



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE  
SERGIPE



DEPARTAMENTO  
DE COMPUTAÇÃO

# Mecanismos de interconexão

## Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

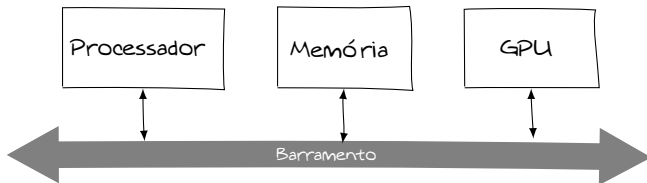
Departamento de Computação / UFS

# Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?

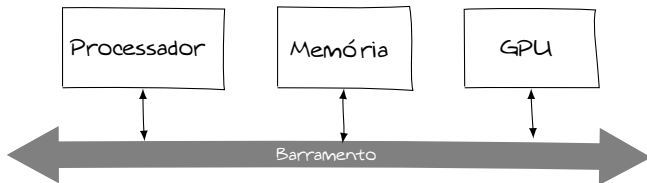
# Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?
  - ▶ Para suportar a transferência de dados entre os dispositivos da plataforma, como processador, memória ou periféricos de E/S



# Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?
  - ▶ Para suportar a transferência de dados entre os dispositivos da plataforma, como processador, memória ou periféricos de E/S



O barramento é uma das principais formas de interconectar os componentes da plataforma

# Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos
  - ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações

# Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos
  - ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações
- ✓ Escalabilidade
- ✓ Baixo custo

# Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos
  - ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações
- ✓ Escalabilidade
- ✓ Baixo custo
- ✗ Gargalo (congestionamento)
- ✗ Concorrência (retenção)

# Introdução

- ▶ Modos de operação de barramento
  - ▶ Síncrono
    - ▶ Com uma referência de tempo (horários de aulas), os dispositivos sincronizam a transferência de dados

13:00	Aula 1
15:00	Aula 2
17:00	Aula 3



# Introdução

- ▶ Modos de operação de barramento

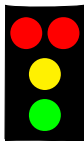
- ▶ Síncrono

- ▶ Com uma referência de tempo (horários de aulas), os dispositivos sincronizam a transferência de dados

13:00	Aula 1
15:00	Aula 2
17:00	Aula 3

- ▶ Assíncrono

- ▶ Através de um protocolo de comunicação (semáforo de trânsito), são definidas as etapas da comunicação



# Introdução

- ▶ Papel dos dispositivos no barramento
  - ▶ **Mestre:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
  - ▶ **Escravo:** atendem ou respondem as transações do barramento, como a memória ou periférico

# Introdução

- ▶ Papel dos dispositivos no barramento
  - ▶ **Mestre:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
  - ▶ **Escravo:** atendem ou respondem as transações do barramento, como a memória ou periférico

As transações de escrita e leitura de dados no barramento são atômicas

# Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
  - ▶ Reinicialização (*reset*)
    - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
    - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)

# Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
  - ▶ Reinicialização (*reset*)
    - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
    - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)
  - ▶ Sincronismo (*clock*)
    - ▶ Simplifica o projeto de circuitos digitais através de uma referência de ciclo de relógio para todas as operações
    - ▶ Implementado como uma onda quadrada de 1 bit com período igual ao inverso da frequência

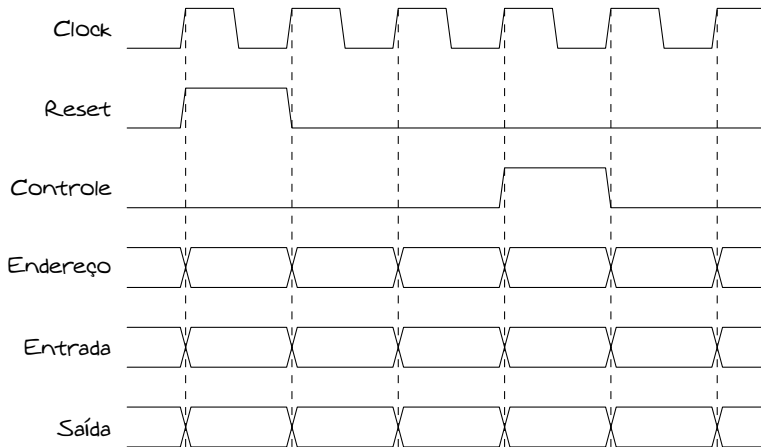
# Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
  - ▶ Reinicialização (*reset*)
    - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
    - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)
  - ▶ Sincronismo (*clock*)
    - ▶ Simplifica o projeto de circuitos digitais através de uma referência de ciclo de relógio para todas as operações
    - ▶ Implementado como uma onda quadrada de 1 bit com período igual ao inverso da frequência

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,4 \text{ GHz}} = \frac{1}{2,4 \times 10^9} \approx 0,42 \text{ ns}$$

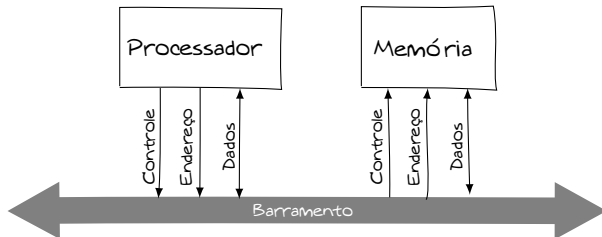
# Introdução

- ▶ Diagrama de tempo
  - ▶ Especifica o comportamento de sinais no tempo



# Estrutura lógica

- ▶ A estrutura lógica de um barramento consiste em uma série de linhas de controle e dados
  - ▶ Controle + Endereçamento + Dados





# Estrutura lógica

- ▶ Linha de controle
  - ▶ Define que operação será realizada pela transação
    - ▶ Escrita e leitura de memória (código e dados) ou de dispositivos conectados ao barramento (E/S)
    - ▶ Gerenciamento de interrupção

# Estrutura lógica

- ▶ Linha de controle
  - ▶ Define que operação será realizada pela transação
    - ▶ Escrita e leitura de memória (código e dados) ou de dispositivos conectados ao barramento (E/S)
    - ▶ Gerenciamento de interrupção
  - ▶ Sequência de controle de uma transação
    - ▶ Requisição de operação (*request*)
    - ▶ Concessão de permissão (*grant*)
    - ▶ Reconhecimento de requisição (*acknowledgement*)

# Estrutura lógica

- ▶ Linha de endereço
  - ▶ Armazena o endereço de origem ou destino do dispositivo que será acessado no barramento

# Bits	Endereçamento
8	0x00 - 0xFF
16	0x0000 - 0xFFFF
32	0x00000000 - 0xFFFFFFFF
64	0x0000000000000000 - 0xFFFFFFFFFFFFFFFF

# Estrutura lógica

- ▶ Linha de dados
  - ▶ É o caminho para transferência dos dados entre os componentes da plataforma, com principal parâmetro a quantidade de bits que podem ser transmitidos ou a largura do barramento

# Estrutura lógica

- ▶ Linha de dados
  - ▶ É o caminho para transferência dos dados entre os componentes da plataforma, com principal parâmetro a quantidade de bits que podem ser transmitidos ou a largura do barramento
  - ▶ Apesar do fluxo bidirecional, a recepção e transmissão podem não acontecer simultaneamente
    - ▶ Mestre → Escravo (escrita)
    - ▶ Mestre ← Escravo (leitura)

# Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
  - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes

# Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
  - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
  - ▶ Sequência de controle
    1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)

# Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
  - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
  - ▶ Sequência de controle
    1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)
    2. É feita a transferência dos dados entre os dispositivos

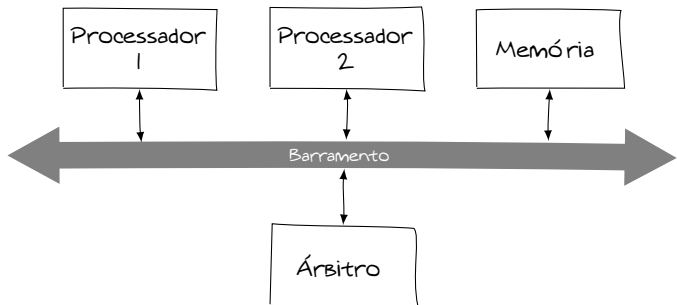


# Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
  - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
  - ▶ Sequência de controle
    1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)
    2. É feita a transferência dos dados entre os dispositivos
    3. Com o término da transação, o barramento é liberado para acesso dos outros dispositivos mestres (*unlock*)

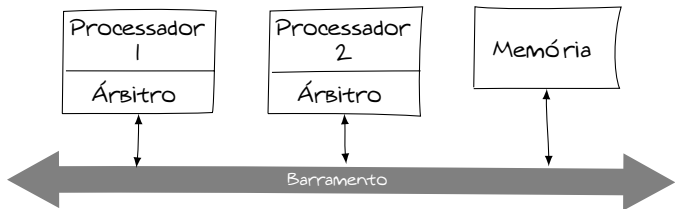
# Estrutura lógica

- ▶ Método centralizado de arbitração
  - ▶ O árbitro centralizado define a prioridade dos dispositivos mestres para acessar o barramento



# Estrutura lógica

- ▶ Método descentralizado de arbitração
  - ▶ É feito um controle colaborativo para acesso dos dispositivos mestres ao barramento



# Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
  - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)

# Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
  - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)
  - ▶ Em linhas compartilhadas, é utilizada a técnica de multiplexação para chaveamento de função

# Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
  - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)
  - ▶ Em linhas compartilhadas, é utilizada a técnica de multiplexação para chaveamento de função
  - ▶ Na comunicação paralela, todos os bits são transmitidos simultaneamente, enquanto que na transmissão serial, os bits são enviados um bit por vez

# Estrutura física

- ▶ Tipos de linhas físicas de interconexão
  - ▶ Dedicadas
    - ▶ São meios físicos exclusivos para certos tipos de dados
    - ▶ Apresenta baixa retenção e grande vazão de dados, porém com área física e custos de produção maiores

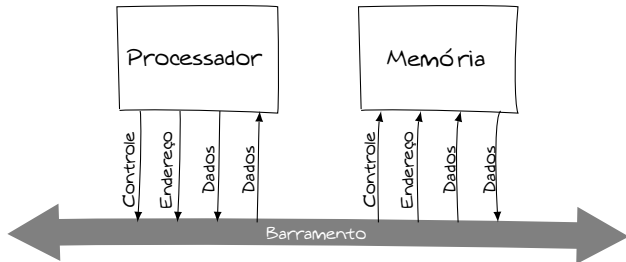
# Estrutura física

- ▶ Tipos de linhas físicas de interconexão
  - ▶ Dedicadas
    - ▶ São meios físicos exclusivos para certos tipos de dados
    - ▶ Apresenta baixa retenção e grande vazão de dados, porém com área física e custos de produção maiores
  - ▶ Multiplexadas
    - ▶ Permitem por um tempo determinado o compartilhamento do meio físico de transmissão
    - ▶ Possui área física e custo reduzidos, entretanto, o compartilhamento reduz o desempenho



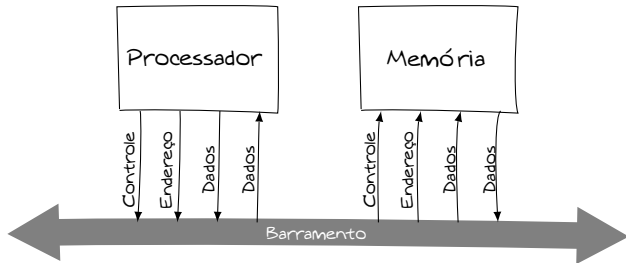
# Estrutura física

- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
  - ▶ Controle (1) + Endereço (32) + Dados (32 + 32)



# Estrutura física

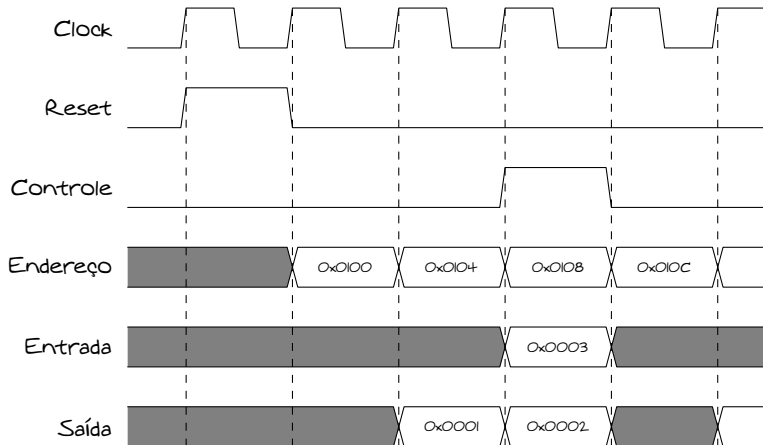
- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
  - ▶ Controle (1) + Endereço (32) + Dados (32 + 32)



Comunicação *full-duplex* com 97 linhas dedicadas

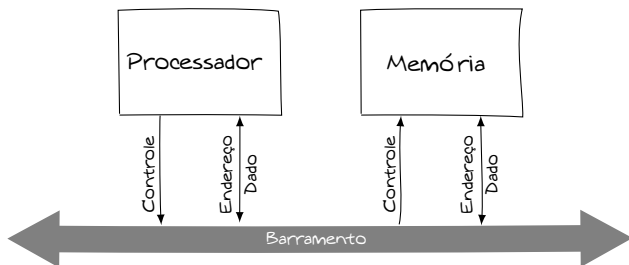
# Estrutura física

- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
  - ▶ Cada sinal possui sua própria linha



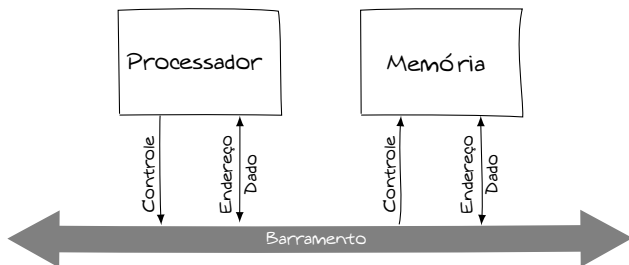
# Estrutura física

- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
  - ▶ Controle (1) + Endereço/dados (32)



# Estrutura física

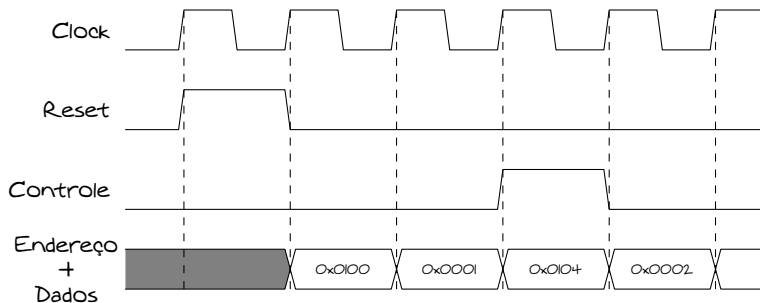
- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
  - ▶ Controle (1) + Endereço/dados (32)



Comunicação *half-duplex* com 33 linhas físicas, representando uma redução de 66% das linhas e demandando o dobro da frequência de operação para ter o mesmo desempenho com relação à dedicada

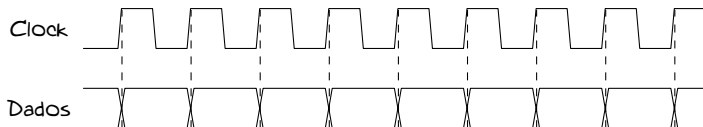
# Estrutura física

- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
  - ▶ Os sinais são intercalados em linhas compartilhadas



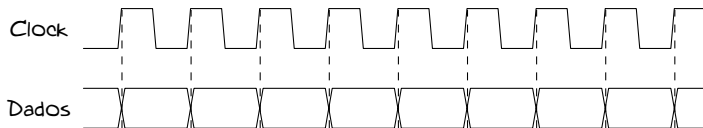
# Barramento síncrono

- ▶ Os eventos do barramento são coordenados com utilização de ciclos de relógio (*clock*)
  - ▶ Os sinais de dados são sincronizados pelo relógio



# Barramento síncrono

- ▶ Os eventos do barramento são coordenados com utilização de ciclos de relógio (*clock*)
  - ▶ Os sinais de dados são sincronizados pelo relógio

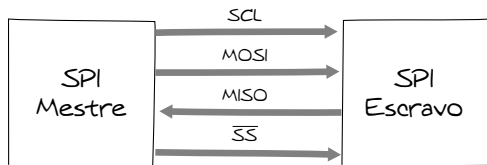


A transmissão pode ser paralela ou serial



# Barramento síncrono

- ▶ *Serial Peripheral Interface (SPI)*
  - ▶ Desenvolvido pela Motorola
  - ▶ Comunicação *full-duplex* serial

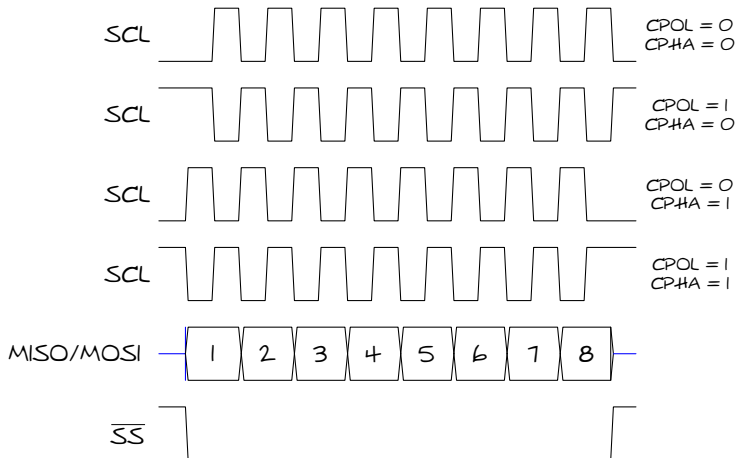


- ▶ *Serial CLock (SCL)*
- ▶ *Master Output Slave Input (MOSI)*
- ▶ *Master Input Slave Output (MISO)*
- ▶ *Slave Select (SS)*

# Barramento síncrono

## ► Serial Peripheral Interface (SPI)

### ► Envio e recepção dos dados

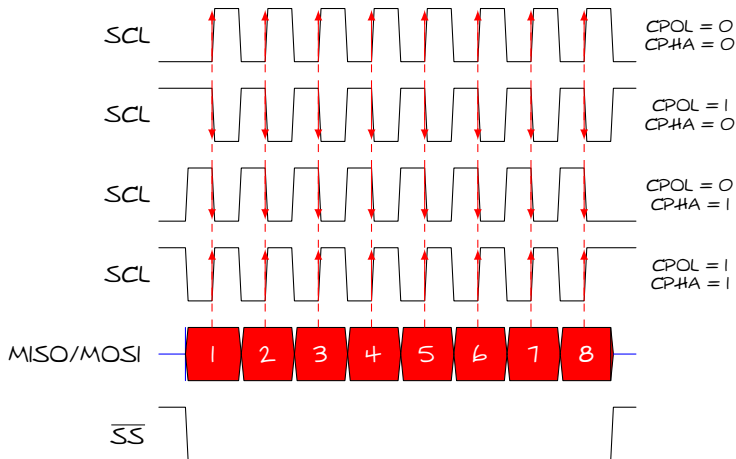


### ► Frequência de SCL fixada entre 1 e 100 MHz e seleção do escravo ( $\overline{SS}$ ) ativado em nível negativo

# Barramento síncrono

## ► Serial Peripheral Interface (SPI)

### ► Envio e recepção dos dados



### ► Frequência de SCL fixada entre 1 e 100 MHz e seleção do escravo ( $\overline{SS}$ ) ativado em nível negativo

# Barramento síncrono

- ▶ Comunicação síncrona
  - ▶ Vantagens
    - ✓ Alto desempenho
    - ✓ Menor complexidade

# Barramento síncrono

- ▶ Comunicação síncrona
  - ▶ Vantagens
    - ✓ Alto desempenho
    - ✓ Menor complexidade
  - ▶ Desvantagens
    - ✗ Menor flexibilidade de uso
    - ✗ Taxa fixa de transmissão

# Aplicações

- ▶ Padrões síncronos de comunicação
  - ▶ *Inter-Integrated Circuit (I2C)*
    - ▶ Projetado pela Philips
    - ▶ Conexão e controle de periféricos com baixa velocidade (SDRAM, DAC/ADC, LCD, ...)
  - ▶ *Controller Area Network (CAN)*
    - ▶ Desenvolvido pela Bosch
    - ▶ Utilizado em componentes eletrônicos da indústria automotiva (Direção elétrica, airbags, ABS, ...)
  - ▶ *Local Interconnect Network (LIN)*
    - ▶ Criado por BMW, VW, Volvo e Daimler-Chrysler
    - ▶ Alternativa mais barata ao CAN

# Barramento assíncrono

- ▶ Neste tipo de barramento os dados são transmitidos através de um protocolo de comunicação
  - ▶ É feita a sinalização do início e término da transmissão



# Barramento assíncrono

- ▶ Neste tipo de barramento os dados são transmitidos através de um protocolo de comunicação
  - ▶ É feita a sinalização do início e término da transmissão

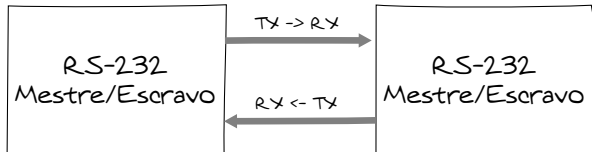


A transmissão pode ser paralela ou serial



# Barramento assíncrono

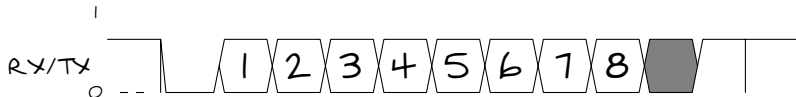
- ▶ *Recommended Standard 232* (RS-232)
  - ▶ Desenvolvido pela Electronic Industries Alliance
  - ▶ Comunicação *full-duplex* serial



- ▶ Transmissão (TX)
- ▶ Recepção (RX)

# Barramento assíncrono

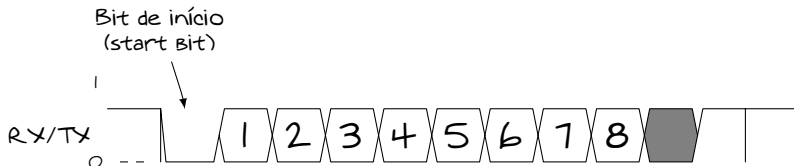
- ▶ *Recommended Standard 232 (RS-232)*
  - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

- ▶ *Recommended Standard 232* (RS-232)
  - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

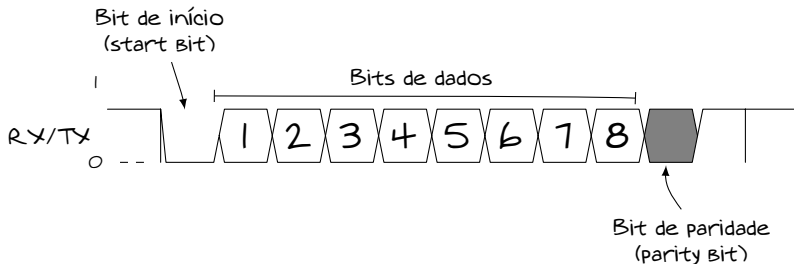
- ▶ *Recommended Standard 232 (RS-232)*
  - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

- *Recommended Standard 232 (RS-232)*
  - Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

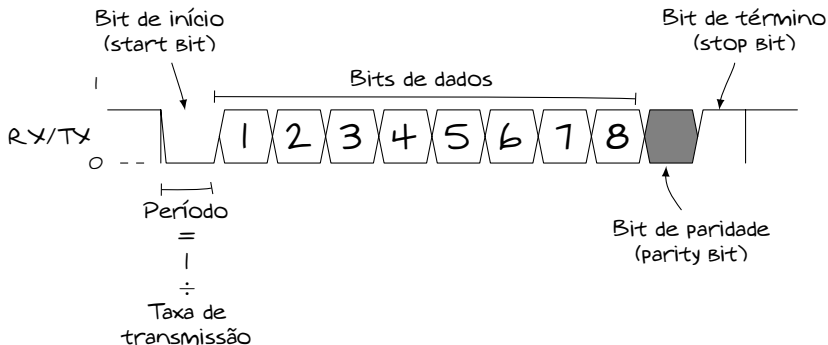
- *Recommended Standard 232* (RS-232)
  - Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

- *Recommended Standard 232 (RS-232)*
  - Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

# Barramento assíncrono

- ▶ Comunicação assíncrona
  - ▶ Vantagens
    - ✓ Flexibilidade de uso
    - ✓ Taxa variável de transmissão



# Barramento assíncrono

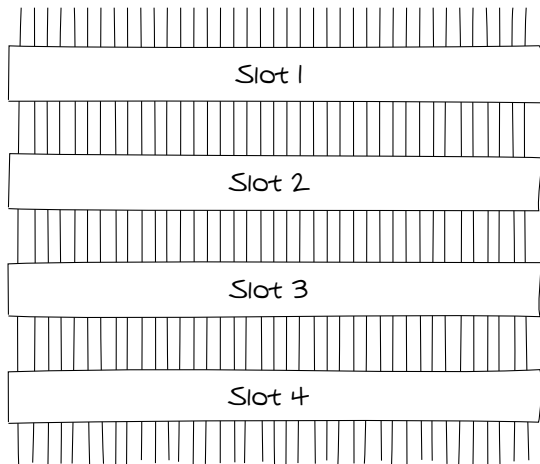
- ▶ Comunicação assíncrona
  - ▶ Vantagens
    - ✓ Flexibilidade de uso
    - ✓ Taxa variável de transmissão
  - ▶ Desvantagens
    - ✗ Maior complexidade
    - ✗ Menor vazão de dados

# Aplicações

- ▶ Padrões assíncronos de comunicação
  - ▶ *Universal Serial Bus (USB)*
    - ▶ Criado por consórcio Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC e Nortel
    - ▶ Padronização de interface para conexão, cabos e comunicação de dispositivos
  - ▶ *Ethernet*
    - ▶ Desenvolvido pela Xerox PARC
    - ▶ Adotado em redes de computadores e os dados são agrupados em quadros (*frames*)
  - ▶ *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*
    - ▶ Definido pelo ANSI e ITU
    - ▶ Conjunto de padrões para transmissão de voz, dados e vídeo com dados em células (*cells*)

# Hierarquia de barramento

- O barramento possui o objetivo principal de interconectar todos os componentes do sistema



Eficiência, escalabilidade e padronização

# Hierarquia de barramento

- ▶ Apesar da escalabilidade ser um requisito importante, um número grande de componentes interconectados geram alguns problemas
  - ▶ + Conexões  $\rightarrow$  + Extensão física
    - ▶ Maior atraso na propagação dos sinais elétricos
    - ▶ Redução de desempenho da comunicação

# Hierarquia de barramento

- ▶ Apesar da escalabilidade ser um requisito importante, um número grande de componentes interconectados geram alguns problemas
  - ▶ + Conexões  $\rightarrow$  + Extensão física
    - ▶ Maior atraso na propagação dos sinais elétricos
    - ▶ Redução de desempenho da comunicação
  - ▶ Diferentes dispositivos no mesmo barramento
    - ▶ Tráfego excessivo por dispositivos de alto desempenho
    - ▶ Periféricos lentos causam grande retenção

# Hierarquia de barramento

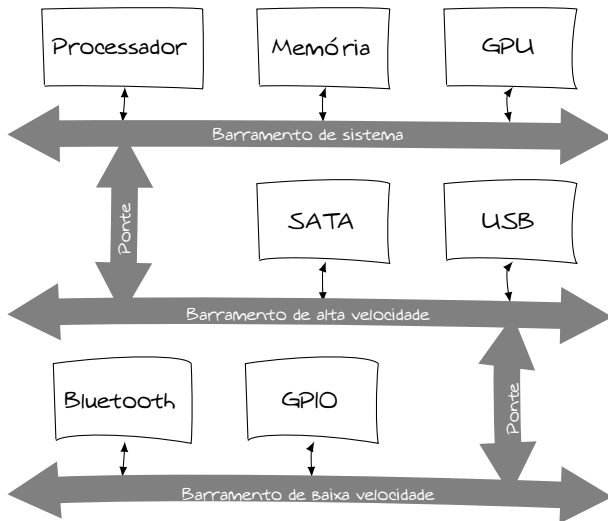
- ▶ O que é hierarquia de barramento?
  - ▶ É a utilização de múltiplos barramentos, com diferentes especificações e requisitos que são interconectados por pontes (*bridges*)

# Hierarquia de barramento

- ▶ O que é hierarquia de barramento?
  - ▶ É a utilização de múltiplos barramentos, com diferentes especificações e requisitos que são interconectados por pontes (*bridges*)
    - ✓ Menor extensão física
    - ✓ Isolamento do tráfego
    - ✓ Tempo mais uniforme

# Hierarquia de barramento

- Sistema com múltiplos barramentos



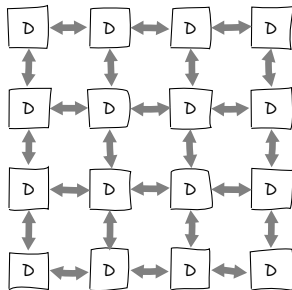


# Hierarquia de barramento

- ▶ Padrões de barramento hierárquico
  - ▶ *Industry Standard Architecture* (ISA)
    - ▶ Comunicação paralela
    - ▶ Taxa máxima de 16 MB/s e uso industrial (PC-104)
  - ▶ *Peripheral Component Interconnect Express* (PCI-Express)
    - ▶ Comunicação serial
    - ▶ Taxa máxima de 32 GB/s com diversos usos
  - ▶ *Advanced Microcontroller Bus Architecture* (AMBA)
    - ▶ Comunicação paralela
    - ▶ Uso embarcado em *System-on-Chip* (SoC)
  - ▶ ...

# Interconexão em rede

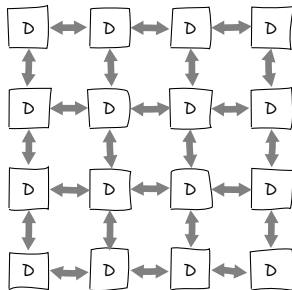
- *Network-on-Chip* (NoC)
  - Comunicação baseada em pacotes com interfaces síncronas e assíncronas, baseado em redes *mesh*



# Interconexão em rede

## ► Network-on-Chip (NoC)

- Comunicação baseada em pacotes com interfaces síncronas e assíncronas, baseado em redes *mesh*



## ► NoC x Barramento

- ✓ Maior escalabilidade
- ✓ Flexibilidade de projeto
- ✓ Redução no consumo de potência