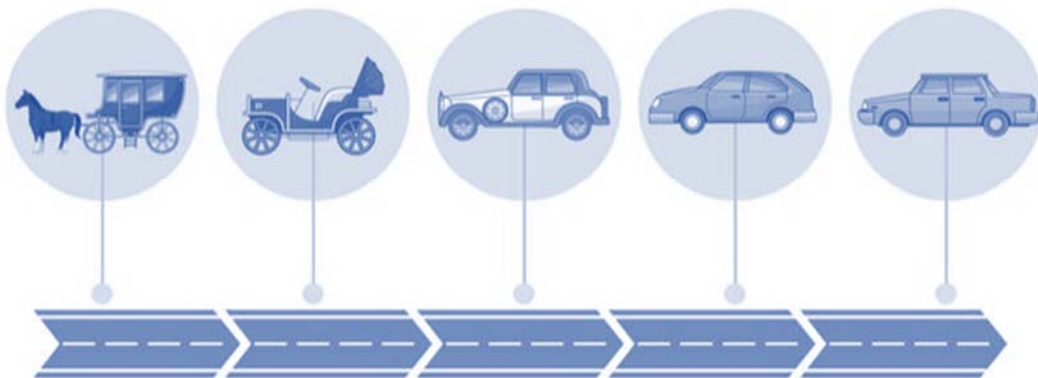




FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Trabalho Prático nº 2:

The Slow & The Calm: Darwin's Edition

Amanda Oliveira de Menezes

2017124788

uc2017124788@student.uc.pt

Inês Martins Marçal

2019215917

uc2019215917@student.uc.pt

Noémia Quintano Mora Gonçalves

2019219433

uc2019219433@student.uc.pt

Índice

1. Introdução	2
2. Meta 1 – Modelação e desenvolvimento do Algoritmo Genético.....	2
2.1 Objetivo	2
2.2. Introdução Teórica	3
2.3. Funcionalidades do Algoritmo	3
2.4 Implementação da Função de Aptidão.....	4
3. Meta 2 – Experimentação e análise	5
3.4 Experimentação e Análise	5
3.4.1 Análise dos resultados.....	5
3.4.2 Notas finais das experiências efetuadas:.....	12
3.4.3 Características dos carros que chegaram ao fim da estrada em cada experiência do cenário <i>GapRoad</i>	13
4. Experiência <i>HillRoad</i>	14
4.1 Razão pela qual a expressão de fitness encontrada para o cenário <i>GapRoad</i> não resolve o cenário <i>HillRoad</i>	15
4.2 Explicação da nova função de Fitness para o <i>HillRoad</i>	15
4.3 Análise dos resultados obtidos com a expressão de fitness apresentada.....	16
4.4 Características dos carros que completaram o cenário <i>HillRoad</i>	18
5. Notas Finais	19
6. Bibliografia.....	19

1. Introdução

Com este trabalho pretende-se analisar a evolução dos veículos em dois cenários distintos através da implementação de um algoritmo genético e da definição de uma função de fitness. No campo da inteligência artificial, o estudo e definição de uma função de fitness é importante, uma vez que estes medem quantitativamente o quão uma solução se adequa melhor a um problema. O método utilizado para efetuar a abordagem destes tópicos foi a realização contínua de testes para visualizar o comportamento das gerações, concluindo no final se os resultados obtidos correspondiam ao previsto teoricamente.

2. Meta 1 – Modelação e desenvolvimento do Algoritmo Genético

2.1 Objetivo

Através desta primeira meta pretende-se a criação de um algoritmo genético que irá permitir a evolução de um agente adaptativo, neste caso que pelo menos um dos veículos no cenário *Gap*

Road chegue ao fim da estrada. O processo de parametrização consistiu em realizar testes com o modelo de função de aptidão definido, no sentido de se monitorizar a influência das componentes ambientais de cada experiência. O objetivo prático foi, assim, garantir que o maior número de veículos alcançasse o final da estrada em cada uma das experiências analisadas.

2.2. Introdução Teórica

O algoritmo evolucionário baseia-se essencialmente em ideias evolutivas inspiradas nos conceitos propostos por Darwin. Este observou que, como necessidade face às pressões seletivas impostas pelo ambiente, os indivíduos criavam mecanismos de modo a se adaptarem e sobreviverem aos mesmos. Posteriormente, como resultado desta seletividade, os indivíduos mais aptos a um ambiente, que por consequência têm maior probabilidade de sobreviver, reproduzem-se, passando assim a informação genética dos mesmos aos seus descendentes que irão continuar o processo. A passagem das características aos seus descendentes acontece devido a operadores de recombinação que, posteriormente, poderão vir a sofrer mutações genéticas. Por sua vez, Gregor Mendel observou que as características que representam um indivíduo de uma espécie (fenótipo) se relacionam com o código genético destes (genótipo) proveniente dos seus progenitores pelo processo explicado acima.

2.3. Funcionalidades do Algoritmo

Partindo do princípio que os algoritmos genéticos se baseiam nas observações biológicas referidas no tópico acima, o processo dos mesmos é semelhante às ideias evolutivas descritas. Inicialmente começamos com uma população de indivíduos para o problema inicializada de forma aleatória (código genético criado de forma aleatória). Posteriormente, os indivíduos desta população são classificados de acordo com a sua aptidão, sendo esta definida pela função de fitness implementada.

Após a aptidão ter sido atribuída a cada um dos indivíduos, no ambiente em causa, é escolhido através de um torneio os indivíduos mais aptos para o ambiente. Neste torneio são escolhidos aleatoriamente um número de indivíduos (tamanho do torneio), de entre os quais é escolhido o que apresenta uma maior aptidão. E, conseqüentemente, deste são selecionados os indivíduos utilizados para gerar descendentes. O tamanho do torneio define o número dos indivíduos que são comparados entre si de cada vez no torneio.

Por sua vez, aos descendentes é aplicada variação genética não só com recurso a recombinação genética através do crossover como também através de mutações. O crossover começa por inicializar dois descendentes, cada um inicialmente igual a um dos progenitores, e de forma aleatória define um ponto até ao qual os descendentes irão trocar os seus genes. Mais especificamente, através desta troca recebem até este ponto definido o código genético proveniente do progenitor com o qual não foram inicializados. É de notar que durante o crossover não se cria material genético novo, mas permite que seja gerado,~ pelo mesmo par de progenitores, descendentes diferentes com base no mesmo material genético. As mutações consistem numa inversão de ocorrência aleatória dos genes dos descendentes gerados, modificando assim o material genético existente na população.

Por outro lado, existe também um mecanismo de sobrevivência, o elitismo, que permite que um determinado número dos carros seja passado à geração seguinte inalterados. Nestes cenários a seleção desses indivíduos é feita com base no valor de aptidão alcançado, onde os que se apresentam mais aptos serão os selecionados. No caso de o elitismo ter o valor zero, é considerada uma abordagem geracional uma vez que nenhum indivíduo passará inalterado à geração seguinte e todos os seus indivíduos serão gerados através de recombinação genética.

2.4 Implementação da Função de Aptidão

A aptidão de um indivíduo está relacionada com a capacidade que o mesmo apresenta para resolver um determinado problema. Sendo que quanto maior for a mesma, maior é a probabilidade destes indivíduos passarem os seus genes para a geração seguinte. Após a testagem de várias funções de aptidão a que se mostrou mais prometedora na obtenção do resultado pretendido foi a seguinte:

*fitness = (float) (80*MaxDistance + 10000*IsRoadComplete + 25*NumberOfWheels + 50 * (MaxDistance / (MaxDistanceTime+0.01)));*

Sendo que *MaxDistance* indica a distância máxima percorrida pelo veículo, *isRoadComplete* indica se o veículo completou o cenário, *NumberOfWheels* indica o número de rodas que foram utilizadas pelo veículo e por fim a divisão do parâmetro *MaxDistance* pelo *MaxDistanceTime + 0.01* representa a velocidade média do carro ao longo do cenário. Foi necessário adicionar 0.01 ao parâmetro *MaxDistanceTime* para evitar uma divisão por zero no início do cenário.

O raciocínio efetuado para a obtenção da mesma foi o seguinte:

- ➔ Pretende-se dar uma maior importância ao parâmetro *isRoadComplete* tendo-lhe sido assim definido um maior peso relativamente aos restantes. Efetuou-se esta opção uma vez que o objetivo é que pelo menos um carro complete o cenário. Por outro lado, a escolha do peso 10000 foi efetuada com base na gama de valores totais de fitness dos restantes parâmetros. Através desta escolha de valor para o peso pretendia-se beneficiar significativamente os indivíduos que terminavam a estrada com sucesso, concluindo assim o objetivo final.
- ➔ A distância máxima percorrida por cada veículo é também um parâmetro importante, uma vez que quanto maior for a distância alcançada mais próximo o veículo se poderá encontrar do final da estrada e assim completar o objetivo. Com o intuito de beneficiar os veículos que atingiam uma maior distância, foi atribuído um peso também bastante significativo a este parâmetro. Sendo a distância limitada pela meta, um carro que termine a mesma terá a contribuição de fitness do parâmetro *MaxDistance* maximizada.
- ➔ No sentido de se obter uma maior representatividade da velocidade do carro ao longo do percurso foi escolhido ainda como parâmetro a velocidade média (razão entre a distância máxima e o tempo que o veículo demorou a percorrer a distância máxima). Sendo este um fator também importante para que o veículo consiga ultrapassar os obstáculos na estrada foi-lhe atribuído um peso ainda considerável. Por outro lado, se se tivesse definido que este apresentasse maior peso relativamente à distância máxima poderiam ser beneficiados os veículos que tinham uma maior velocidade média, no entanto estes poderiam vir a ficar ainda muito distantes do fim do cenário, não se aproximando do objetivo em causa.
- ➔ Como parâmetro de menor relevância definiu-se o *NumberOfWheels*, uma vez que um veículo até poderá apresentar um número elevado de rodas, no entanto o posicionamento das mesmas em locais que não influenciam a velocidade poderá vir a afetar o desempenho do mesmo. No entanto, se as rodas se encontrarem posicionadas em locais que permitam ao carro um aumento de velocidade, um elevado número de rodas poderá vir a auxiliar a passagem de obstáculos na estrada e deste modo vir a constituir um parâmetro decisivo para atingir a meta.

3. Meta 2 – Experimentação e análise

Nesta meta irão ser apresentados e comentados os resultados obtidos através da expressão de fitness apresentada na meta1 para o cenário *GapRoad*. Posteriormente, perante estas conclusões irá ser utilizada a melhor combinação de parâmetros no cenário *HillRoad* com o objetivo de evoluir os veículos de acordo com a função de fitness definida.

3.4 Experimentação e Análise

3.4.1 Análise dos resultados

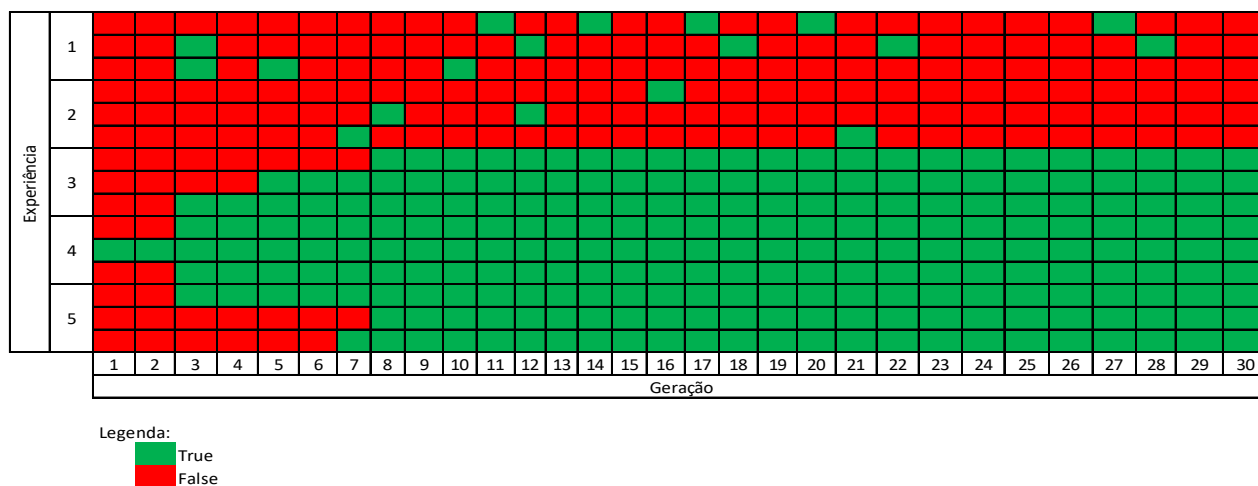


Figura 1 - Resultados obtidos em relação ao parâmetro *isRoadComplete* em cada experiência no *GapRoad*

Este parâmetro e consequentemente a tabela representativa do mesmo permite indicar se houve algum veículo ao longo das 30 gerações de cada experiência que completou o cenário, isto é, se chegou ao fim da estrada. Assim foi definido que a cor verde representa que houve pelo menos um veículo a completar o cenário na geração em causa, ao contrário da cor vermelha que indica que não houve nenhum veículo a terminar a estrada.

Experiência 1

Mutação	Elitismo	Torneio	Crossover	Número Gerações
0.05	0	5	0.9	30

Tabela 1 – Combinação de parâmetros relativos à experiência 1

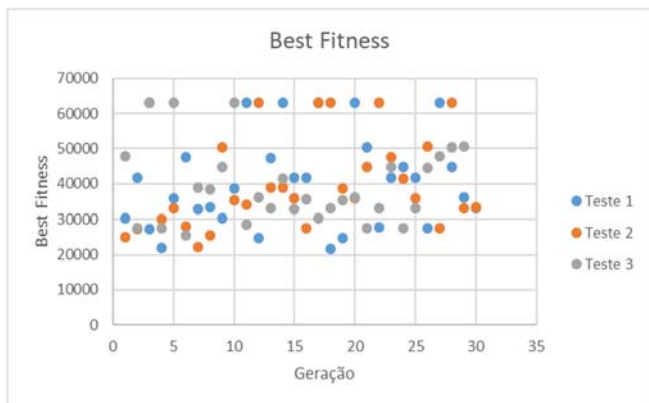


Figura 2 – Best Fitness obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

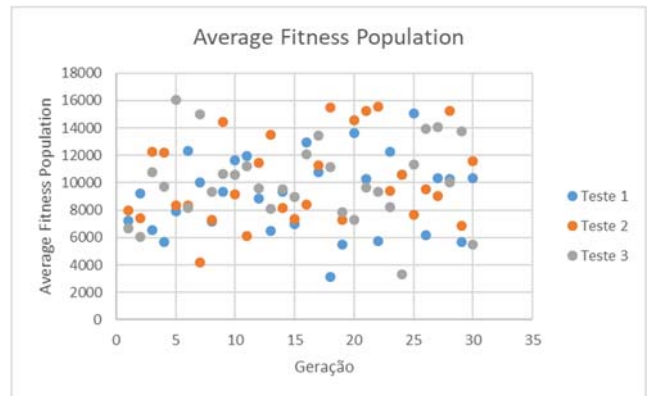


Figura 3 – Average Fitness da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

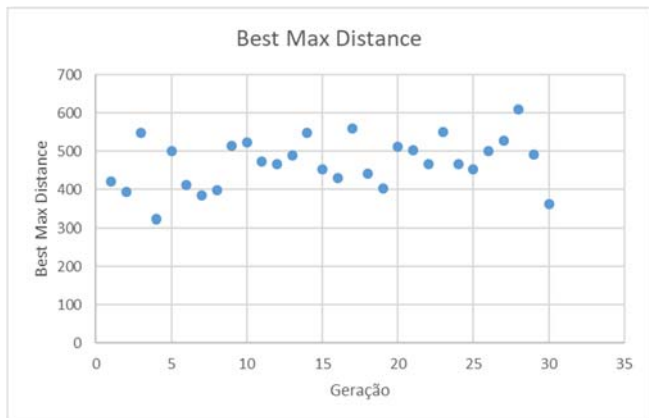


Figura 4 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

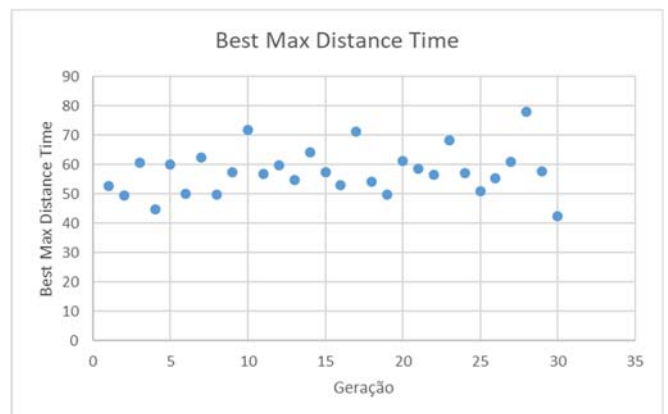


Figura 5 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

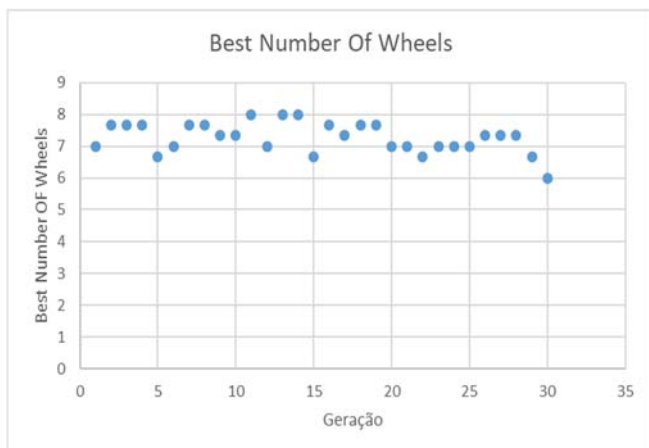


Figura 6 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

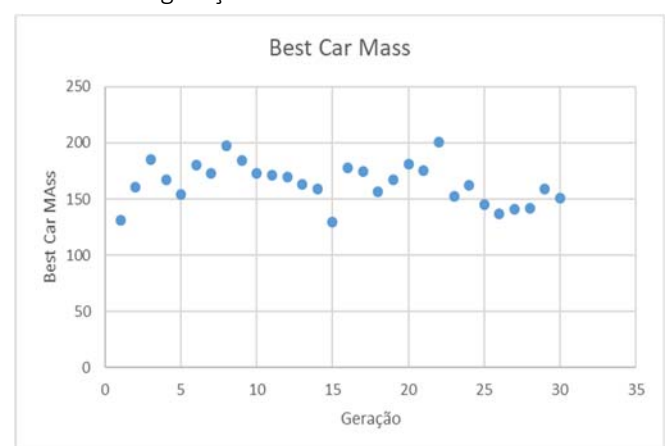


Figura 7 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

Experiência 2

Mutação	Elitismo	Torneio	Crossover	Número Gerações
0.2	0	5	0.9	30

Tabela 2 – Combinação de parâmetros relativos à experiência 2

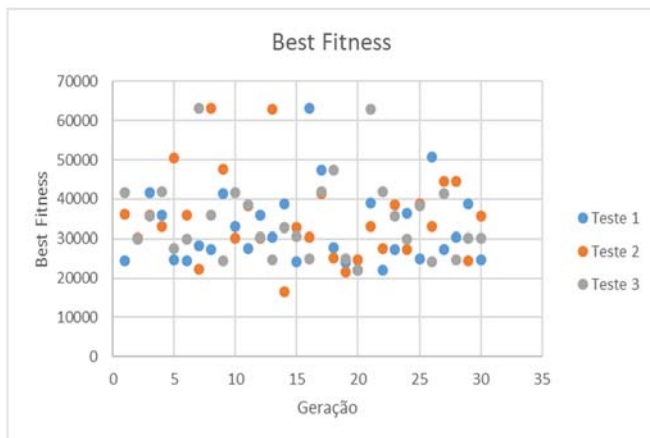


Figura 8 – Best Fitness obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

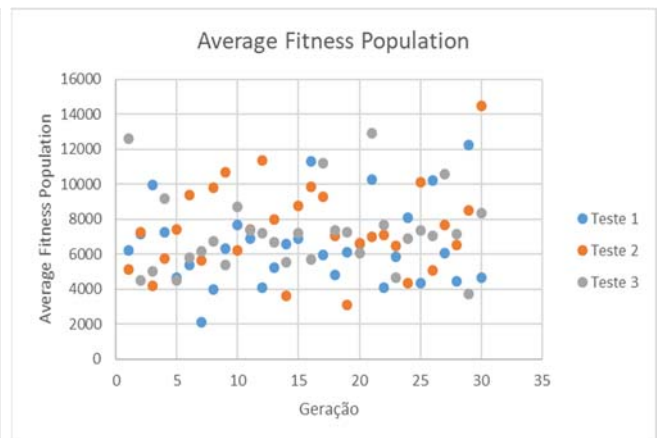


Figura 9 – Average Fitness da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

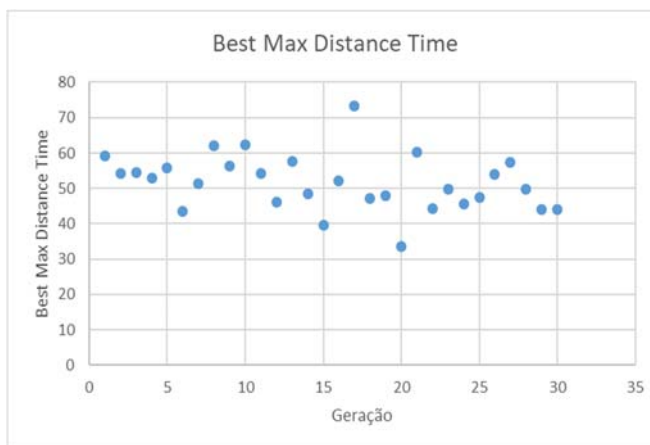


Figura 10 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

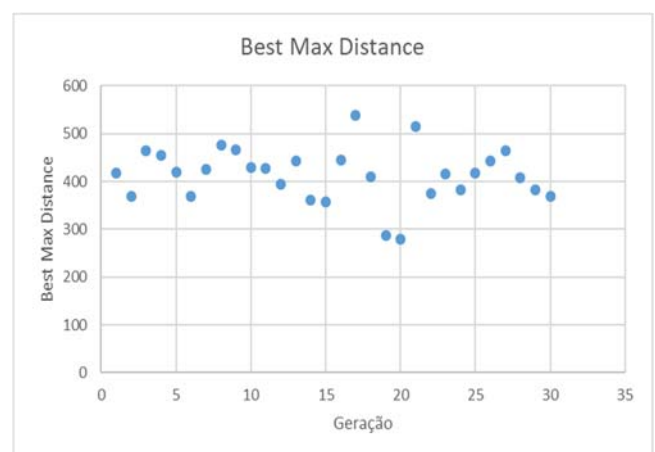


Figura 11 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

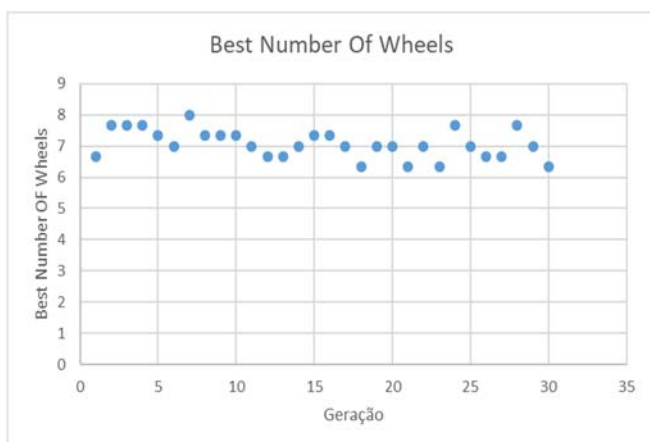


Figura 12 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

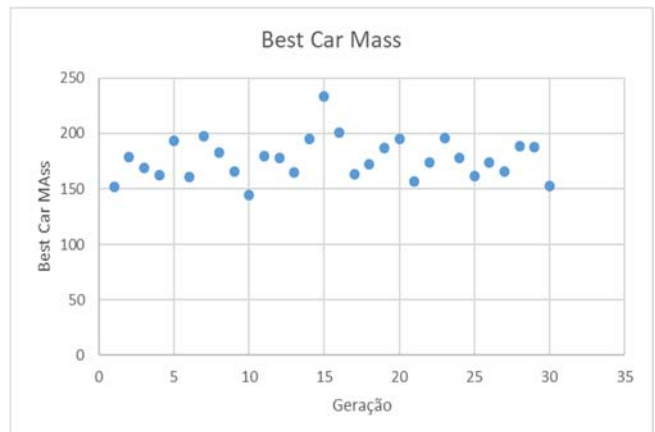


Figura 13 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

Nas experiências 1 e 2 é utilizada uma abordagem geracional, pelo que os descendentes são todos gerados por recombinações genéticas. Sem o elitismo não se garante a passagem de um carro inalterado que consiga terminar o percurso. Este fator justifica os dados obtidos, uma vez que os carros que atingem a meta numa geração já não passam para a geração seguinte inalterados. Por outro lado, estas experiências diferem na taxa de mutação, tendo a experiência 2 uma taxa de mutação mais elevada.

Na experiência 1 observou-se que os valores de *Best Fitness* se encontram muito dispersos, tal deve-se ao facto dos melhores indivíduos não passarem para a geração seguinte e todos os elementos da mesma serem gerados por recombinação genética que, por sua vez, poderá provocar um aumento ou uma diminuição do fitness. Devido à componente aleatória dessa recombinação, o *Average Fitness Population* oscila ao longo das gerações. Por outro lado, por não haver elitismo os valores dos parâmetros *Best Number of Wheels*, *Best Car Mass*, *Best Max Distance*, *Best Max Distance Time* variam aleatoriamente de geração para geração

Na experiência 2 observou-se que os valores de *Best Fitness* se encontram também bastante dispersos, ainda mais do que na experiência 1. Tal pode ser justificado tendo em conta que a probabilidade de mutação na experiência 2 é superior à da experiência 1, o que acaba por inserir material genético com mais frequência, causando uma maior dispersão. Por outro lado, como esta experiência continua a utilizar uma abordagem geracional os valores dos parâmetros *Best Number of Wheels*, *Best Car Mass*, *Best Max Distance*, *Best Max Distance Time* variam aleatoriamente de geração para geração

Experiência 3

Mutação	Elitismo	Torneio	Crossover	Número Gerações
0.05	2	5	0.9	30

Tabela 3 – Combinação de parâmetros relativos à experiência 3

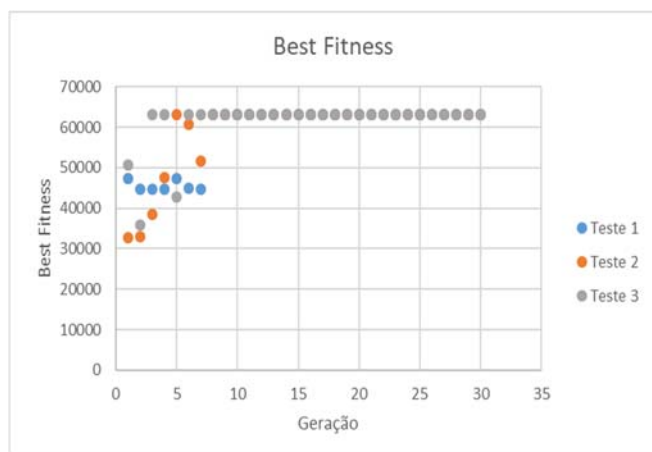


Figura 14 – *Best Fitness* obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

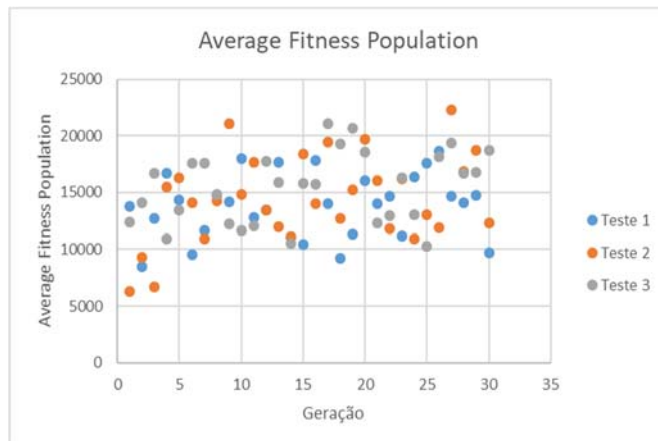


Figura 15 – *Average Fitness* da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

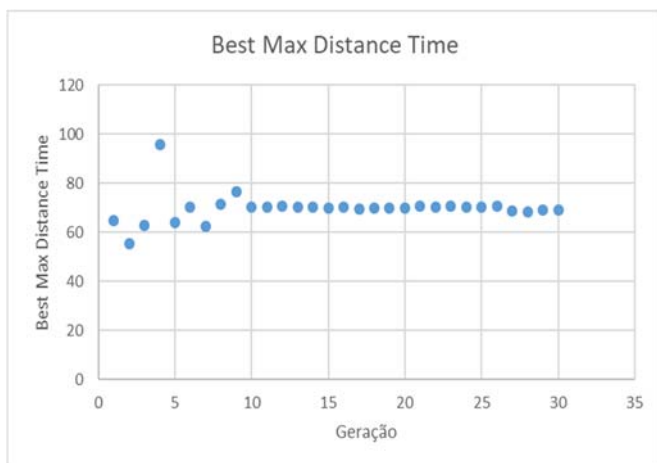


Figura 16 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

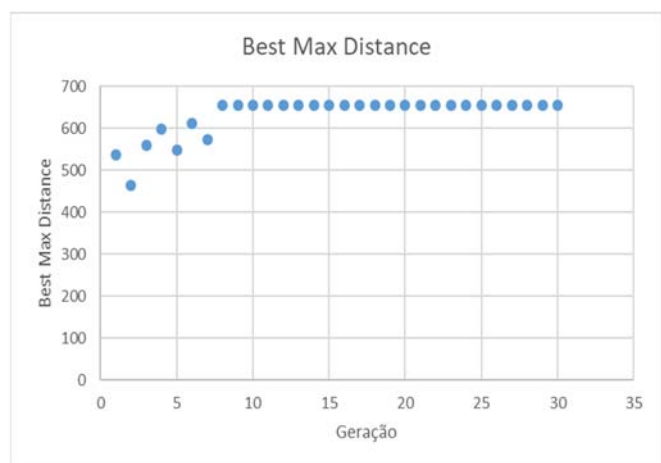


Figura 17 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

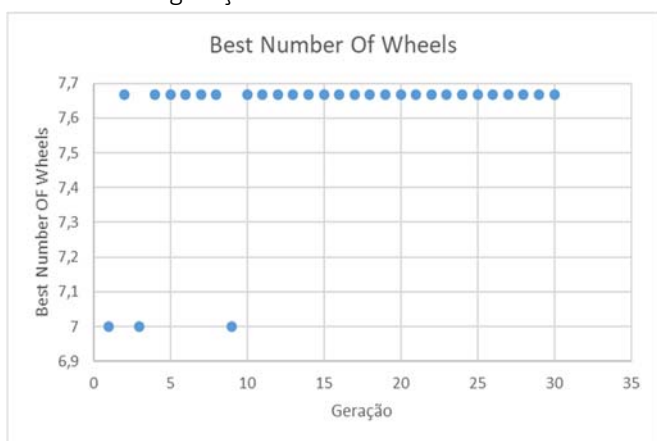


Figura 18 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

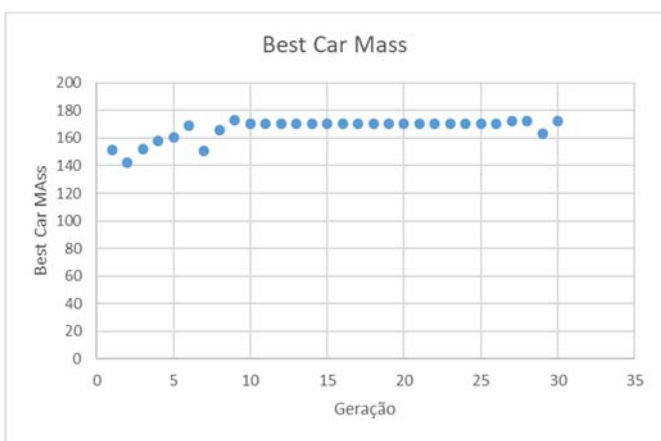


Figura 19 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

Na experiência 3 observa-se que todos os parâmetros evoluem por degraus com exceção do *Average Fitness Population*, que, como mencionado anteriormente, depende da parte de recombinação e da sua componente aleatória. Essa evolução por degraus é explicada pela abordagem elitista a que a experiência recorre. Por outras palavras, até que se gere um indivíduo cujo valor de fitness seja melhor ao já existente, o mesmo é passado para a geração seguinte justificando, assim, a razão pela qual o mesmo valor aparece ao longo de várias gerações seguidas e se for modificado é para um valor mais elevado. É de notar que esta experiência obteve melhores resultados do que a experiência 1, cujos parâmetros do algoritmo divergem apenas no tamanho da elite. Após a chegada de um indivíduo à meta, nas gerações seguintes aparece pelo menos um indivíduo que alcança a mesma, isto acontece, uma vez que um indivíduo que alcance a meta numa geração terá dos melhores valores fitness da população e assim estando nesta experiência o elitismo definido para dois elementos, estes passarão inalterados para a geração seguinte.

Experiência 4

Mutação	Elitismo	Torneio	Crossover	Número Gerações
0.2	2	5	0.9	30

Tabela 4 – Combinação de parâmetros relativos à experiência 4

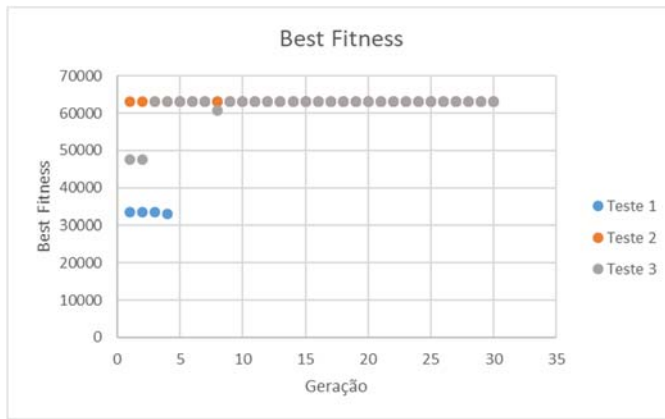


Figura 20 – *Best Fitness* obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

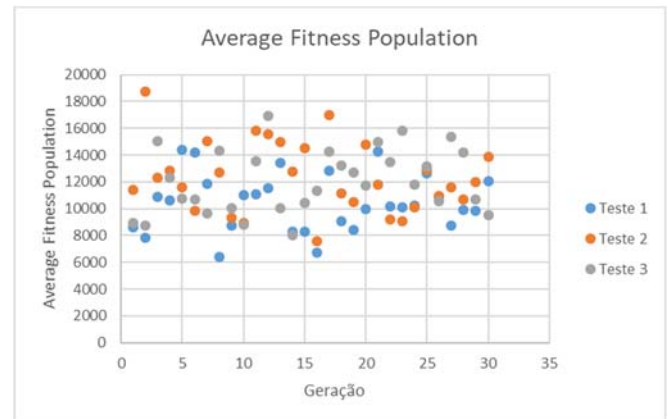


Figura 21 – *Average Fitness* da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

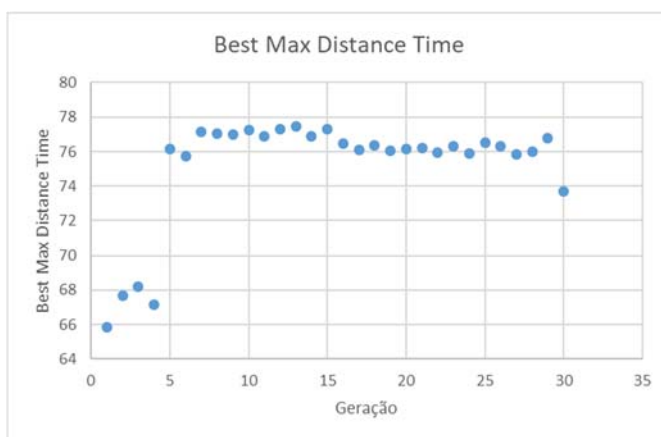


Figura 22 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

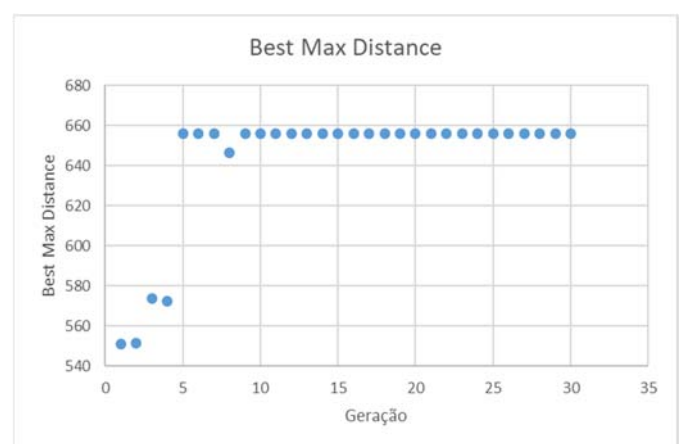


Figura 23 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

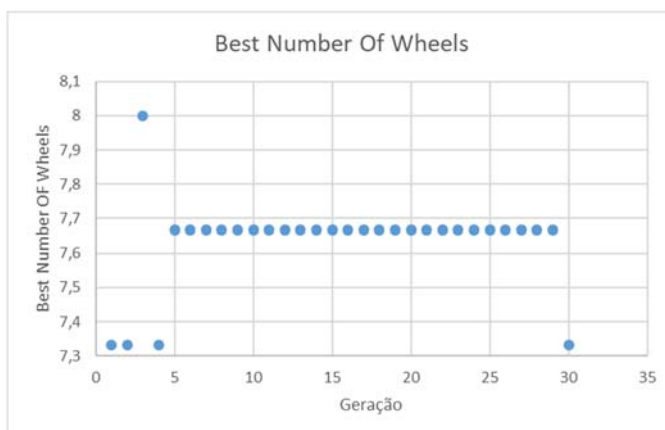


Figura 24 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

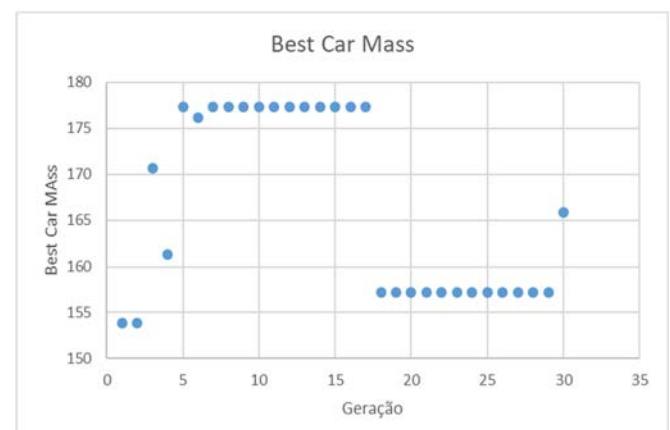


Figura 25 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

Na experiência 4 observou-se que os gráficos, com excepção do *Average Fitness Population*, permanecem com o “degrau” característico de uma abordagem elitista, explicado na experiência anterior. Por outro lado, em relação ao *Average Fitness*, este mantém uma dispersão característica de um elemento dependente de fatores aleatórios da experiência, explicados anteriormente.

O *Best Fitness* apresentou um resultado semelhante ao obtido na experiência 3, sendo que estas apenas divergem na probabilidade de mutação. Em contrapartida, quando comparado o parâmetro *isRoadComplete* observa-se que os resultados para a experiência 4 foram melhores, uma vez que se obteve pelo menos um indivíduo que completou o cenário num menor número de gerações. Tal facto pode ser explicado pela probabilidade de mutação ser mais elevada na experiência 4, o que aumenta a probabilidade de inserção de material genético novo a cada geração e consequentemente a rapidez de aparecimento de um indivíduo que consiga completar o cenário.

Comparando a experiência 4 com a experiência 2, sendo que estas apenas divergem ao nível do elitismo, observa-se que os resultados obtidos na experiência 4 são muito mais favoráveis a encontrar um elemento apto em comparação com a experiência 2. Isto acontece exatamente devido ao facto de a experiência 4 apresentar elitismo (como o elitismo é igual a 2, os dois indivíduos com maior fitness são passados para a geração seguinte inalterados) e assim conduz a que, ao longo das gerações, a população tendencialmente tenha uma aptidão maior comparativamente com a experiência 2.

Experiência 5

Mutação	Elitismo	Torneio	Crossover	Número Gerações
0.05	2	2	0.9	30

Tabela 5 – Combinação de parâmetros relativos à experiência



Figura 26 – Best Fitness obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

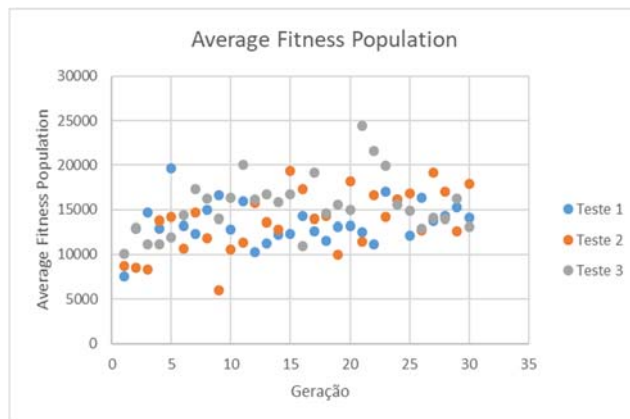


Figura 27 – Average Fitness da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

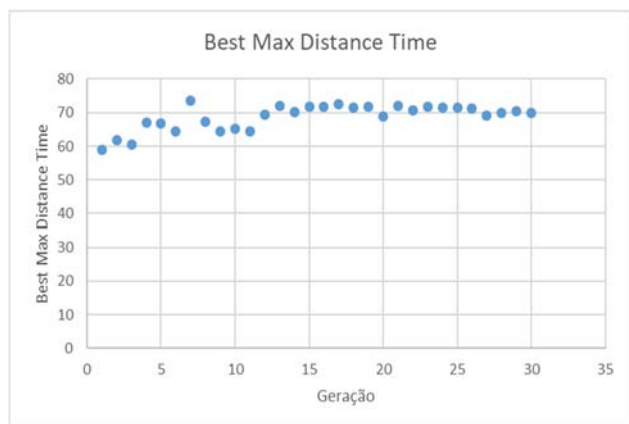


Figura 28 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

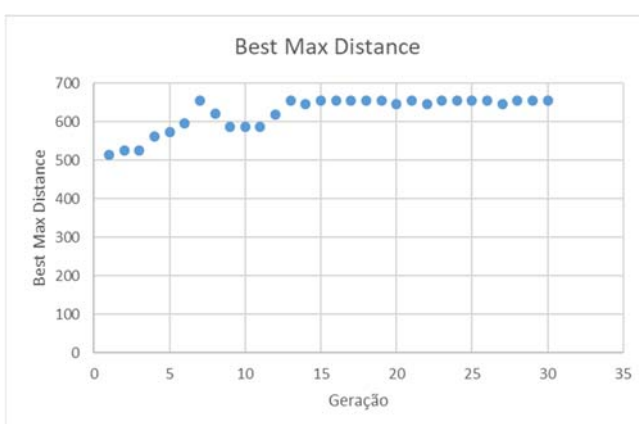


Figura 29 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

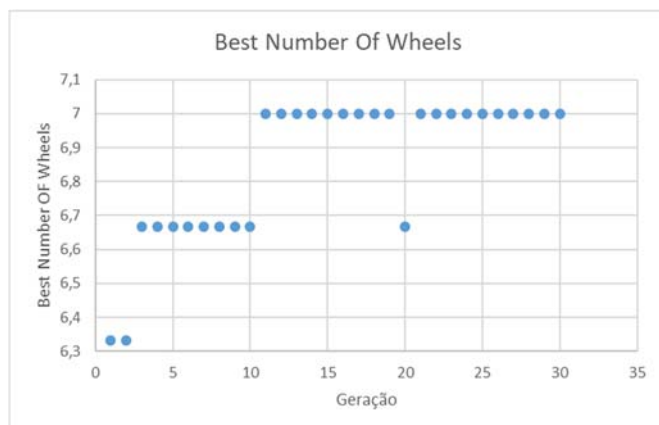


Figura 30 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

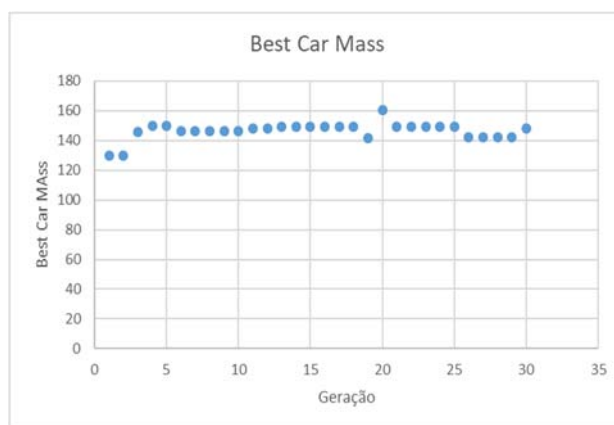


Figura 31 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

Na experiência 5 observou-se que os gráficos, tal como anteriormente, com excepção do *Average Fitness Population*, permanecem com o “degrau” característico de uma abordagem elitista, onde o indivíduo com maior fitness vai passando inalterado para a geração seguinte até que seja gerado um indivíduo com maior fitness e o substitua. Por outro lado, o *Average Fitness* mantém-se disperso, característica manifestada também nas experiências anteriores, devido à dependência de elementos aleatórios da experiência. Comparando os resultados obtidos com os da experiência 3, tendo em conta que estas divergem no tamanho do torneio e que o mesmo é baseado numa seleção aleatória não se obtém garantias de um menor desempenho. Contudo, de um ponto de vista teórico, os resultados da experiência 5 poderiam vir a ser piores, uma vez que a redução da amostra de comparação na seleção dos progenitores pode conduzir a que sejam selecionados indivíduos com menor fitness e sendo o torneio binário, a pressão seletiva neste caso é mínima [4]. Nos dados obtidos não é possível validar o ponto teórico, uma vez que os resultados a nível dos parâmetros *isRoadComplete* e *Best Fitness* são bastante semelhantes.

3.4.2 Notas finais das experiências efetuadas:

A abordagem geracional apresenta um decréscimo de desempenho quando comparada à abordagem elitista, na medida em que se os descendentes gerados tiveram características menos aptas ao cenário em questão poderá ter sido devido ou à recombinação genética ou a eventuais mutações que tenham ocorrido e posteriormente causado um atraso na evolução, uma vez que não há maneira de “recuperar” o melhor indivíduo. Observando os dados relativamente ao fitness máximo alcançado conclui-se que, muito provavelmente, é o mesmo carro que continua a chegar à meta depois de esta ser alcançada, uma vez que o resultado do parâmetro *Best Fitness* mantém-se inalterado ou a sofrer ligeiras alterações ao fim de um número considerável de gerações. Podemos observar que isto vai de acordo com os resultados obtidos para a experiências 1 e 2, uma vez que a sua abordagem devido à inexistência de elitismo não consegue que os indivíduos que alcancem a meta numa geração venham a alcançar a meta também nas gerações seguintes. Este fator é o mais importante para que se obtenha uma população apta.

Por outro lado, observa-se que a probabilidade de mutação tem influência na geração em que aparece um indivíduo que chega ao fim do cenário, isto observa-se nas experiências 3 e 4 que apenas divergem na mutação. Na experiência 4 a média das gerações em que se começa a obter um indivíduo é 2.33 enquanto que, na experiência 3 é 5.33. Como tal pode concluir-se que a probabilidade de

mutação é um fator importante para acelerar o processo evolutivo e como consequência que o melhor valor para a probabilidade de mutação é 0.20.

Observando-se o tamanho do torneio e tendo em conta a forma como esse é realizado, selecionando elementos aleatórios e escolhendo o melhor para ser progenitor, pode concluir-se que, ao reduzir o tamanho do torneio podem ser selecionados indivíduos menos aptos uma vez que há uma menor amostra a ser comparada. Por outro lado, por ser um processo aleatório, ter um tamanho maior não é só por si uma garantia que os melhores indivíduos serão os selecionados. Por esse motivo não se observa uma grande diferença entre a experiência 3 e 5 que divergem apenas no tamanho do torneio. Este fator, baseado nos dados analisados, aparenta ter uma menor influência nos resultados quando comparado com os fatores referidos anteriormente, a probabilidade de mutação e o elitismo.

Observou-se que a experiência em que se obteve melhores resultados foi a experiência 4, onde existe elitismo e onde o torneio e a probabilidade de mutação apresentam os valores máximos de entre os testados, tal como é desejável. Poderá se confirmar os bons resultados através da tabela de resultados dos parâmetros *isRoadComplete* desta experiência. Sendo por isso a que irá ser utilizada no cenário *HillRoad*.

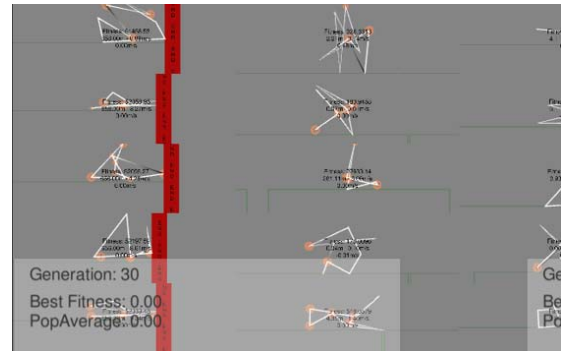


Figura 32 – Número máximo de veículos que terminaram na última geração da experiência 4 no cenário *GapRoad*

3.4.3 Características dos carros que chegaram ao fim da estrada em cada experiência do cenário *GapRoad*

Analisando as características comuns dos carros que terminaram a corrida de um modo geral, nos três testes efetuados para cada experiência, verificou-se que a forma dos mesmos era um aspeto essencial para que fosse possível completar o cenário em causa. Esta encontra-se descrita nos seguintes tópicos:

- ➔ Apresentavam uma roda à frente um pouco mais elevada relativamente ao resto do carro, eram mais alongados de modo a terem um maior comprimento relativamente à largura das aberturas na estrada e possuíam ainda uma roda atrás de modo a haver um maior equilíbrio. Os carros que apresentavam estas características apresentaram ainda uma roda no meio da estrutura inferior de modo a auxiliar a passagem na abertura, havendo assim um maior equilíbrio no mesmo;
- ➔ Apresentavam uma estrutura pontiaguda alongada à frente e atrás tendo que apresentar uma roda no meio de modo a auxiliar a passagem nas aberturas e o equilíbrio no carro;
- ➔ Caso apresentassem apenas uma roda atrás no sentido de facilitar e equilibrar a passagem nas aberturas teria de haver não só de uma estrutura pontiaguda mais alongada à frente do carro como também uma roda no meio da plataforma inferior (em contacto com a estrada).

Alguns veículos apresentavam uma combinação dos exemplos acima referidos.

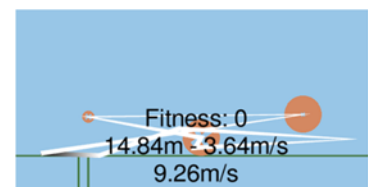




Figura 33 – Carros que terminaram as experiências descritas anteriormente no cenário *GapRoad*

Além das características acima verificou-se ainda que os carros que apresentavam uma velocidade média mais razoável eram os mais propícios a terminar a corrida. Quando muito lento, o veículo acabava por ficar parado ou preso em um dos obstáculos, e quando muito rápido perdia facilmente o equilíbrio e não conseguia finalizar o percurso.

Tendo em conta ainda as características do melhor indivíduo em cada geração indicadas no ficheiro *EvolutionLog.csv* para cada experiência pode-se observar que estes apresentavam além das formas descritas acima, um número de rodas próximo do máximo número de rodas possível, mais especificamente 7 ou 8 rodas, um valor de massa entre os 119 e 203 e ainda demoravam 65 a 85 unidades de tempo a chegar à meta, no caso daqueles que concluíram o percurso. Assim, era de esperar que com estes valores altos para os parâmetros da função de fitness, o valor da mesma para estes veículos tendesse a ser elevado também, rondando assim os 63 000. Estas características encontram-se não só nos gráficos apresentados ao longo de cada experiência descrita nos tópicos acima como também na tabela seguinte.

		Generation	BestFitness	AverageFitnessPopulation	BestMaxDistance	BestMaxDistanceTime	BestNumberOfWheels	BestCarMass	BestIsRoadComplete
Experiência 1	Teste 1	11	63065,86328	11980,08257	656	84,99414	8	139,5	True
	Teste 2	3	63143,50391	12256,60276	656	70,75552	8	156	True
	Teste 3	5	63121,52734	16055,68433	656	74,27786	8	177,5	True
Experiência 2	Teste 1	16	63101,82422	11315,76348	656	77,74756	8	183,5	True
	Teste 2	8	63099,75	9793,499884	656	78,1315	8	203,5	True
	Teste 3	7	63103,58203	6179,571513	656	77,42465	8	180,5	True
Experiência 3	Teste 1	17	63125,16797	14009,63171	656	69,7522	7	175	True
	Teste 2	28	63172,11328	16853,58263	656	66,64111	8	216	True
	Teste 3	30	63161,60156	18731,25489	656	68,09595	8	125,5	True
Experiência 4	Teste 1	24	63093,23828	10233,77859	656	74,83533	7	178	True
	Teste 2	30	63113,09375	13866,4029	656	71,59131	7	200,5	True
	Teste 3	27	63123,70703	15368,1876	656	73,91235	8	119	True
Experiência 5	Teste 1	21	63096,23438	12558,56592	656	70,3407	6	144,5	True
	Teste 2	30	63142,42969	17892,73635	656	67,28198	7	175	True
	Teste 3	28	63149,48438	13973,62912	656	69,854	8	124	True

Tabela 6 – Características dos veículos que apresentaram maior fitness relativamente aos 3 testes realizados em cada experiência

4. Experiência *HillRoad*

Após a avaliação das componentes do algoritmo genético através do cenário *GapRoad* concluiu-se que as melhores foram as apresentadas na experiência 4, tal como explicado no tópico anterior. Pelo que foram as escolhidas para utilizar no cenário *HillRoad*. Neste tópico será explicado a razão pela qual a expressão fitness encontrada para o cenário *GapRoad* não resolve o cenário *HillRoad* e consequentemente a explicação da expressão fitness que resolveu esse mesmo cenário.

4.1 Razão pela qual a expressão de fitness encontrada para o cenário *GapRoad* não resolve o cenário *HillRoad*

Na expressão de fitness obtida para o cenário *GapRoad* eram beneficiados os carros que apresentavam maior distância máxima relativamente à velocidade, pelos motivos referenciados acima. No entanto, agora pretende-se que o carro apresente a maior velocidade possível para poder subir a colina mais acentuada do cenário e só esta elevada velocidade irá permitir que seja percorrida uma maior distância, pelo que foi atribuído um peso mais elevado à velocidade máxima. No entanto, também se pretende que os carros que percorrem menor distância venham a ser prejudicados face aos que percorrem uma maior, pelo que é necessário definir um peso para a distância máxima que permita maximizar a sua contribuição para o fitness dos veículos que percorrem uma maior distância. Por outro lado, na expressão de fitness do cenário *GapRoad* era utilizada velocidade média em vez da velocidade máxima, o que não permitia tirar partido do pico de velocidade que o carro apresentava na descida após a subida inicial para posteriormente subir a colina mais acentuada.

Em relação ao número de rodas, ao ser efetuada a multiplicação deste parâmetro por um valor não era possível prejudicar os carros que apresentassem maior número de rodas e posteriormente maior massa. Relativamente a esta última componente referida, que não foi colocada na expressão de fitness do cenário *GapRoad*, a mesma é essencial neste novo cenário. Isto porque, os carros que apresentam uma menor massa têm maior facilidade em subir a colina mais acentuada, pelo que este parâmetro deve de ser incluído na expressão de fitness no sentido de prejudicar os carros com maior massa.

O parâmetro *isRoadComplete* continua a ser essencial para que os veículos que completam o cenário sejam beneficiados relativamente aos restantes, daí se ter mantido um maior peso para o mesmo relativamente aos restantes parâmetros.

4.2 Explicação da nova função de Fitness para o *HillRoad*

fitness = (float) (6000 * (MaxDistance) + 20000 * (isRoadComplete) + 18000 * (1/CarMass) + 16000 * (MaxVelocity/NumberOfWheels));

Em primeiro lugar, ao se tratar de um cenário com subidas, sendo a última íngreme, é necessário considerar a massa dos carros na função. Como se pretende beneficiar os carros com menor massa, na expressão de fitness esta grandeza foi considerada como uma grandeza inversamente proporcional e por isso foi utilizado o inverso da mesma na sua contabilização para o fitness. Por outro lado, dada a importância da massa nas subidas, este foi o segundo parâmetro ao qual foi atribuído maior peso, de forma a acentuar a diferença de massas dos indivíduos no seu respetivo valor do fitness e assim beneficiar, tal como foi referido acima, os indivíduos que apresentam uma menor massa.

Contudo existe um outro parâmetro relevante ao cenário que é a velocidade, sendo esta representada na função de fitness pela razão entre a velocidade máxima e o número de rodas. Optou-se por esta razão, pois, por um lado, beneficia carros que atinjam uma maior velocidade e, por outro, penaliza carros com um maior número de rodas. Simultaneamente esta razão também permite beneficiar carros que apresentam as rodas posicionadas de forma a que estas contribuam para a velocidade máxima, uma vez que a velocidade é particularmente importante neste cenário, mais especificamente durante a subida das colinas. Com isto pode considerar-se que se efetua o cálculo da contribuição média de cada roda para a velocidade do carro, beneficiando indivíduos cuja contribuição média de cada roda seja maior.

Apesar de ter sido atribuído um menor peso à distância, no sentido de prejudicar os que percorrem uma menor, com o aumento da mesma a contribuição para o fitness torna-se cada vez

mais relevante em comparação com os restantes parâmetros (devido à multiplicação do peso com uma distância cada vez maior). Por esta razão, apesar deste parâmetro ser dependente dos restantes, nomeadamente velocidade máxima e a massa dos indivíduos, é importante realçar e beneficiar os que atingem uma maior distância, ficando mais próximos de cumprir o objetivo.

Em relação ao parâmetro *isRoadComplete*, sempre que um carro atinge a meta pretende-se que o mesmo se destaque ao nível do fitness perante os restantes, pelo que foi atribuído ao mesmo o maior peso da expressão. Deste modo, como os carros que terminam o cenário apresentam dos maiores valores de fitness, tem-se a garantia que os mesmos passarão para a geração seguinte perante a presença de elitismo, tal como acontece na experiência em causa.

4.3 Análise dos resultados obtidos com a expressão de fitness apresentada

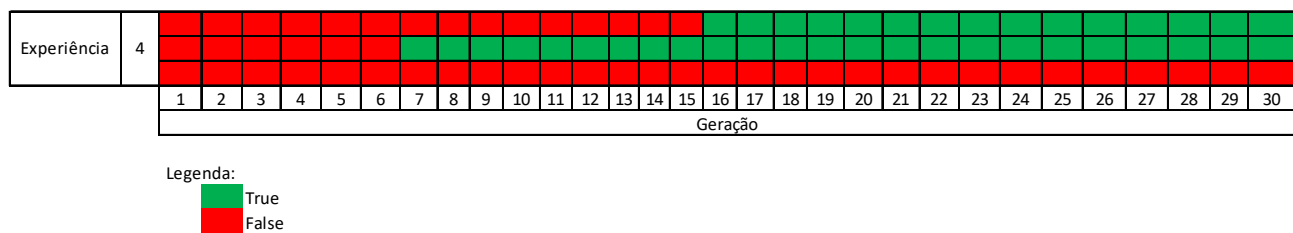


Figura 34 - Resultados obtidos em relação ao parâmetro *isRoadComplete* em cada experiência no *HillRoad*

Este parâmetro e consequentemente a tabela representativa do mesmo permite indicar se houve algum veículo ao longo das 30 gerações que completou o cenário. A combinação de parâmetros escolhida foi os da experiência 4 tal como referido acima. Assim foi definido que a cor verde representa que houve pelo menos um veículo a completar o cenário na geração em causa, ao contrário da cor vermelha que indica que não houve nenhum veículo a terminar a estrada.

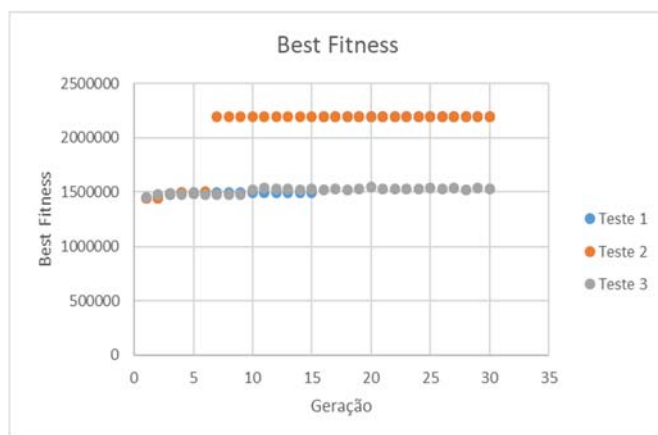


Figura 35 – *Best Fitness* obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

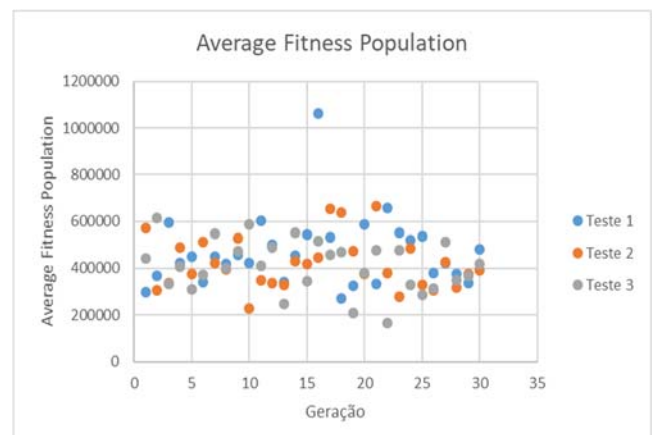


Figura 36 – *Average Fitness* da população obtido para os três testes realizados relativamente a 30 gerações

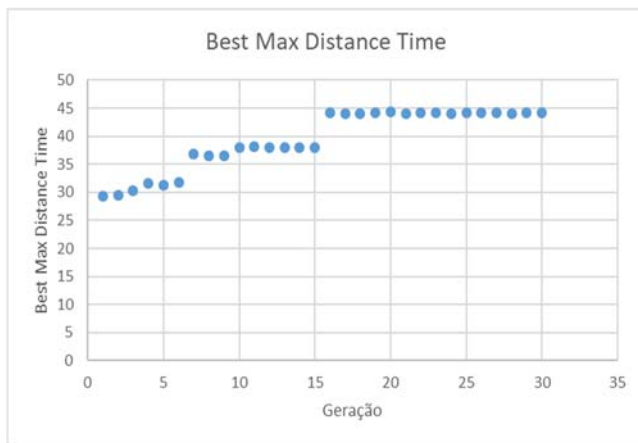


Figura 37 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao tempo que o melhor indivíduo demorou a percorrer a distância máxima em cada uma das 30 gerações

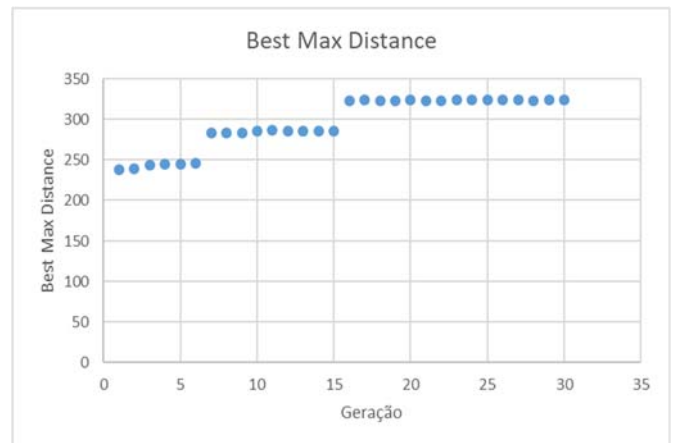


Figura 38 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à distância máxima percorrida pelo melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

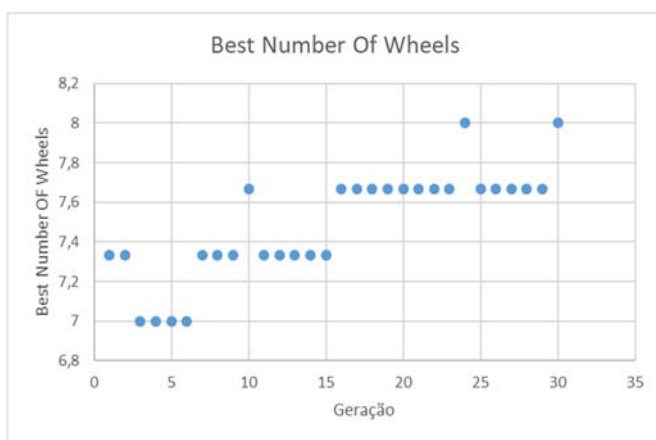


Figura 39 – Média dos 3 testes efetuados relativamente ao número de rodas do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

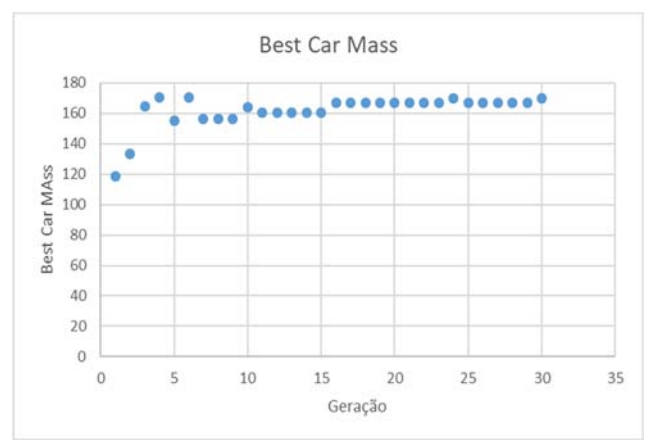


Figura 40 – Média dos 3 testes efetuados relativamente à massa do melhor indivíduo em cada uma das 30 gerações

A função de fitness apresentada acima, como se pode observar pela tabela do parâmetro *isRoadComplete*, não garante que em todos os testes se consiga obter um indivíduo que alcance a meta.

Observando o parâmetro *Best Fitness* é possível verificar que após a chegada de um elemento à meta ocorre uma diferença significativa no valor de fitness alcançado, tal deve-se tanto ao valor que vem tanto do aumento da distância percorrida como do parâmetro *isRoadComplete*. Por outro lado, o *Average Fitness Population* apresenta-se disperso devido a serem gerados novos carros de uma forma estocástica a cada geração.

Como se esperava com a utilização de uma abordagem elitista, os diversos gráficos apresentam o mesmo valor ao longo de gerações consecutivas até aparecer um indivíduo melhor que o substitua.

Os parâmetros *Best Max Distance* e *Best Max Distance Time* apresentam variações semelhantes. Estes ao serem uma média dos três testes realizados permite que seja observado as variações significativas do gráfico correspondentes às gerações 8 e 16, sendo estas as gerações a partir das quais os testes 1 e 2 começaram a ter um indivíduo que completasse o cenário.

Por outro lado, observando os parâmetros *Best Number of Wheels* e *Best Car Mass* verifica-se que ocorre um ajuste inicial até à geração 6, a partir da qual uma alteração no *Best Number of Wheels* das rodas acompanha uma alteração ligeira na *Best Car Mass*.

Apesar da função de fitness aparentar favorecer um menor número de rodas é plausível que um carro que tenha mais rodas e estando estas posicionadas de forma a favorecer a velocidade tenha melhor fitness do que outro com menos rodas e menor velocidade. Podendo assim ser explicado a razão pela qual os carros que apresentam maior fitness possam vir a apresentar um maior número de rodas, tal como é demonstrado no gráfico do *Best Number of Wheels*.

Por outro lado, também é possível que carros que apresentem um elevado valor de massa manifestem maiores valores de fitness comparativamente com os restantes. Isto poderá acontecer quando a relação *MaxVelocity/NumberOfWheels* apresenta um valor que compensa a diminuição da relevância (peso) da relação inversa da massa na contribuição para a função de fitness (devido ao aumento do valor da massa), podendo mesmo conduzir, tal como podemos observar no gráfico *BestCarMass*, a que o fitness seja maior do que em carros com menor massa.

4.4 Características dos carros que completaram o cenário *HillRoad*

Os carros que permitiram terminar o cenário *HillRoad* apresentavam uma forma relativamente alongada e idealmente 3 rodas, mais especificamente além da roda à frente e outra atrás era essencial apresentarem uma roda no meio no sentido de auxiliar os veículos a passarem o pico da colina mais acentuada.

Estes teriam que apresentar uma velocidade relativamente elevada para conseguirem subir a colina mais acentuada, a mesma era conseguida com o impulso da velocidade máxima obtida da descida da primeira colina. Por outro lado, para que os mesmos apresentassem uma maior velocidade era essencial que apresentassem uma menor massa e consequentemente tal como já foi referido um menor número de rodas para que assim pudessem subir mais facilmente a colina acentuada do cenário.

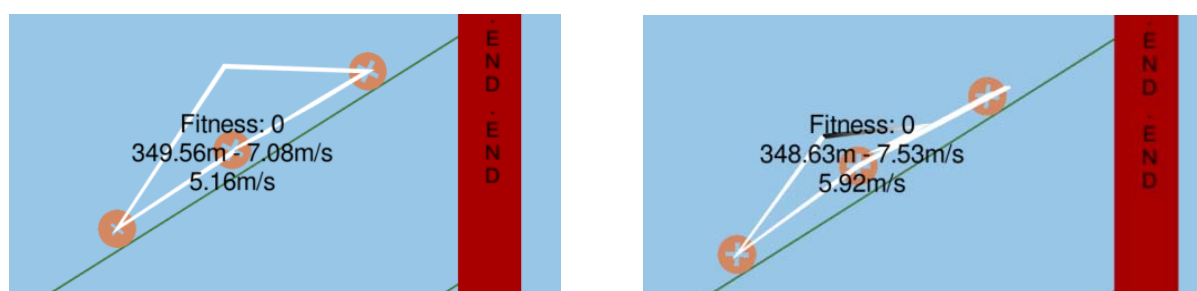


Figura 41 – Carros que terminaram a experiência *HillRoad*

Tendo em conta ainda as características do melhor indivíduo em cada geração indicadas no ficheiro *EvolutionLog.csv* para a experiência 4, sendo que apenas dois dos três melhores carros conseguiram chegar à meta, podemos observar que os que conseguiram atingi-la apresentam valores semelhantes de fitness, cerca de 2 190 000, um número de rodas igual ao máximo possível, mais especificamente 8, um valor de massa entre os 139 e 175 e ainda demoravam cerca de 50 unidades de tempo a chegar à meta. Por outro lado, o que não concluiu o cenário apresenta um valor de 1 544 295 de fitness, o que é significativamente menor aos que chegaram ao fim do percurso. Consequentemente, ao não ter terminado o cenário, podemos observar que os carros demoram, tal como previsto, menos tempo a percorrer a distância máxima atingida, uma vez que esta também é menor relativamente aos que terminaram.

		Generation	BestFitness	AverageFitnessPopulation	BestMaxDistance	BestMaxDistanceTime	BestNumberOfWheels	BestCarMass	BestIsRoadComplete
Experiência 4	Teste 1	18	2194500	271020,8007	360	50,10278	8	139	True
	Teste 2	26	2195417,25	307293,1152	360	47,01343	8	175,5	True
	Teste 3	20	1544295,63	379641,6312	254,653	35,75256	7	185,5	False

Tabela 6 – Características dos veículos que apresentaram maior fitness relativamente aos 3 testes realizados para a experiência 4

5. Notas Finais

- Devido à natureza estocástica das abordagens evolucionárias foram realizadas 3 experiências para cada uma das combinações de parâmetros pretendidas;
- Começou-se por se definir a expressão de fitness que apresentava uma relação promissora entre os parâmetros e que assim poderia vir a beneficiar os agentes de acordo com o cenário em causa;
- Posteriormente procedia-se à avaliação da qualidade das funções de fitness, mais especificamente se valia a pena continuar a evoluir os agentes com as mesmas;
- Em relação ao cenário *HillRoad*, como se obteve melhores resultados na experiência 4, pelos motivos indicados na análise das experiências efetuadas no *GapRoad*, apenas se utilizou a combinação de parâmetros da mesma para este cenário;
- Perante a complexidade do cenário *HillRoad* nem sempre se conseguiu que um carro terminasse dentro das 30 gerações, tal como acontecia com a experiência *GapRoad*;
- Para além das 3 experiências com 30 gerações referenciadas acima para a função de fitness do cenário *HillRoad* foram também testadas, não só para esta como também para outras funções de fitness promissoras, experiências com gerações entre os 100 e 600 gerações.
- Através das experiências indicadas no tópico anterior foi conseguido, não só com a expressão de fitness indicada para o cenário *HillRoad* como também com outras expressões de fitness, que pelo menos um indivíduo terminasse este percurso. A indicada foi a que se mostrou mais promissora em todo o processo.

6. Bibliografia

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover_\(genetic_algorithm\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover_(genetic_algorithm))
- [2] PACHECO, Marco Aurélio C. “Algoritmos Géticos: Princípios e Aplicações”. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
- [3] Costa, E., Simões, A.: Inteligência Artificial - Fundamentos e Aplicações