

Laboratório de Introdução à Arquitetura de Computadores

IST - LEIC

2022/2023

Rotinas

Guião 5

22 a 26 de maio de 2023

(Primeira metade da semana 4)

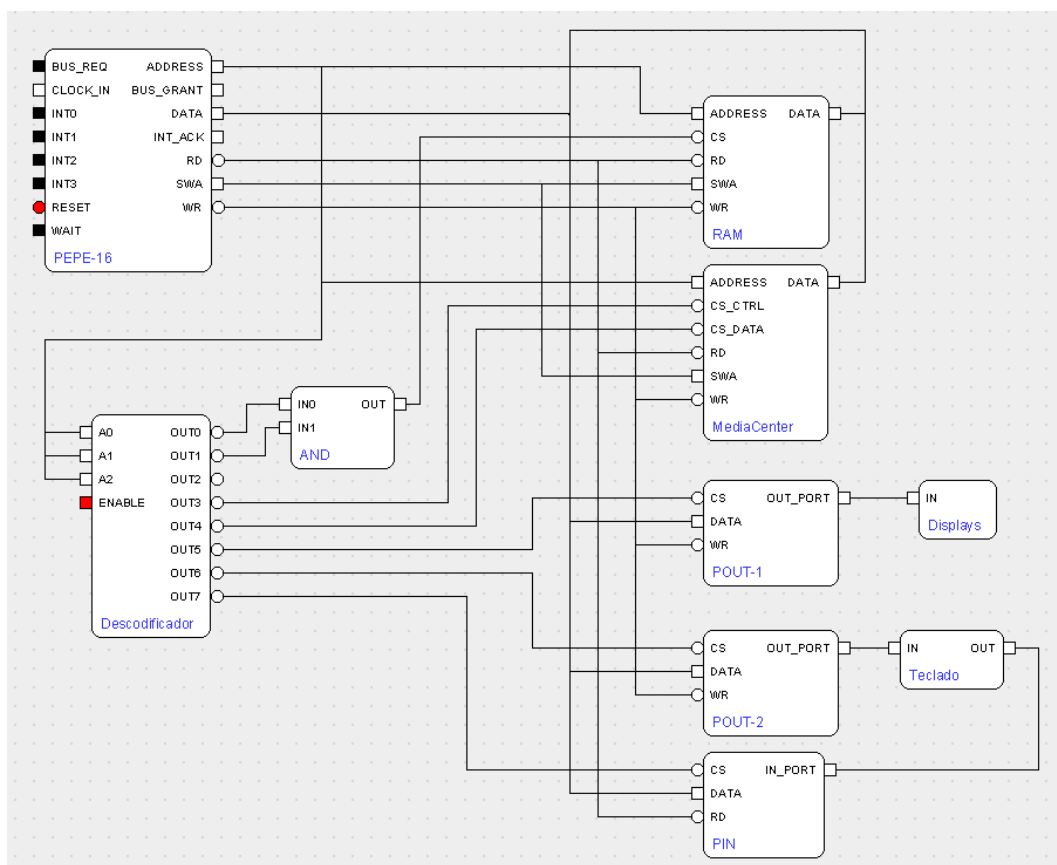
1 – Objetivos

Com este trabalho pretende-se que os alunos pratiquem programação em linguagem *assembly* do PEPE usando rotinas, para processamento e interação com periféricos.

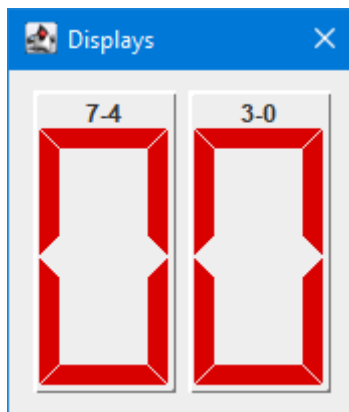
2 – Rotinas em linguagem assembly

2.1 – O circuito de simulação

Clique em **Load** (📁) e carregue o circuito contido no ficheiro **lab5.cir**. Este circuito é idêntico ao já usado no Guião 4 e será novamente usado para interação com o módulo MediaCenter e os displays, mas agora com rotinas.



O periférico POUT-1 é de 8 bits e está ligado a dois displays de 7 segmentos, um ligado aos bits 7-4 (designado High) e o outro ligado aos bits 3-0 (Low).



Para escrever um valor nos dois displays, basta executar uma instrução **MOVB** no endereço **A000H**, em que o periférico POUT-1 está disponível, tal como nos guiões anteriores:

Dispositivo	Endereços
RAM	0000H a 3FFFH
MediaCenter (acesso aos comandos)	6000H a 6069H (ver guião 4)
MediaCenter (acesso à sua memória)	8000H a 8FFFH
POUT-1 (periférico de saída de 8 bits)	0A000H
POUT-2 (periférico de saída de 8 bits)	0C000H
PIN (periférico de entrada de 8 bits)	0E000H

2.2 – Invocação de rotinas

Passe para “Simulation” e faça clique no PEPE e nos displays para abrir os respetivos painéis de simulação.

Carregue o programa *assembly lab5-rotinas.asm*, com **Load source** (📁) ou *drag & drop*. Este programa contém duas rotinas, uma para escrever um valor entre 0 e FH no display Low e outra correspondente para o display High.

Observe o programa e tente perceber o seu funcionamento. Note:

- A declaração do *stack* (pilha) na zona de dados e a etiqueta no fim dessa área. Para tal usa-se a diretiva **STACK**, idêntica à diretiva **TABLE** (reserva espaço de memória), mas com a vantagem de proteção (se houver um erro de tal forma que uma operação que envolva a pilha tente aceder a um endereço fora da pilha, o PEPE dá um erro);
- A inicialização do *stack pointer* (**SP**), no início do código, com essa etiqueta (a pilha usa-se a partir do fim, para trás). Esta inicialização é obrigatória;
- As instruções **CALL**, seguidas da etiqueta do endereço de uma rotina, para a invocar;

- As instruções **RET**, no fim de cada rotina, para regressar à instrução seguinte ao **CALL** que invocou essa rotina;
- A inicialização do registo que serve de parâmetro para passar a cada rotina.

A figura seguinte mostra este programa carregado no PEPE, na View “Code only”. Tem menos informação do que a View “Source only”, ilustrada na figura que vem depois desta, mas em compensação veem-se mais instruções simultaneamente. Use a View que lhe der mais jeito, podendo seleccionar qualquer delas a qualquer altura.

Note a zona dos dados, a partir do endereço 1000H, e o espaço ocupado pela pilha (pode ter de esticar um pouco a janela para ver tudo).

The screenshot shows the PEPE-16 simulation tool interface. The main window displays the assembly code in the "Code only" view. The program file loaded is "D:\cadeiras\IAC\guiões\lab5\lab5-rotinas.asm". The assembly code is as follows:

Addr	Label	Mnemonic	Arguments
		PLACE	0
0000 H	inicio:	MOV	SP, SP_inicial
0004 H		MOV	R0, 7
0006 H		CALL	hexa_low
0008 H		MOV	R0, 3
000A H		CALL	hexa_high
000C H		MOV	R0, 0AH
000E H		CALL	hexa_low
0010 H		MOV	R0, 0FH
0012 H		CALL	hexa_high
0014 H	fim:	JMP	fim
0016 H	hexa_low:	MOV	R1, NIBBLE_3_0
0018 H		AND	R0, R1
001A H		MOV	R2, imagem_hexa
001E H		MOVB	R3, [R2]
0020 H		MOV	R1, NIBBLE_7_4
0024 H		AND	R3, R1
0026 H		OR	R3, R0
0028 H		MOVB	[R2], R3
002A H		MOV	R1, DISPLAYS
002E H		MOVB	[R1], R3
0030 H		RET	
0032 H	hexa_high:	MOV	R1, NIBBLE_3_0
0034 H		AND	R0, R1
0036 H		SHL	R0, 4
0038 H		MOV	R2, imagem_hexa
003C H		MOVB	R3, [R2]
003E H		MOV	R1, NIBBLE_3_0
0040 H		AND	R3, R1
0042 H		OR	R3, R0
0044 H		MOVB	[R2], R3
0046 H		MOV	R1, DISPLAYS
004A H		MOVB	[R1], R3
004C H		RET	
		PLACE	1000H
1000 H	pilha:	STACK	100H
1200 H	SP_inicial:		
	imagem_hexa:	BYTE	0

The right panel shows the main registers and flags. The registers are as follows:

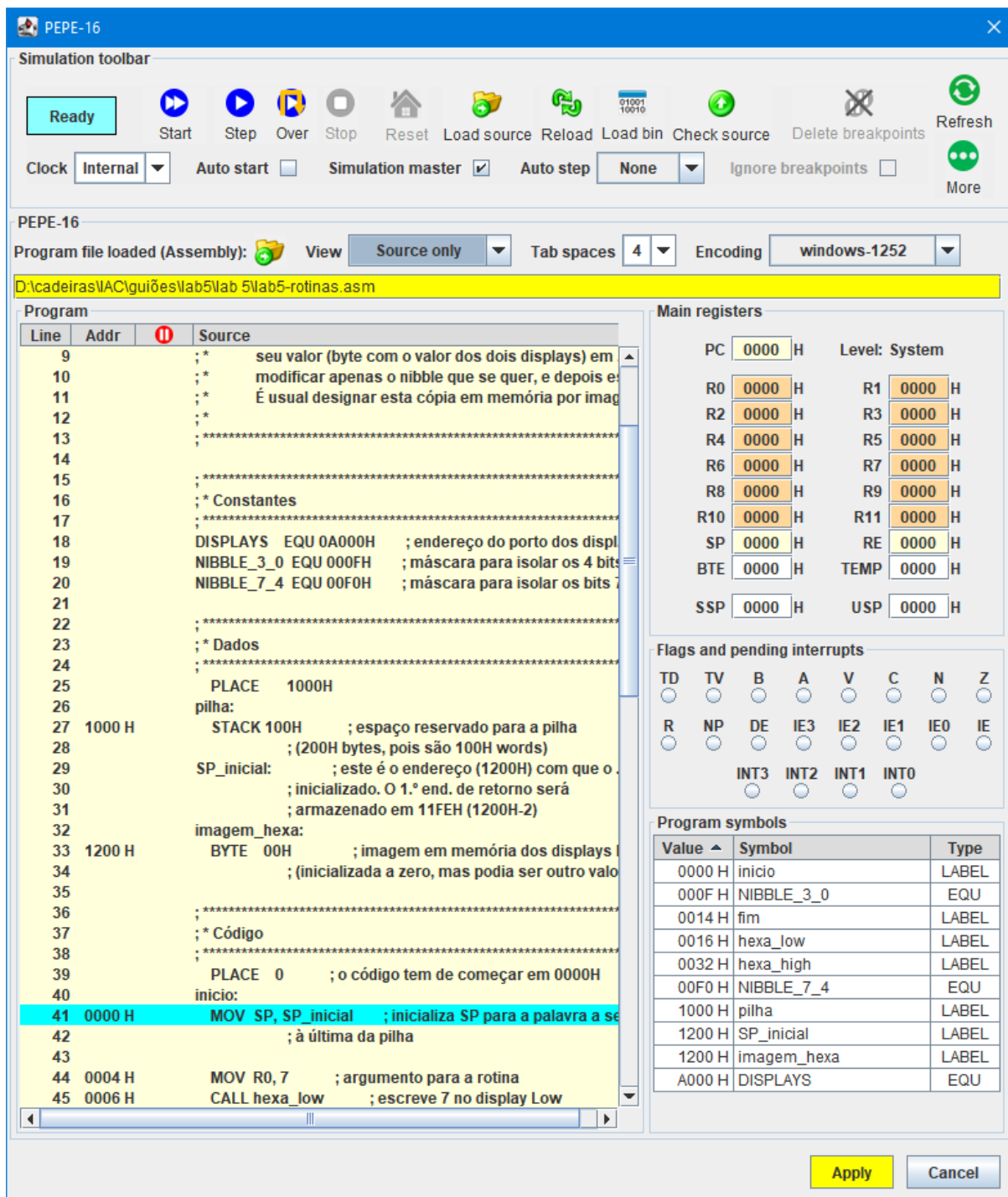
Register	Value	Level
PC	0000 H	System
R0	0000 H	
R1	0000 H	
R2	0000 H	
R3	0000 H	
R4	0000 H	
R5	0000 H	
R6	0000 H	
R7	0000 H	
R8	0000 H	
R9	0000 H	
R10	0000 H	
R11	0000 H	
SP	0000 H	
RE	0000 H	
BTE	0000 H	
TEMP	0000 H	
SSP	0000 H	
USP	0000 H	

The flags and pending interrupts are as follows:

Flag	Value
TD	0
TV	0
B	0
A	0
V	0
C	0
N	0
Z	0
R	0
NP	0
DE	0
IE3	0
IE2	0
IE1	0
IE0	0
IE	0
INT3	0
INT2	0
INT1	0
INT0	0

The program symbols are as follows:

Value	Symbol	Type
0000 H	inicio	LABEL
000F H	NIBBLE_3_0	EQU
0014 H	fim	LABEL
0016 H	hexa_low	LABEL
0032 H	hexa_high	LABEL
00F0 H	NIBBLE_7_4	EQU
1000 H	pilha	LABEL
1200 H	SP_inicial	LABEL
1200 H	imagem_hexa	LABEL
A000 H	DISPLAYS	EQU



Execute o programa passo a passo, com o botão **Step** (🔵), **SEM carregar** em **Start** (▶️).
Verifique que o **CALL** transfere o controlo para a rotina e que o **RET** faz regressar à instrução a seguir ao **CALL**.



Verifique também a evolução do **SP** (que na janela do PEPE é o **SSP**). Um **CALL** reduz o **SP** de 2 unidades e um **RET** incrementa-o de 2 unidades.


Vá observando a evolução das instruções (nomeadamente a chamada e retorno das rotinas) e os displays, até chegar à última instrução do programa. Este exemplo é o suficiente para ilustrar o funcionamento das rotinas.


Termine a execução do programa, carregando no botão **Stop** (⏏️) do PEPE.






2.3 – Execução passo a passo com *Step Over*

Faça *reset* ao PEPE, com clique no botão **Reset** () , para repor o programa na situação inicial.

Execute novamente o programa em passo a passo, mas desta vez usando o botão **Over** () em vez do botão **Step** () e tendo particular atenção às instruções **CALL**.

Note que, ao fazer *step-over* num **CALL**, o processador passa “por cima” do **CALL** e faz pausa na instrução com o endereço seguinte, e não na primeira instrução da rotina invocada, que é o que aconteceria com o botão **Step** () . Isto significa que a rotina foi invocada e executada à velocidade máxima, como se de uma só instrução se tratasse.

O botão **Over** () é muito útil para seguir um programa sem ter de entrar dentro de rotinas, interpolando os detalhes desnecessários.


Tal como o botão **Step** () , o botão **Over** () também funciona em auto-step, ficando com um aspeto diferente () . Tirando as instruções **CALL**, os botões **Step** () e **Over** () , bem como as suas versões auto-step, são equivalentes e funcionam de igual modo nas restantes instruções.

2.4 – Preservação de registos nas rotinas

Um **CALL** esconde as instruções da rotina invocada. O problema é que esta pode alterar valores de registos, sem que o código onde está o **CALL** se aperceba. Desta forma, os valores desses registos podem ser uns antes do **CALL** e outros logo a seguir, após o retorno. Como uma rotina pode ser invocada de vários sítios, a situação fica descontrolada porque já não se sabe que registos são ou não importantes e cujos valores a rotina não deve mesmo alterar.



Para resolver este problema, a regra geral é que uma rotina não deve alterar o valor de nenhum registo (exceto os de resultado). Mas a rotina precisa de usar registos para poder trabalhar, e com isso destrói os valores anteriores destes registos!

A solução é a rotina, no início, guardar na pilha (com **PUSH**) os valores dos registos que vai alterar e no fim repor todos esses registos a partir da pilha (com **POP**).

Faça agora **Load source** () ou *drag & drop* do programa *assembly lab5-registos.asm*. Este programa é igual ao anterior, com a exceção de que os registos usados pelas rotinas (**R1**, **R2** e **R3**) são preservados na pilha pelas próprias rotinas, com instruções **PUSH** e **POP**.

Estes registos são inicializados com valores para que se possa observar que após o retorno de uma rotina esses valores são repostos.

Note que a ordem dos **POPs** é inversa da dos **PUSHs**, pois a pilha funciona num regime LIFO (*Last In, First Out*).

Execute o programa do ficheiro passo a passo, com o botão o botão **Step** () , SEM carregar no botão **Start** () . Verifique que os **POPs** repõem os valores guardados pelos **PUSHs** e que **PUSHs**, **POPs**, **CALLs** e **RETs** funcionam bem em conjunto (todos usam a pilha e alteram o **SP** – o *Stack Pointer*).

Vá observando a evolução das instruções e dos registos (nomeadamente o **SP**, **R1**, **R2** e **R3**). A funcionalidade do programa é igual à versão anterior.

Note que o **SP** desce agora mais, por causa dos **PUSHs**, mas no fim de cada rotina volta ao valor inicial. Cada **PUSH** reduz o **SP** de 2 unidades e cada **POP** incrementa-o de 2 unidades.

Como boa prática de programação, cada rotina deve preservar os valores de todos os registos que altera (mas apenas desses, e não de todos os registos!).

Termine a execução do programa, carregando no botão **Stop** (■) do PEPE.

2.5 – Rotinas que chamam rotinas

Faça agora **Load source** (📁) ou *drag & drop* do programa *assembly lab5-variante.asm*. Este programa mantém a funcionalidade dos anteriores, mas inclui uma rotina (**hexa_display**) que recebe um byte e o escreve nos dois displays, chamando as outras duas rotinas (claro que o poderia fazer escrevendo simplesmente o byte no periférico...).

Note o uso das instruções de deslocamento para eliminar os bits que devem ser irrelevantes e para colocar os bits certos no lugar certo.

Execute o programa do ficheiro passo a passo, com o botão o botão **Step** (▶), SEM carregar no botão **Start** (▶). Vá observando a evolução das instruções e dos registos (em particular, o **SP** – o *Stack Pointer*). Note que a pilha mantém o estado da rotina **hexa_display** quando esta invoca outra. O **SP** desce ainda mais baixo que no caso anterior (porque agora há uma rotina que invoca outras), mas no fim do programa volta ao valor inicial.

Termine a execução do programa, carregando no botão **Stop** (■) do PEPE.

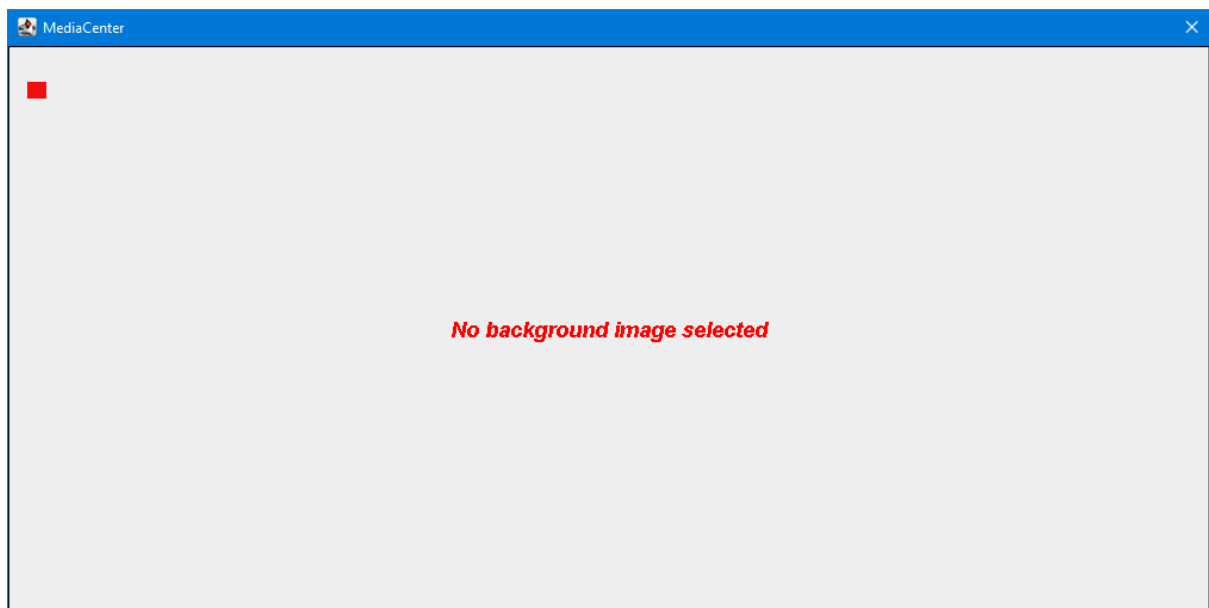
Qualquer programa, seja em *assembly* ou numa linguagem de alto nível como Python, consiste num conjunto de rotinas (em alto nível, chamam-se funções ou métodos). Existe uma que é principal e que invoca outras, que por sua vez invocam outras, até chegar a rotinas que já não invocam mais nenhuma e que apenas retornam, quando terminam. A pilha mantém a história de invocação, para que cada rotina possa retornar para aquela que a invocou.

3 – Rotinas para controlar o módulo MediaCenter

Recuperamos agora o módulo MediaCenter, já usado no guião de laboratório 4, mas agora controlado por meio de rotinas.

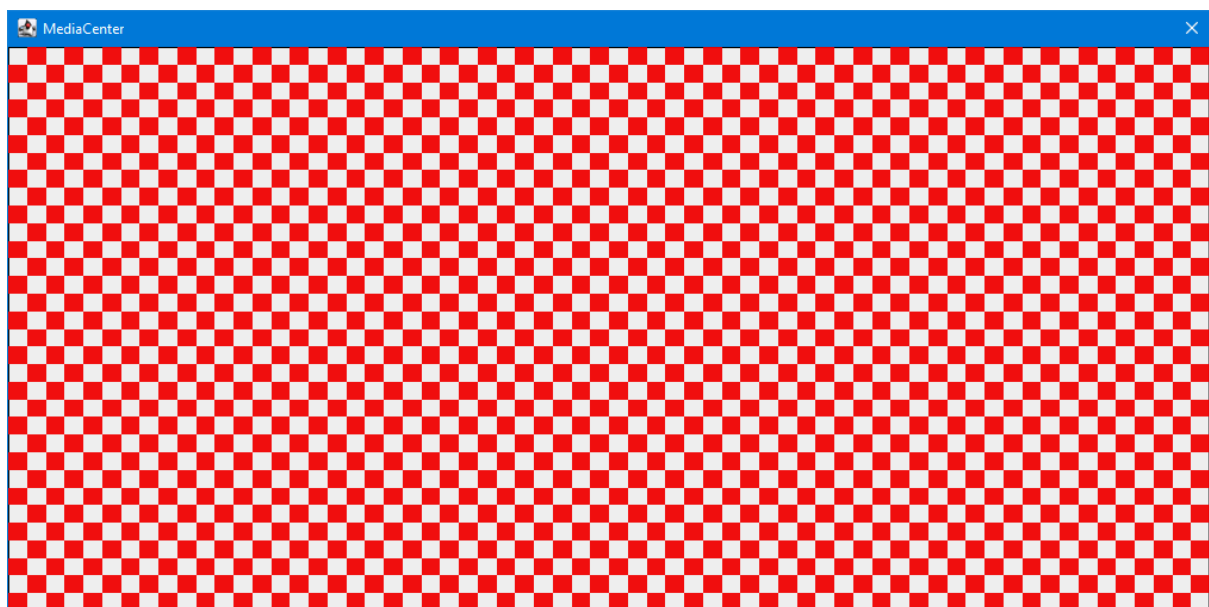
Para exemplificar o uso de comandos com o MediaCenter, edite e observe o programa contido no ficheiro **lab5-comandos.asm**. Contém uma rotina que recebe a linha, coluna e a cor do pixel e implementa a funcionalidade do programa **lab4-comandos.asm**, mas agora com rotinas.

Passe o simulador para “Simulation” e carregue o ficheiro **lab5-comandos.asm** no PEPE (com o botão **Load source**, 📁, ou por *drag & drop*). Execute-o em single-step, com o botão **Step** (▶) ou o botão **Over** (⏮) e verifique que o pixel da linha 2, coluna 1, se liga e depois se apaga. A mesma rotina (**escreve_pixel**) pode ser usada para ligar ou apagar o pixel.



Carregue agora o programa contido no ficheiro **lab5-comandos-xadrez.asm**.

Este programa usa a rotina do programa anterior para escrever um pixel numa dada linha e coluna para implementar uma rotina que escreve uma linha de pixels, que por sua vez é usada para escrever todas as linhas do ecrã. De cada vez que escreve um pixel ou uma linha troca o valor do pixel (entre desligado e vermelho), e o resultado, quando o executa com o botão **Start** (▶), é um padrão em xadrez, tal como se pode ver na figura seguinte.

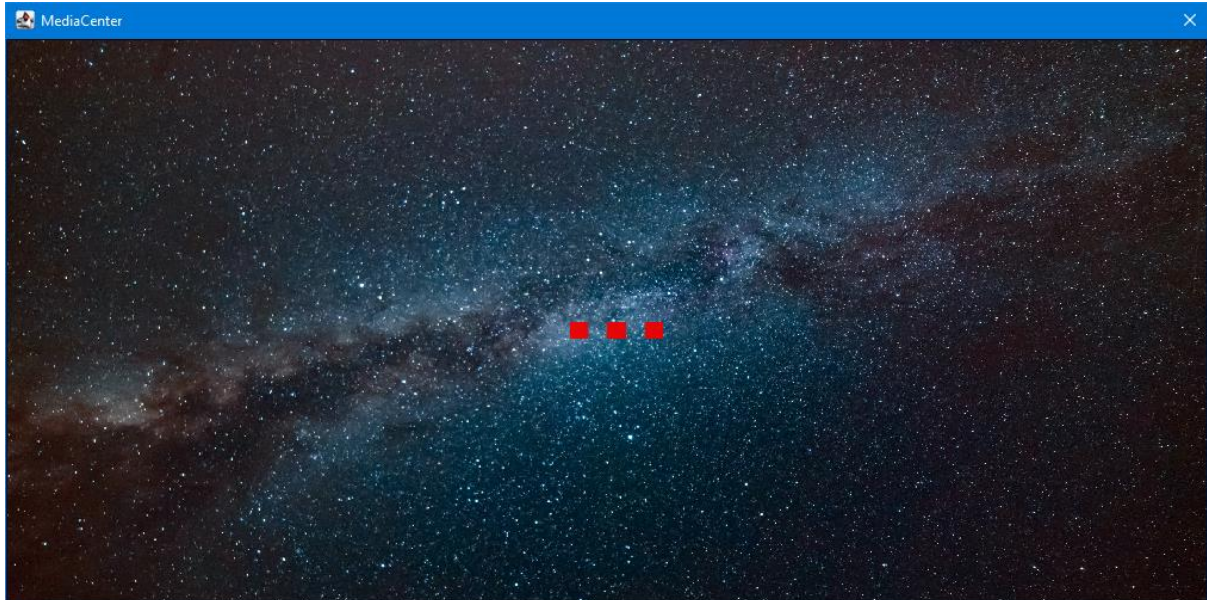


Este programa implementa a mesma funcionalidade que o programa **lab4-comandos-xadrez.asm**, mas agora com rotinas. Também ilustra a chamada de rotinas de mais baixo nível por outras de mais alto nível.

Note que com a estruturação em rotinas perde-se desempenho (há **CALLs** e **RETs**, **PUSHes** e **POP**s) mas ganha-se em clareza, pois fica mais explícito o que o programa faz. Como o recurso mais crítico é o programador, estruturar um programa em rotinas vale a pena.

Termine a execução do programa, carregando no botão **Stop** (■) do PEPE.

Carregue agora e execute o programa contido no ficheiro **lab5-boneco.asm**. Este programa implementa a mesma funcionalidade do que o programa do ficheiro **lab4-boneco.asm**, isto é, desenhar um boneco num cenário de fundo, mas agora com uma rotina **desenha_boneco**, que vai percorrendo a tabela que define o boneco para saber a cor de cada pixel e invocando a rotina **escreve_pixel** para desenhar cada um dos pixels. O resultado obtido é o mesmo:



Carregue agora e execute o programa contido no ficheiro **lab5-move-boneco.asm**. Este programa implementa a mesma funcionalidade do que o programa do ficheiro **lab4-move-boneco.asm**, isto é, movimentar um boneco num cenário de fundo de um lado para o outro, mas agora com uma estruturação numa série de rotinas que tornam o programa mais claro sobre o que faz.

As rotinas têm como utilidade básica:

- Poderem ser invocadas várias vezes, em sítios diferentes do programa, usando a mesma funcionalidade (eventualmente com argumentos) sem se ter de copiar o seu código várias vezes;
- Mesmo que só sejam invocadas uma vez, o seu encapsulamento dentro de uma rotina torna o código mais simples de perceber, não só porque onde são chamadas só aparece o **CALL** (em vez de todas as suas instruções) mas também porque o seu cabeçalho permite explicar a sua funcionalidade.

É importante cada rotina ter o seu próprio cabeçalho, não necessariamente como indicado nos exemplos, mas de qualquer forma devendo permitir tornar claro que se trata de uma rotina, indicando o que ela faz e quais os seus argumentos (de entrada e de saída).

Os registos alterados devem ser **PUSH**ed no início e **POP**ed no fim, exceto os registos que constituam valores de saída, como por exemplo o R7 na rotina **testa_limites** do programa no ficheiro **lab5-move-boneco.asm**.

É importante cada rotina ter apenas um ponto de saída, onde são feitos os **POPs**. Se houver outros pontos intermédios onde se queira retornar da rotina, deve-se saltar para o único ponto de saída da rotina. O label **sai_testa_limites** na rotina **testa_limites** ilustra este aspeto. Desta forma, garante-se que cada rotina só tem um conjunto de **PUSH**es e de **POPs**.

Carregue agora e execute o programa contido no ficheiro **lab5-move-boneco-teclado.asm**. Este programa implementa a funcionalidade de mover o boneco, mas agora sob controlo do teclado em vez de se movimentar de forma autónoma.

A tecla **C** fá-lo movimentar para a esquerda e a **D** para a direita. A rotina **teclado** lê apenas a última linha, seguindo o exemplo do guião de laboratório 3. No projeto, terá de adaptar esta rotina para varrer as linhas todas do teclado e detetar qualquer tecla.

Neste exemplo, o boneco move-se enquanto se estiver a carregar numa tecla, pois logo a seguir a um movimento segue-se para nova chamada à rotina **teclado**, e portanto enquanto a tecla estiver carregada vão-se efetuando os movimentos.

A rotina **testa_limites** está algo diferente, pois este é o comportamento requerido se se pretender controlar manualmente o boneco. Se este chegar a um dos limites, não inverte o sentido, apenas não se movimenta mais. Terá de haver outra tecla para o movimento inverso.

No entanto, também é importante (vai precisar para o projeto) contemplar situações em que o premir de uma tecla só tenha um efeito, e que seja preciso deixar de carregar em alguma tecla e carregar de novo para repetir o efeito (para dar apenas um comando de cada vez).

Carregue agora e execute o programa contido no ficheiro **lab5-move-boneco-teclado-toque.asm**. Este programa é semelhante ao anterior, com duas diferenças:

- O boneco só anda um pixel de cada vez que se carrega numa tecla (**C** ou **D**). De cada vez que se carrega, anda mais um pixel (mas só um, não movimento em contínuo). Isto consegue-se facilmente introduzindo um segundo ciclo de leitura de teclado, mas em que agora se espera até não haver nenhuma tecla carregada (e nessa altura passa-se ao ciclo em que se espera que alguma tecla seja carregada);
- O carregar numa tecla produz um efeito sonoro (não soaria bem no exemplo anterior, pois o som seria reproduzido múltiplas vezes antes sequer de ter tempo de terminar).

4 – Considerações em relação ao Projeto

O módulo MediaCenter é fundamental para o projeto, com imagens para os cenários de fundo, sons, vídeos e bonecos desenhados nos ecrãs de pixels.

Imagens, sons e vídeo são ficheiros que basta, essencialmente, seleccionar/reproduzir.

Os bonecos nos ecrãs de pixels, no entanto, têm de ser desenhados, pixel a pixel, de acordo com formas e cores previamente definidas, em posições que podem ir variando, quando os bonecos se movimentam no ecrã.

Para gerir o desenhar e movimentar destes bonecos, ficam as seguintes sugestões:

- Cada boneco tem em cada instante uma dada posição no ecrã (linha, coluna), que deve memorizar em variáveis em memória;
- Mover um boneco é apagá-lo na sua posição corrente, alterar essa posição e voltar a desenhá-lo na nova posição;
- A posição de um boneco é na realidade a posição de um dos seus pixels, que é tomado como referência (por exemplo, o canto superior esquerdo). Sabendo essa posição, os restantes pixels são desenhados relativamente a ela (na coluna a seguir, na linha de

baixo, etc.). Mudar a posição de um boneco é mudar a posição do seu pixel de referência;

- Não desenhe um boneco “à mão”, com comandos sucessivos, com mudança manual da posição dos vários pixels do boneco!
- Descreva os vários pixels de um boneco por meio de uma tabela, que inclua a largura e altura do boneco, bem como as cores de cada um dos pixels. Programe uma rotina genérica que receba o endereço desta tabela, bem como a linha e a coluna do pixel de referência. A rotina deve então percorrer a tabela e ir desenhando o boneco, pixel a pixel. Esta rotina serve para desenhar qualquer boneco cuja descrição siga este formato;
- Note que as variáveis que memorizam a linha e a coluna do pixel de referência não devem, em regra, estar nesta tabela, pois o valor da posição pode variar, ao contrário da forma e cores. Também pode haver várias instâncias do mesmo boneco (descritas pela mesma tabela, mas em posições diferentes). A tabela descreve apenas a forma e conteúdo de um boneco, não a sua posição;
- Nos exemplos anteriores, foram usados apenas registros para conter as variáveis do programa. Quando este começa a ter alguma dimensão, tal não é prático, e as variáveis que mantêm o estado do programa (por exemplo, a posição do boneco) devem estar definidas em memória (com as diretivas WORD e BYTE).