Organização e Arquitetura de Computadores

Aula 02

Evolução e desempenho do computador

Prof. Msc. Francisco de Assis de Souza Rodrigues

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

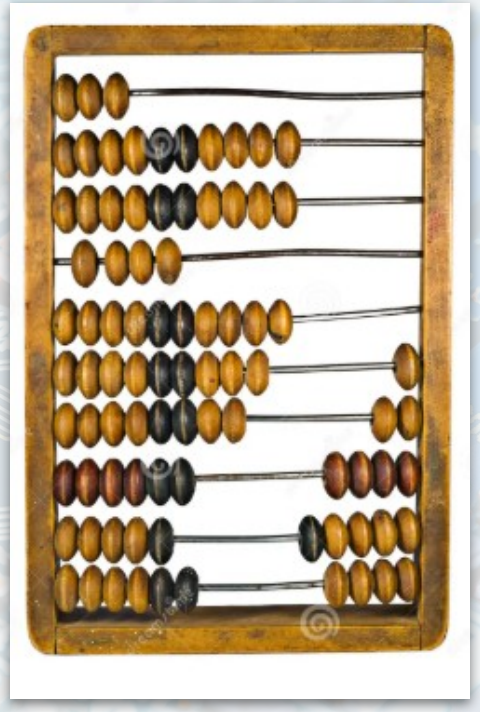
Visão Geral

- Um breve histórico dos computadores
- Projetando visando desempenho
- Evolução da arquitetura Intel x86
- Sistemas embarcados e o ARM
- Avaliação de desempenho

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

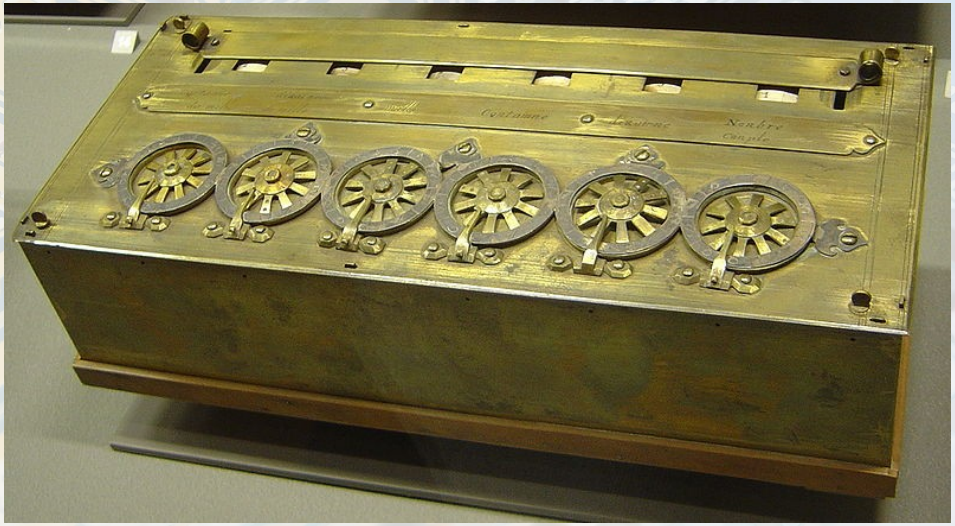
- Ábaco (+1500 a)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

- Rodas dentadas de Pascal (1642)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

- Calculadora de Leibiniz (1673)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

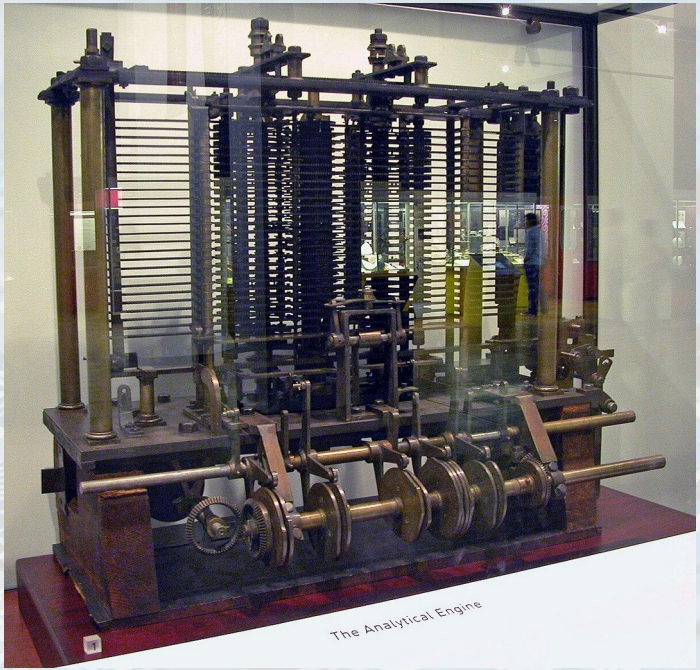
- Tear de Jacquard (1804)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

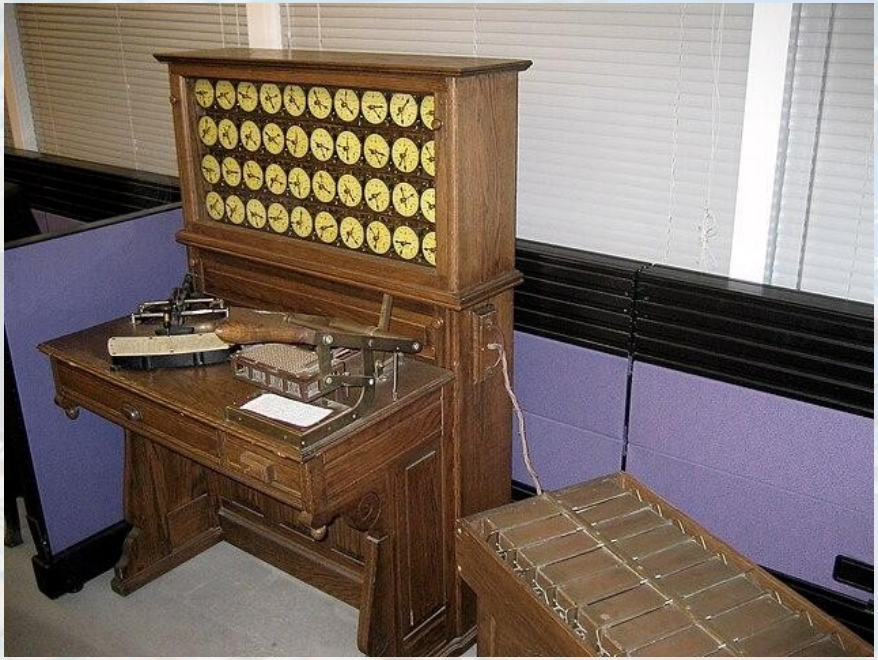
- Babbage
  - Máquina Diferencial (1822)
  - Máquina Analítica (1833)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Pré-História da Computação

- Hollerith (1890)



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Evolução

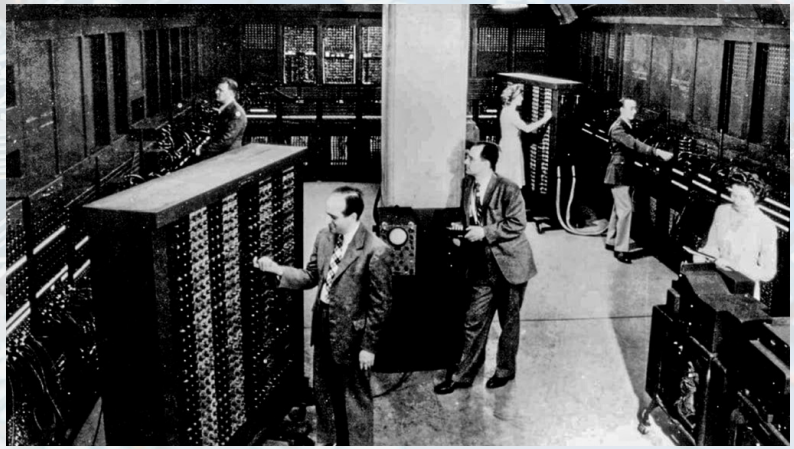
- Primeira Geração 1945 a 1955
  - Substitutas dos relés
  - Tecnologia de rádio e televisão
  - Válvulas conectadas a painéis
  - Impulsionada pela segunda guerra mundial
  - Máquinas enormes com milhares de válvulas mais lentas que as calculadoras atuais
  - Programação inserida com conexões de fios e trocas de válvulas
  - **Não** se tinha o conceito de sistemas operacionais nem programas
  - Esquentavam demais e queimavam com muita facilidade



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

ENIAC – histórico

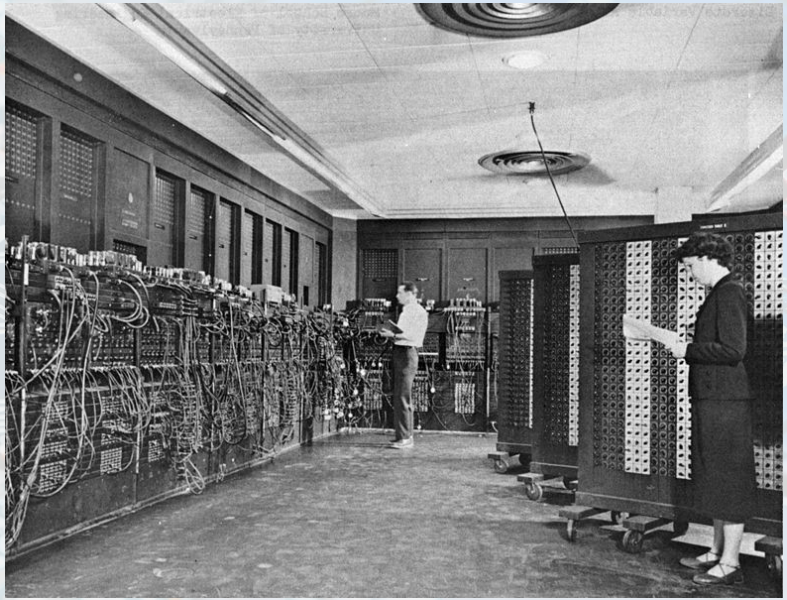
- Electronic Numerical Integrator And Computer.
- Eckert e Mauchly.
- Universidade da Pensilvânia.
- Tabelas de trajetória para armas.
- Iniciou em 1943.
- Terminou em 1946.
- Muito tarde para o esforço de guerra.
- Usado até 1955.



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

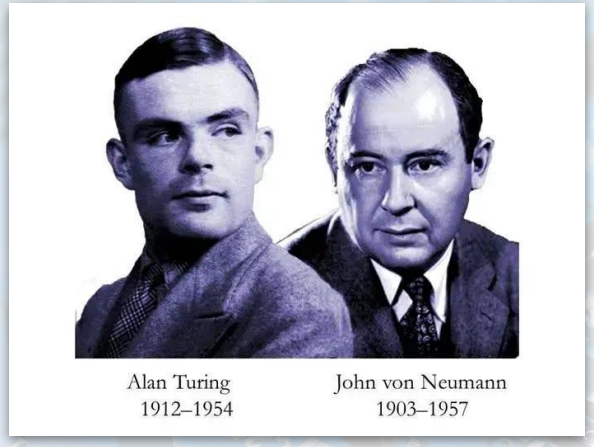
ENIAC – detalhes

- Decimal (não binário).
- 20 acumuladores de 10 dígitos.
- Programado manualmente por chaves.
- 18 000 válvulas.
- 30 toneladas.
- 1 500 pés quadrados.
- 140 kW de consumo de potência.
- 5 000 adições por segundo.



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

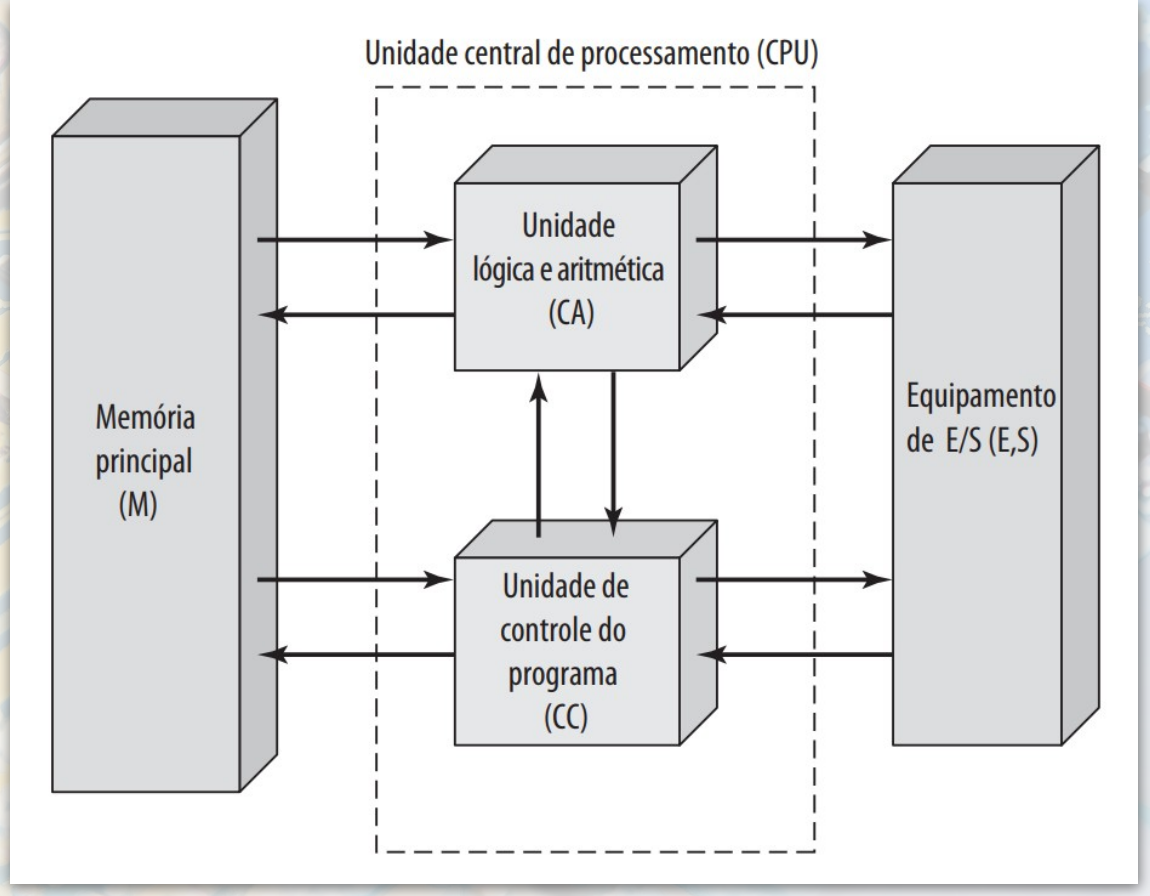
Von Neumann/Turing



- Conceito de programa armazenado.
- Memória principal armazenando programas e dados.
- ULA operando sobre dados binários.
- Unidade de controle interpretando e executando instruções da memória.
- Equipamento de entrada e saída operado por unidade de controle.
- Princeton Institute for Advanced Studies.
- IAS Concluído em 1952.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Estrutura da máquina de von Neumann



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

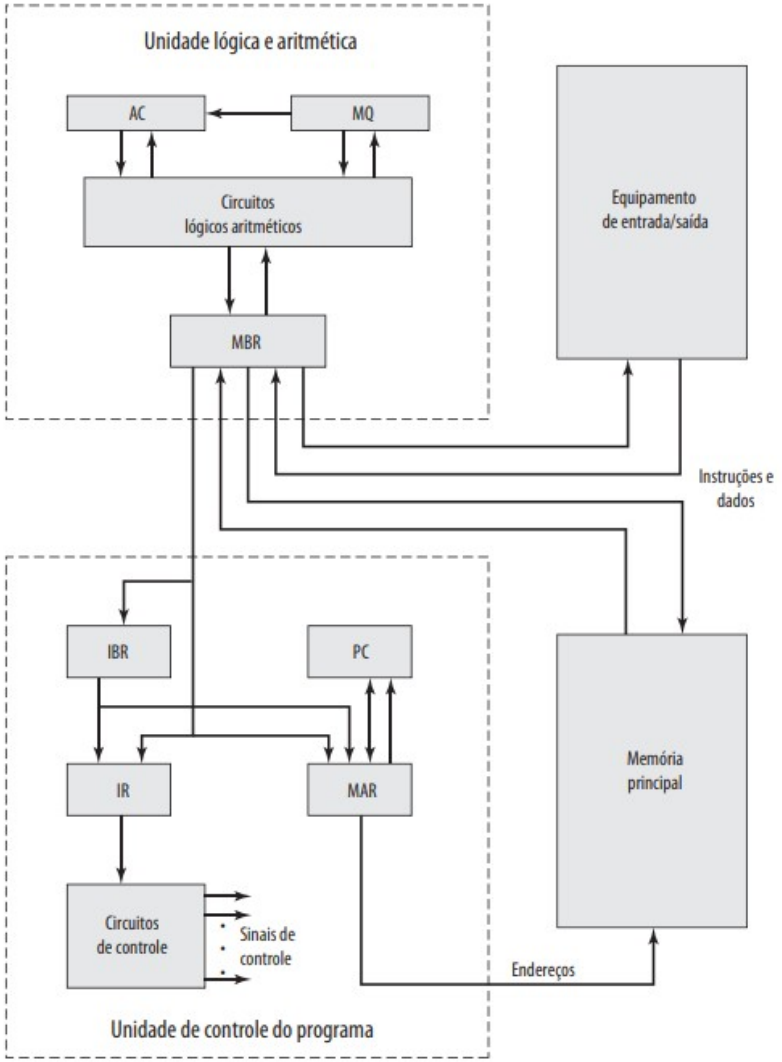
IAS – detalhes

- 1000 “palavras” de 40 bits.
  - Número binário.
  - 2 instruções de 20 bits.

- Conjunto de registradores (armazenamento em CPU).
  - Registrador de buffer de memória.
  - Registrador de endereço de memória.
  - Registrador de instrução.
  - Registrador de buffer de instrução.
  - Contador de programa.
  - Acumulador.
  - Quociente multiplicador.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Estrutura expandida do computador IAS



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Computadores comerciais

- 1947 – Eckert-Mauchly Computer Corporation.
- UNIVAC I (Universal Automatic Computer).
- Birô do Censo dos EUA para cálculos de 1950.
- Tornou-se parte da Sperry-Rand Corporation.
- Final da década de 1950 – UNIVAC II.
  - Mais rápido.
  - Mais memória.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

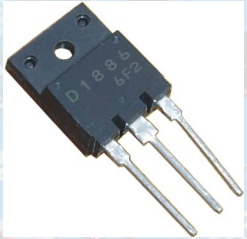
IBM

- Equipamento de processamento de cartão perfurado.
- 1953 – 0 701
  - Primeiro computador de programa armazenado da IBM.
  - Cálculos científicos.
- 1955 – o 702
  - Aplicações comerciais.
- Levou à série 700/7000.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Transistores

- Substituíram as válvulas.
- Menores.
- Mais baratos.
- Menos dissipação de calor.
- Dispositivo de estado sólido.
- Feito de silício (areia).
- Inventado em 1947 na Bell Labs.
- William Shockley e outros.



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Computadores baseados em transistor

- Máquinas de segunda geração.
- NCR & RCA produziram máquinas com transistor pequeno.
- IBM 7000.
- DEC – 1957.
  - Produziu o PDP-1.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Microeletrônica

- Literalmente – “pequena eletrônica”.
- Um computador é composto de portas, células de memória e interconexões.
- Estas podem ser fabricadas em um semicondutor.
- Por exemplo, *wafer* de silício.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Gerações de computadores

- Válvula – 1946-1957.
- Transistor – 1958-1964.
- Integração em pequena escala – 1965 em diante.
  - Até 100 dispositivos em um chip.
- Integração em média escala – 1971.
  - 100-3 000 dispositivos em um chip.
- Integração em grande escala – 1971-1977.
  - 3 000 – 100 000 dispositivos em um chip.
- Integração em escala muito grande – 1978 -1991.
  - 100 000 – 100 000 000 dispositivos em um chip.
- Integração em escala ultragrande – 1991.
  - Mais de 100 000 000 dispositivos em um chip.

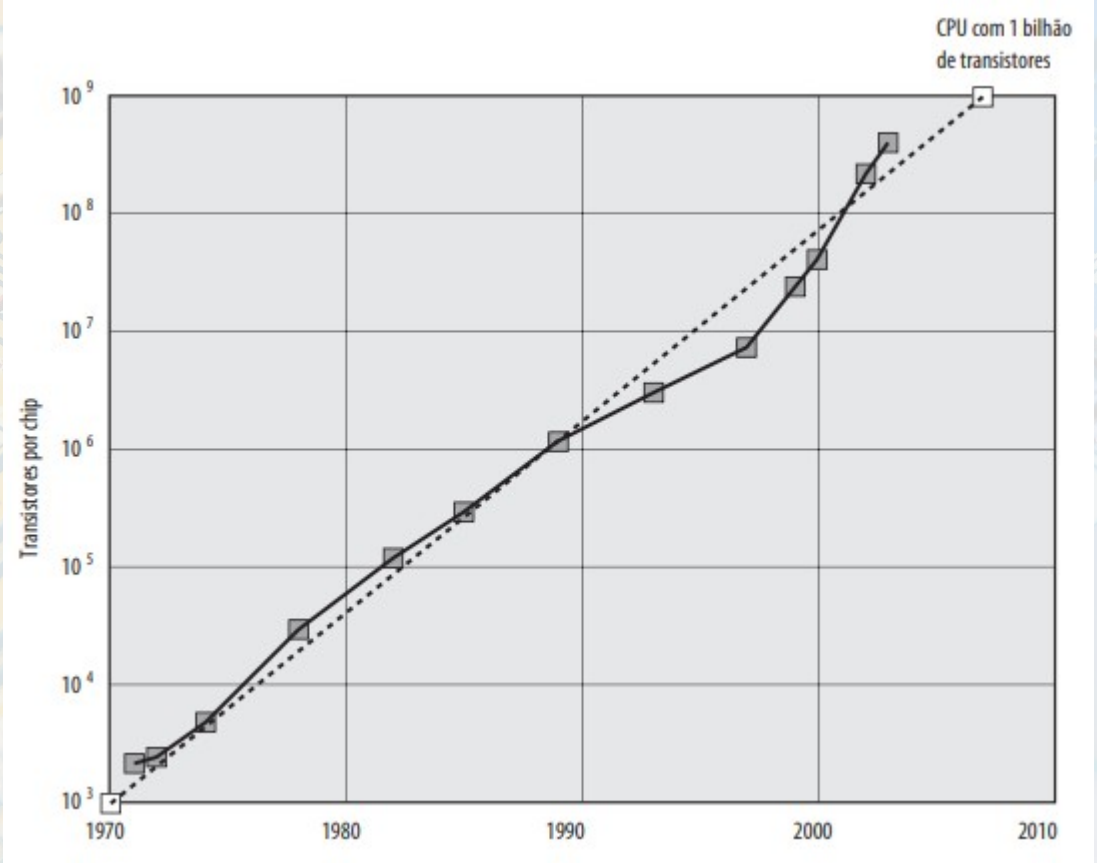
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Lei de Moore

- Maior densidade de componentes no chip.
- Gordon Moore – cofundador da Intel.
- Número de transistores em um chip dobrará a cada ano.
- Desde 1970, isso diminuiu um pouco.
  - Número de transistores dobra a cada 18 meses.
- Custo de um chip permaneceu quase inalterado.
- Maior densidade de empacotamento significa caminhos elétricos mais curtos, gerando maior desempenho.
- Menor tamanho oferece maior flexibilidade.
- Redução nos requisitos de potência e resfriamento.
- Menos interconexões aumenta a confiabilidade.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Crescimento na contagem de transistores da CPU



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

IBM série 360

- 1964.
- Substituiu (incompatível com) série 7000.
- Primeira “família” planejada de computadores.
  - Conjuntos de instruções semelhantes ou iguais.
  - SO semelhante ou igual.
  - Velocidade aumentada.
  - Número cada vez maior de portas de E/S (ou seja, mais terminais).
  - Tamanho de memória crescente.
  - Maior custo.
- Estrutura comutada multiplexada.

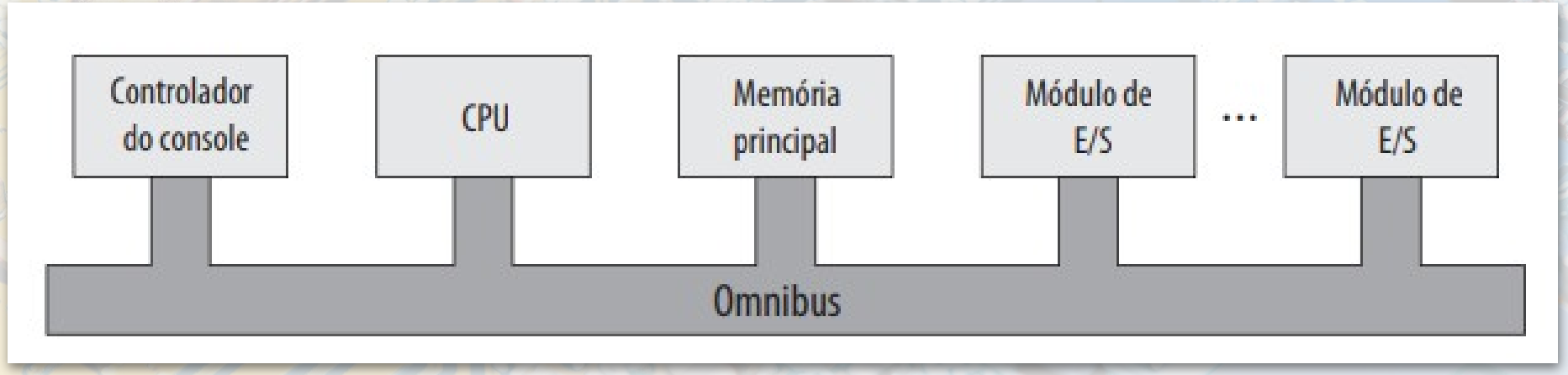
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

DEC PDP-8

- 1964.
- Primeiro minicomputador.
- Não precisava de sala resfriada.
- Pequeno o suficiente para ser colocado sobre uma bancada de laboratório.
- US$ 16 000.
  - Centenas de milhares de US$ do IBM 360.
- Aplicações embutidas & OEM.
- Estrutura de barramento.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Estrutura de barramento do DEC PDP-8



Memória semicondutora

- 1970.
- Fairchild.
- Tamanho de um único core.
  - Ou seja, 1 bit de armazenamento do core magnético.
- Mantém 256 bits.
- Leitura não destrutiva.
- Muito mais rápida que o core.
- Capacidade dobra aproximadamente a cada ano.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Intel

- 1971 – 4004
  - Primeiro microprocessador.
  - Todos os componentes da CPU em um único chip.
  - 4 bits.
- Acompanhado em 1972 pelo 8008.
  - 8 bits.
  - Ambos projetados para aplicações específicas.
- 1974 – 8080.
  - Primeiro microprocessador de uso geral da Intel.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Ganhando velocidade

- Pipelining.
- Cache na placa.
- Cache L1 & L2 na placa.
- Previsão de desvio.
- Análise de fluxo de dados.
- Execução especulativa.

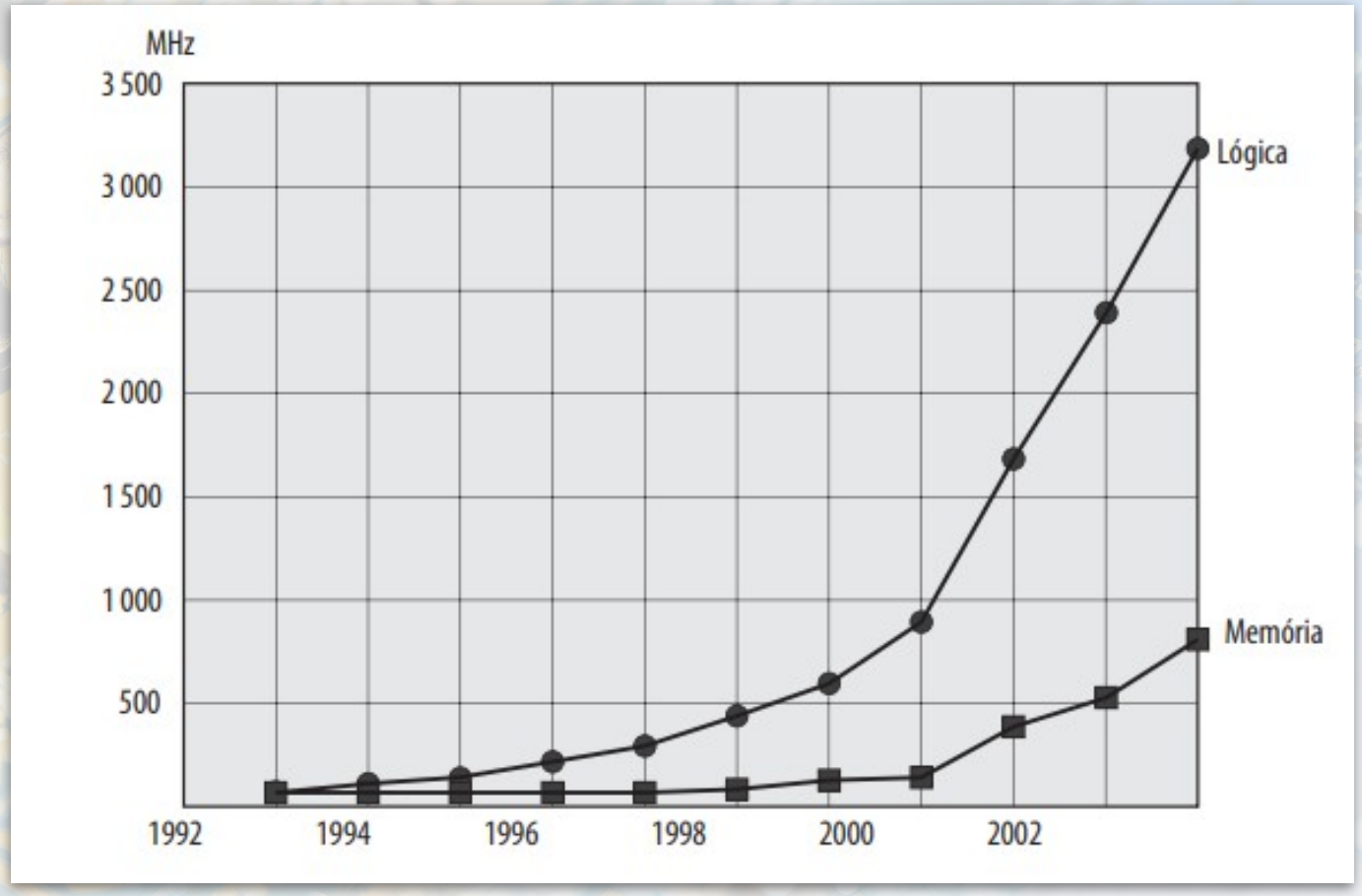
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Balanço do desempenho

- Aumento da velocidade do processador.
- Aumento da capacidade de memória.
- Velocidade da memória fica para trás da velocidade do processador.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Diferença de desempenho entre lógica e memória



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Soluções

- Aumentar número de bits recuperados de uma só vez.
  - Tornar DRAM “mais larga” ao invés de “mais profunda”.
- Mudar interface da DRAM.
  - Cache.
- Reduzir frequência de acesso à memória.
  - Cache mais complexa e cache no chip.
- Aumentar largura de banda de interconexão.
  - Barramentos de alta velocidade.
  - Hierarquia de barramentos.

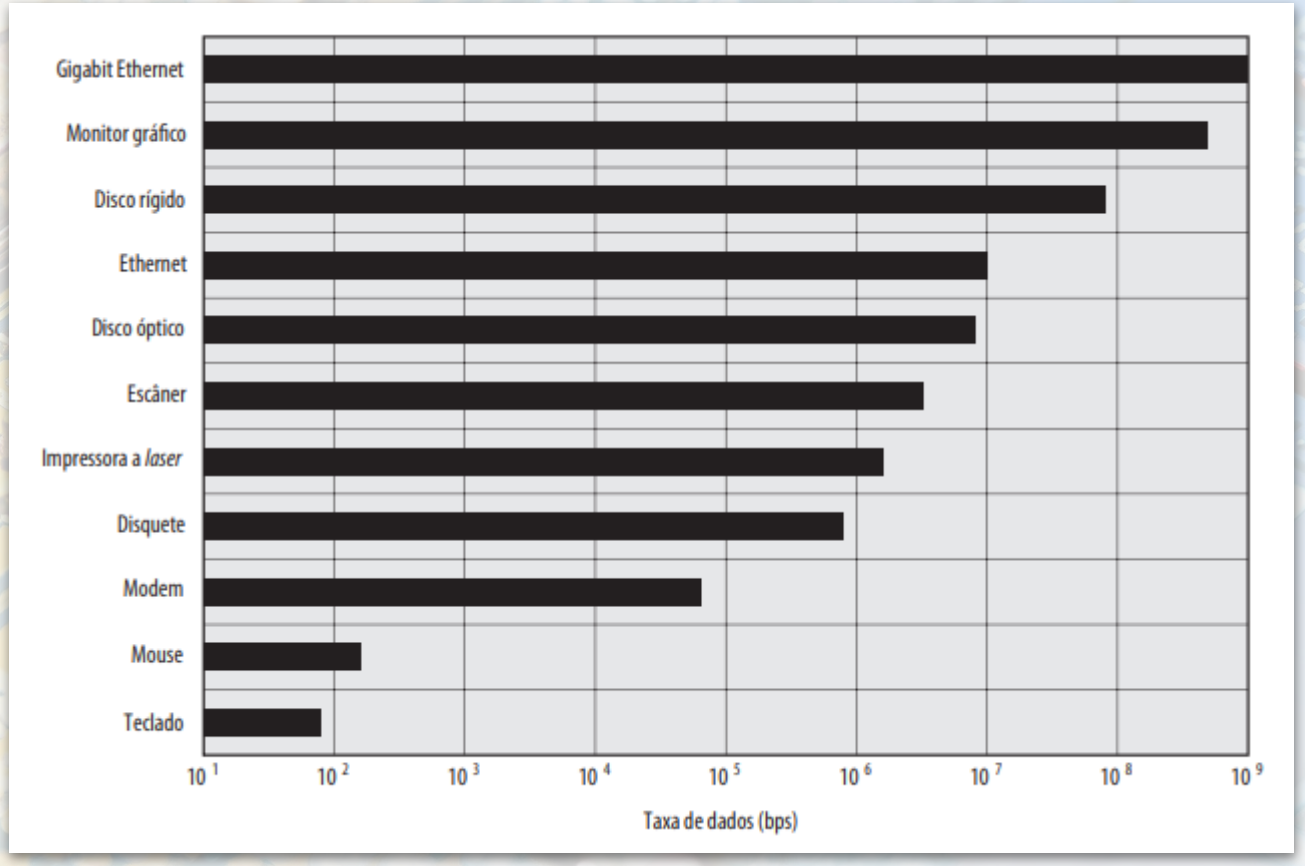
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Dispositivos de E/S

- Periféricos com demandas intensas de E/S.
- Grandes demandas de vazão de dados.
- Processadores podem tratar disso.
- Problema de movimentar dados.
- Soluções:
  - Caching.
  - Buffering.
  - Barramentos de interconexão de maior velocidade.
  - Estruturas de barramentos mais elaboradas.
  - Configurações de processador múltiplo.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Taxas de dados típicas dos dispositivos de E/S



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

A chave é o balanço

- Componentes do processador.
- Memória principal.
- Dispositivos de E/S.
- Estrutura de interconexão.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Melhorias na organização e na arquitetura do chip

- Aumentar velocidade de hardware do processador.
  - Deve-se fundamentalmente ao encolhimento do tamanho das portas lógicas no chip.
    - Mais portas, reunidas mais de perto, aumentando a taxa de clock.
    - Redução no tempo de propagação dos sinais.
- Aumentar tamanho e velocidade das caches.
  - Dedicando parte do chip do processador .
    - Tempos de acesso à cache caem significativamente.
- Mudar organização e arquitetura do processador.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Problemas com velocidade do clock e densidade da lógica

- Potência
  - Densidade de potência aumenta com densidade da lógica e velocidade do clock.
  - Dissipação de calor.

- Atraso de RC
  - Velocidade em que os elétrons fluem pela resistência e capacitância dos fios de metal que os conecta.
  - Aumentos de atraso à medida que o produto RC aumenta.
  - Interconexões de fio mais finas, aumentando a resistência.

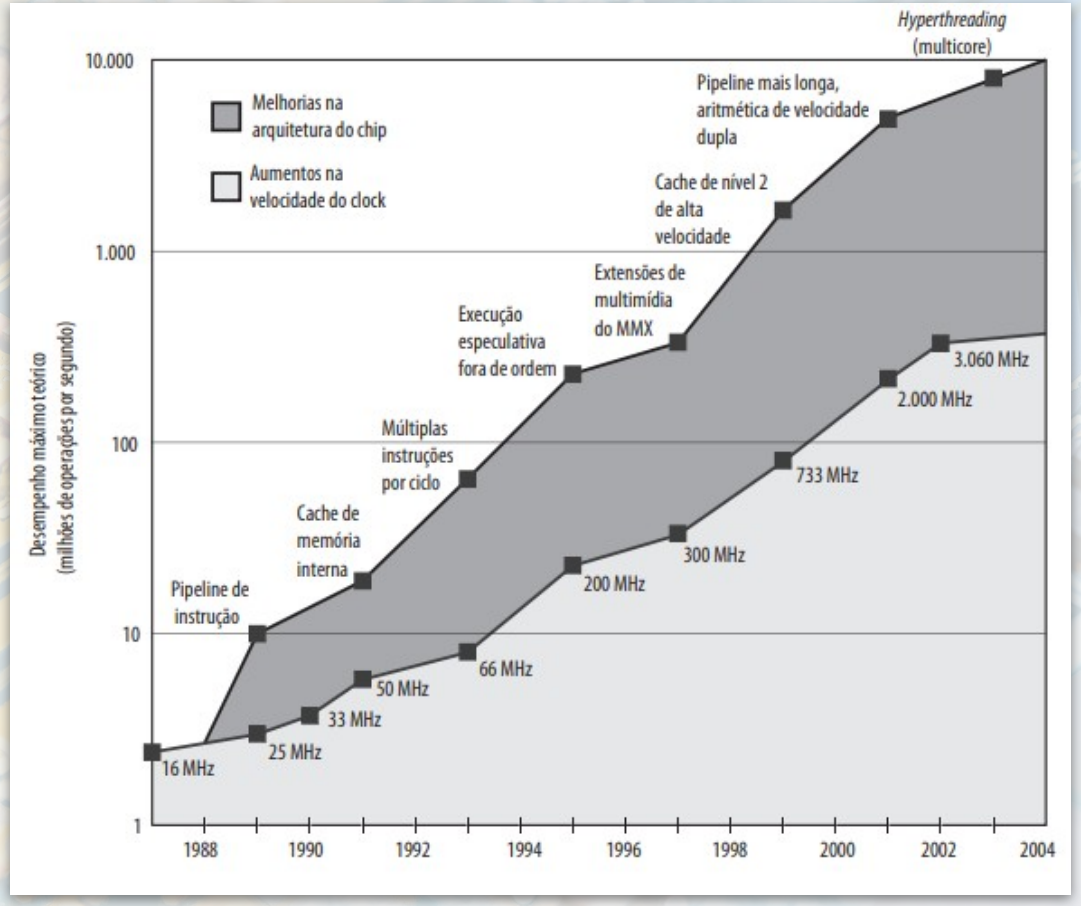
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

- Latência da memória
  - Velocidades de memória ficam atrás das velocidades de processador.

- Solução:
  - Mais ênfase em abordagens de organização e arquitetura.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Desempenho do microprocessador Intel



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Aumento da capacidade de cache

- Normalmente, dois ou três níveis de cache entre processador e memória principal.
- Densidade de chip aumentada.
  - Mais memória cache no chip.
    - Acesso mais rápido à cache.
- Chip Pentium dedicou cerca de 10% da área do chip à cache.
- Pentium 4 dedica cerca de 50%.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Lógica de execução mais complexa

- Permite execução de instruções em paralelo.
- Pipeline funciona como linha de montagem.
  - Diferentes estágios de execução de diferentes instruções ao mesmo tempo ao longo do pipeline.
- Superescalar permite múltiplos pipelines dentro de um único processador.
  - Instruções que não dependem uma da outra pod ser executadas em paralelo.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Retornos decrescentes

- Complexa organização interna dos processadores.
  - Pode obter muito paralelismo.
  - Aumentos mais significativos provavelmente serão relativamente modestos.
- Benefícios da cache estão chegando ao limite.
- Aumentar taxa de clock causa o problema da dissipação de potência.
  - Alguns limites físicos fundamentais estão sendo atingidos.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Nova técnica – múltiplos cores

- Múltiplos processadores em único chip.
  - Grande cache compartilhada.
- Dentro de um processador, aumento no desempenho proporcional à raiz quadrada do aumento na complexidade.
- Se o software puder usar múltiplos processadores, dobrar o número de processadores quase dobra o desempenho.
- Assim, use dois processadores mais simples no chip ao invés de um processador mais complexo.
- Com dois processadores, caches maiores são justificadas.
  - Consumo de potência da lógica de memória menor que lógica do processamento.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Evolução do x86

- 8080
  - Primeiro microprocessador de uso geral.
  - Caminho de dados de 8 bits.
  - Usado no primeiro computador pessoal – Altair.
- 8086 – 5MHz – 29 000 transistores.
  - Muito mais poderoso.
  - 16 bits.
  - Cache de instruções, pré-busca poucas instruções.
  - 8088 (barramento externo de 8 bits) usado no primeiro IBM PC.
- 80286

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

- 80386
  - 32 bits.
  - Suporte para multitarefa.
- 80486
  - Cache sofisticada e poderosa, pipeline sofisticado de instrução.
  - Coprocessador matemático embutido.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

- Pentium
  - Superescalar.
  - Múltiplas instruções executadas em paralelo.
- Pentium Pro
  - Organização superescalar aumentada.
  - Renomeação de registrador agressiva.
  - Previsão de desvio.
  - Análise de fluxo de dados.
  - Execução especulativa.
- Pentium II
  - Tecnologia MMX.
  - Processamento de gráficos, vídeo e áudio.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

- Pentium 4
  - Números romanos para números arábicos.
  - Melhorias adicionais de ponto flutuante e multimídia.
- Core
  - Primeiro x86 com dual core.
- Core 2
  - Arquitetura de 64 bits.
- Core 2 Quad – 3GHz – 820 milhões de transistores
  - Quatro processadores no chip.
- Arquitetura x86 dominante fora dos sistemas embarcados.
- Organização e tecnologia mudaram drasticamente.
- Arquitetura do conjunto de instruções evoluiu com compatibilidade.
- ~1 instrução acrescentada por mês.
- 500 instruções disponíveis

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Sistemas embarcados
ARM

- ARM evoluiu dos princípios de projeto RISC.
- Usada principalmente em sistemas embarcados.
  - Usada dentro do produto.
  - Não para computador de uso geral.
  - Função dedicada.
  - Por exemplo, freios ABS no carro.

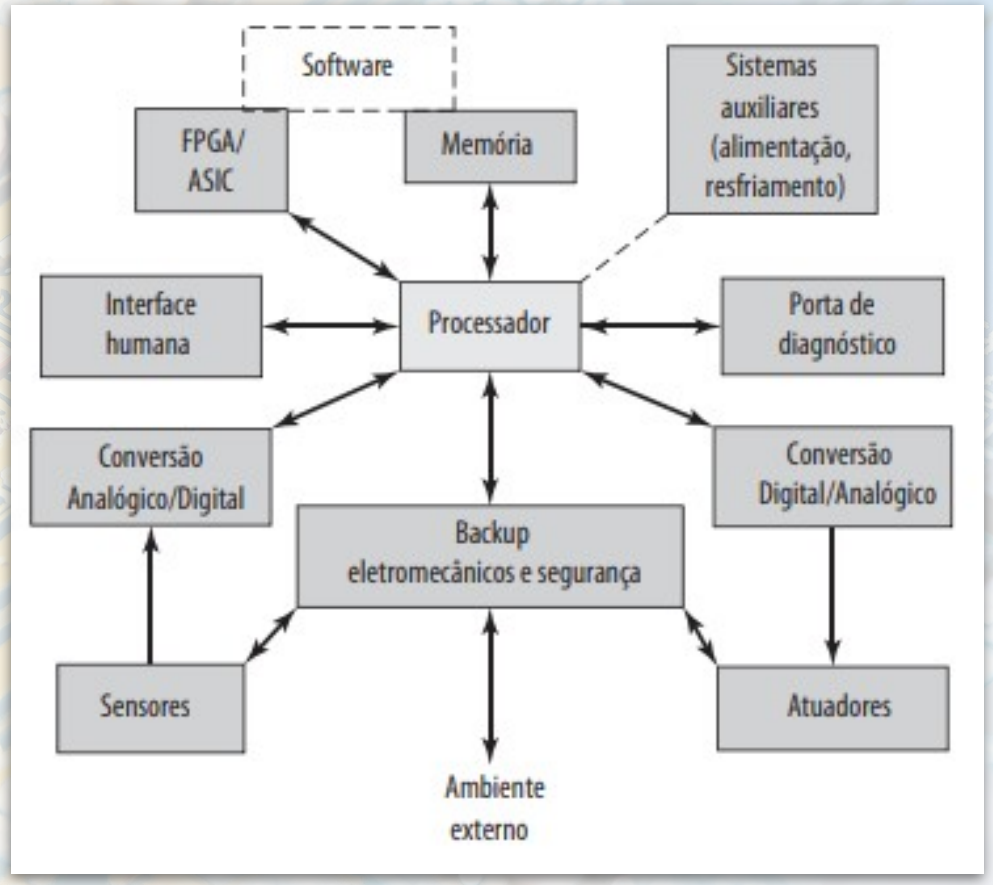
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Requisitos dos sistemas embarcados

- Diferentes tamanhos.
  - Diferentes restrições, otimização, reúso.
- Diferentes requisitos.
  - Segurança, confiabilidade, tempo real, flexibilidade e legislação.
  - Tempo de vida
  - Condições ambientais.
  - Cargas estáticas *versus* dinâmicas.
  - Velocidades de lenta a rápida.
  - Uso intenso de computação *versus* E/S.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Possível organização de um sistema embarcado



Evolução do ARM

- Projetado pela ARM Inc., Cambridge, Inglaterra.
- Licenciado aos fabricantes.
- Alta velocidade, pequeno tamanho do *die*, baixos requisitos de potência.
- PDAs, jogos portáteis, telefones.
  - P.e., iPod, iPhone
- Acorn produziu ARM1 & ARM2 em 1985 e ARM3 em 1989.
- Acorn, VLSI e Apple Computer fundaram a ARM Ltd.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Categorias de sistemas de ARM

- Embarcados de tempo real.
- Plataformas de aplicação.
  - Linux, Palm OS, Symbian OS, Windows mobile.
- Aplicações seguras.

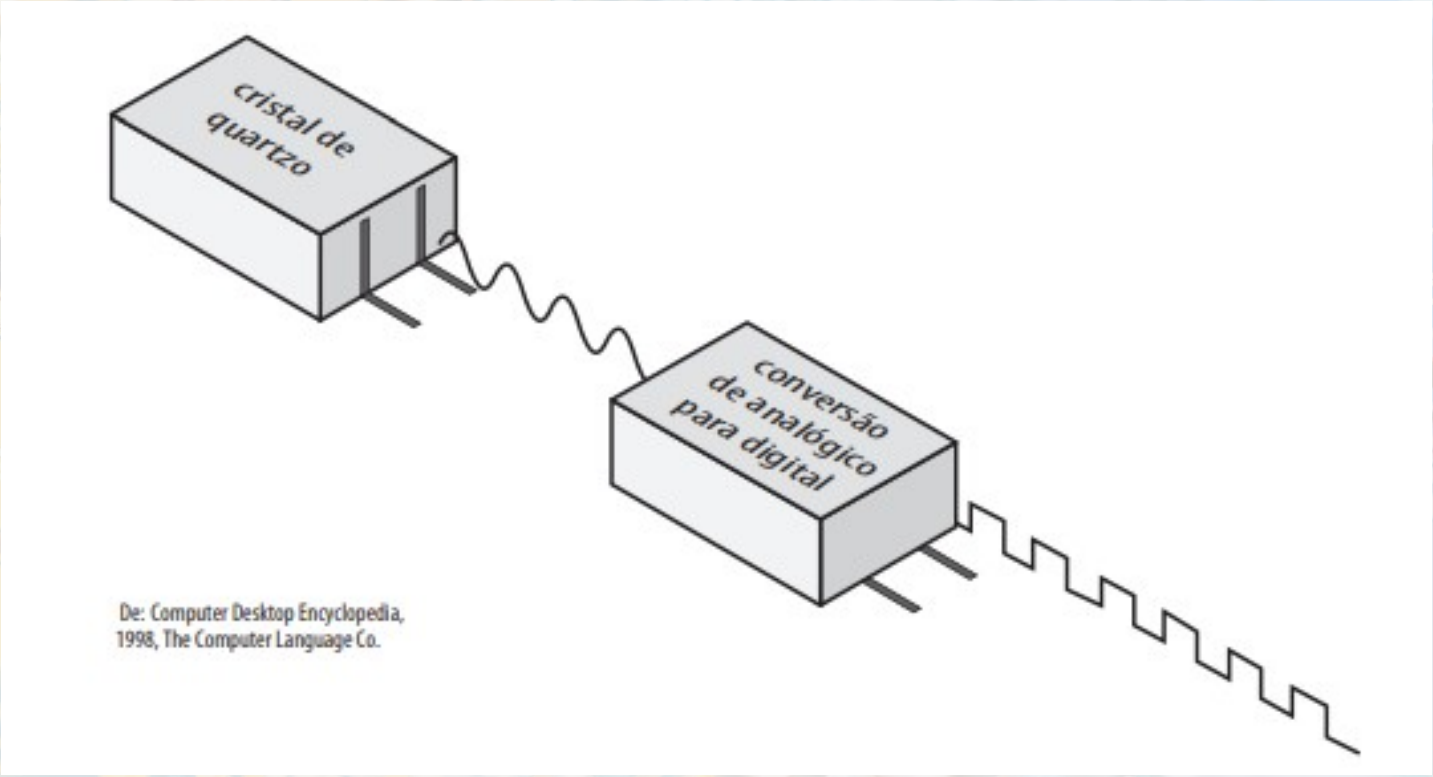
UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Avaliação de desempenho

- Principais parâmetros:
  - Desempenho, custo, tamanho, segurança, confiabilidade, consumo de energia.
- Velocidade do clock do sistema:
  - Em Hz ou múltiplos
  - Velocidade de clock, ciclo de clock, tempo de ciclo.
- Sinais na CPU levam tempo para se estabilizarem em 1 ou 0.
- Sinais podem mudar em diferentes velocidades.
- Operações precisam ser sincronizadas.
- Execução de instrução em etapas discretas.
  - Busca, decodificação, load e store, aritmética ou lógica.
  - Geralmente requer vários ciclos de clock por instrução.
- Pipelining gera execução simultânea de instruções.
- Assim, velocidade de clock não é tudo

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Clock do sistema



De: Computer Desktop Encyclopedia, 1998, The Computer Language Co.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Taxa de execução de instrução

- Milhões de instruções por segundo (MIPS).
- Milhões de instruções de ponto flutuante por segundo (MFLOPS).
- Altamente dependente do conjunto de instruções, projeto de compilador, implementação do processador, hierarquia de cache e memória.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Benchmarks

- Programas elaborados para testar o desempenho.
- Escritos em linguagem de alto nível.
  - Portáveis.
- Representa o estilo da tarefa.
  - Sistemas, numérica, comercial.
- Facilmente medidos.
- Amplamente distribuídos.
- P.e., System Performance Evaluation Corporation (SPEC).
  - CPU2006 para limite de cálculo.
    - 17 programas de ponto flutuante em C, C++, Fortran.
    - 12 programas de inteiros em C, C++.
    - 3 milhões de linhas de código.
  - Métrica de velocidade e de taxa.
    - Única tarefa e vazão.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Métrica de velocidade SPEC

- Única tarefa.
- Runtime básico para cada programa usando máquina de referência.
- Resultados são relatados como razão entre o tempo de referência e o tempo de execução do sistema.
  - Tempo de execução $Tref_i$ para benchmark i na máquina de referência.
  - Tempo de execução $Tsut_i$ do benchmark i na máquina de teste.

$$r_i = \frac{Tref_i}{Tsut_i}$$

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

- Desempenho geral calculado pela média das razões para todos os 12 benchmarks de inteiros.
  - Usa média geométrica.
    - Apropriado para números normalizados, como razões.

$$r_G = \left(\prod_{i=1}^{n} r_i \right)^{1/n}$$

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Métrica de taxa SPEC

- Mede vazão ou taxa de uma máquina executando uma série de tarefas.
- Múltiplas cópias de benchmarks executadas simultaneamente.
  - Normalmente, mesmo número de processadores.
- Razão calculada da seguinte forma:
  - Tempo de execução de referência $Tref_i$ para benchmark i.
  - N número de cópias executadas simultaneamente.
  - $Tsut_i$ tempo decorrido desde início da execução do programa em todos os N processadores até o término de todas as cópias do programa.
  - Novamente, uma média $r_i = \frac{N \times Tref_i}{Tsut_i}$ é calculada.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Lei de Amdahl

- Gene Amdahl [AMDA67].
- *Speedup* em potencial do programa usando múltiplos processadores.
- Concluiu que:
  - Código *precisa ser paralelizável.*
  - Speedup é limitado, gerando retornos decrescentes para uso de mais processadores.
- Dependente da tarefa:
  - Servidores ganham mantendo múltiplas conexões em múltiplos processadores.
  - Bancos de dados podem ser divididos em tarefas paralelas.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Fórmula da Lei de Amdahl

- Para programa rodando em único processador:
  - Fração *f* do código paralelizável sem *overhead* no escalonamento.
  - Fração (1-*f*) de código inerentemente serial.
  - *T* é o tempo de execução total para o programa no único processador.
  - *N* é o número de processadores que exploram totalmente as partes paralelas do código.

$$Speedup = \frac{\text{tempo para executar programa em um único processador}}{\text{tempo para executar programa em N processadores paralelos}} = \frac{T(1-f)+Tf}{T(1-f)+\frac{Tf}{N}} = \frac{1}{(1-f)+\frac{f}{N}} .$$

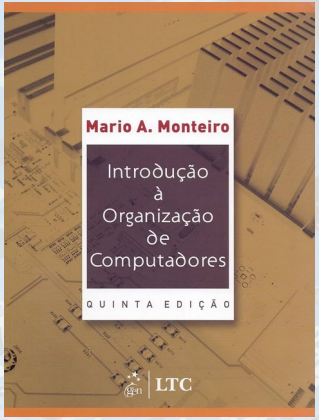
- Conclusões:
  - *f* pequeno, processadores paralelos têm pouco efeito.
  - *N* ->∞, *speedup* limitado por 1/(1 – *f*).
    - Retornos decrescentes para o uso de mais processadores.

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Bibliografia

- MONTEIRO, M. A. Introdução à organização de computadores. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- HENESSY, J., PATTERSON, D.A. Arquitetura de computadores: uma abordagem quantitativa. 4 ed. Rio de janeiro: Campus, 2008.
- STALLINGS, W. Arquitetura e organização de computadores. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.





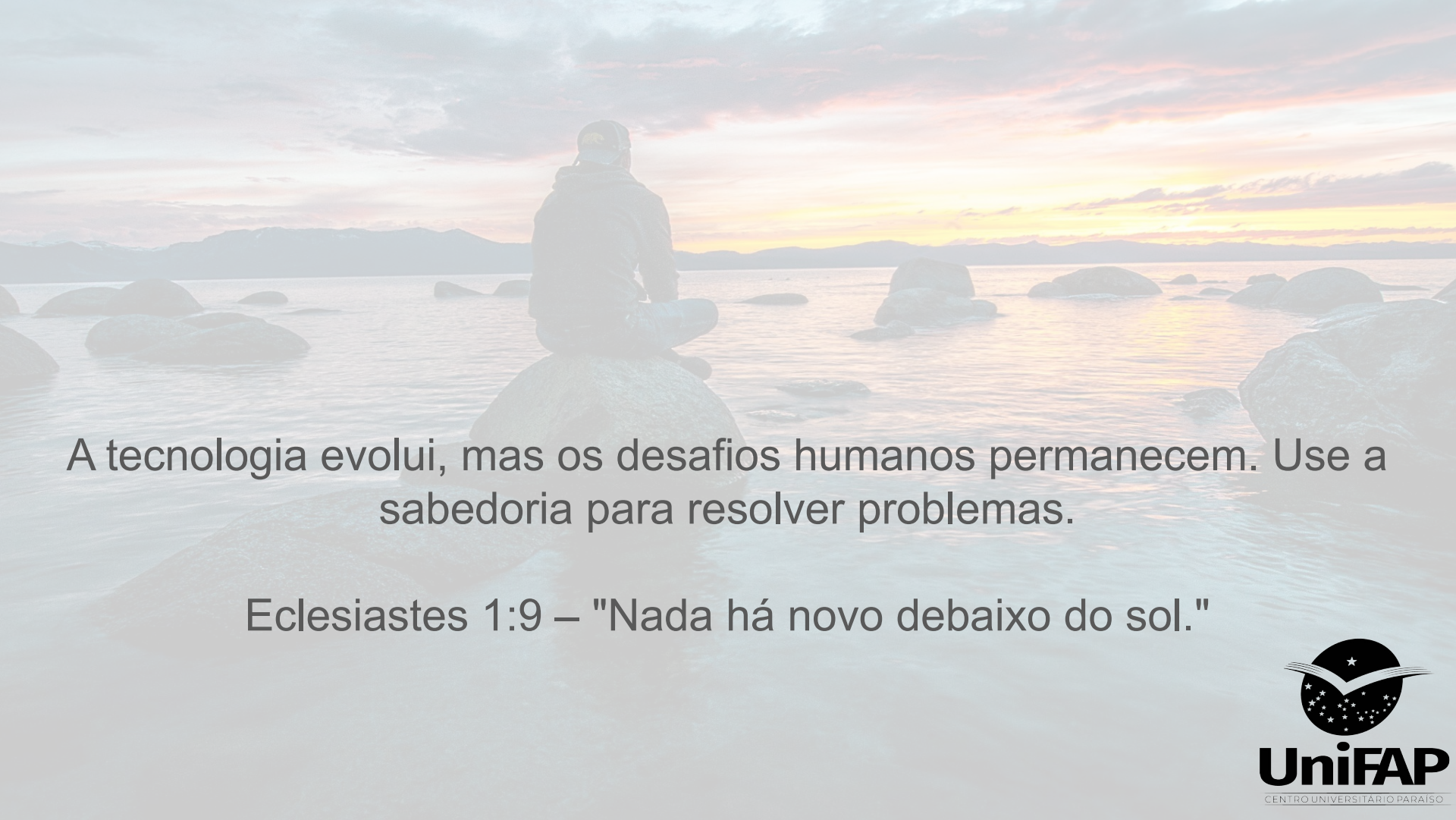


UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO

Perguntas?!



UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO



A tecnologia evolui, mas os desafios humanos permanecem. Use a sabedoria para resolver problemas.

Eclesiastes 1:9 – "Nada há novo debaixo do sol."

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO



Obrigado!

UniFAP
CENTRO UNIVERSITÁRIO PARAÍSO