



GESTÃO DE ENERGIA EM IOT

TOP. ESPECIAIS EM SISTEMAS EMBARCADOS

PROF. JOSENALDE OLIVEIRA – UFRN

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

MOTIVAÇÃO

- Consumo de energia de dispositivos IoT alimentados por baterias (painéis solares)
- Custo para alimentar dispositivos IoT com ligação permanente à rede elétrica
- Itens a considerar/dimensionar num PROJETO:
 - Necessidade de consumo BAIXO/ULTRA BAIXO – baterias sem recarga/recarga/substituição cara
 - Ambiente da aplicação (residência, ambiental)
- Em geral, dispositivos alimentados por FONTES (AC-DC a partir da rede) – consumo baixo – AUMENTA SE USAR COMPUTADORES PESSOAIS

MOTIVAÇÃO



https://cdn-images-1.medium.com/max/2000/1*_efopomskJKZmWpuvMuHIQ.jpeg

<https://www.celuloseonline.com.br/wp-content/uploads/2018/06/unnamed-6.jpg>

MOTIVAÇÃO

- EXEMPLO 1: Monitoramento ambiental com intervalo de medidas (tempo de amostragem) maiores (horas, dias etc.) não exigem fonte permanente, logo com consumo mínimo são interessantes para longos de período de operação sob fontes alternativas, como eólicas, solar etc.
- EXEMPLO 2: Monitoramento de pacientes – tempo de amostragem curto



DISPOSITIVOS E CONSUMO

- Conceito de ULTRA LOW POWER (ULP) para RSSF (TELOS B: 41 mW, 7.38mA em 1.8V; ULP do ESP32: 0.15mA (150uA)
- Dispositivos WPAN 802.15.4 (no-wifi: radio)
- Com wi-fi maior consumo (ESP8266, ESP32, Raspberry...)

$$P = V I \text{ (influência } V)$$

Cada DEVICE conectado CONSOME...



DISPOSITIVOS E CONSUMO

- ESP8266

- CONSUMO MÁXIMO TRANSMITINDO E POTÊNCIA MÁXIMA (17 dBm): 170mA e no mínimo (13 dBm): 120 mA; RECEBENDO a -80 dBm: 50mA, a -65 dBm: 56 mA
- MODOS: MODEM-SLEEP (15 mA): CPU continua funcionando e pode fazer I/O. Desliga WiFi entre intervalos de envio do beacon pelo roteador, funciona em modo station e não faz TX, RX;
- LIGHT-SLEEP (0.5 mA): CPU desligada, mas pode ser acionada por um sinal de I/O. Reage na presença de um sinal de I/O;
- DEEP-SLEEP (10 uA): todos os circuitos são desligados por um tempo determinado. Após esse tempo a CPU reinicia – PODE SER PROGRAMADO PARA ACORDAR PERIODICAMENTE, REALIZAR UMA TAREFA (LER UM SENSOR) E ENVIAR PELA REDE, DEPOIS VOLTAR A DORMIR. Cada reinicialização (5 segundos, logo TS minutos recomendado)

DISPOSITIVOS E CONSUMO

- ESP32



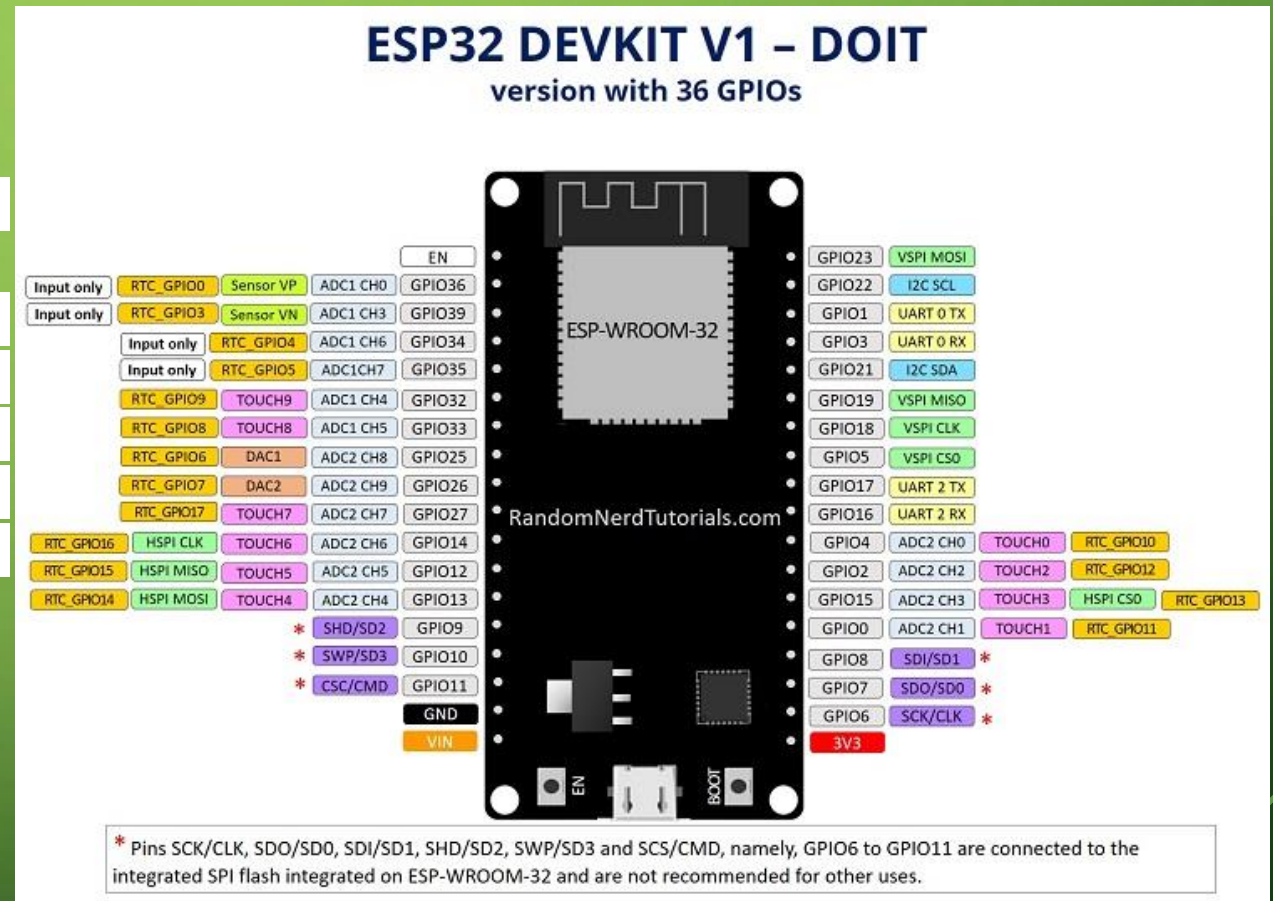
| Power mode | Active | Modem-sleep | Light-sleep | Deep-sleep | Hibernation |
|--------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| Sleep pattern | Association sleep pattern | | | ULP sensor-monitored pattern | - |
| CPU | ON | ON | PAUSE | OFF | OFF |
| Wi-Fi/BT baseband and radio | ON | OFF | OFF | OFF | OFF |
| RTC memory and RTC peripherals | ON | ON | ON | ON | OFF |
| ULP co-processor | ON | ON | ON | ON/OFF | OFF |

| Power mode | Description | Power consumption |
|---------------------|--|---------------------------------------|
| Active (RF working) | Wi-Fi Tx packet 14 dBm ~ 19.5 dBm | Please refer to Table 10 for details. |
| | Wi-Fi / BT Tx packet 0 dBm | |
| | Wi-Fi / BT Rx and listening | |
| Modem-sleep | The CPU is powered on. | Max speed 240 MHz: 30 mA ~ 50 mA |
| | | Normal speed 80 MHz: 20 mA ~ 25 mA |
| | | Slow speed 2 MHz: 2 mA ~ 4 mA |
| Light-sleep | - | 0.8 mA |
| Deep-sleep | The ULP co-processor is powered on. | 150 μ A |
| | ULP sensor-monitored pattern | 100 μ A @1% duty |
| | RTC timer + RTC memory | 10 μ A |
| Hibernation | RTC timer only | 5 μ A |
| Power off | CHIP_PU is set to low level, the chip is powered off | 0.1 μ A |

DISPOSITIVOS E CONSUMO

- ESP32

Enquanto o ESP32 está no modo deep sleep a memória RTC permanece energizada, então pode-se escrever um programa para o co-processador ULP e armazenar dados na memória RTC, para acessar periféricos, timers internos e sensores internos. Este modo de operação é útil se você precisa ativar a CPU por evento externo, timer, ou ambos, mantendo o mínimo de consumo



No deep sleep RTC_GPIO pode ser usado pelo co-processador ULP

DISPOSITIVOS E CONSUMO

- ESP32

<https://randomnerdtutorials.com/esp32-deep-sleep-arduino-ide-wake-up-sources/>

DISPOSITIVOS E CONSUMO

- ESP8266

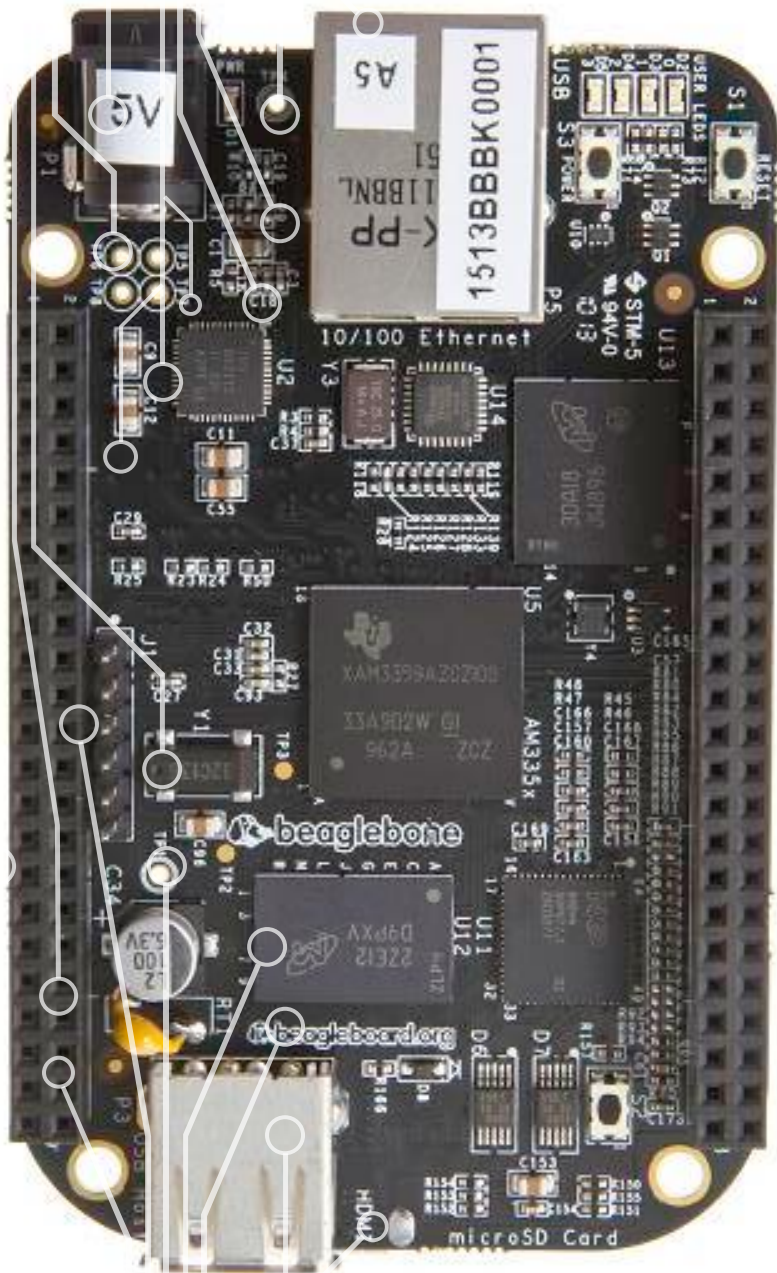
- EXEMPLO: modo DEEP SLEEP
- BATERIA com capacidade de fornecimento de corrente de 1000 mAh
- Consumo no MODO (apenas módulo): $10 \mu\text{A}$ (0.01 mA) = 100.000 horas = 4.166 dias = 11 anos (TEÓRICO)

- RASPBERRY Pi3 B

- Inicialização 350 mA, Ocioso (300 mA), Video (330 mA), Sobrecarga (1340 mA); Pi ZERO (150, 100, 160, 350)

- RASPBERRY com consumo médio de 400 mA em 5 V, 2W de potência

- $2\text{W} * 24\text{h} = 48\text{W} \times 30 \text{ dias} = 1440 \text{ Wh} = 1.44 \text{ kWh}$



DISPOSITIVOS E CONSUMO

- BEAGLEBONE funciona bem com 3.5V, interessante para baterias de lítio e polímero de lítio (LiPo) de 3.7V
- LiPo – mais flexíveis, leve, mais caras (drones, iPhone, iPad); íons de Litio: outros fabricantes, laptops
- 3,7 V e múltiplos (por célula) – 1 célula com carregador de 5V
- Baterias NiMH (níquel-metal-hidreto): 1.2V/célula – AA/AAA

DISPOSITIVOS E CONSUMO

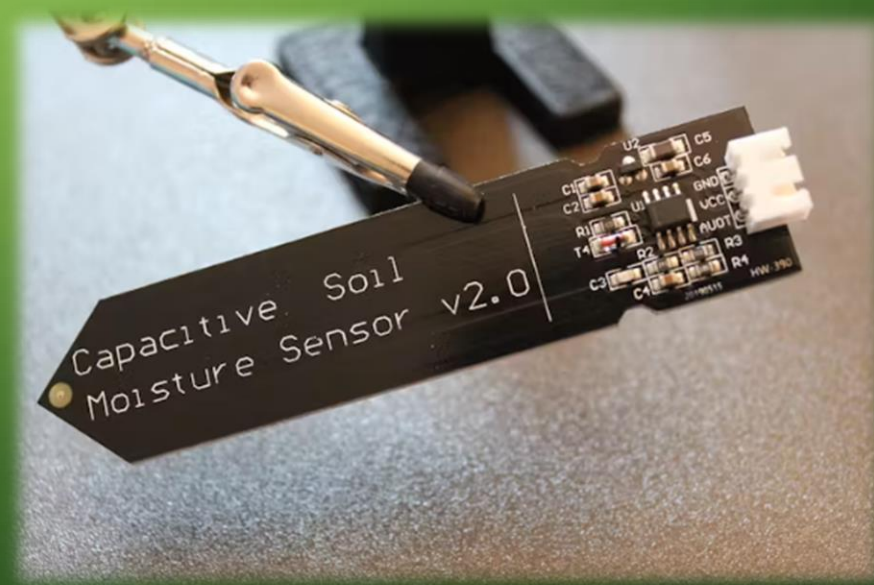
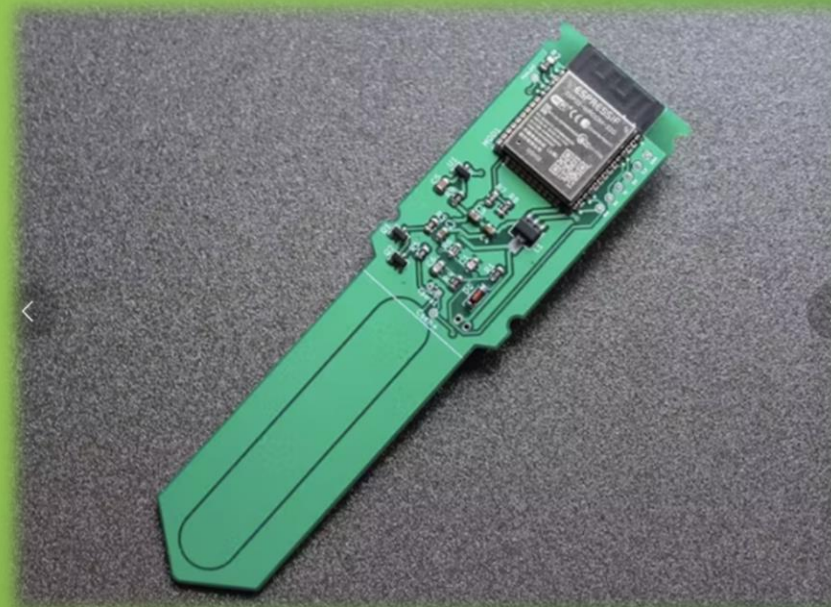
- Depende da aplicação
- Em desenvolvimento lítio-ar (carros elétricos)
- CR2032: 200 mAh
- $AUTONOMIA = \text{capacidade} / \text{consumo médio}$
- Consumo médio: transmissão/recepção/sleep
- Ex: ESP8266 com bateria de 3.7V, 2000mAh
 - Consumo médio 40mA dá 50 horas.
- Dimensionamento deve considerar tempo sem Recarregar ou substituir

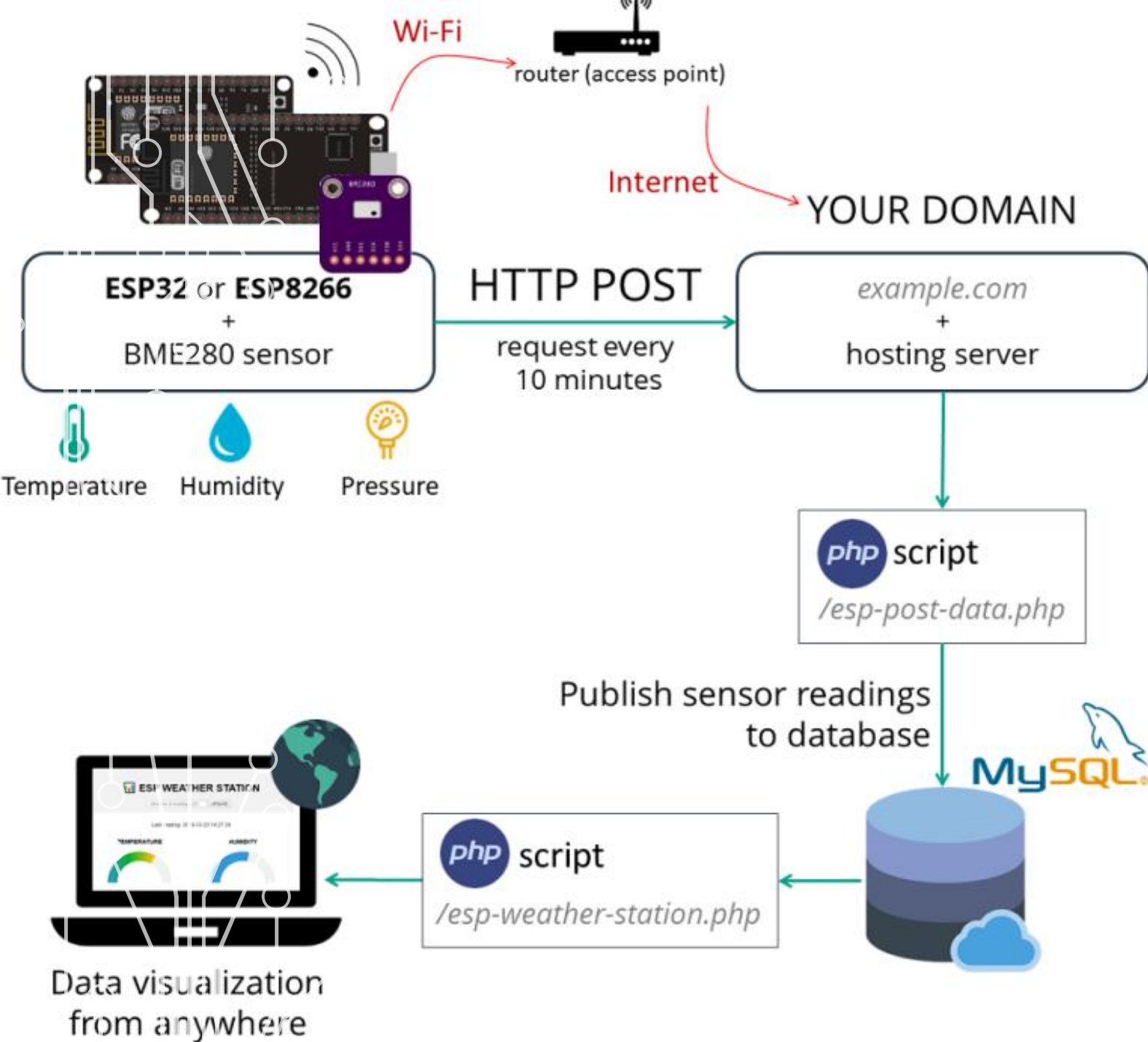


EXEMPLOS DE PROJETOS



Umidade solo com
MQTT over Wi-Fi





PROJETO

ESTAÇÃO METEO

- BME280 (2 pinos I2C (SDA, SCL)
 - Temp, Umid, Pressão (altitude)
- BH1750 (luminosidade, Lux)
- ML8511 (raios UV)
- <https://www.instructables.com/ESP32-Weathercloud-Weather-Station/>
- Sensor de gotas de chuva



SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS

- Painéis solares (composto por células solares)
 - MONOCRISTALINO: mais eficientes, mais energia por área, mais caros; são melhores com pouca luz, restrição de espaço, peso, luminosidade
 - PROJETO deve considerar capacidade da bateria, disponibilidade desejada e capacidade solarimétrica da região – atlas na CRESESB (radiação)
 - CONSUMO NOMINAL DIÁRIO, GERAÇÃO NOMINAL DIÁRIA, TEMPO DESEJADO PARA CARREGAR TOTALMENTE AS BATERIAS
 - $\text{GERAÇÃO} - \text{CONSUMO} = \text{ENERGIA ARMAZENADA DIARIAMENTE DEVE SER SUFICIENTE PARA CARREGAR A BATERIA E DEVE SER PROPORCIONAL AO TEMPO QUE SE ESPERA PARA ATINGIR A CARGA TOTAL}$

EXEMPLO DE PROJETO



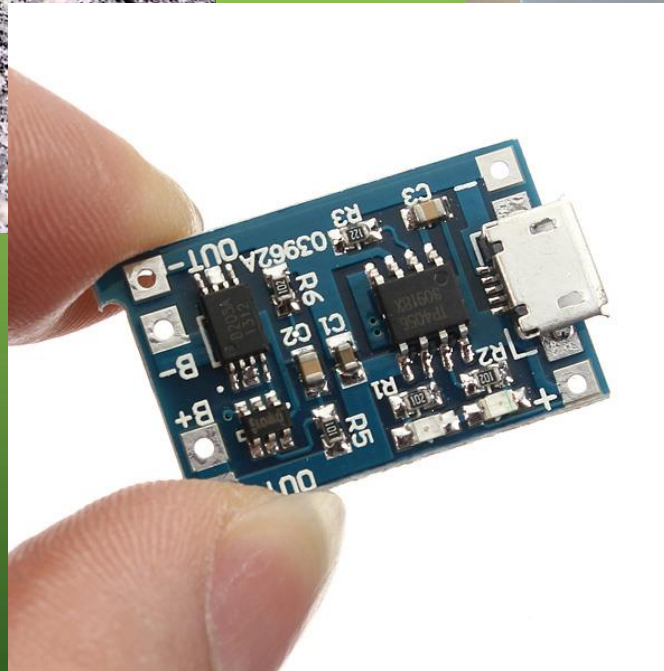
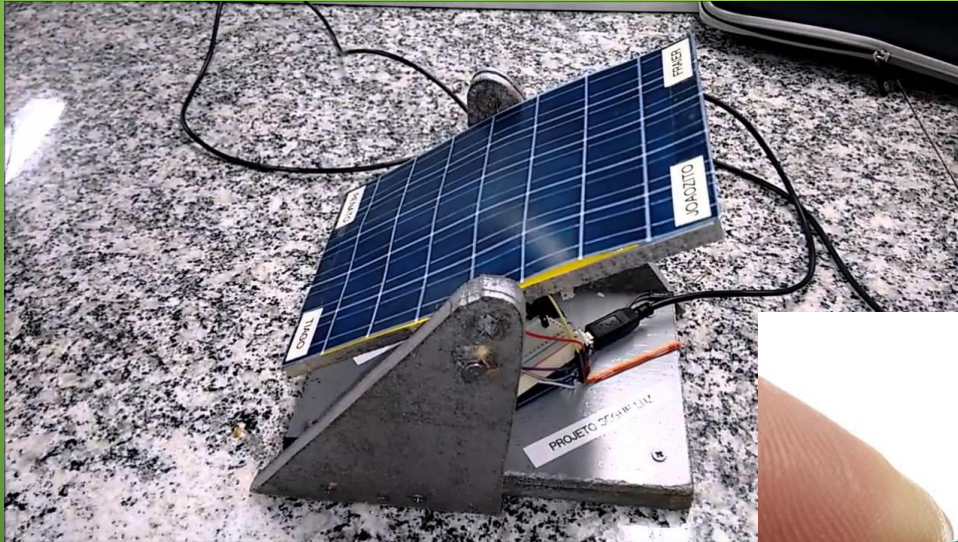
- ESP8266 com consumo médio de 50 mA, de forma ininterrupta
- Dimensionar para mantê-lo ligado por cinco dias para garantir alta disponibilidade (acima de 99%)
- Cinco dias ($5 \times 24\text{h} = 120\text{h}$, com 50 mA = 6000mAh) para o conjunto de baterias recarregáveis, de 3.7V
- TEMPO DE VIDA é função do PERCENTUAL DE DESCARGA
- Baterias que mantem entre 80% e 100% com tempo 5x maior que baterias que descarregam até 20% da sua carga
- Dimensionar para manter por cinco dias é para utilizar em média 20% da carga. A descarga será superior para os dias que o sol não aparecer

EXEMPLO DE PROJETO



- CONSUMO DIÁRIO NOMINAL: $50\text{mA} \times 24\text{h} = 1200 \text{ mAh}$
- Mantem durante 24h, durante o período de sol, além da carga da bateria nesse período para o período sem sol. Deve-se prever uma carga adicional para estar sempre carregada para dias sem SOL. Normalmente, um adicional de 50%, logo 1800 mAh.
- PAINEL especificado com tensão e potência: painel de 5V (3.7V da bateria), 1800 mAh diário x tensão = 9 Wh. Considerando média de 6 horas de sol para a região de instalação, painel de 1.5W. – USAR CONTROLADOR DE CARGA

CONTROLADORES DE CARGA



EXEMPLO DE PROJETO

- ESP8266 com 95% do tempo em deep sleep (33uW), e 3% no modo ativo (49.5 mW) e 2% (396 mW) no modo transmitindo com 13 dBm.
- Média ponderada (em mW): $0.95 \times 0.033 + 0.03 \times 49.5 + 0.02 \times 396 = 9.44 \text{ mW}$ que, a 3.3 V, dá corrente média de 2.86 mA
- Uma bateria de lítio de 2500 mAh a 3.7V, pode manter por 874 horas, 36 dias.
- Consumo diário: $2.86 \text{ mA} \times 24 = 69 \text{ mAh}$, com uma insolação média de 6 horas por dia, um painel de 11.5 mA com 5V já atenderia a demanda
- IDEAL: carga $\geq 50\%$
- No exemplo, 3% por dia de consumo, mesmo 5 dias sem sol, cai para 85%

EXEMPLO DE PROJETO

- MICROPAINEL SOLAR: 53 mm x 30 mm
- ESP-12, 24 mm x 16 mm
- Controlador de Carga 26 mm x 17 mm
- BATERIA 31 mm diâmetro 16 mm
- TUDO CABE NUMA CAIXA DE FÓSFOROS
- 5 dólares + taxas em sites chineses
- Para telemetria ($T_s = 5$ min), deep sleep pode fazer aumentar autonomia 5x, durando meses sem recarga

