

Arquitetura de Computadores I

António de Brito Ferrari

ferrari@ua.pt

1. Organização da disciplina

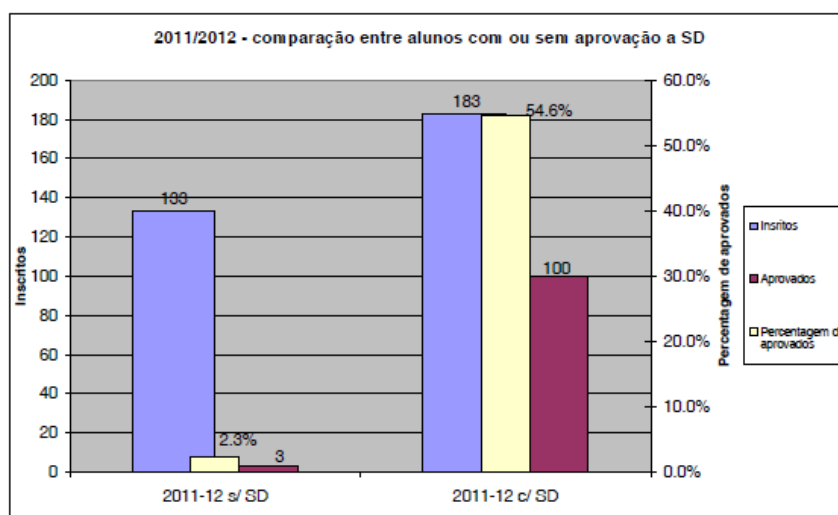
Objetivos da disciplina

- Compreender a organização dos computadores digitais
- Adquirir familiaridade com a arquitetura de microprocessadores através da programação em *assembly*
- Compreender a estrutura interna dos processadores
- Conhecer as formas de representação da informação nos computadores digitais, com relevo para a representação da informação numérica (inteiros e vírgula flutuante) e as operações aritméticas básicas.

ABF - AC I Intro

3

Pré-requisitos: AC 1 e Sistemas Digitais



ABF - AC I Intro

4

Programa (ver Guião no Moodle)

1. Introdução: sistemas de computação de uso geral. O modelo de Von Neumann.
2. A arquitetura MIPS
3. O *assembler* e o processo de “assemblagem”
4. Aritmética computacional
5. Outras arquiteturas do conjunto de instruções. RISC e CISC
6. Organização interna do processador: unidades operativas e unidade de controlo
7. Organização do sistema de memória
8. Pipelining

ABF - AC I Intro

5

Bibliografia

Livros de texto:

- D.M. Harris, S.L. Harris, ***Digital Design and Computer Architecture***, 2nd edition, Morgan Kaufmann, 2013
 - Capítulos 5, 6, 7, Apêndices B e C
 - Existem na biblioteca 2 exemplares
- David Patterson, John Hennessy, ***Computer Organization and Design – the Hardware / Software Interface*** (P&H book), Morgan Kaufmann
 - 4th edition, Capítulos 1, 2, 3 e 4 e Apêndice D
 - 2nd e 3rd editions, Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e Apêndice C
- Existem na biblioteca vários exemplares da 3^a e da 2^a edições

ABF - AC I Intro

6

Volume de trabalho necessário

Área científica: Arquitetura de Sistemas Computacionais

Cursos: Mestrado Integrado em Engenharia de Computadores e Telemática,
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrónica e de Telecomunicações

Escolaridade semanal: 3 horas de aulas teórico-práticas; 2 horas de aulas práticas

Código: 40334

Créditos ECTS: 8 **216 horas de trabalho do aluno (8 * 27h)**

Horas de aulas $\approx 14 * 5 = 70h$

Preparação para exame $\approx 20h$

Horas de trabalho extra-aulas $\approx 120h$ correspondentes a

8h de trabalho semanal para além das aulas

ABF - AC I Intro

7

Avaliação (ver Guião no Moodle)

Nota final = $0.6 \times \text{Nota Teórica} + 0.4 \times \text{Nota Prática}$

Nota Teórica = Nota obtida no exame escrito realizado na época de exames

Nota Prática = $0.3 \times T1 + 0.5 \times T2 + 0.2 \times AC$

T1 e **T2** – testes práticos

AC = (i) a resolução de problemas sobre a matéria teórica colocados no Moodle
(ii) participação nas aulas práticas
(iii) análise da preparação e execução do trabalho das aulas práticas.

A aprovação à disciplina implica uma avaliação global superior ou igual a **9,5 valores** sendo que **em nenhuma** das componentes (teórica e prática) a nota correspondente pode ser inferior a **8,0 valores**.

Quem tenha obtido avaliação positiva na componente prática no ano letivo de 2014/2015 pode conservar a respectiva nota a menos que se tenha inscrito numa das turmas práticas. Neste caso perde automaticamente a nota prática obtida anteriormente se não anular a inscrição até **24.9.2015**

ABF - AC I Intro

8

Avaliação Trabalhadores-Estudantes (ver Moodle)

Os alunos com o estatuto de trabalhador-estudante que pretendam usufruir do mesmo modelo de avaliação dos estudantes em regime ordinário, deverão declará-lo por escrito, entregando a respectiva declaração, o mais tardar até à segunda aula prática, ficando obrigados a assistir e participar em, pelo menos, 80% das aulas práticas.

ABF - AC I Intro

9

Docentes

Regente e aulas TP:

António Ferrari ferrari@ua.pt Gabinete: no IEETA

Aulas práticas:

António Adrego da Rocha	adrego@ua.pt	P1e, P3c, P4b, P5a
António Nunes da Cruz	cruz@ua.pt	P1a, P2a, P3a, P4a, P6a
José Alberto Fonseca	jaf@ua.pt	P1b, P3b, P5c
Pedro Lavrador	plavrador@ua.pt	P1c, P2b

OTs: Quarta-Feira 9h30-10h30 – dúvidas sobre a prática
 Quinta-Feira 15h-16h – dúvidas sobre a matéria teórica

Nota: os alunos devem enviar um email aos docentes das aulas teóricas ou das aulas práticas com o mínimo de 24h de antecedência quando pretendam esclarecer dúvidas

ABF - AC I Intro

10

2. Estrutura dos computadores digitais

O MODELO DE VON NEUMANN

ABF - AC I Intro

11

Modelo de Computação

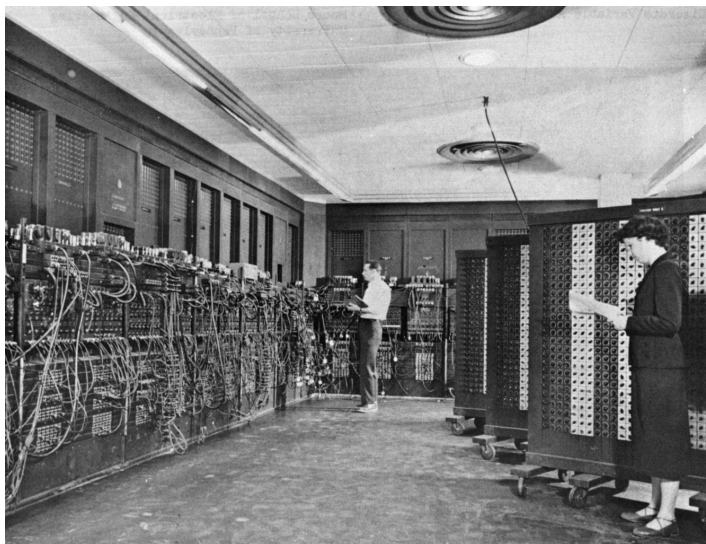
Processador + Memória

- **Memória** armazena dados e instruções
- **Processador** realiza as operações especificadas nas instruções sobre os operandos contidos na memória
- Dados e Instruções representados em binário

ABF - AC I Intro

12

ENIAC - Primeiro Calculador Eletrônico Digital



ENIAC - [Electronic](#) Numerical Integrator And Computer, U. of Pennsylvania, 1946
ABF - IAC_Modelo Von Neumann

13

O Modelo de Von Neumann

- No **ENIAC**, programado externamente com cablagens, demorava vários dias para programar uma tarefa que era executada pela máquina em poucos minutos

Solução: armazenar o programa em memória

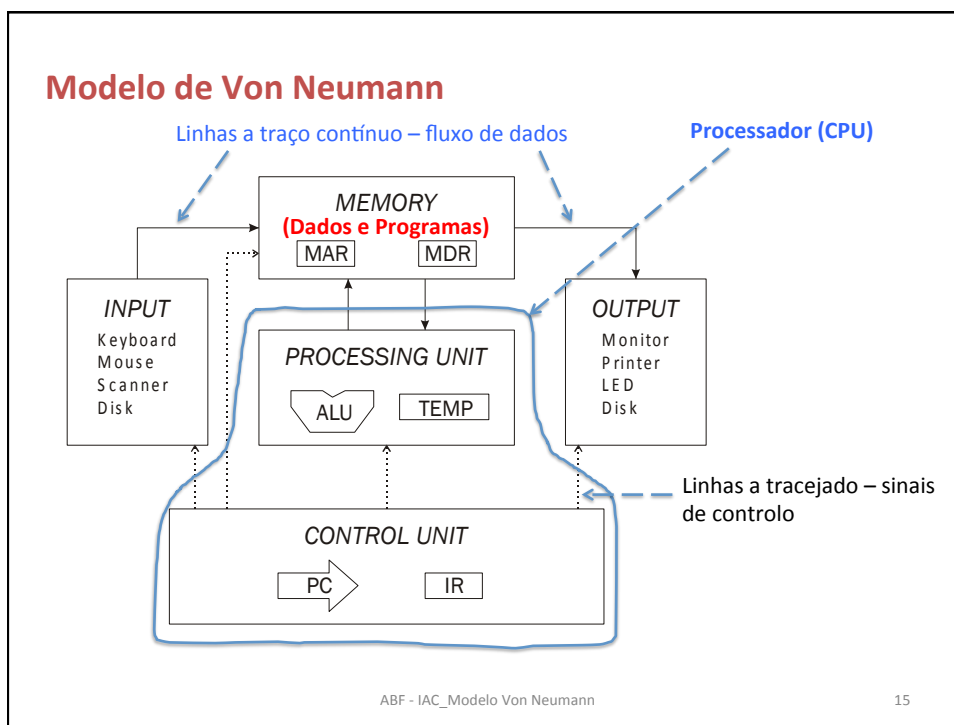
- Von Neumann – programa armazenado em memória - “Stored-Program Digital Computer”

(*Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*,

Burks, Goldstine, von Neumann, 1946)

ABF - IAC_Modelo Von Neumann

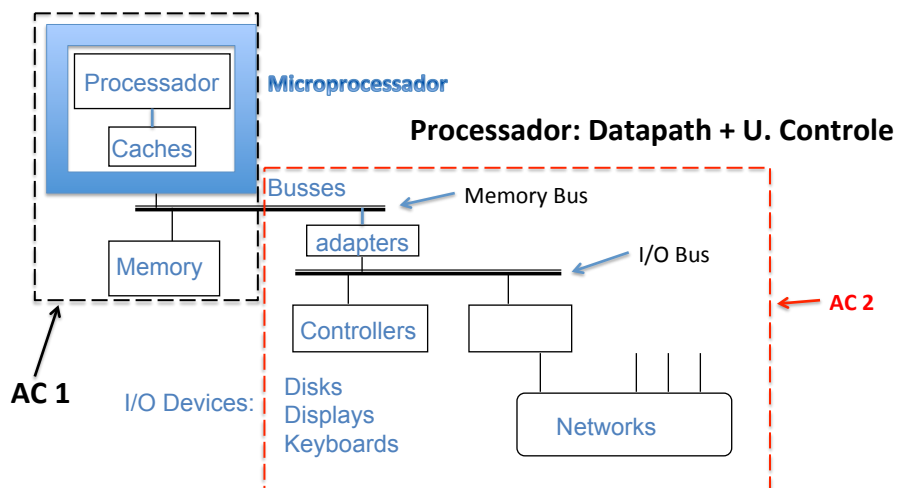
14



Estrutura dos Computadores

- **Processador**
 - Opera sobre informação contida em memória sob o controle de um programa
 - Programa: sequência de instruções armazenadas na memória
- **Memória**
 - Dados e Instruções (programa)
- **Dispositivos de entrada de dados**
 - Fornecem a informação que é armazenada na memória
- **Dispositivos de saída de dados**
 - Fornecem os resultados do processamento ao utilizador

Estrutura dos Computadores atuais



CPU (Central Processing Unit) = Processador

ABF - AC I Intro

17

Memória

$2^k \times m$ array de bits

Endereço

- identificador unico de localização (k -bits)

Conteúdo

- Valor de m -bits armazenado no local

Operações Básicas:

Leitura (*Load*)

- Ler um valor de uma localização na memória

Escrita (*Store*)

- Escrever um valor numa localização na memória

Endereço	Conteúdo
0000	
0001	
0010	
0011	00101101
0100	
0101	
0110	
	⋮
1101	10100010
1110	
1111	

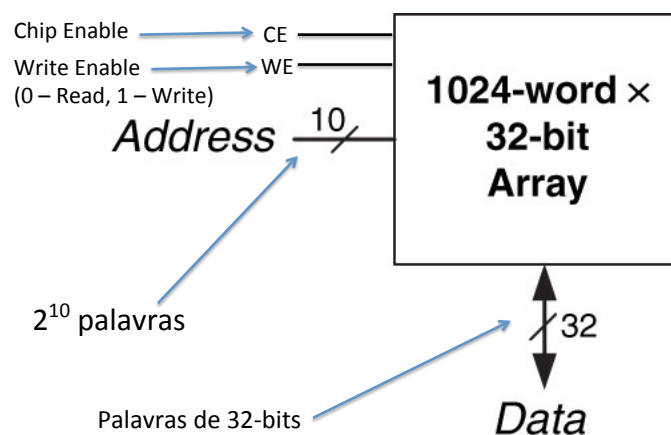
1 Byte (8 bits)

Memória de 16 Bytes
(Byte addressable)

ABF - IAC_Modelo Von Neumann

18

Bloco de Memória



ABF - AC I Intro

19

Ligação à Memória

Como é que o processador obtém/coloca dado da/na memória?

MAR: Memory Address Register

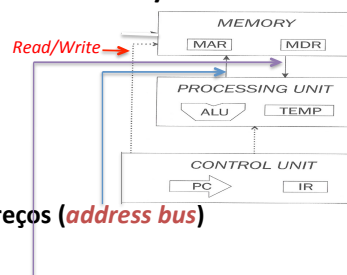
MDR: Memory Data Register

LOAD uma posição de memória (A):

1. Colocar o endereço (A) no bus de endereços (**address bus**)
2. Enviar o sinal “*read*” à memória
3. Ler o conteúdo de (A) no bus de dados (**data bus**)

STORE um valor (X) numa posição de memória (A):

1. Colocar o dado (X) no bus de dados (**data bus**)
2. Colocar o endereço (A) no bus de endereços (**address bus**)
3. Enviar o sinal “*write*” à memória



ABF - IAC_Modelo Von Neumann

20

Input e Output

Dispositivos para fornecer dados ao computador e receber dados do computador

Cada dispositivo tem o seu interface, usualmente um conjunto de registos

INPUT	OUTPUT
Keyboard	Monitor
Mouse	Printer
Scanner	LED
Disk	Disk

- teclado: data register (KBDR) e status register (KBSR)
- monitor: data register (DDR) e status register (DSR)
- Acesso aos periféricos é protegido – utilizadores não programam diretamente a entrada e a saída de dados, invocam o sistema de operação através de **system calls**
 - MARS System Calls: **print_int**, **read_int**, ...
- Programa (do sistema de operação) que controla o acesso a um periférico é designado **device driver**

Alguns dispositivos (periféricos) são de input e output

- discos, interface de rede

ABF - IAC_Modelo Von Neumann

21

Unidade de Processamento

Unidades Funcionais

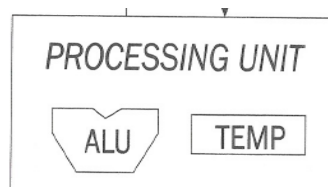
- ALU = Arithmetic and Logic Unit
- Executa ADD, SUB, AND, OR, NOT, ...

Registos (**TEMP**)

- armazenamento temporário de dados
- Operandos e resultados das unidades funcionais
- MIPS tem 32 registos (R0, ..., R31), de 32 bits

Comprimento de Palavra

- numero de bits normalmente processado pela ALU numa instrução
- Tambem numero de bits dos registos
- MIPS: comprimento de palavra = 32 bits



ABF - IAC_Modelo Von Neumann

22

Unidade de Controle

Controla a execução do programa



Instruction Register (IR)

- contem a instrução que está a ser executada.

Program Counter (PC)

- Contem o endereço da próxima instrução a ser executada

Unidade de Controle

- Lê uma instrução da memória (*Instruction Fetch*)
 - Endereço da instrução no PC
- interpreta a instrução, gerando os sinais que indicam à Unidade de Processamento o que fazer (*Instruction Decode*)
 - uma instrução pode exigir vários ciclos de relógio para completar a sua execução

ABF - IAC_Modelo Von Neumann

23

Ciclo básico de operação de um processador

1. Processador lê da memória código da instrução seguinte a executar
2. Processador executa a operação especificada no código da instrução

Fetch – Execute cycle

ABF - AC I Intro

24

Arquitetura de Computadores

- Qual o conjunto de instruções (***Instruction Set***) que o processador executa?
- ***ISA - Instruction Set Architecture***
- Que estrutura do processador definir para executar o conjunto de instruções?
- ***Microarchitecture***

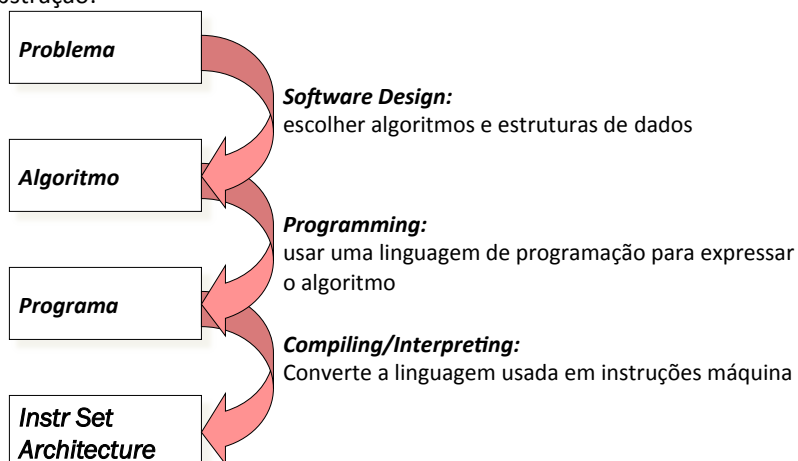
Uma arquitetura, múltiplas microarquiteturas:
Intel – uma nova microarquitetura cada 2 anos, a mesma arquitetura (ISA) há dezenas de anos

ABF - AC I Intro

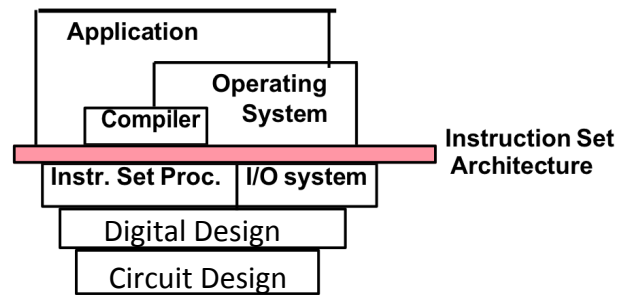
25

Como se resolve um problema utilizando o computador?

- Através de uma sequência de transformações entre diferentes níveis de abstração:



Arquitetura de Computadores



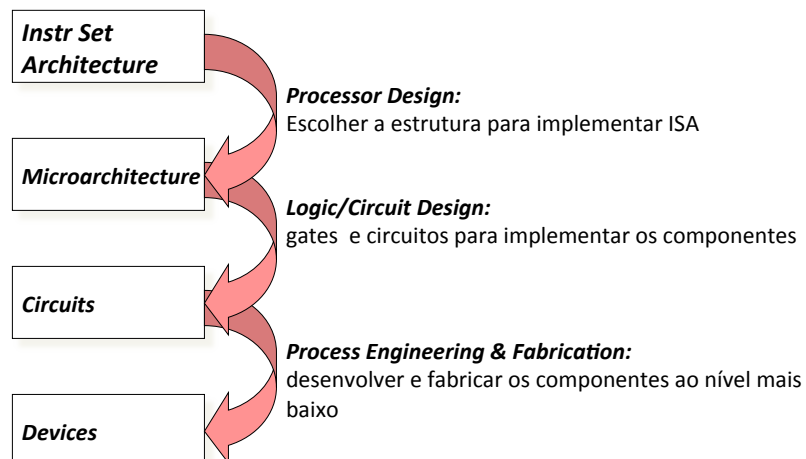
ISA: “the Hardware/Software Interface” (P&H book)

Microarquitetura: a organização do processador, incluindo as principais unidades funcionais e as respetivas ligações e controlo

ABF - AC I Intro

27

Realização de uma arquitetura



1-28

Instrução

A instrução é a unidade fundamental de trabalho

Especifica duas coisas:

- **opcode**: operação a ser executada
- **operandos**: dado/localização a ser usada para a operação

Uma instrução é codificada como um **conjunto de bits** (*tal como os dados!*)

- MIPS: Instruções têm um comprimento fixo, 32 bits
- Control Unit traduz o *opcode* numa sequência de sinais de controlo para a unidade de processamento (*datapath*) executar a operação.

O Conjunto (o reportório) de Instruções do computador e os respetivos formatos é designado

Instruction Set Architecture (ISA)

ABF - IAC_Modelo Von Neumann

29

Instruction Set Architecture (ISA)

- ISA - os atributos de um sistema de computação tal como vistos por um programador:
 - Estrutura conceptual e o comportamento funcional
 - ≠ da organização do fluxo de dados e da unidade de controle (Sistemas Digitais) e da implementação física (Microeletrónica)

Amdahl, Blaauw, and Brooks, 1964 (IBM S/360)

 - Organização da memória
 - Tipos e estruturas de dados: codificação e representação
 - Formatos de instrução
 - Códigos de operação
 - Modos de endereçamento e de acesso a dados e instruções
 - Condições de exceção

SOFTWARE

ABF - AC I Intro

30

Fatores que influenciam a definição de uma Arquitetura (*ISA*)

- Aplicações
- Linguagens de programação
- Sistemas de Operação
- Tecnologia
- História

ABF - AC I Intro

31

Arquiteturas atuais

- **Intel x86**
 - Computadores Pessoais
 - Servidores
- **ARM**
 - Tablets
 - Telemóveis
- **MIPS**
 - Equipamentos de Rede (Routers, ...), Embedded Systems
- **IBM**
 - Mainframes
- **Embedded Systems**: automóveis, aviões, televisores, máquinas de lavar, ...
 - ARM, MIPS, x86, ...

ABF - AC I Intro

32

Uma Arquitetura Múltiplas Microarquiteturas

- Uma mesma arquitetura permite múltiplas implementações:
 - Contemporâneas no tempo com níveis de **desempenho e custos muito diversos**
 - IBM S/360 – modelos com desempenho relativo 1:25 anunciados no mesmo dia
 - Manter o mesmo interface com o software de sistema ao longo do tempo
 - IBM mantém ainda a arquitetura definida em 1964 (embora com extensões)
 - A arquitetura da mais recente geração de processadores Intel tem ainda como base a x86 de 1978

ABF - AC I Intro

33

Organização – visão do projeto de um sistema digital

- Capacidade e desempenho das unidades funcionais (Registos, ALU, Shifters, ...)
- Interligações entre os componentes
- Fluxos de informação entre os componentes
- Modo como os fluxos de informação são controlados

HARDWARE

ABF - AC I Intro

34

60 anos de progresso

DOWNSIZING AND UPGRADING

The inception of computing inspired a remarkable race for faster, smaller, lighter, cheaper hardware.

	ENIAC	Intel Core Duo chip
Debut	1946	2006
Performance	5,000 addition problems/sec	21.6 billion ops/sec
Power use	170,000 watts	31 watts max
Weight	28 tons	negligible
Size	80' w x 8' h	90.3 sq. mm.
What's inside	17,840 vacuum tubes	151.6 M transistors
Cost	\$487,000	\$637

ABF - AC I Intro

35