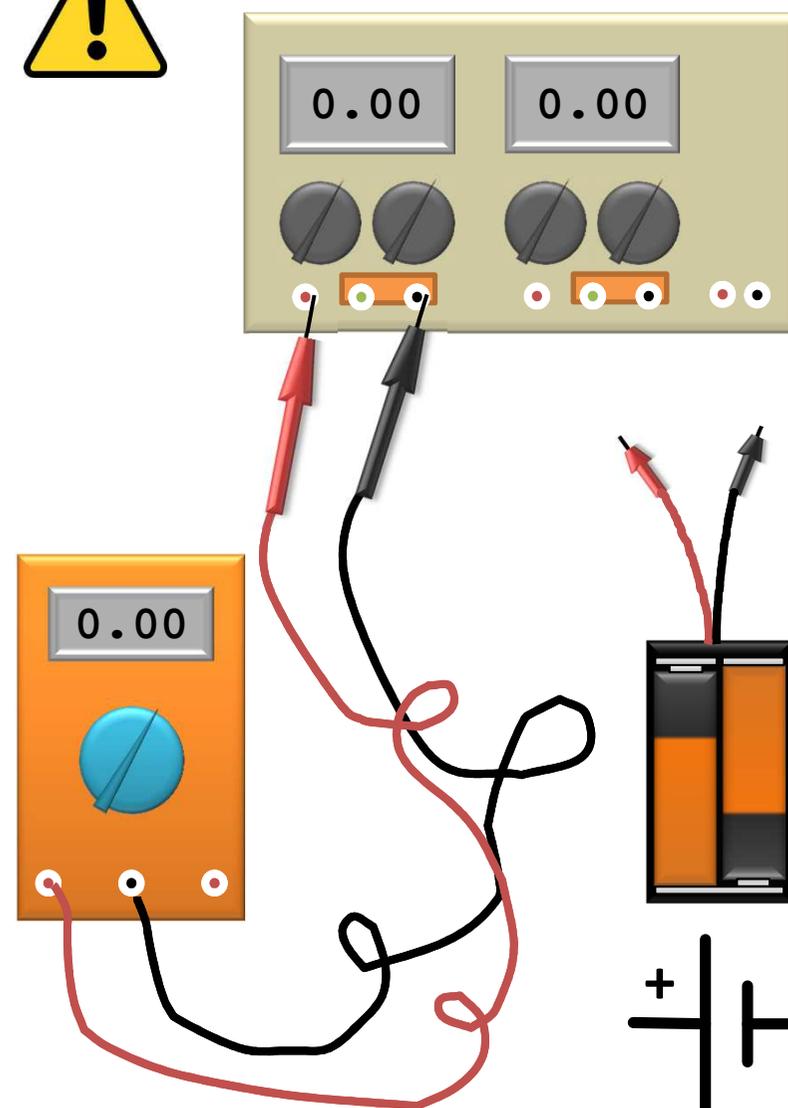
Atividade



Atenção: Assegure-se que o multímetro está na função de medição de tensões elétricas!



- Medir a tensão de uma fonte de alimentação ajustável ou um de conjunto de pilhas.
 - Aplique as pontas de prova aos terminais de saída da fonte
 - Ponta vermelha no terminal vermelho ou positivo.
 - Ponta preta no terminal preto ou negativo.
- No caso da fonte, verifique se sua tensão está ajustada para 3,0 [V].
- Veja o que ocorre quando se inverte a posição das pontas de prova na saída da fonte ou das pilhas.



Atenção: Depois de ajustada não varie mais a tensão na fonte de alimentação.



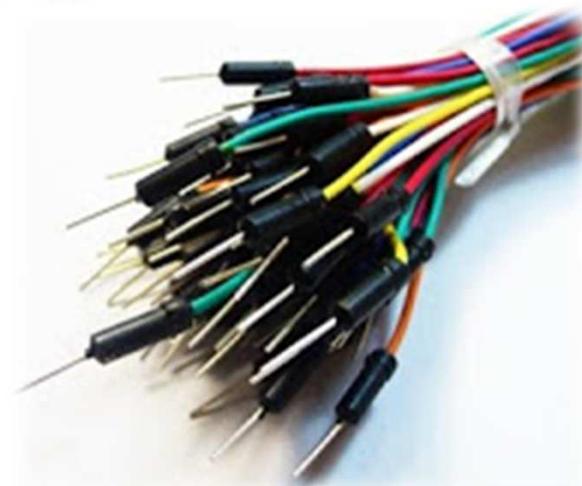
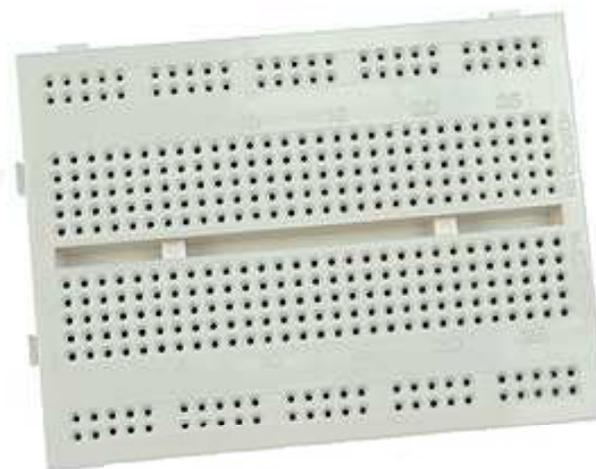
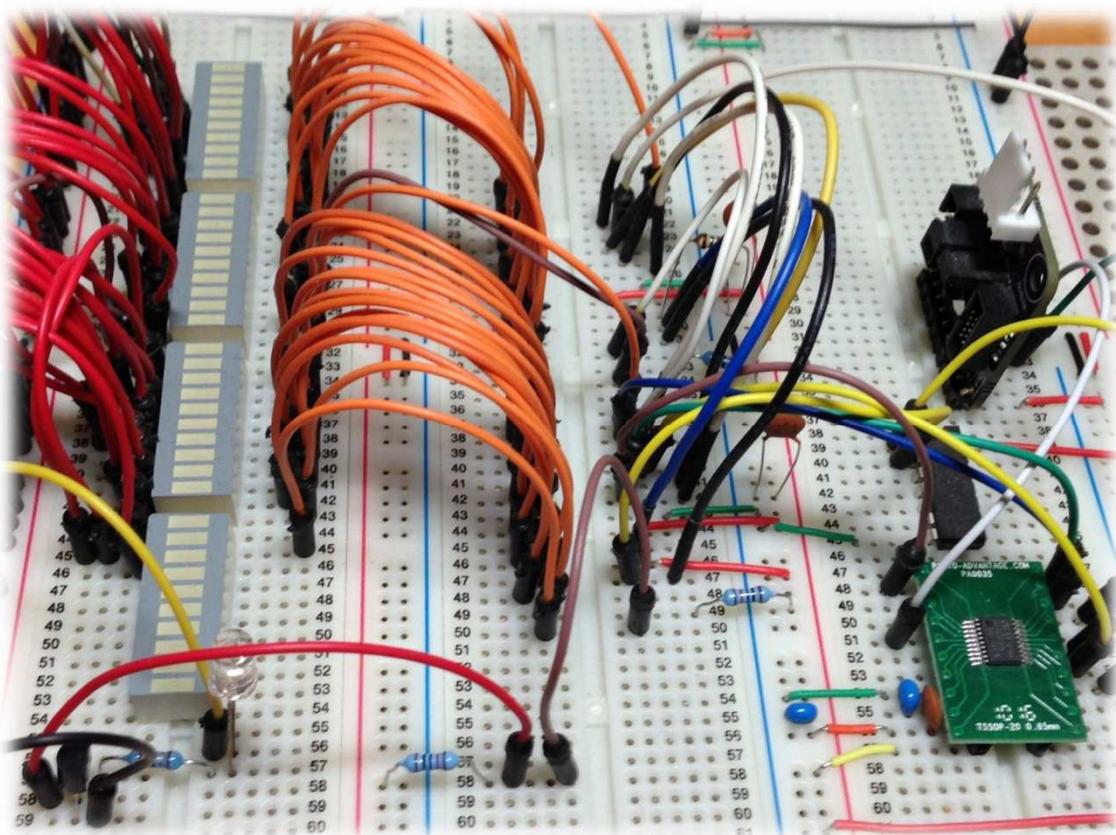
Sumário

1. Lei de Ohm e instrumentos de medição.
- 2. Protoboard, medidas elétricas e sinais digitais.**
3. Aplicação com o microcontrolador.



Protoboard ou placa de prototipagem

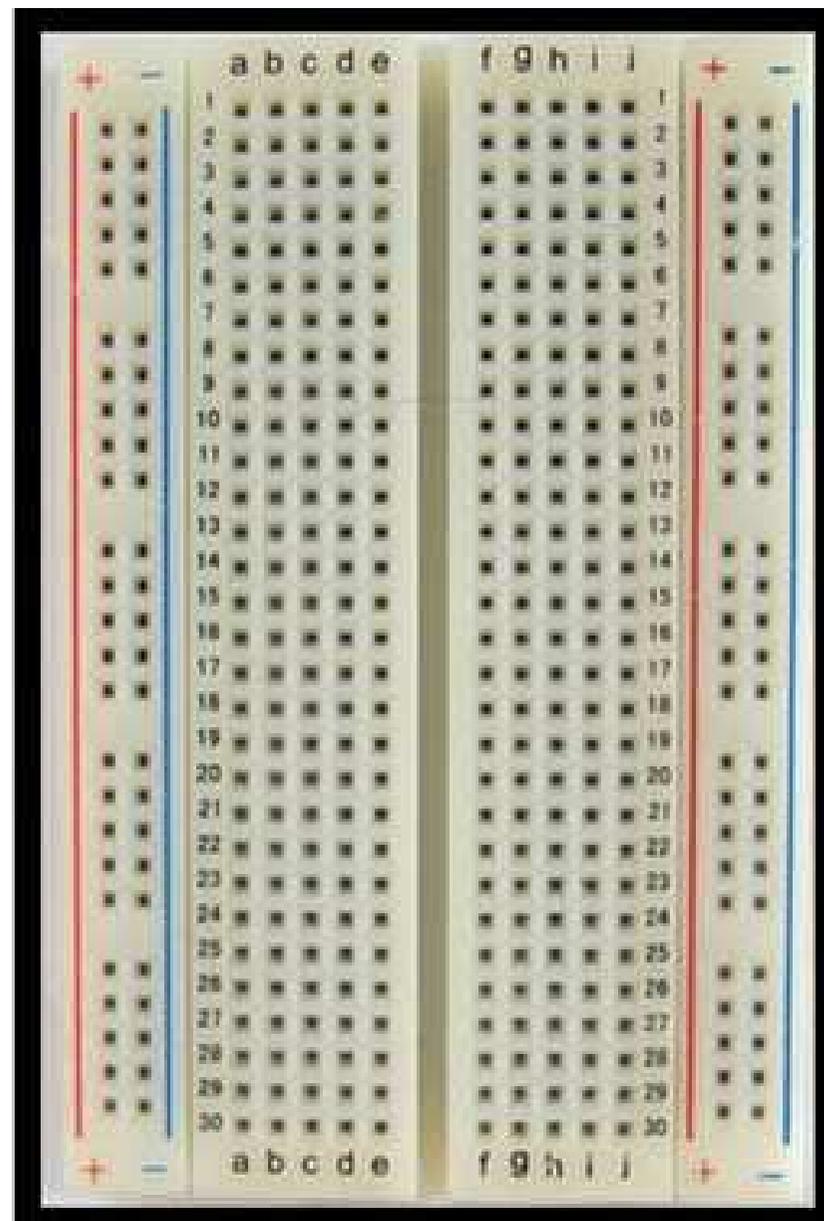
- Permite a montagem rápida de circuitos elétricos, através do uso de componentes, fios e conexões, inseridos em uma **matriz de contatos**.





Visão geral

- Existem orifícios para conexão de componentes e fios elétricos.
- Algumas regiões são usadas para concentrar vias de alimentação e outras para uso geral de componentes.
- Existem ligações internas entre alguns dos orifícios dispostos em uma mesma linha ou coluna.
- Vários modelos e configurações.

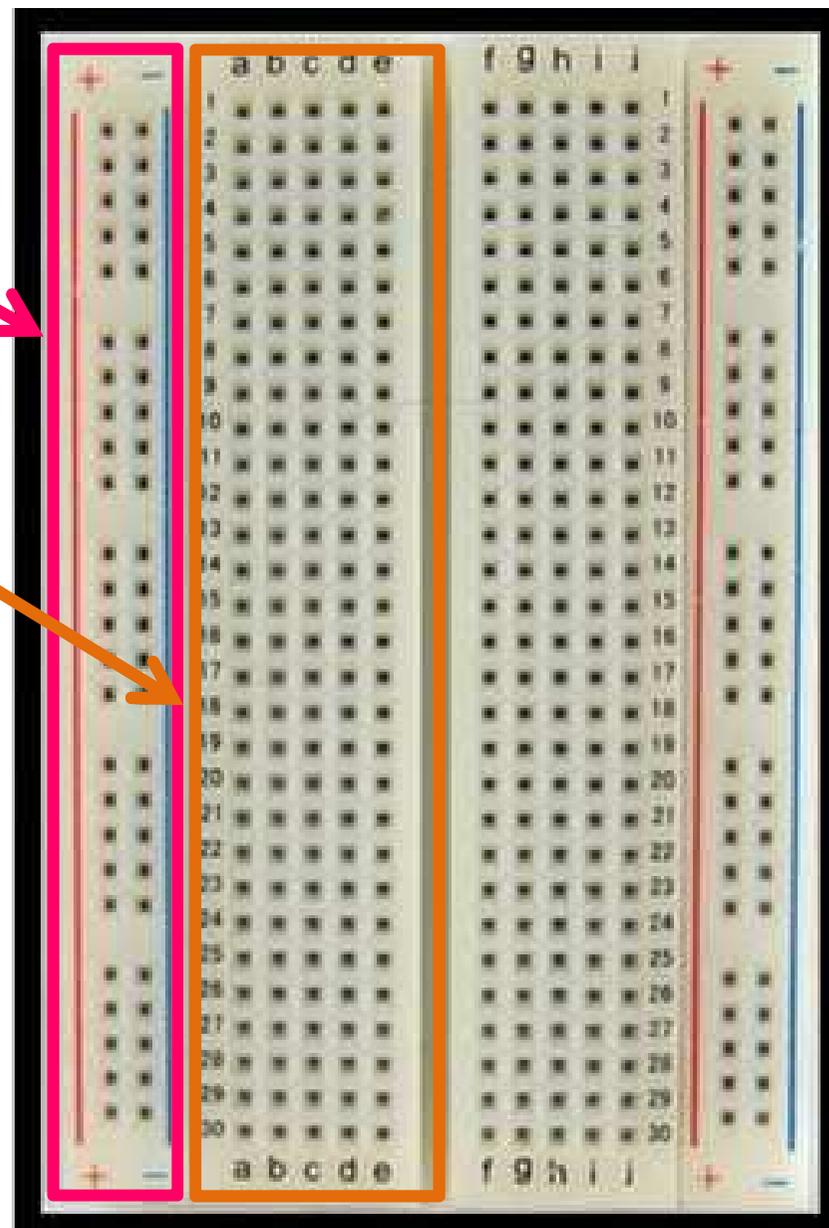




Regiões e locais para conexão

Local ou barramento para vias de alimentação

Local ou barramentos para aplicação de componentes



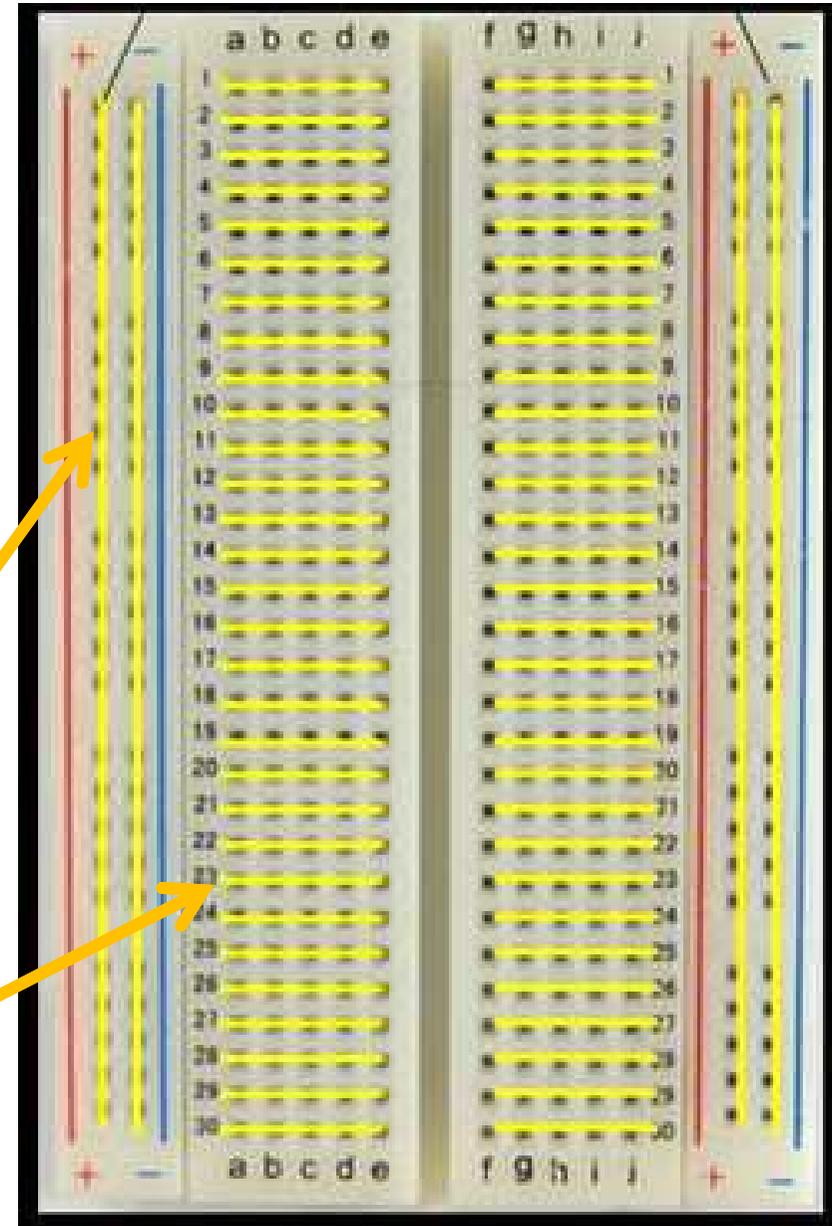


Conectividade da protoboard

- Sob os orifícios da protoboard existem ligações já estabelecidas entre algumas linhas e colunas.

Os orifícios de cada coluna estão todos interligados no barramento de alimentação

Os orifícios em cada linha estão interligados no barramento de componentes



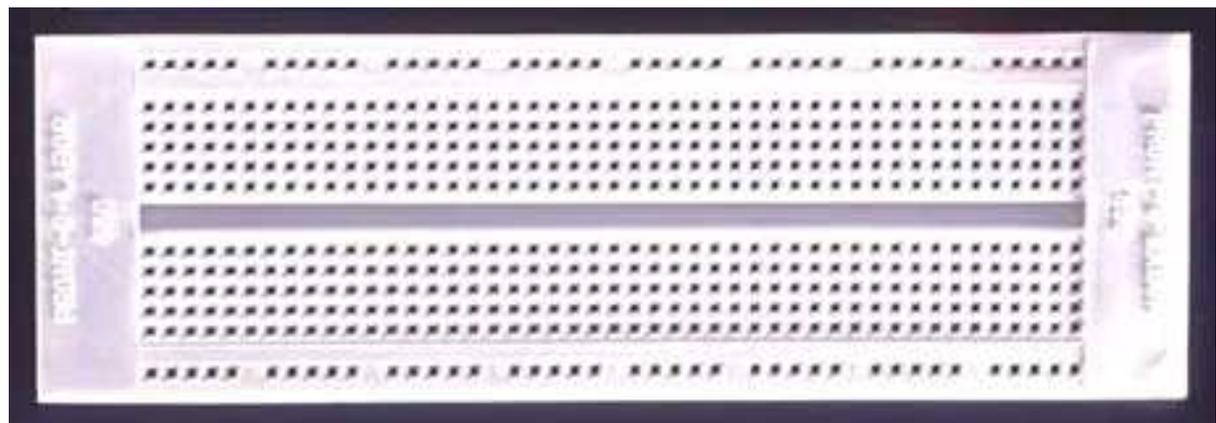
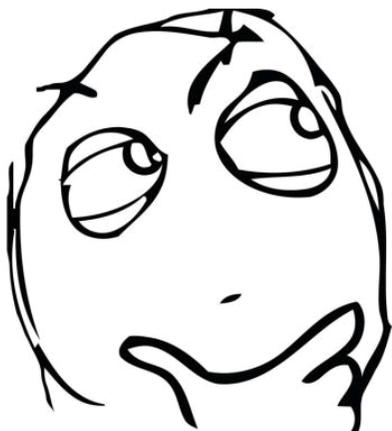


Protoboard em sala de aula

- Existem diversos modelos, cores, tipos e arranjos.
- Antes de fazer qualquer conexão elétrica, assegure-se que as ligações internas da protoboard, em linhas e colunas, estão de acordo com o esperado. Caso contrário você pode criar um curto circuito facilmente e perder tudo...



Atenção: Assegure-se que as conexões internas estão como esperado. Use o multímetro como teste de continuidade e explore sua protoboard antes de qualquer montagem.



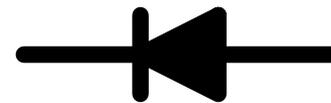


Exemplo de aplicação – montagem de LED

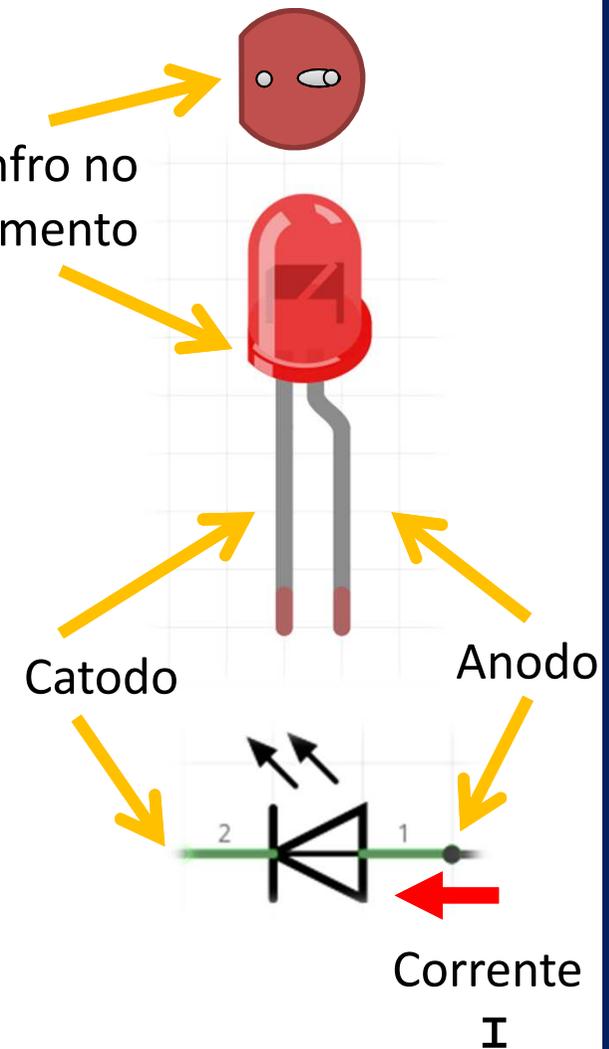
- A partir da fonte, iremos ligar um LED com o uso de uma fonte de tensão, um botão, um resistor e uma protoboard.

Conhecendo um LED

- Diodo Emissor de Luz.
- Bipolo, dois terminais, com polaridade.
- **Acende** se uma corrente percorrer o componente no sentido do anodo para o catodo.
- A corrente **nominal** que pode percorrer o LED é de cerca de 10,0 [mA] (obtendo-se seu brilho máximo).
- Nesse circunstância, esse LED apresenta uma queda de tensão **nominal** de 1,8 [V].



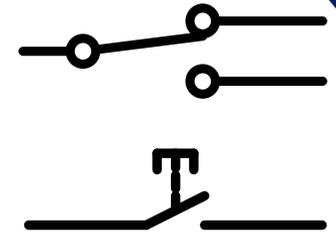
Chanfro no encapsulamento





Conhecendo botões e interruptores

- Os tipos comuns de botões possuem contatos elétricos móveis.
- Podem ser do tipo normalmente aberto – NA (sem nenhuma interação humana o contato está desligado, NO – normally open).
- Podem ser do tipo normalmente fechado – NF (sem nenhuma interação humana o contato está ligado, NC – normally closed).
- Podem também ser tanto NA como NF, com retentividade, com múltiplos pólos, etc.

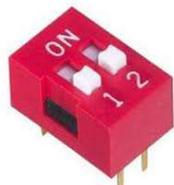


Chave SPDT

Chave DPDT



Dip Switch



Switches miniatura



Micro Switch NA e NF



Push Button
NA



Atenção: Limites operacionais



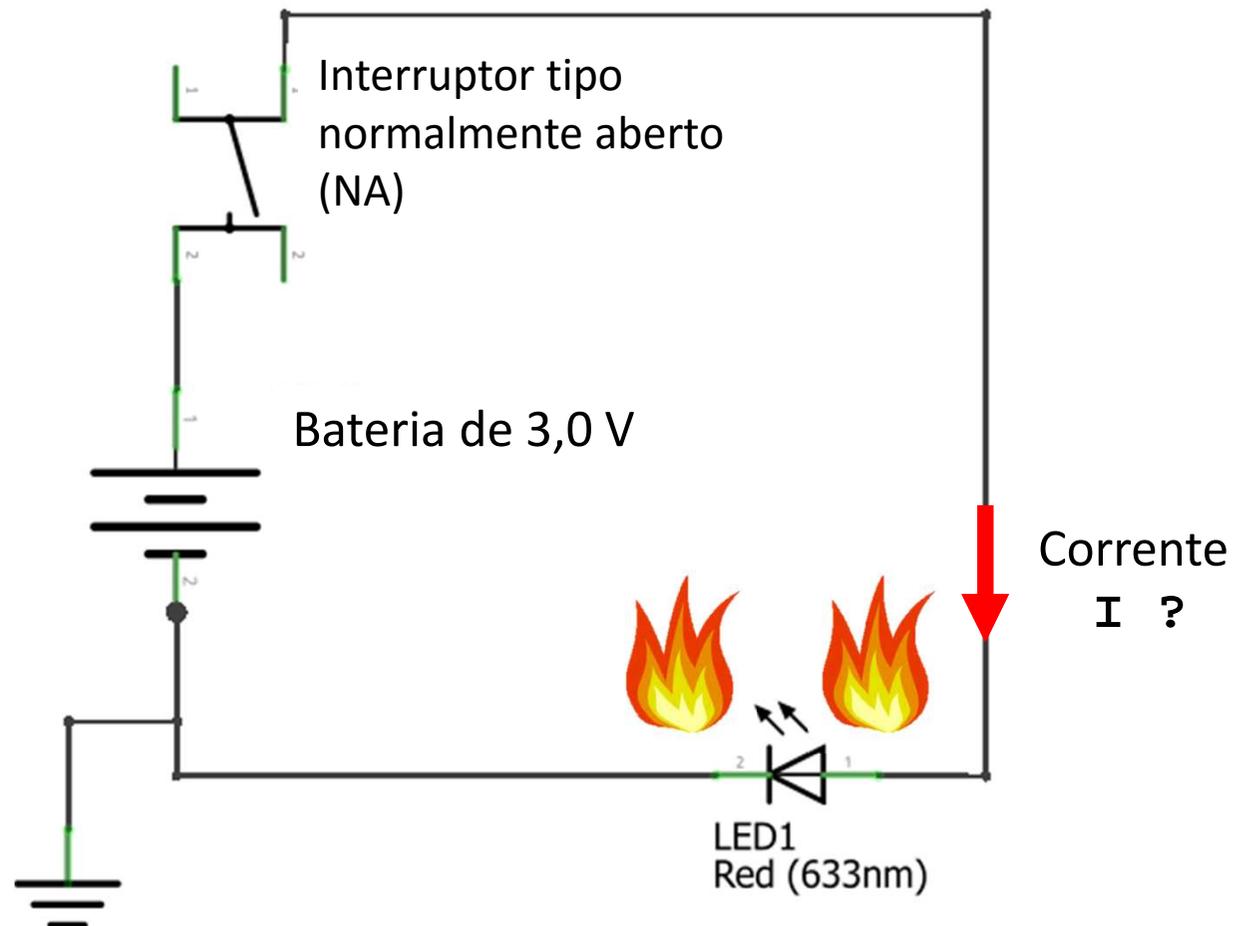
- A **degradação, perda de vida útil** ou até a **queima** de um componente ocorre se houver:
 - A aplicação de uma corrente, tensão, frequência, temperatura, potência, etc. com valores superiores aos limites máximos estabelecidos pelo fabricante.
 - A aplicação de tensões ou correntes em sentido inverso, para aqueles componentes que apresentam polaridade definida.
- O engenheiro projetista deve garantir que todos os componentes elétricos trabalhem dentro de suas condições nominais.
- Tais limites são citados nos *datasheets* dos componentes.





Circuito **ERRADO** para ligar um LED

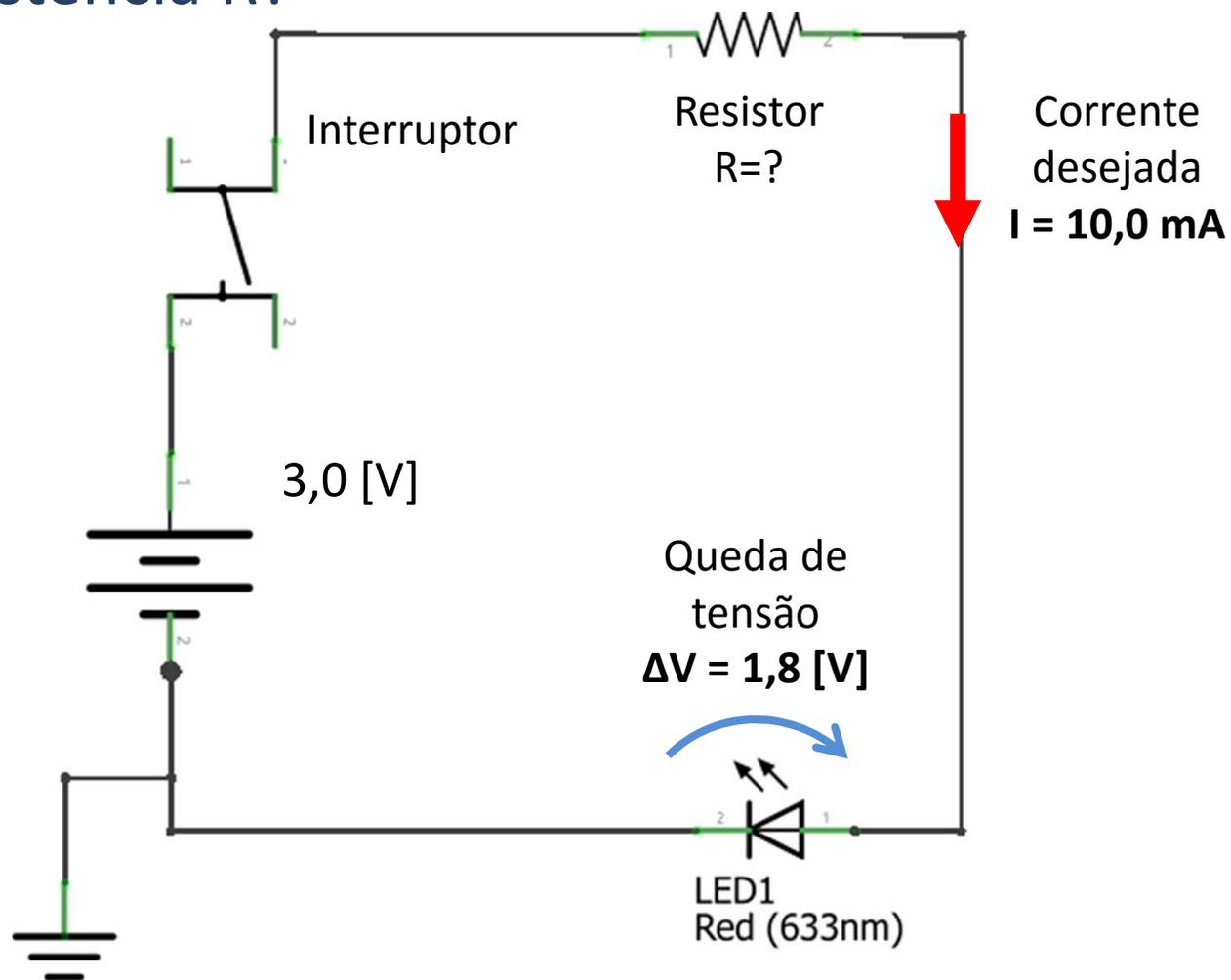
- O LED não pode ser ligado diretamente a uma fonte de tensão maior que sua tensão nominal.
- Ex: LED com fonte de 3,0 V.
- Circuito com pouca resistência.
- Corrente elevada.
- **Queima do LED.**





Dimensionamento do circuito

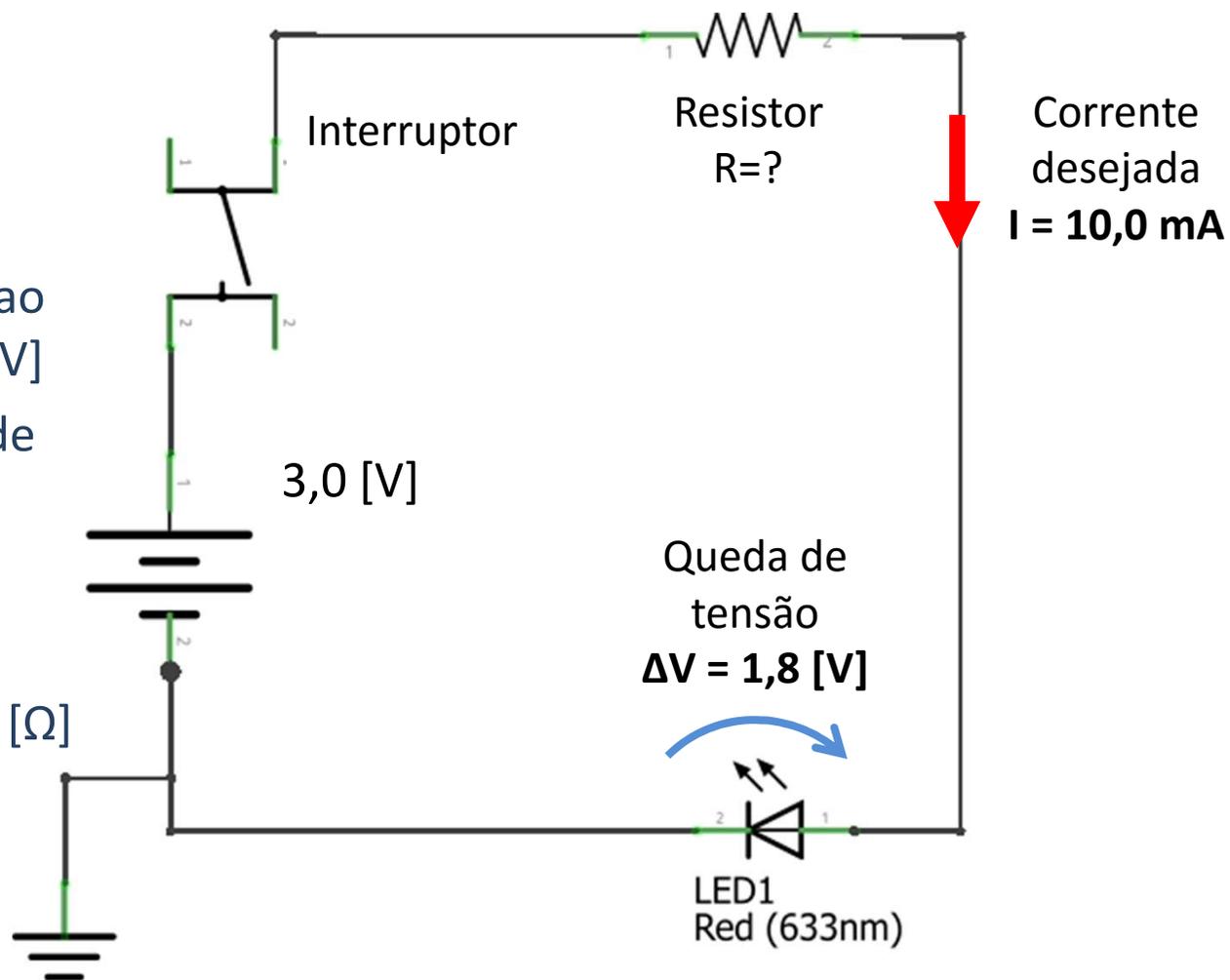
- O LED deve ser ligado em série com um resistor.
- Qual o valor da resistência R ?





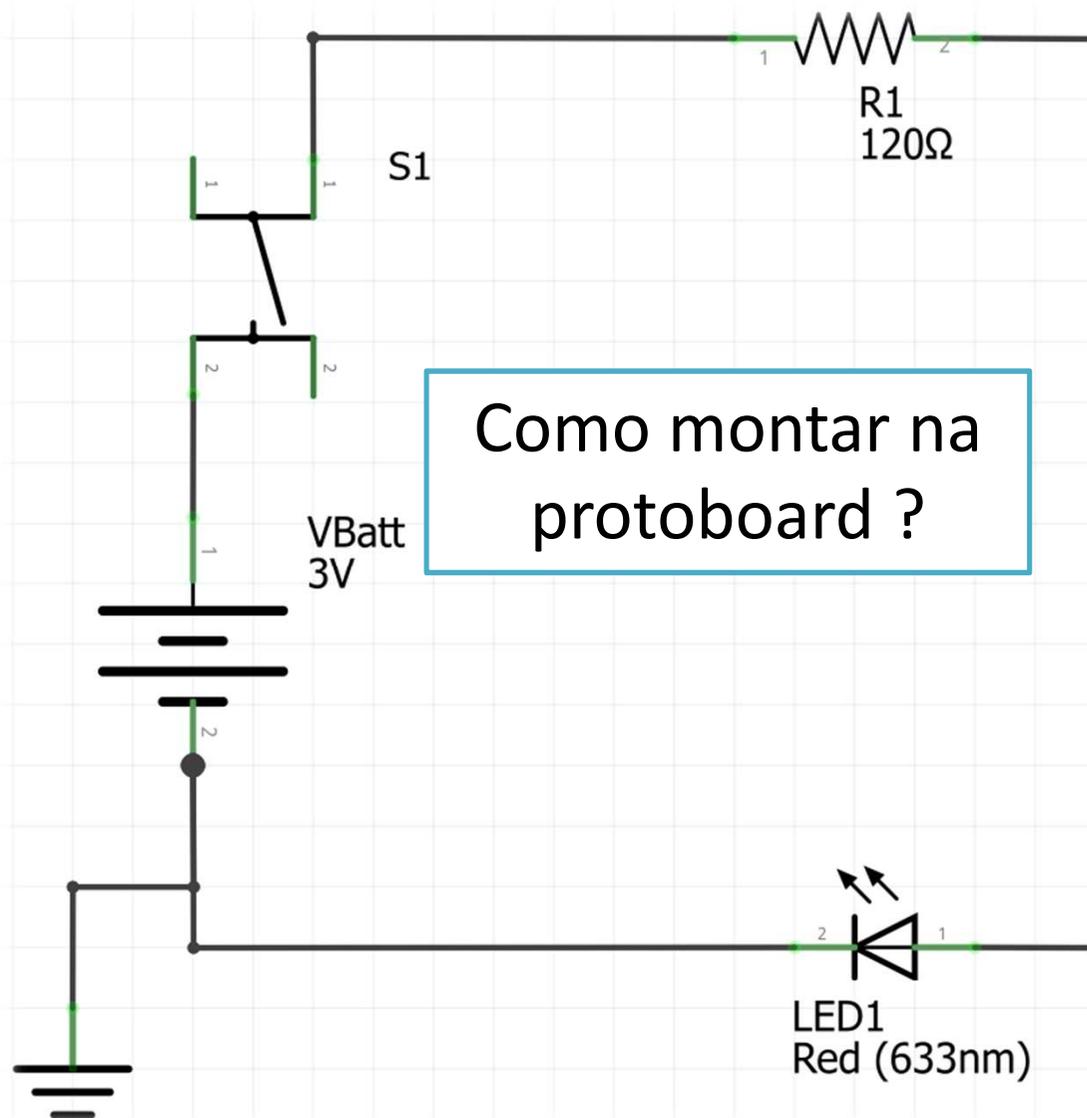
Cálculo do resistor...

- Bateria = 3,0 [V]
- Tensão no LED = 1,8 [V]
- Tensão que sobra aplicada ao resistor $V = 3,0 - 1,8 = 1,2$ [V]
- Corrente desejada no LED de 10,0 [mA]
- Lei de Ohm $V = R \cdot I$
- $R = V / I = 1,2 / 0,010 = 120$ [Ω]





Circuito final





Atividade

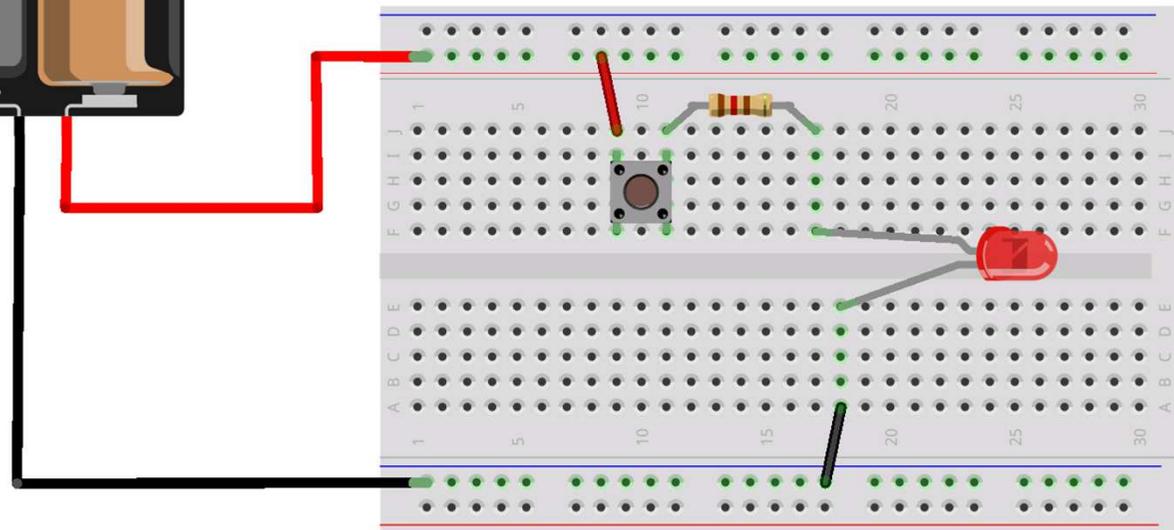
- Monte o circuito de alimentação do LED, usando:
 - Uma protoboard.
 - Duas pilhas AA em um suporte de pilhas, como fonte de 3,0 [V].
 - Um botão micro-switch (identifique seus terminais com teste de continuidade do multímetro).
 - Um LED vermelho.
 - Um resistor de valor adequado (identifique o resistor com a função de ohmímetro do multímetro).
 - Fios e conexões elétricas.



Montando em protoboard de mercado



Ligação de LED na protoboard com chave NA.



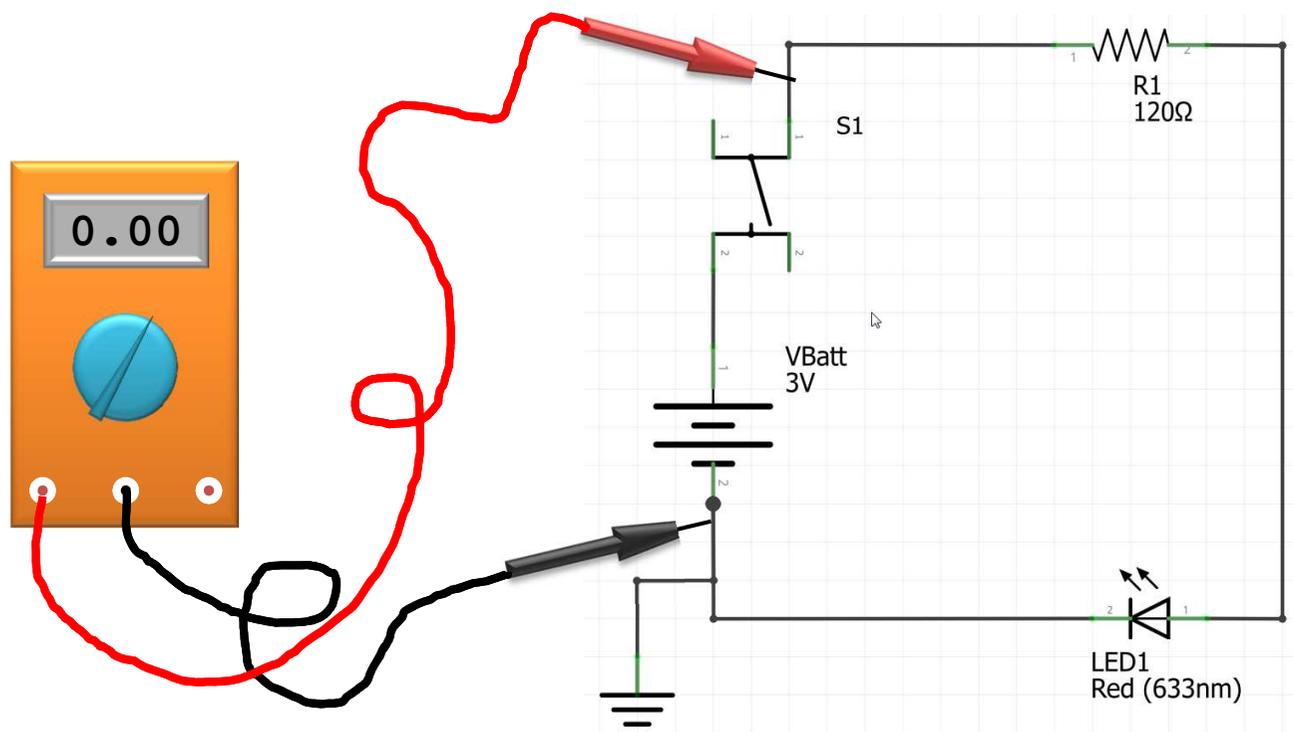
fritzing

Desenho e esquema produzido com o software Fritzing, disponível no moodle.



Para analisar

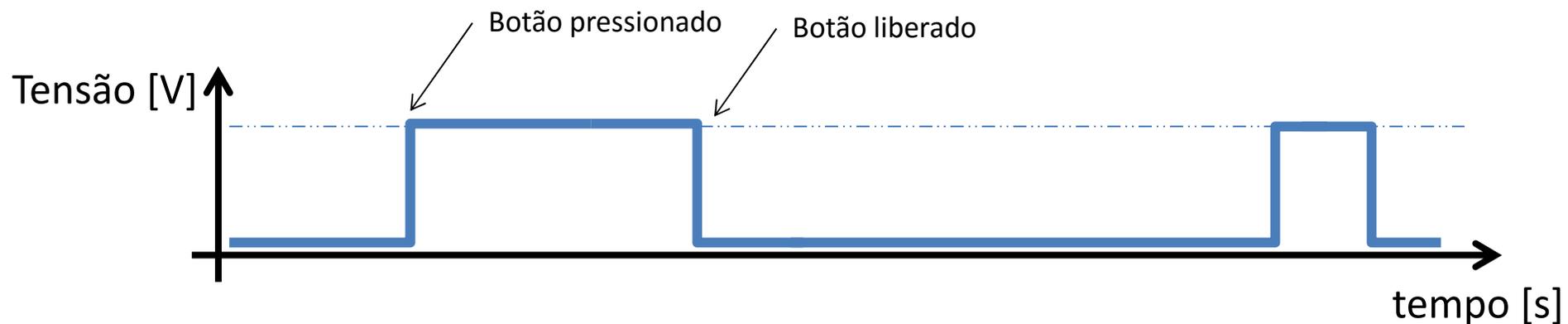
- Medir com o voltímetro em CC...
 - Qual a tensão entre o terminal negativo da fonte e o terminal da chave ligado ao resistor com o botão pressionado? E com o botão liberado?





Sinais digitais

- Pode-se interpretar que as tensões no terminal do anodo do LED, com o botão pressionado ou liberado, estão associadas a níveis lógicos, binários, '1' ou '0'.
 - Botão liberado – tensão próxima de 0,0 V – nível lógico '0'
 - Botão pressionado – tensão próxima de 3,0 V – nível lógico '1'
- Esses sinais são denominados DIGITAIS !!





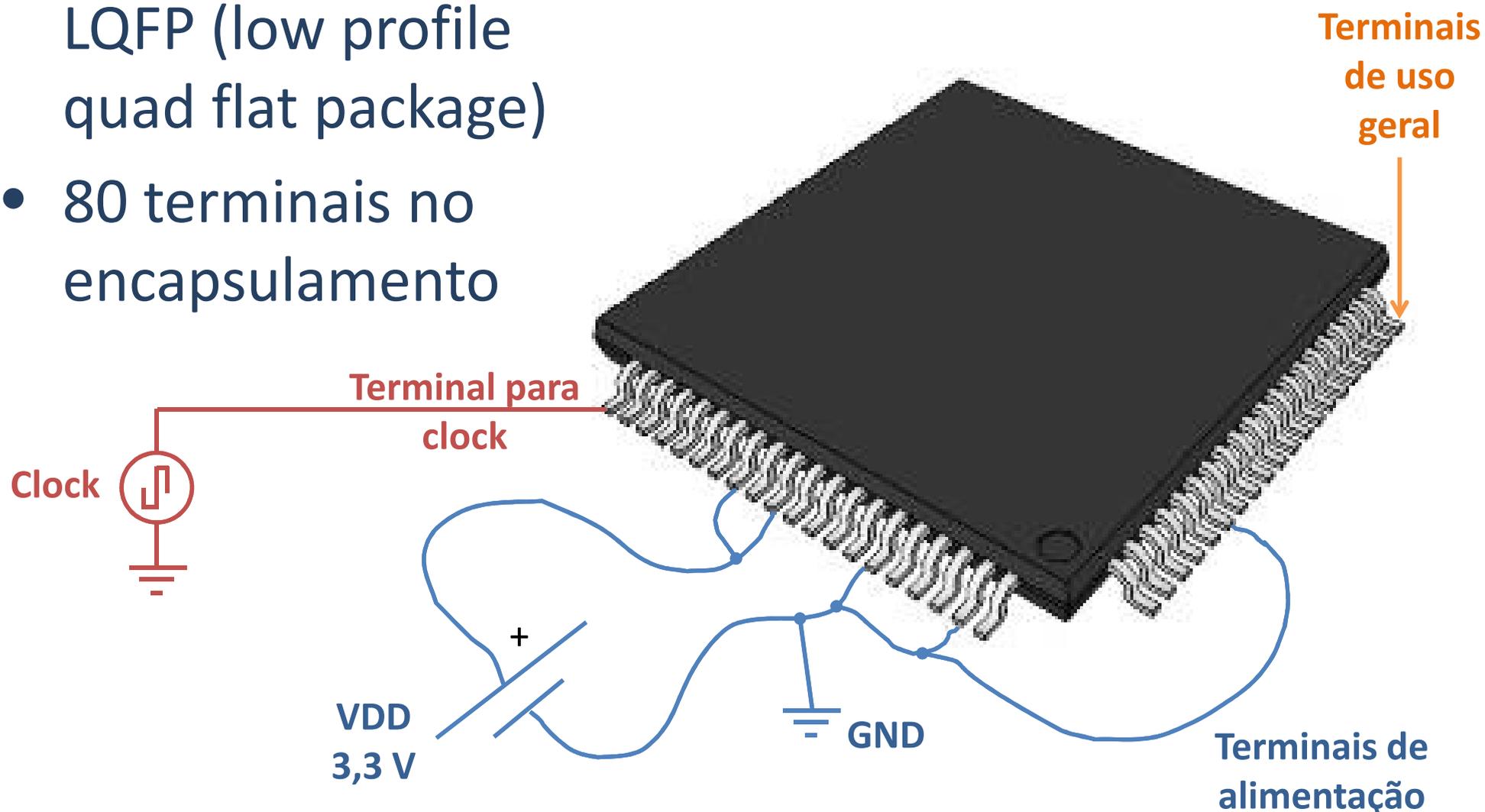
Sumário

1. Lei de Ohm e instrumentos de medição.
2. Protoboard, medidas elétricas e sinais digitais.
- 3. Aplicação com o microcontrolador.**



Terminais ou pinos do microcontrolador

- Encapsulamento LQFP (low profile quad flat package)
- 80 terminais no encapsulamento





Terminais do microcontrolador

- A placa FRDM-KL25Z possui um microcontrolador Freescale Kinetis, com um processador ARM CORTEX M0+, memória interna, etc.
- Esse circuito integrado possui um **encapsulamento com 80 terminais elétricos visíveis**.
- Dos 80 terminais elétricos, alguns são dedicados à alimentação, envio de sinal de *clock* e outros sinais de controle básico do *chip* (sinal de reset, tensões de referência, etc.).
- Outros terminais são de uso geral ou especial.



Terminais “utilizáveis” nesse *chip*

- Dos 80, 66 pinos estão disponíveis para o usuário
- Alguns pinos são dedicados para periféricos especiais, como a porta USB
- Outros pinos são de uso geral, configuráveis como:
 - Entradas, ou
 - Saídas.
- Todos esses terminais livres estão concentrados ou organizados em ***Ports***



Terminais organizados por *ports*

- **Ports**, ou portas, são agrupamentos de terminais em um microcontrolador.
- No KL25Z existem os Ports A, B, C, D e E.
- Cada Port pode ter de 1 a 31 vias ou canais, mas nem todos estão disponíveis.
- São nomeados PTA1, PTA2, PTB10, PTE5, ...

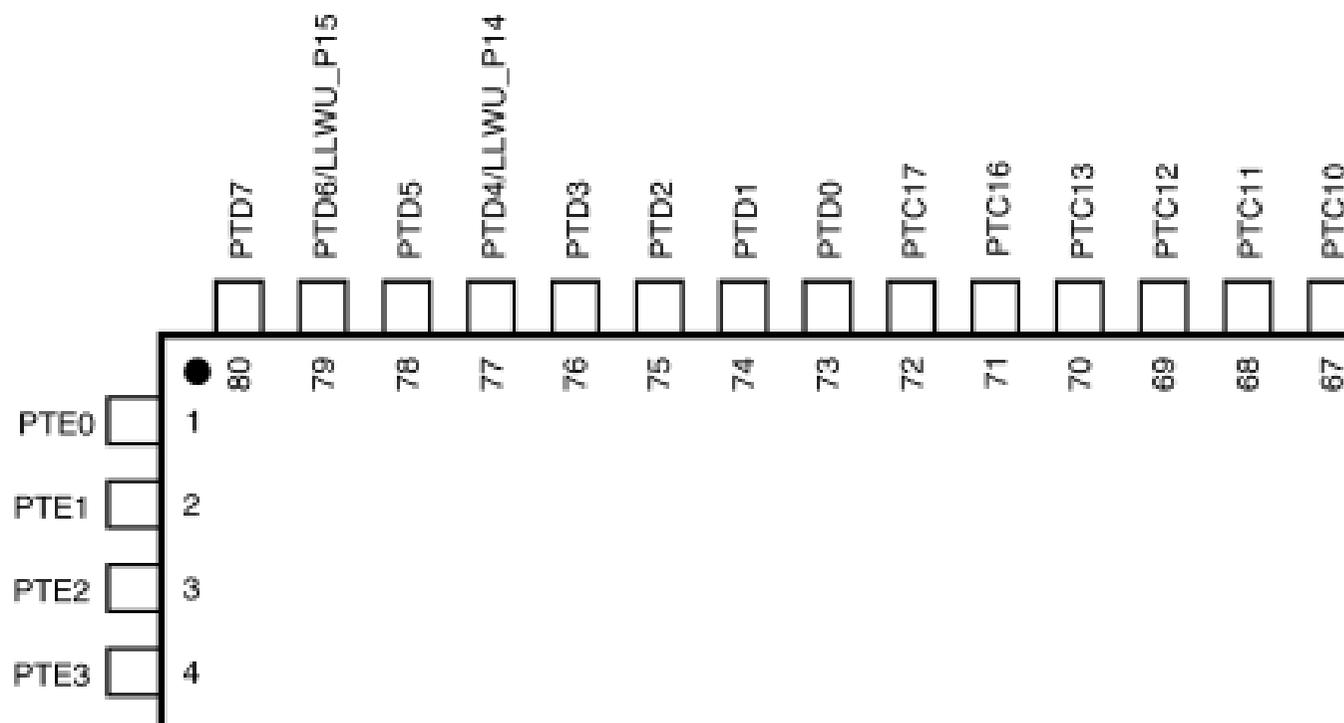
Nome: **PTA1**

Interpretação: **PORT A – via 1**



Disposição dos *ports* no encapsulamento

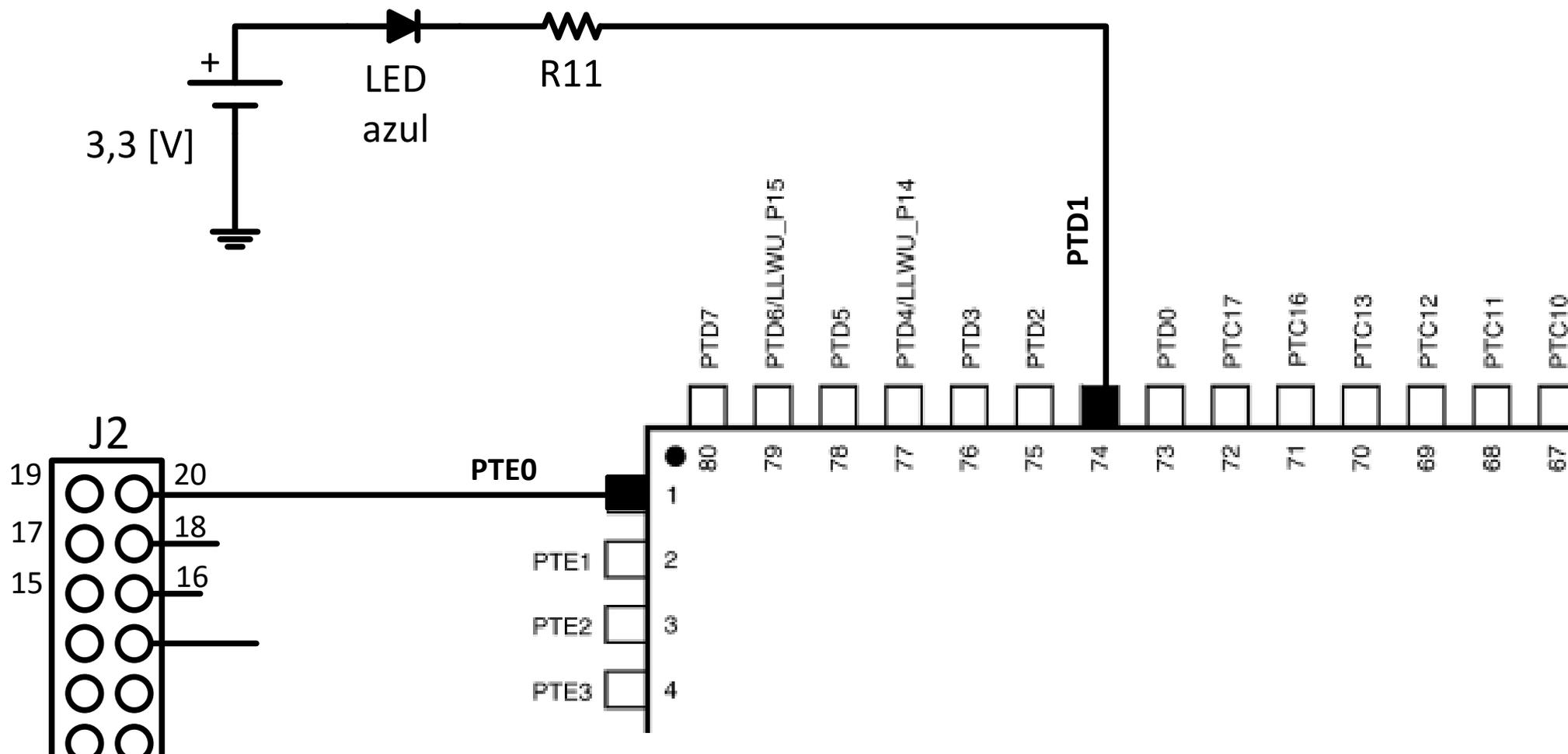
- Cada via de um *port* está associado a um terminal.
- Às vezes não estão dispostos em sequência.
- Mais detalhes podem ser vistos no **datasheet**.





Ligação dos *ports* ao mundo exterior

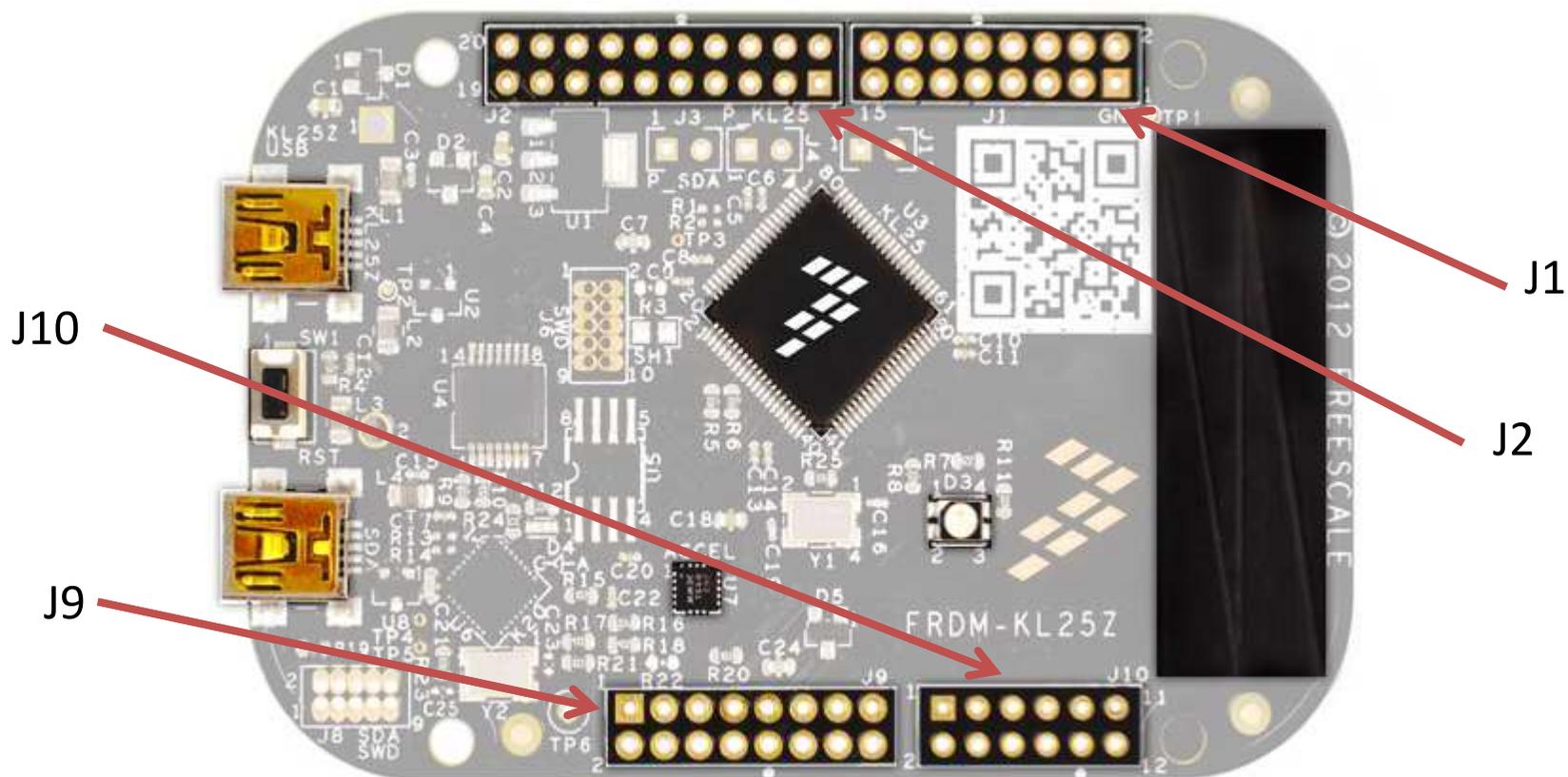
- Cada terminal de um *port* pode ser ligado a um outro circuito, acessório ou deixado livre para uso em um conector.





Acesso a alguns ports e terminais

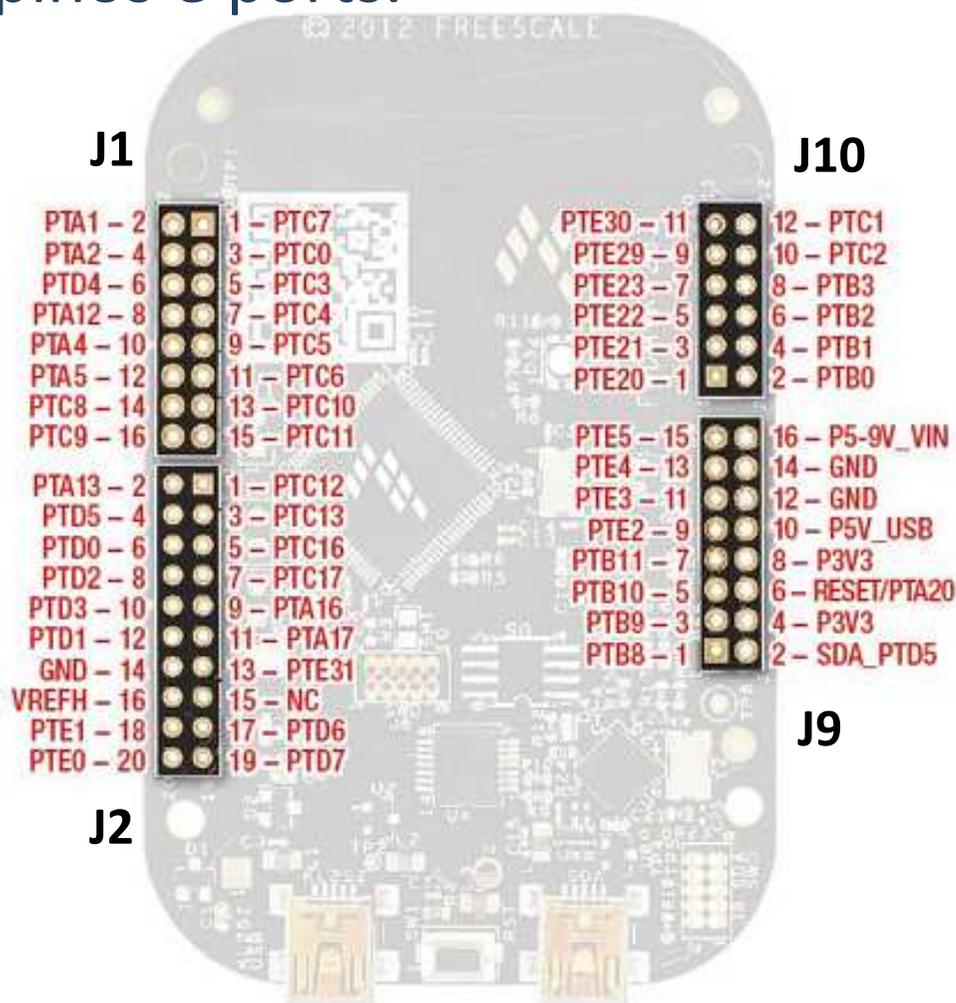
- Pode ser feito, principalmente, nos conectores de expansão J1, J2, J10 e J9 da placa Freedom.





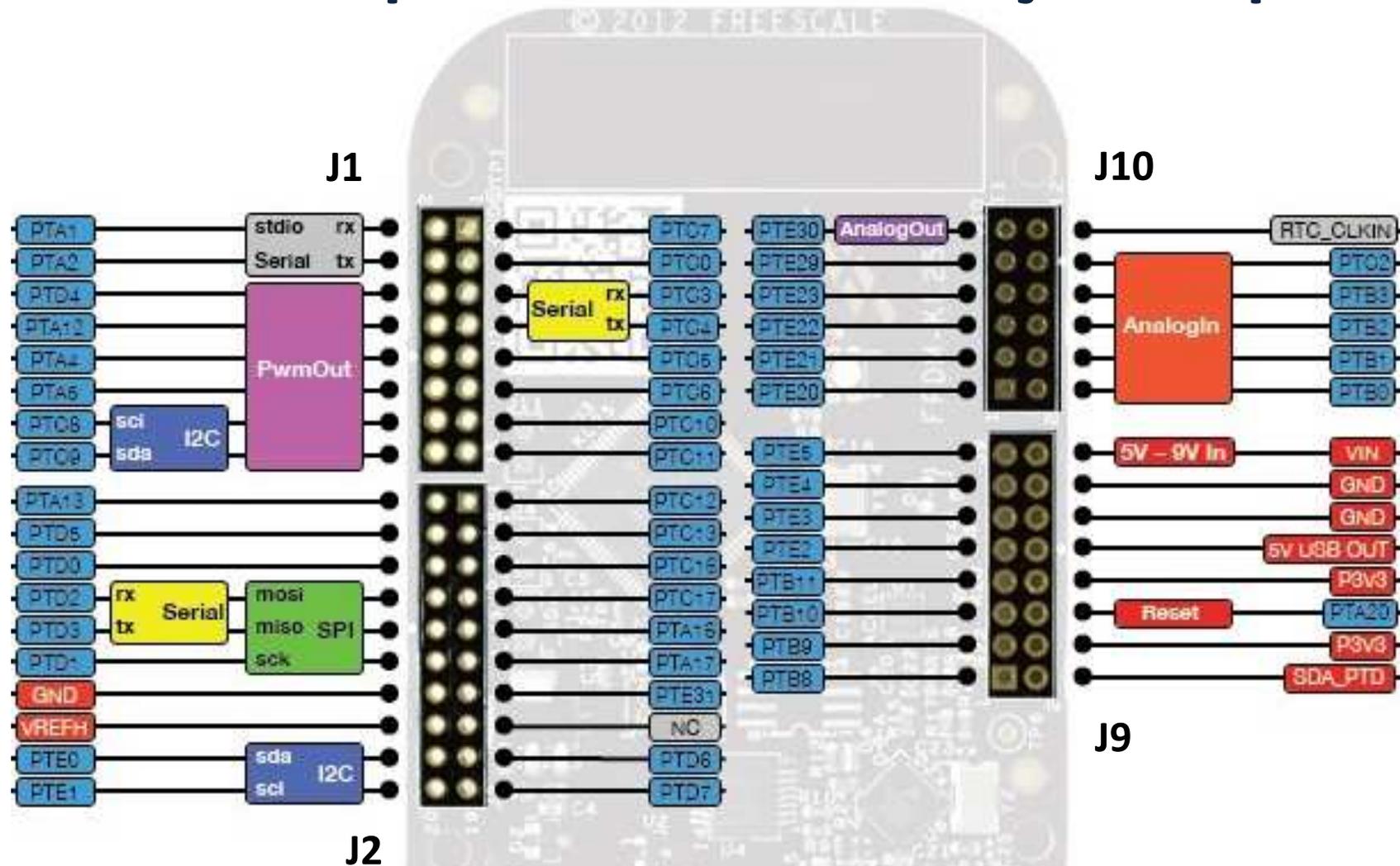
Lista de ports e funções no encarte

- No encarte da caixa do kit existe um guia de referência rápida dos pinos e ports.





Detalhes dos pinos com suas funções especiais





Lista de ports e terminais do KL25Z

Microcontrolador KL25Z Encapsulamento de 80 pinos		Kit FREEDOM BOARD		
Terminal do chip	Nome e número do port	Disponível no conector e pino do kit	Nome padrão Arduino™ R3	Periférico do kit já conectado ao port
1	PTE0	J2 20	D14	—
2	PTE1	J2 18	D15	—
3	PTE2	J9 09	—	—
4	PTE3	J9 11	—	—
5	PTE4	J9 13	—	—
6	PTE5	J9 15	—	—
13	PTE20	J10 01	—	—
14	PTE21	J10 03	—	—
15	PTE22	J10 05	—	—
16	PTE23	J10 07	—	—
21	PTE29	J10 09	—	—
22	PTE30	J10 11	—	—
23	PTE31	J2 13	—	—
24	PTE24	—	—	Acelerometro
25	PTE25	—	—	Acelerometro
27	PTA1	J1 02	D0	—
28	PTA2	J1 04	D1	—
30	PTA4	J1 10	D4	—
31	PTA5	J1 12	D5	—
32	PTA12	J1 08	D3	—
33	PTA13	J2 02	D8	—
34	PTA14	—	—	Acelerometro
35	PTA15	—	—	Acelerometro
36	PTA16	J2 09	—	—
37	PTA17	J2 11	—	—
42	PTA20	J9 06	—	Botão Reset
43	PTB0	J10 02	A0	—
44	PTB1	J10 04	A1	—
45	PTB2	J10 06	A2	—
46	PTB3	J10 08	A3	—
47	PTB8	J9 01	—	—

Microcontrolador KL25Z Encapsulamento de 80 pinos		Kit FREEDOM BOARD		
Terminal do chip2	Nome e número do port3	Disponível no conector e pino do kit4	Nome padrão Arduino™ R3	Periférico do kit já conectado ao port5
48	PTB9	J9 03	—	—
49	PTB10	J9 05	—	—
50	PTB11	J9 07	—	—
51	PTB16	—	—	Touch Slider
52	PTB17	—	—	Touch Slider
53	PTB18	—	—	Led Vermelho
54	PTB19	—	—	LED Verde
55	PTC0	J1 03	—	—
56	PTC1	J10 12	A5	—
57	PTC2	J10 10	A4	—
58	PTC3	J1 05	—	—
61	PTC4	J1 07	—	—
62	PTC5	J1 09	—	—
63	PTC6	J1 11	—	—
64	PTC7	J1 01	—	—
65	PTC8	J1 14	D6	—
66	PTC9	J1 16	D7	—
67	PTC10	J1 13	—	—
68	PTC11	J1 15	—	—
69	PTC12	J2 01	—	—
70	PTC13	J2 03	—	—
71	PTC16	J2 05	—	—
72	PTC17	J2 07	—	—
73	PTD0	J2 06	D10	—
74	PTD1	J2 12	D13	Led Azul
75	PTD2	J2 08	D11	—
76	PTD3	J2 10	D12	—
77	PTD4	J1 06	D2	—
78	PTD5	J2 04	D9	—
79	PTD6	J2 17	—	—
80	PTD7	J2 19	—	—



GPIO - General Purpose Input and Output

- Nome dado aos terminais que podem assumir a função de entradas **ou** saídas, com uso livre pelo usuário, conforme sua necessidade
- Um mesmo pino pode ser:
 - Entrada, que recebe um sinal digital proveniente de um sensor externo (por exemplo um botão), **ou**;
 - Saída, que envia um sinal digital para acionamento ou comando de um outro dispositivo (por exemplo, um LED ou relé eletromecânico).
- Quase todos os *ports* do microcontrolador podem ser usados como GPIO.



GPIOs – Configuração

- Os terminais de GPIO podem assumir um ou outro papel (entrada ou saída), mas:

Quem faz essa configuração?

- O “usuário-programador” !

Quando se faz essa configuração?

- Durante a execução do programa embutido!

Onde se faz essa configuração?

- Em qualquer lugar do programa!

- Entretanto, no momento da energização, o que ocorre?



Inicialização de um microcontrolador...

1. Quando o microcontrolador é energizado, inicialmente ele é mantido “resetado” por uma eletrônica interna ao chip.
2. Até então, todos os terminais de GPIO do microcontrolador são ajustados como entradas.
3. Quando a alimentação do *chip* está estável, o “reset” é liberado, permitindo o “boot”, ou a leitura do programa do usuário, gravado na memória FLASH. O tempo do passo 1 ao 3 dura poucos [μ s].



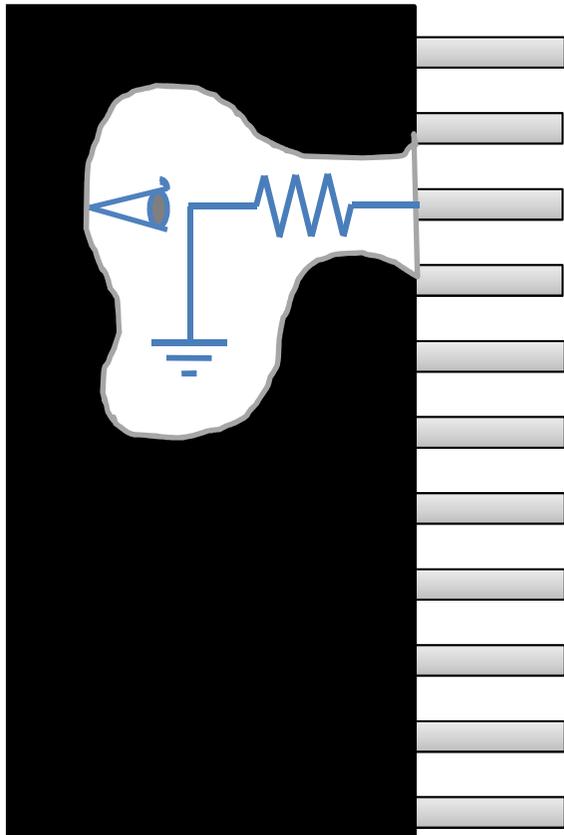
Inicialização de um microcontrolador

4. Assim que é executado, o programa do usuário pode configurar os terminais que desejar, na função de GPIO, como entradas, saídas, ou para funções especiais com outros periféricos.
5. Durante o funcionamento, um pino pode ser reconfigurado para outra função, conforme a necessidade.



Terminais GPIO utilizados como entradas

- Os pinos de GPIO configurados como entradas se comportam internamente como resistores com alto valor de resistência ($>100k\Omega$).
- Um equipamento externo pode ser ligado a esse terminal de entrada, para que o microcontrolador possa ler ou receber a informação desse dispositivo, codificada em uma determinada tensão ou nível lógico (sinal digital).





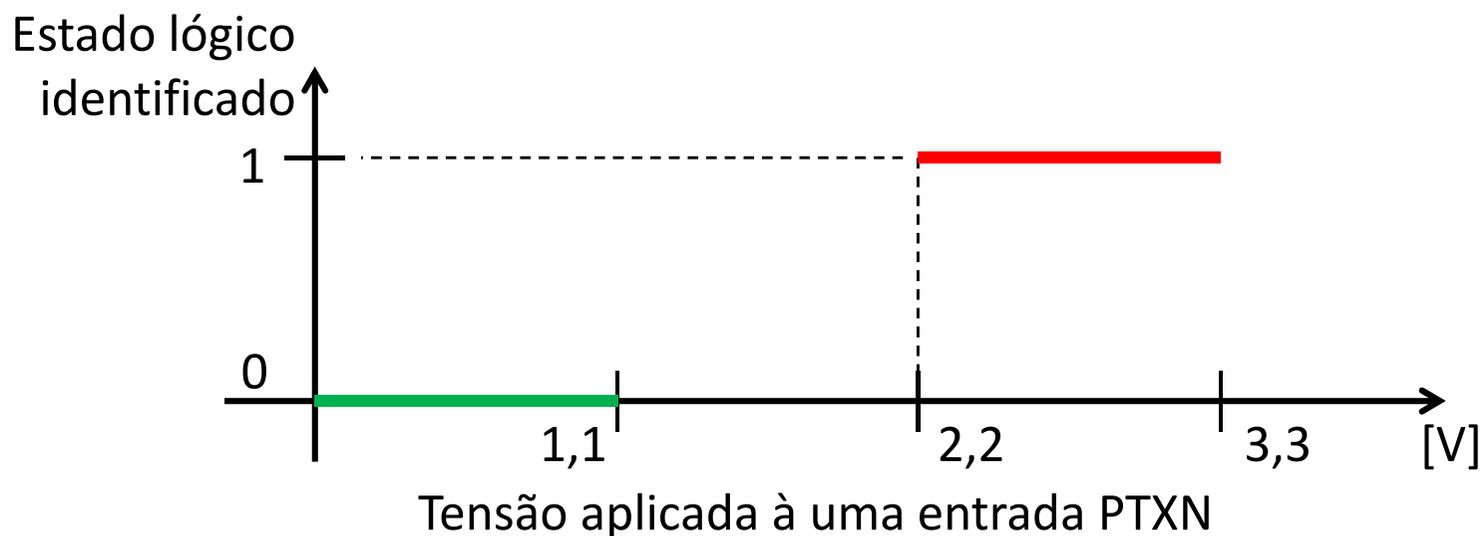
Interpretando a tensão aplicada a uma entrada

- O microcontrolador consegue ler a tensão que é imposta nesse terminal, e a classifica entre duas condições ou estados digitais:
 - um estado de tensão baixa, próximo de zero volts, ou nível lógico 0, ou;
 - um estado tensão maior, próximo do valor da tensão de alimentação, ou nível lógico 1.
- A informação lida pelo microcontrolador é armazenada em um registrador (variável) interno para uso no *software* feito pelo programador.
- Mas, e se outras tensões forem aplicadas?



Padrão CMOS

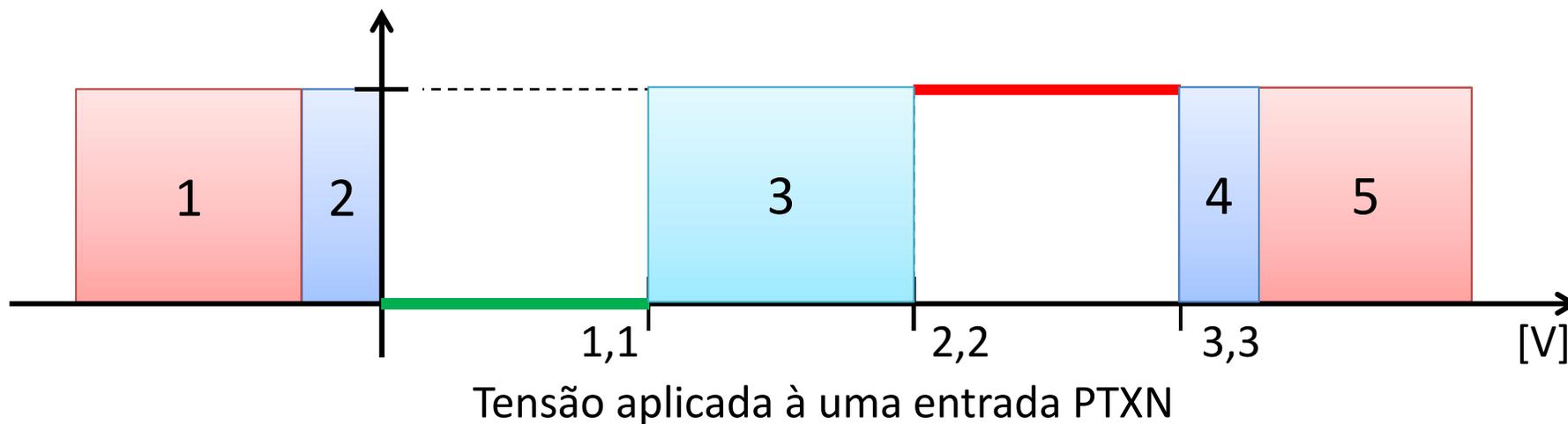
- O KL25Z aceita em suas entradas o padrão CMOS de tensões nominais. Ex:
 - Caso a tensão de alimentação VDD seja 3,3 V...
 - Estado lógico zero → tensões inferiores a 1/3 de VDD
 - Estado lógico um → tensões superiores a 2/3 de VDD





E para as demais tensões aplicadas?

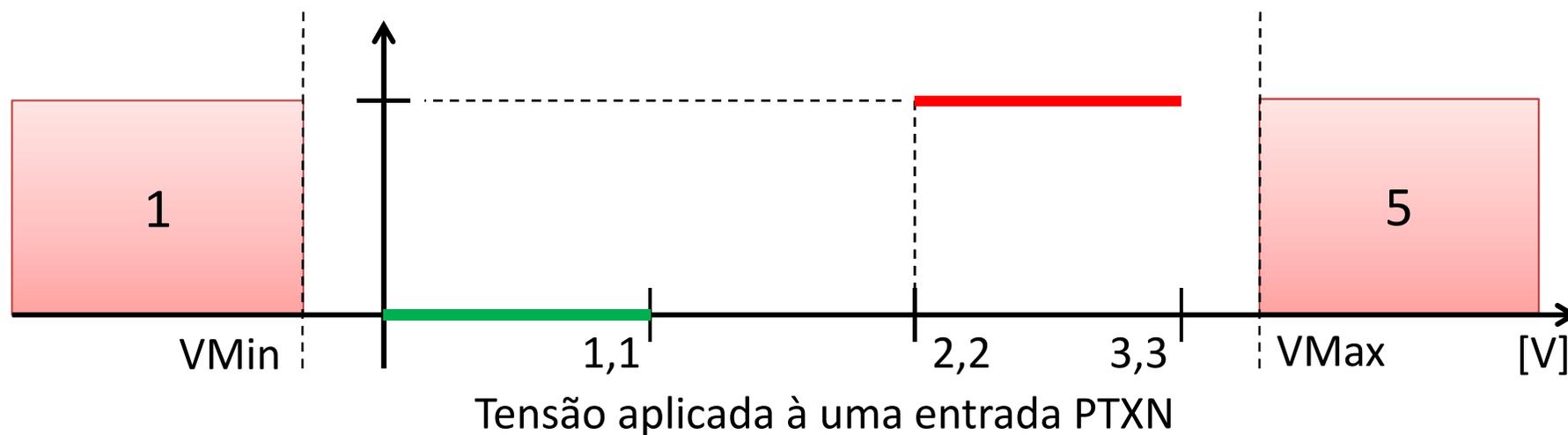
- Existem cinco situações
 1. Tensões muito menores que 0,0 [V] ou GND
 2. Tensões pouco menores que 0,0 [V] ou GND
 3. Tensões entre $1/3$ e $2/3$ de VDD
 4. Tensões pouco maiores que VDD
 5. Tensões muito maiores que VDD





Situações proibidas

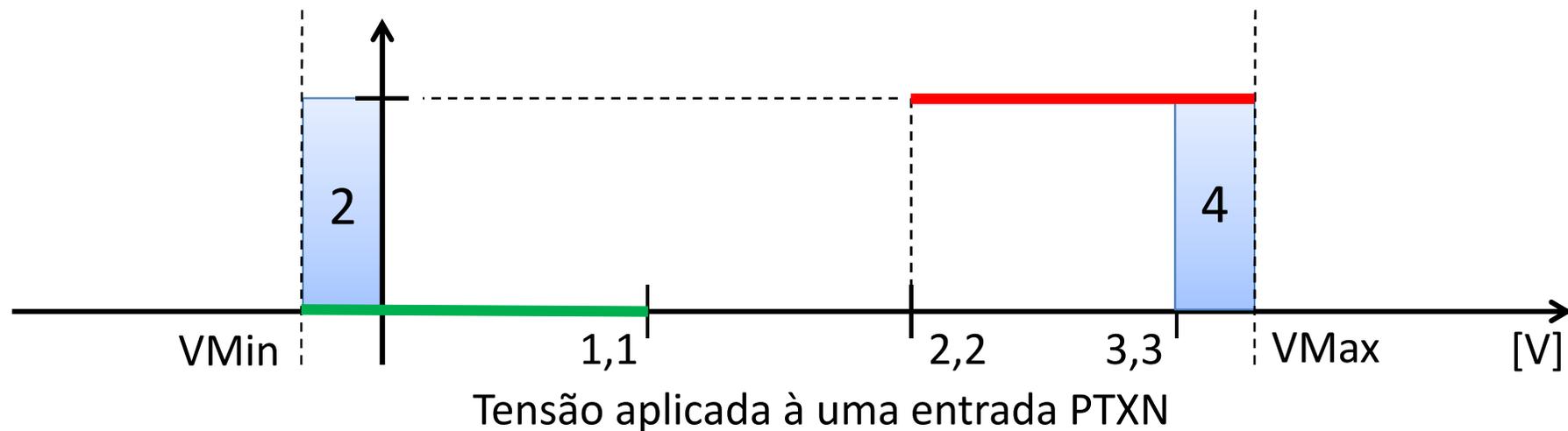
- Situações 1 e 5: Tensões aplicadas fora dos limites máximo e mínimo do circuito integrado.
- Queima, degradação ou mau funcionamento.
- No caso do KL25Z (datasheet):
 - VMin = **-0,3 [V]**
 - VMax = VDD + 0,3 [V] = **3,6 [V]** para VDD = 3,3 [V].





Situações toleráveis

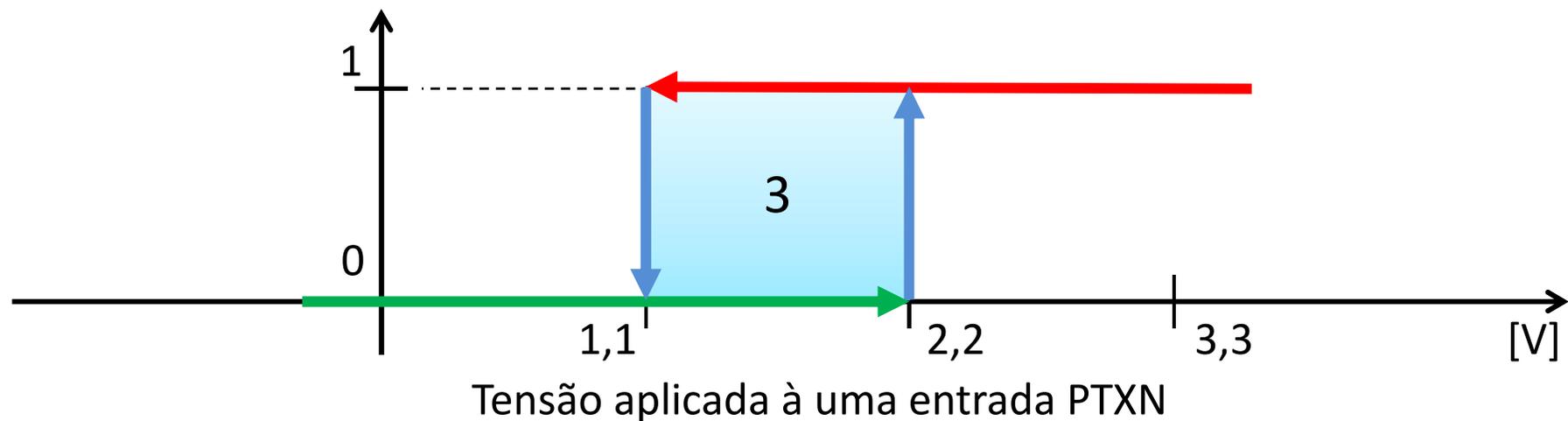
- Situação 2: o microcontrolador interpreta a tensão como um estado digital zero, nível lógico zero.
- Situação 4: o microcontrolador interpreta a tensão como um estado digital um, nível lógico um.
- Não há problemas na operação do circuito nessas situações.





Situação indeterminada

- Situação 3: estado lógico, a princípio, indeterminado.
- O microcontrolador admite como estado lógico, o último estado válido identificado.
- A variação da tensão aplicada e os estados lógicos resultantes delimitam a região 3.
- Essa região delimita uma banda morta ou zona de histerese.





Tensões nas entradas digitais do KL25Z

- Deve-se **garantir** que todas as tensões aplicadas estejam dentro dos valores nominais do dispositivo:

- $V_{min} > -0,3$ [V]
- $V_{max} < 3,6$ [V].

Curiosidade: Durante a energização de um circuito, as tensões podem assumir, instantaneamente, valores além dos máximos e mínimos permitidos!! Mas são **transitórios**, como as descargas de ESD, e possuem pouca energia.

1.4 Voltage and current operating ratings

Table 4. Voltage and current operating ratings

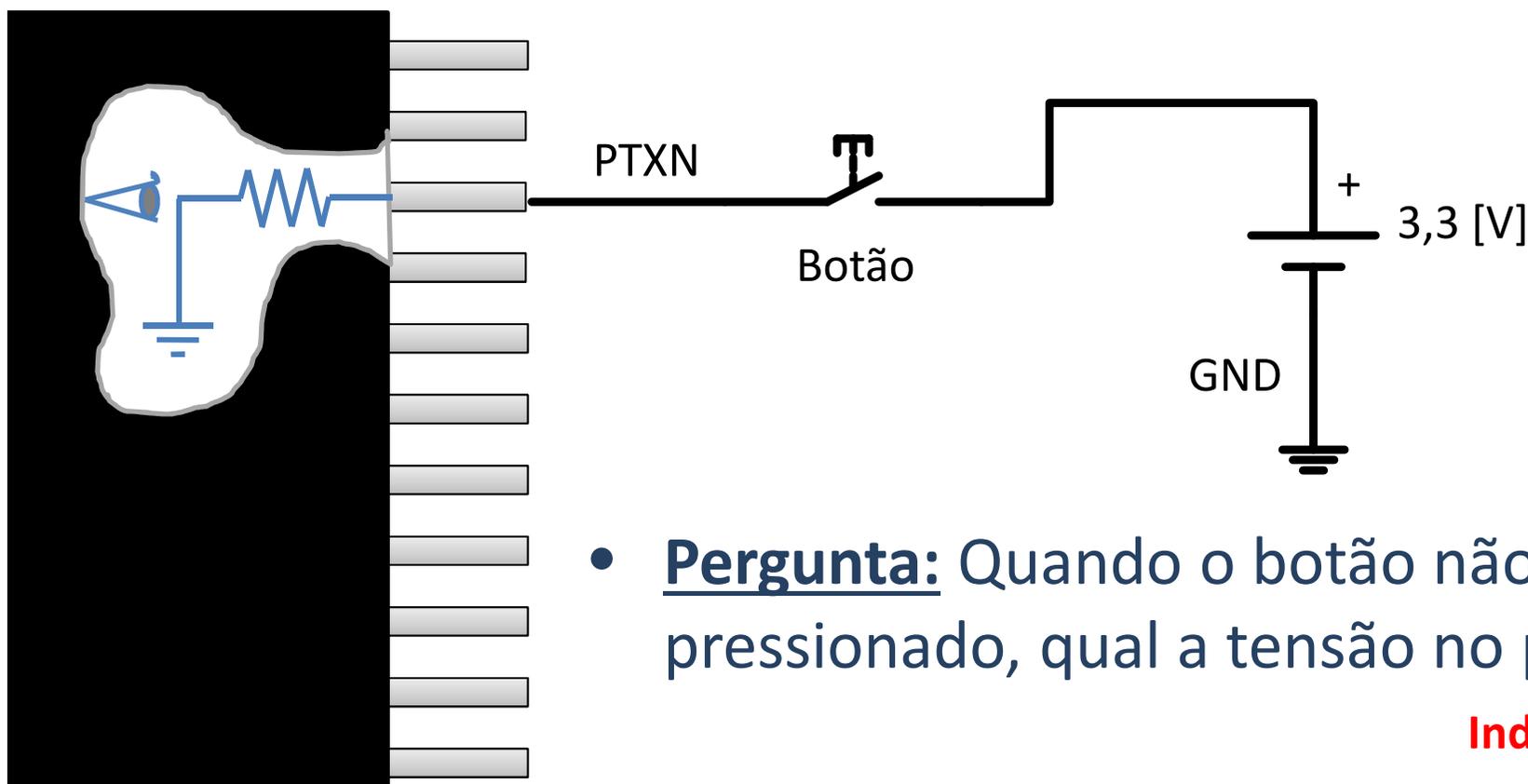
Symbol	Description	Min.	Max.	Unit
V_{DD}	Digital supply voltage	-0.3	3.8	V
I_{DD}	Digital supply current	—	120	mA
V_{IO}	IO pin input voltage	-0.3	$V_{DD} + 0.3$	V
I_D	Instantaneous maximum current single pin limit (applies to all port pins)	-25	25	mA
V_{DDA}	Analog supply voltage	$V_{DD} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$	V
V_{USB_DP}	USB_DP input voltage	-0.3	3.63	V
V_{USB_DM}	USB_DM input voltage	-0.3	3.63	V
V_{REGIN}	USB regulator input	-0.3	6.0	V

Datasheet



Aplicação com um botão Push-button

- Importante: Deve-se assegurar que a tensão aplicada em um terminal seja aquela necessária para garantir o nível zero ou nível um.
- No caso a seguir, pressionando o botão temos 3,3 [V] ou nível lógico 1.



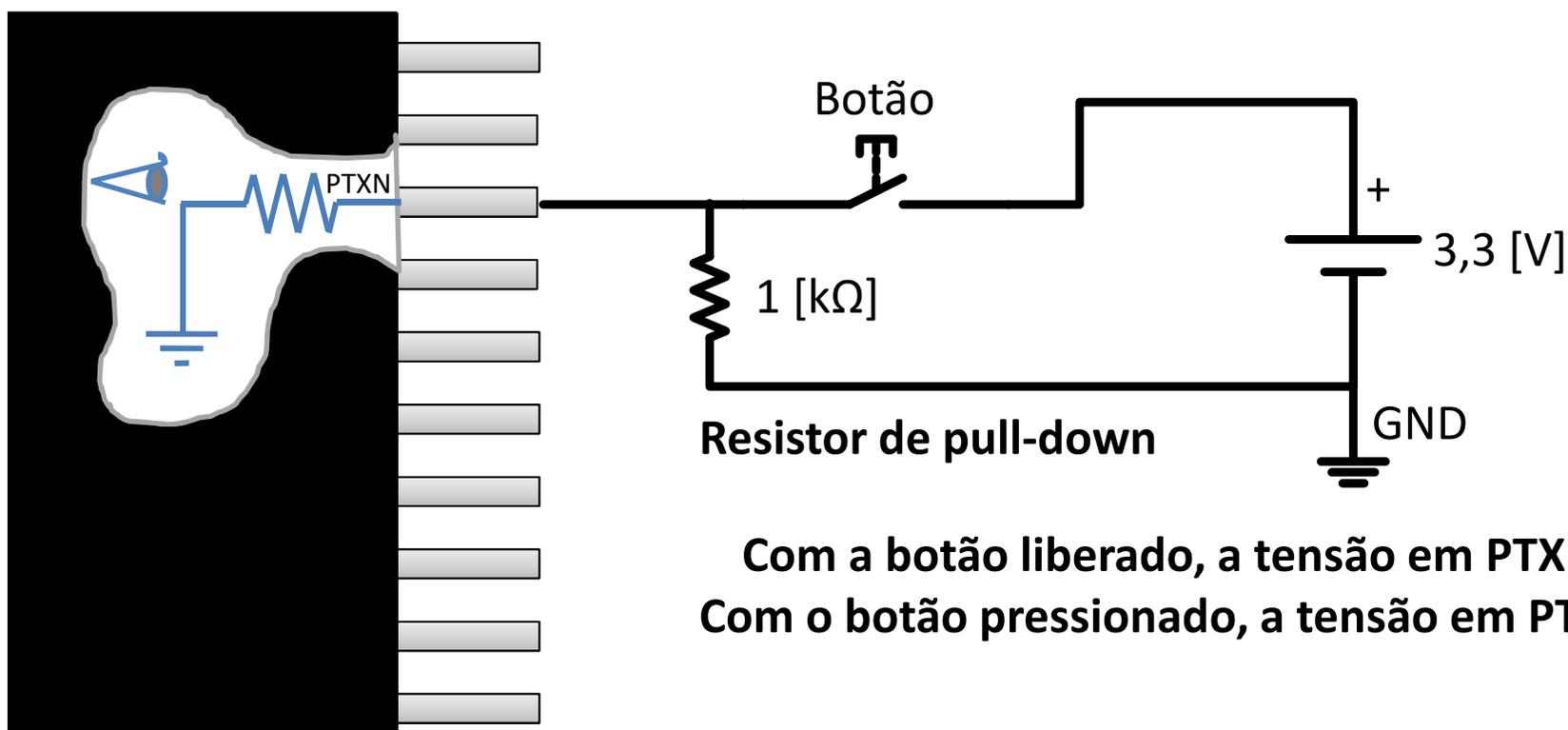
- Pergunta: Quando o botão não está pressionado, qual a tensão no port?

Indeterminada!!!



Uso de resistor de pull-down

- Para garantir que a tensão aplicada em um dado terminal sempre assuma uma tensão conhecida, no nível lógico zero, quando o botão não está pressionado.

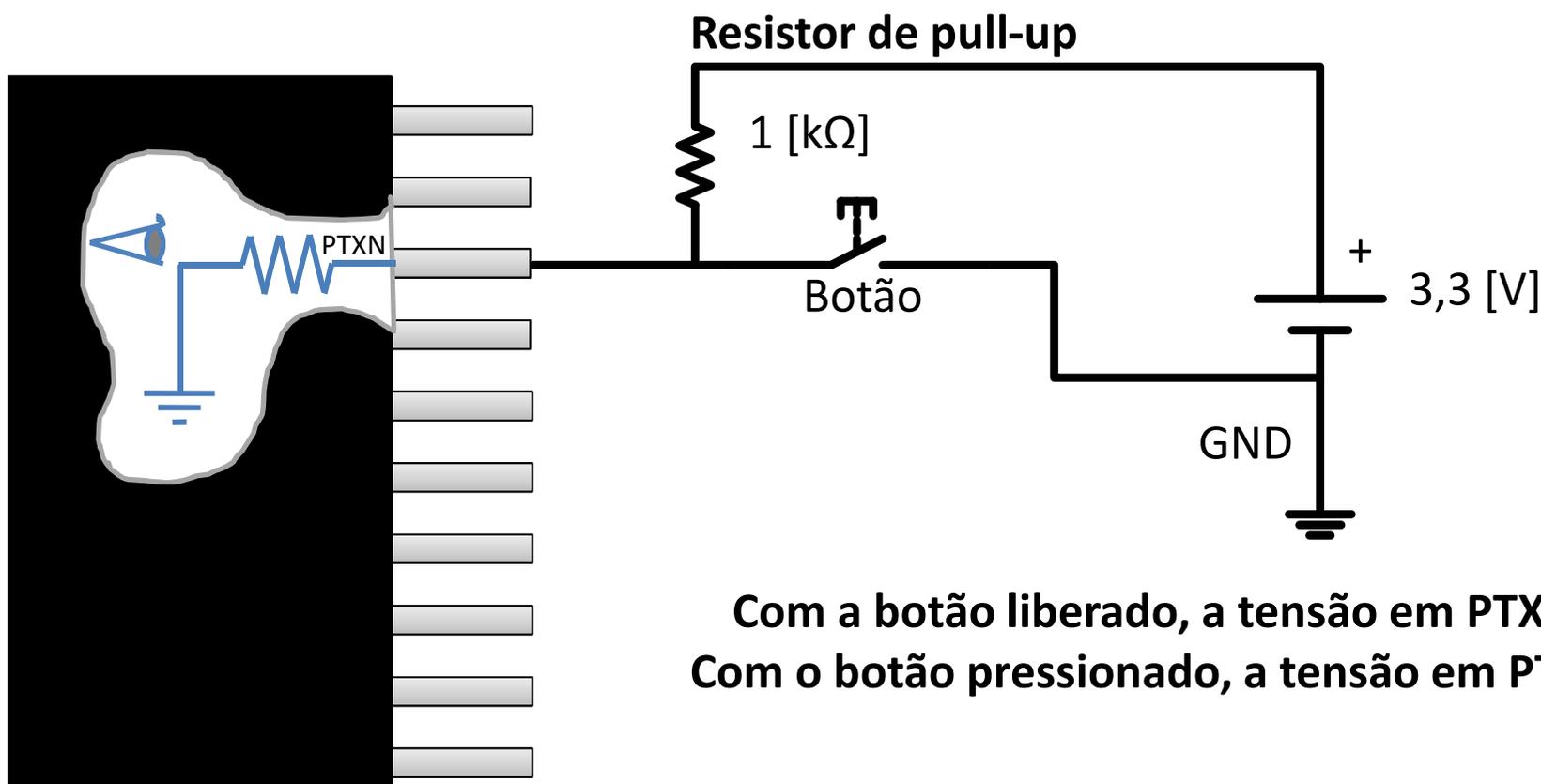


Com a botão liberado, a tensão em PTXN é 0,0 [V].
Com o botão pressionado, a tensão em PTXN é 3,3 [V].



Aplicação dual: uso de resistor de pull-up

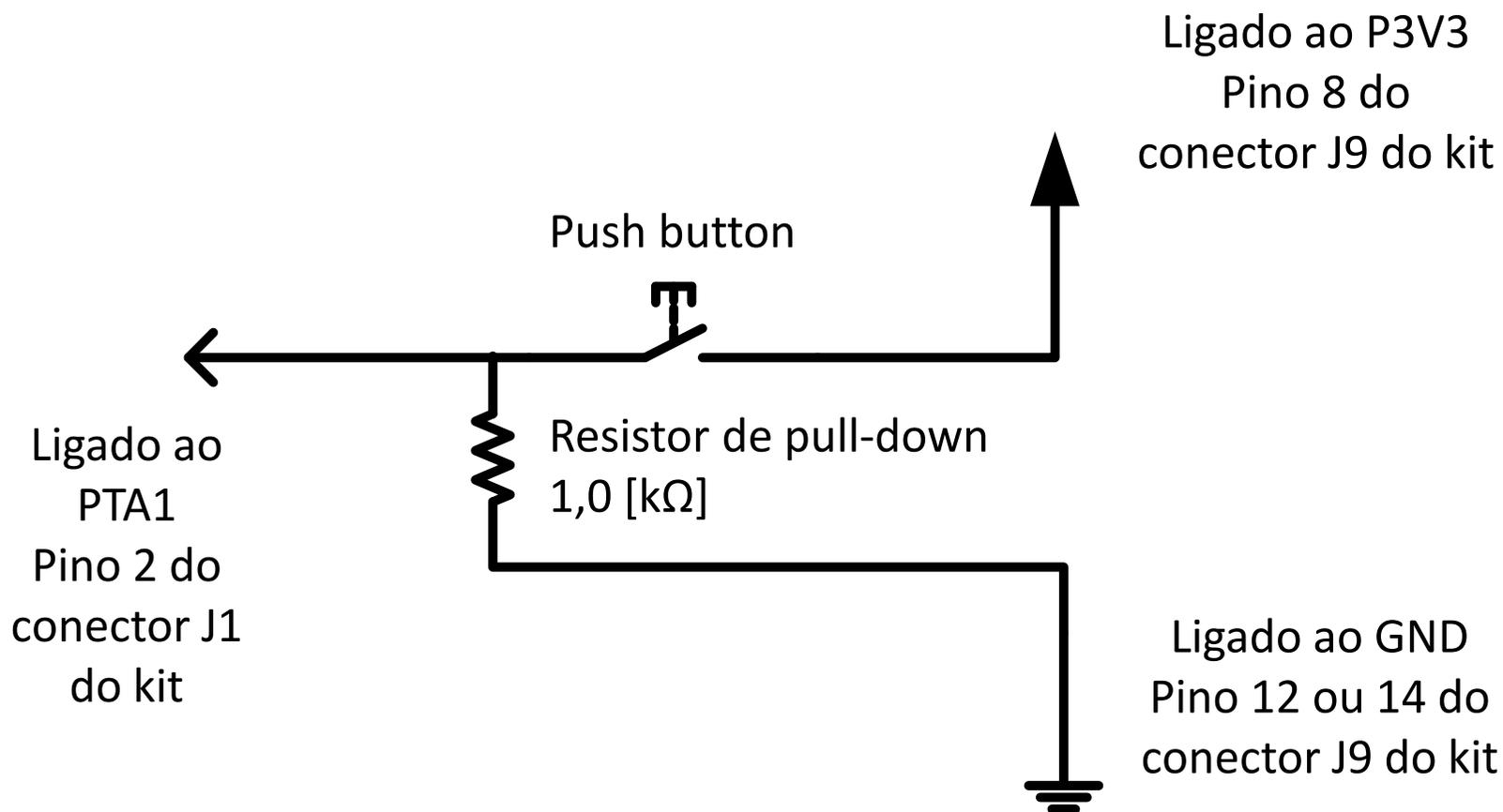
- Para garantir que a tensão aplicada em um dado terminal sempre assuma uma tensão conhecida, no nível lógico um, quando o botão não está pressionado.





Montagem de botão com pull-down

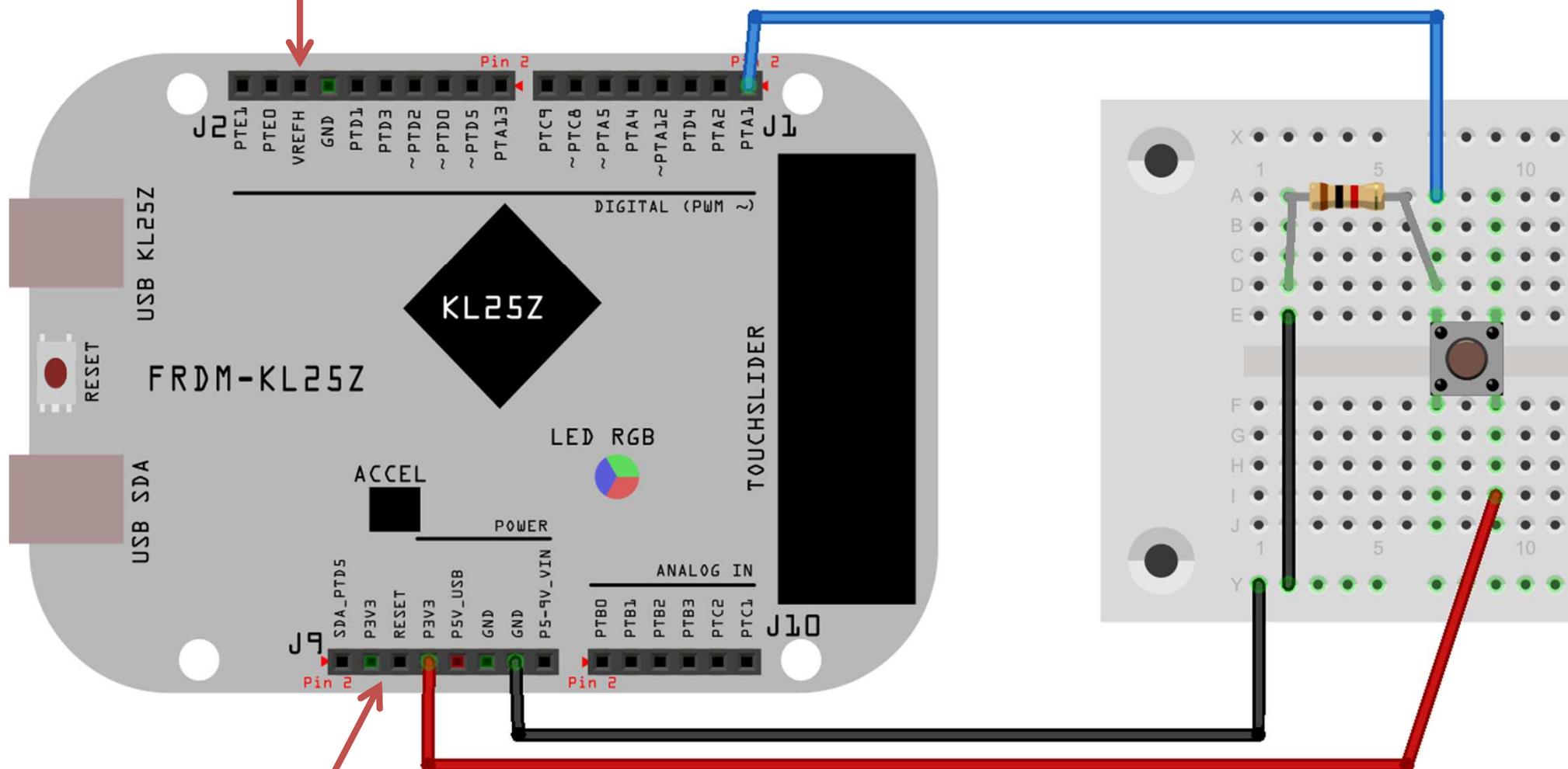
- Montar na protoboard e interconectar ao kit Freedom.





Montagem com protoboard de mercado e kit

Atenção, use a fileira mais de fora da placa dos conectores J2 e J1



Atenção, use a fileira mais de fora da placa dos conectores J9 e J10



Programa para desenvolver no MBED

- Criar um novo projeto do MBED (empty project).
- Não se esqueça de fazer “Import Library... Mbed.h”.
- Copiar o código fonte que se encontra no arquivo EntradaDigital.cpp disponível no moodle.
- Analisar o funcionamento.
- Verificar a operação do sistema.



Programa para desenvolver no MBED

```
#include <mbed.h>
```

EntradaDigital.cpp

```
int main(void)
```

```
{
```

```
    DigitalIn botao(PTA1);
```

```
    DigitalOut led_verde(LED_GREEN);
```

```
    DigitalOut led_vermelho(LED_RED);
```

```
    while(1) {
```

```
        if(botao) {
```

```
            led_verde=0;
```

```
            led_vermelho=1;
```

```
        } else {
```

```
            led_verde=1;
```

```
            led_vermelho=0;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```



Outros programas para testar

- Fazer um programa que cada vez que o botão for acionado, seja acessa uma cor diferente no LED RGB, ciclicamente. Por exemplo:
- Seja '→' um pressionamento de botão...
- O LED RGB assume as seguintes cores, na sequência:

Verde → Vermelho → Amarelo → Azul → Branco → Verde → Vermelho...

Atenção: Seu programa deve perceber a mudança do estado da chave, de zero para um, para executar a transição para um novo estado de cor.



Exemplo para inspiração

EntradaDigitalToggle.cpp

```
#include <mbed.h>

int main(void)
{
    int lastbotao = 0;
    DigitalIn botao(PTA1);
    DigitalOut led_verde(LED_GREEN);
    DigitalOut led_vermelho(LED_RED);

    led_verde=1;
    led_vermelho=0;
    while(1) {
        if(botao==1 && lastbotao==0)
        {
            led_verde = !led_verde;
            led_vermelho =
!led_vermelho;
        }
        lastbotao = botao;
        //wait(0.1);
    }
}
```

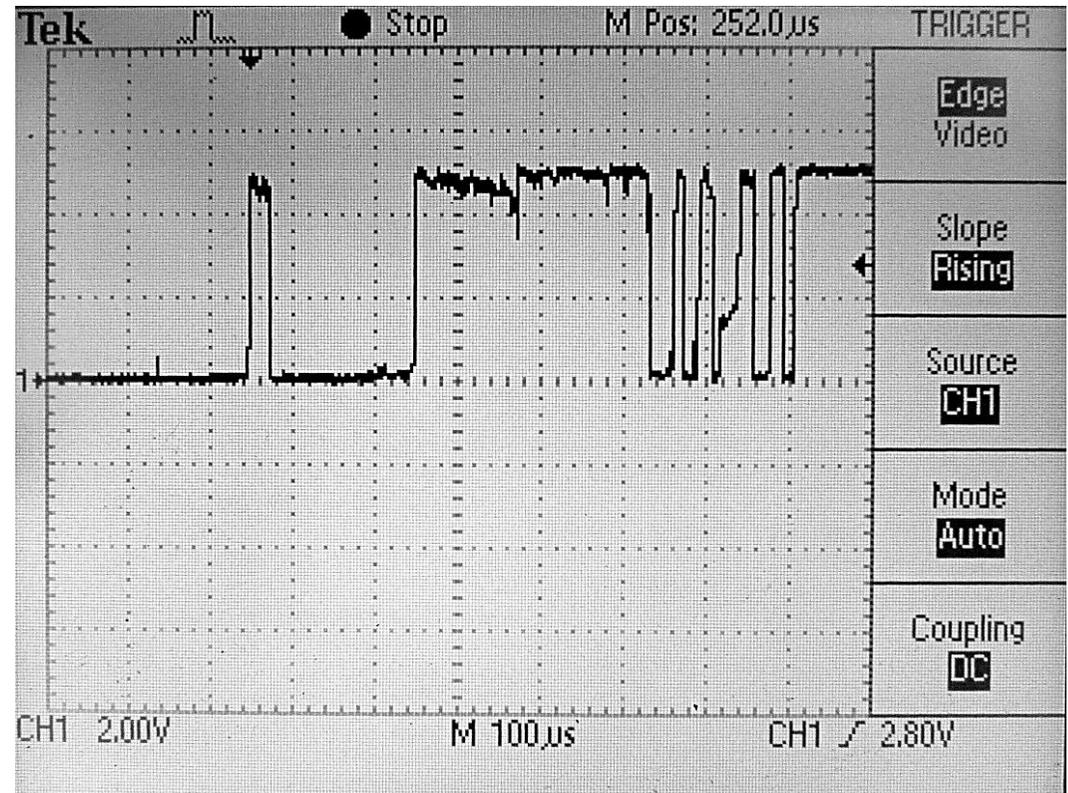
← Esta linha está comentada, mas ela é importante para que o programa execute corretamente. Tente entender o papel dessa instrução neste programa.



Problemas típicos de chaves

- **Bouncing**

- Incerteza
- Repique do contato
- Devido à parte mecânica da chave



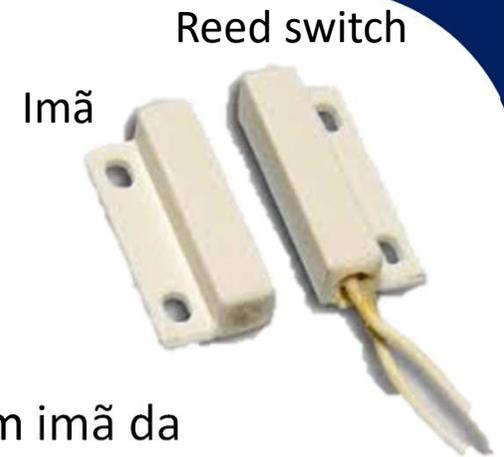
- **Resistância de contato**

- Quando pressionado, o botão deveria ter resistância equivalente igual a zero.
- Mas o contato se desgasta e envelhece com o tempo.

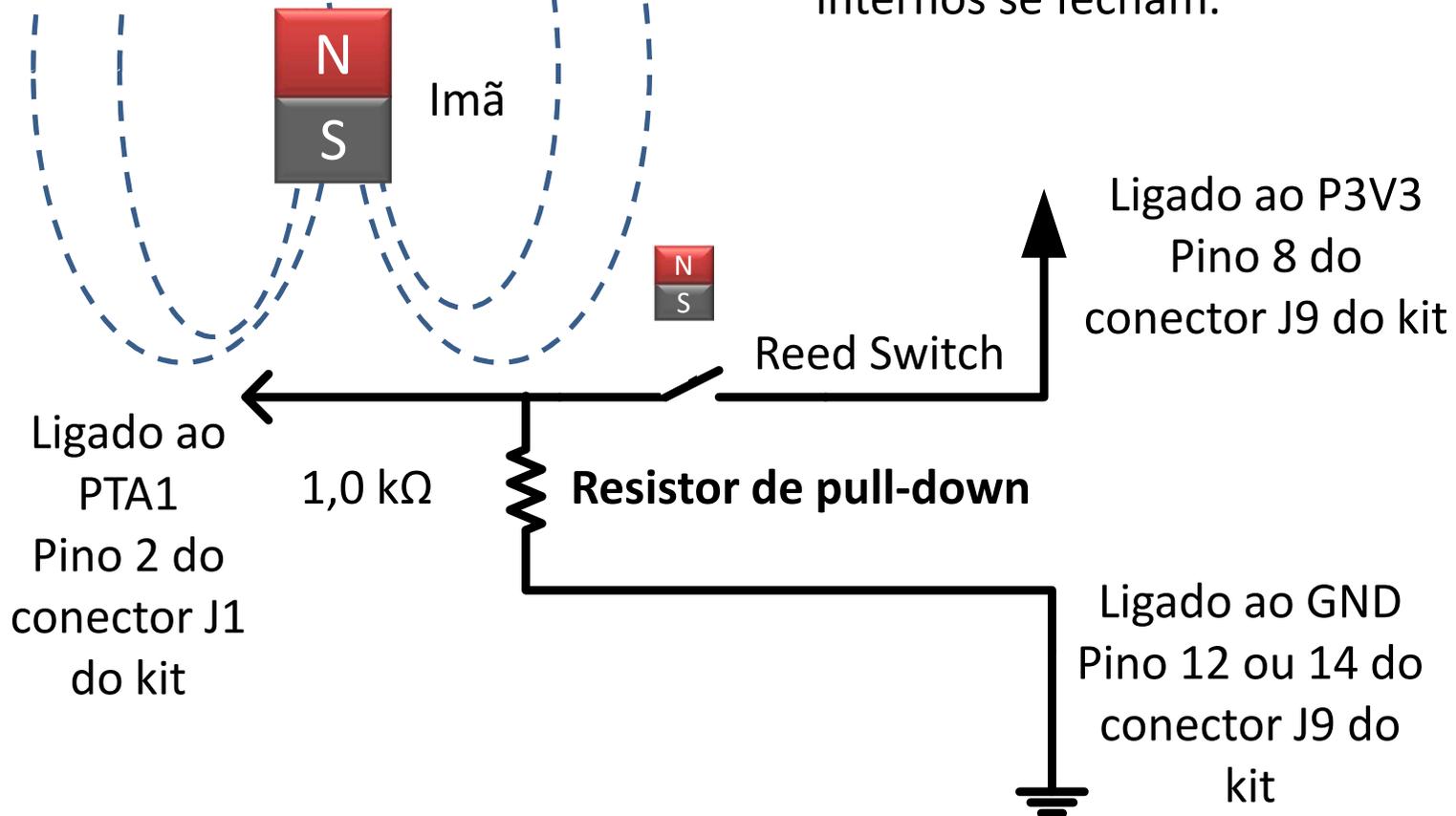


Outros tipos de chaves

- Reed Switch: ativado pelo campo magnético.



Ao aproximar um imã da ampola de vidro, os contatos internos se fecham.





Para saber mais

- Orsini, Luiz Queiroz, “Curso de Circuitos Elétricos - Vol. 1”, Editora Edgard Blucher, 2ª Edição, 1998.
- Mbed, <http://mbed.org>.
- Freescale Freedom Board FRDM-KL25Z, http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z.
- Monk, S., “Hacking Electronics. Na illustrated DIY guide for makers and hobbyists”, Mc Graw Hill Education, 2013.