

# Introdução a Engenharia Elétrica - 323100

## Aula S4

---

## Módulo 3 – GPIO como saídas 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

**V1.5**

**Agosto de 2018**



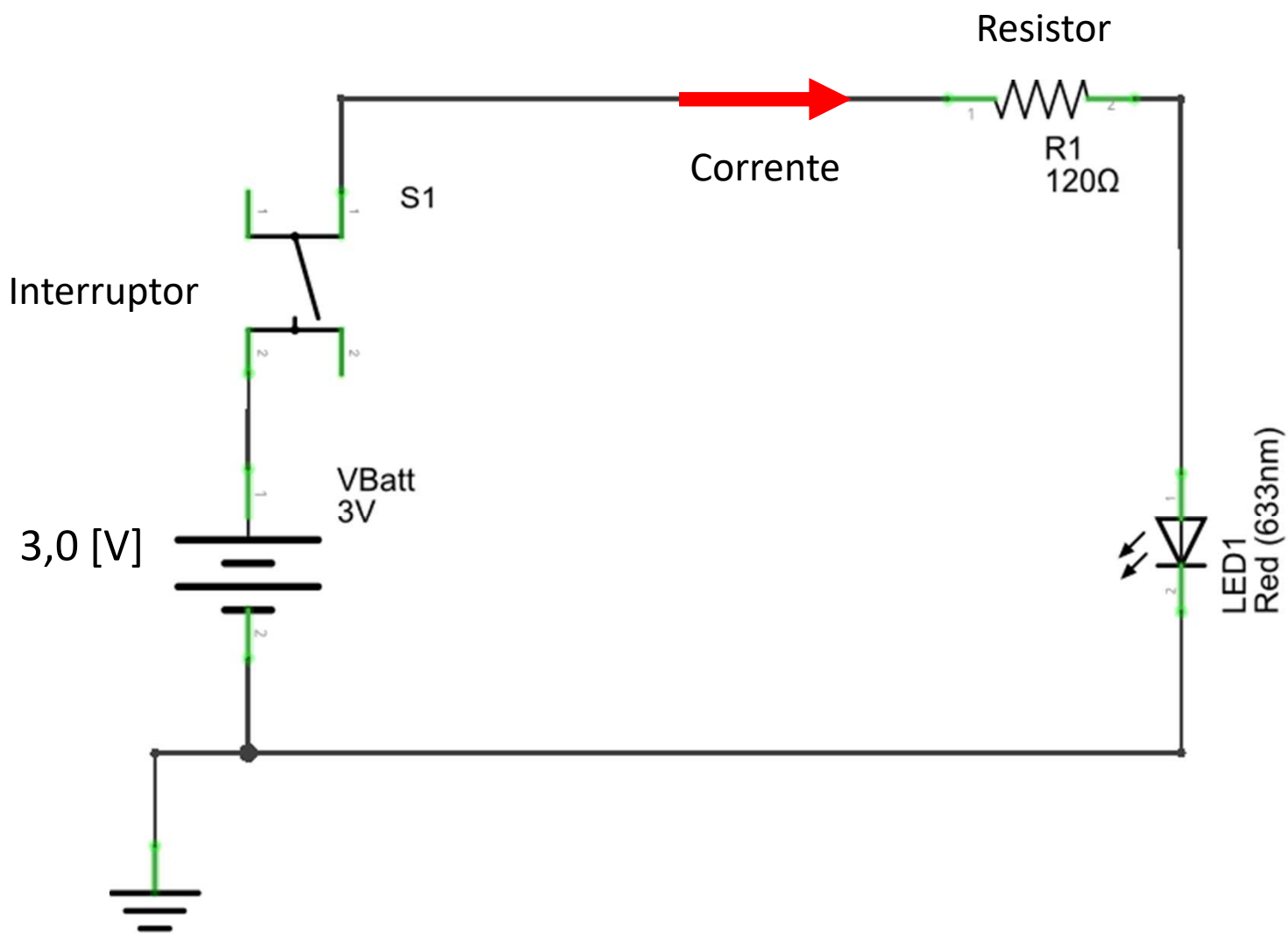
# Sumário

- 1. Medidas de corrente e potência elétrica.**
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
4. Acionamento de cargas de maior potência.



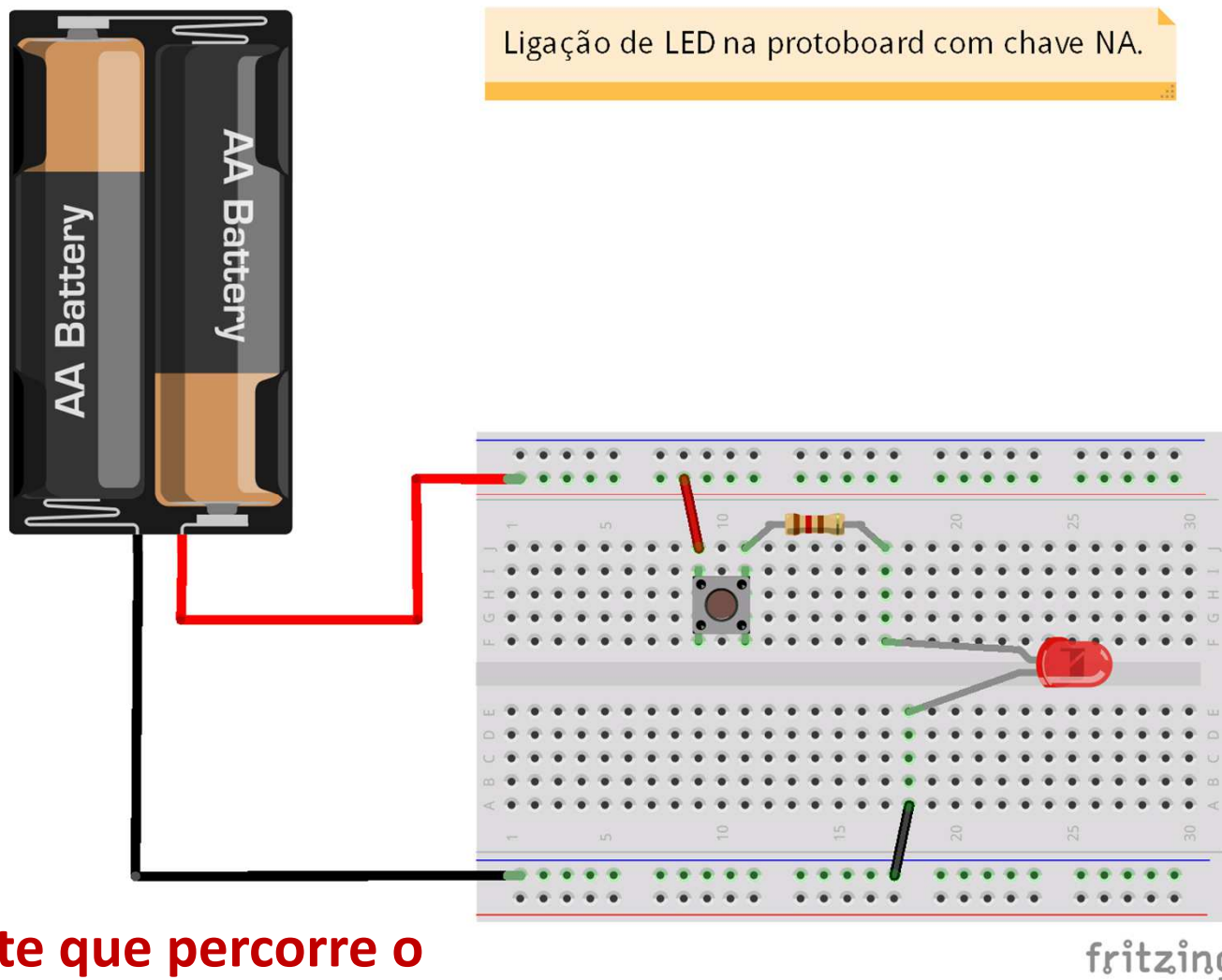
# Recapitulando: Circuito de alimentação do LED

- Monte o circuito na protoboard mais uma vez.





# Montando em protoboard de mercado



**Qual a corrente que percorre o circuito elétrico quando o botão é pressionado?**



# Uso do multímetro como amperímetro

- Deve-se selecionar a função amperímetro (em corrente contínua) no painel do instrumento.
- Pode ser necessário alterar o borne onde está ligada a ponta de prova vermelha, para o borne onde está indicado [A] ou [mA].



Amperímetro de alicate, para uso específico em circuitos de corrente alternada

Escalas de medição de corrente

Bornes para ponta de prova vermelha, no caso de medição de corrente



**Espera! Não tente medir**

**corrente com o multímetro na função amperímetro AINDA !!!!**





## Cuidados na função amperímetro

- Nessa função, o multímetro praticamente conecta, uma ponta de prova, à outra.
- Há continuidade elétrica direta entre as duas pontas de prova, como um circuito de baixíssima resistência.



- **CUIDADO:** Um amperímetro, se ligado inadvertidamente em quaisquer partes de um circuito, pode ocasionar um curto-circuito!!!





# Como ligar um amperímetro em um circuito?

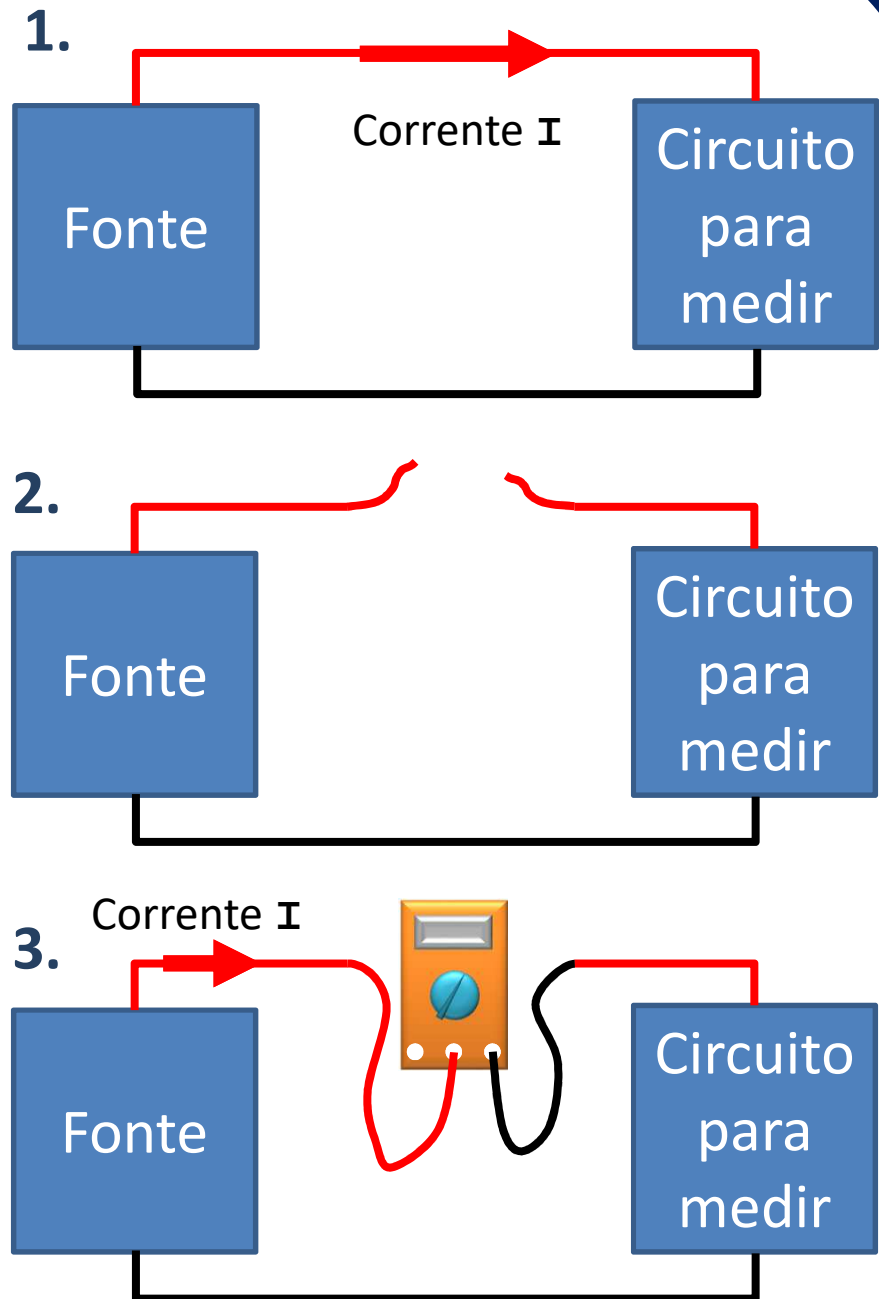
## Passos:

1. Temos um circuito que precisa ter medida sua corrente elétrica.
2. O circuito original precisa ser interrompido.
3. Nos pontos de interrupção, colocam-se as pontas de prova vermelha e preta do amperímetro, completando o circuito original.

O amperímetro é ligado em série com o circuito a ser medido.

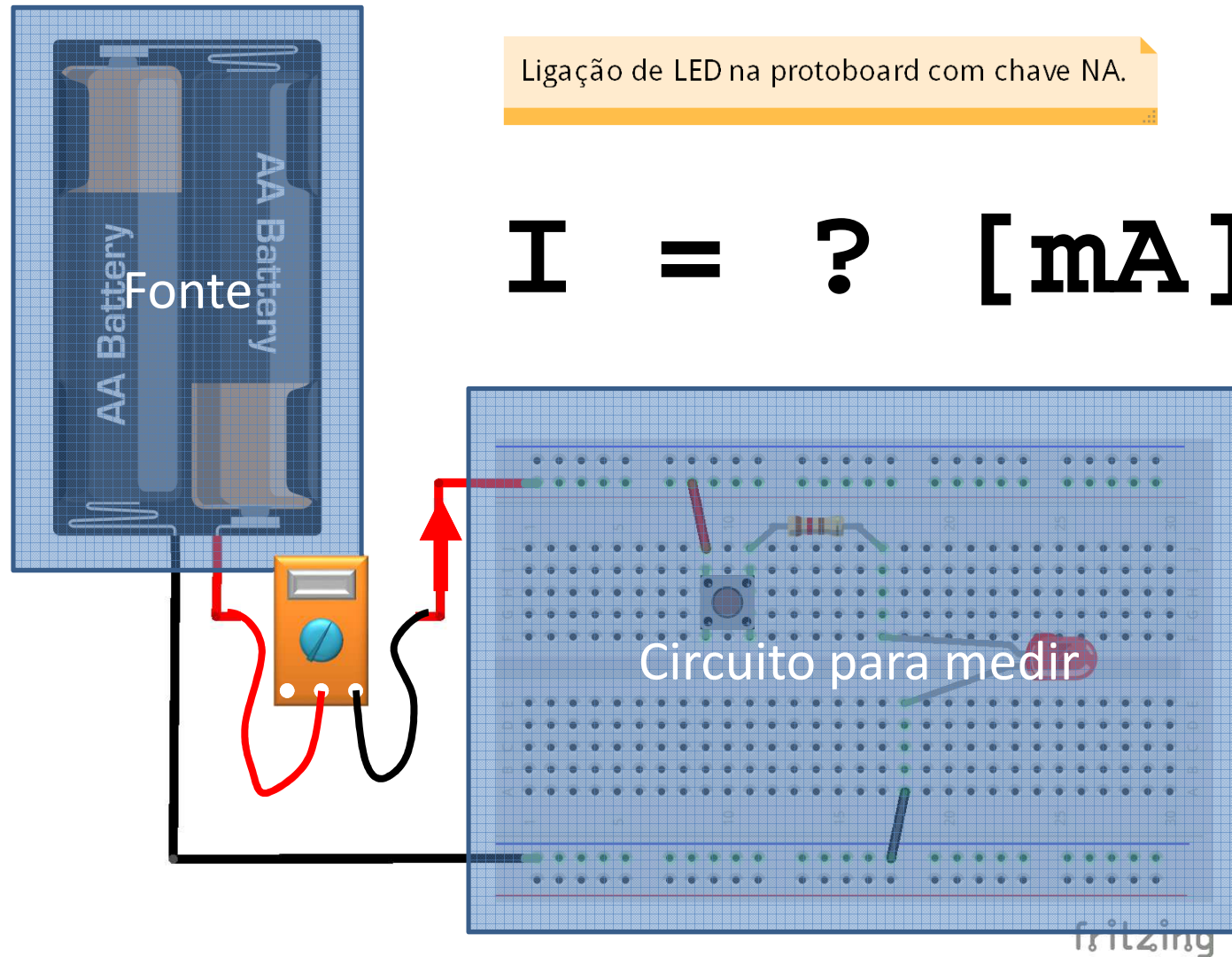


Boa prática: desligue seu circuito antes de fazer qualquer mudança!!





# Meça a corrente elétrica consumida pelo LED.



**Coloque o multímetro com amperímetro em série com o circuito a ser medido. Use a escala em [mA].**





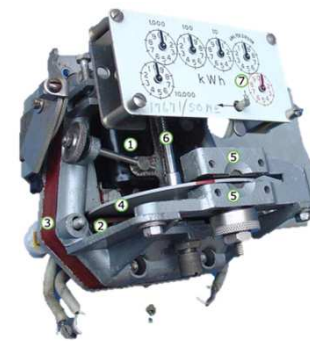
# Medida de potência elétrica

- Existem medidores de potência elétrica ou energia elétrica, sobretudo para uso em circuitos alimentados em corrente alternada.
- Para circuitos em corrente contínua, a potência elétrica pode ser calculada pelo produto do valor da tensão e da corrente elétrica consumidas pelo circuito.

$$P = V \cdot I$$

Medidores residenciais de energia elétrica

$$E = \int P(t) dt$$



Alicate wattímetro eletrônico

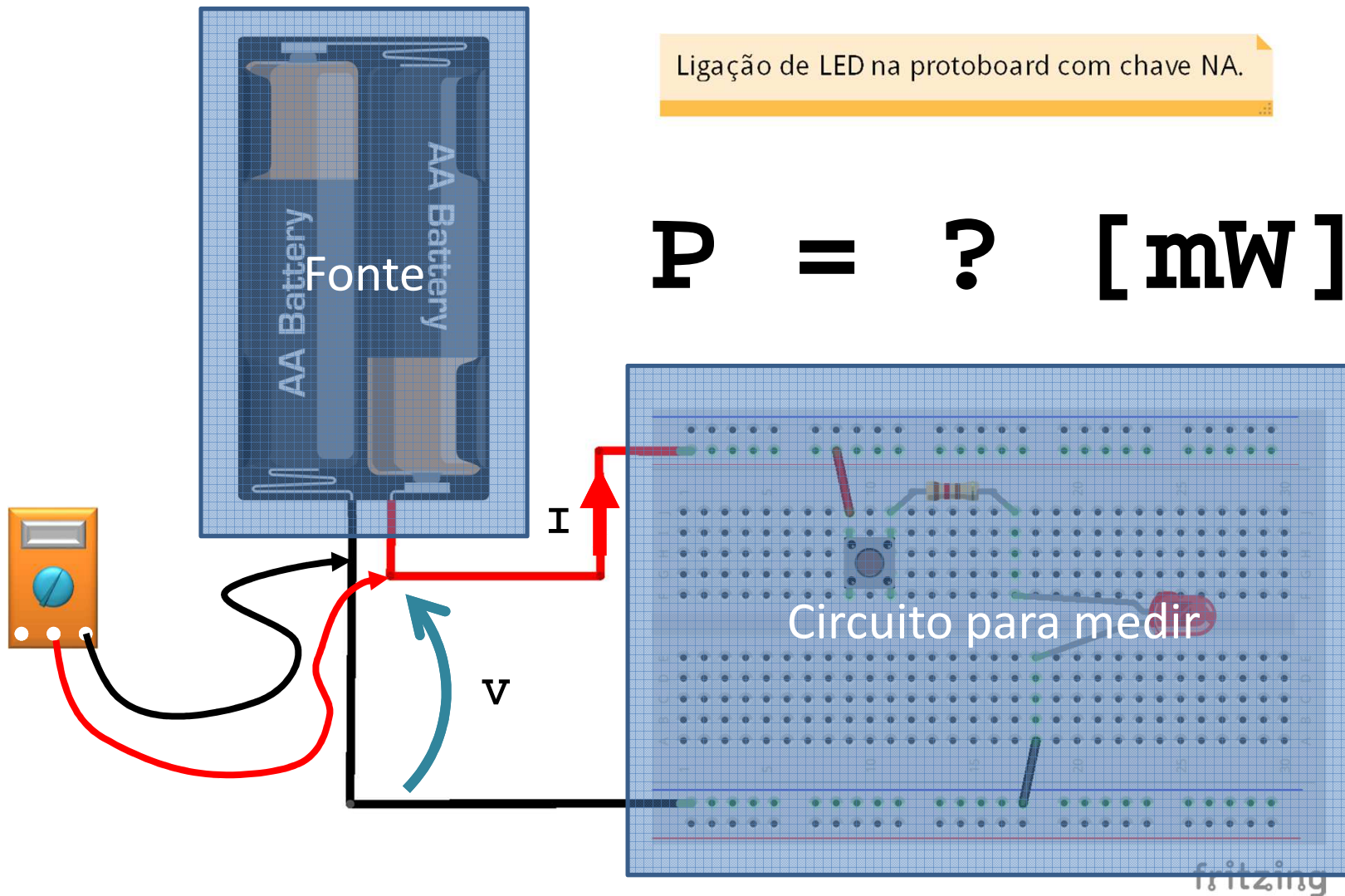




# Calcule a potência elétrica do seu circuito

Ligação de LED na protoboard com chave NA.

$$P = ? \text{ [mW]}$$



**ATENÇÃO:** Não se esqueça de também medir a tensão da fonte com o multímetro. **SEMPRE** desconecte o multímetro do circuito ao trocar suas funções.

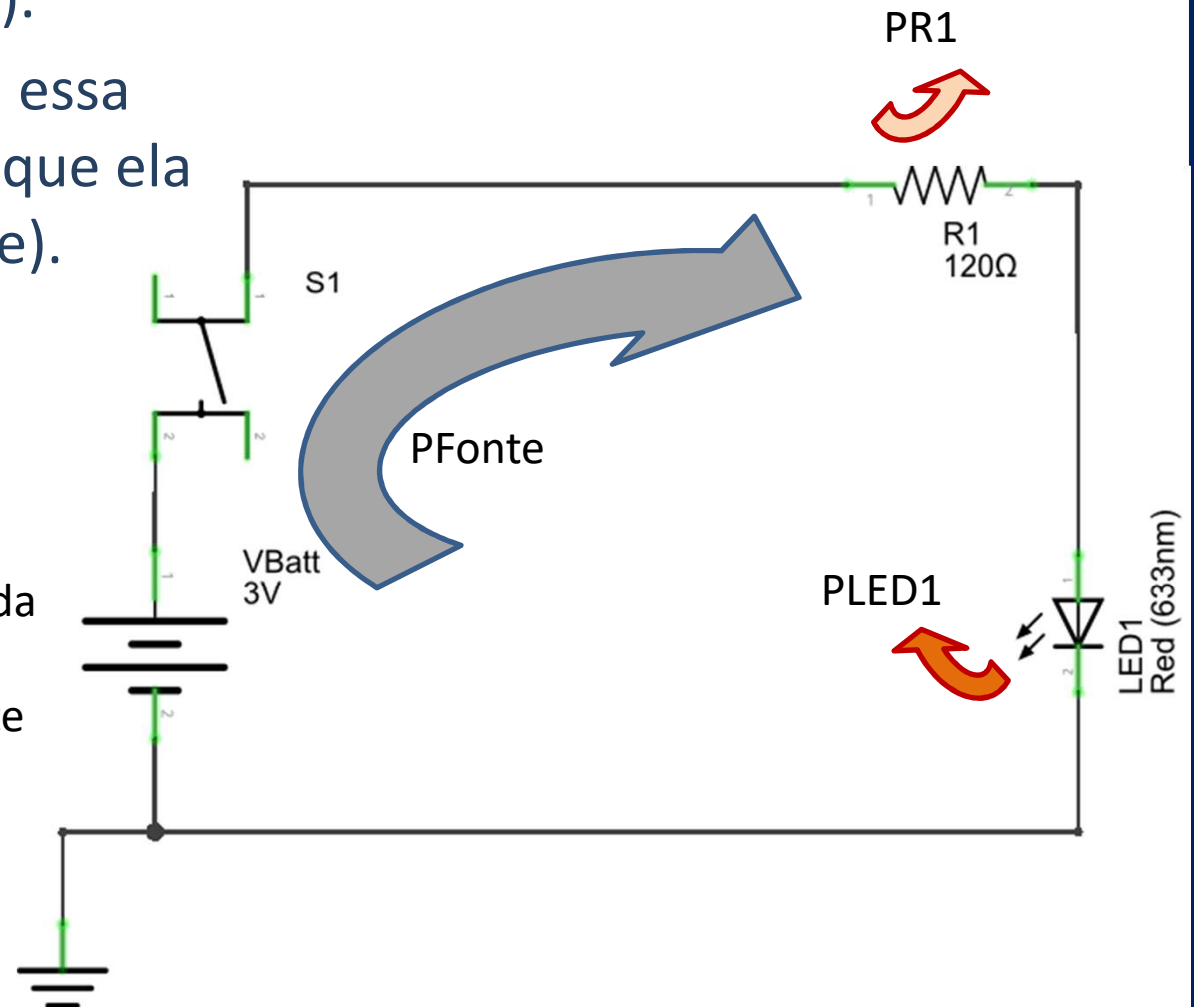




# Observações importantes do circuito do LED

1. A potência elétrica é proveniente da fonte de energia ( $P_{\text{Fonte}}$ ).
2. A potência da fonte é convertida, parte em luz no LED ( $P_{\text{LED}}$ ), parte em calor no resistor ( $P_{\text{Res}}$ ).
3. O elemento que manipula essa potência (permite ou não que ela flua) é o interruptor (chave).

**A potência se conserva:**  
 **$P_{\text{Fonte}} = P_{\text{R1}} + P_{\text{LED1}}$**



Curiosidade: Apenas de 4 a 18% da potência elétrica consumida pelo LED torna-se luz visível. O restante torna-se calor ou potência luminosa não visível. Para uma lâmpada incandescente esse número é de cerca de 2%.

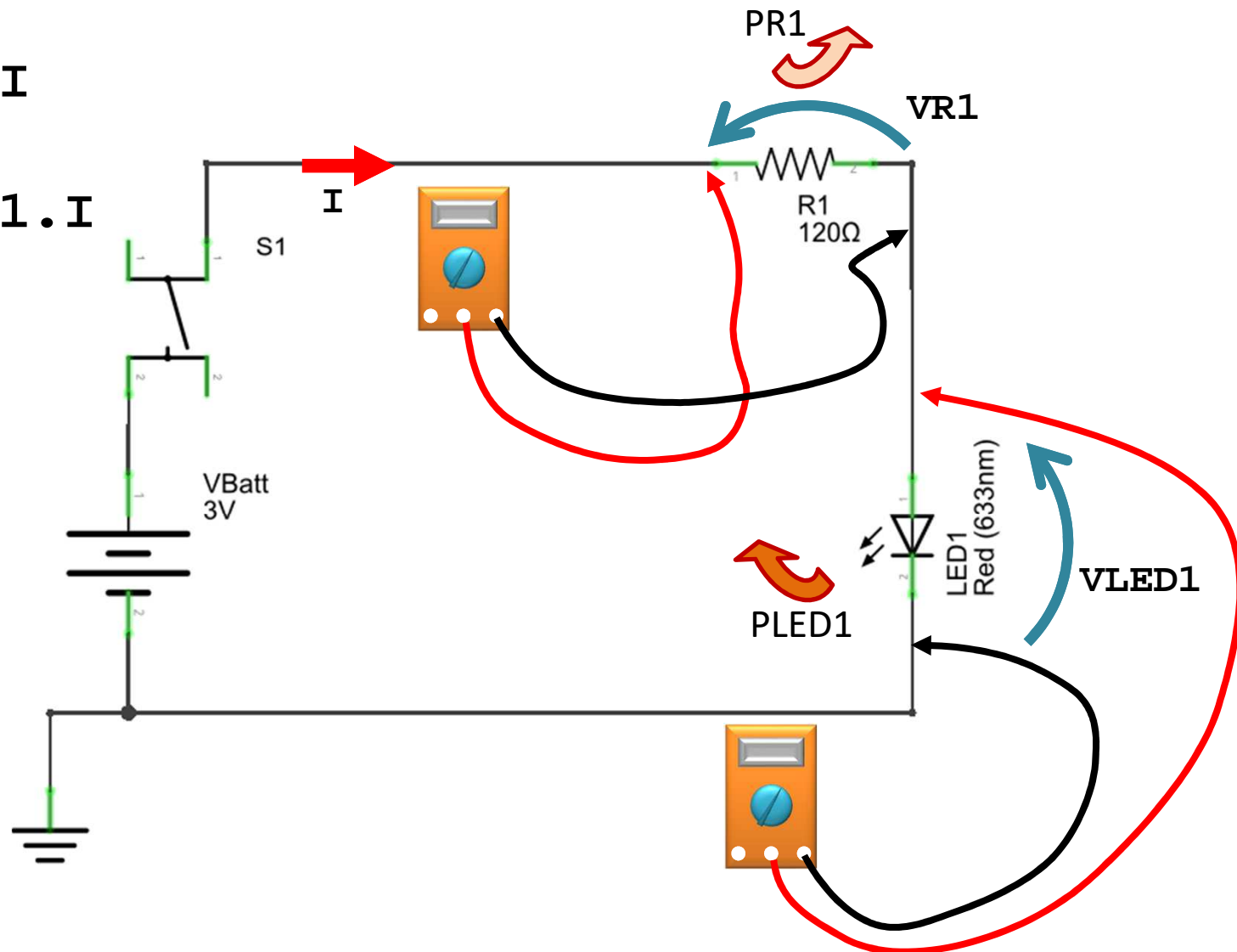


# Outras observações

- Para calcular a potência individual do resistor ou do LED, a corrente é a mesma medida anteriormente, mas você deve saber a tensão em cada componente individual, medindo com um voltímetro.

$$PR1 = VR1 \cdot I$$

$$PLED1 = VLED1 \cdot I$$





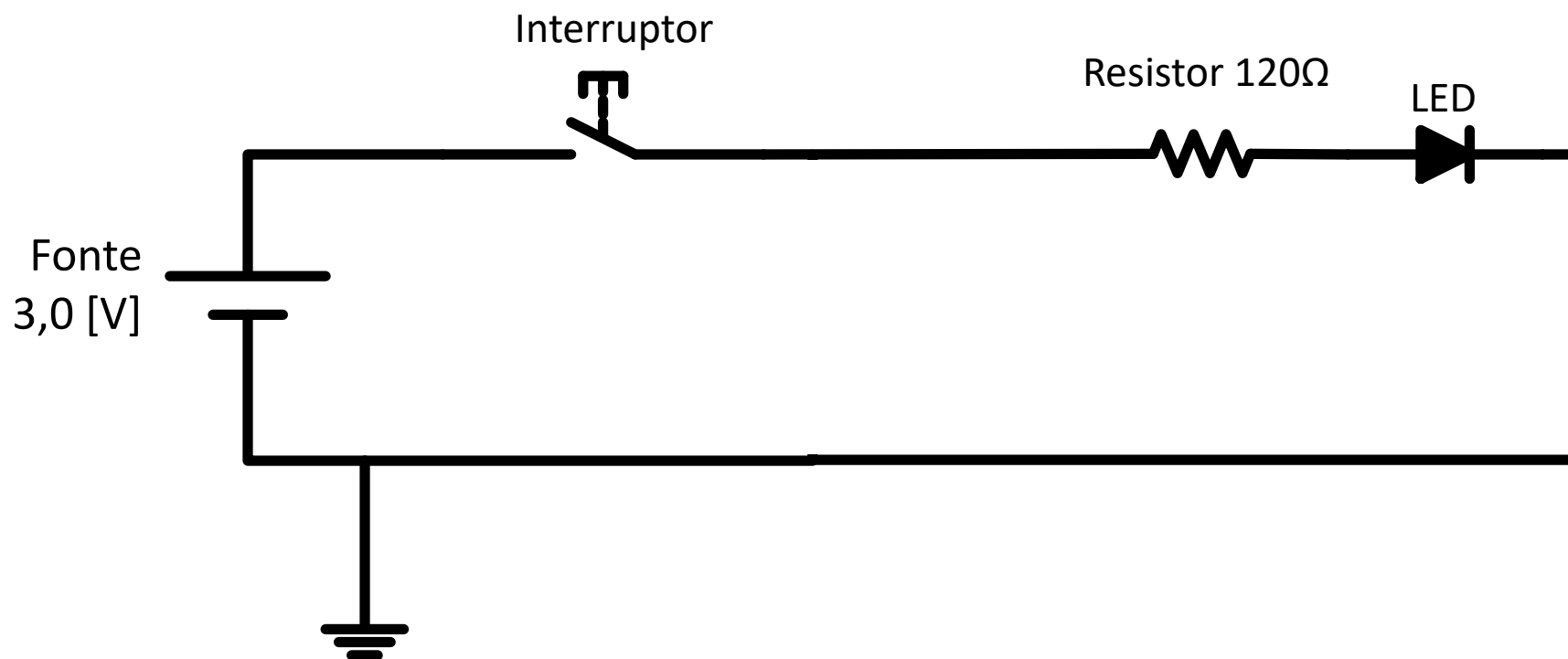
# Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
- 2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.**
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
4. Acionamento de cargas de maior potência.



# Recapitulando

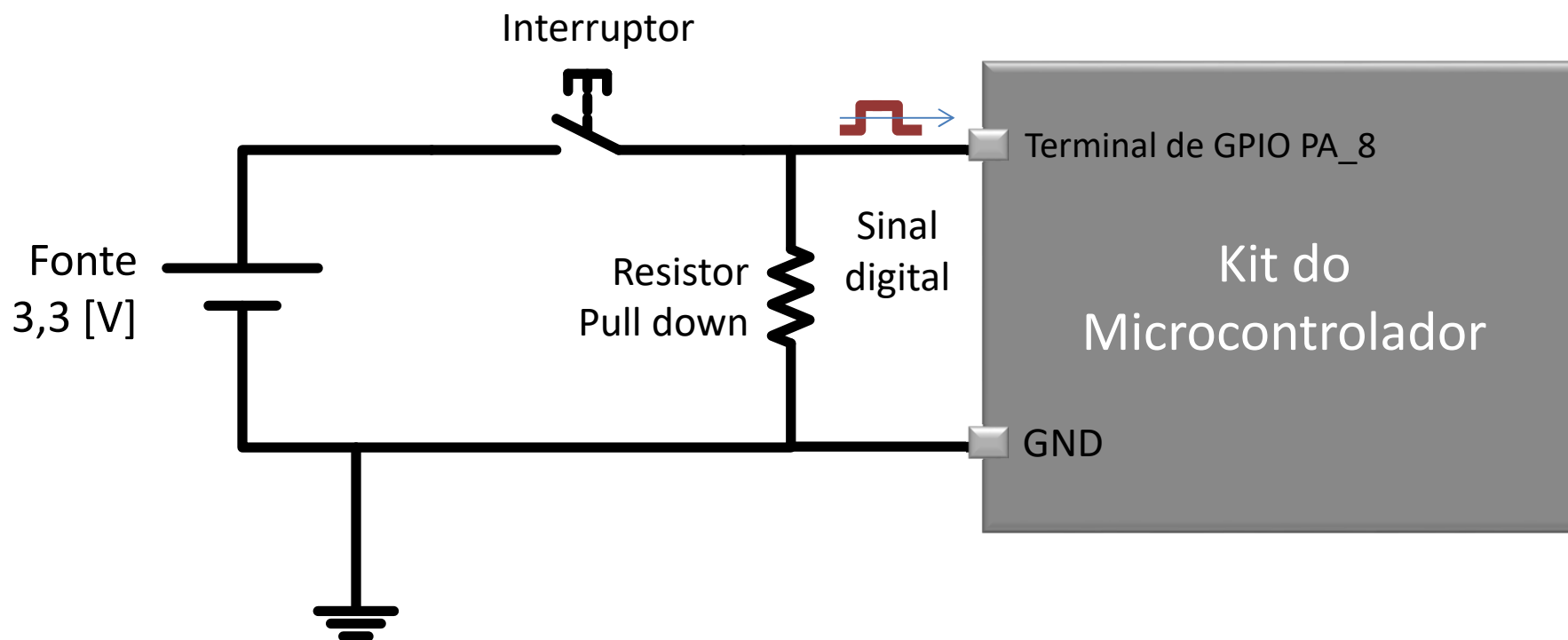
- Circuito de alimentação do LED





## Recapitulando

- Criando um botão como entrada digital para um microcontrolador

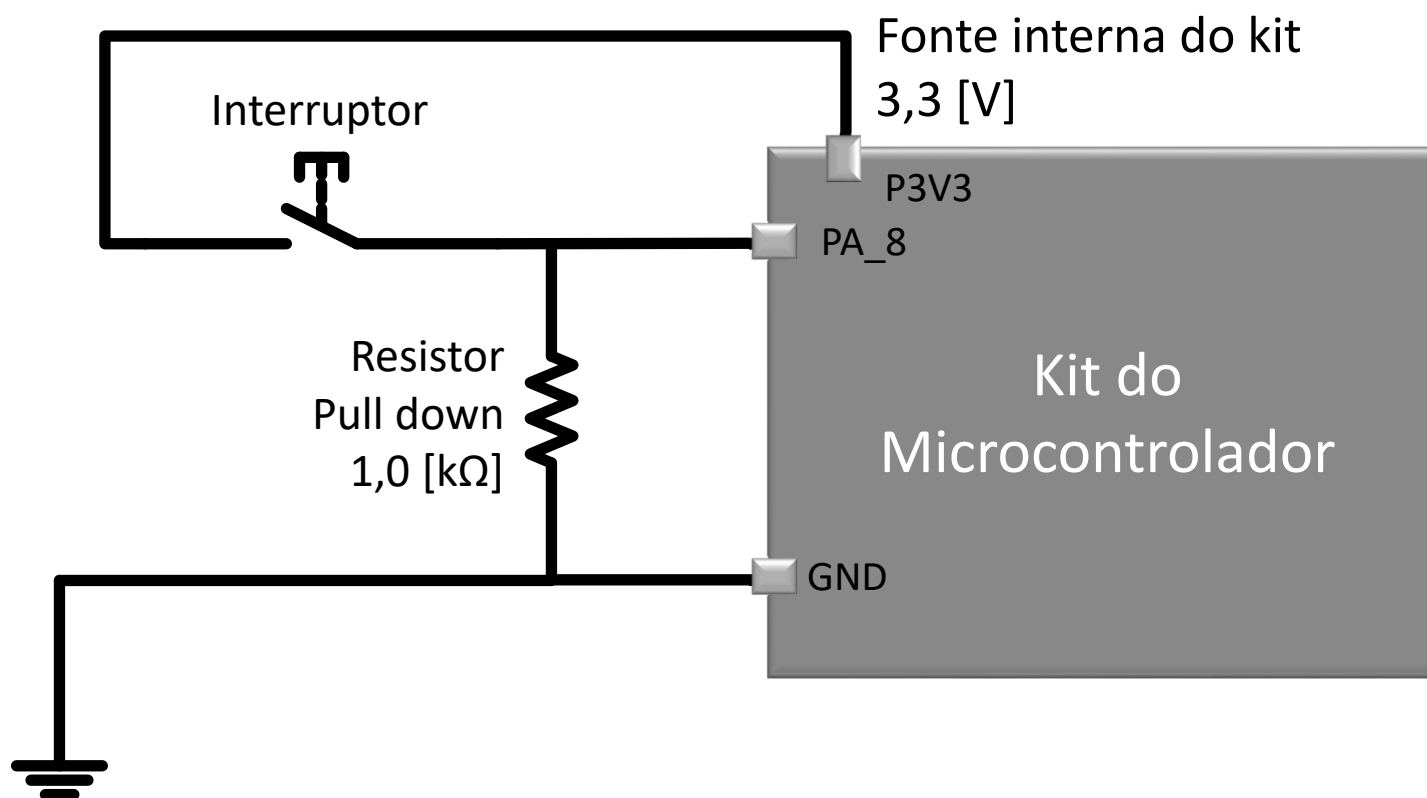


Atenção: Não foi exatamente esse o circuito montado!



## Recapitulando

- Botão como entrada digital para um microcontrolador



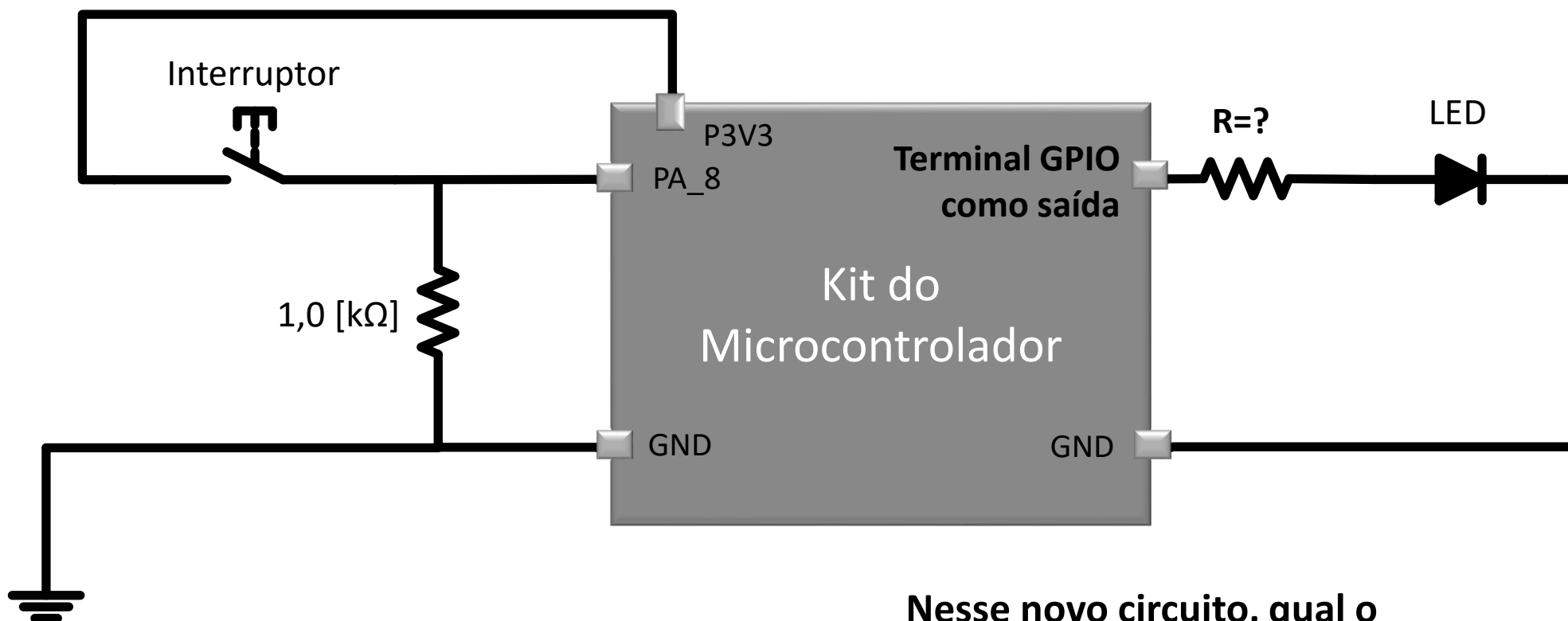
No circuito montado, usamos como fonte a própria tensão interna de 3,3V do kit do microcontrolador.





## Próximo passo

- Fazer com que o kit acione um LED externo.



Nesse novo circuito, qual o valor de R? Depende da corrente desejada para o LED e da tensão que o kit pode colocar no terminal GPIO.





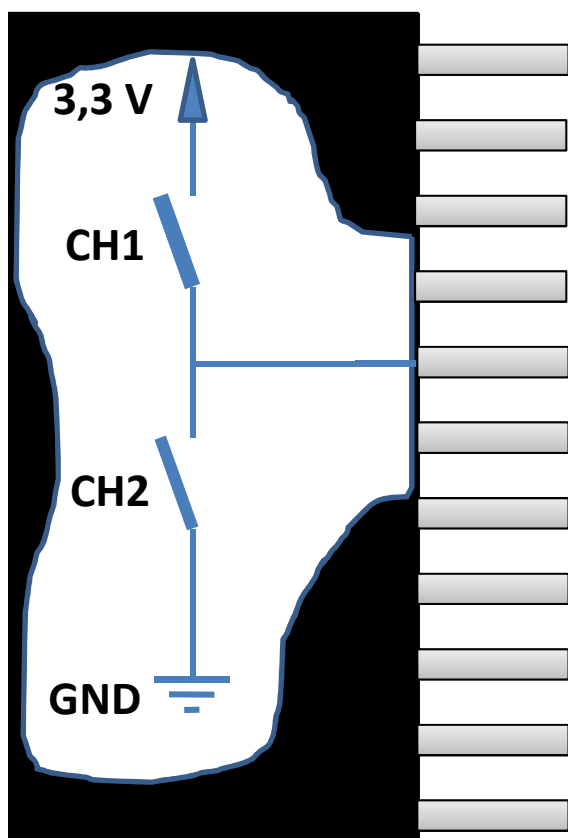
# Circuito de acionamento do LED

- Quando ligamos o LED com apenas o botão, as pilhas forneciam toda a corrente.
- Um resistor foi dimensionado para que a corrente não ultrapasse o valor máximo permitido para o LED, de 10 [mA], resultando em 120 [ $\Omega$ ] aprox.
- Agora quem irá acionar o LED é o KIT, com uma tensão próxima da anterior. O KIT, através da porta USB do computador, irá fornecer a corrente de 10,0 [mA] para o LED.
- **Mas como ele faz isso?**

Através dos ports GPIO configurados como saídas!



# Terminais GPIO utilizados como saídas

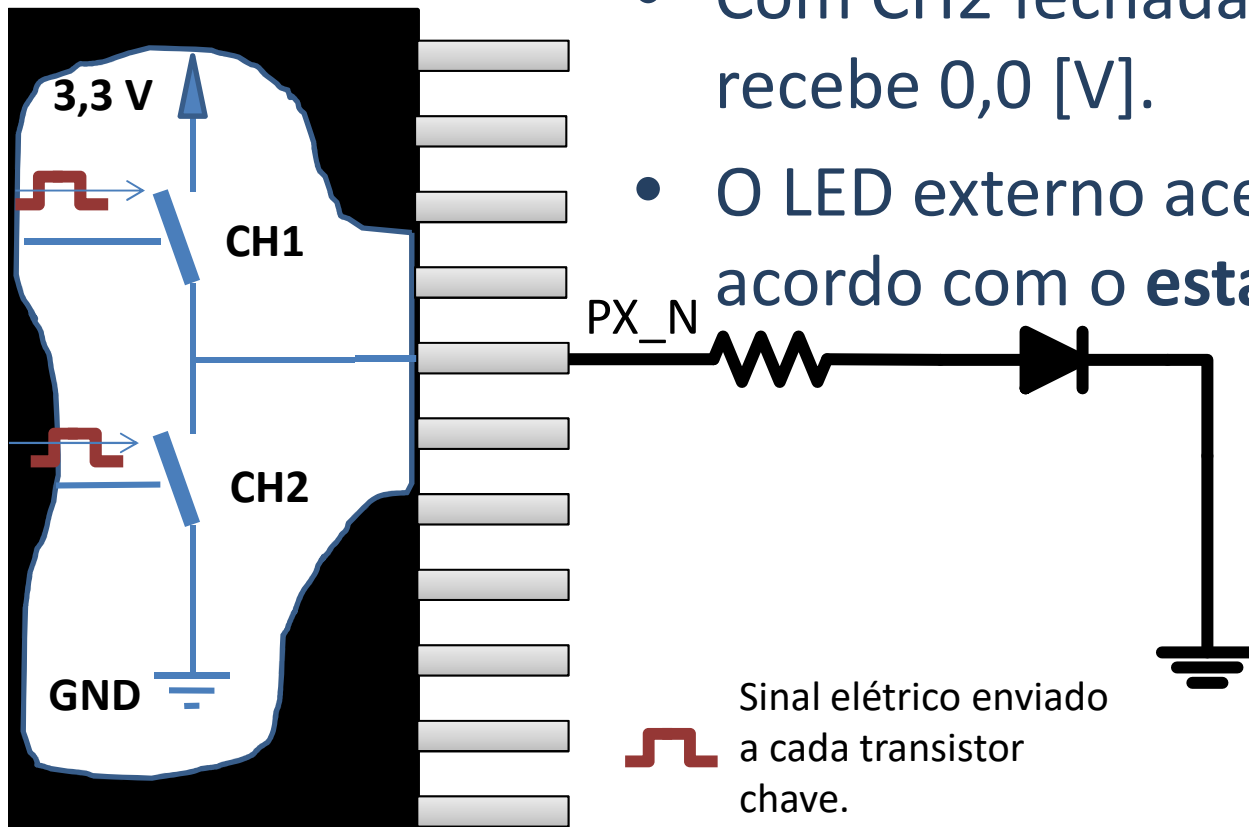


- Os pinos de GPIO configurados como saídas se comportam internamente como chaves controladas.
- Existem várias configurações de saídas, dependendo do microcontrolador.
- No nosso caso, cada saída possui duas chaves controladas (CH1 e CH2), numa configuração chamada *push-pull*.
- Quem aciona as chaves é o programa feito pelo usuário.
- A potência necessária vem pela porta USB do micro para dentro do microcontrolador.



# Funcionamento

- Cada chave controlada é um transistor.
- Um sinal elétrico digital é enviado para cada chave para que ela feche ou abra.
- Com CH1 fechada e CH2 aberta, o port PX\_N recebe a tensão de 3,3 [V].
- Com CH2 fechada e CH1 aberta, o port recebe 0,0 [V].
- O LED externo acenderá ou apagará, de acordo com o **estado** de CH1 ou CH2.



**Pergunta: E se alguém pedir para acionar CH1 e CH2 simultaneamente?**

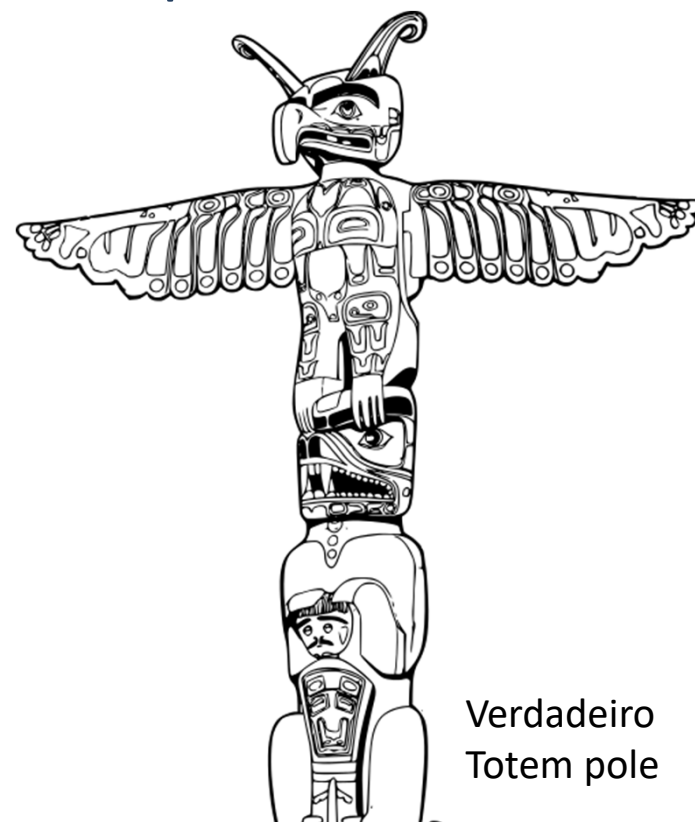
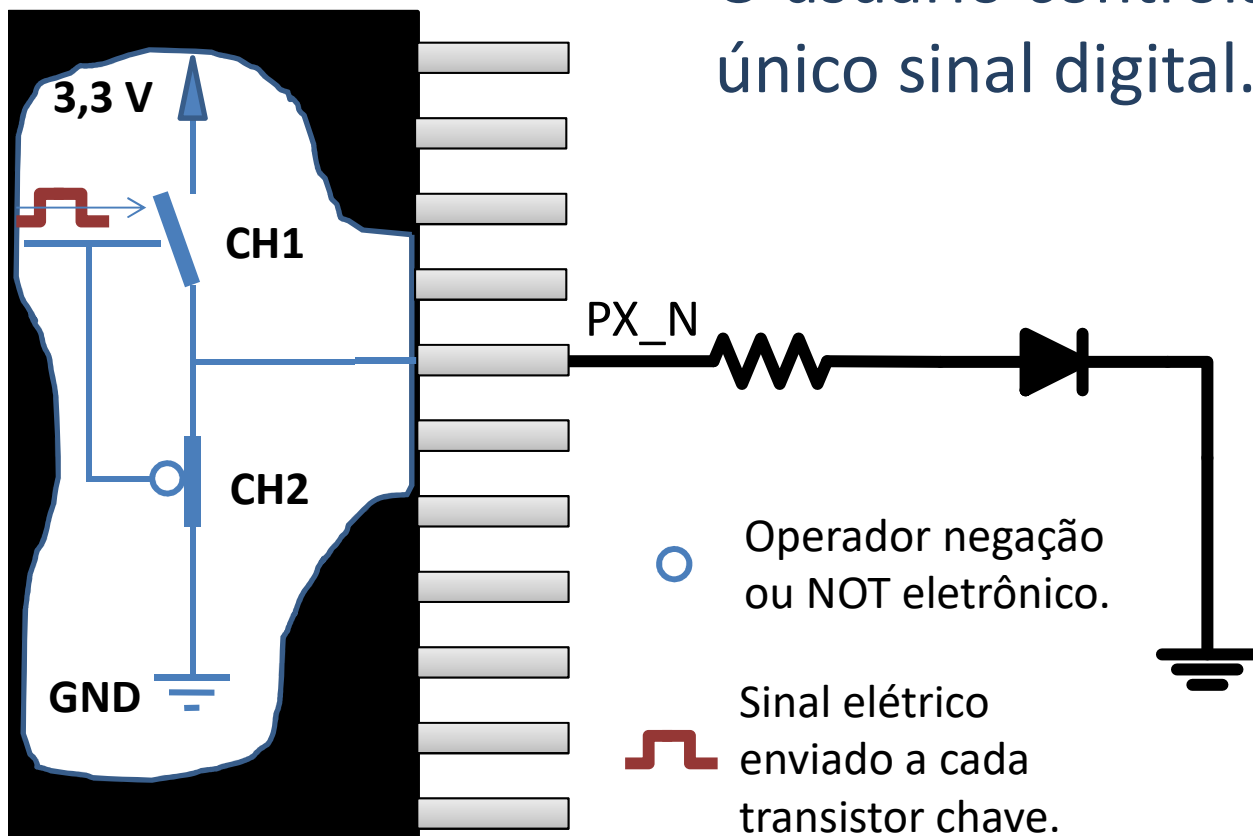
**Podéria haver um curto-circuito!!!**



# Saídas tipo Push-Pull (ou “totem-pole”)



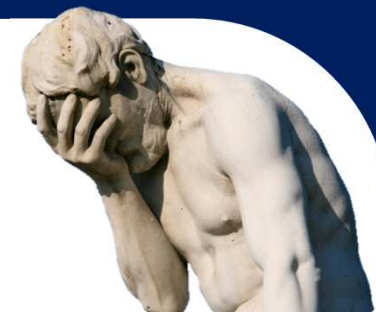
- Na configuração *push-pull*, uma eletrônica dedicada impede o acionamento de ambas as chaves simultaneamente.
- Enquanto uma está ligada a outra está desligada, e vice-versa.
- O usuário controla ambas por meio de um único sinal digital.





# Pergunta ingênua importante

- Posso ligar err... digamos, uma geladeira com um pino de um microcontrolador?

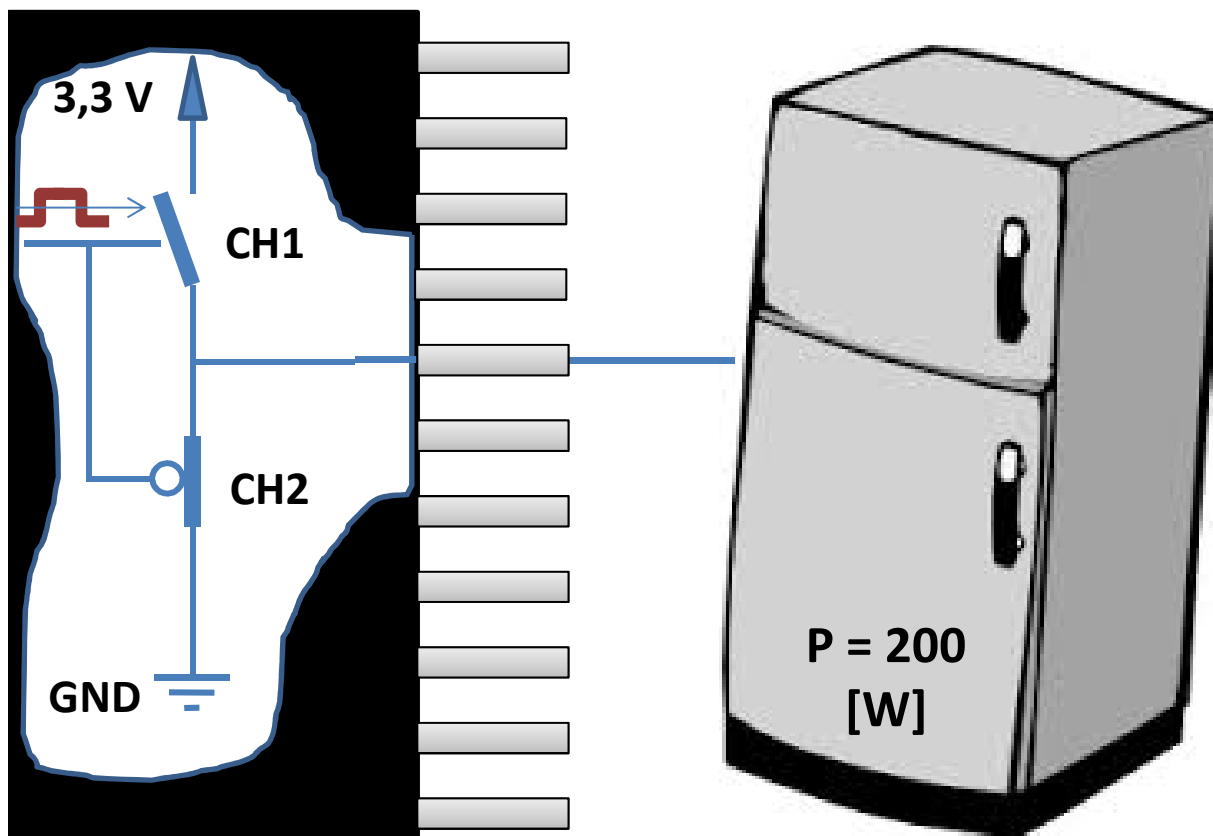


- Resposta 1:

**Não**, pois a tensão da geladeira deve ser maior (115 V), e alternada (AC).

- Resposta 2:

**Não**, pois mesmo se a tensão fosse correta, toda a potência requerida pela geladeira passaria pelo microcontrolador, mas seus transistores de push-pull, ou a USB, **NÃO SUPORTAM** tanta potência ou corrente elétrica!



Os limites operacionais devem ser respeitados !!!



# Limites operacionais do microcontrolador

- No datasheet do STM32 (microcontrolador), além das informações sobre as tensões máximas e mínimas, há uma informação a respeito das correntes máximas.
- Cada terminal individual pode fornecer ou receber corrente com valor até 25,0 [mA], mas não é só...

Table 22. Current characteristics

Symbol	Ratings	Max.	Unit
$\Sigma I_{VDD}$	Total current into sum of all VDD power lines (source) <sup>(1)</sup>	120	mA
$\Sigma I_{VSS}$	Total current out of sum of all VSS ground lines (sink) <sup>(1)</sup>	-120	
$I_{VDD(PIN)}$	Maximum current into each VDD power pin (source) <sup>(1)</sup>	100	
$I_{VSS(PIN)}$	Maximum current out of each VSS ground pin (sink) <sup>(1)</sup>	-100	
$I_{IO(PIN)}$	Output current sunk by any I/O and control pin	25	
	Output current source by any I/O and control pin	-25	
$\Sigma I_{IO(PIN)}$	Total output current sunk by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	80	
	Total output current sourced by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	-80	
	Total output current sourced by sum of all I/Os supplied by VDDIO2	-40	

Datasheet



## Limites operacionais (cont).

- Todos os pinos de GPIO juntos só podem consumir ou fornecer no máximo 80,0 [mA] ou 40[mA] dependendo da porta!!

Table 22. Current characteristics

Symbol	Ratings	Max.	Unit
$\Sigma I_{VDD}$	Total current into sum of all VDD power lines (source) <sup>(1)</sup>	120	mA
$\Sigma I_{VSS}$	Total current out of sum of all VSS ground lines (sink) <sup>(1)</sup>	-120	
$I_{VDD(PIN)}$	Maximum current into each VDD power pin (source) <sup>(1)</sup>	100	
$I_{VSS(PIN)}$	Maximum current out of each VSS ground pin (sink) <sup>(1)</sup>	-100	
$I_{IO(PIN)}$	Output current sunk by any I/O and control pin	25	
	Output current source by any I/O and control pin	-25	
$\Sigma I_{IO(PIN)}$	Total output current sunk by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	80	
	Total output current sourced by sum of all I/Os and control pins <sup>(2)</sup>	-80	
	Total output current sourced by sum of all I/Os supplied by VDDIO2	-40	
$I_{INJ(PIN)}^{(3)}$	Injected current on B, FT and FTf pins	-5/+0 <sup>(4)</sup>	
	Injected current on TC and RST pin	± 5	
	Injected current on TTa pins <sup>(5)</sup>	± 5	
$\Sigma I_{INJ(PIN)}$	Total injected current (sum of all I/O and control pins) <sup>(6)</sup>	± 25	

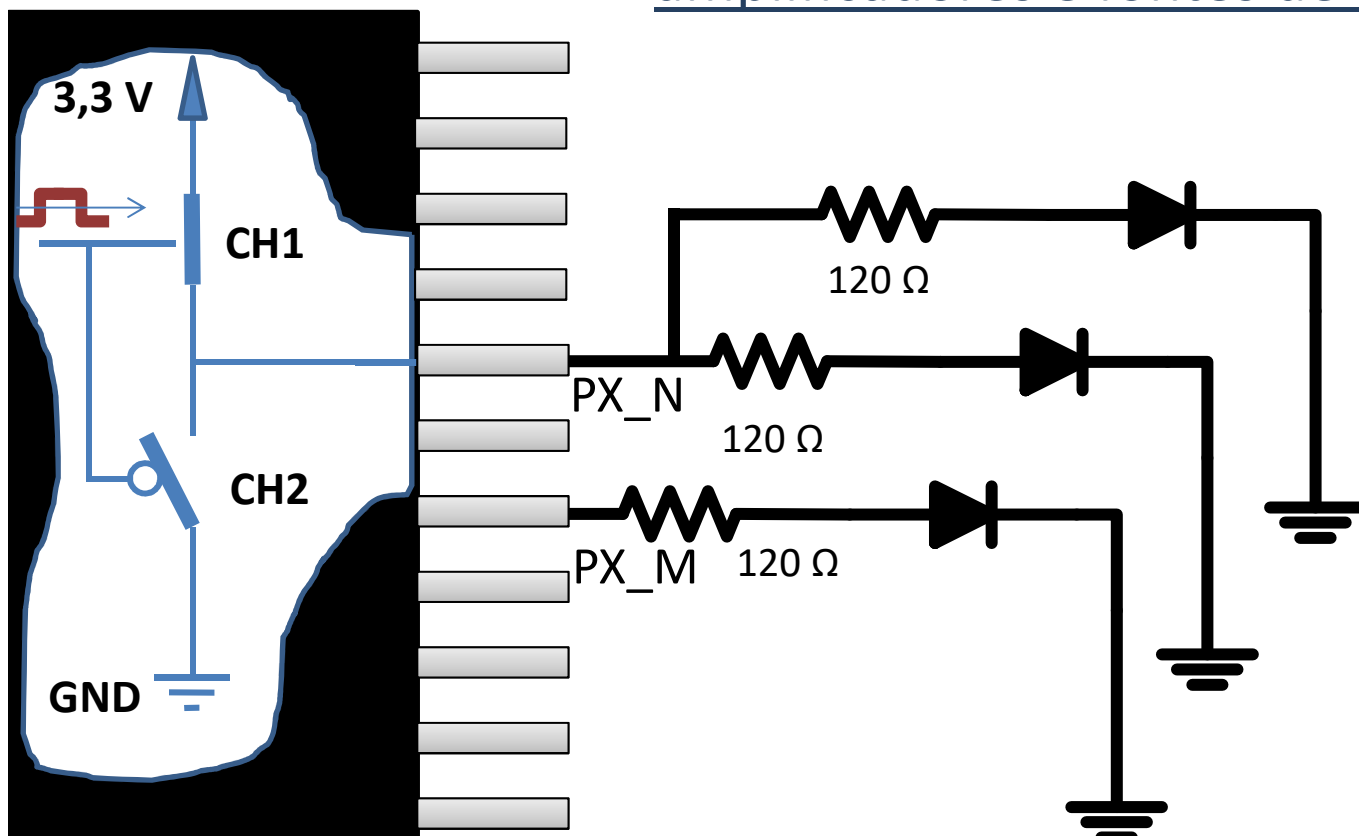
Datasheet





# Exemplos de ligação para vários LEDs

- Pode-se ligar até dois LEDs externos por port, cada um com corrente de 10,0 [mA].
- Podem ser ligados até 8 LEDs simultaneamente, em vários pinos de saída do microcontrolador.
- Para mais LEDs, ou acionamento de cargas de maior corrente ou potência, são necessários amplificadores e fontes de energia auxiliar.



Também é possível trabalhar com LEDs com menos corrente e menor brilho, com resistores maiores.



# Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
- 3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.**
4. Acionamento de cargas de maior potência.



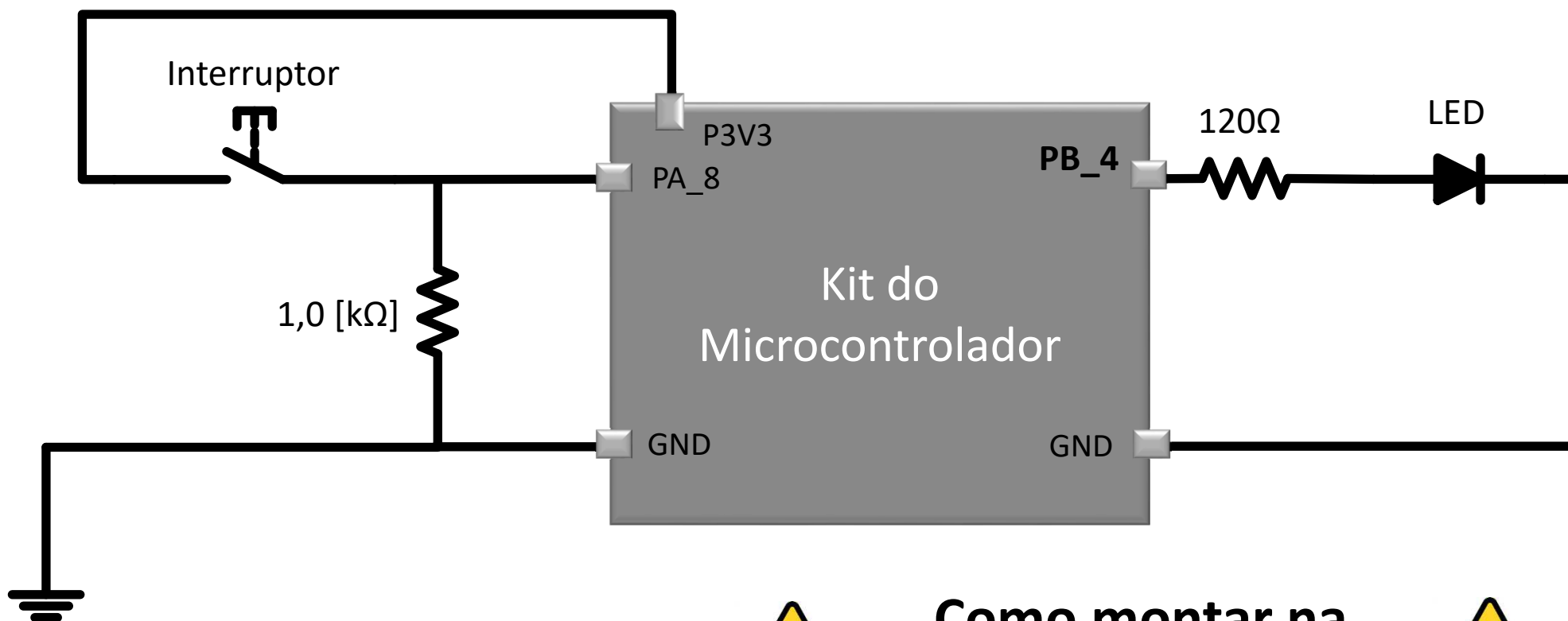
## Atividade 1 – Ligação de um LED externo simples

- Montar um circuito para ligar um LED externo ao kit. Material:
  - Uma protoboard.
  - Um botão micro-switch (identifique seus terminais com teste de continuidade do multímetro).
  - Um LED vermelho.
  - Resistores de valor adequado (identifique o resistor com a função de ohmímetro do multímetro).
  - Fios e conexões elétricas.



## Montagem de exemplo de acionamento de LED

- Fazer com que o kit acione um LED externo.



Como montar na protoboard?



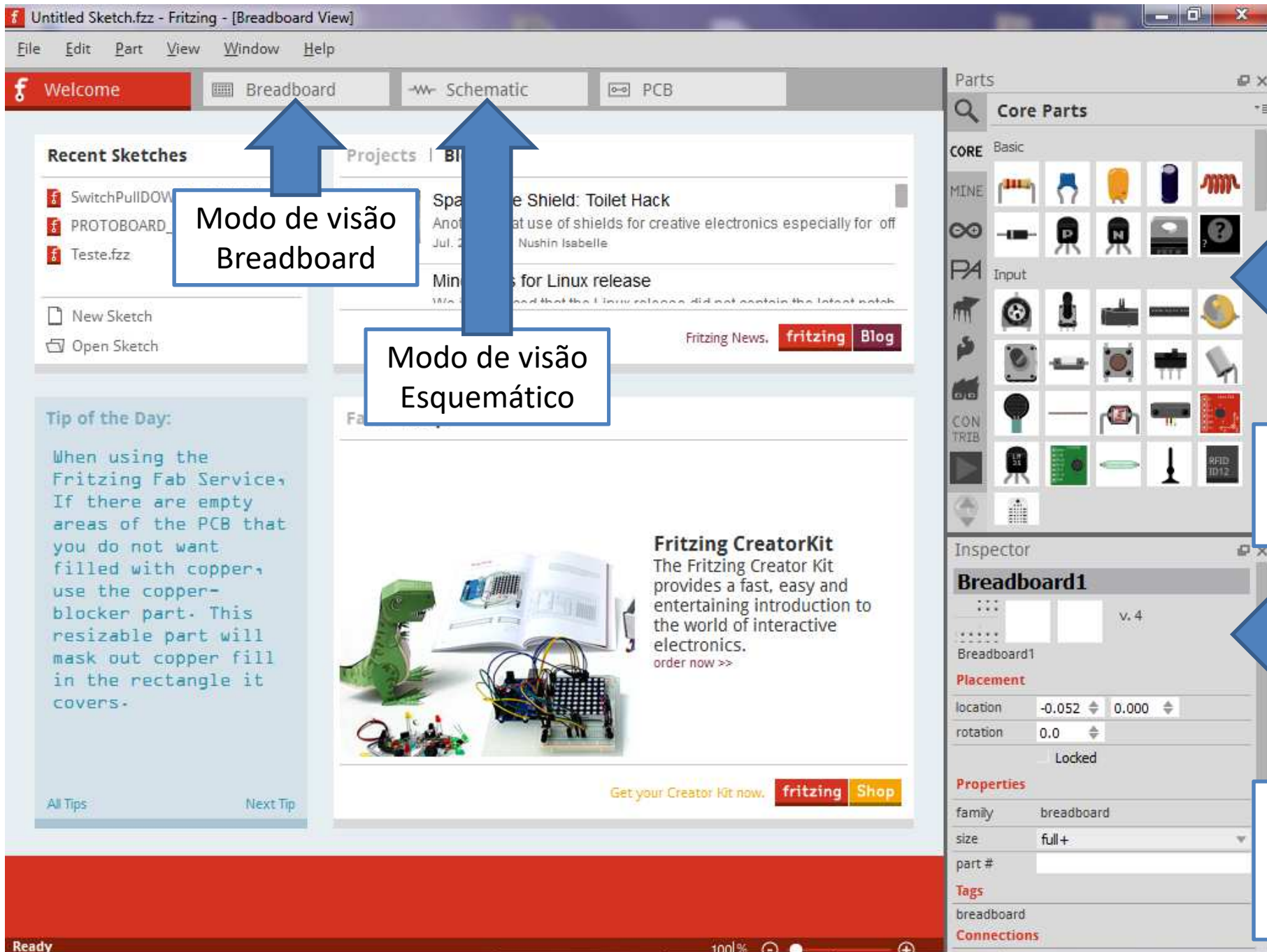


# Usando o software Fritzing

- Obter o programa em [fritzing.org](http://fritzing.org).
- Gratuito.
- Não precisa instalar, basta baixar e descomprimir em um diretório (Windows, MACOS e Linux).
- Rodar o executável.
- Iniciar um novo projeto, no Menu “File”, opção “New”.
- **Atenção: Salve constantemente seus arquivos em um local conhecido, para transportar seus projetos para casa!**



# Tela do Fritzing



Modo de visão  
Breadboard

Modo de visão  
Esquemático

**Parts:**  
Biblioteca de  
componentes

**Inspector:**  
Propriedades  
de um  
componente



# Usando o Fritzing

- Comece pela “Breadboard View”.
- Função da roda do mouse → *Zoom In* e *Out* no desenho
- Pressionando a roda do mouse → *Pan* (*Scroll* da tela)
- Botão esquerdo do mouse → Seleção de componentes
- Quando um componente é selecionado, suas propriedades aparecem no canto inferior direito, no “Inspector”.
- Botão direito do mouse → Algumas propriedades de cada componente podem ser modificadas rapidamente.

## Primeiro passo:

- Ao iniciar um projeto novo, surge uma protoboard.
- Selecione a protoboard e modifique as suas propriedades no “Inspector”, para que ela pareça com a protoboard da disciplina (dica: size = BB-301).



## Segundo passo:

- Procure na biblioteca de componentes, em cada um das paletas disponíveis, os componentes necessários para montar o circuito “virtual” no Fritzing.
- Existe uma paleta denominada CORE, que possui a grande maioria dos componentes de uso geral, como chaves, resistores, fontes, e etc.
- Pesquisando por STM32 aparecerá uma versão eletrônica básica do kit STM32F072 da disciplina.
- Arraste esses componentes para a área de trabalho do Fritzing e faça o diagrama mostrado no próximo slide.
- Fios e conexões elétricas são feitos clicando-se com o botão esquerdo sobre os terminais e conectores, arrastando o fio até o seu destino desejado.





# Dicas do Fritzing

- Novos componentes podem ser obtidos na Internet e adicionados a alguma paleta.
- Ao clicar e segurar o botão esquerdo do mouse sobre um nó no esquema da “Breadboard View”, são iluminados todos os pontos conectados a esse nó.
- Clicando-se em “Schematic”, é mostrado um diagrama elétrico profissional, que pode receber outros componentes como símbolo de referência (terra ou GND), fontes e etc. que não são mostrados no “Breadboard View”.
- A visualização em modo “Breadboard” e “Schematic” são independentes. Algumas ligações criadas em uma das vistas podem parecer pontilhadas na outra. Cabe ao usuário organizar cada um dos desenhos a contento.



# Mais instruções sobre o Fritzing

- No moodle da disciplina, há uma versão do Fritzing para baixar (versão Windows) com instruções para instalação e adição da placa STM32F072 usada na disciplina.
- Quando executado no micro, o Fritzing detecta a língua do sistema operacional e traduz sua interface. Boa parte dos comandos e telas mostradas anteriormente podem estar em português no seu computador.
- Observação: Um propósito do Fritzing é também permitir o projeto de placas adaptadoras simples, para kits padrão Arduino e compatíveis. Essas funcionalidades requerem outros conhecimentos e também custos. Procure a orientação de um professor sobre o uso desses recursos.

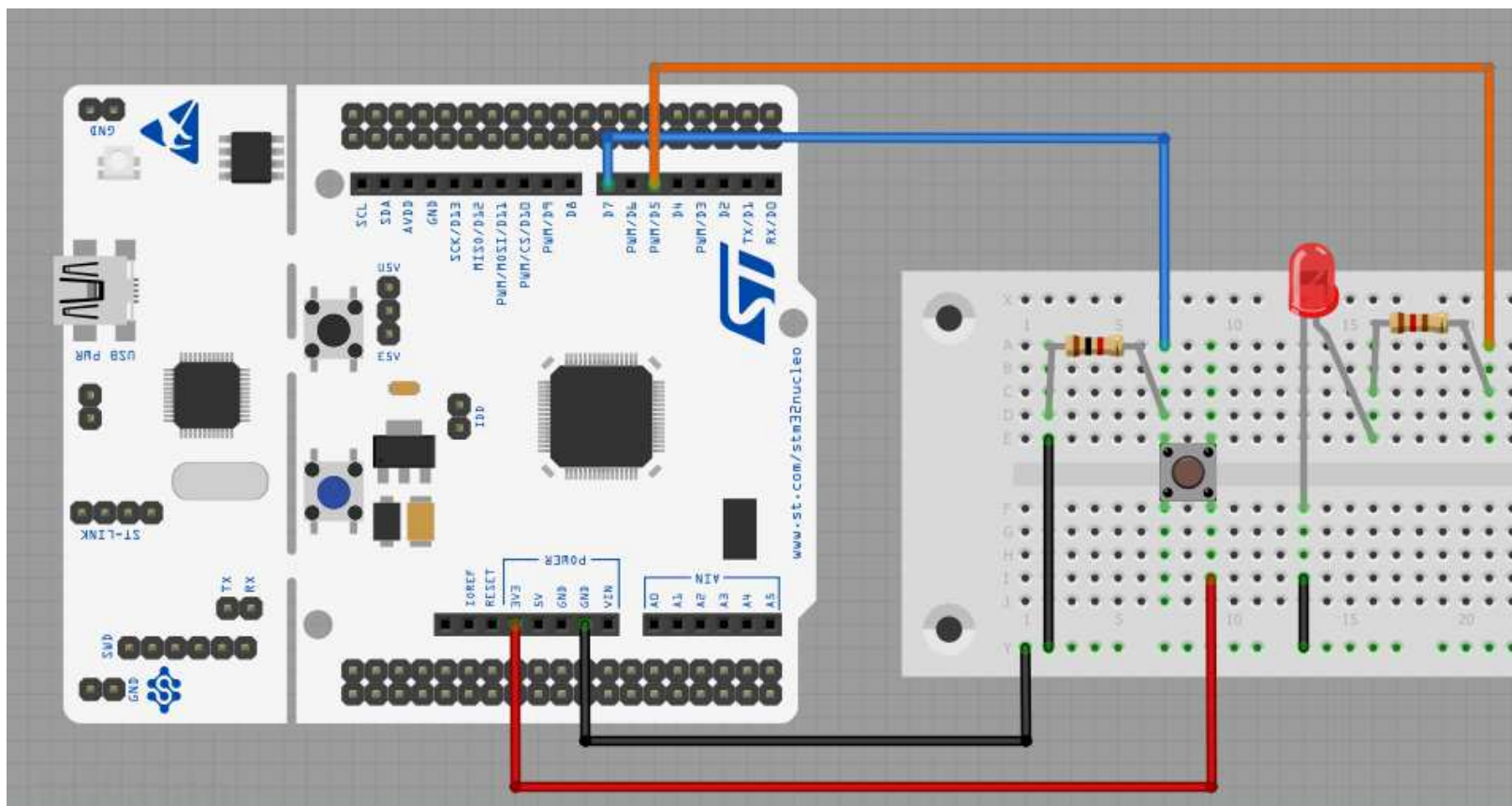


## Atividade 1 – Desenhe o circuito no Fritzing

- Desenhe o esquema do kit acionando o LED externo.
  - No Fritzing, use a ferramenta de procura na paleta de componentes para encontrar o kit STM32 e outros componentes necessários.
- Chame o professor para mostrar o resultado.
- Após a anuência do professor, faça a montagem na protoboard.



# Circuito para desenho no Fritzing



## Vantagens do uso do Fritzing:

- Serve como ferramenta para documentação mínima dos projetos e esquemas elétricos.
- Permite o planejamento das conexões.



**Ao final do desenho, chame o professor antes de iniciar a montagem na protoboard.**



# Programa no MBED – Pisca LED Externo

- Criar um novo projeto do MBED (empty project).
- Não se esqueça de fazer “Import Library... Mbed.h”.
- Adapte um programa anteriormente feito para o pisca-pisca do LED para usar o port PB\_4 como saída digital, ou seja `DigitalOut led(PB_4);`
- Em caso de emergência, use o programa do próximo slide.
- Verificar a operação do sistema.
- Curiosidade: Meça a corrente consumida pelo LED quando o mesmo está aceso. Veja se está adequado aos limites do chip.



# Programa para desenvolver no MBED

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

```
int main(void)
```

```
{
```

```
    DigitalIn botao(PA_8);
```

```
    DigitalOut led_ext(PB_4);
```

```
    while(1) {
```

```
        if(botao) {
```

```
            led_ext=0;
```

```
        } else {
```

```
            led_ext=1;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

## LEDExt.cpp



# Sumário

1. Medidas de corrente e potência elétrica.
2. Recapitulando GPIO e limites operacionais.
3. Acionamento de LEDs e uso do Fritzing.
- 4. Acionamento de cargas de maior potência.**



# E se nós precisarmos de mais potência?

- O microcontrolador não pode manipular potências maiores que  $0,025 \cdot 3,3 \approx 83$  [mW] por pino, ou, em geral, maiores que  $0,08 \cdot 3,3 \approx 264$  [mW] para todos os pinos.
- Para potências superiores, faz-se o uso de amplificadores ou circuitos de apoio externos.
- Os circuitos externos lidam com a potência extra e são comandados pelo microcontrolador.



1.21 gigawatts ???

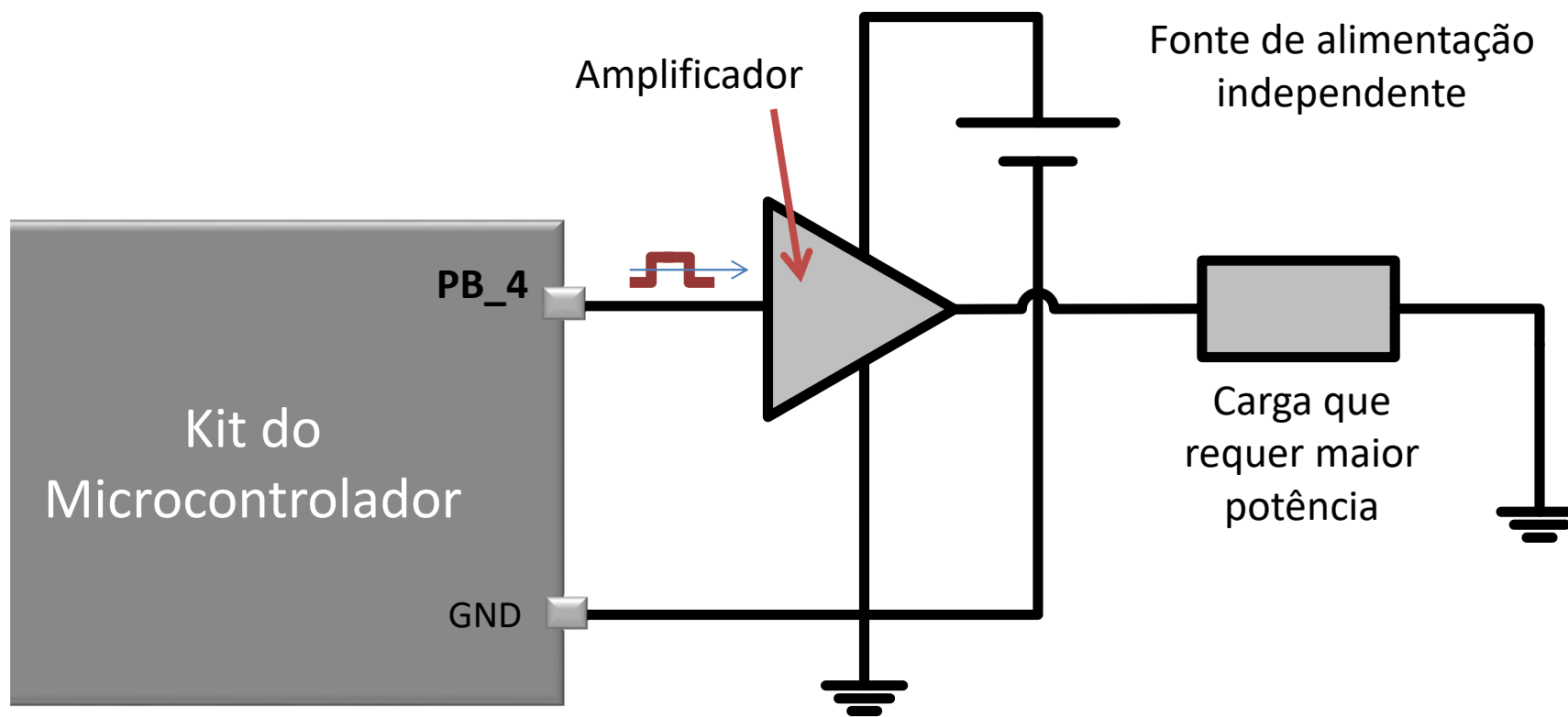
**Não, também não  
exagere!**





# Circuitos externos de amplificação

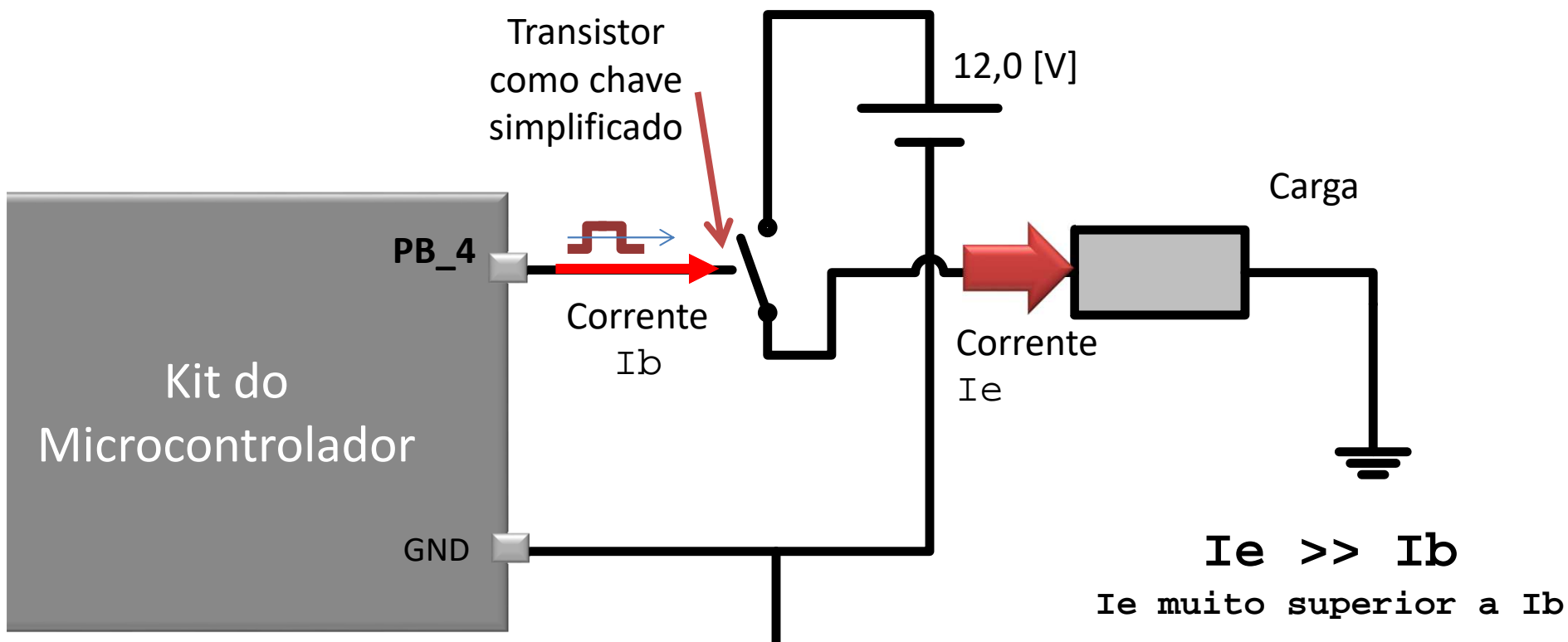
- Podem possuir uma fonte independente da fonte do microcontrolador.
- Recebem um sinal de comando e podem aplicar uma tensão maior, com maior corrente, a uma dada carga.





# Amplificador com chave controlada

- Ex: Uma única chave controlada, semelhante ao push-pull.
  - A chave precisa de poucas centenas de [ $\mu\text{A}$ ] para fechar.
  - A chave pode lidar com correntes na carga de até algumas centenas de [ $\text{mA}$ ].

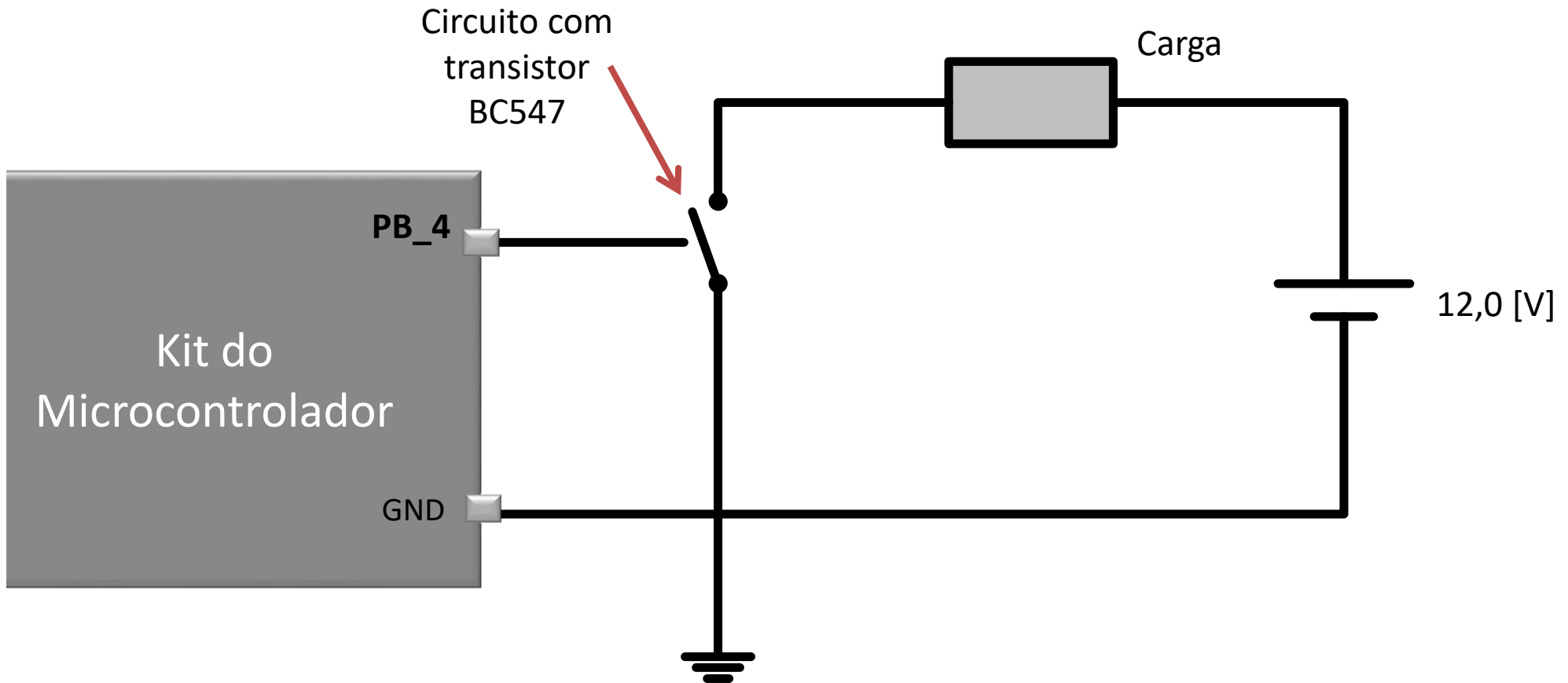




# Ex: Chave transistorizada com BC547

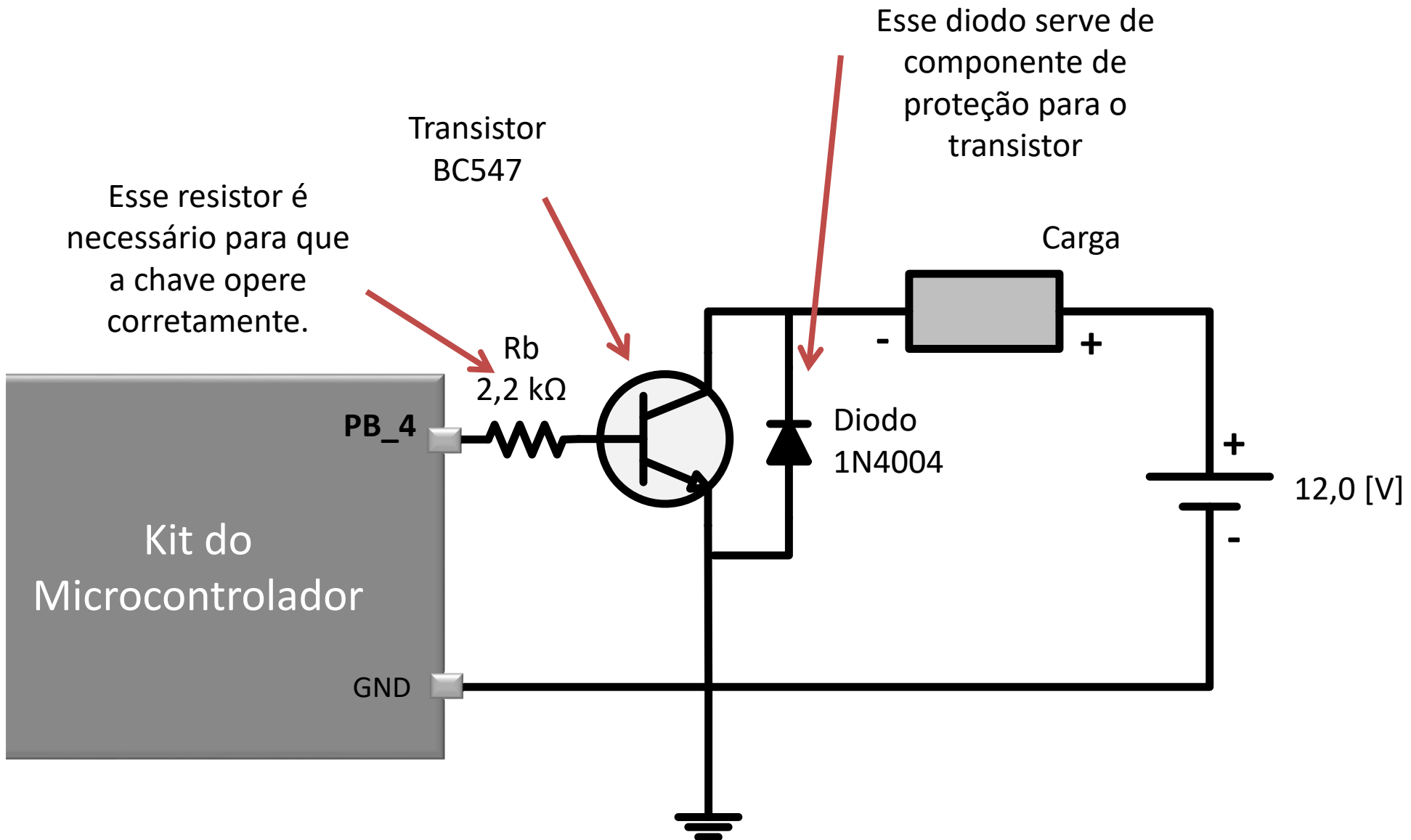
- Funcionamento

- Quando a chave fecha, o terminal de terra é ligado à carga, cujo outro terminal já está conectado ao positivo de outra fonte auxiliar.
- Quando a chave abre, a carga é desconectada.





# Ex: Detalhes do circuito com o transistor





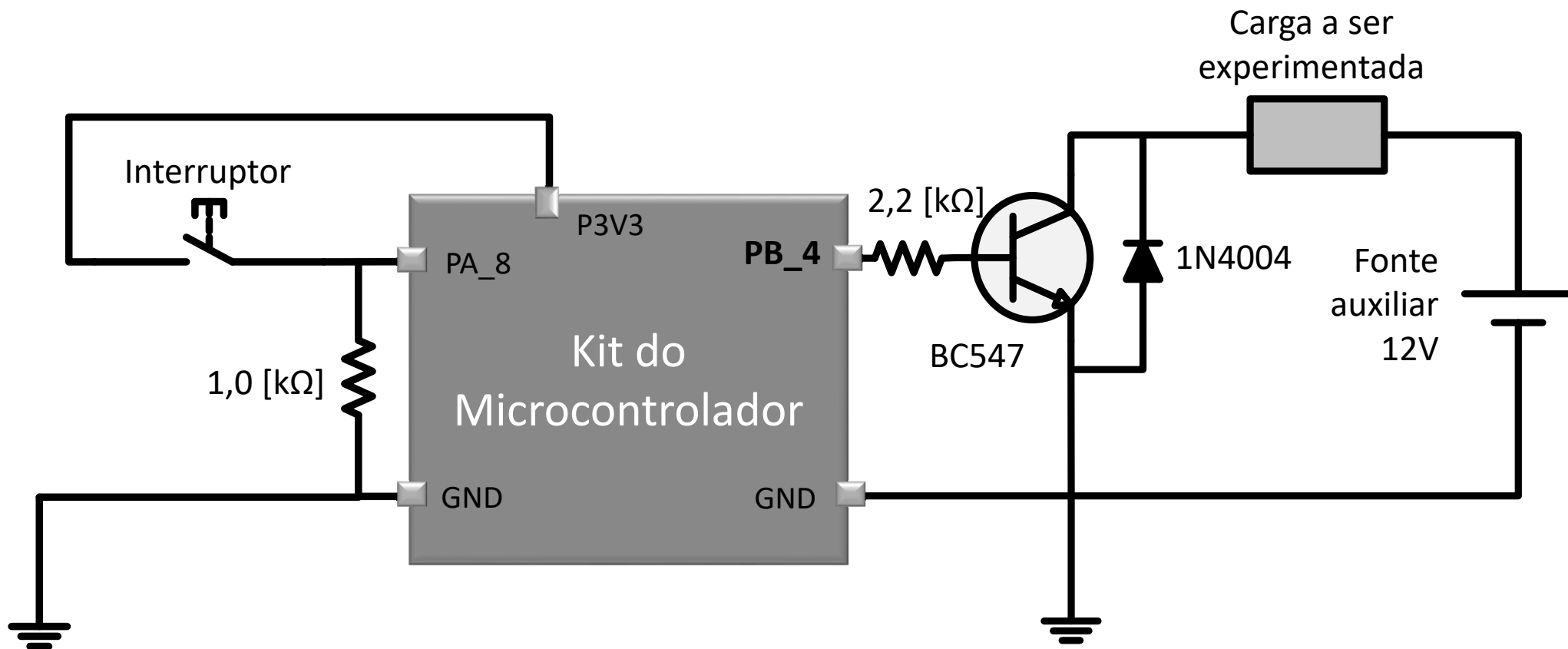
## Atividade 2 – Ligação de cargas externas com transistor

- Montar um circuito para ligar cargas externas ao kit. Material:
  - Uma protoboard.
  - Um botão micro-switch (identifique seus terminais com teste de continuidade do multímetro).
  - Um transistor BC547 ou BC548.
  - Um diodo 1N4001 ou 1N4004.
  - Resistores de valor adequado (identifique o resistor com a função de ohmímetro do multímetro).
  - Fios e conexões elétricas.
  - Várias cargas (ventoinha, buzzer, micro-lâmpada incandescente).
  - Fonte auxiliar de 12,0 [V].



## Montagem de exemplo de acionamento de LED

- Fazer com que o kit acione uma carga externa.



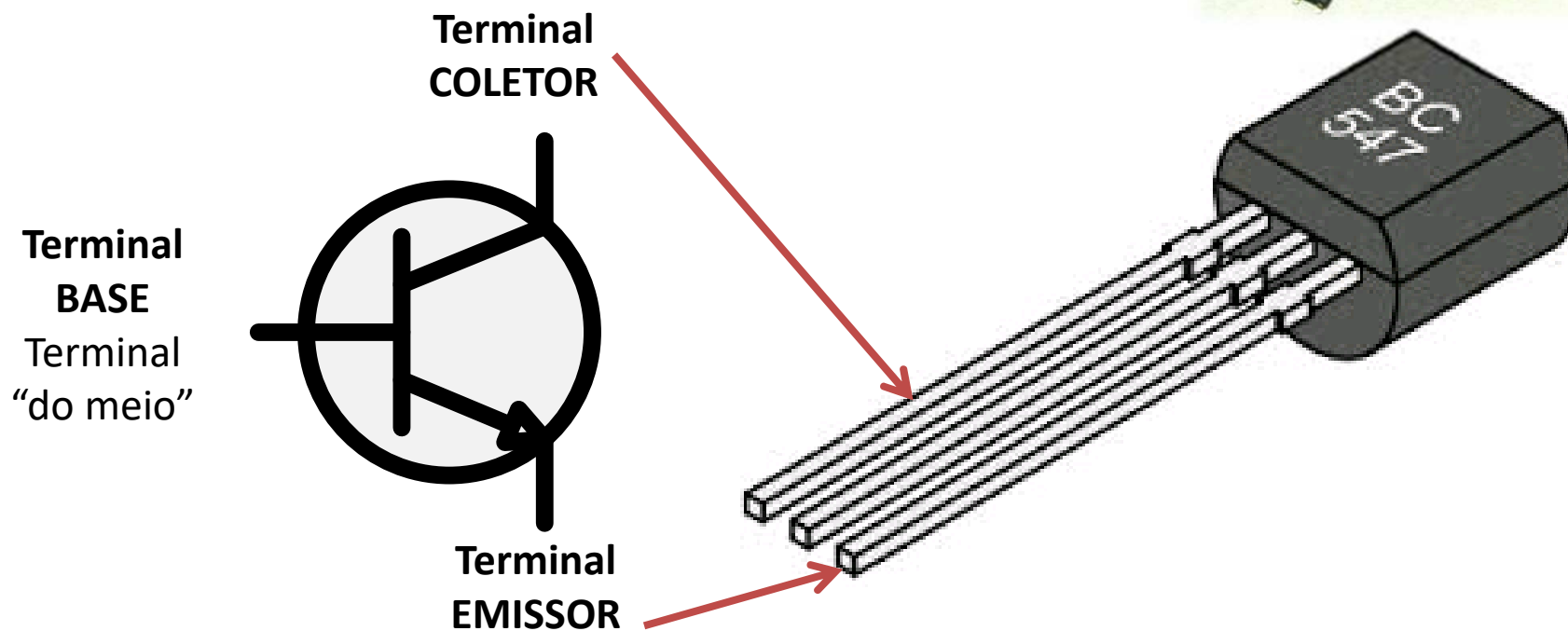
Como montar na protoboard?





# Conhecendo um transistor

- Vários tipos, tamanhos e capacidades.
- Várias tecnologias de fabricação e características elétricas (FET, MOSFET, Bipolar, etc.).
- Deve-se identificar seus terminais corretamente.
- No caso do BC547, temos:





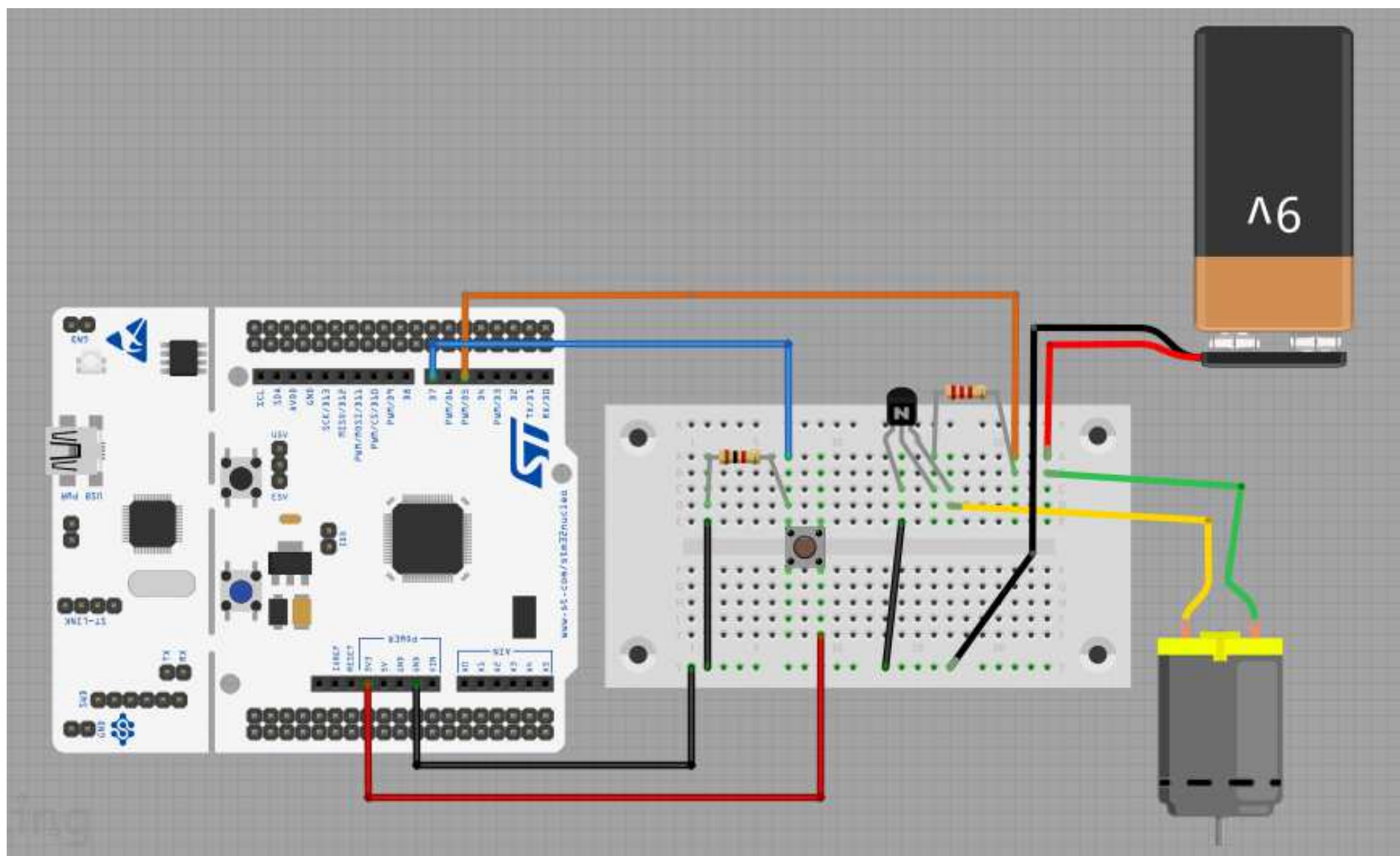
## Atividade 2 – Desenhe o circuito no Fritzing

- Desenhe o esquema do kit acionando uma carga externa.
- Use como fonte auxiliar uma bateria de 9,0 [V], a título de exemplo.
- Use como carga um motor de corrente contínua (DC MOTOR), com dois terminais.
- Use o transistor NPN da paleta “Core”.
- Chame o professor para mostrar o resultado.
  
- Após a anuência do professor, faça a montagem na protoboard.
- Teste com o mesmo programa usado com o LED externo.
- Meça as correntes consumidas por cada tipo de carga.
- Atenção: Cuidado com a polaridade do motor *brushless* da ventoinha!!! Diferente de um motor DC tradicional, ligar com a polaridade invertida não faz o motor girar no outro sentido.





# Exemplo de circuito para ativ. 2





## Para saber mais

- Fritzing, <http://fritzing.org>, ultimo acesso Ago/2014.
- Mbed, <http://mbed.org> , ultimo acesso Ago/2014.
- STM32F072 microcontroller ,  
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f072rb.pdf>, ultimo acesso Set/2018.
- Monk, S., “Hacking Electronics. An illustrated DIY guide for makers and hobbyists”, Mc Graw Hill Education, 2013.