

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Toledo
Engenharia da Computação – COENC

Sistemas Embarcados

Conceitos Gerais de Sistemas Embarcados

Tiago Piovesan Vendruscolo

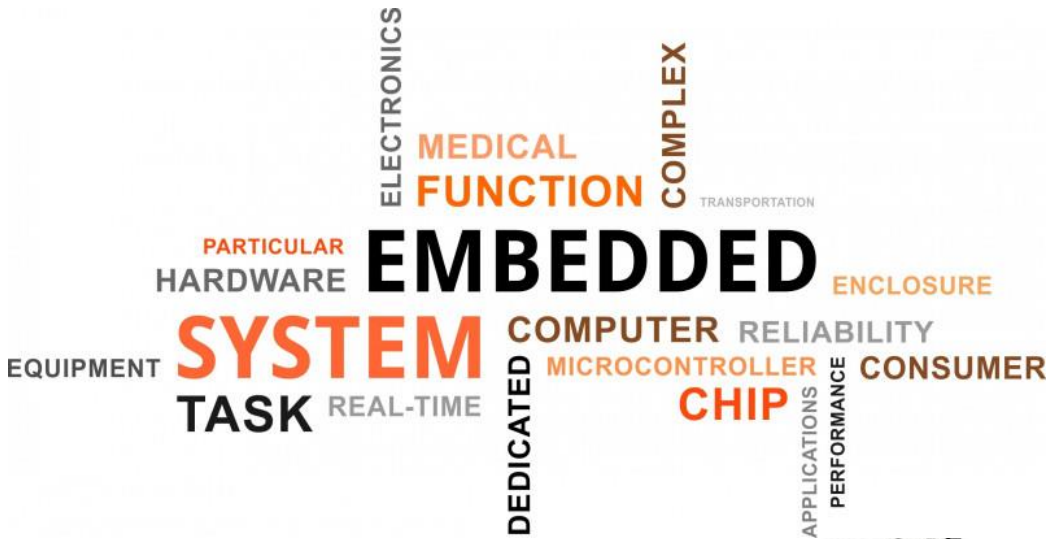


Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuem o devido crédito aos autores originais. [4.0 international](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Termo “*Embedded System*”

- *Sistema embarcado*
- *Sistema embutido*
- *Sistema integrado*
- *Sistema incorporado*

Conceito de sistema embarcado



Fonte: <https://robogarden.ca/pt/blog/embedded-systems-development>



Industrial Robots



GPS Receivers



Digital Cameras



DVD Players

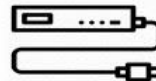


Wireless Routers

Embedded Systems



MP3 Players



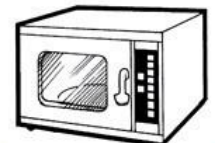
Set top Boxes



Gaming Consoles



Photocopiers



Microwave Ovens

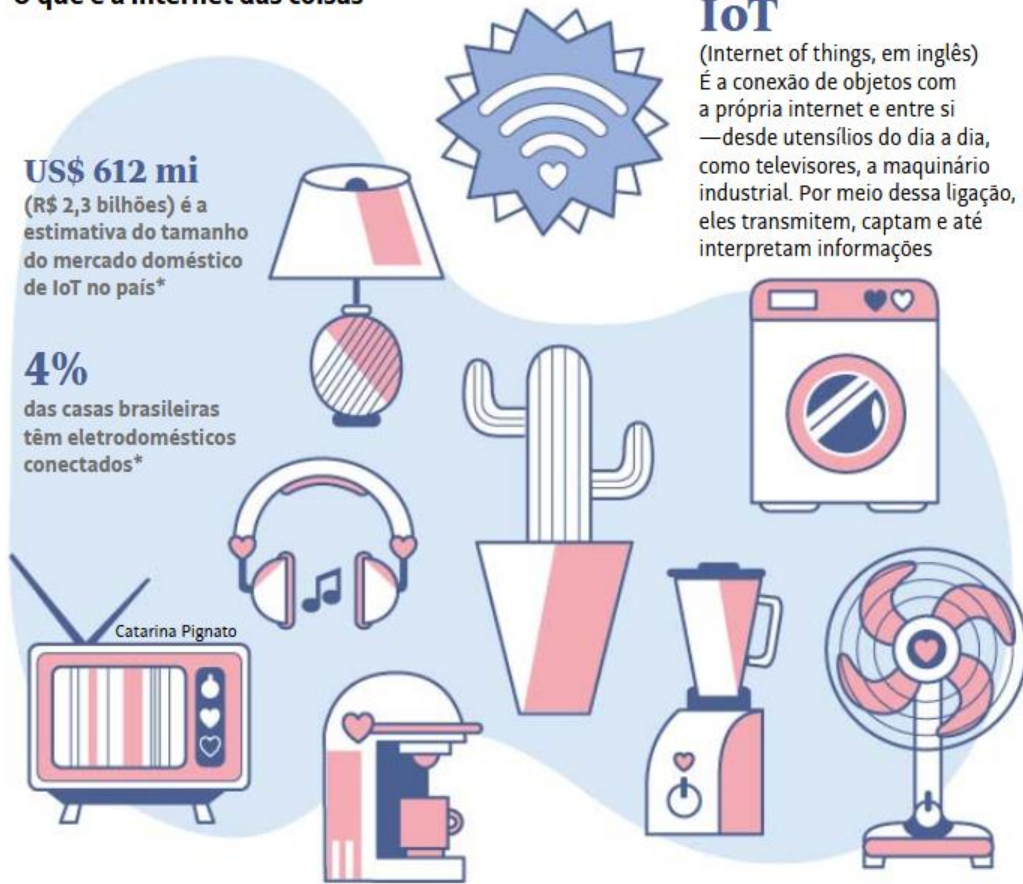
Fonte: <https://www.rs-online.com/designspark/applications-of-embedded-systems-1>

Conceito de sistema embarcado

O que é a internet das coisas

US\$ 612 mi
(R\$ 2,3 bilhões) é a
estimativa do tamanho
do mercado doméstico
de IoT no país*

4%
das casas brasileiras
têm eletrodomésticos
conectados*



IoT

(Internet of things, em inglês)
É a conexão de objetos com
a própria internet e entre si
—desde utensílios do dia a dia,
como televisores, a maquinário
industrial. Por meio dessa ligação,
eles transmitem, captam e até
interpretam informações

Fonte: <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2019/02/plano-de-incentivo-a-conectividade-no-pais-esta-na-geladeira.shtml>

Plano nacional de “Internet das coisas” - 2019

- *Áreas prioritárias saúde, cidades inteligentes, indústrias e atividades rurais*
- *Prevê a criação projetos de fomento à implantação de inovações em IoT*
- *Prevê a redução de tributação sobre dispositivos IoT*

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/inovacao/internet-das-coisas/bndes-projetos-piloto-internet-das-coisas>

Equipamentos IoT em 2020: 10 bilhões

- *Expectativa de 27 bilhões de equipamentos conectados em 2025.*

<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>

<https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/08/iot-ate-2025-mais-de-27-bilhoes-de-dispositivos-estarao-conectados/>

Conceito de sistema embarcado

- Sistema Embarcado: É quando o sistema computacional está “embarcado”, ou seja, faz parte de outro sistema/equipamento.
 - *É possível a implementação de um sistema embarcado formado por múltiplos sistemas embarcados menores.*
 - *É um sistema computacional com uma forte integração entre hardware e software, projetado para executar uma função específica.*



<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/esta-chegando-a-era-do-cockpit-virtual/>



<https://www.cavok.com.br/especial-breve-historia-dos-cockpits-de-cacas-do-f-106-ao-f-35>



<https://www.dfrobotica.com/robos-industriais-tudo-o-que-voce-precisa-saber>

Diferença entre um sistema embarcado e um computacional

- Sistema Computacional: processador + memória + periféricos. Para uso geral, projetado para ser facilmente alterado.
- Sistema Embarcado: Sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla, sendo que normalmente não sofre alterações futuras de hardware.

- E se utilizasse um computador pessoal no lugar de sistemas embarcados?
 - Problemas com tamanho;
 - Alto consumo;
 - Alto custo com periféricos, componentes desnecessários;
 - Peso;
 - Baixa robustez.

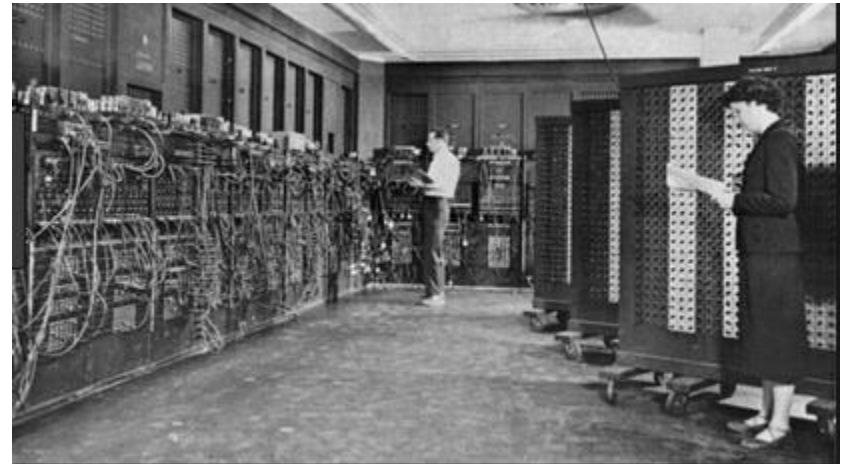
- Vantagem em utilizar um sistema dedicado:
 - Circuito eletrônico (hardware) otimizado;
 - Redução do tamanho;
 - Redução dos recursos computacionais;
 - Custo do projeto e do equipamento reduzido;
 - Aumento da confiabilidade;
 - Redução de peso;
 - Redução de consumo.
- Robustez: Pode ser projetado para condições específicas de vibração, poeira, temperatura, interferência eletromagnética, umidade, etc.

- Desvantagem em utilizar um sistema dedicado:
 - Manutenção: Necessidade de técnico especializado no equipamento.
 - Em alguns casos, a manutenção não é possível (equipamentos com invólucro lacrado).
 - Flexibilidade: Geralmente não é possível alterações de hardware. É possível alterações de software/firmware em alguns equipamentos.
- Diferente de um software para computador, o software e/ou firmware de um sistema embarcado não pode ser transferido diretamente para outro sistema. Geralmente serão necessárias adaptações significativas.
- O projeto do hardware e do software é feito em conjunto.

- Confiabilidade: O sistema não pode falhar.
- Manutenibilidade: Possibilidade de corrigir falhas no sistema.
- Disponibilidade: É a probabilidade do sistema estar disponível. Diretamente proporcional a sua confiabilidade e manutenibilidade.
- Segurança: O sistema não pode causar danos.
- Confidencialidade: O sistema deve ser capaz de manter dados confidenciais e de garantir uma comunicação autenticada.

- Requisitos do projetista de sistemas embarcados:
 - Programação clássica (C/C++, Assembly, etc);
 - Sistemas de tempo real;
 - Tecnologias de aquisição de dados (conversores analógico-digitais e sensores de um modo geral);
 - Forte conhecimento em eletrônica (analógica e digital);
 - Conhecimento sobre o funcionamento de atuadores (conversores digital-analógicos, PWM, etc.);
 - Eficiência (estruturação, tamanho e velocidade) do código produzido.

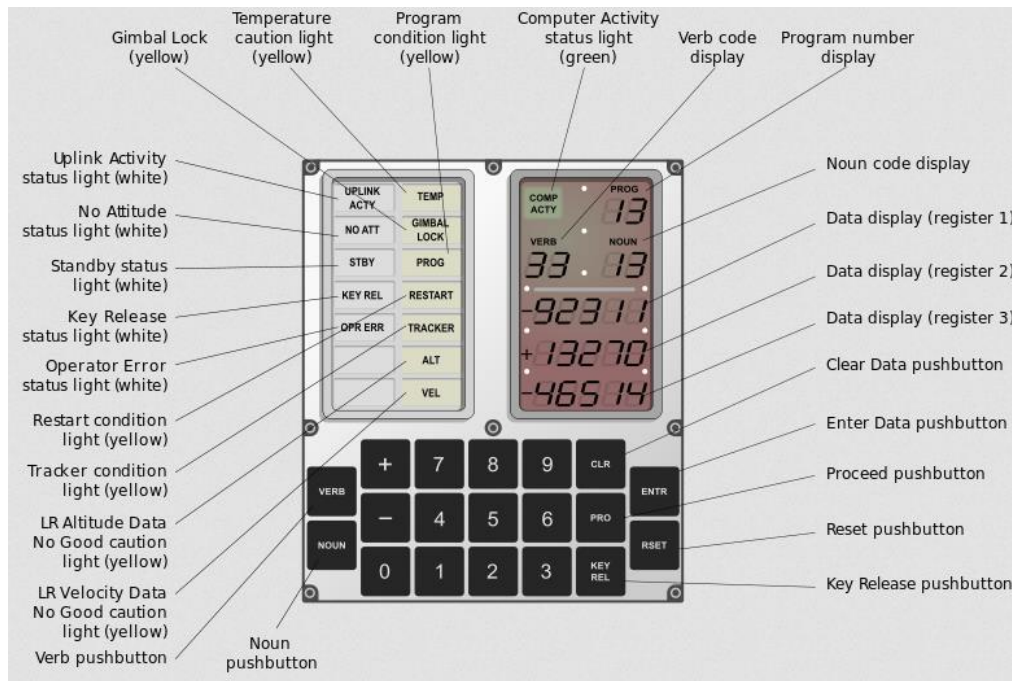
- Os primeiros computadores desenvolvidos eram utilizados para realizar tarefas específicas
 - ENIGMA (década de 20) – Utilizada para criptografar e descriptografar códigos de guerra. Aperfeiçoada para ser utilizada na segunda guerra. Pesava 30 toneladas.
 - ENIAC (1947) – Utilizado o cálculo de trajetórias de projéteis. Possuía 18000 válvulas, 7200 diodos, 1500 relés, 70 mil resistores e consumia 200kW.



<https://cafeinacodificada.com.br/eniac-o-primeiro-computador/>

História dos sistemas embarcados

- Apollo Guidance Computer (década de 60) – Utilizado para a orientação, navegação e controle do módulo lunar no projeto Apollo.
 - É considerado o primeiro sistema embarcado em tempo real.
 - Um dos primeiros sistemas projetados utilizando circuitos integrados.



<https://svtsim.com/moonjs/agc.html>

História dos sistemas embarcados

- Autonetics D-17 (a partir dos anos 60) – Computador de controle do míssil Minuteman.
 - Primeiro sistema embarcado produzido em massa.
 - Produção em larga escala fez o preço dos circuitos integrados cair. Um CI NAND que custava U\$100 passou a custar U\$3.



- Décadas de 70 e 80:
 - Início do desenvolvimento e produção dos primeiros microcontroladores e microprocessadores.
- Década de 90:
 - Aumento da produção ➔ Redução dos custos;
 - Aumento do poder de processamento e funcionalidades.
- A partir dos anos 2000:
 - Grande popularização no uso de microcontroladores;
 - Sistemas embarcados complexos e com grande capacidade de processamento e memória.

Evolução dos Sistemas embarcados

■ Apollo Guidance Computer

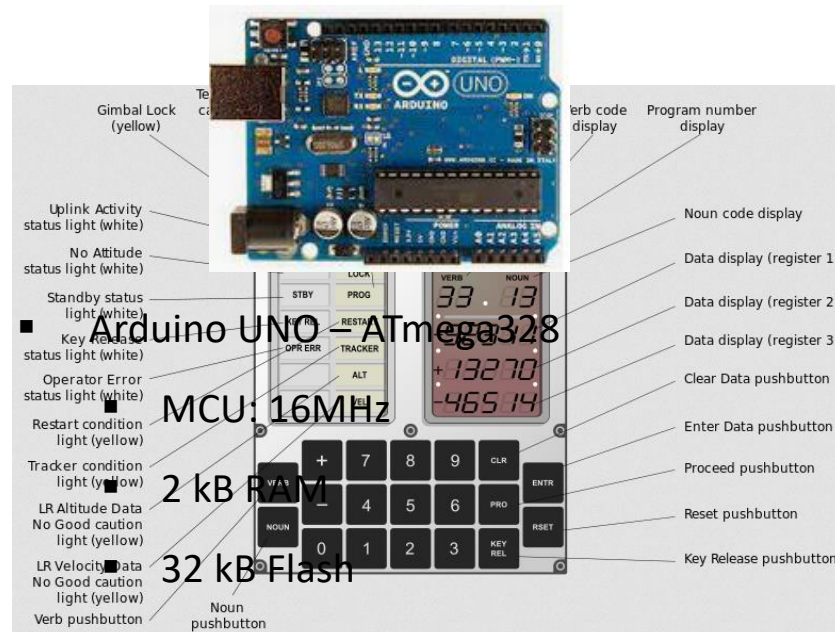
- MCU : 2 MHz.

- 4kB RAM.

- 64kB ROM.

- Barramento: 16 bits.

X



Arduino UNO – ATmega328

- MCU: 16MHz

- 2 kB RAM

- 32 kB Flash

- Barramento: 8 bits.

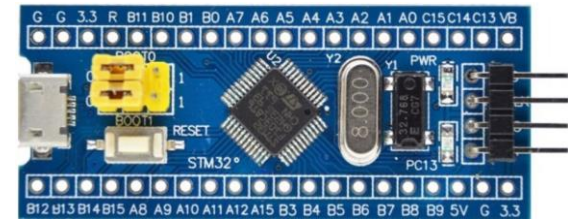
■ Blue Pill (STM32F103C8T6)

- MCU: 72MHz

- 20 kB RAM

- 64 kB Flash

- Barramento: 32 bits.



■ TM4C129x – ARM Cortex M4

- MCU: 120MHz

- 256 kB RAM

- 1024 kB Flash

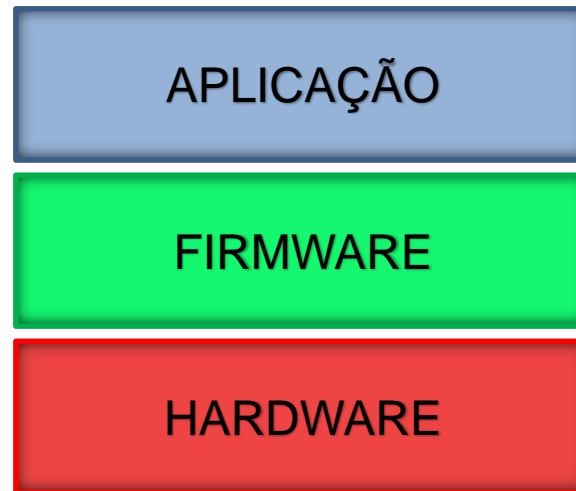
- Barramento: 32 bits.



- Até que ponto tecnológico um sistema pode ser enquadrado como sistema embarcado?
- Sistemas Embarcados ainda são desenvolvidos para executar tarefas específicas?
- Sistemas Embarcados são mais limitados em funcionalidades de hardware e/ou software que um computador?
- Apenas em um Sistema Embarcado é necessário ter alta confiabilidade e qualidade em relação a um sistema computacional?
- Conclusão: Alguns dispositivos classificados como Sistemas Embarcados na verdade estão deixando de ser ou já não são.

O que é um Sistema Embarcado

- Arquitetura conceitual:



- Camada de Hardware:
 - *Processador/microcontrolador;*
 - *Memórias (ROM, RAM, etc.)*
 - *I/O:*
 - Rede e comunicação;
 - Input (mouse, teclado, controle remoto, voz, etc);
 - Output (impressoras, LEDs, telas, etc);
 - Armazenamento;
 - Depuração (JTAG, etc);
 - Periféricos em geral (temporizadores, conversores A/D e D/A, etc);
 - *Barramentos (USB, PCI, etc)*
- Firmware: Software embarcado no hardware com suas funções básicas, pode ou não ter interação com o usuário.
- Aplicação: Software para interação com o usuário.

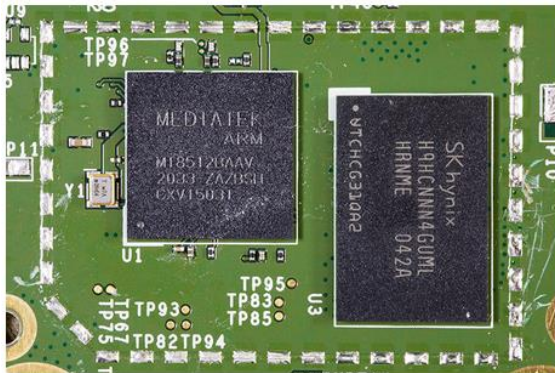
Exemplo de sistemas embarcados

- Descrição dos componentes
- Produto: Máquina de lavar roupas.
- Processador: Microcontrolador.
- Sensores: Nível de água, temperatura.
- Atuadores: Motor do cesto, válvula de água, bomba de água, resistência de aquecimento.
- IHM: Display, botões, LEDs.
- Comunicação: wi-fi.
- Periféricos e módulos: RTC, conversor A/D, fonte de alimentação.

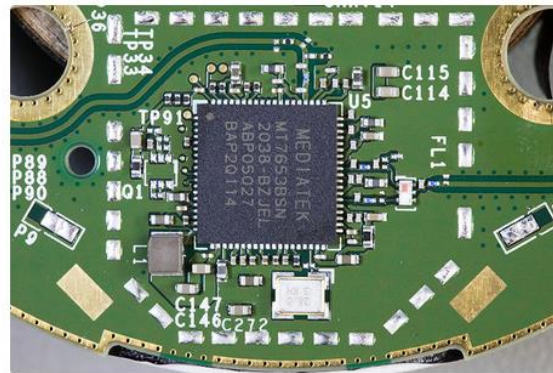


Exercício

- Descrição dos componentes (genérico)
- Produto: Echo dot 4ª geração
- Processador:
 - *Microcontrolador MediaTek 2GHz dual-core ARM*
- Sensores: Microfone
- Atuadores: Alto-falante, LEDs.
- IHM: Botões, app, voz
- Comunicação: wi-fi, bluetooth.
- Periféricos e módulos: Amplificador, codecs, fonte de alimentação...



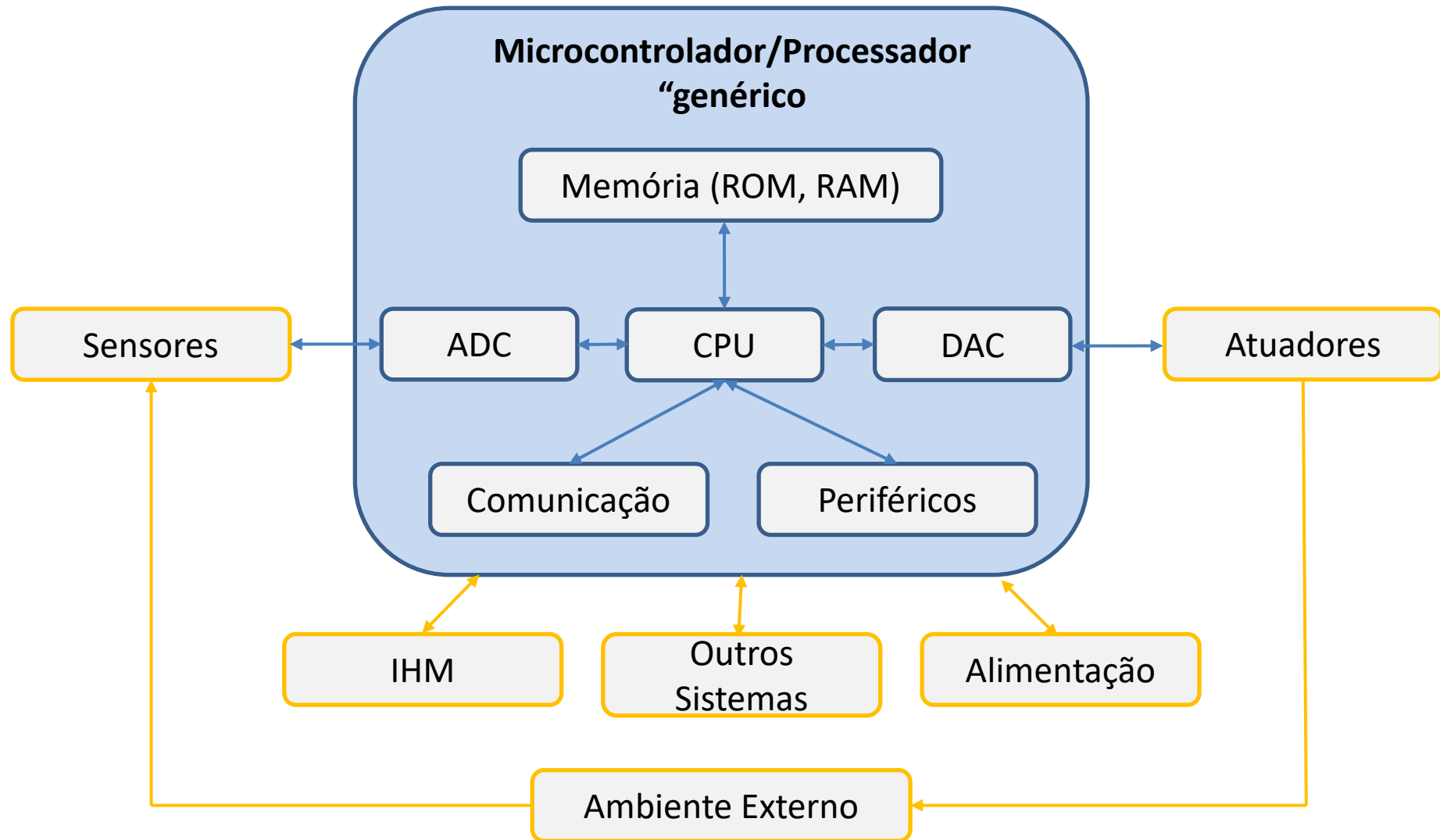
MT8512BAAV - MediaTek 2GHz dual-core ARM CPU with Amazon AZ1 Neural Edge processor and SK Hynix LPDDR4 SDRAM 4G-Bit RAM under the metal shield



MT7653BSN - MediaTek Wifi / Bluetooth Controller

https://www.bhphotovideo.com/c/product/1599232-REG/amazon_b07xj8c8f5_echo_dot_4th_gen.html/overview

Arquitetura Conceitual





Processador

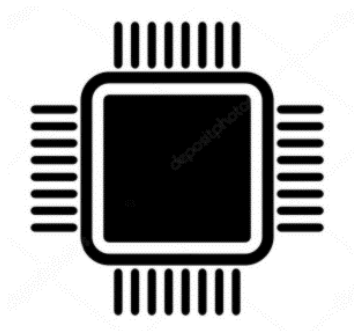
- Processador
- Microcontrolador
- FPGA
- ASIC
- PLD / CPLD
- DSP
- SoC

Exemplos arquiteturas/fabricantes:

- ARM
- AVR
- PIC
- 8051
- NXP
- TI
- PSoC

- ARM

- A: Sistemas operacionais – Ex. Celulares
- R: Real time
- M: μ C uso geral



- I/O interface
 - Hardware
 - Software
 - Eletrônica

- Restrições de projeto

- Custo
- Portabilidade
- Baixo consumo de energia
- Robustez

- Requisitos de tempo

- Decisão correta
- Tempo estabelecido



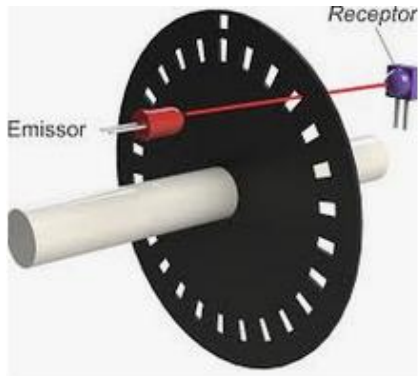
Memória



- De programa
 - ROM
 - EPROM
 - EEPROM
 - FLASH
- De dados
 - SRAM
 - DRAM
 - SDRAM
- De armazenamento externo
 - Cartão SD
 - EEPROM



Arquitetura Conceitual



<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>



Chave fim de curso

Sensores



- Temperatura
- Pressão
- Câmera
- GPS
- Encoder
- ON/OFF
- Chave fim de curso
- Acelerômetro
- Giroscópio
- (Conversor A/D)



Módulo de câmera



Atuadores



- Ponte H
- Motor de passo
- Relé
- Servo motor
- Alto falante
- (Conversor D/A)
- (PWM)
- Válvula de fluido
- Driver de potência



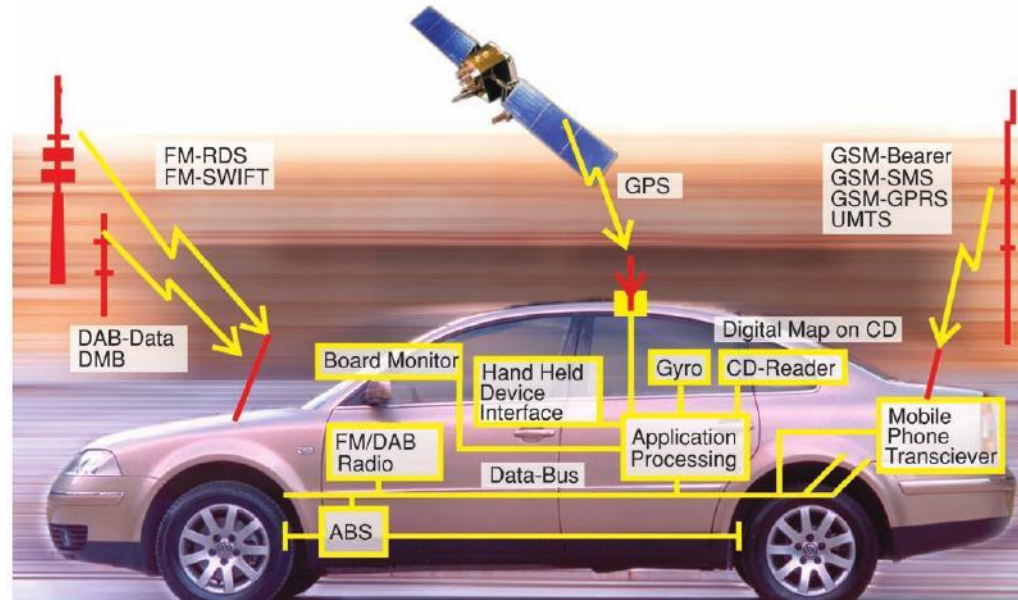
Interface com o
usuário (IHM)



- Display ➔ Touch Screen
- LED
- Chaves
- Teclado
- Mouse
- APP

Comunicação

- Ethernet
- Wireless
- Bluetooth
- RF
- Serial (I²C, SPI, etc)
- Industrial (CAN, F. FieldBus, etc)





Periféricos



- RTC
- Conversores
- Codificadores/decodificadores
- Timers
- Contadores
- Amplificadores
- Filtros



Alimentação



- Permanentemente ligado na tomada?
 - Fonte de alimentação
 - Nobreak
- Móvel
 - Fonte de alimentação/Carregador
 - Armazenadores de energia
 - Pilhas
 - Baterias
 - Módulos de baixo consumo
 - Sleep
 - Hibernação

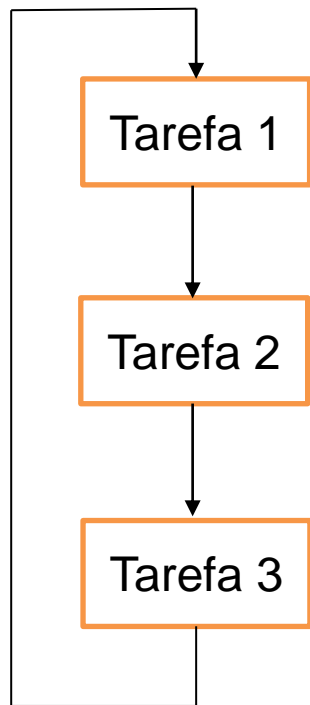


Exercício

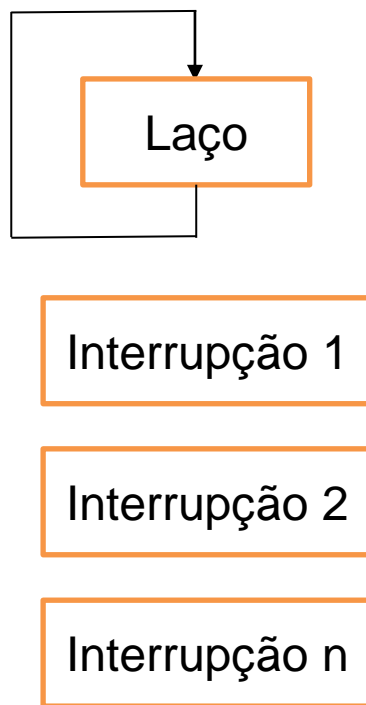
- Descrição dos componentes (genérico) com periférico
- Produto: Impressora 3D
- Processador:
 - *Microcontrolador*
- Sensores: Fim de curso (GPIO), temperatura (A/D), sensor de presença de filamento
- Atuadores: Motor de passo (driver), extrusora, base aquecida, fan.
- IHM: Display touch screen (comunicação serial), usb
- Comunicação: USB.
- Periféricos e módulos: Cartão SD, Drivers, ADC, fonte de alimentação.



Sequencial

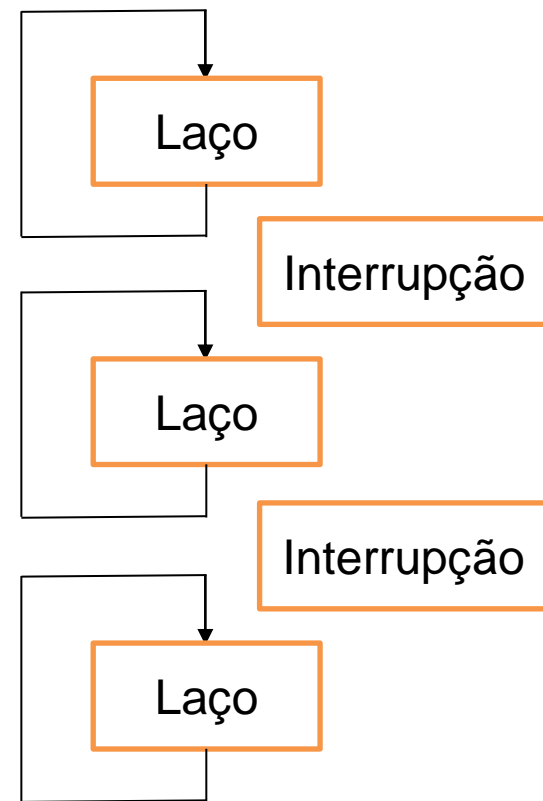


Laço + Interrupções



- Periféricos (timers, A/D...)
- Eventos externos (sensores...)
- Comunicação

RTOS (multitarefas)



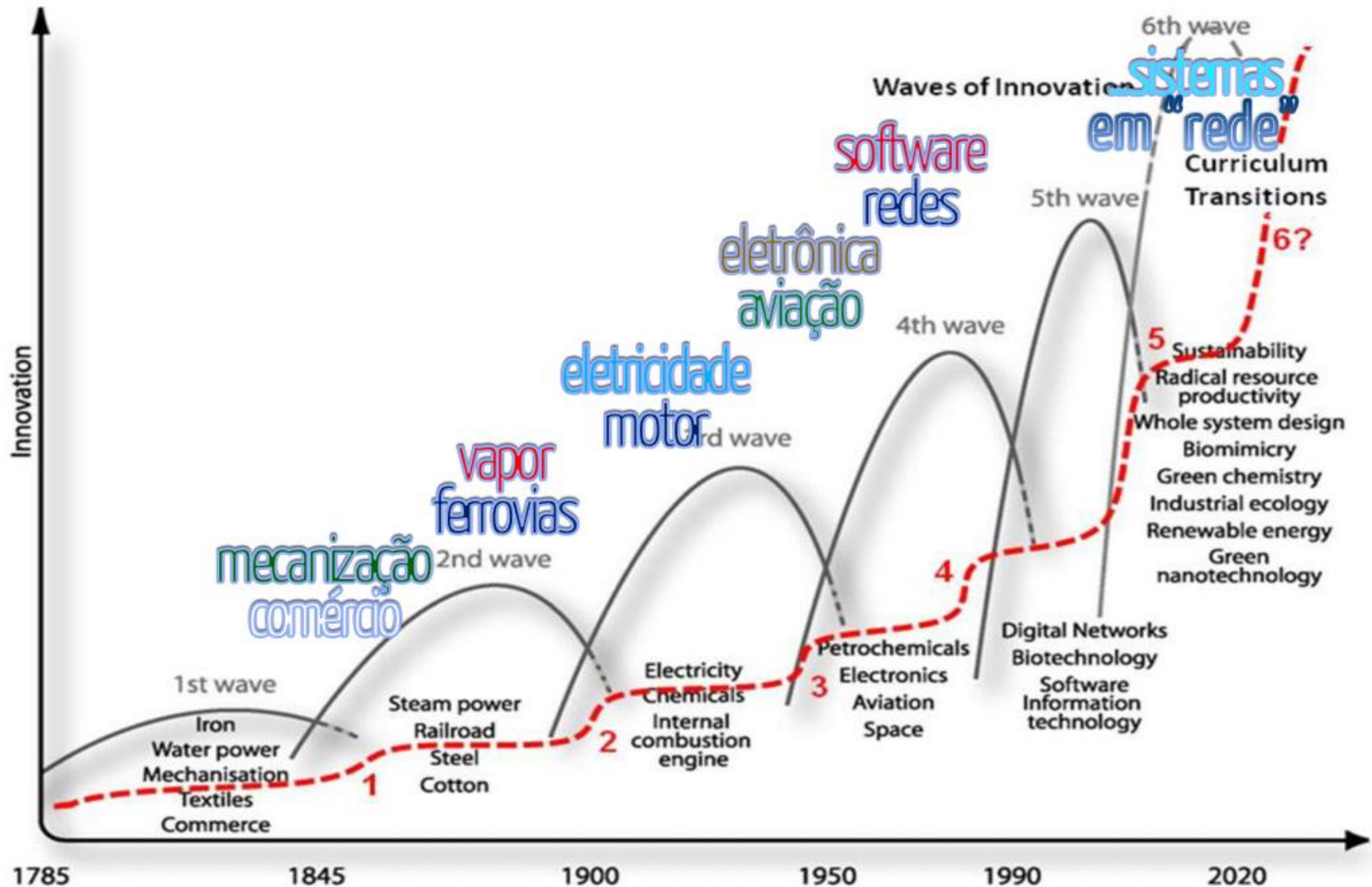
- É o RTOS de código aberto mais utilizado no mundo.
 - Desenvolvido por Richard Barry em 2003.
 - Pode ser utilizado em sistemas comerciais sem custos de licença
 - Aceita portabilidade em um grande número de microcontroladores e plataformas
- Em 2017 o FreeRTOS foi adquirido pela Amazon Web Services (AWS), lançando customizações para seus serviços de IoT. <https://aws.amazon.com/pt/freertos/>
 - *Projetado de forma enxuta o suficiente para ser utilizado em microcontroladores.*
 - *Utiliza linguagem C, facilmente portátil, praticamente sem restrição de chips e compiladores.*
 - *Pode trabalhar de forma preemptiva ou colaborativa.*
 - *API de fácil utilização*
 - *Temporizadores de software altamente eficientes*



- Quais facilidades ganhamos com um RTOS?
 - *Gerenciamento de múltiplas tarefas*
 - *Uso de recursos compartilhados de forma segura*
 - *Sistema de prioridade*
 - *Comunicação segura entre tarefas: filas, notificações*
 - *Portabilidade/reaproveitamento de código fácil (utilizando o mesmo RTOS)*
- Ports do FreeRTOS
 - *Embora a maior parte do Kernel do FreeRTOS é igual para todas as plataformas, existem algumas funções extras específicas para apenas algumas plataformas. Essas informações são encontradas com o fabricante da plataforma.*

- Projeção de vendas
 - *Lucro com base no volume (custo deve ser reduzido ao máximo)*
 - *Lucro com base na tecnologia (nesse caso, é preferível o uso de componentes de ponta, mesmo que aumente o custo)*
- Possibilidade de atualização
 - *Hardware*
 - *Software/firmware*

Futuro dos Sistemas Embarcados



- Tendências:
 - Adição de inteligência a processos e produtos, geralmente uma grande área de atuação.
 - Maior conectividade entre equipamentos, de forma cabeada ou, preferencialmente, sem fio → **internet das coisas.**
 - Mercado de sistemas embarcado irá crescer exponencialmente nos próximos anos.



- Material de aula Prof. Hugo Vieira Neto
- DENARDIN, G. W.; BARRIQUELLO, C. H. Sistemas Operacionais de Tempo Real e sua Aplicação em Sistemas Embarcados. 1ª edição, São Paulo, Blucher, 2019.
- DENARDIN, G. W. Notas de aula de sistemas embarcados. UTFPR.
- BACURAU, R.M. Notas de aulas de projeto de sistemas embarcados. UNICAMP, 2020. Disponível em: <https://sites.google.com/site/rodrigobacurau/cursos-2020-1/es670---projeto-de-sistemas-embarcados>