



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE COMPUTAÇÃO

Mecanismos de interconexão

Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

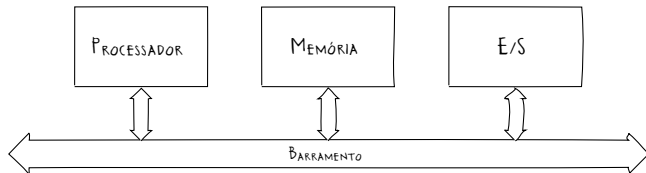
Departamento de Computação / UFS

Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão?

Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão?
 - ▶ 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 INTERCONEXÃO DOS 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	✗	Gargalo (congestionamento)
✓	Baixo custo	✗	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
 - ▶ **Iniciador:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
 - ▶ **Atendedor:** atendem ou respondem as transações do barramento, como a memória ou periférico

Introdução

- ▶ Papel dos dispositivos no barramento
 - ▶ **Iniciador:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
 - ▶ **Atendedor:** 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*)

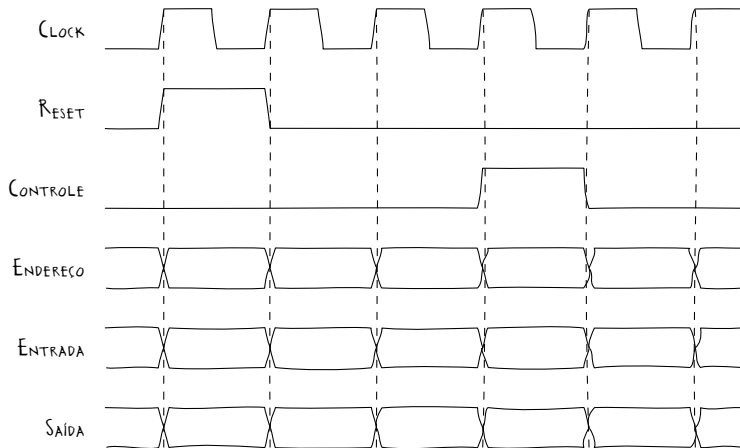
Introdução

- ▶ 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

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4 \text{ GHz}} = \frac{1}{4 \times 10^9} = 0,25 \text{ ns}$$

Introdução

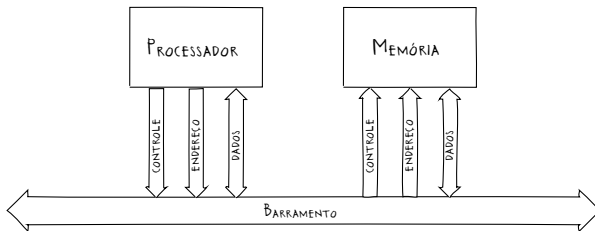
► Diagrama de tempo



ESPECIFICA O COMPORTAMENTO DE SINAIS NO TEMPO

Estrutura lógica

- ▶ A estrutura lógica do barramento é composta por linhas para operações de controle e transmissão de 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 de destino do dispositivo que será acessado no barramento

# BITS	FAIXA DE ENDEREÇOS
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
 - ▶ Iniciador → Atendedor (escrita)
 - ▶ Iniciador ← Atendedor (leitura)

Estrutura lógica

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

Estrutura lógica

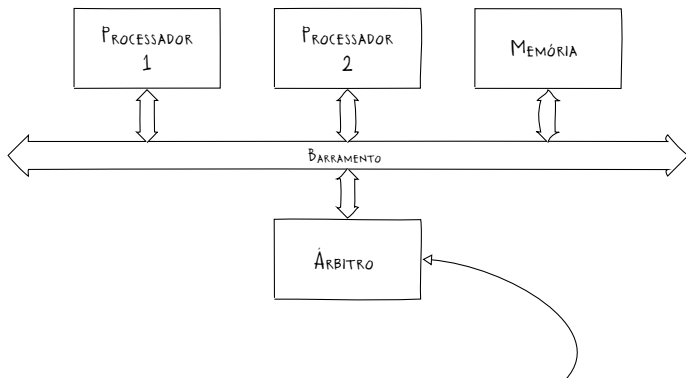
- ▶ Arbitração de barramento
 - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo iniciador no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
 - ▶ Sequência de controle
 1. Um dos dispositivos iniciador ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais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

Estrutura lógica

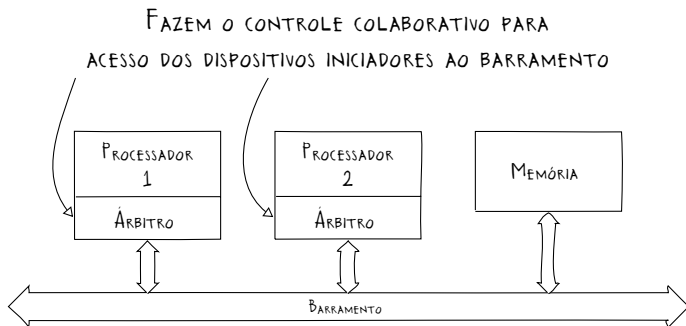
► Método centralizado de arbitração



DEFINE A PRIORIDADE DOS DISPOSITIVOS
INICIADORES PARA ACESSAR O BARRAMENTO

Estrutura lógica

► Método descentralizado de arbitração



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

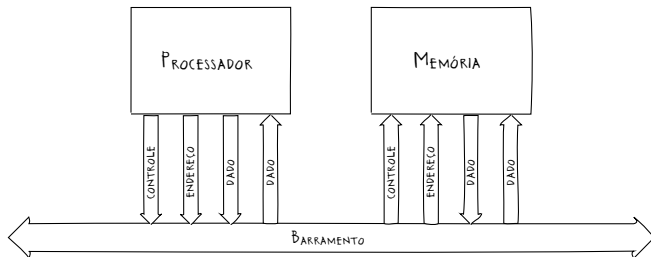
- ▶ Tipos de linhas físicas de interconexão
 - ▶ Dedicadas
 - ▶ São meios físicos exclusivos para certos tipos de dados
 - ▶ Apresenta baixa retenção e grande vazão de dados, porém com área física e custos de produção maiores

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

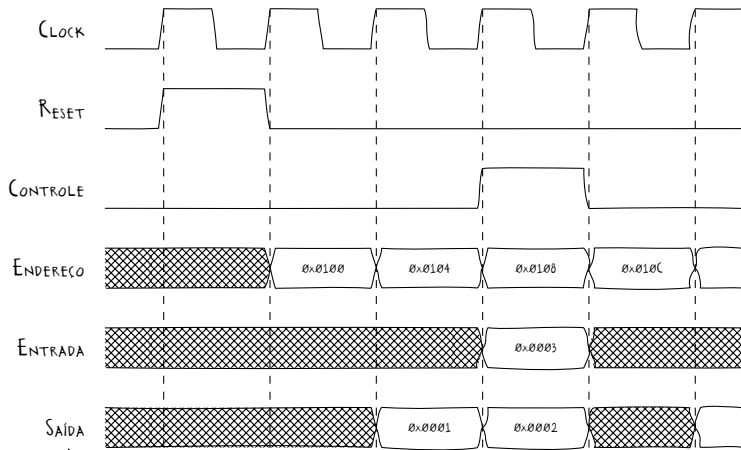
- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
 - ▶ Controle (1) + Endereço (32) + Dados (32 + 32)



COMUNICAÇÃO FULL-DUPLEX COM 97 LINHAS DEDICADAS

Estrutura física

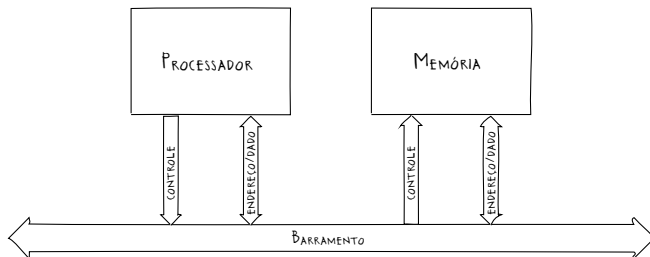
► Linhas de dados dedicadas ou paralelas



↑
CADA SINAL POSSUI SUA PRÓPRIA LINHA

Estrutura física

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



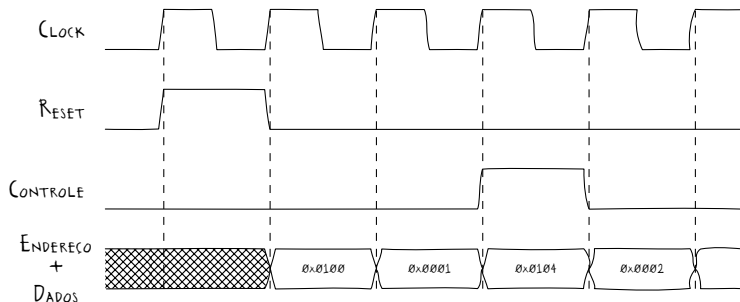
COMUNICAÇÃO HALF-DUPLEX COM 33 LINHAS FÍSICAS

REDUÇÃO DE 66%
DAS LINHAS UTILIZADAS

DOBRÓ DA FREQUÊNCIA
DE OPERAÇÃO DOS SINAIS

Estrutura física

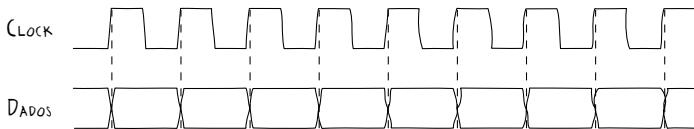
► Linhas multiplexadas ou seriais



Os sinais são intercalados
nas linhas compartilhadas

Barramento síncrono

- A sincronização é feita pelo relógio (*clock*)



A TRANSMISSÃO PODE SER PARALELA OU SERIAL,
UTILIZANDO OS CICLOS DE RELÓGIO COMO REFERÊNCIA

Barramento síncrono

- ▶ *Serial Peripheral Interface (SPI)*

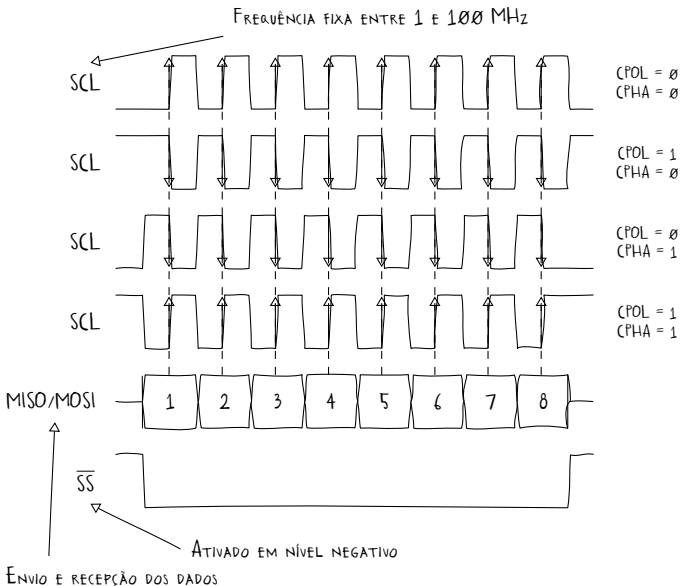
- ▶ Diagrama de blocos



COMUNICAÇÃO FULL-DUPLEX SERIAL

Barramento síncrono

► Serial Peripheral Interface (SPI)



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

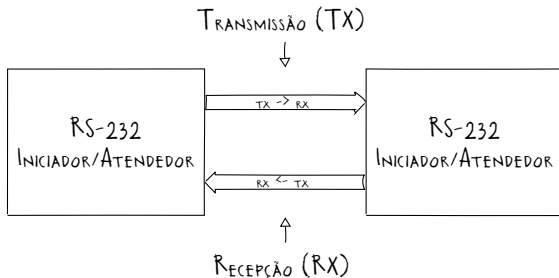
- A comunicação é sinalizada por protocolo



A TRANSMISSÃO PODE SER PARALELA OU SERIAL,
COM INDICAÇÃO DO INÍCIO/TÉRMINO DA TRANSMISSÃO

Barramento assíncrono

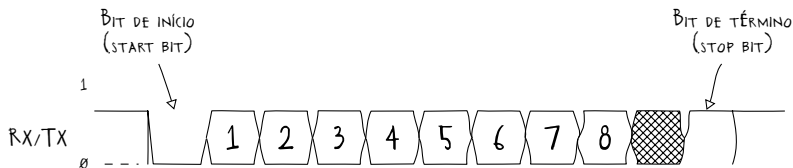
- *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - Diagrama de blocos



COMUNICAÇÃO FULL-DUPLEX SERIAL

Barramento assíncrono

► *Recommended Standard 232 (RS-232)*



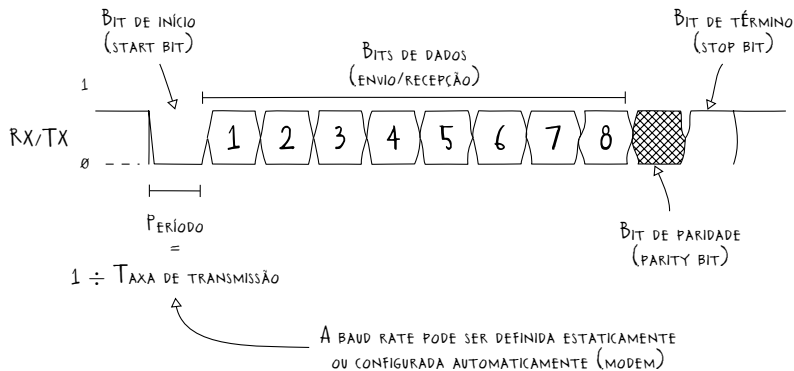
Barramento assíncrono

► *Recommended Standard 232 (RS-232)*



Barramento assíncrono

► Recommended Standard 232 (RS-232)



Barramento assíncrono

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

Barramento assíncrono

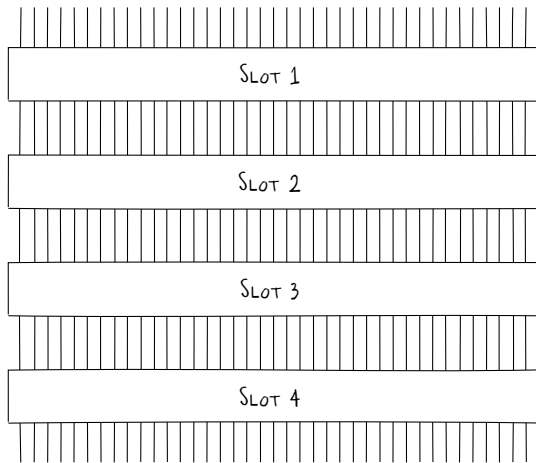
- ▶ Comunicação assíncrona
 - ▶ Vantagens
 - ✓ Flexibilidade de uso
 - ✓ Taxa variável de transmissão
 - ▶ Desvantagens
 - ✗ Maior complexidade
 - ✗ Menor vazão de dados

Aplicações

- ▶ Padrões assíncronos de comunicação
 - ▶ *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - ▶ Foi desenvolvido pela Electronic Industries Association
 - ▶ Ainda é utilizado em aplicações industriais, científicas e de telecomunicações
 - ▶ *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*)

Hierarquia de barramento

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



EFICIÊNCIA + ESCALABILIDADE + PADRONIZAÇÃO

Hierarquia de barramento

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

Hierarquia de barramento

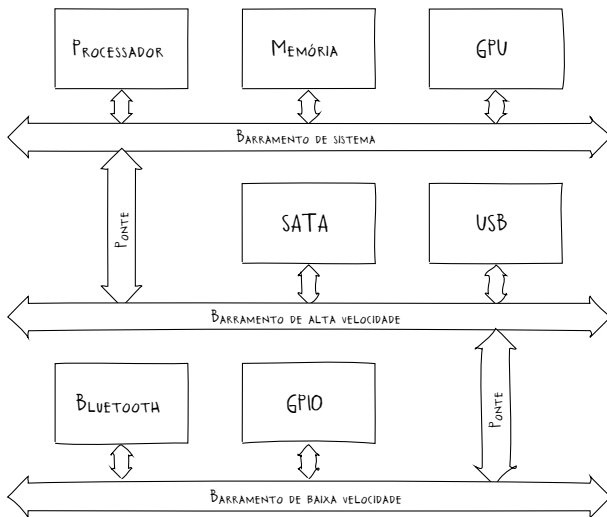
- ▶ Apesar da escalabilidade ser um requisito importante, um número grande de componentes interconectados geram alguns problemas
 - ▶ + Conexões \rightarrow + Extensão física
 - ▶ Maior atraso na propagação dos sinais elétricos
 - ▶ Redução de desempenho da comunicação
 - ▶ Diferentes dispositivos no 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, interconectados por pontes (*bridges*)
 - ✓ Menor extensão física
 - ✓ Isolamento do tráfego
 - ✓ Tempo mais uniforme

Hierarquia de barramento

► Sistema com múltiplos barramentos

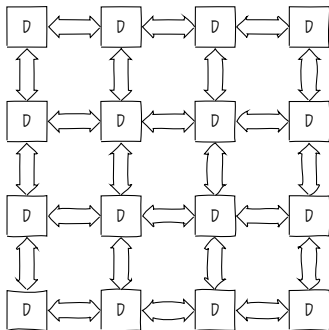


Hierarquia de barramento

- ▶ 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*



- ✓ Maior escalabilidade
- ✓ Flexibilidade de projeto
- ✓ Redução de potência