# Aula 16

- USB – Universal Serial Bus
- Características principais
- Topologia
- Codificação e transmissão de dados
- Gestão de energia
- Modelo de comunicação
- Tipos de transferências

José Luís Azevedo, Arnaldo Oliveira, Tomás Silva, Bernardo Cunha

# Introdução

- USB - Barramento standard desenvolvido por alguns dos principais fabricantes de PCs e indústrias de eletrónica e telecomunicações com vista a interligar dispositivos (tipicamente computadores a periféricos)
  - Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC, and Northern Telecom
- Apareceu em 1996 como resposta às dificuldades de instalar periféricos num PC
- Antes do USB, ligar novos dispositivos a um PC envolvia acrescentar hardware específico e fazer a respetiva configuração, evitando conflitos (e.g. gama de endereços atribuídos, linhas de interrupção, etc.)
- Evolução
  - USB 1.0, Janeiro de 1996 (Low Speed, 1.5 Mbit/s)
  - USB 1.1, Agosto de 1998 (Full Speed, 12 Mbit/s)
  - USB 2.0, Abril de 2000 (High Speed, 480 Mbit/s)
  - USB 3.0, Novembro de 2008 (Super Speed, 5 Gbit/s)
  - USB 3.1, Julho de 2013 (Super Speed+, 10 Gbit/s)
- Todas as novas versões mantêm a compatibilidade com as versões anteriores

# Introdução

- Alguns dos objetivos delineados pelas empresas que conceberam o USB:
  - Os utilizadores não devem ter que configurar *switches* ou *jumpers* em placas ou dispositivos
  - Os utilizadores não devem ter que abrir caixas para instalar novos dispositivos de Input/Output
  - Deve haver somente um tipo de cabo para ligar todos os dispositivos
  - Os dispositivos de Input/Output devem poder obter energia do cabo
  - Devem poder ser ligados até 127 dispositivos a um único computador
  - O sistema deve suportar dispositivos de tempo real (áudio, vídeo,...)
  - Os dispositivos devem poder ser instalados com o computador em funcionamento
  - Não deve ser necessário reiniciar o computador após a instalação de um novo dispositivo
  - O novo barramento e seus dispositivos de Input/Output devem ter um baixo custo de produção

# Características principais

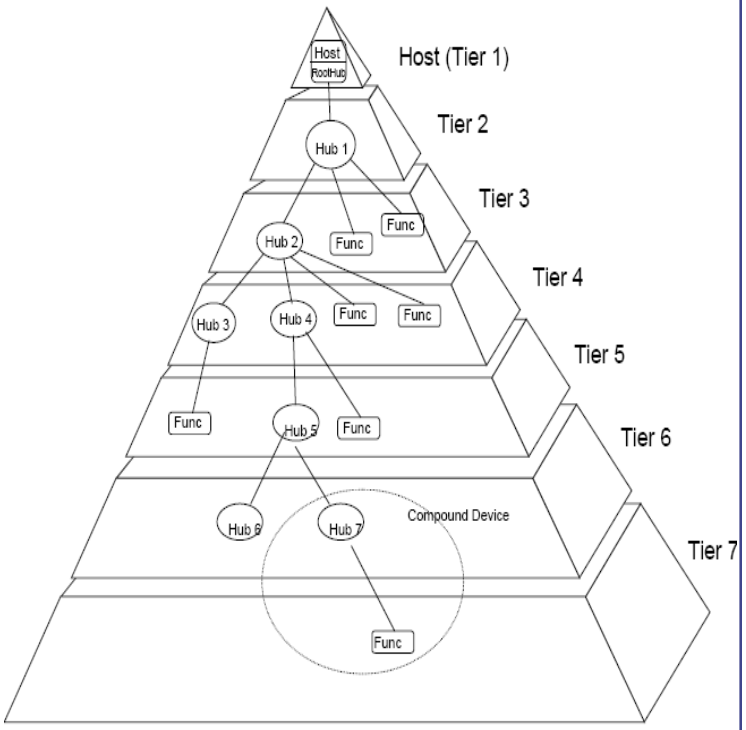
- "Hot plugging": Possibilidade de ligar e desligar fisicamente dispositivos sem necessidade de desligar a alimentação do sistema ou efetuar a sua reinicialização
- Configuração automática ("plug and play")
- Disponibiliza (dentro de certos limites) a alimentação para os dispositivos (+5V)
- Três taxas de transmissão (na versão 2.0)
  - **low-speed, 1.5 Mbit/s** – para comunicação com dispositivos de interação com o utilizador (rato, teclado, joystick, etc.)
  - **full-speed, 12 Mbit/s** – para comunicação com dispositivos que não requeiram taxas elevadas (e.g. impressoras, áudio, ...)
  - **high-speed, 480 Mbit/s** – para comunicação com dispositivos de alto débito (e.g. vídeo, discos, ...)
- Comunicação **half-duplex** (USB 1.0 e 2.0)

# Características principais

- O USB 3.x mantém compatibilidade para trás e acrescenta as taxas de transmissão
  - USB 3.0: **Super-speed mode – 5 Gbit/s**
  - USB 3.1: **Super-speed plus mode – 10 Gbit/s**
- **Comunicação "full-duplex"** no USB 3.x quando são usados os "Super-speed" modes
- Os dados são transmitidos em modo diferencial em par entrançado (nível lógico na receção é discriminado pela diferença de tensão entre os dois sinais)
- O USB usa **comunicação síncrona orientada ao bit**. Um conjunto consecutivo de bits é organizado numa mensagem (packet)
- Os bits são transmitidos continuamente com um ritmo imposto por um relógio que segue para o recetor embebido nos dados (**relógio codificado** - uma das tarefas do recetor é a recuperação desse relógio)

# Topologia

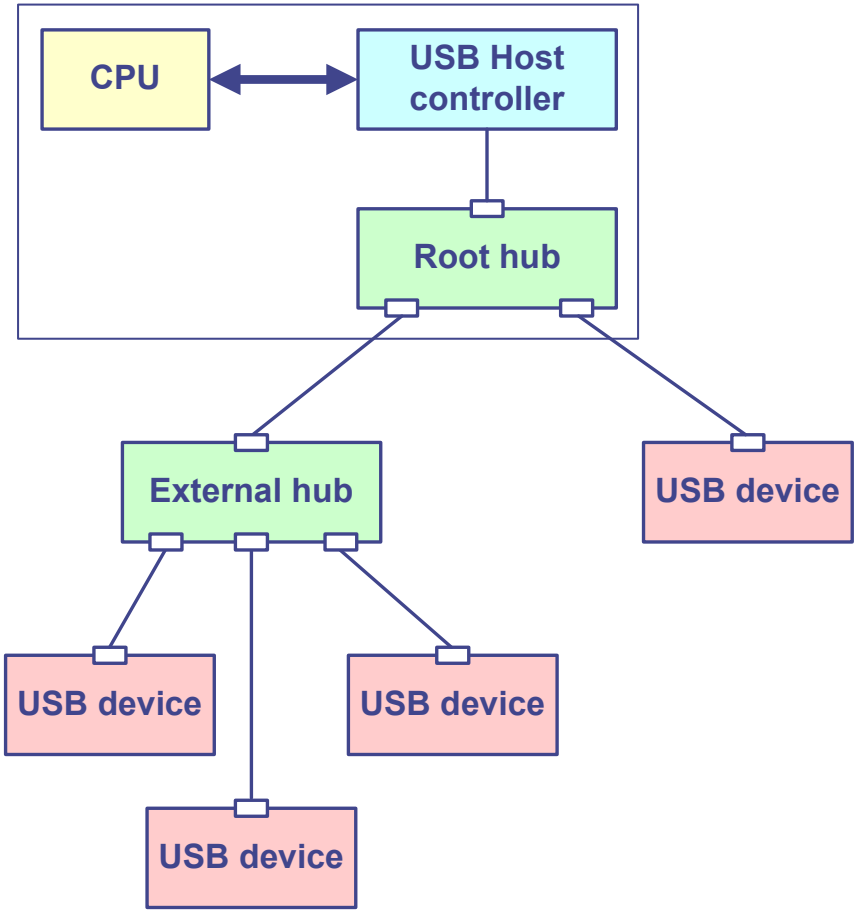
- **Ligação física em árvore** (tiered star), partindo de um sistema central (host controller+root hub) para vários dispositivos ("functions", na "terminologia USB")
- **Máximo de 7 níveis** (incluindo "root hub") e de 127 dispositivos
- Um "function" pode atuar como extremo ou disponibilizar acessos para outros dispositivos operando, nesse caso, como **hub**




- Hub (concentrador): permite que vários dispositivos possam partilhar uma única porta USB
  - Uma única ligação a montante, várias a jusante
  - Permite o aumento da disponibilidade de corrente (alimentação) para os dispositivos

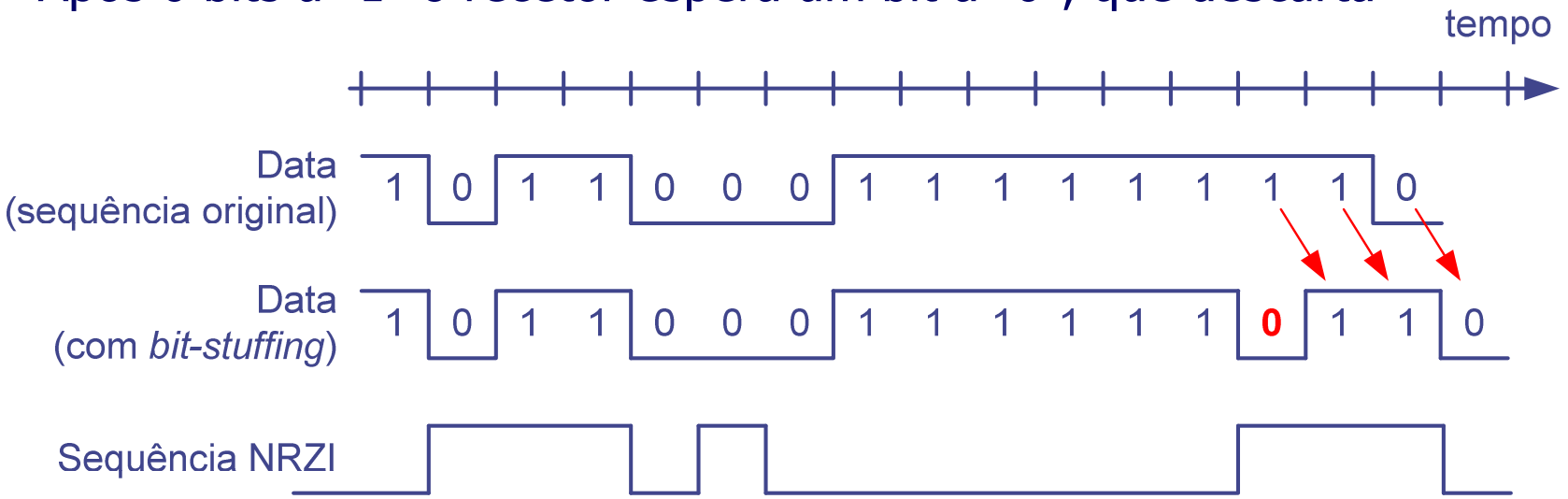
# Topologia

- **Arquitetura "master-slave"** (i.e., cada dispositivo apenas envia dados após permissão explícita do "host controller"
- Não há comunicação entre dois dispositivos USB. Cada dispositivo comunica apenas com o "host controller"
- O controlador USB é encarado, na arquitetura do sistema, como qualquer outro periférico



# Codificação e transmissão de dados

- Codificação NRZI (non-return to zero, inverted)
- Sinal codificado em NRZI não altera a polaridade para "1"s lógicos, invertendo-a para "0"s lógicos
- "**Bit-stuffing**" quando nº de "1"s consecutivos >= 6
- É inserido um "0" após 6 "1"s consecutivos (na sequência original) de modo a forçar uma transição na sequência transmitida que permita ao recetor manter o relógio sincronizado
- Após 6 bits a "1" o recetor espera um bit a "0", que descarta



# USB pinout

| Pin | | Function (host) | Function (device) |
|---|---|---|---|
| | 1 | $V_{BUS}$ | $V_{BUS}$ |
| | 2 | D– | D– |
| | 3 | D+ | D+ |
| | 4 | Ground | Ground |

USB 1.0/2.0 conector Pinout

USB 3.x conector Pinout

| Pin | Color | Signal name ("A" Connector) | Signal name ("B" Connector) | Description | |
|---|---|---|---|---|---|
| Shell | N/A | Shield | | Metal housing | |
| 1 | Red | VBUS | | Power | USB 1.0/2.0 |
| 2 | White | D– | | USB 2.0 differential pair | USB 1.0/2.0 |
| 3 | Green | D+ | | | USB 1.0/2.0 |
| 4 | Black | GND | | Ground for power return | USB 1.0/2.0 |
| 5 | Blue | StdA_SSRX– | StdB_SSTX– | Superspeed transmitter differential pair | USB 3.x |
| 6 | Yellow | StdA_SSRX+ | StdB_SSTX+ | | USB 3.x |
| 7 | N/A | GND_DRAIN | | Ground for signal return | USB 3.x |
| 8 | Purple | StdA_SSTX– | StdB_SSRX– | Superspeed receiver differential pair | USB 3.x |
| 9 | Orange | StdA_SSTX+ | StdB_SSRX+ | | USB 3.x |

# USB 3.x – conetores tipo A e tipo B

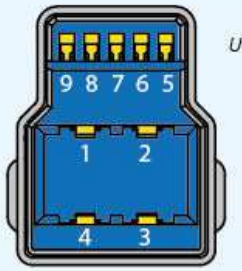
Comprimento dos cabos limitado a 5 m

## USB 3.0 type B pinout, cable Assembly

source: www.reviewharddrive.com

USB type B Pinout, Cable Assembly

| Pin | Signal Name | Description |
|---|---|---|
| 1 | VBUS | Red |
| 2 | D- | White |
| 3 | D+ | Green |
| 4 | GND | Black |
| 5 | StdA_SSTX- | Blue |
| 6 | StdA_SSTX+ | Yellow |
| 7 | GND_DRAIN | GROUND |
| 8 | StdA_SSRX- | Purple |
| 9 | StdA_SSRX+ | Orange |
| Shell | Shield | Connector Shell |



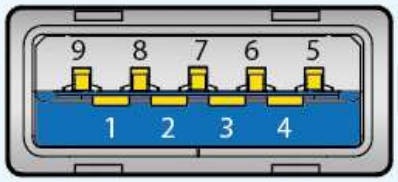

*USB 3.0 type B Connector*


## USB 3.0 type A pinout, cable Assembly

source: www.reviewharddrive.com

USB type A Pinout, Cable Assembly

| Pin | Signal Name | Description |
|---|---|---|
| 1 | VBUS | Red |
| 2 | D- | White |
| 3 | D+ | Green |
| 4 | GND | Black |
| 5 | StdA_SSRX- | Blue |
| 6 | StdA_SSRX+ | Yellow |
| 7 | GND_DRAIN | GROUND |
| 8 | StdA_SSTX- | Purple |
| 9 | StdA_SSTX+ | Orange |
| Shell | Shield | Connector Shell |




*USB 3.0 type A Connector*


**Micro-B**


- O conetor tipo A liga ao host
- O conetor tipo B liga ao device

# Gestão de energia

- Dispositivos (incluindo *hubs*) podem ter fonte de alimentação própria ou alimentar-se do barramento
- USB 2.0 – 1 unidade de carga (UC): 100 mA
  - Um *hub* alimentado pelo barramento pode (depois de configurado) fornecer em cada porta um máximo de 1 UC (i.e. 100 mA). A corrente máxima fornecida pelo *hub* está limitada a 5 UC
  - Um *hub* auto-alimentado pode fornecer em cada porta um máximo de 5 UC (i.e. 500 mA)
- USB 3.x – 1 unidade de carga (UC): 150 mA
  - *Hub* alimentado pelo barramento pode fornecer em cada porta 1 UC. A corrente máxima fornecida pelo *hub* está limitada a 6 UC (900mA)
  - Um *hub* auto-alimentado pode fornecer em cada porta 6 UC

# Gestão de energia

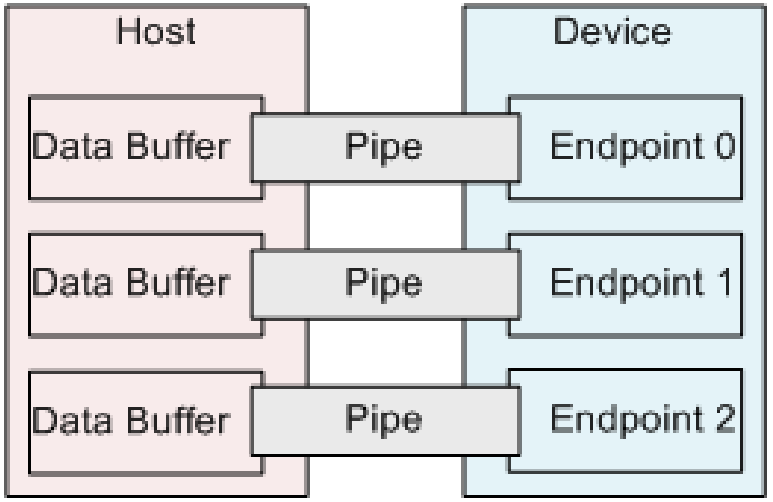
- Após conexão os "devices" são interrogados pelo "host controller" acerca das sua necessidades energéticas
  - Situações de sobrecarga são notificadas e *hubs/devices* podem ser desligados automaticamente
  - Durante a fase inicial os *devices* têm de operar em modo de baixo consumo (low power, max. 1 unidade de carga, passando para o modo normal de operação apenas após autorização explícita do "Host controller"
- A disponibilização de energia entre um *hub* e um dispositivo é também utilizada para a deteção da ligação ou da retirada do dispositivo o que permite implementar o modo de operação "plug-and-play"

# Modelo de comunicação USB

- O "host controller" pode controlar até 127 dispositivos, cada um com um identificador único (entre 1 e 127)
- O identificador 0 é reservado para permitir a ligação de um novo dispositivo; quando um novo dispositivo se liga, o "host controller" atribui-lhe um novo identificador e liberta o identificador 0
- Não há comunicação entre dois dispositivos USB: cada dispositivo USB comunica apenas com o "host controller" através de canais virtuais, designados por "**pipes**" (condutas)
- Cada dispositivo pode incluir várias funcionalidades a que correspondem terminais lógicos (designados por "**endpoints**")
- Um *pipe* estabelece a comunicação entre um *endpoint* e o "host controller"; os *endpoints* estão numerados de 0 a 15 (a cada número correspondem dois *endpoints*, um em cada direção)
- Os *endpoints* são unidirecionais (ou são "sinks" ou "sources" ), sendo denominados:
  - OUT (sink): do "host controller" para o dispositivo
  - IN (source): do dispositivo para o "host controller"

# Modelo de comunicação USB

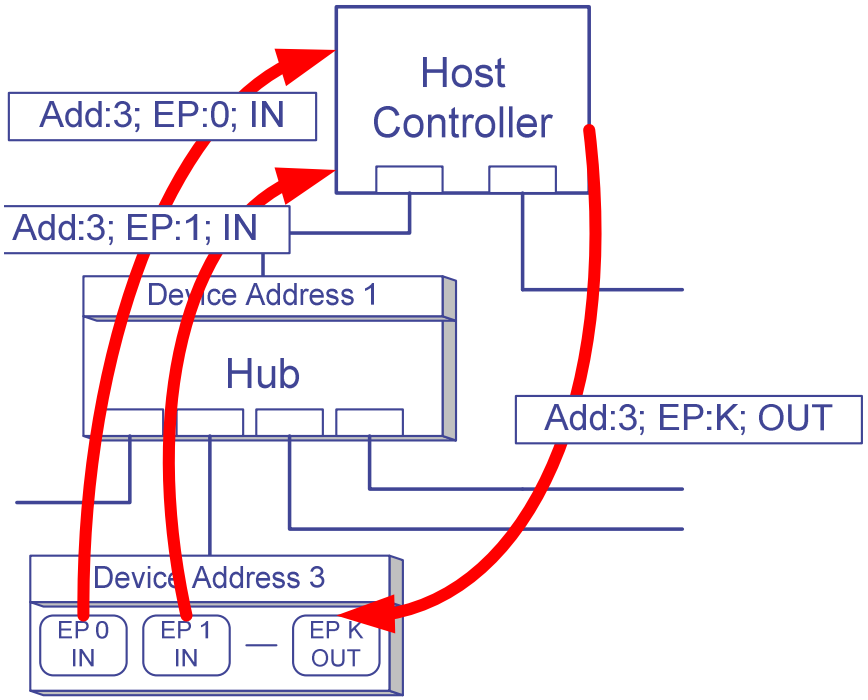
- Todos os dispositivos implementam obrigatoriamente os dois *endpoints* com o número 0
- **O "default control pipe" está associado ao *endpoint* 0**, é usado para efeitos de configuração e verificação de estado




- O "default control pipe" é obrigatório em todos os dispositivos USB – é o canal de comunicação bidirecional básico que se estabelece quando o dispositivo é ligado
- Os restantes canais de comunicação (pipes) são estabelecidos quando o dispositivo é ligado ao barramento, numa fase designada por **enumeração**
- **Cada *endpoint* inclui uma zona de memória** suficiente para guardar o maior pacote que pode circular no *pipe* a ele associado (configurado na fase de enumeração)

# Modelo de comunicação – endereçamento

- O endereço do dispositivo é atribuído pelo *host controller* aquando da conexão, sendo único no barramento
- Número do *endpoint*: cada *endpoint* tem um número pré-configurado, único para cada device
- Direção: IN/OUT




A combinação
"Endereço de device : Número de Endpoint : Direcção"
identifica univocamente cada *endpoint* no barramento

# Enumeração

- No arranque do sistema o *host controller* acede ao *root hub* para:
  - Descobrir se há dispositivos a ele ligados
  - Identificar os dispositivos ligados aos diferentes *hubs* descobertos no sistema
- Passa depois ao procedimento de enumeração de cada um dos dispositivos encontrados: troca de informação inicial, que acontece automaticamente quando o sistema arranca e sempre que um dispositivo é ligado
- A enumeração permite ao *host controller* reconhecer e inicializar um dispositivo. Inclui:
  - Atribuição de um endereço (único)
  - Leitura de informações (e.g. Class, Vendor)
  - Alocação de recursos
  - Atribuição e carregamento de *Device Driver*
  - ...
- É uma tarefa permanente pois podem ligar-se/desligar-se dinamicamente dispositivos a um barramento USB

# Tipos de transferências

- O USB suporta 4 tipos de transferências de dados
- **Não periódicas** – surgem sem qualquer período definido, sob iniciativa do *host-controller*, sem garantia de taxa de transmissão ou de latência:
  - **Control** Transfers
  - **Bulk** Transfers (massivo)
- **Periódicas** – Na fase de enumeração é definido o período entre envios consecutivos de informação, garantindo-se um limite máximo para a **latência** (atraso máximo de transmissão pelo USB):
  - **Isochronous** Transfers (isócrono)
  - **Interrupt** Transfers
- Cada *pipe* suporta apenas um destes tipos de transferência

# Transferências de controlo

- São utilizadas pelo *host-controller* para o envio de mensagens de **comando e configuração** ou **consulta de estado** de um dispositivo
- Todos os dispositivos USB têm de implementar o "default control pipe" associado ao *endpoint* 0, destinado a tarefas de configuração, controlo e verificação de estado
- As transferências de controlo suportam a comunicação com o *endpoint* 0 do dispositivo (IN e OUT). Podem ser criados *endpoints* adicionais deste tipo para satisfazer necessidades específicas dos dispositivos
- Em princípio, a informação a transmitir / receber é de pequena dimensão

# Transferências Bulk (massivo)

- Transferência de volumes de dados elevados, com instantes de transmissão irregulares
- Permitem a transmissão de dados com garantias de entrega, usando mecanismos de retransmissão em caso de deteção de uma situação de erro (CRC – Cyclic Redundancy Check)
- Não são dadas garantias de largura de banda (quantidade de dados/unidade de tempo) ou de latência, sendo este tráfego tratado em regime de "best effort"
- As transferências deste tipo utilizam a parte da trama que se encontra disponível após a transmissão dos pacotes relativos aos outros tipos de transferências

- Exemplos de dispositivos que usam este tipo de transferências: discos, pen-drives, scanners, impressoras

# Transferências de Interrupção

- Não há sinais físicos dos periféricos para o controlador de interrupções do CPU
- O ***host-controller* interroga periodicamente** os dispositivos (registados com este modo de transferência) para saber se algum tem informação para transferir (é um *polling* feito pelo *host-controller*)
- A regularidade com que o *polling* é feito depende do valor da latência negociada na fase de enumeração no arranque do periférico (o sucesso da negociação depende da existência de recursos suficientes para satisfazer os requisitos)
- O período de *polling* pode ser configurado
- No caso em que ocorre um erro de comunicação, a retransmissão é feita no período de *polling* seguinte
- São transmitidas baixas quantidades de informação (até 64 bytes)
- Tipo de transferência tipicamente usado em dispositivos de interação com o utilizador: ratos, teclados, joysticks, etc.

# Transferências Isócronas

- Permitem a transferência de informação com uma **largura de banda garantida** (quantidade de dados / unidade de tempo) e **latência limitada**. Ou seja, é assegurado um ritmo de transmissão sustentado
- Estes parâmetros são negociados durante o processo de arranque do periférico, na fase de enumeração (o sucesso da negociação depende da existência de recursos suficientes para satisfazer os requisitos)
- Os eventuais erros de transmissão não são corrigidos, isto é, não há retransmissão de informação (não há garantias de entrega)
- É, das quatro, o único tipo de transferência que **não faz controlo de erros**
- Este tipo de transferência é usado essencialmente em aplicações de áudio e vídeo; i.e., aplicações onde garantir o ritmo de transmissão é mais importante que garantir que todos os dados chegam ao destino

# Anexo: Classes USB

| Class | Usage | Description | Examples, or exception |
|---|---|---|---|
| 00h | Device | Unspecified[42] | Device class is unspecified, interface descriptors are used to determine needed drivers |
| 01h | Interface | Audio | Speaker, microphone, sound card, MIDI |
| 02h | Both | Communications and CDC Control | Modem, Ethernet adapter, Wi-Fi adapter, RS-232 serial adapter. Used together with class 0Ah *(CDC-Data, below)* |
| 03h | Interface | Human interface device (HID) | Keyboard, mouse, joystick |
| 05h | Interface | Physical Interface Device (PID) | Force feedback joystick |
| 06h | Interface | Image (PTP/MTP) | Webcam, scanner |
| 07h | Interface | Printer | Laser printer, inkjet printer, CNC machine |
| 08h | Interface | Mass storage (MSC or UMS) | USB flash drive, memory card reader, digital audio player, digital camera, external drive |
| 09h | Device | USB hub | Full bandwidth hub |
| 0Ah | Interface | CDC-Data | Used together with class 02h *(Communications and CDC Control, above)* |
| 0Bh | Interface | Smart Card | USB smart card reader |
| 0Dh | Interface | Content security | Fingerprint reader |
| 0Eh | Interface | Video | Webcam |
| 0Fh | Interface | Personal healthcare device class (PHDC) | Pulse monitor (watch) |
| 10h | Interface | Audio/Video (AV) | Webcam, TV |
| 11h | Device | Billboard | Describes USB Type-C alternate modes supported by device |
| DCh | Both | Diagnostic Device | USB compliance testing device |
| E0h | Interface | Wireless Controller | Bluetooth adapter, Microsoft RNDIS |
| EFh | Both | Miscellaneous | ActiveSync device |
| FEh | Interface | Application-specific | IrDA Bridge, Test & Measurement Class (USBTMC),[43] USB DFU (Device Firmware Upgrade)[44] |
| FFh | Both | Vendor-specific | Indicates that a device needs vendor-specific drivers |

**Ref:https://en.wikipedia.org/wiki/USB#Device_classes**