

Projeto de Arquitetura de Computadores

LEE/LETI

IST-Taguspark

Pac-Man Simplificado

2020/2021

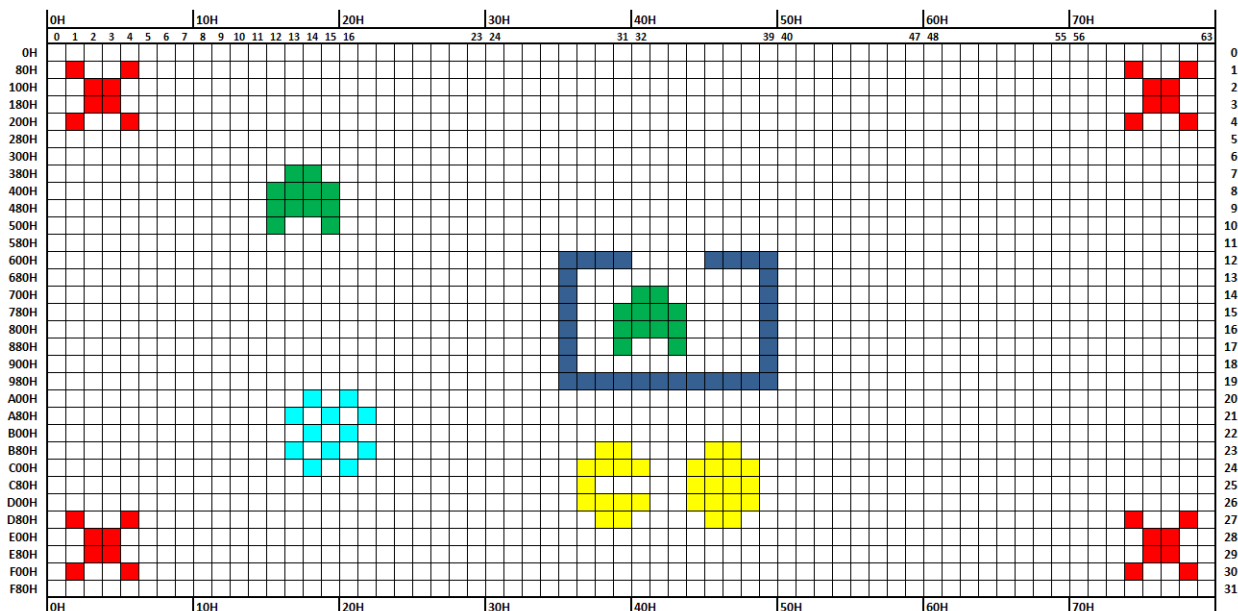
1 – Objetivos

Este projeto pretende exercitar os fundamentos da área de Arquitetura de Computadores, nomeadamente a programação em linguagem *assembly*, os periféricos e as interrupções.

O objetivo deste projeto consiste em concretizar um jogo tipo Pac-Man simplificado.

O Pac-Man movimenta-se no ecrã e tem por objectivo apanhar os quatro objectos que se encontram nos quatro cantos, e ao mesmo tempo não ser apanhado pelos fantasmas representados por uns bonecos verdes. O jogo termina quando é apanhado pelos fantasmas (perde o jogo) ou quando apanha os 4 objectos dos cantos (ganha o jogo). A pontuação final, mostrada num dos displays de 7 segmentos, mede a qualidade do jogador e representa o tempo em segundos até apanhar os quatro objectos.

Na figura seguinte exemplifica o cenário, o Pac-Man, quatro objetos representados por um “x”, dois fantasmas a verde e uma zona azul onde nascem os fantasmas e depois de saírem já não podem entrar mais. Para além disso tem a ciam uma explosão, para a colisão entre o Pac-Man e os fantasmas.

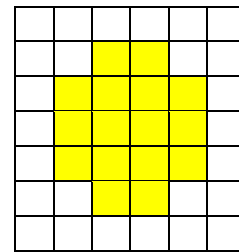
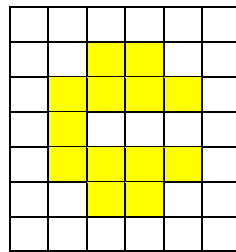


2 – Detalhes do projeto

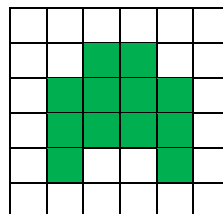
2.1 – Objectos

O ecrã de interação com o jogador tem 64 x 32 pixels, tantos quantas as quadrículas da figura anterior. Há quatro tipos de objetos no ecrã:

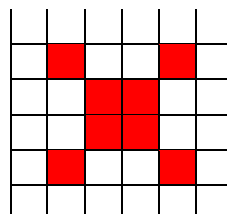
- Pac-Man. Neste enunciado exemplifica-se um desenho de 4 x 5 pixels. Mas deve ser fácil mudar o tamanho e aspeto do Pac-Man, sem alterar as instruções do programa (deve ser especificado por uma tabela de pixels). A figura seguinte ilustra um Pac-Man com apenas 4 x 5 pixels. Pode usar o Pac-Man que entender (mesmo maior). Quando o Pac-Man esta parado fica com a boca aberta, quando está em movimento abre e fecha a boca.



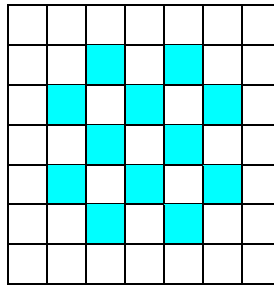
- Fantasma. Neste enunciado exemplifica-se um boneco de 4 x 4 pixels, mas as suas dimensões e aspeto devem também ser definidos por uma tabela de pixels e não diretamente por instruções.



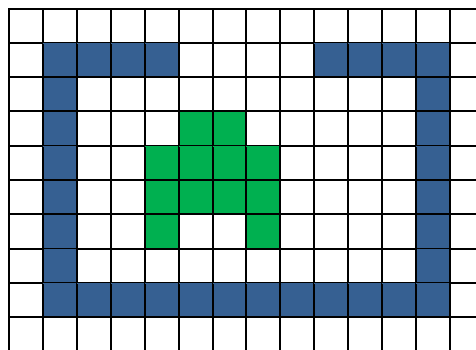
- Objectos do Canto. Representado por um "x".



- Explosão quando houver uma colisão entre o fantasma e o Pac-Man, que dura um certo período de tempo.



- E por fim é colocada uma caixa no centro do ecrã de onde nascem os fantasmas. A zona a azul não podem ser atravessadas pelos fantasmas nem pelo pac-man.



Todos os objetos devem ser fáceis de modificar o seu aspeto, sem alterar as instruções do programa (cada objeto deve ser especificado por uma tabela de pixels, com exceção da caixa do centro).

O Pac-Man e os Fantasmas podem mover-se em qualquer direção (cima, baixo, esquerda, direita e direções a 45°), sob comando do jogador o primeiro e automaticamente o segundo.

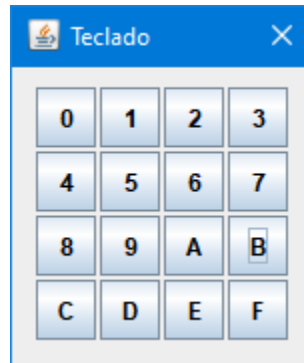
Os fantasmas nascem no centro do ecrã dentro da caixa, movem-se para saírem da caixa central. A partir daí os fantasmas evoluem de forma autónoma e automática, reduzindo de uma unidade, em cada evolução, a diferença em linha e coluna da sua posição face à posição do Pac-Man. Se o fantasma chocar com o Pac-Man, há uma colisão, e o jogo acaba. O ritmo de evolução dos fantasmas deve ser programável (sugere-se 3 a 5 segundos de período). O fantasma depois de sair da caixa já não pode reentrar na caixa central.

O tempo em que cada fantasma entra deve ser baseado num gerador de números aleatórios (ver secção 4, Estratégia de Implementação). O número de fantasmas deve poder ser alterado (por uma constante no programa) entre 0 e 4.

O Pac-Man e os Fantasmas não podem ir para cima da caixa central, nem sair do ecrã.

2.2 – Teclado e controlo do jogo

O jogo é controlado pelo utilizador por meio de teclas num teclado (atuado por clique do rato), tal como o da figura seguinte:



A atribuição de teclas a comandos é livre e ao seu gosto. Como exemplo, uma possível atribuição é a seguinte:

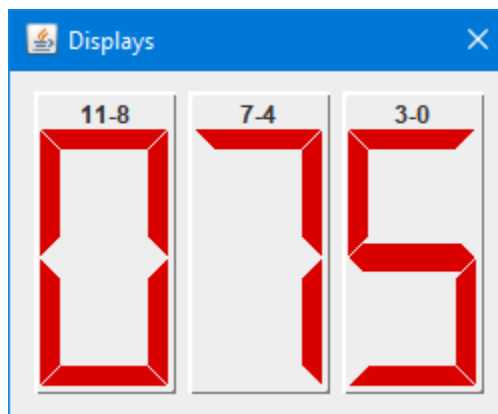
- Teclas 0, 1, 2: movimentar a Pac-Man para cima-esquerda, cima, cima-direita, respetivamente;
- Teclas 4 e 6: movimentar a Pac-Man para a esquerda e direita, respetivamente;
- Teclas 8, 9, A: movimentar a Pac-Man para baixo-esquerda, baixo, baixo -direita, respetivamente;
- Tecla C: começar o jogo;
- Tecla D: suspender/continuar o jogo;
- Tecla E: terminar o jogo (deve manter visível a pontuação).

IMPORTANTE - Com exceção das teclas de movimentar a Pac-Man, cada tecla dever executar apenas um comando. Para novo comando, mesmo que igual, tem de se largar a tecla e carregar de novo. O movimento da Pac-Man pode ser em “contínuo”, enquanto a tecla estiver carregada.

O guião de laboratório 3 ensina a trabalhar com o teclado.

2.2 – Displays

Existem um display de 7 segmentos, que deve mostrar a pontuação do jogo que consiste no tempo decorrido até apanhar os quatro objetos do canto (em decimal, o que implica conversão a partir dos valores hexadecimais que o PEPE usa) e o número de balas ainda disponível. A figura seguinte ilustra um possível valor após o jogo evoluir:



O guião de laboratório 3 ensina a trabalhar com os displays.

2.3 – Ecrã, bonecos, cenário e sons

O ecrã de interação com o jogador tem 32 x 64 pixels (linhas x colunas). Cada pixel pode ter uma cor diferente, em 4 componentes (Red, Green, Blue e Alpha, ou RGBA), todas com 8 bits (valores sem sinal, de 0 a 255). Esta última componente define a opacidade (0 é totalmente transparente, 255 totalmente opaco). O pixel pode estar ligado (com a cor definida pelas 4 componentes) ou desligado (caso em que não se vê).

Por trás deste ecrã está a imagem de fundo, que é uma imagem com uma resolução bem superior (embora deva ter um fator de forma semelhante, retangular, para que não apareça distorcida).

É possível alterar a imagem de fundo através do programa do PEPE. Por isso, espera-se que use um cenário diferente para cada situação (pausa, início etc). Nem sempre a imagem tem de variar. Pode editá-la, colocando texto que indique qual a situação (pausa, por exemplo), gerando assim variantes da mesma imagem.

Não é fornecida nenhuma imagem para cenário, mas existem inúmeras imagens adequadas que pode obter de forma gratuita para este uso pessoal. O design multimédia fica ao seu gosto.

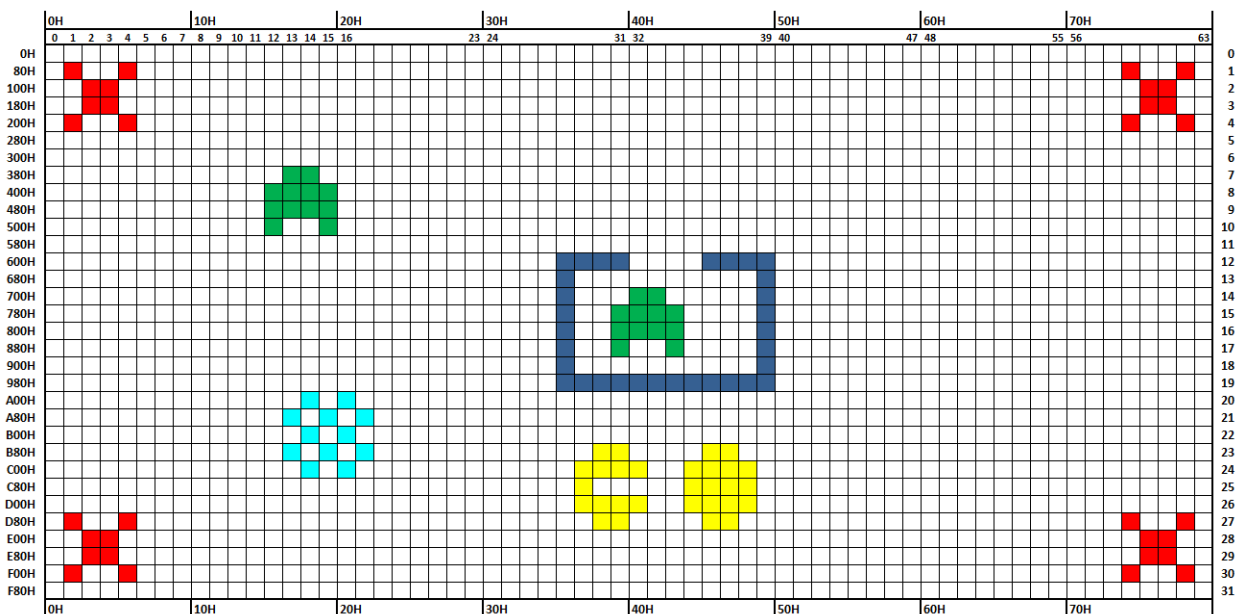
Desenhar um boneco no ecrã (à frente do cenário) é ligar os seus bits a 1 e desligar os seus bits a zero, em posições (linha e coluna) adjacentes do ecrã, de acordo com a forma definida para esse objeto.

Toma-se um dos pixels do objeto (canto superior esquerdo, por exemplo) como indicador da posição no ecrã desse objeto e todos os restantes pixels desse objeto são desenhados em posições relativas a esse pixel de referência.

Mover um objeto é apagá-lo na sua posição atual, mudar a sua posição e desenhá-lo na nova posição. O efeito visual é o objeto parecer mover-se.

O ficheiro Excel **ecrã-32x64.xlsx**, que é fornecido, simula as quadrículas do ecrã e mostra que o ecrã é na realidade uma memória (note os endereços de cada linha no lado esquerdo), em que cada pixel é um bit

dessa memória (embora internamente, de forma escondida, ainda tenha capacidade para guardar as 4 componente por cada pixel). Há 64 bits, ou 8 bytes, por cada linha do ecrã.



Pode usar este ficheiro para planear o tamanho e forma dos seus objectos, pois não têm de ser iguais ao mostrado nas figuras anteriores.

Cada pixel pode ser desenhado escrevendo diretamente na memória do ecrã ou por meio de um comando. Este último permite especificar diretamente a linha e coluna pretendidas, ao contrário do primeiro método em que a unidade mínima de leitura ou escrita é de 1 byte (8 pixels). Neste caso, para desenhar apenas um pixel tem de se determinar o endereço do byte que contém o pixel pretendido, ler esse byte, alterar o bit respetivo e a escrever o byte alterado no mesmo endereço.

Nos seus movimentos, os fantasmas e o pac-man não deve sair do ecrã. Chegada ao limite, não deve avançar mais.

Para além dos cenários e dos bonecos, o módulo do ecrã suporta ainda efeitos sonoros, ou seja, fazer ouvir ficheiros de som (apenas de formato WAVE, extensão .wav). Deve implementar pelo menos um ou dois efeitos sonoros.

Não é fornecido nenhum ficheiro de áudio, mas existem inúmeros ficheiros com efeitos sonoros, que pode obter de forma gratuita para este uso pessoal. O design multimédia fica ao seu gosto.

FUNDAMENTAL – Depois de definir os ficheiros de imagem e som que quiser acrescentar ao módulo de ecrã, deve salvar o circuito no mesmo diretório onde estão esses ficheiros. Esta é a única forma de os ficheiros serem incluídos no ficheiro de descrição do circuito de forma portátil, apenas pelo nome do ficheiro. Caso contrário, é guardado o “path”

absoluto do ficheiro, e depois não funciona noutro computador (nomeadamente, no do docente que vai avaliar o projeto!).

O guião de laboratório 4 ensina a trabalhar com o módulo do ecrã, em termos de pixels, cenários e sons.

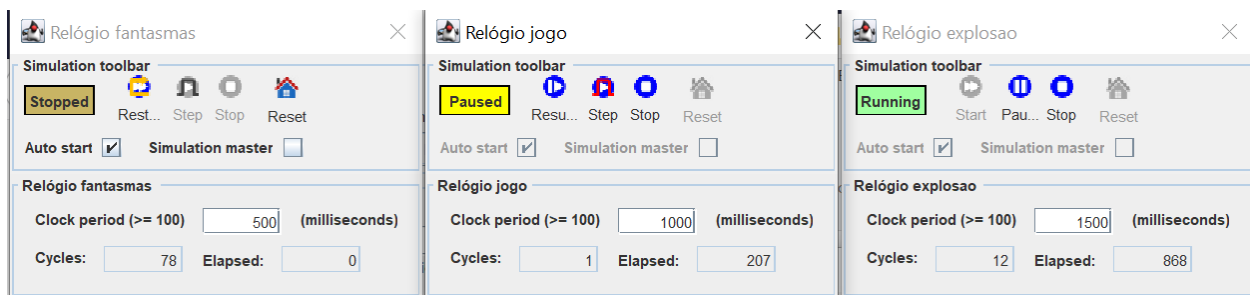
2.4 – Temporizações

A evolução do jogo requer 2 temporizações diferentes:

- Movimento dos fantasmas (período de 500 milissegundos);
- Contagem do tempo decorrido do jogo (período de 1000 milissegundos).
- Tempo que dura a explosão (período de 1500 milissegundos).

Os períodos indicados, que marcam o ritmo a que cada um dos eventos ocorre, são gerados por 2 relógios de tempo real, que geram um sinal de um bit que varia periodicamente entre 0 e 1, com um dado período. Sem o tempo real marcado por estes relógios, o jogo evoluiria de forma muito mais rápida e de forma não controlável, dependendo apenas da velocidade de processamento do computador que executa o simulador

Estes relógios estão incluídos no circuito usado neste jogo e estão pré-programados com estes tempos, mas pode alterá-los para melhorar a jogabilidade do jogo ou fazer testes.



O arranque dos relógios é automático, pelo que nem precisa de abrir as janelas de simulação deles.

O guião de laboratório 5 ensina a utilizar relógios para marcação de temporizações.

2.5 – Escolhas pseudo-aleatórias

Quando é necessário colocar um novo Fantasma no display, use o número aleatório para gerar um atraso aleatório. Deve usar um número pseudo aleatório para decidir quando surge um fantasma.

Como o PEPE não tem mecanismos para gerar valores aleatórios, usa-se um truque simples: incrementa-se um contador de forma muito frequente (num sítio onde o programa passe muitas vezes). Quando se pretender fazer uma escolha, lê-se o valor que o contador tiver nessa altura e obtém-se o resto inteiro da divisão por 3. Desta forma, o 0, por exemplo, surge cerca de 33,3% das vezes. O valor é razoavelmente aleatório porque não se consegue controlar o ritmo a que o contador é incrementado.

O contador funciona assim como um gerador de números aleatórios (simples, mas suficiente para o efeito aqui pretendido).

3 – Faseamento do projeto

O projeto decorrerá em duas fases, versão intermédia e final.

IMPORTANTE – Não se esqueça de identificar os ficheiros de código, .asm, em comentários, logo no início da listagem, com:

- o número do grupo;
- o número e nome dos alunos que participaram no desenvolvimento do programa.

Versão intermédia:

- Vale 25% da nota do projeto (ou 12,5% da nota final de AC);
- Deve ser submetida no Fenix (Projeto AC 2020-21 - versão intermédia) **até às 23h59 do dia 27 de Abril de 2021** através de um ficheiro (**grupoXX.zip**, em que XX é o número do grupo) com os seguintes ficheiros:
 - Um ficheiro **grupoXX.asm** com o código, pronto para ser carregado no simulador e executado. Sugere-se criar uma cópia da versão mais recente do código, limpando eventual “lixo” e coisas temporárias, de modo a compilar e executar a funcionalidade pedida. Organização do código e comentários serão avaliados, tal como na versão final;
 - Os ficheiros de imagem e de som usados no módulo “MediaCenter”;
 - Um ficheiro **projetoXX.cir** com o circuito do projeto, mas guardado depois de definir no módulo “MediaCenter” os ficheiros de imagem e de som usados. Não se esqueça que o circuito deve ser guardado no mesmo diretório onde estão estes ficheiros, e não copiado para lá depois;
- Numa aula de laboratório seguinte (física ou virtual), o docente poderá fazer algumas perguntas sobre o programa entregue e dar feedback com algumas sugestões;
- **IMPORTANTE** - Use o circuito do projeto, **projeto.cir** (e não o de qualquer guião de laboratório);
- **Deve cumprir os seguintes objetivos:**
 - Colocar no ecrã uma imagem de cenário de fundo adequada para este projeto;
 - Desenhar o pac-man na parte de baixo do ecrã (posição inicial do jogo) e pelo menos um fantasma, na sua posição. Não desenhe o pac-man e o fantasma manualmente, pixel a pixel. Faça uma rotina que leia uma tabela com o valor dos pixels do pac-man e do fantasma. Fica assim mais genérico e permite desenhar qualquer objeto;

- Implemente uma rotina para executar um efeito sonoro adequado para este projeto, invocada quando se carrega numa tecla (só pode invocar novamente quando se larga a tecla e se carrega de novo!);
- Implemente um contador **decimal** de 0 até 100, com uma rotina para aumentar e outra para diminuir (ambas mostram o novo valor do contador após a variação). O contador não deve sair do intervalo [0 .. 100];
- Estas rotinas devem ser invocadas repetidamente enquanto se carrega no teclado, numa dada tecla (defina duas ao seu gosto). Quando se larga a tecla, o contador deve parar de evoluir. Se a evolução for muito rápida, pode atrasá-la com uma rotina que apenas faz um ciclo de um número elevado de iterações (1000 ou mais, por exemplo).

Versão final:

- Vale 75% da nota do projeto (ou 37,5% da nota final);
- **Deve cumprir todas as especificações do enunciado:**
- Deve ser submetida no Fenix (Projeto AC 2020-21 - versão final) até às 23h59 do dia 22 de Maio de 2021, através de um ficheiro (**grupoXX.zip**, em que XX é o número do grupo) com os seguintes ficheiros:
 - Um ficheiro **grupoXX.pdf**, relatório de formato livre, mas com a seguinte informação (juntamente com este enunciado, é fornecido um possível modelo de relatório):
 - Identificação do número do grupo, números de aluno e nomes;
 - Definições relevantes, se tiverem feito algo diferente do que o enunciado pede ou indica (teclas diferentes, funcionalidade a mais, etc.);
 - Indicação concreta das funcionalidades pedidas que o código enviado NÃO satisfaz;
 - Eventuais outros comentários ou conclusões.
 - Um ficheiro **grupoXX.asm** com o código, pronto para ser carregado no simulador e executado;
 - Todos os ficheiros de imagem e de som usados no módulo “MediaCenter”;
 - Um ficheiro **projetoXX.cir** com o circuito do projeto, mas guardado depois de definir no módulo “MediaCenter” todos os ficheiros de imagem e de som usados. Não se esqueça que o circuito deve ser guardado no mesmo diretório onde estão estes ficheiros, e não copiado para lá depois;
- Na última semana de aula, a partir de 28 de Maio, não haverá aulas de laboratório. Essa semana está reservada para discussão do projeto com o docente das aulas de laboratório (durante o horário normal de laboratório do seu grupo). A data e local (físico ou virtual) em que o seu grupo deverá comparecer serão anunciados no Fenix, após a data de entrega da versão final do projeto.

4 – Estratégia de implementação

Alguns dos guiões de laboratório contêm objetivos parciais a atingir, em termos de desenvolvimento do projeto. Tente cumpri-los, de forma a garantir que o projeto estará concluído nas datas de entrega, quer na versão intermédia, quer na versão final.

Devem ser usados processos cooperativos (guião de laboratório 6) para suportar as diversas ações do jogo, aparentemente simultâneas. Recomendam-se os seguintes processos:

- Teclado (varrimento e leitura das teclas, tal como descrito no guião do laboratório 3);
- Pac-Man (para controlar a direção, disparar balas);
- Fantasmas (para controlar as ações e evolução de cada uma das Fantasmas. Note que várias Fantasmas correspondem apenas a instâncias diferentes do mesmo processo, ou várias chamadas à mesma rotina com um parâmetro que indique o número do fantasma);
- Gerador (inclui um contador para gerar um número pseudoaleatório, usado para escolher quando lança um novo fantasma);
- Controlo (para tratar das teclas de começar, suspender/continuar e terminar o jogo).

Como ordem geral de implementação do projeto, recomenda-se a seguinte estratégia (pode naturalmente adotar outra):

1. Teclado, displays e desenho do fantasma (cobertos pela versão intermédia);
2. Movimentos do pac-man, de acordo com a tecla carregada;
3. Rotinas de ecrã, para desenhar/apagar:
 - um pixel numa dada linha e coluna (de 0 a 31 e 0 a 63, respetivamente), se ainda o não tiver feito na versão intermédia;
 - um objeto genérico, descrito por uma tabela que inclua a sua largura, altura e o valor de cada um dos seus pixels, e ainda as componentes RGBA. Use um desses pixels, por exemplo o canto superior esquerdo do objeto, como referência da posição do objeto (linha e coluna) e desenhe os restantes pixels relativamente às coordenadas desse pixel de referência;
4. Um só fantasma (tem de definir tabelas com a representação dos fantasmas e tabelas para escolher o boneco para o pac-man);
5. Processos cooperativos (organização das rotinas preparada para o ciclo de processos, começando por converter em processos o código que já tem para o teclado e para o pac-man);
6. Processos Controlo e Gerador;
7. Movimento do fantasma regulado por uma interrupção.
8. Detecção de colisão do pac-man com o fantasma;
9. Detecção de colisão do pac-man com um objeto;
10. Detecção de colisão do pac-man e dos fantasmas com as zonas onde não podem estar os bonecos.

11. Resto das especificações, incluindo extensão para mais do que um fantasma. Esta extensão tem algumas complicações, pelo que é melhor ter um só um fantasma a funcionar do que tentar logo vários e correr o risco de não conseguir nenhum.

IMPORTANTE:

- As rotinas de interrupção param o programa principal enquanto estiverem a executar. Por isso, devem apenas atualizar variáveis em memória, que os processos regulados por essas interrupções devem ir lendo. O processamento deve ser feito pelos processos e não pelas rotinas de interrupção, cuja única missão é assinalar que houve uma interrupção;
- Se usar valores negativos (por exemplo, -1 para somar à coluna de um fantasma para ele se deslocar para a esquerda), as variáveis correspondentes devem ser de 16 bits (declaradas com WORD, e não STRING).

Para cada processo, recomenda-se:

- Um estado 0, de inicialização. Assim, cada processo é responsável por inicializar as suas próprias variáveis. O programa fica mais bem organizado e modular;
- Planeie os estados (situações estáveis) em que cada processo poderá estar. O processamento (decisões a tomar, ações a executar) é feito ao transitar entre estados;
- Veja que variáveis são necessárias para manter a informação relativa a cada processo, entre invocações sucessivas (posição de cada boneco no ecrã, modo, etc.).

O processo Gerador pode ser simplesmente um contador (variável de 16 bits) que é incrementado em cada iteração do ciclo de processos. Quando for preciso um número pseudoaleatório (para escolher o lançamento de um fantasma), basta ler esse contador e obter apenas os bits menos significativos (por meio do resto da divisão desse contador por N, com a instrução MOD, obtendo-se um valor entre 0 e N-1 ou por meio de AND com uma máscara).

Como o ciclo de processos se repete muitas vezes durante a iteração dos vários processos, esse valor parecerá aleatório.

Tenha ainda em consideração as seguintes recomendações:

- Faça PUSH e POP de todos os registos que use numa rotina e não constituam valores de saída (mas não sistematicamente de todos os registos, de R0 a R11!). É muito fácil não reparar que um dado registo é alterado durante um CALL, causando erros que podem ser difíceis de depurar. Atenção ao emparelhamento dos PUSHs e POPs, bem como à ordem relativa;
- Vá testando todas as rotinas que fizer e quando as alterar. É muito mais difícil descobrir um bug num programa já complexo e ainda não testado;
- Estruture bem o programa, com zona de dados no início, quer de constantes, quer de variáveis, e rotinas auxiliares de implementação de cada processo junto a ele;

- Não coloque constantes numéricas (com algumas exceções, como 0 ou 1) pelo meio do código. Defina constantes simbólicas no início e use-as depois no programa;
- Como boa prática, as variáveis devem ser de 16 bits (WORD), para suportarem valores negativos sem problemas. O PEPE só sabe fazer aritmética em complemento para 2 com 16 bits;
- Os periféricos de 8 bits e as tabelas com STRING devem ser acedidos com a instrução MOVB. As variáveis definidas com WORD (que são de 16 bits) e periféricos de 16 bits devem ser acedidos com MOV;
- **ATENÇÃO!!!** Ao contrário dos guiões de laboratório, o periférico POUT-1 é de 16 bits (por causa dos 3 displays) e não de 8 (deve ser acedido com MOV, e não MOVB);
- Produza comentários abundantes, não se esquecendo de cabeçalhos para as rotinas com descrição, registos de entrada e de saída (veja exemplos nos guiões de laboratório);
- Não duplique código (com *copy-paste*). Use uma rotina com parâmetros para contemplar os diversos casos em que o comportamento correspondente é usado.

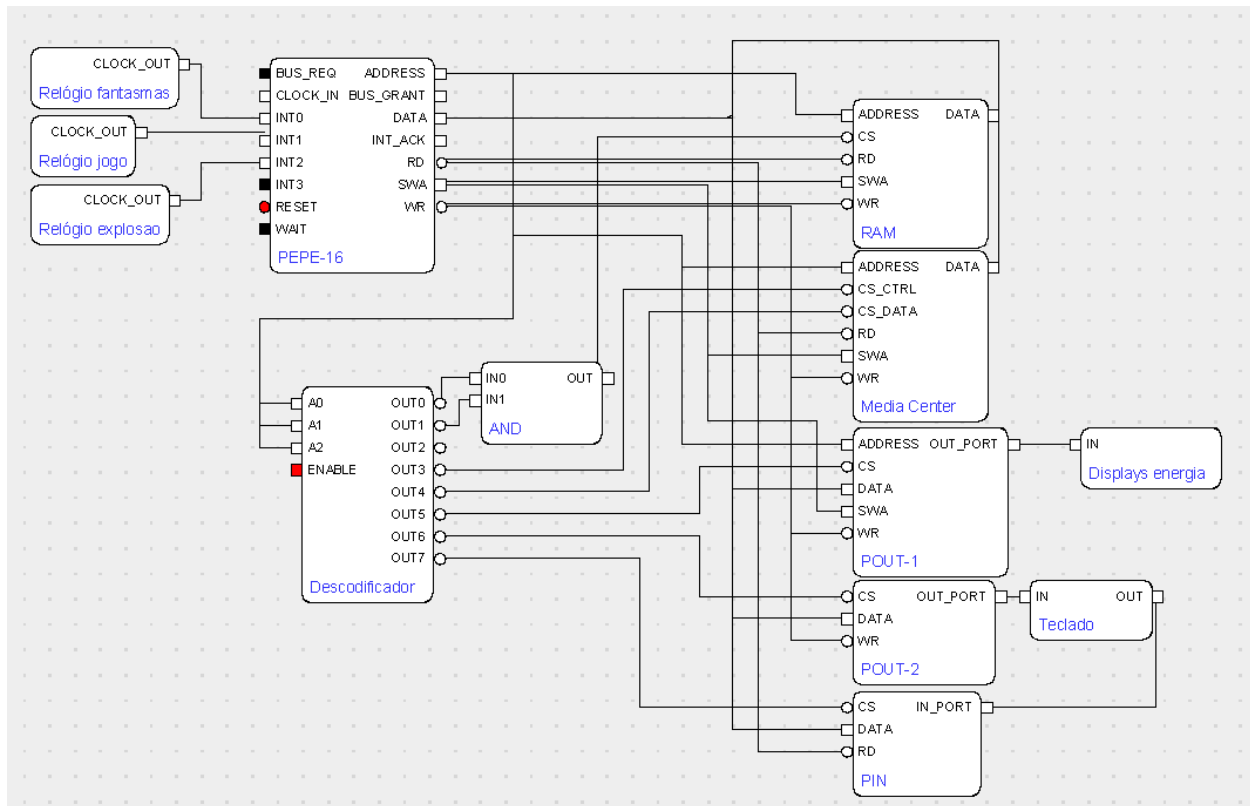
5 – Critérios de avaliação

Os critérios de avaliação e o seu peso relativo na nota final do projeto (expressos numa cotação em valores) estão indicados na tabela seguinte:

Critério	Versão intermédia	Versão final
Funcionalidade de base	1	4
Estrutura dos dados e do código	3	6
Comentários	1	2
Vários fantasmas: funcionalidade, dados e código		3
Total	5	15

6 – Circuito do projeto

A figura seguinte mostra o circuito a usar (fornecido, ficheiro **projeto.cir**).



Os módulos seguintes têm painel de controlo em execução (modo Simulação):

- Relógio fantasma – Relógio de tempo real, para ser usado como base para a temporização do movimento dos fantasmas. Está ligado ao pino de interrupção 0 do PEPE;
- Relógio tempo decorrido – Relógio de tempo real, para ser usado como base para a tempo que passou. Está ligado ao pino de interrupção 1 do PEPE;
- MediaCenter - módulo multimédia que inclui um ecrã de 32 x 64 pixels. Este ecrã é acedido como se fosse uma memória de 2048 pixels (ou 4096 bytes: 128 bytes em cada linha, 32 linhas), ou por comandos. Este periférico tem 2 chip selects, um para acesso pela memória e outro para acesso pelos comandos. Pode ver no ficheiro de excel ecrã-32x64.xlsx os endereços de cada byte (relativos ao endereço de base do ecrã). O guião de laboratório 4 fornece mais detalhes;
- Três displays de 7 segmentos, ligados aos bits 11-8, 7-4 e 3-0 do periférico POUT-1, para mostrar a pontuação. **ATENÇÃO!!!:** ao contrário dos guiões de laboratório, este periférico é de 16 bits e deve ser acedido com MOV (e não MOVB);

- Teclado, de 4 x 4 teclas, com 4 bits ligados ao periférico POUT-2 e 4 bits ligados ao periférico PIN (bits 3-0). A detecção de qual tecla foi carregada é feita por varrimento. Atenção, que estes periféricos são de 8 bits e devem ser acedidos com MOVB (e não MOV);
- Memória (RAM), que tem 16 bits de dados e 14 bits de endereço, com capacidade de endereçamento de byte, tal como o PEPE e o MediaCenter;
- PEPE (processador).

O mapa de endereços (em que os dispositivos podem ser acedidos pelo PEPE) é o seguinte:

Dispositivo	Endereços
RAM	0000H a 3FFFH
MediaCenter (acesso aos comandos)	6000H a 6063H (ver guião de laboratório 4)
MediaCenter (acesso à sua memória)	8000H a 80FFH
POUT-1 (periférico de saída de 16 bits)	0A000H
POUT-2 (periférico de saída de 8 bits)	0C000H
PIN (periférico de entrada de 8 bits)	0E000H