



**TÉCNICO**  
LISBOA

# **Controladores Ghost Team Hybrid e Bullseye - Eficiência de controladores Ghost Team com Observação Parcial**

**João Filipe Prazeres Peixoto**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

## **Engenharia Informática e de Computadores**

Orientador: Prof. José Alberto Rodrigues Pereira Sardinha

### **Júri**

Presidente: Prof. Luís Manuel Antunes Veiga

Orientador: Prof. José Alberto Rodrigues Pereira Sardinha

Vogal: Prof. Francisco João Duarte Cordeiro Correia dos Santos

**Julho 2018**



## **Agradecimentos**

Quero agradecer ao meu orientador, Prof. Alberto Sardinha por me acompanhar neste desafio, pelos conselhos transmitidos e apoio científico que tornaram possível este resultado final.

Também queria dar uma palavra de agradecimento à assistente técnica Carla Costa, que me acompanhou ao longo de boa parte do meu curso, pela sua disponibilidade e boa ligação que estabeleceu com a docência, o que permitiu ultrapassar os vários obstáculos que fui encontrando ao longo do meu percurso no Instituto Superior Técnico.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família, pelo apoio incondicional, ajuda na revisão dos textos e por terem acreditado sempre em mim.



## Resumo

Nesta dissertação foi realizado um método de testes usando como inspiração controladores de Ghost já criados e outro videogame (Metal Gear), para desenvolver seis controladores Ghost diferentes, com diferentes estratégias para eliminar Pacman e testar essas estratégias num jogo Pacman que implementa observação Parcial nos ghost e Pacman.

Os resultados destes testes foram dois tipos de controladores de Ghost, com comunicação e sem comunicação, a que chamei Hybrid e Bullseye, para serem os mais eficientes possíveis em limitar a pontuação final de Pacman num jogo Pacman com observação Parcial.

Para avaliar a qualidade destes controladores, foram realizadas duas novas competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, onde estes concorreram com outros controladores já utilizados na competição de 2017.

Os resultados destas competições revelam que os controladores de Ghost, Hybrid e Bullseye são os mais eficientes, quando jogam contra a maioria dos controladores Pacman, mas existe um controlador Pacman contra o qual são pouco eficientes.

**Palavras-chave:** Competição Ms. Pacman versus Ghost Team, Controladores com Observação Parcial, Inteligência Artificial, Video Jogos.



## **Abstract**

The research of this dissertation was inspired from a Ghost controller from another video game called Metal Gear. I developed six different Ghost controllers with different strategies in a Pacman game with partial observability.

The results of this research generated two Ghost controllers with and without communication, namely Hybrid and Bullseye. The aim of the controllers is to minimize the points that a Pacman can obtain in game with partial observability.

In order to evaluate the quality of the controllers, I ran experiments in two new Ms. Pacman vs. Ghost team competitions. In the competitions, Hybrid and Bullseye were pit against other controllers of the 2017 official competition.

The results show that Hybrid and Bullseye are better than almost every other controller. Only a few controllers were able to be more efficient.

**Keywords:** Ms. Pacman versus Ghost Team Competition, Controllers with Partial Observability, Artificial Intelligence, Video Games.





# Conteúdo

Agradecimentos . . . . .	iii
Resumo . . . . .	v
Abstract . . . . .	vii
Lista de Tabelas . . . . .	xiii
Lista de Figuras . . . . .	xv
Lista de Símbolos . . . . .	1
Glossário . . . . .	1
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto e Objetivos . . . . .	1
1.2 Principais Contribuições . . . . .	2
1.3 Estrutura da Dissertação . . . . .	2
<b>2 O Jogo Pacman</b>	<b>3</b>
2.1 Jogo Pacman . . . . .	3
2.1.1 Os elementos do jogo Pacman . . . . .	3
2.1.2 Regras do Jogo Pacman . . . . .	5
2.1.3 Jogo Ms.Pacman . . . . .	6
2.1.4 Competição de Ms Pac-Man versus Ghost Team . . . . .	6
2.1.5 Ms. Pacman Versus Ghost Team CIG 2016 Competition . . . . .	6
2.1.6 Descrição detalhada do problema que os controladores Ghost Team têm de resolver.	9
<b>3 Controladores Pacman e Ghost Team</b>	<b>11</b>
3.1 Controladores Ghost e Pacman da CMPvsGT 2017 . . . . .	11
3.2 Os controladores <i>Start</i> . . . . .	12
3.3 Controladores StartGhost-PO e StartGhost-POComm . . . . .	12
3.4 Controlador FS-PO . . . . .	14
3.5 Controlador FRIGHT-PO . . . . .	16
3.6 Controlador DW-PO . . . . .	18
3.7 Controlador Magnet-PO . . . . .	20
3.8 Controlador Patrol-PO . . . . .	23
3.9 Controlador Priority-PO . . . . .	25

<b>4</b>	<b>Método de avaliação</b>	<b>27</b>
4.1	Método de determinar o controlador Ghost vencedor nas CEGTs 2018 . . . . .	27
4.1.1	Controladores Pacman que participam nas CEGTs 2018 . . . . .	28
4.1.2	Controladores Ghost que participam nas CEGTs 2018 . . . . .	28
4.2	Métodos de testes . . . . .	30
4.2.1	Métodos de testes realizados na dissertação . . . . .	30
4.2.2	Estrutura dos métodos de testes (detalhado) . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Resultados e Controladores Hybrid e Bullseye</b>	<b>33</b>
5.1	Fase 1 de Testes (Sem Comunicação) . . . . .	33
5.1.1	Controlador StartGhost-PO . . . . .	33
5.1.2	Controlador FS-PO . . . . .	34
5.1.3	Controlador FRIGHT-PO . . . . .	35
5.1.4	Controlador DW-PO . . . . .	36
5.1.5	Controlador Magnet-PO . . . . .	37
5.1.6	Controlador Patrol-PO . . . . .	39
5.1.7	Controlador Priority-PO . . . . .	40
5.1.8	Resultados da fase 1 de testes (SC) . . . . .	41
5.2	Fase 2 de Testes (Sem Comunicação) . . . . .	42
5.2.1	Controlador StartGhost-PO . . . . .	42
5.2.2	Controlador FS-PO . . . . .	43
5.2.3	Controlador FRIGHT-PO . . . . .	44
5.2.4	Controlador DW-PO . . . . .	44
5.2.5	Controlador Magnet-PO . . . . .	46
5.2.6	Controlador Patrol-PO . . . . .	47
5.2.7	Controlador Priority-PO . . . . .	48
5.2.8	Resultados da fase 2 de testes (SC) . . . . .	48
5.3	Fase 3 de Testes (Sem Comunicação) . . . . .	50
5.3.1	PatrolDW-PO . . . . .	51
5.3.2	PatrolMagnet-PO . . . . .	52
5.3.3	Resultados da fase 3 de testes (SC) . . . . .	53
5.4	Proposta (SC) Controlador Ghost Bullseye . . . . .	54
5.5	Fase 1 de Testes (Com Comunicação) . . . . .	55
5.5.1	Controlador Startghost-POComm . . . . .	56
5.5.2	Controlador FS-POComm . . . . .	56
5.5.3	Controlador FRIGHT-POComm . . . . .	57
5.5.4	Controlador DW-POComm . . . . .	58
5.5.5	Controlador Magnet-POComm . . . . .	60
5.5.6	Controlador Patrol-POComm . . . . .	61

5.5.7	Controlador Priority-POComm . . . . .	63
5.5.8	Resultados da fase 1 de testes (SC) . . . . .	64
5.6	Fase 2 de Testes (Com Comunicação) . . . . .	64
5.6.1	Controlador Startghost-POComm . . . . .	65
5.6.2	Controlador FS-POComm . . . . .	65
5.6.3	Controlador FRIGHT-POComm . . . . .	66
5.6.4	Controlador DW-POComm . . . . .	67
5.6.5	Controlador Magnet-POComm . . . . .	68
5.6.6	Controlador Patrol-POComm . . . . .	69
5.6.7	Controlador Priority-POComm . . . . .	70
5.6.8	Resultados da fase 2 de testes (CC) . . . . .	71
5.7	Fase 3 de Testes (Com Comunicação) . . . . .	73
5.7.1	PatrolDW-POComm . . . . .	73
5.7.2	PatrolMagnet-POComm . . . . .	75
5.7.3	Resultados da fase 3 de testes (CC) . . . . .	76
5.8	Proposta (CC) Controlador Ghost Hybrid . . . . .	77
5.9	Resultados das Competições CEGTs 2018 . . . . .	78
5.9.1	CEGTs 2018 (sem comunicação) . . . . .	78
5.9.2	CEGTs 2018 (com comunicação) . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Conclusions</b>	<b>93</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>95</b>



# Lista de Tabelas

5.1	Resultados da CEGT(SC) 2018 Clássico . . . . .	79
5.2	Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista . . . . .	80
5.3	Resultados da CEGT(SC) 2018 Total . . . . .	81
5.4	Resultados da CEGT(SC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc) . . . . .	82
5.5	Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc) . . . . .	83
5.6	Resultados da CEGT(SC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc) . . . . .	84
5.7	Resultados da CEGT(CC) 2018 Clássico . . . . .	85
5.8	Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista . . . . .	86
5.9	Resultados da CEGT(CC) 2018 Total . . . . .	87
5.10	Resultados da CEGT(CC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc) . . . . .	88
5.11	Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc) . . . . .	89
5.12	Resultados da CEGT(CC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc) . . . . .	90



# Lista de Figuras

2.1	Os elementos do jogo Pacman . . . . .	4
2.2	Os níveis do jogo Pacman . . . . .	5
2.3	Os labirintos A, B, C e D do simulador do jogo Pacman. . . . .	7
2.4	Tipo de observações na perspectiva do Pacman . . . . .	9
5.1	Resultados das VCGs de StartGhost-PO . . . . .	34
5.2	Resultados das VCGs de FS-PO . . . . .	35
5.3	Resultados das VCGs de FRIGHT-PO . . . . .	35
5.4	Resultados das VCGs de DW-PO . . . . .	37
5.5	Resultados das VCGs de Magnet-PO . . . . .	39
5.6	Resultados das VCGs de Patrol-PO . . . . .	40
5.7	Resultados das VCGs de Priority-PO . . . . .	41
5.8	Resultados da fase 1 (SC) . . . . .	42
5.9	Resultados das VCGs de StartGhost-PO . . . . .	43
5.10	Resultados das VCGs de FS-PO . . . . .	43
5.11	Resultados das VCGs de FRIGHT-PO . . . . .	44
5.12	Resultados das VCGs de DW-PO . . . . .	45
5.13	Resultados das VCGs de Magnet-PO . . . . .	47
5.14	Resultados das VCGs de Patrol-PO . . . . .	48
5.15	Resultados das VCGs de Priority-PO . . . . .	49
5.16	Resultados da fase 2 (SC) . . . . .	49
5.17	Resultado das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (SC) . . . . .	50
5.18	Resultados das VCGs de PatrolDW-PO . . . . .	52
5.19	Resultados das VCGs de PatrolMagnet-PO . . . . .	53
5.20	Resultados da fase 3 (SC) . . . . .	54
5.21	Resultados das VCGs de StartGhost-POComm . . . . .	56
5.22	Resultados das VCGs de FS-POComm . . . . .	57
5.23	Resultados das VCGs de FRIGHT-POComm . . . . .	58
5.24	Resultados das VCGs de DW-POComm . . . . .	60
5.25	Resultados das VCGs de Magnet-PO . . . . .	61
5.26	Resultados das VCGs de Patrol-PO . . . . .	62

5.27 Resultados das VCGs de Priority-POComm . . . . .	63
5.28 Resultados da fase 1 (SC) . . . . .	64
5.29 Resultados das VCGs de StartGhost-POComm . . . . .	65
5.30 Resultados das VCGs de FS-PO . . . . .	66
5.31 Resultados das VCGs de FRIGHT-POComm . . . . .	67
5.32 Resultados das VCGs de DW-POComm . . . . .	68
5.33 Resultados das VCGs de Magnet-POComm . . . . .	69
5.34 Resultados das VCGs de Patrol-POComm . . . . .	70
5.35 Resultados das VCGs de Priority-POComm . . . . .	71
5.36 Resultados da fase 2 (CC) . . . . .	72
5.37 Resultados das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (CC) . . . . .	72
5.38 Resultados das VCGs de PatrolDW-POComm . . . . .	75
5.39 Resultados das VCGs de PatrolMagnet-POComm . . . . .	76
5.40 Resultados da Fase 3(CC) . . . . .	77



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto e Objetivos

Uma das razões de ser desta dissertação tem a ver com o motivo pela qual me candidatei ao Instituto Superior Técnico e à Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores; a minha paixão por videojogos, que me trouxe até aqui.

Neste trabalho especificamente, procurei aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo destes anos de formação, na área em que futuramente gostaria de trabalhar, que seria a “Programação de Inteligência Artificial para Videojogos”.

O jogo Pacman é mundialmente conhecido, sempre que o joguei fiquei com a sensação que o trabalho do “Ghost Team” em apanhar o pacman poderia ser otimizado, eram demasiado previsíveis.

Esta dissertação procura desenvolver dois tipos de controladores de “Ghost Team” com comunicação e sem comunicação, a que chamei “Ghost Team Hybrid e Ghost Team Bullseye”, que fossem o mais eficientes possível em apanhar o pacman, num contexto muito particular, que seria de “Observação Parcial”.

Para chegar a estes dois controladores, criei seis outros, com estratégias diferentes, no sentido de tentar entender quais as melhores características que poderia aproveitar para a construção do Ghost Team Hybrid e do Ghost Team Bullseye com a maior eficiência possível.

A existência de competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, permitiu-me obter resultados fiáveis desses outros controladores de Ghosts, nos quais me inspirei para criar os meus próprios controladores. Nesta fase de testes constatei que as actuais competições eram sempre realizadas em observação parcial, daí o meu trabalho também se basear, na criação de controladores Ghosts em observação parcial.

Para avaliar a qualidade dos novos controladores, foram realizadas duas novas competições Ms. Pacman Vs Ghost Team, onde estes concorreram com outros controladores já utilizados na competição de 2017, possibilitando assim determinar o seu grau de eficiência, na limitação da pontuação final do Pacman.

## 1.2 Principais Contribuições

As principais contribuições deste documento são oito novos controladores Ghost Team para o simulador do jogo Ms. Pacman versus Ghost Team 2018 em que o Pacman e os Ghosts têm observação parcial e os Ghosts podem comunicar entre si através de um sistema de comunicação. Existem mais diferenças entre o simulador e o jogo original Ms. Pacman versus Ghost Team que vão ser descritas no capítulo 2 deste documento.

Entre os oito novos controladores Ghost Team, seis vão ser usados para testar a eficiência de diferentes estilos de Ghosts, com tomadas de decisão de movimentos para apanhar o Pacman, e limitando a sua pontuação final no simulador do jogo de 2018. Detalhes sobre estes estilos vão ser descritos nos capítulos 3 a 5 deste documento.

A partir dos dados obtidos nos seis estilos de Ghosts que tentam eliminar o Pacman, com ou sem comunicação entre ghosts no simulador do jogo de 2018, vão ser desenvolvidos os restantes 2 controladores Ghost Team que constituem a base da minha dissertação.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em 7 capítulos:

- **Introdução:** Capítulo desta dissertação onde é apresentado o contexto da mesma, a identificação do problema ao qual se pretende dar resposta. Apresenta-se também o seu conteúdo, quais os objectivos traçados e como se chegou a eles.
- **O Jogo Pacman:** Nesta fase fala-se do jogo Pacman e a história da competição do mesmo, no sentido de contextualizar o trabalho.
- **Controladores Pacman e Ghost Team:** Falamos dos controladores de Ghosts que foram utilizados nesta dissertação, que serviram de base para a criação dos meus próprios controladores e a forma como o simulador funciona donde se obtêm os resultados da competição.
- **Método de avaliação:** Nesta parte aborda-se o método de testes que é utilizada para obter as propostas desta dissertação, descrevo o método de avaliação utilizado, o qual consiste na Competição “Extra Ghosts Team 2018” (CEGTs 2018).
- **Resultados e Controladores Hybrid e Bullseye:** É o momento onde a partir dos resultados dos testes efetuados, eu proponho os controladores ghosts que fazem parte do objectivo desta dissertação.
- **Conclusão:** Por fim e após a obtenção dos resultados, analiso e tiro daí as conclusões desta dissertação, bem como indico alguns caminhos que poderão ser seguidos no futuro que podem aperfeiçoar estes controladores propostos.

## Capítulo 2

# O Jogo Pacman

### 2.1 Jogo Pacman

Pacman é um jogo arcade que foi desenvolvido e lançado por Namco em 1980. Trata-se de um jogo do gênero labirinto em que o jogador controla o Pacman, num labirinto cheio de pills e 4 Ghost que o perseguem. O objetivo de Pacman é acumular o máximo de pontos possível até ficar sem vidas por ser apanhado por Ghosts. O objetivo dos Ghosts é apanhar o Pacman até que este fique sem vidas, terminando o jogo.

#### 2.1.1 Os elementos do jogo Pacman

Nesta seção é apresentado todos os elementos do jogo Pacman e os seus respectivos papéis durante as partidas do jogo.

A Figura 2.1 apresenta os principais elementos do jogo:

- **1º - Parede:** É o elemento que define os labirintos, dependendo das posições que as paredes ocupam. Não podem ser atravessadas por Pacman/Ghosts.
- **2º - Pills:** São pequenas bolas espalhadas pelo labirinto, que o Pacman tem de apanhar na sua totalidade para passar ao próximo nível. Os Pills são colocados no início do nível, mantêm a sua posição até serem apanhados pelo Pacman. São colocados 240 Pills por nível e por cada Pill apanhado o Pacman ganha 10 pontos.
- **3º - Power Pills:** São uma versão de Pills maior e dão 5 vezes mais pontos que os Pills normais (50 pontos). Só há quatro Power Pills por nível, cada um é colocado num diferente canto do labirinto, incluindo um efeito extra que permite ao Pacman comer um Ghost de cada vez, fora da Casa dos Ghosts por um tempo limitado. O tempo limite do efeito do Power Pill vai diminuído cada vez que Pacman passa de nível até ao nível 19 onde o efeito deixa de funcionar.
- **4º - Frutas:** São elementos que funcionam como os Pills. O Pacman ganha pontos quando apanha uma fruta, mas os pontos ganhos dependem do nível onde o Pacman está; ou seja, maior o

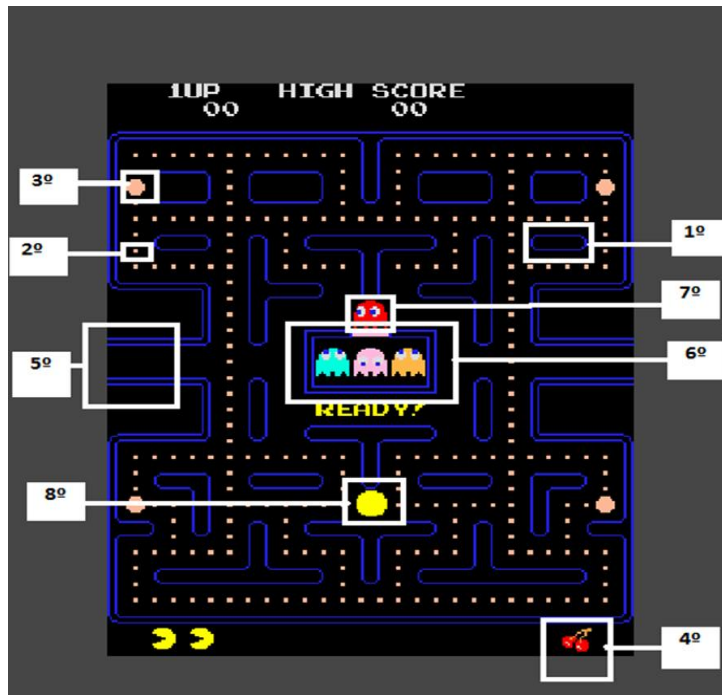


Figura 2.1: Os elementos do jogo Pacman

nível mais pontos dão. No entanto, existem duas diferenças entre Frutas e Pills, a primeira é de que o Pacman não precisa de apanhar Frutas para passar de nível e a segunda, as frutas são colocadas numa posição aleatória no labirinto depois do Pacman apanhar um número determinada de Pills por nível. A primeira Fruta aparece depois de Pacman apanhar 70 Pills e a segunda quando apanhar 170 Pills.

- **5º - Portal:** São partes do labirinto que dão a ilusão que o labirinto tem uma saída, mais na realidade os Pacman/Ghosts que passam um Portal vão sair noutra Portal, do lado oposto do labirinto. Cada Portal está ligado apenas a outro Portal no labirinto, no jogo Pacman todos os níveis têm apenas dois Portais.
- **6º - Casa dos Ghosts:** É uma área especial no centro do labirinto, onde o Pacman não tem acesso. Além disso, nunca há Pills, Power Pills ou Frutas dentro da Casa dos Ghosts, pois não fazia sentido ter se o Pacman não pode entrar. Serve para conter os Ghosts no início dos níveis, soltando um Ghost de cada vez quando a jogo começa. A Casa também é utilizada para restaurar os Ghosts comidos pelo Pacman, permitindo voltarem ao seu estado normal (não comestível).
- **7º - Ghosts:** São os inimigos no jogo. Durante todos os níveis, o Pacman enfrenta quatro Ghosts com cores diferentes para ajudar o jogador a distinguir um Ghost dos restantes, dado que cada Ghost tem o seu estilo de perseguir o Pacman. Todos têm o mesmo objetivo de apanhar Pacman e não importa qual Ghost o apanha.
- **8º - Pacman:** É o avatar do jogador com o objetivo de conseguir a pontuação mais alta possível até ficar sem vidas. O Pacman começa o jogo com três vidas. Se conseguir chegar a ter 10000

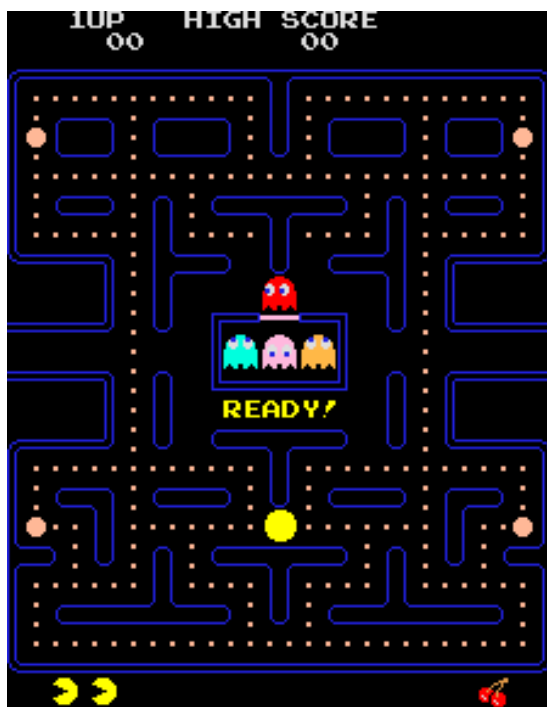
pontos ganha uma vida extra (única vida extra). Se tocar num Ghost perde uma vida e os Pacman/Ghost voltam às suas posições iniciais.

## 2.1.2 Regras do Jogo Pacman

O Pacman começa o jogo com três vidas, 0 pontos e com o objetivo de acumular a maior pontuação possível antes de ficar sem vidas. O Pacman tem 3 formas de ganhar pontos, apanhar Pills/Power Pills, Frutas e Ghosts. Para as duas primeiras formas, basta o Pacman tocar no Pills/Fruta/Power Pills para ganhar pontos do que apanhou. Para apanhar Ghosts é preciso o Pacman apanhar primeiro um Power Pill que torna cada Ghost comestível por um tempo limitado. Cada Ghost apanhado neste tempo limite duplica os pontos ganho por Ghost, mas se o Pacman apanhar outro Power Pill durante este tempo limite, o jogo faz reset ao multiplicador de pontos para 1.

O jogo está dividido em 256 níveis, onde cada nível tem um limite de pontos que o Pacman pode acumular: 240 Pills, 4 Power Pills e 2 Frutas. Para passar de nível o Pacman tem de apanhar todos os 240 Pills no atual nível.

Ao passar de nível o jogo fica ligeiramente mais rápido, a duração do efeito Power Pill diminui e apanhar Frutas dá mais pontos. A partir do nível 21, todos os seguintes níveis são idênticos até ao nível 255. O nível 256 é impossível de completar porque ocorre um *bug* no código do jogo pois o inteiro que guarda o nível tem apenas 8 bits (o inteiro mais alto é 255). A Figura 2.2 apresenta o nível 256 do jogo (Imagem a direita).



(a) Nível 1-255 do jogo Pacman



(b) Nível 256 do jogo Pacman

Figura 2.2: Os níveis do jogo Pacman

### **2.1.3 Jogo Ms.Pacman**

Ms. Pacman é considerado uma sequela não confirmada do jogo Pacman, que foi desenvolvido e lançado por Midway em 1981. O jogo Ms.Pacman tem os mesmos elementos e regras do jogo Pacman, com ligeiras diferenças. Em Ms. Pacman há 5 labirintos diferentes, em que cada labirinto tem o seu próprio esquema de cores, o labirinto muda em intervalos de 2-4 níveis, dependendo em que nível está Ms.Pacman. Os Ghosts em Ms.Pacman têm um elemento semi-aleatório que muda o comportamento dos Ghost de determinista para não determinista para perseguir Ms.Pacman. As Frutas em Ms.Pacman em vez de aparecerem no centro do labirinto, aparecem através de um Portal no labirinto, move-se pelo labirinto por algum tempo e se ms.Pacman não apanhar a Fruta a tempo, a Fruta sai do labirinto através de um Portal. O avatar Ms.Pacman é idêntico ao Pacman expeto em dois pormenores, o seu aspeto e a animação quando é apanhado por um Ghost. No resto desta tese o jogo Ms.Pacman vai ser referido como Pacman porque o jogo Ms.Pacman é o jogo Pacman com ligeiras modificações, que não foram colocadas no simulador do jogo Pacman expeto ter mais que um labirinto. A Ms.Pacman vai ser referida como Pacman por serem idênticos em termos de jogabilidade.

### **2.1.4 Competição de Ms Pac-Man versus Ghost Team**

A competição de Ms. Pac-Man vs. Ghost Team (CMPvsGT) é uma competição anual que teve início em 2007 e continua a decorrer atualmente, com o objetivo de desenvolver técnicas Inteligência Artificial (IA) para os *Non player characters* (NPCs) que jogam um jogo. Até 2010 era apenas a competição Pac-Man (CPacman), em 2011 passou a ter também a Competição Ghost Team (CGhost) que ocorre em simultâneo com CPacman.

Na CPacman cada controlador Pacman que participa nesta competição, joga um determinado número de partidas contra cada um dos controladores Ghost Team que participa na CGhost, e vice-versa para a CGhost.

Na CPacman ganha o controlador Pacman que acumulou mais pontos de Pacman, durante todas as partidas que participou nesta competição e na CGhost ganha o controlador Ghost Team em que acumulou menos pontos de Pacman, durante todas as partidas que participou na CGhost [1].

Todas as partidas ocorrem no simulador Pacman da CMPvsGT, que é uma implementação simplificada do jogo original Pacman e integra as regras da CMPvsGT. Na CMPvsGT de 2016 a 2018, foi acrescentada uma nova regra que torna o simulador Pacman da CMPvsGT menos fiel ao jogo Pacman, dado que os Ghosts e Pacman precisam de ter observação parcial para poderem participar na CMPvsGT. Com observação parcial, limita consideravelmente a coordenação possível entre os Ghosts, portanto foi adicionado um sistema de mensagens para melhorar coordenação possível entre eles, para apanharem o Pacman.

### **2.1.5 Ms. Pacman Versus Ghost Team CIG 2016 Competition**

William, Perez-Liebana e Lucas apresentam o artigo[2] que descreve a CMPvsGT 2016. Os autores apresentam detalhes sobre as suas regras, a forma de implementar a observação parcial no simulador

do jogo Pacman, o sistema de mensagens que permite comunicações entre Ghosts e controladores simples do Ghost e do Pacman.

### Regras da CMPvsGT 2016-2018

As regras da CMPvsGT 2016 continuam a ser usadas na CMPvsGT 2017 e CMPvsGT 2018. Estas regras estão divididas em três partes, regras para o jogo Pacman, regras específicas para o Ghost-Team e regras para determinar o controlador Ghost-Team vencedor:

1. **Regras aplicadas no Simulador do jogo Pacman na CMPvsGT 2016-2018:** O jogo consiste num total de 4 labirintos diferentes (i.e., os labirintos A, B, C e D da Figura 2.3). O Pacman joga num labirinto de cada vez pela seguinte ordem A-B-C-D. Quando o Pacman completa o labirinto D, volta a jogar no A e continua a mesma sequência de labirintos até o Pacman perder a totalidade das suas vidas. O Pacman começa com 3 vidas e pode obter mais uma vida se conseguir atingir 10000 pontos. O Pacman ganha pontos por comer Pill/Power-Pill/Ghost e não há aumento de dificuldade para o Pacman por completar um labirinto, que torna este jogo diferente do jogo original Pacman. O simulador do jogo Pacman 2018 não inclui as frutas do jogo original Pacman. Para completar um labirinto, o Pacman necessita de comer todos os Pill e Power-Pills ou ainda possuir vidas quando passar os 4000 ticks no labirinto. O objetivo do Pacman é maximizar a sua pontuação e o objetivo do Ghost-Team é minimizar essa pontuação.

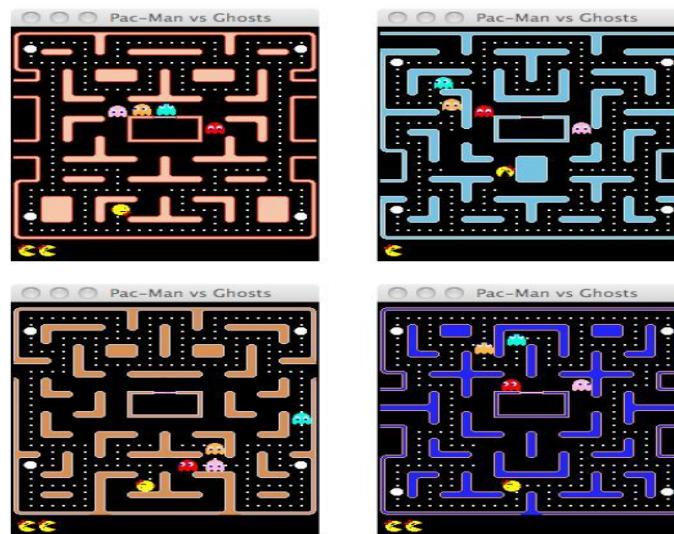


Figura 2.3: Os labirintos A, B, C e D do simulador do jogo Pacman.

2. **Regras específicas para Ghost Team 2016-2018:** Aplicam-se 3 regras no Ghost Team: (i) a primeira é que os Ghosts em circunstâncias normais, não podem voltar para trás, o que significa que os Ghosts só podem mudar de direção em pontos de interceção do labirinto; (ii) a segunda é um evento chamado “Inversão Global”, que também ocorre no jogo original Pacman onde todos os Ghosts invertem a sua atual direção quando mudam do modo perseguir para o modo dispersar ou vice-versa [3]. No simulador do jogo Pacman 2018, o evento “Inversão Global” pode ocorrer em qualquer ‘tick’ do jogo com a probabilidade de 0,005; (iii) a terceira regra é exclusiva para o

simulador do jogo Pacman 2018, onde cada labirinto Ghost Team tem um tempo limite de 4000 ticks para gastar todas as vidas do Pacman. Se o Pacman ainda possuir pelo menos 1 vida depois de passar 4000 ticks no atual labirinto, ganha os pontos dos restantes Pill/Power-Pill ainda presentes e passa para o próximo labirinto.

- 3. Regras para determinar o controlador Ghost-Team/Pacman vencedor da CMPvsGT 2016-2018:** Aa CMPvsGTs 2016-2018 são uma competição do tipo, todos contra todos, adaptado à natureza bipartida dos controladores envolvidos (Pacman e Ghost Team). Os controladores que participam na CMPvsGT são divididos em 2 grupos, de controladores Pacman e controladores Ghost Team. Cada controlador Pacman vai jogar 100 partidas contra cada um dos controladores Ghost Team, depois de realizá-las, o controlador Pacman que acumulou mais pontos nas suas partidas é o vencedor da CMPvsGT do lado Pacman e o controlador Ghost Team que originou um valor Pacman menor, é o vencedor CMPvsGT do lado Ghost Team.

### **Implementação de observação parcial no simulador do jogo Pacman 2016-2018**

Para implementar observação parcial na CMPvsGT 2016, foram considerados 3 tipos de observação parcial e um foi escolhido para ser aplicado nos simuladores de jogo Pacman 2016-2018. Os 3 tipos de observação parcial que foram considerados são:

- 1. Linha de visão:** Os agentes Pacman e Ghosts conseguem ver em linhas estreitas até ao alcance da sua visão, a não ser que haja um obstáculo no caminho. Apenas as paredes do labirinto são considerados obstáculos para a visibilidade dos agentes, o que significa que podem ver através de Pills/Ghosts /Pacman e podem ver através de 4 direções; cima, baixo, esquerda e direita até ao limite do alcance da sua visão ou até ver uma parede do labirinto.
- 2. Linha de visão voltada para a frente:** É o mesmo que a linha de visão, excepto com uma restrição, os agentes Pacman e Ghosts só podem ver apenas numa direção, neste caso, a atual direção que estão a atravessar.
- 3. Observação parcial de base radial:** Os agentes Pacman e Ghosts conseguem ver tudo o que esteja dentro de uma distância "x", o que significa que têm uma visão circular quando é usado a distância Euclideana e uma visão de forma de diamante quando é usado distancia Manhattan.

Entre estes tipos de observação parcial foi seleccionada a "Linha de visão" por ser a mais realista sem ser demasiado restrito. Os simuladores do Jogo Pacman 2016-2018 permitem editar o alcance da visão dos agentes. A Figura 2.4 apresenta duas figuras com as observações completa e parcial na perspectiva do Pacman.

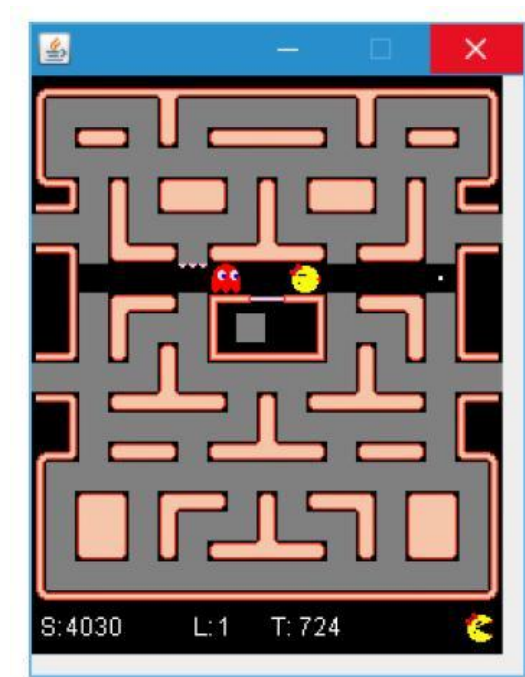
### **Descrição detalhada do problema que os controladores Ghost Team têm de resolver.**

Para permitir trabalho de equipa entre Ghost com observação parcial, foi implementado um sistema de mensagens nos simuladores do Jogo Pacman 2016-2018. Este sistema está dividido em duas partes:





(a) Observação completa na perspectiva do Pacman



(b) Observação parcial na perspectiva do Pacman

Figura 2.4: Tipo de observações na perspectiva do Pacman

1. **Mensageiro:** o mensageiro pode enviar as suas mensagens a um ou a múltiplos recetores (Ghosts), o programador pode adicionar um custo à ação de enviar mensagens, para limitar o seu número e forçar o controlador a ser mais criterioso nas mensagens que envia.
2. **Mensagem:** As mensagens carregam uma variável de dados, que pode ser um número ou algo mais complexo.

É possível haver um ou mais tipos de mensagens neste sistema. A Equação 2.1 é usada para calcular quanto tempo (ticks no simulador do Jogo Pacman) as mensagens demoram a chegar ao seu destino.

$$T = A + C + (X * M) \quad (2.1)$$

onde  $T$  é o tick que a mensagem vai ser entregue,  $A$  é o tick que a mensagem chega ao sistema,  $C$  é a constante atraso para todas as mensagens de forma igual,  $M$  é o atraso do tipo de mensagem e  $X$  é a constante atraso multiplicador aplicado para o atraso do tipo de mensagem.

### 2.1.6 Descrição detalhada do problema que os controladores Ghost Team têm de resolver.

Tal como no jogo Pacman, o objetivo do Ghost Team no simulador é apanhar o Pacman até ficar sem vidas e limitar ao máximo possível a pontuação do mesmo no final da partida. As regras do simulador do jogo Pacman tornam a tarefa de Ghost Team mais difícil de ser realizada com eficiência, mesmo

com observação completa, pelas seguintes razões:

1. Os Ghosts andam à mesma velocidade que o Pacman, logo, apenas um Ghost não poderá apanhar, se o Pacman fizer movimentos para afastar-se desse Ghost. Para os Ghosts apanharem o Pacman eficazmente, tem de cercá-lo por todas as direções, onde ele se pode mover e dirigirem-se para ele.
2. O Pacman não precisa de apanhar todos os Pills para passar de nível no simulador do jogo Pacman, basta ainda possuir vidas depois de passar 4000 ticks no atual nível da partida, o que acontece a seguir é o Pacman ganhar os pontos dos restantes Pills no atual nível e passar de nível.
3. A qualquer momento (tick) de uma partida no simulador do jogo Pacman, o Ghost Team faz uma Inversão Global, com uma probabilidade de 0,005, independentemente do controlador Ghost aplicado no Ghost Team. A Inversão Global pode tanto ajudar como dificultar a tarefa do Ghost Team para apanhar o Pacman, dependendo do estado do jogo.

Com a implementação de observação parcial tipo “linha de visão” e o sistema de mensagens no simulador do Jogo Pacman, o Ghost Team ganha uma vantagem e uma desvantagem para realizar a sua tarefa:

- A vantagem, consiste no Pacman poder ser apanhado com apenas um Ghost, se conseguir chegar suficientemente perto dele, sem ser avistado, de modo a que o Pacman não tenha tempo para reagir ao Ghost.
- A desvantagem, consiste nos Ghosts precisarem de ver o Pacman para poder perseguir-lo, sem o sistema de mensagens apenas os Ghosts que o veem o podem perseguir e com o sistema de mensagens é possível os quatro Ghosts perseguirem o Pacman caso algum o veja.

Tendo em conta as regras do simulador do jogo Pacman, a implementação de observação parcial tipo “linha de visão” e o sistema de mensagens, só existem dois casos em que um Ghost apanha o Pacman. Primeiro caso devido à incompetência do Pacman, em que Pacman não faz o movimento correto para evitar um Ghost que podia evitar. Segundo caso devido a competência do Ghost Team, no qual os Ghosts conseguem cercar o Pacman de modo a não ter fuga possível.

Se o Ghost Team não comunica entre si, a sua única hipótese de apanhar o Pacman é devido a incompetência de Pacman. Nota é possível os Ghosts cercarem o Pacman mesmo sem comunicarem entre si mas isso devesse mais a sorte do que à competência do Ghost Team. Se o Ghost Team comunica entre si, podem apanhar o Pacman tanto por incompetência deste, como por competência do Ghost Team.

## Capítulo 3

# Controladores Pacman e Ghost Team

Este capítulo apresenta os controladores Pacman e Ghost Team que foram implementados no contexto desta dissertação.

### 3.1 Controladores Ghost e Pacman da CMPvsGT 2017

Williams, Lucas e Fairbank apresentam no artigo[4] uma investigação no efeito de observação parcial em jogos Pacman em termos de dificuldade e divertimento.

Dado que a investigação se foca mais nos tipos de observação parcial em vez dos controladores Ghost/Pacman, as conclusões desta investigação são irrelevantes para a tese. Excetuando o facto de que é impossível para os agentes prever as ações de Ghosts ou Pacman mesmo que sejam apenas reativos e deterministas. Mesmo com observação completa, o controlador Ghost Team MCTS [5] que foca em aprendizagem em tempo real e ganhou a CMPvsGT 2011, não dependia completamente do preditor do movimento Pacman para eliminar Pacman apesar de usar dados fiáveis.

A relevância deste artigo[4] para a tese, prende-se, não por causa do seu conteúdo, mas sim, porque acompanham o artigo, controladores Ghost e Pacman da CMPvsGT 2017 que irão ser usados para enriquecer o método de testes e o método de avaliação desta tese.

Os controladores Pacman da CMPvsGT 2017 que funcionam no simulador do jogo Pacman 2018 são:

1. Tosc: controlador Pacman com rank 4<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017
2. BaHe: controlador Pacman com rank 5<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017
3. Aldo: controlador Pacman com rank 6<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017
4. TilsfePr: controlador Pacman com rank 11<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017
5. AnAtvats: controlador Pacman com rank 16<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017
6. LeHoNiPO: controlador Pacman com rank 17<sup>o</sup> na CMPvsGT 2017

7. DaHoPhKi: controlador Pacman com rank 18º na CMPvsGT 2017
8. MazeAnku: controlador Pacman com rank 20º na CMPvsGT 2017

Os controladores Ghost da CMPvsGT 2017 que funcionam no simulador do jogo Pacman 2018 são:

1. TilsFePr: controlador Ghost com rank 2º na CMPvsGT 2017
2. ToSc: controlador Ghost com rank 7º na CMPvsGT 2017
3. LeHoNiPO: controlador Ghost com rank 8º na CMPvsGT 2017
4. ShMaRaSi: controlador Ghost com rank 9º na CMPvsGT 2017
5. Anatvats: controlador Ghost com rank 11º na CMPvsGT 2017
6. KeAIAnPe: controlador Ghost com rank 15º na CMPvsGT 2017
7. RiMu: controlador Ghost com rank 17º na CMPvsGT 2017

### **3.2 Os controladores *Start***

A equipa de desenvolvimento do simulador do jogo Pacman 2018 criou o StartPacman, StartGhost-POComm e StartGhost-PO. Estes controladores também participaram nas competições e obtiveram os seguintes resultados:

1. StartPacman: controlador Pacman com rank 21º na CMPvsGT 2017
2. StartGhost-POComm (Original): controlador Ghost com rank 4º na CMPvsGT 2017
3. StartGhost-PO (Original): controlador Ghost com rank 12º na CMPvsGT 2017

### **3.3 Controladores StartGhost-PO e StartGhost-POComm**

Williams, Perez-Liebana e Lucas apresentam no artigo[2], o controlador StartGhost, que foi desenvolvido para poder competir na CMPvsGT de 2016 a 2018. Existem 2 versões deste controlador que vêm com o simulador do jogo Pacman, a StartGhost-PO (sem comunicação) e a StartGhost-POComm (com comunicação) as quais servem para apresentar a forma como está estruturado o código de um controlador Ghost e como está implementado o sistema de comunicação nos controladores Ghosts.

O controlador StartGhost-PO consiste num simples controlador Ghost que apenas se foca no Pacman e ignora os restantes Ghosts no labirinto, durante todo o jogo. Quando encontra o Pacman (descobre a posição de Pacman) tem probabilidade  $P$  de perseguir o Pacman e probabilidade  $1 - P$  de fazer um movimento aleatório. No caso de não saber a posição de Pacman faz sempre um movimento aleatório. Segue abaixo um descrição detalhada da implementação do controlador StartGhost-PO e StartGhostComm-PO:

- **Fase Movimento:** Na versão StartGhost-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão StartGhostComm-PO, quando o agente visualizar o Pacman, ele envia uma mensagem para os restantes Ghosts com a posição do Pacman, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.

- **Fase Decisão**

1. **Recolher input:** Na versão StartGhost-PO: o agente tenta descobrir a posição do Pacman. Se estiver visível para o agente é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida para o agente. Na versão StartGhost-POComm: o agente tenta descobrir a posição do Pacman. Se estiver visível para o agente ou receber uma mensagem recente de outro Ghost é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida para o agente.
2. **Processar input:** Nas versões StartGhostComm-PO e StartGhost-PO, se o agente desconhece a posição do Pacman então decide fazer um movimento aleatório. Se o agente conhece a posição do Pacman verifica duas condições; uma, o Pacman está perto de um Power Pill, outra, o agente está no estado comestível. Basta uma destas condições ser verdadeira para o agente decidir fazer um movimento de afastamento do Pacman. No caso de o agente conhecer a posição do Pacman e ambas as condições falharem é feita uma última verificação, usando um *random*, o qual devolve um valor entre 0 e 1 que irá ser comparado com um valor fixo do agente, representando a probabilidade de perseguir o Pacman. Se o *random* devolver um valor menor ou igual ao valor fixo, o agente vai fazer um movimento de aproximação do Pacman, caso contrário vai fazer um movimento aleatório.
3. **Executar output:** Nas versões StartGhost-POComm-PO e StartGhost-PO), se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de *pathfinding*, onde recebe a posição do agente e do Pacman e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente e o Pacman. Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação, faz uma consulta de *pathfinding* do jogo em que recebe a posição do agente e do Pacman e executa um movimento que reduz a distância entre o agente e o Pacman. Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um “random” para selecionar qual o movimento na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador StartGhost-PO:** O controlador StartGhost-PO só tem um parâmetro que varia entre 0.0 e 1.0 que representa a probabilidade de perseguir o Pacman. É o mesmo valor fixo mencionado na segunda parte da fase decisão (processar input).

Há dois principais objetivos do método de testes dos controladores StartGhost-PO e StartGhost-POComm. Primeiro, através do controlador StartGhost-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts sem comunicação, que perseguem o Pacman com diferentes níveis de agressividade. Segundo, através do controlador StartGhost-POComm vão ser realizados testes para avaliar a

eficiência de Ghosts com comunicação, que perseguem o Pacman com diferentes níveis de agressividade.

Consequentemente, há duas expectativas iniciais nas fase de testes e competições Extra Ghost Team 2018. Primeiro, para o controlador StartGhost-PO, as expectativas são baixas no seu desempenho nas fase de testes e competição Extra Ghost Team 2018 sem comunicação, devido à simplicidade do controlador e ao fraco desempenho na CMPvsGT 2017. Segundo, para o controlador StartGhostPO-Comm, as expectativas são médias no seu desempenho nas fase de testes e competição Extra Ghost Team 2018 com comunicação, devido a simplicidade do controlador e ao forte desempenho na CMPvsGT 2017.

### 3.4 Controlador FS-PO

Chad Birch apresenta num artigo [3], a forma como o Original Ghost Team tentava apanhar o Pacman. Cada Ghost do Original Ghost Team tem a sua própria estratégia para apanhar o Pacman, o Ghost Blue tem a estratégia mais original de todos, dado que usa não só a posição do Pacman como também a posição do Ghost Red para decidir onde virar no labirinto. Usando o estilo do Ghost Blue como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Firsts View Partial Observation (FS-PO). Existem duas versões deste controlador, o FS-PO (sem comunicação) e FS-POComm (com comunicação).

O controlador FS-PO consiste num controlador Ghost que se foca em encontrar dois elementos do jogo, o Pacman e o Ghost. Quando processar os elementos do jogo Pacman visíveis para o agente, o agente faz um movimento conforme o seu estado e a combinação dos tipos de elementos detetados. No caso de não detetar elementos faz um movimento aleatório. No caso de o agente encontrar vários elementos idênticos, vai considerar apenas o mais próximo do agente. Segue abaixo uma descrição detalhada do controlador:

- **Fase Movimento:** Na versão FS-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão FS-POComm, quando o agente visualiza o Pacman manda uma mensagem para os restantes Ghosts com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.
- **Fase Decisão:**
  1. **Recolher input:** Na versão FS-PO, O agente tenta descobrir a posição do Pacman e dos três Ghosts restantes. Se o agente visualizar um ou mais Ghosts/Pacman, obtém as suas posições, caso contrário as mesmas são desconhecidas para o agente. Na versão FS-POComm, o agente tenta descobrir a posição do Pacman e dos três Ghosts restantes. Se o agente visualizar o Pacman ou receber uma mensagem recente de outro Ghost, obtém a posição do Pacman, caso contrário a sua posição é desconhecida. Se o agente visualizar um dos restantes Ghosts, o agente obtém a sua posição, caso contrário a sua posição é desconhecida. Este processo é aplicado para cada um dos restantes três Ghosts.

2. **Processar input:** Nas versões FS-POComm e FS-PO: Depois de obter todas as posições do Pacman e restantes Ghosts visíveis para o agente, este processa essa informação em 3 variáveis: (i) **Estado do Agente-** Varia entre 0 e 1. Os significados de cada valor são, “0” agente no estado não comestível e “1” agente no estado comestível; (ii) **Estado do Pacman-** Varia entre 0 e 2. Os significados de cada valor são, “0” desconhece a posição do Pacman, “1” conhece a posição do Pacman e está longe de um Power Pill e “2” conhece a posição do Pacman e está perto de um Power Pill; (iii) **Estado do Ghost-** Varia entre 0 e 2. Os significados de cada valor são, “0” desconhece a posição do Ghost, “1” conhece a posição do Ghost e está no estado não comestível “2” conhece a posição do Ghost e está no estado comestível. Ao contrário dos restantes estados em que só há um elemento, neste caso há três, portanto quando houver mais que um Ghost visível apenas o mais próximo do agente vai ser relevante e os restantes ignorados. Depois de obter os valores atuais destas três variáveis toma uma decisão de movimento dependendo da combinação de valores entre elas. Os tipos de movimentos possíveis são: movimentos de aproximação, de afastamento e aleatórios. Por exemplo, no caso dos valores das últimas duas variáveis serem 0, o agente decide fazer um movimento aleatório.
3. **Executar output:** Nas versões FS-POComm / FS-PO, se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding, onde recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que reduz a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um “random” para selecionar qual o movimento na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador:** Para os controladores FS-PO e FS-POComm, os parâmetros consistem nos movimentos aproximação/afastamento/aleatório que são implementados para cada combinação possível dos valores do Estado do agente, do Estado do Pacman e do Estado do Ghost.(18 casos possíveis).

Através do controlador FS-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts sem comunicação, usando apenas o input da posição do Pacman e do Ghost mais próximo do agente, caso estejam visíveis. Através do controlador FS-POComm vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts com comunicação, usando apenas o input da posição do Pacman e do Ghost mais próximo do agente, caso estejam visíveis.

Para os controladores FS-PO e FS-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são baixas, porque ignora completamente dois dos quatros Ghosts no labirinto e também porque a estrutura dos parâmetros vai ser bastante limitado quanto podia ser otimizada.

## 3.5 Controlador FRIGHT-PO

Gagne e Bates apresentam num artigo [6], um controlador Ghost que usa um sistema de regras flexíveis para tomar decisões para onde se vai mover. Usando um sistema de regras flexíveis como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Flexible Rule-base Intelligent Ghost Team Partial Observation (FRIGHT-PO). Existem duas versões deste controlador, FRIGHT-PO (sem comunicação) e FRIGHT-POComm (com comunicação)

O controlador FRIGHT-PO consiste num controlador Ghost que processa o estado do jogo em onze condições, dando um valor para cada uma. Compara o estado do jogo com as suas regras e a primeira que aceitar completamente o estado do jogo (os valores das onze condições) é aplicado o movimento definido para essa regra. No caso de não haver regras que aceitem o estado do jogo, o agente faz um movimento aleatório. Segue abaixo uma descrição detalhada:

- **Fase Movimento:** Na versão FRIGHT-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão FRIGHT-POComm, quando o agente visualiza o Pacman envia uma mensagem para os restantes Ghost com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.
- **Fase Decisão:**
  1. **Recolher input:** Nas versões FRIGHT-POComm e FRIGHT-PO, o agente analisa o estado do jogo na sua perspectiva dando valores as seguintes onze variáveis: **1ª Estado do agente-** Esta variável representa o estado atual do agente, o seu valor pode variar entre 1-2. valor 1 'Estado não comestível' e valor 2 'Estado comestível'; **2ª Power Pill próximo do agente-** Esta variável representa se há um Power Pill próximo do agente, o seu valor pode variar entre 0-1. valor 0 'não há Power Pill perto do agente' e o valor 1 'há um Power Pill perto do agente'; **3ª Pacman visível-** Esta variável representa se o agente sabe a posição do Pacman, seu valor varia entre 0-1. valor 0 'posição do Pacman desconhecida' e valor 1 'posição do Pacman conhecida'; **4ª Pacman Near Pill -**Esta variável representa se há um Power Pill próximo do Pacman, o seu valor pode variar entre 0-1. valor 0 'não há Power Pill perto do Pacman e o valor 1 'há um Power Pill perto do Pacman'. Se o agente não sabe a posição do Pacman o valor vai ser sempre 0. **5ª Ghosts próximos do agente-** Esta variável representa quantas posições de Ghosts o agente sabe, excluindo-se a si próprio, o seu valor varia entre 0-3; **6ª Ghosts comestíveis visíveis -** Esta variável representa quantas posições de Ghosts comestíveis o agente sabe, excluindo-se a si próprio, o seu valor varia entre 0-3; **7ª Ghosts não comestíveis visíveis-** Esta variável representa quantas posições de Ghosts não comestíveis o agente sabe, excluindo-se a si próprio, o seu valor varia entre 0-3; **8ª Ghosts não comestíveis muito próximos do agente-** Esta variável representa, quantas posições de Ghosts não comestíveis estão muito próximos do agente, excluindo a posição do agente, seu valor varia entre 0-3; **9ª Ghosts próximos do Pacman -** Esta variável representa quantas posições Ghosts o agente sabe que estão próximos do Pacman,



excluindo-se a si próprio, o seu valor varia entre 0-3. Se o agente não souber a posição do Pacman o valor vai sempre ser 0; **10ª Número total de Power Pills** - Esta variável representa quantos Power Pills ainda estão no atual nível do jogo Pacman, o seu valor varia entre 0-4; **11ª Tempo do nível** - Esta variável representa o tempo decorrido no atual nível do jogo Pacman, o seu valor varia entre 0-4000. Entre estas onze variáveis, apenas o Pacman visível varia ligeiramente como obter o valor entre a Versão sem comunicação e a Versão com comunicação. Na versão FRIGHT-PO o agente só pode saber a posição do Pacman se estiver visível para o agente, caso contrário a posição do Pacman é-lhe desconhecida. Na versão FRIGHT-POComm o agente pode saber a posição do Pacman se estiver visível para o agente ou receber uma mensagem recente de outro Ghost, caso contrário a posição do Pacman é-lhe desconhecida.

2. **Processar input:** Nas versões FRIGHT-POComm e FRIGHT-PO, a estrutura como o controlador FRIGHT-PO é focada na seguinte maneira. O controlador FRIGHT-PO usa regras para decidir que movimento vai executar. Uma regra é constituída por onze condições e uma ação. As condições da regra representam que valores do estado do jogo são aceites, a ação da regra é o movimento que o agente vai fazer, caso a regra aceite o estado do jogo. As Condições da regra têm três tipos diferentes: **1º Singular**- Em que aceita apenas um determinado valor de uma variável do estado do jogo. Exemplo 0 em (0-1); **2º Plural** - Em que aceita alguns determinados valores mas não aceita todos os possíveis de uma variável do estado do jogo. Exemplo (0-1) em (0-3); **3º Total** - Em que aceita todos os valores possíveis de uma variável do estado do jogo. Numa comparação do estado do jogo e uma regra, cada condição da regra vai avaliar uma variável específica do estado do jogo. Se a variável do estado do jogo for um valor que a condição da regra aceite, continua a avaliar o seu estado, até todas as condições da regra o aceitarem ou até uma condição da regra rejeitar o estado do jogo. No caso de uma condição da regra rejeitar o estado do jogo, o agente termina a atual comparação do estado do jogo com a regra, passando para a sua próxima regra e não havendo mais regras o agente faz um movimento aleatório. No caso de todas as condições da regra aceitarem o estado do jogo, o agente deixa de fazer comparações do mesmo e das suas restantes regras, executando uma ação da regra que aceitou o estado do jogo. As ações da regra têm cinco tipos diferentes: **1º Ataque**- Em que o agente faz um movimento de aproximação para o Pacman; **2º Fugir**- Em que o agente faz um movimento de afastamento do Pacman; **3º Dispersar**- Em que o agente faz um movimento de afastamento de um Ghost não comestível/comestível; **4º Defender**- Em que o agente faz um movimento de aproximação para um Ghost comestível; **5º Aleatório** - Em que o agente faz um movimento aleatório.
3. **Executar output:** Nas versões FRIGHT-POComm e FRIGHT-PO, depois do agente encontrar uma regra que aceita o atual estado do jogo, o agente aplica o movimento contido na regra. Existem 5 tipos de movimentos possíveis numa regra que são: **1º Ataque**- O agente faz um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe

a posição do agente e do Pacman e executa o movimento que reduz mais a distância entre o agente e o Pacman; **2º Fugir**- O agente faz um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente e Pacman e executa o movimento que aumenta mais a distância entre o agente e o Pacman; **3º Dispersar**- O agente faz um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente e Ghost não comestível/comestível e executa o movimento que aumenta mais a distância entre o agente e o Ghost não comestível/comestível; **4º Defender**- O agente faz um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente e do Ghost comestível, executando o movimento que reduz a distância entre o agente e o Ghost comestível; **5º Aleatório** - O agente faz um movimento aleatório, obtém os movimentos possíveis dadas as limitações de movimentos dos Ghosts numa lista e usa um random para selecionar um dos movimentos na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador:** Para o controlador FRIGHT-PO os parâmetros consistem nas regras que estão implementados no controlador. Não há um limite concreto, para quantas regras o controlador FRIGHT-PO pode ter, mas têm de estar ordenadas da regra mais complexa à mais simples, para ser possível usar todas as regras implementadas no controlador.

Através do controlador FRIGHT-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts sem comunicação, tomando decisões de movimentos a partir das regras flexíveis que têm disponíveis. Através do controlador FRIGHT-POComm vai ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts com comunicação, tomando decisões de movimento a partir das regras flexíveis que têm disponíveis.

Para os controladores FRIGHT-PO e FRIGHT-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são médias, porque a versão original deste controlador mostrou ter um potencial limitado, mas com regras apropriadas consegue ser eficiente em apanhar o Pacman num ambiente de observação parcial.

### 3.6 Controlador DW-PO

Svensson e Johansson apresentam num artigo [7], um controlador Ghost que usa o conceito de Influencial map-base, utilizando elementos do mapa como fontes atrativas ou repelentes. Usando os conceitos Influencial map-base e do controlador Ghost FS-PO, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Distance Weight Partial Observation (DW-PO).

Existem duas versões deste controlador, DW-PO (sem comunicação) e DW-POComm (com comunicação). O controlador DW-PO consiste num controlador que processa o valor de cada tipo de elemento do jogo Pacman visível ao agente e a decisão do seu próximo movimento depende exclusivamente do tipo de elemento com o valor mais alto. O processo para atribuir um valor para um elemento tem duas fases: (i) **identificação**: o elemento recebe um valor dependendo do tipo de elemento, do seu atual estado e do estado do agente; (ii) **valorização**: em que reduz o valor do elemento, quanto maior for a distância entre si e o agente. O controlador repete este processo para todos os elementos visíveis, foca-se no

de maior valor e faz um movimento dependendo dos estados do agente e do elemento focado. Segue abaixo uma descrição detalhada:

- **Fase Movimento:** Na versão DW-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão DW-POComm, quando o agente visualiza o Pacman envia uma mensagem para os restantes Ghost com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.
- **Fase Decisão:**
  1. **Recolher input:** Na versão DW-PO, o agente tenta descobrir a posição do Pacman e dos restantes três Ghosts. Se o agente visualizar um ou mais Ghosts ou o Pacman, obtém as suas posições, caso contrário as suas posições são-lhe desconhecidas. Na versão DW-POComm, o agente tenta descobrir a posição do Pacman e dos restantes três Ghosts. Se o agente visualizar o Pacman ou receber uma mensagem recente de outro Ghost, obtém a posição do Pacman, caso contrário a sua posição é desconhecida. Se o agente visualizar um dos restantes Ghosts, o agente obtém a sua posição, caso contrário a mesma é desconhecida para o agente. Este processo é aplicado para cada um dos restantes três Ghosts.
  2. **Processar input:** Nas versões DW-POComm e DW-PO, a estrutura como o controlador DW-PO funciona é explicada nas duas variáveis seguintes: (i) **valor do Pacman:** esta variável representa o atual valor para o agente se focalizar no Pacman e decidir que movimento fazer; (ii) **valor do Ghost:** esta variável representa o atual valor para o agente se focalizar no Ghost com maior valor e decidir que movimento fazer. Estas duas variáveis só podem ter valores positivos ou nulos, depois de serem processados os inputs para gerar os valores destas variáveis, são comparados, e os três resultados possíveis são: (i) se o valor do Pacman for maior que o valor do Ghost, o agente vai fazer um movimento de aproximação ou afastamento do Pacman tendo em consideração o seu atual estado e o estado do Pacman; (ii) se o valor do Ghost for maior que o valor do Pacman, o agente vai fazer um movimento de aproximação ou afastamento do Ghost com maior valor para o agente tendo em consideração o seu atual estado e o estado desse Ghost; (iii) se o valor do Ghost for igual ao valor do Pacman ou se forem ambos 0, o agente faz um movimento aleatório. O processo para dar os valores às variáveis, valor do Pacman e valor do Ghost, consiste em duas fases. A primeira fase é a Identificação onde recebe os inputs, e determina se o agente sabe a posição do Pacman e os restantes Ghost visíveis para si. A seguir dá um dos oito valores fixos ao valor do Pacman, dependendo do estado do Pacman e do agente e dá outro valor fixo para cada um dos restantes Ghost, dependendo do estado do Ghost e do agente. Se o agente não souber a posição do Pacman o valor do Pacman é igual a zero, se o agente não souber uma posição dos restantes três Ghosts, o valor do Ghost é igual a zero. A Segunda fase é a valorização - atualiza os valores das variáveis da seguinte maneira: (i) valor actual do Pacman = valor fixo Pacman / (distancia entre agente e Pacman); (ii) valor actual do Ghost = valor fixo do Ghost /

(distancia entre agente e Ghost mais próximo de agente); (iii) valor do Ghost vai ser igual ao valor do Ghost com maior valor.

3. **Executar output:** Nas versões DW-POComm e DW-PO, se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding, onde recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que reduz a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um “random” para selecionar qual o movimento na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador:** O controlador DW-PO tem 8 parâmetros que são os oito valores fixos, em que dois são escolhidos para as variáveis valor do Pacman e valor do Ghost na primeira fase do processo de dar valores às variáveis. Os oito valores fixos são oito variáveis cujo valor mantém-se constante pelo jogo todo, podem ter valores positivos ou nulos. Os nomes das variáveis são: (i) Agente Não comestível e Ghost Não comestível; (ii) Agente Não comestível e Ghost comestível; (iii) Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill; (iv) Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill; (v) Agente comestível e Ghost Não comestível; (vi) Agente comestível e Ghost comestível; (vii) Agente comestível e Pacman longe de Power Pill; (viii) Agente comestível e Pacman perto de Power Pill. São os mesmos 8 valores fixos mencionados na 2ª parte da fase decisão, processar input, na fase da Identificação.

Através do controlador DW-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts sem comunicação, em que os restantes Ghosts e Pacman têm influência no agente se forem visíveis para este, e apenas o que tiver mais influência vai afetar os seus movimentos. Através do controlador DW-POComm vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts com comunicação, em que os restantes Ghosts e Pacman têm influência no agente se forem visíveis para este, e apenas o que tiver mais influência vai afetar os seus movimentos.

Para os controladores DW-PO e DW-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são altas, dado que têm em consideração, não apenas os tipos de Ghosts e do Pacman visíveis, como também a distância entre o agente e os restantes Ghosts e Pacman.

### 3.7 Controlador Magnet-PO

Svensson e Johansson apresentam num artigo [7], um controlador Ghost que usa o conceito de Influencial map-base com elementos do mapa como fontes atrativas ou repelentes. Usando o conceito Influencial map-base, conjuntamente com o conceito dos ímans, levaram à inspiração para desenvolver um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Magnet Partial Observation (Magnet-PO). Existem duas versões deste controlador, Magnet-PO (sem comunicação) e Magnet-POComm

(com comunicação). O controlador Magnet-PO consiste num controlador que processa o valor de cada direcção em que se pode mover tendo em conta os elementos do jogo Pacman visíveis e escolhe a direcção com maior valor. O processo para atribuir um valor a cada direcção que o agente pode ir tem duas fases: (i) **identificação**: em que o agente descobre quais as direcções em que pode ir na sua actual posição; (ii) **valorização**: em que é feita a soma dos valores de todos os elementos visíveis para cada direcção em que o agente pode ir. Depois do controlador completar o processo, escolhe a direcção com melhor valor e faz um movimento nessa direcção. Segue abaixo uma descrição detalhada:

- **Fase Movimento**: Na versão Magnet-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão Magnet-POComm, quando o agente visualiza Pacman manda uma mensagem para os restantes Ghost com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição de Pacman.
- **Fase Decisão**:
  1. **Recolher input**: Na versão Magnet-PO, o agente tenta descobrir a posição de Pacman, dos 3 Ghosts restantes para poder definir a sua posição seguinte. Se o agente visualiza os Ghosts/Pacman, este obtém as suas posições, caso contrário as suas posições são desconhecidas. Na versão Magnet-POComm, o agente tenta descobrir a posição de Pacman, dos 3 Ghosts restantes para poder definir a sua posição seguinte. Se o agente visualizar o Pacman ou receber uma mensagem recente de outro Ghost obtém a posição do Pacman, caso contrário a sua posição é desconhecida. Se o agente visualizar os restantes Ghosts, também obtém a posição destes, caso contrário a sua posição é desconhecida.
  2. **Processar input**: Nas versões Magnet-POComm e Magnet-PO, O controlador Magnet-PO baseia-se nas três variáveis seguintes: (i) **valor da 1ª direcção**: esta variável representa o valor actual para o agente decidir qual o primeiro movimento a efetuar; (ii) **valor da 2ª direcção**: esta variável representa o valor actual para o agente decidir qual o segundo movimento a efetuar; (iii) **valor da 3ª direcção**: esta variável representa o valor actual para o agente decidir qual o terceiro movimento a efetuar, no caso de o agente só se poder mover em duas direcções esta variável assume o valor de -999. Estas três variáveis podem ter valores positivos, negativos ou nulos. Depois de serem processados os seus inputs para gerar os valores destas variáveis serão comparados e os dois resultados possíveis são: (i) se uma destas variáveis for superior às restantes, significa que o agente vai fazer o movimento de aproximação à mesma; (ii) se as três variáveis tiverem o mesmo valor ou o valor da 1ª direcção for o mesmo que o da 2ª direcção e o da 3ª direcção for -999, o agente faz um movimento aleatório. O processo para dar os valores das variáveis valor da 1ª direcção, valor da 2ª direcção e valor da 3ª direcção consiste em duas fases. Na primeira fase Identificação, onde recebe os inputs, determina se o agente sabe a posição de Pacman, dos restantes Ghosts e em quantas direcções se pode mover. Se o agente se mover em três direcções, continua o processo para as três variáveis, se for apenas em duas direcções faz o processo para o valor da 1ª direcção, valor da 2ª direcção e resulta logo o valor -999 para o valor da 3ª direcção. Na segunda fase

de valorização, é aplicada para cada variável que é aprovada da fase de Identificação, um valor. Para cada um dos restantes Pacman/Ghost que o agente sabe a sua posição é dado um de **oito valores fixos**, dependendo do estado do agente e do Pacman/Ghost. Se se desconhecer a posição do Pacman/Ghost o seu valor vai ser 0. A seguir atualiza os valores do Pacman/Ghost e o valor da direção da seguinte maneira:

- valor da Direção = valor da 1ª direção
- valor actual do Pacman = valor fixo Pacman / (distância entre 1ª posição da direção e Pacman)
- valor actual do Ghost = valor fixo do Ghost / (distância entre 1ª posição da direção e Ghost mais próximo de agente).
- valor da 1ª direção = valor actual do Pacman + valor actual do Ghost 1+ valor do Ghost 2+ valor actual do Ghost3.

3. **Devolver output:** Nas versões Magnet-POComm e Magnet-PO, se o agente decidir fazer movimento de aproximação para a direcção de maior valor, faz uma consulta de Pathfinding do jogo e a partir daí movimenta-se para essa direcção. Caso todas as direcções tenham o mesmo valor o agente executa um movimento aleatório, recolhendo os movimentos possíveis, colocando-os numa lista e usa um “random” para seleccionar um deles, executando-o.

- **Parâmetros do controlador:** O controlador Magnet-PO tem oito parâmetros que consistem nos **oito valores fixos**, necessários para calcular os valores das variáveis da **1ª direção**, da **2ª direção** e da **3ª direção** na segunda fase do processo. Os **oito valores fixos** mantêm-se constante pelo jogo todo e podem ter valores positivos, negativos ou nulos. Os nomes das variáveis são: (i) Agente Não comestível e Ghost Não comestível; (ii) Agente Não comestível e Ghost comestível; (iii) Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill; (iv) Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill; (v) Agente comestível e Ghost Não comestível; (vi) Agente comestível e Ghost comestível; (vii) Agente comestível e Pacman longe de Power Pill; (viii) Agente comestível e Pacman perto de Power Pill. São os mesmos 8 valores fixos mencionados na fase de decisão, processar input, na fase de valorização.

Através do controlador Magnet-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts sem comunicação, em que os restantes Ghost e Pacman têm uma influência estilo ímans, na direção que o agente se irá mover, caso os visualize. Através do controlador Magnet-POComm vão ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts com comunicação, em que os restantes Ghost e Pacman têm uma influência estilo ímans, na direção que o agente se irá mover, caso saiba as suas posições.

Para os controladores Magnet-PO e Magnet-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são altas, porque quando toma as decisões para se mover, o agente consegue ter em consideração ao mesmo tempo, todos os restantes Ghost e Pacman visíveis.

### 3.8 Controlador Patrol-PO

No Jogo Metal Gear Solid[8], os inimigos mais comuns, são os guardas espalhados pelo nível com visão limitada para detetar o Snake (jogador). Para compensar esta limitação cada guarda, patrulha uma diferente parte do nível e quando encontra o “Snake” ativa o alarma e os restantes guardas também passam a saber onde está “Snake”. Usando a estratégia dos guardas do jogo Metal Gear Solid como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Patrol Parcial Observation (Patrol-PO). Existem duas versões deste controlador, Patrol-PO (sem comunicação) e Patrol-POComm (com comunicação).

O controlador Patrol-PO consiste num controlador Ghost que tem dois modos, a sua aplicação depende em saber ou não a posição do Pacman. No primeiro caso o agente tem um comportamento semelhante ao controlador StartGhost-PO, com a excepção de não usar “randons”, vai sempre atrás do Pacman, dirige-se para uma determinada posição (fixa) se estiver muito próximo de outros Ghosts, e quando fica no estado comestível foge do Pacman. No segundo caso, o agente patrulha a sua parte do labirinto até encontrar o Pacman. Se o agente ficar no estado comestível, vai navegar numa parte do labirinto mais pequena, afastado dos restantes Ghosts, para limitar as hipóteses de todos serem comidos até voltarem ao estado não comestível. Segue abaixo uma descrição detalhada:

- **Fase Movimento:** Na versão Patrol-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão Patrol-POComm, quando o agente visualiza o Pacman manda uma mensagem para os restantes Ghosts com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.
- **Fase Decisão:**
  1. **Recolher input:** Na versão Patrol-PO, o agente tenta descobrir a posição do Pacman, se estiver visível para o agente é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida. Na versão Patrol-POComm - O agente tenta descobrir a posição do Pacman, se estiver visível para o agente ou receber uma mensagem recente de outro Ghost é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida.
  2. **Processar input:** Nas versões Patrol-POComm e Patrol-PO, A estrutura do controlador Patrol-PO está organizada da seguinte maneira: um Ghost Team que usa o controlador Patrol-PO usa 112 posições, estas posições têm três ou quatro direções, cada Ghost tem 28 posições específicas, cada grupo de sete dessas posições são de um determinado labirinto, entre os 4 diferentes labirintos que o simulador Pacman usa nos jogos, dependendo do nível do jogo. Estas sete posições, estão distribuídas da seguinte forma; **4 posições patrulha do agente**, **2 posições fuga do agente** e **1 posição dispersar do agente**. Se o agente desconhece a posição do Pacman verifica o seu estado atual, e a seguir verifica qual o labirinto em que está a navegar, através do nível do jogo em que se encontra. Se estiver no estado não comestível, vai navegar por uma determinada área definida por quatro **posições patrulha do agente** e atravessa essas posições sempre pela mesma ordem (1-2-3-4-1-etc) até mudar de

estado ou descobrir a posição de Pacman. Se estiver no estado comestível navega apenas por duas **posições fuga do agente** e atravessa essas posições sempre pela mesma ordem (1-2-1-2-etc) até mudar de estado. Se o agente conhece a posição do Pacman, verifica se há outros Ghosts perto, no caso de haver, o agente faz um movimento de aproximação para uma **posição dispersar do agente**. No caso de não haver, se o Pacman está perto de um Power Pill ou o agente estiver no estado comestível, faz um movimento de afastamento do Pacman e caso contrário faz um movimento de aproximação do Pacman.

**Executar output:** Nas versões Patrol-POComm e Patrol-PO, se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding do jogo, recebendo a posição do agente, do Pacman ou do Ghost, executando um movimento que aumenta a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, do Pacman ou de uma posição específica e executa o movimento que reduz a distância entre o agente, o Pacman ou a posição específica. Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um “random” para selecionar qual o movimento na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador:** O controlador Patrol-PO tem no total 112 parâmetros, estes consistem nas 28 posições específicas para cada um dos 4 Ghosts, que são divididos por 4 labirintos ou seja um grupo de 7 posições por labirinto e Ghost. Entre cada grupo de 7 posições há 3 tipos: 4 posições patrulha do agente, 2 posições fuga do agente e 1 posição dispersar do agente. Cada posição é um valor inteiro positivo e tem entre 3-4 direções no labirinto que é usado. São as mesmas 112 posições mencionadas na fase de decisão, processar input.

Através do controlador Patrol-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts sem comunicação, em que cada Ghost patrulha a sua própria sessão do labirinto, em vez de se moverem aleatoriamente na busca do Pacman. Através do controlador Patrol-POComm vão ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts com comunicação, em que cada Ghost patrulha a sua própria sessão do labirinto, em vez de se moverem aleatoriamente na busca do Pacman.

Para o controlador Patrol-PO, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são baixas, porque sem comunicação os Ghosts necessitam de ver o Pacman para persegui-lo, em virtude de estarem espalhados pelo labirinto, vai limitar o número de Ghosts que podem perseguir o Pacman ao mesmo tempo.

Para o controlador Patrol-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são altas, dado que os Ghosts vão estar espalhados pelo labirinto, reduzindo consideravelmente o tempo que Ghost Team demora a encontrar o Pacman comparado com os restantes controladores.



## 3.9 Controlador Priority-PO

Chad Birch apresenta num artigo [3], como o Original Ghost Team tentava apanhar o Pacman. Cada Ghost do Original Ghost Team têm o seu próprio estilo de apanhar o Pacman, significa que cada Ghost é especializado numa tarefa para o fazer. Usando o conceito de Ghosts especializados como inspiração, foi desenvolvido um controlador Ghost para o simulador do jogo Pacman chamado Priority Parcial Observation (Priority-PO). Existem duas versões deste controlador Ghost, Priority-PO (sem comunicação) e Priority-POComm (com comunicação).

O controlador Priority-PO consiste num controlador Ghost que funciona de forma semelhante ao controlador FS-PO obtendo a posição de cada tipo de elemento do jogo Pacman que esteja visível ao agente, a sua principal diferença, consiste, em vez de depender apenas da combinação de tipos elementos visíveis, depende também da prioridade de tipos de elementos para o agente. Ao contrário dos restantes controladores Ghosts em que os quatro Ghosts são idênticos, neste caso, podem ser diferentes entre si, porque cada um pode ter prioridades diferentes dos restantes. Segue abaixo uma descrição detalhada:

- **Fase Movimento:** Na versão Priority-PO, o agente não faz nada enquanto estiver neste modo. Na versão Priority-POComm, quando o agente visualiza o Pacman envia uma mensagem para os restantes Ghost com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.
- **Fase Decisão:**
  1. **Recolher input:** Na versão Priority-PO, o agente tenta visualizar a posição do Pacman e dos restantes três Ghosts. Se o Pacman ou os Ghosts estiverem visíveis para o agente é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida. Na versão Priority-POComm, o agente tenta descobrir a posição do Pacman e dos restantes três Ghosts. Se o agente visualizar o Pacman ou receber uma mensagem recente de outro Ghost, obtém a posição do Pacman, caso contrário a sua posição é desconhecida. Se o agente visualizar um dos restantes Ghost, obtém a sua posição, caso contrário é desconhecida para o agente. Este processo é aplicado para cada um dos restantes três Ghosts.
  2. **Processar input:** Nas versões Priority-POComm e Priority-PO, depois de obter todas as posições do Pacman e restantes Ghosts visíveis para o agente, processa essa informação em três variáveis: (i) **1ª Posição do Pacman:** uma variável que varia entre -1 e um número inteiro positivo que representa uma posição do Pacman. Os significados de cada valor são, '-1' posição do Pacman desconhecida, 'numero positivo' posição do Pacman conhecida. (ii) **2ª Posição do Ghost não comestível mais próximo do agente:** uma variável que varia entre -1 e um número inteiro positivo que representa uma posição de um Ghost no estado não comestível. Os significados de cada valor são, '-1' posição de Ghost desconhecida, 'numero positivo' posição de Ghost conhecida. (iii) **3ª Posição do Ghost comestível mais próximo do agente:** uma variável que varia entre -1 e um número inteiro positivo que representa

uma posição de um Ghost no estado comestível. Os significados de cada valor são, '-1' posição de Ghost desconhecida e 'numero positivo' posição de Ghost conhecida. Depois de saber os valores destas três variáveis, o agente sabe a posição de cada tipo de elemento do jogo Pacman que é visível para si portanto só resta decidir qual o prioritário e focar-se nesse Pacman ou Ghost. A **prioridade de um agente** consiste em **três valores fixos**, cada um destes valores representa o nível de prioridade de um tipo de elemento do jogo Pacman (Pacman/ Ghost não comestível/ Ghost comestível). Estes valores variam entre um e três, quanto menor o valor maior a prioridade e não pode haver dois ou três valores iguais entre si. O elemento do jogo Pacman que o agente vai escolher será entre os tipos de elementos visíveis para o agente, aquele que tiver maior prioridade para si. Depois de escolher o seu alvo o agente faz movimentos de aproximação ou afastamento conforme o estado do agente e do alvo. No caso de o agente ter zero elementos do jogo Pacman visíveis o agente faz um movimento aleatório.

3. **Executar output:** Nas versões Priority-POComm e Priority-PO, se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding, onde recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que reduz a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost. Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um "random" para seleccionar qual o movimento na lista que vai executar.

- **Parâmetros do controlador:** O controlador Priority-PO tem doze parâmetros no total, três parâmetros por Ghost, que consistem nos três valores fixos para esse Ghost. Estes valores variam entre um e três, quanto menor o valor maior a prioridade, não podendo existir dois ou três valores iguais entre si. Portanto um Ghost pode ter seis diferentes combinações dos três valores fixos. São os mesmos três valores fixos mencionado na fase de decisão, processar input na prioridade de um agente.

Através do controlador Priority-PO vão ser realizados testes para avaliar a eficiência dos Ghosts especializados sem comunicação. Através do controlador Priority-POComm vão ser realizados testes para avaliar a eficiência de Ghosts especializados com comunicação.

Para os controladores Priority-PO e Priority-POComm, as expectativas iniciais nas fase de testes e Competições Extra Ghost Team 2018 são médias, em virtude de os Ghosts serem poucos flexíveis nas suas decisões para perseguir o Pacman, contudo com Ghosts especializados, caso se juntem, torna-se possível aumentar a sua eficiência em apanhar o Pacman.

## Capítulo 4

# Método de avaliação

Para avaliar os controladores foram utilizadas duas Competições Extra Ghost Team 2018 (CEGT 2018) onde Pacman/Ghosts têm observação parcial. A principal diferença entre as CEGTs 2018 é que uma permite comunicação entre Ghosts e a outra não. Neste capítulo vão ser descritas as partes em comum entre CEGT 2018 (com comunicação entre os Ghosts) e CEGT 2018 (sem comunicação entre os Ghosts).

Entre todas as CMPvsGT que ocorreram até agora, foram escolhidas as regras da CMPvsGT de 2016 dado que, foi em 2016 que a CMPvsGT começou a aceitar apenas controladores Pacman/Ghost com observação parcial passando a ser também aplicadas nas CMPvsGT 2017 e CMPvsGT 2018.

O simulador do jogo Pacman que irá ser usado para as duas CEGTs 2018 é o simulador do jogo Pacman 2018, porque permite correr jogos Pacman com controladores Pacman/Ghost com observação parcial e implementa as regras da CMPvsGT de 2016 nos jogos Pacman que executa.

### 4.1 Método de determinar o controlador Ghost vencedor nas CEGTs 2018

CEGT 2018 consiste numa competição do tipo, todos contra todos, adaptado à natureza bipartida dos controladores envolvidos (Pacman e Ghost team). Os controladores são divididos em 2 grupos, grupo Pacman com controladores Pacman e grupo Ghost com controladores Ghost team. Cada controlador do grupo Ghost vai fazer 5 sessões de jogos e os seus resultados são registados na CEGT 2018.

Cada sessão de jogos consiste no controlador Ghost team jogar 100 jogos contra cada um dos controladores no grupo Pacman. O resultado de uma sessão de jogos consiste na média da pontuação do Pacman, em todos jogos que controlador Ghost jogou nesta sessão. Quanto menor o seu valor na sessão de jogos, melhor é o seu resultado.

Depois de registar todos os resultados das sessões de jogos executados por cada elemento do grupo Ghost, cada controlador Ghost vai selecionar um resultado que obteve, entre as 5 sessões que executou, dependendo do tipo de avaliação a ser aplicado na CEGT 2018. Existem 3 tipos de avaliação:

1. **Clássico:** Em que, é automaticamente selecionado o primeiro resultado que o controlador Ghost registou.
2. **Perfeccionista:** Em que, é selecionado o melhor resultado entre os 5 resultados que o controlador Ghost registou.
3. **Total:** Em que, o resultado selecionado consiste na média dos 5 resultados que o controlador Ghost registou.

Independentemente do tipo de avaliação aplicado nos resultados de CEGT 2018, o controlador Ghost com melhor resultado vai ser o vencedor de CEGT 2018 com o tipo de avaliação que foi aplicado.

#### **4.1.1 Controladores Pacman que participam nas CEGTs 2018**

Os controladores Pacman que participam em ambas CEGTs 2018 são:

- Tosc - controlador Pacman com rank 4º na CMPvsGT 2017
- BaHe - controlador Pacman com rank 5º na CMPvsGT 2017
- Aldo - controlador Pacman com rank 6º na CMPvsGT 2017
- TilsfePr - controlador Pacman com rank 11º na CMPvsGT 2017
- AnAtvats - controlador Pacman com rank 16º na CMPvsGT 2017
- LeHoNiPO - controlador Pacman com rank 17º na CMPvsGT 2017
- DaHoPhKi - controlador Pacman com rank 18º na CMPvsGT 2017
- MazeAnku - controlador Pacman com rank 20º na CMPvsGT 2017
- StartPacman - controlador Pacman com rank 21º na CMPvsGT 2017

#### **4.1.2 Controladores Ghost que participam nas CEGTs 2018**

Os controladores Ghost que participam na CEGT 2018 (SC) são:

- Tosc - controlador Ghost com rank 7º na CMPvsGT 2017
- LeHoNiPO - controlador Ghost com rank 8º na CMPvsGT 2017
- AnAtvats - controlador Ghost com rank 11º na CMPvsGT 2017
- StartGhost-PO(Original)- controlador Ghost com rank 12º na CMPvsGT 2017
- KeAIAnPe - controlador Ghost com rank 15º na CMPvsGT 2017
- RiMu - controlador Ghost com rank 17º na CMPvsGT 2017
- DW-PO - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).

- FRIGHT-PO - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).
- FS-PO - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).
- Magnet-PO - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).
- Patrol-PO - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).
- Priority-PO - A melhor versão do obtida na segunda fase de testes(SC).
- StartGhost-PO-Optimal - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(SC).
- Proposta“ Bullseye” SC - A melhor versão controlador Ghost obtida na terceira fase de testes(SC).

Os controladores Ghost que participam na CEGT 2018(CC) são:

- TilsFePr - controlador Ghost com rank 2º na CMPvsGT 2017
- StartGhost-POComm(Original) - controlador Ghost com rank 4º na CMPvsGT 2017
- ToSc - controlador Ghost com rank 7º na CMPvsGT 2017
- LeHoNiPO - controlador Ghost com rank 8º na CMPvsGT 2017
- ShMaRaSi - controlador Ghost com rank 9º na CMPvsGT 2017
- Anatvats - controlador Ghost com rank 11º na CMPvsGT 2017
- KeAIAnPe - controlador Ghost com rank 15º na CMPvsGT 2017
- RiMu - controlador Ghost com rank 17º na CMPvsGT 2017
- DW-POComm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- FRIGHT-POComm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- FS-POComm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- Magnet-POComm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- Patrol-POComm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- Priority-PO-Comm - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- StartGhost-PO-Comm-Optimal - A melhor versão obtida na segunda fase de testes(CC).
- Proposta “Hybrid” CC - A melhor versão controlador Ghost obtida na terceira fase de testes(CC).

## 4.2 Métodos de testes

Nesta sessão vai ser descrita o Método de testes aplicados nesta dissertação, os seus objetivos, a sua estrutura e que controladores Ghost/Pacman vão fazer parte nela.

Os objetivos do Método de testes são:

1. Desenvolver dois controladores Ghost (com/sem comunicação), que irão ser as propostas desta dissertação.
2. Aperfeiçoar os parâmetros aplicados nos controladores Ghosts que participam nas fases de testes, incluindo os dois controladores Ghost propostos nesta dissertação.

### 4.2.1 Métodos de testes realizados na dissertação

Nesta dissertação os testes vão ser realizados duas vezes, uma para controladores Ghost sem comunicação e outra para controladores Ghost com comunicação. Ambas têm o mesmo ponto de partida, contudo o ponto de chegada (proposta) depende dos resultados obtidos durante os testes.

O método de testes está dividido em 3 fases. A primeira consiste em testar cada um dos controladores Ghosts que foram selecionados, para encontrar uma combinação de parâmetros que obtenha a melhor performance. Na segunda fase, são usados os parâmetros da primeira fase para fazer uma otimização local dos parâmetros. Em outras palavras, usando os parâmetros da primeira fase, esta fase faz pequenas alterações nos parâmetros para cada um dos controladores Ghosts com o objetivo de melhorar a sua eficiência em reduzir a pontuação final de Pacman. Na terceira fase, são combinados os dois melhores controladores Ghosts na segunda fase para criar um controlador Ghost Team e testá-lo com diversas combinações de parâmetros.

#### **Controladores Pacman que participam em todos os testes**

Os controladores Pacman que participam em todos os testes:

- BaHe - controlador Ghost com rank 5º na CMPvsGT 2017
- TilsfePr - controlador Ghost com rank 11º na CMPvsGT 2017
- StartPacman - controlador Ghost com rank 21º na CMPvsGT 2017

#### **Controladores Ghost que participam em todos os testes**

Esses são os controladores Ghost que participam nos testes sem comunicação (SC):

- StartGhost-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- FRIGHT-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- FS-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa

- DW-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Magnet-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Patrol-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Priority-PO - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Proposta“ Bullseye” SC - Fases Pesquisa 3 (varias combinações de parâmetros)

Esses são os controladores Ghost que participam nos testes com comunicação (CC):

- StartGhost-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- FRIGHT-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- FS-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- DW-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Magnet-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Patrol-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Priority-POComm - Na primeira e segunda fase da Pesquisa
- Proposta “Hybrid” CC - Na terceira fase da Pesquisa (varias combinações de parâmetros)

## 4.2.2 Estrutura dos métodos de testes (detalhado)

Estrutura dos métodos de testes (detalhado)

Na primeira fase, o objetivo é descobrir um conjunto de parâmetros de um controlador Ghost Team com maior potencial de reduzir a pontuação de Pacman.

Para cada combinação de parâmetros, um controlador Ghost participou em 5 sessões de testes, em que cada sessão tinha 300 jogos. Consequentemente, na maioria dos controladores Ghost foram testados diversas combinações de parâmetros. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos. No controlador FS, as primeiras 5 sessões foram testadas com um código simples de percepção, onde um Ghost utilizava apenas a informação sobre a posição do Pacman para tomar a sua próxima decisão. Nas versões subseqüentes do controlador FS, o código de percepção incluiu outras informações sobre o jogo, tal como Ghosts não comestíveis e Ghosts comestíveis, para a tomada de decisão. No controlador FRIGHT, que é baseado em regras, as primeiras 5 sessões tinham um pequeno número de regras e nas versões subseqüentes foram incluídas regras específicas. Nesta primeira fase, para cada controlador testado, foi selecionado o código que obteve a menor média numa sessão.

Na segunda fase, para os controladores com parâmetros numéricos, foi feita uma otimização local dos valores para tentar encontrar sessões com melhores resultados. No caso do FS e FRIGHT, foram

testadas versões com pequenas alterações no código. Tal como na fase anterior, cada versão foi testado em 5 sessões de testes, em que cada sessão tinha 300 jogos.

Na Terceira fase, foi feita uma fusão entre os dois melhores controladores Ghosts na segunda fase. Além disso, foi feita uma otimização local dos valores dos parâmetros no novo controlador Ghost team. A melhor versão deste controlador Ghost Team chamou-se Hybrid no caso CC ou Bullseye no caso SC.



## Capítulo 5

# Resultados e Controladores Hybrid e Bullseye

Este capítulo apresenta os resultados da Avaliação de versões do controlador Ghost (VCGs). Conforme apresentado no último capítulo, foi utilizado o método de teste com 3 fases, tanto para os controladores sem comunicação como para os controladores com comunicação. Além disso, este capítulo apresenta os controladores Hybrid e Bullseye.

### 5.1 Fase 1 de Testes (Sem Comunicação)

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 1 de testes (sem comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros na maioria dos controladores Ghost. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos.

#### 5.1.1 Controlador StartGhost-PO

O único parâmetro do controlador StartGhost-PO que foi alterado está relacionado com a probabilidade de ir atrás de Pacman. A Figura 5.1 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- V1 - Probabilidade de ir atrás de Pacman - 1.0
- V2 - Probabilidade de ir atrás de Pacman - 0.8
- V3 - Probabilidade de ir atrás de Pacman - 0.6
- V4 - Probabilidade de ir atrás de Pacman - 0.4
- V5 - Probabilidade de ir atrás de Pacman - 0.2

Os resultados das VCGs de StartGhost-PO nesta fase 1 (SC) mostram que conforme aumentamos o valor do parâmetro, maior é a eficiência de reduzir a pontuação final de Pacman.



Figura 5.1: Resultados das VCGs de StartGhost-PO

### 5.1.2 Controlador FS-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador FS-PO serem ações em vez de ser números e existir casos em que o agente não pode realizar todas as suas cinco ações, não vai ser realizada uma procura geral. Por exemplo se o agente apenas visualizar Pacman não pode fazer um movimento de aproximação para um Ghost que não sabe a sua posição. Em vez de realizar procura geral, foram testados VCGs com, três níveis de complexidade e três formas aplicar pathfinding do simulador do jogo Pacman para realizar movimento de aproximação e afastamento. A razão por acrescentar pathfinding é para saber como as três formas de aplicar pathfinding afectam os Ghosts. A Figura 5.2 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FS-PO:

- Versão 1-P: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 1-M: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis. PathFinding(Manhattan).
- Versão 1-E: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean).
- Versão 2-P: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 2-M: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Manhattan).
- Versão 2-E: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean).
- Versão 3-P: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 3-M: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Manhattan)
- Versão 3-E: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean)

Os Resultados das VCGs de FS-PO da fase 1 (SC) revelam que a versão V2-E é a VCG com melhores resultados, os VCGs com foco em pacman e ghosts não comestíveis tiveram melhores resultados e a pior forma de aplicar pathfinding é "Path".



Figura 5.2: Resultados das VCGs de FS-PO

### 5.1.3 Controlador FRIGHT-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador FRIGHT-PO serem regras em vez de ser números e não haver limite de quantas regras pode usar para decidir qual vai ser o seu próximo movimento, não vai ser realizada uma procura geral. Em vez de realizar procura geral, foram testados VCGs com, três níveis de complexidade de implementação das regras e três formas aplicar pathfinding do simulador do jogo Pacman para realizar movimento de aproximação e afastamento. A razão por acrescentar pathfinding é para saber como as três formas de aplicar pathfinding afectam os Ghosts. A Figura 5.3 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FRIGHT-PO:

- Versão 1-P: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Path)
- Versão 1-M: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Manhattan)
- Versão 1-E: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Euclidean)
- Versão 2-P: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Path)
- Versão 2-M: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Manhattan)
- Versão 2-E: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Euclidean)
- Versão 3-P: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Path)
- Versão 3-M: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Manhattan)
- Versão 3-E: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Euclidean)

Os Resultados das VCGs de FRIGHT-PO da fase 1 (SC) revelam que a versão V3-M é a VCG com melhores resultados, os VCGs com oito regras de complexidade Media tiveram melhores resultados, a melhor forma de aplicar pathfinding no FRIGHT-PO é "Manhattan" e a pior é "Path".



Figura 5.3: Resultados das VCGs de FRIGHT-PO

## 5.1.4 Controlador DW-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador DW-PO ter infinitas combinações de parâmetros possíveis, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipos combinações de parâmetros com três diferentes níveis de valores.

Os quatro tipos combinações de parâmetros são:

- 1º-Misto, em que o agente foca-se mais em Pacman no estado não comestível e no estado comestível em Ghosts .
- 2º-Atacante, em que o agente foca-se mais em Pacman independentemente do estado do agente
- 3º-Defensivo, em que o agente foca-se mais em Ghost independentemente do estado do agente
- 4º-Equilibrado, em que o agente foca-se igualmente em Ghost e Pacman independentemente do estado do agente

Os 3 níveis de valores são:

- 0º-Baixo, em os valores das combinações de parâmetros são pequenos e próximos entre si.
- 1º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros são médios e consideravelmente distantes entre si.
- 2º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são altos e bastante distantes entre si.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores e o da direita representa o tipo de combinação de parâmetros.

Versão XXº (1º 2º 3º 4º —5º 6º 7º 8º)

- 1º - Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º - Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º - Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4º - Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível
- 7º- Agente comestível e Pacman longe de Power Pill
- 8º - Agente comestível e Pacman perto de Power Pill

A Figura 5.4 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de DW-PO:

- Versão 01º (10 20 40 80—20 80 40 40)

- Versão 02º (20 40 80 80—20 40 80 80)
- Versão 03º (80 60 40 40—60 80 40 40)
- Versão 04º (40 40 40 40—40 40 40 40)
- Versão 11º (100 200 400 800—200 800 400 400)
- Versão 12º (200 400 800 800—200 400 800 800)
- Versão 13º (800 600 400 400—600 800 400 400)
- Versão 14º (400 400 400 400—400 400 400 400)
- Versão 21º (1000 2000 4000 8000—2000 8000 4000 4000)
- Versão 22º (2000 4000 8000 8000—2000 4000 8000 8000)
- Versão 23º (8000 6000 4000 4000—6000 8000 4000 4000)
- Versão 24º (4000 4000 4000 4000—4000 4000 4000 4000)

Os resultados das VCGs de DW-PO da fase 1 (SC), revelam que apesar de a versão V24 ser a VCG com melhores resultados, os VCGs com nível medio têm maior potencial de reduzir a pontuação final de pacman e dos quatro tipos o Defensivo é o pior e foi excluído na fase 2 (SC).



Figura 5.4: Resultados das VCGs de DW-PO

### 5.1.5 Controlador Magnet-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador Magnet-PO ter infinitas combinações de parâmetros possíveis, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipo combinações de parâmetros com três diferentes níveis de valores.

Os quatro tipos combinações de parâmetros são:

- 1º- Misto, em que o agente foca-se mais em Pacman no estado não comestível e no estado comestível em Ghosts.
- 2º- Atacante, em que o agente foca-se mais em Pacman independentemente do estado do agente
- 3º- Defensivo, em que o agente foca-se mais em Ghost independentemente do estado do agente
- 4º -Equilibrado, em que o agente foca-se igualmente em Ghost e Pacman independentemente do estado do agente

Os 3 níveis de valores são:

- 0º-Baixo, em os valores das combinações de parâmetros são pequenos.
- 1º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros são médios.
- 2º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são altos.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores e o da direita representa o tipo de combinação de parâmetros.

Versão XXº (1º 2º 3º 4º —5º 6º 7º 8º)

- 1º - Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º - Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º - Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4º - Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível
- 7º- Agente comestível e Pacman longe de Power Pill
- 8º - Agente comestível e Pacman perto de Power Pill

A Figura 5.5 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Magnet-PO:

- Versão 01º(-10 20 40 -80—20 -60 -40 -80)
- Versão 02º(-20 40 80 -80—20 -40 -80 -80)
- Versão 03º(-60 80 40 -40—60 -80 -40 -40)
- Versão 04º(-40 40 40 -40—40 -40 -40 -40)
- Versão 11º(-100 200 400 -800—200 -600 -400 -800)
- Versão 12º(-200 400 800 -800—200 -400 -800 -800)
- Versão 13º(-600 800 400 -400—600 -800 -400 -400)
- Versão 14º(-400 400 400 -400—400 -400 -400 -400)
- Versão 21º(-1000 2000 4000 -8000—2000 -6000 -4000 -8000)
- Versão 22º(-2000 4000 8000 -8000—2000 -4000 -8000 -8000)
- Versão 23º(-6000 8000 4000 -4000—6000 -8000 -4000 -4000)

- Versão 24º (-4000 4000 4000 -4000—4000 -4000 -4000 -4000)

Os Resultados das VCGs de Magnet-PO da fase 1 (SC) revelam que a versão V24 foi a VCG com melhores resultados, os VCGs com nível altos têm melhores resultados que os VCGs com nível, baixo e médio. Entre os quatros tipos o Misto é o pior e foi excluído na fase 2 (SC).



Figura 5.5: Resultados das VCGs de Magnet-PO

### 5.1.6 Controlador Patrol-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto do controlador Patrol-PO têm 112 parâmetros, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipos de patrulha com quatro tipo de distribuição dos Ghost.

Os quatro tipos de patrulha são:

- 1º -Quadrada, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um quadrado.
- 2º -Triangulo, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um Triangulo.
- 3º-X, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um X.
- 4º-Retangulo, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um Retangulo.

Os quatro tipos de distribuição dos Ghost são:

- 1º- +, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são cima, baixo esquerda e direita.
- 2º- X em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são os quatro cantos do labirinto.
- 3º- Horizontal, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são quatro partes horizontais do labirinto.
- 4º- Vertical, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são quatro partes verticais do labirinto.

A Figura 5.6 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Patrol-PO:

- Versão 1º- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos Ghost X
- Versão 2º- tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos Ghost X

- Versão 3<sup>o</sup>- tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos Ghost X
- Versão 4<sup>o</sup>- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos Ghost horizontal
- Versão 5<sup>o</sup>- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 6<sup>o</sup>- tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 7<sup>o</sup>- tipo de patrulha tipo X, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 8<sup>o</sup>- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos Ghost lateral

Os resultados das VCGs de Patrol-PO da fase 1 (SC) revelam que a versão V8 foi a VCG com melhores resultados, os VCGs com o tipo distribuição dos ghost, X, Horizontal e vertical conseguem ter bons resultados.



Figura 5.6: Resultados das VCGs de Patrol-PO

### 5.1.7 Controlador Priority-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura geral do controlador Priority-PO, testando 3 combinações possíveis com 4 Ghost especializados, testar 4 combinações com 2 Ghost especializados e 3 combinações em que todos os Ghosts são iguais.

G- (x/y/z)

- x-Pacman
- y- Ghost não Comestível
- z-Ghost Comestível

A Figura 5.7 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Priority-PO:

- Versão 1<sup>o</sup> G1(1/2/3)G2(1/3/2)G3(2/3/1)G4(2/1/3)
- Versão 2<sup>o</sup> G1(1/2/3)G2(1/3/2)G3(3/2/1)G4(3/1/2)
- Versão 3<sup>o</sup> G1(2/1/3)G2(2/3/1)G3(3/2/1)G4(3/1/2)
- Versão 4<sup>o</sup> G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(2/3/1)G4(2/3/1)
- Versão 5<sup>o</sup> G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(3/2/1)G4(3/2/1)



- Versão 6º G1(1/3/2)G2(1/3/2)G3(2/3/1)G4(2/3/1)
- Versão 7º G1(1/3/2)G2(1/3/2)G3(3/2/1)G4(3/2/1)
- Versão 8º G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(1/2/3)G4(1/2/3)
- Versão 9º G1(2/1/3)G2(2/1/3)G3(2/1/3)G4(2/1/3)
- Versão 10º G1(3/1/2)G2(3/1/2)G3(3/1/2)G4(3/1/2)

Os Resultados das VCGs de Priority-PO da fase 1 (SC) revelam que a versão V8 foi a VCG com melhores resultados, os VCGs com um, dois e quatro ghost especializados conseguem ter bons resultados.



Figura 5.7: Resultados das VCGs de Priority-PO

### 5.1.8 Resultados da fase 1 de testes (SC)

Ranking dos Controladores Ghosts:

- 1º- Patrol-PO- 4639,2
- 2º- Magnet-PO- 5139,26
- 3º- DW-PO- 5215,9
- 4º- FRIGHT-PO- 5222,6
- 5º- Priority-PO- 5268,5
- 6º- FS-PO- 5349
- 7º- StartGhost-PO- 5825,46

A Figura 5.8 apresenta os resultados da fase 1 (SC):

Nesta fase, DW-PO, Magnet-PO, StartGhost-PO e Priority-PO tiveram um desempenho que estavam dentro das expectativas iniciais. O Patrol-PO teve um desempenho bem acima das expectativas iniciais, ao conseguiu o 1º lugar, mesmo tendo em conta que os Ghosts no labirinto não tinham uma forma de se coordenarem entre si quando visualizavam o Pacman.

FRIGHT-PO e FS-PO superaram razoavelmente as suas iniciais expectativas por conseguirem resultados quase ao nível do controlador DW-PO que tem expectativas altas.

Entre as varias versões de controladores testadas nota-se um aumento de eficiência do Ghost Team quando os Ghosts se focam quase exclusivamente no Pacman.



Figura 5.8: Resultados da fase 1 (SC)

Não há um método para calcular a distancia entre duas posições no labirinto, que seja definitivamente melhor do que os restantes métodos, para os controladores Ghost sem comunicação.

Um Ghost Team com Ghosts especializados tem pouco potencial se não poderem comunicar entre sí.

Ter os Ghosts a patrulhar diferentes partes do labirinto, quando não sabe a posição do Pacman aumenta a eficiência do Ghost Team em limitar a pontuação do Pacman mesmo se os Ghost não podem comunicar entre si.

## 5.2 Fase 2 de Testes (Sem Comunicação)

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 2 de testes (sem comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros na maioria dos controladores Ghost. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos.

### 5.2.1 Controlador StartGhost-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local do único parâmetro entre os valores 0.9-1.0 do controlador StartGhost-PO. A Figura 5.9 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- V6- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.98
- V7- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.96
- V8- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.94
- V9- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.92

Os Resultados das VCGs de StartGhost-PO da fase 2 (SC) revelam que apesar de a V7 ter o melhor resultado entre os VCGs de StartGhost-PO, foi selecionado a V6 para participar na CEGT 2018 porque V6 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que a V7.

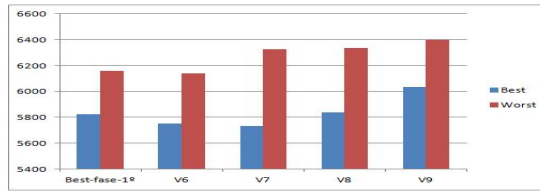


Figura 5.9: Resultados das VCGs de StartGhost-PO

## 5.2.2 Controlador FS-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Foram testados dois novos VCGs com as três formas aplicar pathfinding, que registam todos os 18 casos possíveis e têm um elemento do jogo pacman que tem maior prioridade. Isto significa que todos os casos em que o agente visualiza o elemento com maior prioridade, a ação que vai executar vai ser um movimento de aproximação ou afastamento nesse elemento. A Figura 5.10 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FS-PO:

- Versão 4-P: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Path).
- Versão 4-M: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Manhattan).
- Versão 4-E: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Euclidean).
- Versão 5-P: Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Path)
- Versão 5-M: Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Manhattan)
- Versão 5-E:Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Euclidean).

Os Resultados das VCGs de FS-PO da fase 2 (SC) revelam que a V2-E continua a ter o melhor resultado entre os VCGs de FS-PO e também foi selecionado para participar na CEGT 2018 porque entre as piores sessões dos VCGs de FS-PO, V2-E têm um dos melhores resultados.

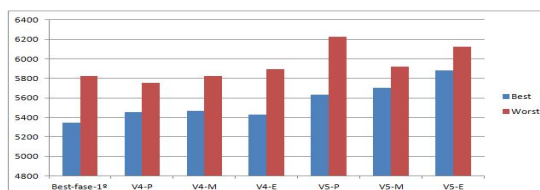


Figura 5.10: Resultados das VCGs de FS-PO

### 5.2.3 Controlador FRIGHT-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Foram testados dois novos VCGs com as três formas aplicar pathfinding, que usam mais regras e são ainda mais complexas que as VCGs testadas na fase 2(SC). A Figura 5.11 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FRIGHT-PO:

- Versão 4-P: Número de regras 10, complexidade das regras Media, pathFinding(Path).
- Versão 4-M: Número de regras 10, complexidade das regras Media. pathFinding(Manhattan).
- Versão 4-E: Número de regras 10, complexidade das regras Media, pathFinding(Euclidean).
- Versão 5-P: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Path).
- Versão 5-M: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Manhattan)
- Versão 5-E: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Euclidean)

Os resultados das VCGs de FRIGHT-PO da fase 2 (SC) revelam que apesar de a V3-M continuar a ter o melhor resultado entre os VCGs de FRIGHT-PO, foi selecionado a V3-E para participar na CEGT 2018 porque V3-E ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que a V3-M.

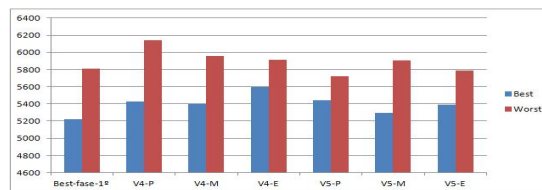


Figura 5.11: Resultados das VCGs de FRIGHT-PO

### 5.2.4 Controlador DW-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local dos tipos de combinações de parâmetro realizado na fase1 (SC). O tipo combinação de parâmetro Defensivo foi excluído e os parâmetros estão todos ao nível medio, excepto V142 e V143. Nesta fase (SC) é testado com maior foco os três níveis de diferença entre os parâmetros com valores diferentes, que são:

- 1º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são muito distantes entre si.
- 2º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros consideravelmente distantes entre si.
- 3º-Pequeno, em os valores das combinações de parâmetros são bastante próximos entre si.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores, o do centro representa o tipo de combinação de parâmetros e o da direita representa o nível de diferença.

Versão XX<sup>o</sup> (1<sup>o</sup> 2<sup>o</sup> 3<sup>o</sup> 4<sup>o</sup> —5<sup>o</sup> 6<sup>o</sup> 7<sup>o</sup> 8<sup>o</sup>)

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill
- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível
- 7º- Agente comestível e pacman longe de Power Pill
- 8º- Agente comestível e pacman perto de Power Pill

A Figura 5.12 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de DW-PO:

- Versão 141º(500 500 500 500—500 500 500 500)
- Versão 242º(1000 1000 1000 1000—1000 1000 1000 1000)
- Versão 243º(2000 2000 2000 2000—2000 2000 2000 2000)
- Versão 121º(200 400 600 600—200 400 600 600)
- Versão 122º(200 300 500 500—200 300 500 500)
- Versão 123º(200 250 350 350—20 250 350 350)
- Versão 111º(100 300 500 700—200 600 400 400)
- Versão 112º(100 200 300 400—200 400 300 300)
- Versão 113º(100 150 200 200—200 300 250 250)

Os resultados das VCGs de DW-PO da fase 2 (SC) revelam que apesar de a V141 ter o melhor resultado entre os VCGs de DW-PO, foi selecionado a V123 para participar na CEGT 2018 porque V123 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que a V141.

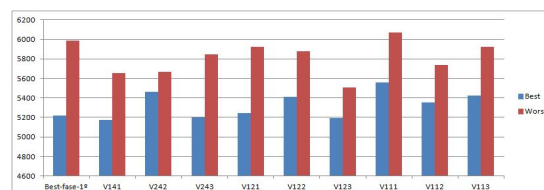


Figura 5.12: Resultados das VCGs de DW-PO

## 5.2.5 Controlador Magnet-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local dos tipos de combinações de parâmetro realizado na fase1 (SC). O tipo combinação de parâmetro Misto foi excluído e os parâmetros estão todos ao nível Alto. Nesta fase (SC) é testado em fazer ligeiras alterações, para tornar nas três melhores combinações de parâmetros da fase 1 (SC) numa combinação de parâmetros do tipo Equilibrado. Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores, o do centro representa o tipo de combinação de parâmetros e o da direita representa uma modificação para o tipo Equilibrado.

Versão XX<sup>o</sup> (1<sup>o</sup> 2<sup>o</sup> 3<sup>o</sup> 4<sup>o</sup> —5<sup>o</sup> 6<sup>o</sup> 7<sup>o</sup> 8<sup>o</sup>)

- 1<sup>o</sup>- Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2<sup>o</sup>- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3<sup>o</sup>- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill
- 4<sup>o</sup>- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill
- 5<sup>o</sup>- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6<sup>o</sup>- Agente comestível e Ghost comestível
- 7<sup>o</sup>- Agente comestível e pacman longe de Power Pill
- 8<sup>o</sup>- Agente comestível e pacman perto de Power Pill

A Figura ?? apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Magnet-PO:

- Versão 241<sup>o</sup>(-1000 1000 1000 -1000—1000 -1000 -1000 -1000)
- Versão 242<sup>o</sup>(-2000 2000 2000 -2000—2000 -2000 -2000 -2000)
- Versão 243<sup>o</sup>(-8000 8000 8000 -8000—8000 -8000 -8000 -8000)
- Versão 221<sup>o</sup>(-2000 3000 4000 -5000—2000 -3000 -5000 -5000)
- Versão 222<sup>o</sup>(-2000 2500 3500 -3500—2000 -2500 -3500 -3500)
- Versão 223<sup>o</sup>(-2000 2100 2300 -2300—2000 -2100 -2300 -2300)
- Versão 231<sup>o</sup>(-5000 6000 4000 -4000—5000 -6000 -4000 -4000)
- Versão 232<sup>o</sup>(-4500 5000 4000 -4000—4500 -5000 -4000 -4000)
- Versão 233<sup>o</sup>(-4100 4200 4000 -4000—4100 -4200 -4000 -4000)

Os resultados das VCGs de Magnet-PO da fase 2 (SC) revelam que a V243 teve o melhor resultado entre os VCGs de Magnet-PO e também foi selecionado para participar na CEGT 2018 porque V243 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que a V142.

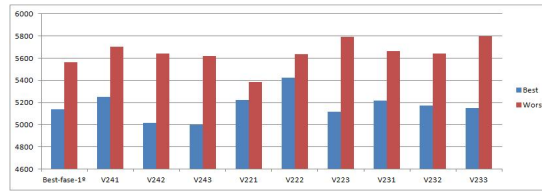


Figura 5.13: Resultados das VCGs de Magnet-PO

## 5.2.6 Controlador Patrol-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto do controlador Patrol-PO ser o vencedor da fase 1 (SC), vão ser testados as restantes duas formas aplicar pathfinding nas quatro melhores VCGs Patrol-PO testados na fase 1 (SC). Também vão ser testados três VCGs Patrol-PO, com ligeiras alterações nas posições de fuga. A Figura 5.14 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Patrol-PO:

- Versão 1-M - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Manhattan)
- Versão 1-E - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Euclidean)
- Versão 2-M - tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Manhattan).
- Versão 2-E tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Euclidean).
- Versão 3-M - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Manhattan).
- Versão 3-E - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Euclidean).
- Versão 8-M - tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral, PathFinding(Manhattan).
- Versão 8-M - tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral, PathFinding(Euclidean).
- Versão 12 - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.
- Versão 22 - tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.
- Versão 32 - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.

Os resultados das VCGs de Patrol-PO da fase 2 (SC) revelam que apesar de V8 continua a ter o melhor resultado entre os VCGs de Patrol-PO, foi seleccionado a V3 para participar na CEGT 2018 porque V3 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que a V8. A melhor forma de aplicar pathfinding no Patrol-PO é ?Path?.

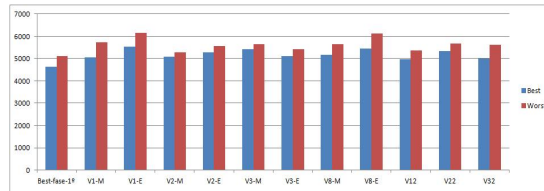


Figura 5.14: Resultados das VCGs de Patrol-PO

## 5.2.7 Controlador Priority-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local do controlador Priority-PO, em que foi as melhores VCGs testados na fase 1 (SC), com ligeiras modificações, alterando apenas os parâmetros de um ghost.

G- (x/y/z)

- x-Pacman
- y- Ghost não Comestível
- z-Ghost Comestível

A Figura ?? apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Priority-PO:

- Versão 6-1<sup>o</sup>- G1(1/3/2) G2(1/3/2) G3(1/3/2) G4(2/3/1)
- Versão 6-2<sup>o</sup>- G1(1/3/2) G2(2/3/1) G3(2/3/1) G4(2/3/1)
- Versão 1-1<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(1/3/2) G3(1/2/3) G4(2/1/3)
- Versão 1-2<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(2/3/1) G3(2/3/1) G4(2/1/3)
- Versão 4-1<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(1/2/3) G3(1/2/3) G4(2/3/1)
- Versão 4-2<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(2/3/1) G3(2/3/1) G4(2/3/1)
- Versão 2-1<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(1/3/2) G3(1/2/3) G4(3/1/2)
- Versão 2-2<sup>o</sup>- G1(1/2/3) G2(3/1/2) G3(3/2/1) G4(3/1/2)

Os resultados das VCGs de Priority-PO da fase 2 (SC) revelam que aV4-1 teve o melhor resultado entre os VCGs de Priority-PO e também foi selecionado para participar na CEGT 2018 porque V4-1 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes os VCGs de Priority-PO.

## 5.2.8 Resultados da fase 2 de testes (SC)

Ranking dos Controladores Ghost:

- 1<sup>o</sup> - Patrol-PO - 4960,8



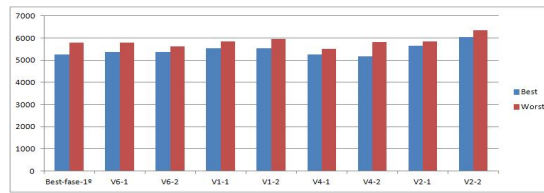


Figura 5.15: Resultados das VCGs de Priority-PO

- 2º - Magnet-PO - 5001,5
- 3º - Priority-PO - 5159,3
- 4º - DW-PO - 5171,8
- 5º - FRIGHT-PO- 5295,8
- 6º - FS-PO - 5431,8
- 7º - StartGhost-PO - 5734,5



Figura 5.16: Resultados da fase 2 (SC)

Ranking das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (SC): **Ranking Final dos Controladores Ghost que vão participar na CEGT 2018 (SC):**

- 1º - Patrol-PO(V3)- 4695,5
- 2º - Magnet-PO(V243)- 5001,5
- 3º - DW-PO(V123)- 5190,5
- 4º - Priority-PO(V4-1)- 5251
- 5º - FRIGHT-PO(V3-E)- 5285,7
- 6º - FS-PO(V2-E)- 5349
- 7º - StartGhost-PO(V6)- 5752,56

A Figura 5.16 apresenta os resultados da fase 2 (SC) e a Figura 5.17 apresenta os resultado das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (SC).

**Conclusões:**



Figura 5.17: Resultado das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (SC)

Em termo de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, StartGhost-PO, Magnet-PO, DW-PO e Priority-PO conseguiram ter melhores resultados, comparado com os seus resultados da fase 1.

O controlador FS-PO provavelmente já atingiu o seu máximo potencial de eficazmente limitar a pontuação do Pacman.

O controlador FRIGHT-PO precisa de ser aperfeiçoado para poder ter melhores resultados.

O controlador DW-PO é melhor que Priority-PO porque tem mais potencial para melhorar.

O controlador Magnet-PO e DW-PO são os mais competentes em perseguir o Pacman.

O método "Path" é um método para calcular a distância entre duas posições no labirinto, é o melhor método para ser usado no controlador Patrol-POComm.

Com os resultados destas duas fases é óbvio que os 3 melhores Controladores Ghosts são Patrol-PO, DW-PO e Magnet-PO. O ponto forte de Patrol-PO é encontrar o Pacman, o ponto forte de DW-PO e Magnet-PO é perseguir o Pacman.

Na fase 3 (sem comunicação) vão ser testados controladores Patrol-PO que ao visualizar o Pacman, perseguem-no com a estratégia de DW-PO ou Magnet-PO.

### 5.3 Fase 3 de Testes (Sem Comunicação)

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 3 de testes (sem comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros nos dois novos controladores Ghost, PatrolDW-PO e PatrolMagnet-PO que participam na fase 3(SC).

Originalmente era suposto ser apenas um controlador Ghost que iria participar nesta fase (SC), que seria o resultado de combinar os dois melhores controlador Ghosts da fase 2 (SC). Dado que DW-PO e Magnet-PO têm resultado quase idênticos e Patrol-PO é melhor controlador ghost da fase 2 (SC), vão participar os seguintes controladores ghosts na fase 3(SC), PatrolDW-PO e PatrolMagnet-PO.

O controlador ghosts PatrolDW-PO usa os 112 parâmetros de Patrol-PO e os primeiros quatro de DW-PO. Quando um agente PatrolDW-PO está na face de decisão, a primeira coisa que faz é determinar se sabe a posição de pacman, se não souber vai usar abordagem de Patrol-PO para decidir onde se

vai dirigir, se souber e tiver no estado não comestível vai usar abordagem de DW-PO para decidir onde se vai dirigir e se souber e tiver no estado comestível faz um movimento de afastamento do pacman.

A implementação de PatrolMagnet-PO foi idêntica ao de PatrolDW-PO, excepto que usa os primeiros quatro parâmetros de Magnet-PO e a sua abordagem de para decidir onde se vai dirigir em vez de DW-PO

### 5.3.1 PatrolDW-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Para criar uma VCGs de PatrolDW-PO, é preciso dois tipos de parâmetros, Patrol-PO e DW-PO. Do lado Patrol-PO foram selecionados os dois melhores VCGs Patrol-PO da fase 2 (SC). Do lado DW-PO foram selecionados quatro dos VCGs DW-PO da fase 2 (SC), dois dos VCGs Priority-PO da fase 2 (SC) compilados em parâmetros de DW-PO e um novo VCGs DW-PO. Os VCGs de PatrolDW-PO que vão ser testados na fase 3 (SC) em dois grupos de sete VCGs de PatrolDW-PO, cada grupo usam um específico parâmetro Patrol-PO e sete parâmetros DW.

Tipo de parâmetro Patrol-PO

- Versão 3º- tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X
- Versão 8º- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral

Tipos de parâmetros DW-PO

Versão XXº (1º 2º 3º 4º) G1- Um ghost G2- Dois ghost G3- Três ghost GT- Ghost team (Quatro ghosts)

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível.
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível.
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill.
- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill.

A Figura 5.18apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- Versão 1: GT(500 500 500 500)
- Versão 2: GT(200 250 350 350)
- Versão 3: GT(2000 2000 2000 2000)
- Versão 4: GT(200 400 800 800)
- Versão 5: G3(300 100 500 500)G1(100 500 300 300)
- Versão 6: G3(100 500 300 300)G1(100 300 500 500)
- Versão 7: GT(400 200 500 500)

Grupos de VCGs PatrolDW-PO a ser testados.

- Patrol-V3-DW-PO- (Patrol-PO (V3) —DW-PO (V1-V7))
- Patrol-V8-DW-PO- (Patrol-PO (V8) —DW-PO (V1-V7))

### Resultados das VCGs de PatrolDW-PO da fase 3 (SC)

No grupo Patrol-V3-DW-PO foi selecionado V4 como melhor VCG do grupo por ter os melhores resultados. No grupo Patrol-V8-DW-PO foi selecionado V2 como melhor VCG do grupo por ter bom resultado na sua melhor sessão e um resultado razoável na sua pior sessão.

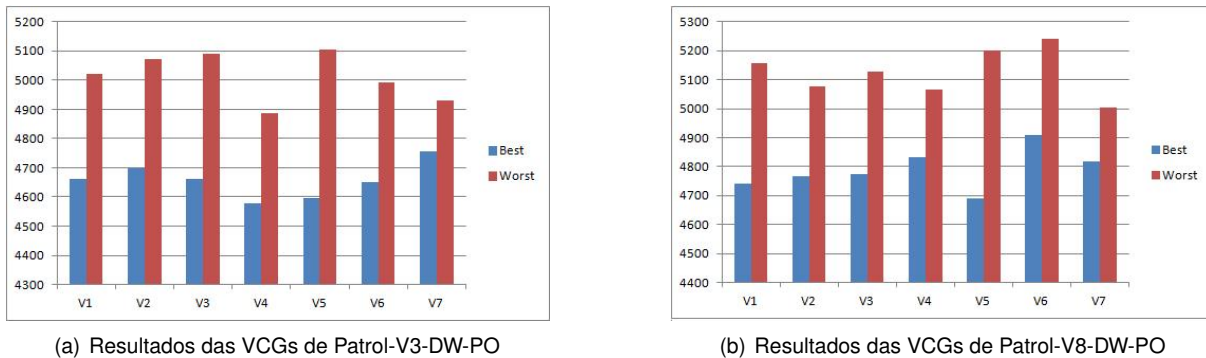


Figura 5.18: Resultados das VCGs de PatrolDW-PO

### 5.3.2 PatrolMagnet-PO

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Para criar uma VCGs de PatrolMagnet-PO, é preciso dois tipos de parâmetros, Patrol-PO e Magnet-PO. Do lado Patrol-PO foram selecionados os dois melhores VCGs Patrol-PO da fase 2 (SC). Do lado MAGNET-PO foram selecionados quatro dos VCGs Magnet-PO da fase 2 (SC), dois dos VCGs Priority-PO da fase 2 (SC) compilados em parâmetros de MAGNET-PO e um novo VCGs Magnet-PO. Os VCGs de PatrolMagnet-PO que vão ser testados na fase 3 (SC) em dois grupos de sete VCGs de PatrolMagnet-PO, cada grupo usam um específico parâmetro Patrol-PO e sete parâmetros Magnet.

Tipo de parâmetro Patrol-PO

- Versão 3º- tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X
- Versão 8º- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral

Tipo de parâmetro Magnet-PO

Versão XXº (1º 2º 3º 4º) G1- Um ghost G2- Dois ghost G3- Três ghost GT- Ghost team (Quatro ghosts)

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill

- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill

A Figura 5.19 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

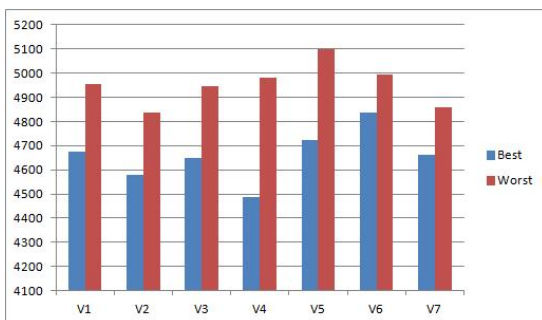
- Versão 1: GT(-8000 8000 8000 -8000)
- Versão 2: GT(-2000 2000 2000 -2000)
- Versão 3: GT(-2000 2100 2300 -2300)
- Versão 4: GT(-4000 4000 4000 -4000)
- Versão 5: G3(-4000 2000 6000 -6000)G1(-2000 6000 4000 -4000)
- Versão 6: G3(-2000 6000 4000 -4000)G1(-2000 4000 6000 -6000)
- Versão 7º GT(-4500 4000 5000 -5000)

Grupos de VCGs PatrolMagnet-PO a ser testados.

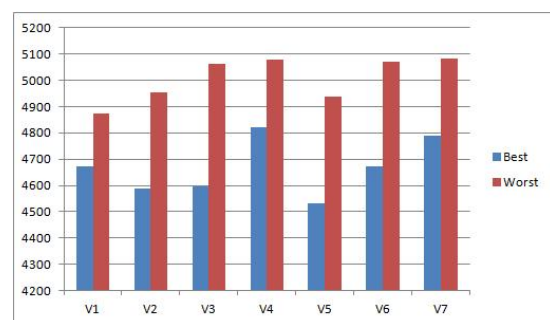
- Patrol-V3-Magnet-PO- (Patrol-PO (V3) —Magnet-PO (V1-V7))
- Patrol-V8-Magnet-PO- (Patrol-PO (V8) —Magnet-PO (V1-V7))

### Resultados das VCGs de PatrolMagnet-PO da fase 3 (SC)

No grupo Patrol-V3-Magnet-PO foi selecionado V2 como melhor VCG do grupo por ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes VCGs deste grupo. No grupo Patrol-V8- Magnet-PO foi selecionado V1 como melhor VCG do grupo por ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes VCGs deste grupo



(a) Resultados das VCGs de Patrol-V3-Magnet-PO



(b) Resultados das VCGs de Patrol-V8-Magnet-PO

Figura 5.19: Resultados das VCGs de PatrolMagnet-PO

### 5.3.3 Resultados da fase 3 de testes (SC)

#### Ranking Final dos Controladores Ghost (SC):

- 1º- Patrol-V3-Magnet-PO (V2) - 4577,26

- 2º- Patrol-V3-DW-PO (V4) - 4579,8
- 3º- Patrol-V8-Magnet-PO (V1) - 4672,6
- 4º- Patrol-V8-DW-PO (V2) - 4765,9

A Figura 5.20 apresenta os resultado das VCGsfinalista que vão concorrer pelo titulo Bullseye:

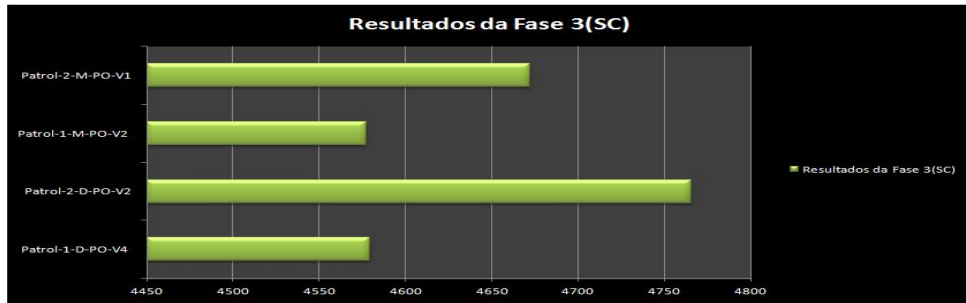


Figura 5.20: Resultados da fase 3 (SC)

Os Resultados final da fase 3(SC) revelam que entre os quatro Controladores finalista, VCGs Patrol-V3-Magnet-PO-V2 é o melhor porque tem os melhores resultados e por ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes finalistas. O controlador Ghost Team Patrol-V3-Magnet-PO-V2 para agora a ser conhecido como Controlador Ghost Team Bullseye.

## 5.4 Proposta (SC) Controlador Ghost Bullseye

### 5.4.1- Descrição resumida:

-O controlador Bullseye consiste num controlador Ghost, que combina as estratégias dos controladores Patrol-PO e Magnet para apanhar o Pacman eficazmente. A forma que um Ghost Bullseye se move pelo labirinto depende de dois fatores, primeiro, se está a visualizar o Pacman, segundo, o seu estado "comestível"ou "não comestível".

Se o Ghost Bullseye não visualizar o Pacman, vai comportar-se como um Ghost Patrol-PO independentemente do seu estado. Se o Ghost Bullseye visualizar o Pacman, vai comportar-se como um Ghost Magnet-PO quando estiver no estado "não comestível", mas quando passar para o "estado comestível"vai fazer apenas movimentos de afastamento do Pacman até mudar de estado ou deixar de visualizar o Pacman.

### 5.4.2- Descrição detalhada:

#### Fase Movimento:

O agente não faz nada enquanto estiver neste modo.

#### Fase Decisão:

##### 1ª Parte - Recolher input:

O agente regista o seu estado e tenta descobrir a posição do Pacman, se estiver visível para o agente é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida.

## **2ª Parte - Processar input:**

Se o agente não sabe a posição de Pacman vai usar a estratégia do controlador Patrol-PO para fazer um movimento de aproximação para uma posição patrulha. Entre as 112 posição patrulha disponíveis para o agente, vai ser selecionada uma, dependendo do labirinto que o agente se move, dependendo, qual dos 4 Ghost é o agente, o estado do agente e qual foi a ultima posição patrulha que passou no seu atual estado.

Se o agente sabe a posição e estiver no estado "não comestível", vai usar a estratégia do controlador Magnet-PO para dar um valor a cada direção que se pode mover e fazer movimento de aproximação para a direção que tiver maior valor.

Se o agente sabe a posição e estiver no estado "comestível", faz um movimento de afastamento do Pacman.

## **3ª Parte - Executar output:**

Se o agente decidir fazer movimento de aproximação para a direção de maior valor, faz uma consulta de Pathfinding do jogo e a partir daí movimenta-se para essa direção.

Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação para uma posição patrulha, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente e de uma posição patrulha e executa o movimento que reduz a distância entre o agente e a posição patrulha.

Se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding, onde recebe a posição do agente e do Pacman e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente e o Pacman.

Caso todas as direções tenham o mesmo valor o agente executa um movimento aleatório, recolhendo os movimentos possíveis, colocando-os numa lista e usa um "random" para selecionar um deles, executando-o.

### **5.4.3- Parâmetros do controlador:**

O controlador Bullseye usa os mesmos 112 parâmetros do controlador Patrol-PO e quatro dos oito valores fixos usados no controlador Magnet-PO que são:

- 1ª- Agente Não comestível e Ghost Não comestível
- 2ª- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3ª- Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4ª- Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill

## **5.5 Fase 1 de Testes (Com Comunicação)**

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 1 de testes (com comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros na maioria dos controladores Ghost. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos.

### 5.5.1 Controlador Startghost-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura geral do único parâmetro do controlador Startghost-POComm. A Figura 5.21 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- V1- Probabilidade de ir atrás de pacman? 1.0
- V2- Probabilidade de ir atrás de pacman? 0.8
- V3- Probabilidade de ir atrás de pacman? 0.6
- V4- Probabilidade de ir atrás de pacman? 0.4
- V5- Probabilidade de ir atrás de pacman? 0.2

Os Resultados das VCGs de StartGhost-PO da fase 1 (CC) revelam que, quanto mais alto for o valor do parâmetro, maior é a eficiência de reduzir a pontuação final de pacman.



Figura 5.21: Resultados das VCGs de StartGhost-POComm

### 5.5.2 Controlador FS-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador FS-PO serem ações em vez de ser números e existir casos em que o agente não pode realizar todas as suas cinco ações, não vai ser realizada uma procura geral. Por exemplo se o agente apenas visualizar pacman não pode fazer um movimento de aproximação para um ghost que não sabe a sua posição. Em vez de realizar procura geral, foram testados VCGs com, três níveis de complexidade e três formas aplicar pathfinding do simulador do jogo pacman para realizar movimento de aproximação e afastamento. A razão por acrescentar pathfinding é para saber como as três formas de aplicar pathfinding afectam os ghosts. A Figura 5.22 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FS-PO:

- Versão 1-P: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 1-M: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis. PathFinding(Manhattan).
- Versão 1-E: Focado apenas no Pacman, Regista apenas 6 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean).



- Versão 2-P: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 2-M: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Manhattan).
- Versão 2-E: Focado apenas no Pacman e Ghosts não comestíveis, Regista apenas 12 casos dos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean).
- Versão 3-P: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Path).
- Versão 3-M: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Manhattan).
- Versão 3-E: Focado em Pacman e Ghosts, Regista todos os casos 18 possíveis, PathFinding(Euclidean).

Os Resultados das VCGs de FS-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V2-P é a VCG com melhores resultados, os VCGs com foco em pacman e ghosts não comestíveis tiveram melhores resultados e a melhor forma de aplicar pathfinding é ?Path?.



Figura 5.22: Resultados das VCGs de FS-POComm

### 5.5.3 Controlador FRIGHT-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador FRIGHT-POComm serem regras em vez de ser números e não haver limite de quantas regras pode usar para decidir qual vai ser o seu próximo movimento, não vai ser realizada uma procura geral. Em vez de realizar procura geral, foram testados VCGs com, três níveis de complexidade de implementação das regras e três formas aplicar pathfinding do simulador do jogo pacman para realizar movimento de aproximação e afastamento. A razão por acrescentar pathfinding é para saber como as três formas de aplicar pathfinding afectam os ghosts. A Figura 5.23 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FRIGHT-POComm:

- Versão 1-P: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Path)
- Versão 1-M: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Manhattan)
- Versão 1-E: Número de regras 4, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Euclidean)
- Versão 2-P: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Path)
- Versão 2-M: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Manhattan)

- Versão 2-E: Número de regras 6, Complexidade das regras-Baixa, PathFinding(Euclidean)
- Versão 3-P: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Path)
- Versão 3-M: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Manhattan)
- Versão 3-E: Número de regras 8, Complexidade das regras-Media, PathFinding(Euclidean)

Os Resultados das VCGs de FRIGHT-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V3-P é a VCG com melhores resultados, a melhor forma de aplicar pathfinding é ?Path?e a pior é ?Euclidean?.



Figura 5.23: Resultados das VCGs de FRIGHT-POComm

#### 5.5.4 Controlador DW-POComm

VCGs de DW-POComm a ser testadas nas Fase 1 (CC):

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador DW-PO ter infinitas combinações de parâmetros possíveis, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipos combinações de parâmetros com três diferentes níveis de valores.

Os quatro tipos combinações de parâmetros são:

- 1º-Misto, em que o agente foca-se mais em Pacman no estado não comestível e no estado comestível em Ghosts .
- 2º-Atacante, em que o agente foca-se mais em Pacman independentemente do estado do agente
- 3º-Defensivo, em que o agente foca-se mais em Ghost independentemente do estado do agente
- 4º-Equilibrado, em que o agente foca-se igualmente em Ghost e Pacman independentemente do estado do agente

Os 3 níveis de valores são:

- 0º-Baixo, em os valores das combinações de parâmetros são pequenos e próximos entre si.
- 1º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros são médios e consideravelmente distantes entre si.
- 2º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são altos e bastante distantes entre si.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores e o da direita representa o tipo de combinação de parâmetros.

Versão XXº (1º 2º 3º 4º —5º 6º 7º 8º)

- 1º - Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º - Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º - Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4º - Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível
- 7º- Agente comestível e Pacman longe de Power Pill
- 8º - Agente comestível e Pacman perto de Power Pill

A Figura 5.24 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de DW-POComm:

- Versão 01º (10 20 40 80—20 80 40 40)
- Versão 02º (20 40 80 80—20 40 80 80)
- Versão 03º (80 60 40 40—60 80 40 40)
- Versão 04º (40 40 40 40—40 40 40 40)
- Versão 11º (100 200 400 800—200 800 400 400)
- Versão 12º (200 400 800 800—200 400 800 800)
- Versão 13º (800 600 400 400—600 800 400 400)
- Versão 14º (400 400 400 400—400 400 400 400)
- Versão 21º (1000 2000 4000 8000—2000 8000 4000 4000)
- Versão 22º (2000 4000 8000 8000—2000 4000 8000 8000)
- Versão 23º(8000 6000 4000 4000—6000 8000 4000 4000)
- Versão 24º(4000 4000 4000 4000—4000 4000 4000 4000)

Os Resultados das VCGs de DW-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V14 ser o VCG com melhores resultados e entre os 4 tipos o Atacante é o pior e foi excluído na fase 2 (CC).



Figura 5.24: Resultados das VCGs de DW-POComm

### 5.5.5 Controlador Magnet-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto de parâmetros do controlador Magnet-POComm ter infinitas combinações de parâmetros possíveis, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipo combinações de parâmetros com três diferentes níveis de valores.

Os quatro tipos combinações de parâmetros são:

- 1º- Misto, em que o agente foca-se mais em Pacman no estado não comestível e no estado comestível em Ghosts.
- 2º- Atacante, em que o agente foca-se mais em Pacman independentemente do estado do agente
- 3º- Defensivo, em que o agente foca-se mais em Ghost independentemente do estado do agente
- 4º -Equilibrado, em que o agente foca-se igualmente em Ghost e Pacman independentemente do estado do agente

Os 3 níveis de valores são:

- 0º-Baixo, em os valores das combinações de parâmetros são pequenos.
- 1º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros são médios.
- 2º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são altos.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores e o da direita representa o tipo de combinação de parâmetros.

Versão XXº (1º 2º 3º 4º —5º 6º 7º 8º)

- 1º - Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º - Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º - Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4º - Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível

- 7º- Agente comestível e Pacman longe de Power Pill
- 8º - Agente comestível e Pacman perto de Power Pill

A Figura 5.25 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Magnet-POComm:

- Versão 01º(-10 20 40 -80—20 -60 -40 -80)
- Versão 02º(-20 40 80 -80—20 -40 -80 -80)
- Versão 03º(-60 80 40 -40—60 -80 -40 -40)
- Versão 04º(-40 40 40 -40—40 -40 -40 -40)
- Versão 11º(-100 200 400 -800—200 -600 -400 -800)
- Versão 12º(-200 400 800 -800—200 -400 -800 -800)
- Versão 13º(-600 800 400 -400—600 -800 -400 -400)
- Versão 14º(-400 400 400 -400—400 -400 -400 -400)
- Versão 21º(-1000 2000 4000 -8000—2000 -6000 -4000 -8000)
- Versão 22º(-2000 4000 8000 -8000—2000 -4000 -8000 -8000)
- Versão 23º(-6000 8000 4000 -4000—6000 -8000 -4000 -4000)
- Versão 24º(-4000 4000 4000 -4000—4000 -4000 -4000 -4000)

Os resultados das VCGs de Magnet-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V23 foi a VCG com melhores resultados, os VCGs com nível altos têm melhores resultados que os VCGs com nível, baixo e medio e entre os quatros tipos o Atacante é o pior e foi excluído na fase 2 (CC).



Figura 5.25: Resultados das VCGs de Magnet-PO

### 5.5.6 Controlador Patrol-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto do controlador Patrol-POComm têm 112 parâmetros, em vez de realizar procura geral foram testados quatro tipos de patrulha com quatro tipos de distribuição dos ghost.

Os quatro tipos de patrulha são:

- 1º -Quadrada, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um quadrado.
- 2º -Triângulo, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um Triângulo.
- 3º-X, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um X.
- 4º-Retângulo, em que cada Ghost patrulha as quatro posições de patrulha desenha um Retângulo.

Os quatro tipos de distribuição dos ghost são:

- 1º- +, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são cima, baixo esquerda e direita.
- 2º- X em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são os quatro cantos do labirinto.
- 3º- Horizontal, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são quatro partes horizontais do labirinto.
- 4º- Vertical, em que as partes do labirinto que os Ghosts vão patrulhar são quatro partes verticais do labirinto.

A Figura 5.26 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Patrol-POComm:

- Versão 1º- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos Ghost X
- Versão 2º- tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos Ghost X
- Versão 3º- tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos Ghost X
- Versão 4º- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos Ghost horizontal
- Versão 5º- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 6º- tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 7º- tipo de patrulha tipo X, tipo de distribuição dos Ghost +
- Versão 8º- tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos Ghost lateral

Os resultados das VCGs de Patrol-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V1 foi a VCG com melhores resultados, os VCGs com o tipo distribuição dos ghost, X, Horizontal e vertical conseguem ter bons resultados.



Figura 5.26: Resultados das VCGs de Patrol-PO

## 5.5.7 Controlador Priority-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura geral do controlador Priority-POComm, testando 3 combinações possíveis com 4 ghost especializados, testar 4 combinações com 2 ghost especializados e 3 combinações em que todos os ghosts são iguais.

G- (x/y/z)

- x-Pacman
- y- Ghost não Comestível
- z-Ghost Comestível

A Figura 5.27 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Priority-PO:

- Versão 1º G1(1/2/3)G2(1/3/2)G3(2/3/1)G4(2/1/3)
- Versão 2º G1(1/2/3)G2(1/3/2)G3(3/2/1)G4(3/1/2)
- Versão 3º G1(2/1/3)G2(2/3/1)G3(3/2/1)G4(3/1/2)
- Versão 4º G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(2/3/1)G4(2/3/1)
- Versão 5º G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(3/2/1)G4(3/2/1)
- Versão 6º G1(1/3/2)G2(1/3/2)G3(2/3/1)G4(2/3/1)
- Versão 7º G1(1/3/2)G2(1/3/2)G3(3/2/1)G4(3/2/1)
- Versão 8º G1(1/2/3)G2(1/2/3)G3(1/2/3)G4(1/2/3)
- Versão 9º G1(2/1/3)G2(2/1/3)G3(2/1/3)G4(2/1/3)
- Versão 10º G1(3/1/2)G2(3/1/2)G3(3/1/2)G4(3/1/2)

Os resultados das VCGs de Priority-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V5 foi a VCG com melhores resultados, pelo menos um dos VCGs com um, dois e quatro ghost especializados conseguem ter bons resultados.



Figura 5.27: Resultados das VCGs de Priority-POComm

## 5.5.8 Resultados da fase 1 de testes (SC)

### Ranking dos Controladores Ghosts:

- 1º- Patrol-POComm- 3736,06
- 2º- DW-POComm- 3820,4
- 3º- Magnet-POComm- 3906,8
- 4º- FRIGHT-POComm- 4072,7
- 5º- Priority-POComm- 4168,46
- 6º- StartGhost-POComm- 4361,7
- 7º- FS-POComm- 4395,09

A Figura 5.28 apresenta os resultados da fase 1 (CC):



Figura 5.28: Resultados da fase 1 (SC)

Em termos de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, quase todos estiveram dentro das expectativas iniciais, exceto Patrol-POComm que conseguiu o 1º lugar do Ranking tendo em conta que o seu ponto forte é encontrar o Pacman e não persegui-lo.

Entre as varias versões de controladores testadas nota-se um aumento de eficiência do Ghost Team, quando os Ghosts deixam de focalizar-se apenas no Pacman e têm em consideração os restantes Ghost, especialmente os Ghost não comestíveis.

O método "Path" para calcular a distância entre duas posições no labirinto, é o melhor para controladores Ghost com comunicação.

Um Ghost Team com Ghosts especializados têm potencial se puderem comunicar entre sí. Ter os Ghosts a patrulhar diferentes partes do labirinto, quando não sabe a posição do Pacman aumenta a eficiência do Ghost Team em limitar a pontuação do Pacman.

## 5.6 Fase 2 de Testes (Com Comunicação)

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 2 de testes (com comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros na maioria dos controladores Ghost. As únicas exceções foram os controladores FS e FRIGHT, pois não possuem parâmetros numéricos.



## 5.6.1 Controlador Startghost-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local do único parâmetro entre os valores 0.88 -1.0 do controlador Startghost-POComm.A Figura 5.29 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- V6- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.98
- V7- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.96
- V8- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.94
- V9- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.92
- V10- Probabilidade de ir atrás de pacman ? 0.88

Os resultados das VCGs de StartGhost-POComm da fase 2 (CC) revelam que V8 ter o melhor resultado entre os VCGs de StartGhost -POComm e foi selecionado para participar na CEGT 2018 em vez de V6 porque V8 ter o melhor resultado por uma grande margem entre todas as VCGs StartGhost-POComm.

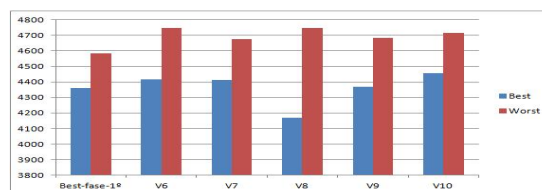


Figura 5.29: Resultados das VCGs de StartGhost-POComm

## 5.6.2 Controlador FS-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Foram testados dois novos VCGs com as três formas aplicar pathfinding, que registam todos os 18 casos possíveis e têm um elemento do jogo pacman que tem maior prioridade. Isto significa que todos os casos em que o agente visualiza o elemento com maior prioridade, a ação que vai executar vai ser um movimento de aproximação ou afastamento nesse elemento. A Figura 5.30 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FS-POComm:

- Versão 4-P: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Path).
- Versão 4-M: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Manhattan).
- Versão 4-E: Focado em pacman e ghosts, em que pacman tem maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Euclidean).

- Versão 5-P: Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Path)
- Versão 5-M: Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Manhattan)
- Versão 5-E: Focado em pacman e ghosts, em que ghost não comestíveis têm maior prioridade, regista todos os casos 18 possíveis, pathFinding(Euclidean).

Os Resultados das VCGs de FS-POComm da fase 2 (CC) revelam que a V5-P foi o melhor resultado entre os VCGs de FS-POComm e também foi selecionado para participar na CEGT 2018 porque entre as piores sessões dos VCGs de FS-POComm, V5-P têm um dos melhores resultados.

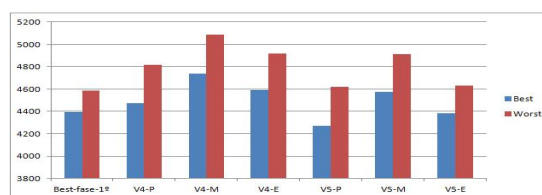


Figura 5.30: Resultados das VCGs de FS-PO

### 5.6.3 Controlador FRIGHT-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Foram testados dois novos VCGs com as três formas aplicar pathfinding, que usam mais regras e são ainda mais complexas que as VCGs testadas na fase 2 (CC). A Figura 5.31 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de FRIGHT-POComm:

- Versão 4-P: Número de regras 10, complexidade das regras Media, pathFinding(Path).
- Versão 4-M: Número de regras 10, complexidade das regras Media. pathFinding(Manhattan).
- Versão 4-E: Número de regras 10, complexidade das regras Media, pathFinding(Euclidean).
- Versão 5-P: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Path).
- Versão 5-M: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Manhattan)
- Versão 5-E: Número de regras 12, complexidade das regras Alta, pathFinding(Euclidean)

Os resultados das VCGs de FRIGHT -POComm da fase 2 (CC) revelam que a V3-P continuar a ter o melhor resultado entre os VCGs de FRIGHT-POComm e foi selecionado para participar na CEGT 2018 porque V3-P ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste, que os restantes VCGs de FRIGHT-POComm .

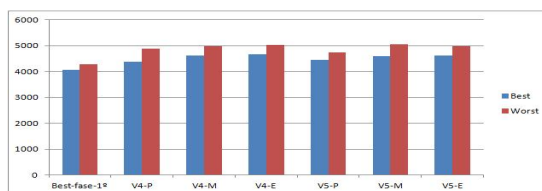


Figura 5.31: Resultados das VCGs de FRIGHT-POComm

## 5.6.4 Controlador DW-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local dos tipos de combinações de parâmetro realizado na fase1 (CC). O tipo combinação de parâmetro Atacante foi excluído e os parâmetros estão todos ao nível alto, excepto V141. Nesta fase (CC) é testado com maior foco os três níveis de diferença entre os parâmetros com valores diferentes, que são:

- 1º-Alto, em os valores das combinações de parâmetros são muito distantes entre si.
- 2º-Medio, em os valores das combinações de parâmetros consideravelmente distantes entre si.
- 3º-Pequeno, em os valores das combinações de parâmetros são bastante próximos entre si.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores, o do centro representa o tipo de combinação de parâmetros e o da direita representa o nível de diferença.

VCGs de DW-POComm a ser testadas nas Fase 2 (CC):

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill
- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill
- 5º- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6º- Agente comestível e Ghost comestível
- 7º- Agente comestível e pacman longe de Power Pill
- 8º- Agente comestível e pacman perto de Power Pill

A Figura 5.32 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de DW-POComm:

- Versão 141º(500 500 500 500 —500 500 500 500)
- Versão 242º(1000 1000 1000 1000 —1000 1000 1000 1000)
- Versão 243º(2000 2000 2000 2000 —2000 2000 2000 2000)

- Versão 231°(6000 5000 4000 4000—5000 6000 4000 4000)
- Versão 232°(5000 4500 4000 4000—4500 5000 4000 4000)
- Versão 233°(4200 4100 4000 4000—4100 4200 4000 4000)
- Versão 211°(1000 2000 3000 4000—2000 4000 3000 3000)
- Versão 212°(1000 1500 2000 2500—2000 3000 2500 2500)
- Versão 213°(1000 1100 1200 1300—2000 2200 2100 2100)

Os resultados das VCGs de DW-POComm da fase 2 (CC) revelam que a V233 ter o melhor resultado entre os VCGs de DW-POComm, foi selecionado a V233 para participar na CEGT 2018 porque V133 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste, que a V14.

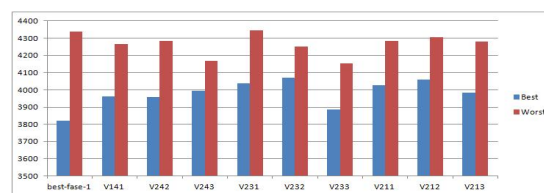


Figura 5.32: Resultados das VCGs de DW-POComm

## 5.6.5 Controlador Magnet-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Foi realizado uma procura local dos tipos de combinações de parâmetro realizado na fase1 (CC). O tipo combinação de parâmetro Atacante foi excluído e os parâmetros estão todos ao nível Alto. Nesta fase (CC) é testado em fazer ligeiras alterações, para tornar nas três melhores combinações de parâmetros da fase 1 (CC) numa combinação de parâmetros do tipo Defensivo.

Os números das VCGs representam a combinação de parâmetros que têm, o numero á esquerda representam o nível dos valores, o do centro representa o tipo de combinação de parâmetros e o da direita representa uma modificação para o tipo Defensivo.

Versão XX° (1° 2° 3° 4° —5° 6° 7° 8°)

- 1°- Agente Não comestível e Ghost não comestível
- 2°- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3°- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill
- 4°- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill
- 5°- Agente comestível e Ghost não comestível
- 6°- Agente comestível e Ghost comestível
- 7°- Agente comestível e pacman longe de Power Pill

- 8º- Agente comestível e pacman perto de Power Pill

A Figura 5.33 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Magnet-PO:

- Versão 231º(-6000 8000 3000 -3000—6000 -8000 -3000 -3000)
- Versão 232º(-6000 8000 5000 -5000—6000 -8000 -5000 -5000)
- Versão 233º(-6000 8000 4000 -8000—4000 -6000 -2000 -8000)
- Versão 211º(-2000 3000 4000 -8000—3000 -7000 -4000 -8000)
- Versão 212º(-1000 2000 2000 -8000—2000 -6000 -2000 -8000)
- Versão 213º(-3000 4000 2000 -8000—4000 -6000 -2000 -2000)
- Versão 241º(-2000 2000 2000 -2000—2000 -2000 -2000 -2000)
- Versão 242º(-8000 8000 8000 -8000—8000 -8000 -8000 -8000)
- Versão 243º(-6000 6000 4000 -8000—6000 -6000 -4000 -8000)

Os resultados das VCGs de Magnet-POComm da fase 2 (CC) revelam que apesar de a V243 ter o melhor resultado entre os VCGs de Magnet-POComm, foi selecionado a V233 para participar na CEGT 2018 porque V233 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste, que a V243.

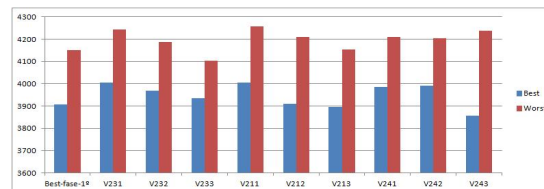


Figura 5.33: Resultados das VCGs de Magnet-POComm

## 5.6.6 Controlador Patrol-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Devido ao facto do controlador Patrol-PO ser o vencedor da fase 1 (cC), vão ser testados as restantes duas formas aplicar pathfinding nas quatro melhores VCGs Patrol-PO testados na fase 1 (SC). Também vão ser testados três VCGs Patrol-PO, com ligeiras alterações nas posições de fuga.A Figura 5.34 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Patrol-PO:

- Versão 1-M - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Manhattan).
- Versão 1-E - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Euclidean).
- Versão 3-M - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Manhattan).

- Versão 3-E - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, PathFinding(Euclidean).
- Versão 4-M - tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost horizontal, PathFinding(Manhattan).
- Versão 4-E - tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost horizontal, PathFinding(Euclidean).
- Versão 8-M -tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral, PathFinding(Manhattan).
- Versão 8-E -tipo de patrulha retângula, tipo de distribuição dos ghost lateral, PathFinding(Euclidean).
- Versão 12 - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.
- Versão 22 - tipo de patrulha triângulo, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.
- Versão 32 - tipo de patrulha X, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.

Os resultados das VCGs de Patrol-POComm da fase 1 (CC) revelam que a versão V12 foi a VCG Patrol-POComm com melhores resultados, também foi selecionado para participar na CEGT 2018, porque ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste , que os restantes VCGs de Patrol-POComm. A melhor forma de aplicar pathfinding no Patrol-POComm é ?Path?.

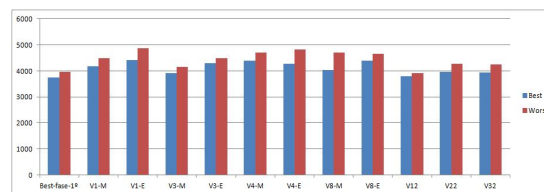


Figura 5.34: Resultados das VCGs de Patrol-POComm

## 5.6.7 Controlador Priority-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Realizar uma procura local do controlador Priority-POComm, em que foi as melhores VCGs testados na fase 1 (CC), com ligeiras modificações, alterando apenas os parâmetros de um ghost.

G- (x/y/z)

- x-Pacman
- y- Ghost não Comestível
- z-Ghost Comestível

A Figura 5.35 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes VCGs de Priority-PO:

- Versão 5-1º- G1(1/2/3) G2(1/2/3) G3(1/2/3) G4(3/2/1)
- Versão 5-2º- G1(1/2/3) G2(3/2/1) G3(3/2/1) G4(3/2/1)
- Versão 2-1º- G1(1/2/3) G2(1/3/2) G3(3/2/1) G4(1/2/3)
- Versão 2-2º- G1(1/2/3) G3(3/2/1) G3(3/2/1) G4(3/1/2)
- Versão 3-1º- G1(2/1/3) G2(2/3/1) G3(3/2/1) G1(2/1/3)
- Versão 3-2º- G1(2/1/3) G2(3/2/1) G3(3/2/1) G4(3/1/2)
- Versão 7-1º- G1(1/3/2) G2(1/3/2) G3(1/3/2) G4(3/2/1)
- Versão 7-2º- G1(1/3/2) G2(3/2/1) G3(3/2/1) G4(3/2/1)
- Versão 6-1º- G1(1/3/2) G2(1/3/2) G3(1/3/2) G4(2/3/1)
- Versão 6-2º- G1(1/3/2) G2(2/3/1) G3(2/3/1) G4(2/3/1)

Os resultados das VCGs de Priority-POComm da fase 2 (CC) revelam que apesar de a V7-2 ter o melhor resultado entre os VCGs de Priority-POComm, foi selecionado a V2 para participar na CEGT 2018 porque V2 ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste, que a V7-2.

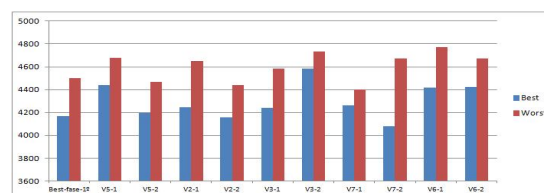


Figura 5.35: Resultados das VCGs de Priority-POComm

## 5.6.8 Resultados da fase 2 de testes (CC)

Ranking dos Controladores Ghosts:

- 1º- Patrol-POComm- 3785,7
- 2º- Magnet-POComm- 3857,8
- 3º- DW-POComm- 3886,9
- 4º- Priority-POComm- 4077,3
- 5º- StartGhost-POComm- 4171
- 6º- FS-POComm- 4272,8
- 7º- FRIGHT-POComm- 4388,8



Figura 5.36: Resultados da fase 2 (CC)

Ranking das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (CC):

- 1º - Patrol-POComm(V12)- 3785,7
- 2º - DW-POComm(V233)- 3886,9
- 3º - Magnet-POComm(V233)- 3935,06
- 4º - FRIGHT-POComm(V3-P)- 4072,7
- 5º - Priority-POComm(V2)- 4174,5
- 6º - FS-POComm(V5-P)- 4272,8
- 7º - StartGhost-POComm(V1)- 4361,7



Figura 5.37: Resultados das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (CC)

A Figura 5.36 apresenta os resultados da fase 2 (CC) e a Figura 5.37 apresenta os resultados das VCGs que vão concorrer no CEGT 2018 (CC).

### Conclusões:

Em termo de desempenho dos Controladores Ghost nesta fase, StartGhost-POComm, FS-POComm, Priority-POComm e Magnet-POComm conseguiram ter melhores resultados, comparado com os seus resultados da fase 1.

O controlador FS-POComm provavelmente já atingiu o seu máximo potencial de eficazmente limitar a pontuação do Pacman.



O controlador FRIGHT-POComm precisa de ser aperfeiçoado para poder ter melhores resultados. O controlador Magnet-POComm e DW-POComm são os mais competentes em perseguir o Pacman. O método "Path" é um método para calcular a distância entre duas posições no labirinto, é o melhor método para ser usado no controlador Patrol-POComm.

Com os resultados destas duas fases é óbvio que os 3 melhores Controladores Ghosts são Patrol-POComm, DW-POComm e Magnet-POComm. O ponto forte de Patrol-POComm é encontrar Pacman, o ponto forte de DW-POComm e Magnet-POComm é perseguir Pacman.

Na fase 3 (com comunicação) vão ser testados controladores Patrol-POComm que ao visualizar Pacman, perseguem-no com a estratégia de DW-POComm ou Magnet-POComm.

## 5.7 Fase 3 de Testes (Com Comunicação)

Nesta sessão vai ser descrita os resultados da fase 3 de testes (com comunicação). Nesta fase, foram testados diversas combinações de parâmetros nos dois novos controladores Ghost, PatrolDW-POComm e PatrolMagnet-POComm que participam na fase 3(CC).

Originalmente era suposto ser apenas um controlador Ghost que iria participar nesta fase (CC), que seria o resultado de combinar os dois melhores controlador Ghosts da fase 2(CC). Dado que DW-POComm e Magnet-POComm têm resultado quase idênticos e Patrol-POComm é melhor controlador ghost da fase 2 (CC), vão participar os seguintes controladores ghosts na fase 3(CC), PatrolDW-POComm e PatrolMagnet-POComm .

O controlador ghosts PatrolDW-POComm usa os 112 parâmetros de Patrol-POComm e os primeiros quatro de DW-POComm. Quando um agente PatrolDW-POComm está na face de decisão, a primeira coisa que faz é determinar se sabe a posição de pacman, se não souber vai usar abordagem de Patrol-POComm para decidir onde se vai dirigir, se souber e tiver no estado não comestível vai usar abordagem de DW-POComm para decidir onde se vai dirigir e se souber e tiver no estado comestível faz um movimento de afastamento do pacman.

A implementação de PatrolMagnet-POComm foi idêntica ao de PatrolDW-POComm, excepto que usa os primeiros quatro parâmetros de Magnet-POComm e a sua abordagem de para decidir onde se vai dirigir em vez de DW-POComm

### 5.7.1 PatrolDW-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Para criar uma VCGs de PatrolDW-POComm, é preciso dois tipos de parâmetros, Patrol-POComm e DW-POComm. Do lado Patrol-POComm foram seleccionados os dois melhores VCGs Patrol-POComm da fase 2 (CC). Do lado DW-POComm foram seleccionados quatro dos VCGs DW-POComm da fase 2 (CC), dois dos VCGs Priority-POComm da fase 2 (CC) compilados em parâmetros de DW-POComm e um novo VCGs DW-POComm. Os VCGs de PatrolDW-POComm que vão ser testados na fase 3 (CC) em dois grupos de sete VCGs de PatrolDW-POComm, cada grupo usam um específico parâmetro Patrol-POComm e sete parâmetros

DW-POComm.

Tipo de parâmetro Patrol-POComm

- Versão 1º- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X.
- Versão 12 - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.

Tipos de parâmetros DW-PO

Versão XXº (1º 2º 3º 4º) G1- Um ghost G2- Dois ghost G3- Três ghost GT- Ghost team (Quatro ghosts)

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível.
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível.
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill.
- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill.

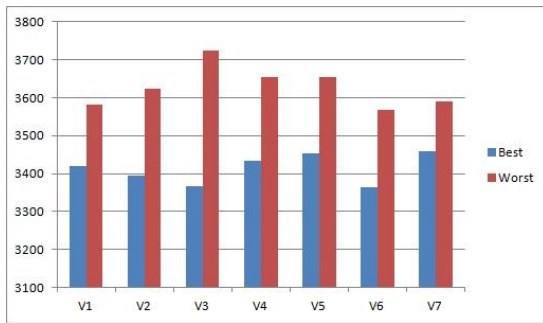
A Figura 5.38 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

- Versão 1: GT(4200 4100 4000 4000)
- Versão 2: GT(2000 2000 2000 2000)
- Versão 3: GT(500 500 500 500)
- Versão 4: GT(4000 4000 4000 4000)
- Versão 5: G1(4000 4500 5000 5000)G1(4500 4000 5000 5000)G1(5000 4500 4000 4000)G1(4500 5000 4000 4000)
- Versão 6: 2G(4500 5000 4000 4000)1G(5000 4500 4000 4000)1G(4500 4000 5000 5000)
- Versão 7: GT(4400 4000 4200 4500 4500)

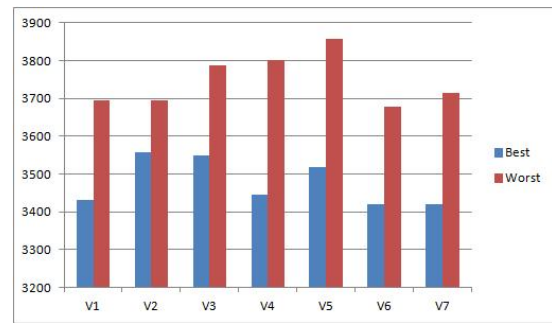
Grupos de VCGs PatrolDW-POComm a ser testados.

- Patrol-V1-DW-POComm- (Patrol-POComm (V1) —DW-POComm (V1-V7))
- Patrol-V12-DW-POComm- (Patrol-POComm (V12) —DW-POComm (V1-V7))

**Resultados das VCGs de PatrolDW-POComm da fase 3 (CC)** No grupo Patrol-V1-DW-POComm foi selecionado V6 como melhor VCG do grupo por ter os melhores resultados. No grupo Patrol-V12-DW-POComm foi selecionado V6 como melhor VCG do grupo por ter os melhores resultados



(a) Resultados das VCGs de Patrol-V1-DW-POComm



(b) Resultados das VCGs de Patrol-V12-DW-POComm

Figura 5.38: Resultados das VCGs de PatrolDW-POComm

## 5.7.2 PatrolMagnet-POComm

**A logica aplicada na seleção de parâmetros a ser testados.** Para criar uma VCGs de PatrolMagnet-POComm, é preciso dois tipos de parâmetros, Patrol-POComm e Magnet-POComm. Do lado Patrol-POComm foram selecionados os dois melhores VCGs Patrol-POComm da fase 2 (CC). Do lado Magnet-POComm foram selecionados quatro dos VCGs Magnet-POComm da fase 2 (CC), dois dos VCGs Priority-POComm da fase 2 (CC) compilados em parâmetros de Magnet-POComm e um novo VCGs Magnet-POComm. Os VCGs de PatrolMagnet-POComm que vão ser testados na fase 3 (CC) em dois grupos de sete VCGs de PatrolMagnet-POComm, cada grupo usam um específico parâmetro Patrol-POComm e sete parâmetros Magnet-POComm.

Tipo de parâmetro Patrol-POComm

- Versão 1º- tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X.
- Versão 12 - tipo de patrulha quadrada, tipo de distribuição dos ghost X, com ligeiras alterações nas posições de fuga.

Tipo de parâmetro Magnet-POComm

Versão XXº (1º 2º 3º 4º) G1- Um ghost G2- Dois ghost G3- Três ghost GT- Ghost team (Quatro ghosts)

- 1º- Agente Não comestível e Ghost não comestível.
- 2º- Agente Não comestível e Ghost comestível.
- 3º- Agente Não comestível e pacman longe de Power Pill.
- 4º- Agente Não comestível e pacman perto de Power Pill.

A Figura 5.39 apresenta os resultados destes teste onde foram utilizados os seguintes valores:

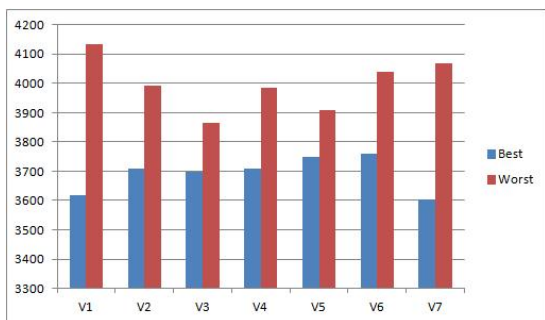
- Versão 1: GT(-6000 6000 4000 -8000)
- Versão 2: GT(-3000 4000 2000 -8000)
- Versão 3: GT(-6000 8000 4000 -8000)

- Versão 4: GT(-1000 2000 4000 -8000)
- Versão 5: G1(-4000 5000 6000 -6000)G1(-5000 4000 6000 -6000)G1(-6000 5000 4000 -4000)G1(-5000 6000 4000 -4000)
- Versão 6: G2(-5000 6000 4000 -4000)G1(-6000 5000 4000 -4000)G1(-5000 4000 6000 -6000)
- Versão 7: GT(-4500 4000 5000 -5000)

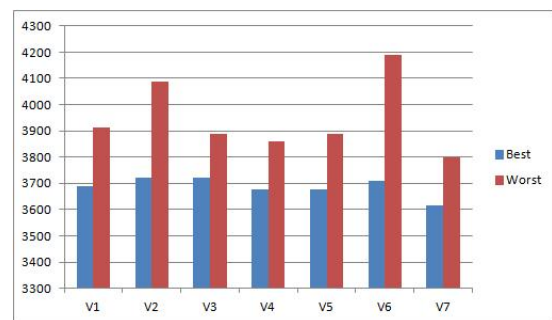
Grupos de VCGs PatrolMagnet-POComm a ser testados.

- Patrol-V1-Magnet-POComm- (Patrol-POComm (V1) —Magnet-POComm (V1-V7))
- Patrol-V12-Magnet-POComm- (Patrol-POComm (V12) —Magnet-POComm (V1-V7))

**Resultados das VCGs de PatrolMagnet-POComm da fase 3 (CC)** No grupo Patrol-V1-Magnet-POComm foi selecionado V3 por ter a menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes VCGs de deste grupo. No grupo Patrol-V12- Magnet -POComm foi selecionado V7 como melhor VCG do grupo por ter os melhores resultados.



(a) Resultados das VCGs de Patrol-V1-Magnet-POComm



(b) Resultados das VCGs de Patrol-V12-Magnet-POComm

Figura 5.39: Resultados das VCGs de PatrolMagnet-POComm

### 5.7.3 Resultados da fase 3 de testes (CC)

#### Ranking Final dos Controladores Ghost:

- 1º- Patrol-V1-DW-POComm (V6)- 3364,29
- 2º- Patrol-V12-DW-POComm (V6)- 3419,8
- 3º- Patrol-V1-Magnet-POComm (V7)- 3617,6
- 4º- Patrol-V12-Magnet-POComm (V3)- 3698,3

A Figura 5.40 apresenta os resultado das VCGsfinalista que vão concorrer pelo titulo Hybrid:

#### Conclusão:

Os Resultados final da fase 3(CC) revelam que entre os quatro Controladores finalistas, VCGs Patrol-V1-DW-POComm-V6 é o melhor porque tem os melhores resultados e por ter menor diferença entre os resultados da melhor sessão de teste e a pior sessão de teste que os restantes finalistas.



Figura 5.40: Resultados da Fase 3(CC)

O controlador Ghost Team Patrol-V1-DW-POComm-V6 para agora a ser conhecido como Controlador Ghost Team Hybrid.

## 5.8 Proposta (CC) Controlador Ghost Hybrid

### 5.8.1- Descrição resumida:

-O controlador Hybrid consiste num controlador Ghost, que combina as estratégias dos controladores Patrol-PO, DW-PO e usa o conceito do controlador Priority-PO para apanhar o Pacman eficazmente. A forma que um Ghost Hybrid se move pelo labirinto depende de dois fatores; primeiro, se está a visualizar o Pacman, segundo, o seu estado "comestível" ou "não comestível".

Se o Ghost Hybrid não visualizar o Pacman, vai comportar-se como um Ghost Patrol-PO, independentemente do seu estado. Se o Ghost Hybrid visualizar o Pacman, vai comportar-se como um Ghost DW-PO especializado quando estiver no estado "não comestível", mas quando passar para o "estado comestível" vai fazer apenas movimentos de afastamento do Pacman até mudar de estado ou deixar de visualizar o Pacman.

### 5.8.2- Descrição detalhada:

#### Fase Movimento:

Quando o agente visualiza o Pacman envia uma mensagem para os restantes Ghosts com a posição deste, caso contrário vê as recentes mensagens recebidas para atualizar a posição do Pacman.

#### Fase Decisão:

##### 1ª Parte - Recolher input:

O agente tenta descobrir a posição do Pacman, se estiver visível para o agente ou receber uma mensagem recente de outro Ghost é bem-sucedido, caso contrário a sua posição é desconhecida.

##### 2ª Parte - Processar input:

Se o agente não sabe a posição do Pacman vai usar a estratégia do controlador Patrol-PO para fazer um movimento de aproximação para uma posição patrulha. Entre as 112 posições patrulha disponíveis para o agente, vai ser selecionada uma, dependendo do labirinto que o agente se move, dependendo qual dos 4 Ghost é o agente, do estado do agente e qual foi a ultima posição patrulha que passou no seu atual estado.

Se o agente sabe a posição e estiver no estado "não comestível", vai usar a estratégia do controlador DW-PO para dar um valor ao Pacman e aos restantes Ghosts visíveis para o agente. Toma em consideração apenas o valor do Pacman e do Ghost com maior valor, o agente escolhe o que tiver maior valor e faz um movimento de aproximação ou afastamento para ele. Se o Pacman e Ghost tiverem o valor igual a zero, o agente faz um movimento aleatório.

Se o agente sabe a posição e estiver no estado "comestível", faz um movimento de afastamento do Pacman.

### **3ª Parte - Executar output:**

Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação para uma posição patrulha, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, e de uma posição patrulha e executa o movimento que reduz a distância entre o agente, e a posição patrulha.

Se o agente decidir fazer um movimento de afastamento, faz uma consulta de pathfinding, onde recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que aumenta a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost.

Se o agente decidir fazer um movimento de aproximação para o Pacman ou Ghost, faz uma consulta de pathfinding do jogo em que recebe a posição do agente, do Pacman ou do Ghost e executa um movimento que reduz a distância entre o agente, o Pacman ou o Ghost.

Se o agente decidir fazer um movimento aleatório, obtém numa lista, os movimentos possíveis dos Ghosts, tendo em conta, as suas limitações e usa um "random" para seleccionar qual o movimento na lista que vai executar.

### **5.8.3- Parâmetros do controlador:**

O controlador Hybrid usa os mesmos 112 parâmetros do controlador Patrol-PO e quatro dos oito valores fixos usados no controlador DW-PO que são:

- 1ª- Agente Não comestível e Ghost Não comestível
- 2ª- Agente Não comestível e Ghost comestível
- 3ª- Agente Não comestível e Pacman longe de Power Pill
- 4ª- Agente Não comestível e Pacman perto de Power Pill

Estes quatro valores fixos podem ser usados para especializar os Ghosts na sua tarefa de apanhar Pacman.

## **5.9 Resultados das Competições CEGTs 2018**

### **5.9.1 CEGTs 2018 (sem comunicação)**

#### **Resultados da CEGT(SC) 2018 Clássico:**

##### **Ranking dos controladores Ghost Team(SC) na CEGT 2018 Clássico:**

- 1º Ghost-Tosc- 3989,9
- 2º Magnet-PO- 4107,6
- 3º StartGhost-PO-Optimal 4121,4



Tabela 5.1: Resultados da CEGT(SC) 2018 Clássico

4º DW-PO- 4152

5º Bullseye- 4185,1

6º Patrol-PO- 4191,15

7º Priority-PO- 4284,4

8º FS-PO- 4366,3

9º LeHoNiPO- 4391

10º FRIGHT-PO- 4446,5

11º StartGhost-PO (Original)- 4744,6

12º Anatvats- 5386,5

13º RiMu- 8729,1

14º KeAIAnPe- 9087,2

**Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista:**

**Ranking dos controladores Ghost Team na CEGT(SC) 2018 Perfeccionista:**

1º Ghost-Tosc- 3763,8

2º Magnet-PO- 3928,1

3º DW-PO- 3943,6

4º Priority-PO- 4034,9

5º LeHoNiPO- 4042,4

6º Patrol-PO- 4076,8

7º Bullseye- 4098,9

8º StartGhost-PO-Optimal 4121,4

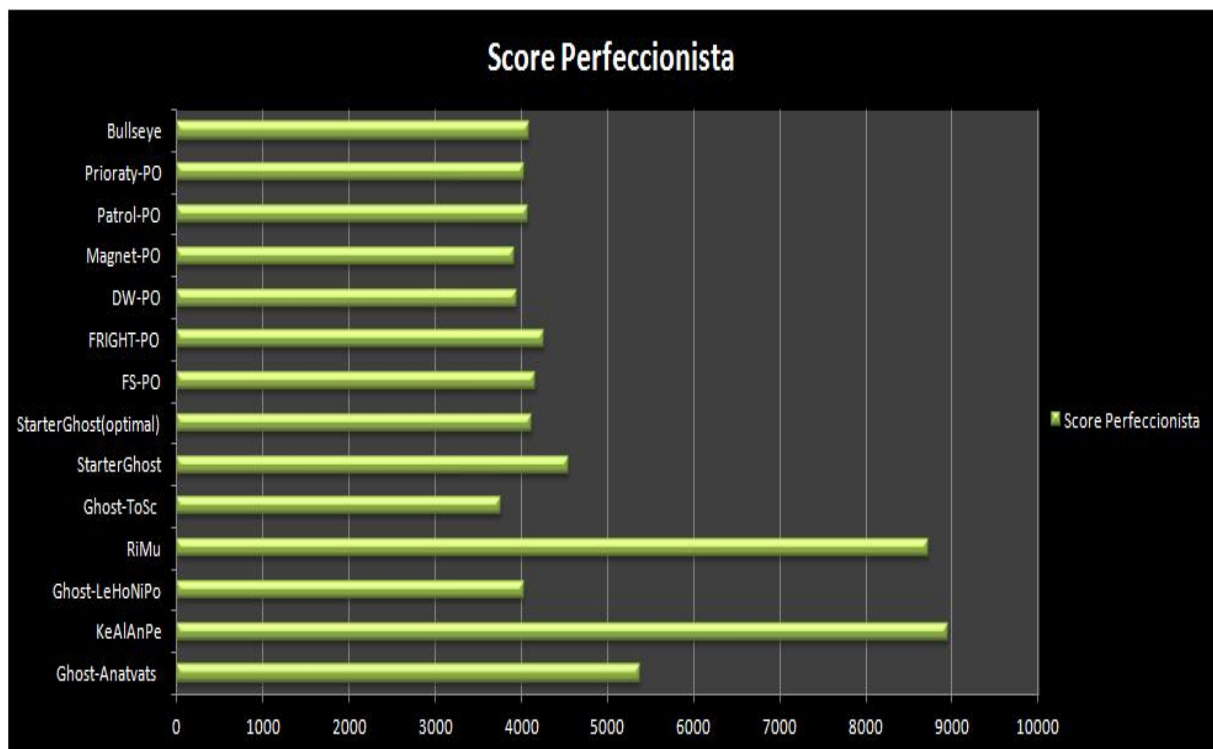


Tabela 5.2: Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista

9º FS-PO- 4157,6

10º FRIGHT-PO- 4260,1

11º StartGhost-PO (Original)- 4546,4

12º Anatvats- 5386,5

13º RiMu- 8729,1

14º KeAlAnPe- 8950,9



## Resultados da CEGT(SC) 2018 Total:

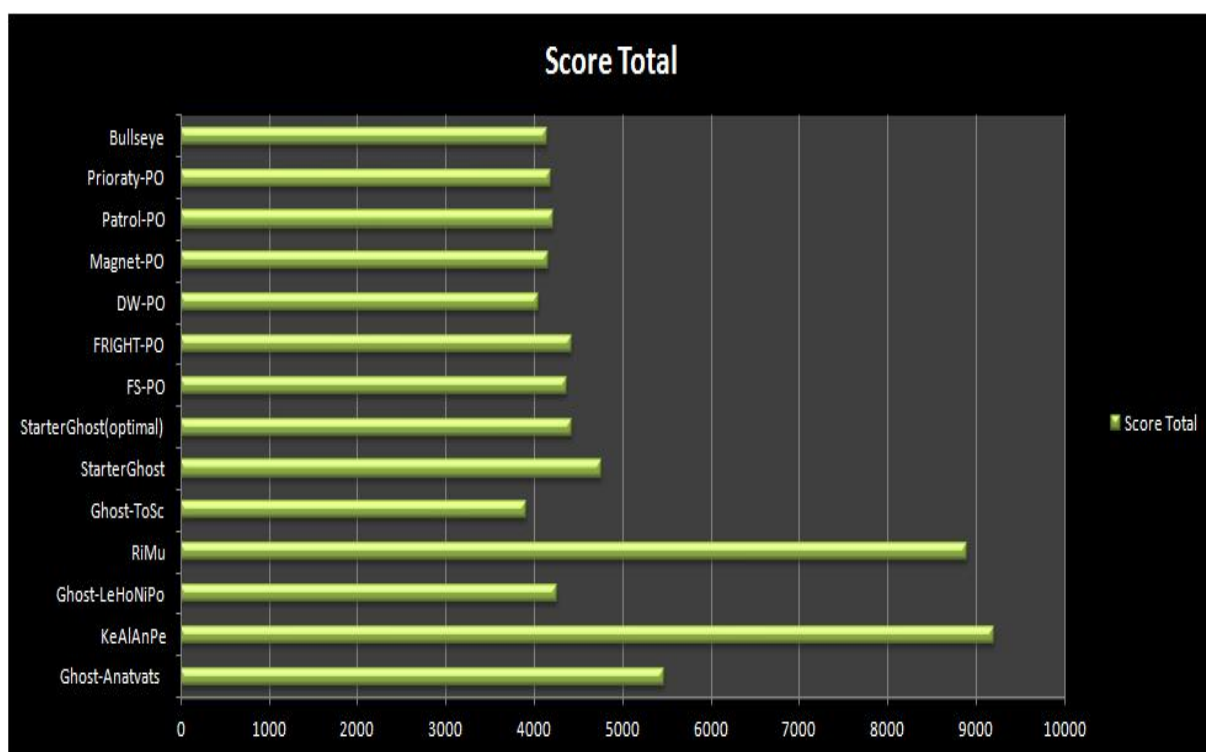


Tabela 5.3: Resultados da CEGT(SC) 2018 Total

## Ranking dos controladores Ghost Team na CEGT(SC) 2018 Total:

- 1º Ghost-Tosc- 3907,66
- 2º DW-PO- 4053,02
- 3º Bullseye- 4148,72
- 4º Magnet-PO- 4160,84
- 5º Priority-PO- 4182,12
- 6º Patrol-PO- 4218,02
- 7º LeHoNiPO- 4264,92
- 8º FS-PO- 4375,68
- 9º FRIGHT-PO- 4425,18
- 10º StartGhost-PO-Optimal 4431,46
- 11º StartGhost-PO (Original)- 4755,9
- 12º Anatvats- 5472,62
- 13º RiMu- 8901,08
- 14º KeAlAnPe- 9205,34

### **Análise dos resultados**

A primeira vista parece que o controlador Ghost Bullseye não conseguiu cumprir o objetivo da tese, que passava por ser o melhor controlador Ghost (sem comunicação) em limitar a pontuação do Pacman.

Analisando os resultados das CEGTs (sem comunicação) ao pormenor foi descoberto a causa do mau desempenho de Bullseye.

O controlador Pacman-Tosc, que é supostamente o melhor controlador Pacman desta competição por ficar no 4º lugar na CMPvsGT 2017 é bastante competente contra os seguintes controladores Ghost; KeAlAnPe, RiMu, Patrol-PO e Bullseye, o que resulta num resultado inferior ao expectável do Ghost Team Bullseye.

Como exemplo, se o controlador Pacman-Tosc jogar contra Ghost Team Patrol-PO ou Ghosts Team Bullseye consegue alcançar 6600-8000 pontos, mas se for contra Ghost Team StartGhost-PO ou Ghost Team Ghost-Tosc consegue apenas alcançar entre 3000-6000 pontos.

Para provar a qualidade do controlador Bullseye, vão ser apresentados os resultados das CEGTs(sem comunicação), retirando da média dos resultados o controlador Pacman-Tosc.

### **Resultados da CEGT(SC) 2018 Clássico (sem Pacman-Tosc):**

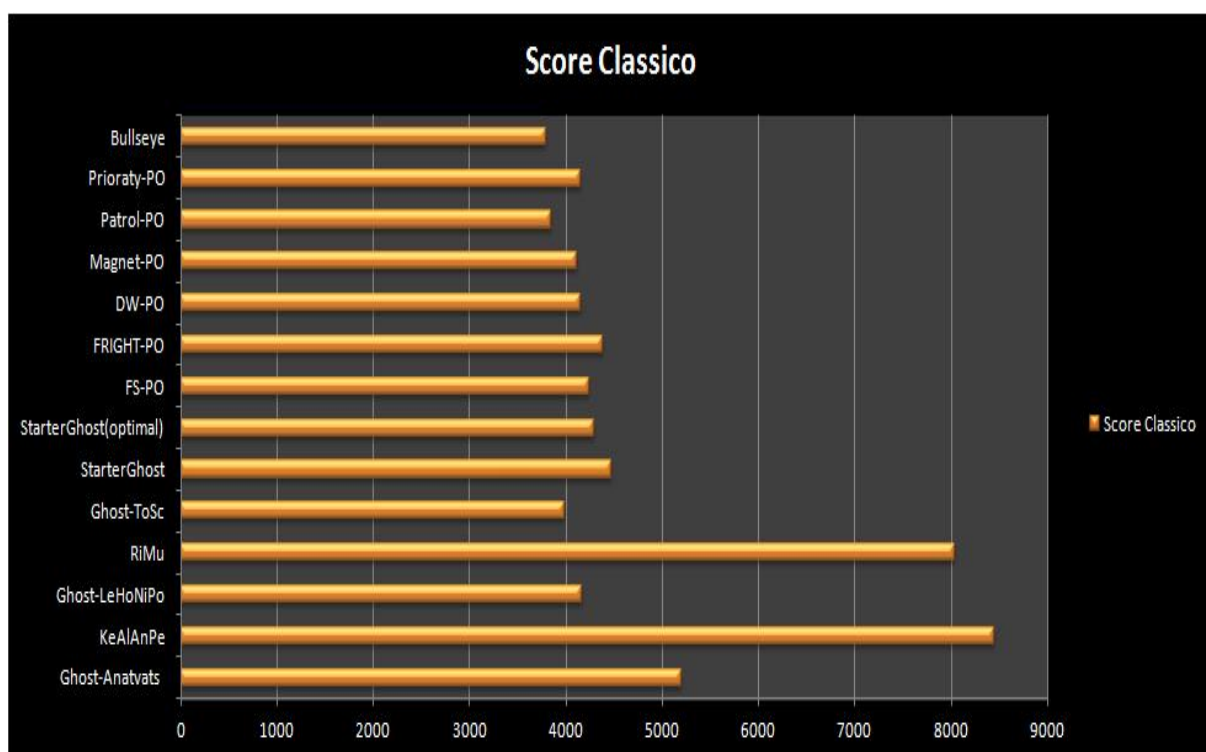


Tabela 5.4: Resultados da CEGT(SC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc)

### **Ranking dos controladores Ghost Team na CEGT(SC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc):**

1º Bullseye- 3786,838

2º Patrol-PO- 3848,338

3º Ghost-Tosc- 3978,45

4º Magnet-PO- 4108,963

5º DW-PO- 4145,563

- 6° Priority-PO- 4155,063
- 7° LeHoNiPO- 4158,75
- 8° FS-PO- 4238,138
- 9° StartGhost-PO-Optimal 4295,138
- 10°FRIGHT-PO- 4377,45
- 11° StartGhost-PO (Original)- 4470
- 12° Anatvats- 5195,588
- 13° RiMu- 8036,85
- 14° KeAlAnPe- 8440,613

**Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc):**



Tabela 5.5: Resultados da CEGT(SC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc)

**Ranking dos controladores Ghost Team na CEGT(SC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc):**

- 1° Bullseye- 3699,338
- 2° Patrol-PO- 3731,15
- 3° Ghost-Tosc- 3948,475
- 4° LeHoNiPO- 4013,2
- 5° DW-PO- 4038,363
- 6° Priority-PO- 4088,425
- 7° Magnet-PO- 4108,963
- 8° FS-PO- 4238,138
- 9°FRIGHT-PO- 4251,488

- 10° StartGhost-PO-Optimal 4295,138
- 11° StartGhost-PO (Original)- 4470
- 12° Anatvats- 5006,063
- 13° RiMu- 8036,85
- 14° KeAlAnPe- 8256,613

**Resultados da CEGT(SC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc):**



Tabela 5.6: Resultados da CEGT(SC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc)

**Ranking dos controladores Ghost Team na CEGT(SC) 2018 Total(sem Pacman-Tosc):**

- 1° Bullseye- 3764,203
- 2° Patrol-PO- 3844,343
- 3° Ghost-Tosc- 3982,803
- 4° LeHoNiPO- 4134,123
- 5° DW-PO- 4138,285
- 6° Magnet-PO- 4157,19
- 7° Priority-PO- 4184,045
- 8° FS-PO- 4272,298
- 9°FRIGHT-PO- 4344,053
- 10° StartGhost-PO-Optimal- 4424,06
- 11° StartGhost-PO (Original)- 4617,183
- 12° Anatvats- 5231,313
- 13° RiMu- 8259,755
- 14° KeAlAnPe- 8519,225

## Conclusões:

O controlador Ghost Team Bullseye é parcialmente bem-sucedido em cumprir o objetivo da tese por conseguir obter melhores resultados contra oitros dos nove controladores Pacman, somente quando adicionamos o controlador Pacman-Tosc desce vários lugares do ranking devido ao facto do Pacman-Tosc ser bastante competente, quando confrontado com controladores Ghost KeAIAnPe, RiMu, Patrol-PO e Bullseye.

## 5.9.2 CEGTs 2018 (com comunicação)

### Resultados da CEGT(CC) 2018 Clássico:

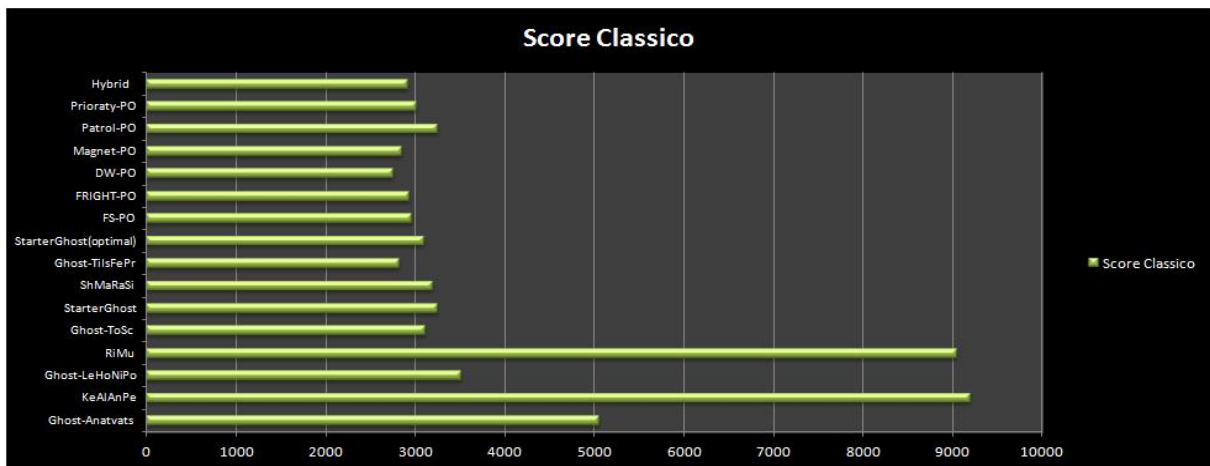


Tabela 5.7: Resultados da CEGT(CC) 2018 Clássico

### Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Clássico:

- 1º DW-POComm- 2753,6
- 2º TilsFePr- 2828,6
- 3º Magnet-POComm- 2846,5
- 4º Hybrid- 2913,7
- 5º FRIGHT-POComm- 2939,4
- 6º FS-POComm- 2960
- 7º Priority-POComm- 3019,1
- 8º StartGhost-POComm-Optimal- 3092,9
- 9º Ghost-Tosc- 3108,1
- 10º ShMaRaSi- 3201,6
- 11º StartGhost-POComm (Original)- 3248,8
- 12º Patrol-POComm- 3256,1
- 13º LeHoNiPO- 3519,3
- 14º Anatvats- 5049,2
- 15º RiMu- 9056,3
- 16º KeAIAnPe- 9200,09

## Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista:



Tabela 5.8: Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista

### Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Perfeccionista:

- 1º TilsFePr- 2724,9
- 2º DW-POComm- 2750,8
- 3º Hybrid- 2774,7
- 4º Magnet-POComm- 2811,6
- 5º FS-POComm- 2840,5
- 6º Priority-POComm- 2905,8
- 7º FRIGHT-POComm- 2935,3
- 8º StartGhost-POComm-Optimal- 2995,8
- 9º StartGhost-POComm (Original)- 3074,7
- 10º Ghost-Tosc- 3108,1
- 11º ShMaRaSi- 3201,6
- 12º Patrol-POComm- 3251
- 13º LeHoNiPO- 3367,9
- 14º Anatvats- 4782,7
- 15º RiMu- 8594
- 16º KeAlAnPe- 8868,8

### Resultados da CEGT(CC) 2018 Total:

#### Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Total:

- 1º TilsFePr- 2785,54



Tabela 5.9: Resultados da CEGT(CC) 2018 Total

- 2º DW-POComm- 2808,2
- 3º Magnet-POComm- 2878,44
- 4º FS-POComm- 2937,42
- 5º Priority-POComm- 2967,38
- 6º Hybrid- 2972,96
- 7º FRIGHT-POComm- 2973,04
- 8º StartGhost-POComm (Original)- 3154,5
- 9º StartGhost-POComm-Optimal- 3165,08
- 10º Ghost-Tosc- 3238
- 11º ShMaRaSi- 3241,42
- 12º Patrol-POComm- 3320,58
- 13º LeHoNiPO- 3443,28
- 14º Anatvats- 5094,56
- 15º RiMu- 9035,26
- 16º KeAlAnPe- 9138,178

#### Análise dos resultados

A primeira vista parece que o controlador Ghost Hybrid não conseguiu cumprir o objetivo da tese, que passava por ser o melhor controlador Ghost (com comunicação) em limitar a pontuação do Pacman.

Analisando os resultados das CEGTs (com comunicação) ao pormenor foi descoberto a causa do mau desempenho de Hybrid.

O controlador Pacman-Tosc, que é supostamente o melhor controlador Pacman desta competição

por ficar no 4º lugar na CMPvsGT 2017 é bastante competente contra os seguintes controladores Ghost; KeAlAnPe, RiMu, Patrol-POComm e Hybrid, o que resulta num resultado inferior ao expectável do Ghost Team Hybrid.

Como exemplo, se o controlador Pacman-Tosc jogar contra Ghost Team Patrol-POComm ou Ghosts Team Hybrid consegue alcançar 3600-5000 pontos mas se for contra Ghost Team StartGhost-POComm ou Ghost Team TilsFePr consegue apenas alcançar entre 600-1300 pontos.

Para provar a qualidade do controlador Hybrid, vão ser apresentados os resultados das CEGTs (com comunicação), retirando da média dos resultados o controlador Pacman-Tosc.

#### Resultados da CEGT(CC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc):



Tabela 5.10: Resultados da CEGT(CC) 2018 Classico (sem Pacman-Tosc)

#### Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Classico (sem Pacman-Tosc):

- 1º Hybrid- 2817,95
- 2º DW-POComm- 2992,925
- 3º TilsFePr- 3057,813
- 4º Magnet-POComm- 3086,138
- 5º Patrol-POComm- 3137,15
- 6º FS-POComm- 3207,825
- 7º FRIGHT-POComm- 3216,125
- 8º Priority-POComm- 3238,613
- 9º Ghost-Tosc- 3325,088
- 10º StartGhost-POComm-Optimal- 3376,388
- 11º ShMaRaSi- 3447,713



- 12º StartGhost-POComm (Original)- 3481,688
- 13º LeHoNiPO- 3545,925
- 14º Anatvats- 5032,425
- 15º RiMu- 8489,125
- 16º KeAlAnPe- 8619,775

**Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc):**



Tabela 5.11: Resultados da CEGT(CC) 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc)

**Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Perfeccionista (sem Pacman-Tosc)**

- 1º Hybrid- 2734,775
- 2º TilsFePr- 2984,038
- 3º DW-POComm- 2992,925
- 4º Magnet-POComm- 3048,163
- 5º Patrol-POComm- 3072,038
- 6º FS-POComm- 3102,213
- 7º Priority-POComm- 3152,538
- 8º FRIGHT-POComm- 3204,625
- 9º StartGhost-POComm-Optimal- 3231,125
- 10º Ghost-Tosc- 3325,088
- 11º StartGhost-POComm (Original)- 3349,05
- 12º LeHoNiPO- 3445,9
- 13º ShMaRaSi- 3447,713

14º Anatvats- 4948,013

15º RiMu- 8023,7

16º KeAlAnPe- 8236,038

**Resultados da CEGT(CC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc):**

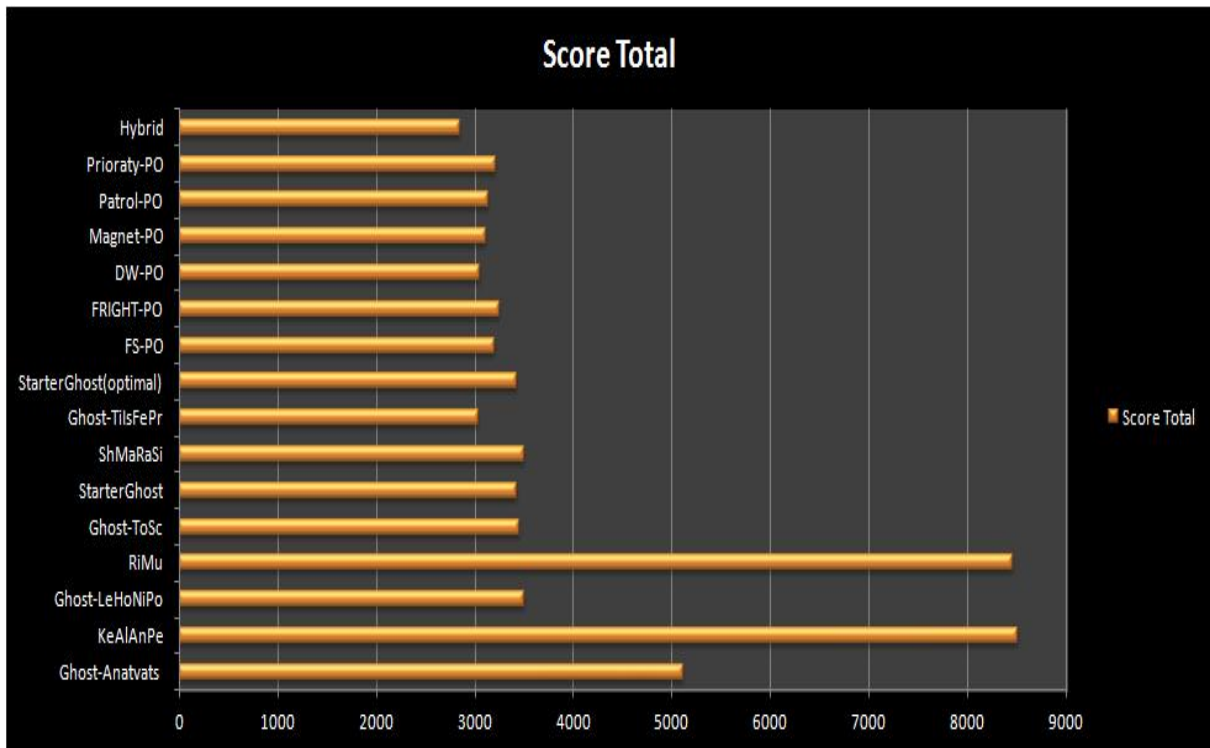


Tabela 5.12: Resultados da CEGT(CC) 2018 Total (sem Pacman-Tosc)

**Ranking dos controladores Ghost Team(CC) na CEGT 2018 Total (sem Pacman-Tosc):**

1º Hybrid- 2848,82

2º TilsFePr- 3039,318

3º DW-POComm- 3053,78

4º Magnet-POComm- 3116,793

5º Patrol-POComm- 3138,558

6º FS-POComm- 3202,155

7º Priority-POComm- 3206,73

8º StartGhost-POComm (Original)- 3423,113

9º StartGhost-POComm-Optimal- 3427,76

10º FRIGHT-POComm- 3245,858

11º Ghost-Tosc- 3449,24

12º ShMaRaSi- 3493,478

13º LeHoNiPO- 3500,713

14º Anatvats- 5113,55

15º RiMu- 8451,645

16º KeAlAnPe- 8504,185

**Conclusões:** O controlador Ghost Team Hybrid é parcialmente bem-sucedido em cumprir o objetivo da tese por conseguir obter melhores resultados contra oito dos nove controladores Pacman, somente quando adicionamos o controlador Pacman-Tosc desce vários lugares do ranking devido ao facto do Pacman-Tosc ser bastante competente, quando confrontado com controladores Ghost KeAIAnPe, RiMu, Patrol-POComm e Hybrid.



## Capítulo 6

# Conclusions

Esta tese baseia-se na criação de dois controladores de Ghost Team, com vista a dar resposta à falta de eficiência dos Ghosts no jogo Pacman original.

Para conseguir o meu propósito, comecei por uma fase de pesquisa onde através de artigos e trabalhos já realizados desenvolvi seis controladores Ghosts, cada um com a sua estratégia.

A partir daqui realizei inúmeros testes, com estes seis controladores num simulador do jogo Pacman em ambiente de observação parcial, os resultados obtidos serviram de base de partida para a criação de dois controladores Ghosts, com comunicação e sem comunicação, a que chamei “Ghost Team Hybrid” e “Ghost Team Bulseye”.

Como método de avaliação utilizei a competição Extra Ghosts Team 2018, cada sessão consistia em realizar cem jogos por cada um dos nove controladores Pacman, que por sua vez entrariam em confronto com os dezasseis controladores Ghosts Team com comunicação e os catorze Ghosts Team sem comunicação, o que resultou na realização de 27000 jogos.

Foram realizadas cinco destas sessões, perfazendo no total 135000 jogos.

Esta enorme quantidade de jogos permitiu-me obter os resultados para saber se os dois controladores Ghost Team que me propus criar seriam ou não mais eficientes em comparação com outros controladores de Ghost Team já existentes.

Ambos os controladores, Ghost Team Hybrid e Ghost Team Bulseye obtiveram resultados muito semelhantes, em ambos os casos foram bem sucedidos, obtendo o 1º lugar do Ranking em todos os tipos de análise no confronto contra oito dos nove controladores “Pacman”, contudo quando confrontados com o Controlador “Pacman Tosc”, o seu lugar do ranking era afetado, assim o “Ghost Hybrid” descia para o 3º lugar na análise Clássica, para o 4º lugar na análise Perfeccionista e para o 6º lugar na análise Total e o “Ghost Bulseye” descia para o 5ª, 7ª e 3ª lugar na análise Clássica, Perfeccionista e Total, respetivamente.

Através destes resultados sou levado a concluir que foi cumprido, quase na sua totalidade o objetivo proposto, que seria a criação de dois controladores mais eficientes que os já existentes, que não permitissem que o Pacman obtivesse resultados muito elevados na sua pontuação, apenas o controlador “Pacman Tosc” impediu que tal acontecesse.

Com base ainda nos resultados, estou convicto que com mais pesquisa, poderia desenvolver melhor estes dois controladores, de modo a aumentarem a sua eficiência quando confrontados com o controlador "Pacman Tosc", mantendo o mesmo nível de elevada eficiência contra os restantes controladores "Pacman".

# Bibliografia

- [1] S. M. L. Philipp Rohlfshagen. Ms pac-man versus ghost team cec 2011 competition. In *Evolutionary Computation (CEC), 2011 IEEE Congress on*, pages 70–77, 2011.
- [2] S. M. L. Piers R. Williams, Diego Perez-Liebana. Ms. pac-man versus ghost team cig 2016 competition. In *2016 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 420 – 427, 2016.
- [3] C. Birch. *IA original dos fantasmas*. <http://gameinternals.com/post/2072558330/understanding-pac-man-ghost-behavior>, Dec. 2010.
- [4] P. Williams, S. Lucas, and M. Fairbank. The effect of varying partial observability in ms.pac-man. *Under Review*, 2018.
- [5] K. Q. N. e Ruck Thawonmas. Applying monte-carlo tree search to collaboratively controlling of a ghost team in ms pac-man. In *IGIC '11 Proceedings of the 2011 IEEE International Games Innovation Conference*, pages 8–11, 2011.
- [6] C. B. C. David J. Gagne. Fright: A flexible rule-based intelligent ghost team for ms. pac-man. In *2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 273–280, 2012.
- [7] S. J. J. Johan Svensson. Influence map-based controllers for ms. pacman and the ghosts. In *2012 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pages 253–264, 2012.
- [8] R. Benson. *Metal Gear Solid*. Orbit, 2008.

