



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

FACULDADE
DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA

Relatório do Trabalho Prático nº2: D31 The Last Search

Beatriz Isabel F. Santos
bisantos@student.dei.uc.pt
2017263066, PL6

José Veríssimo Lamas
lamas@student.dei.uc.pt
2017259895, PL6

Pedro José F. Marcelino
pjmarcelino@student.dei.uc.pt
2017277263, PL2

Departamento de Engenharia Informática
Licenciatura em Engenharia Informática
Introdução à Inteligência Artificial
3º Ano, 2º Semestre
2019/20

Índice

1 Introdução.....	3
2 Implementação	3
3 Setup Experimental.....	4
4 Resultados Experimentais e Análise	5
4.1 Mapa 1 – NoObstacles	5
4.2 Mapa 2 – ObstaclesSmall	6
4.3 Mapa 3 – ObstaclesSmallManyBox	7
4.4 Mapa 4 - ReturnTo2b	8
4.5 Mapa 5 – ReturnTo2bHarder	9
5 Conclusão	10
6 Referências.....	10
7 Anexos	11

1 Introdução

No âmbito da cadeira de Introdução à Inteligência Artificial, foi-nos pedida a realização de várias experiências envolvendo agentes de procura, testando o seu comportamento em vários mapas em diversas condições, utilizando vários parâmetros de inicialização.

Com estes testes pretende-se desmistificar o problema da procura. Existem vários dilemas sobre como resolver e qual a melhor abordagem para encontrar o caminho mais curto entre um estado inicial e final. Vão ser utilizados vários mapas com diferentes ambientes contendo obstáculos e pontos a percorrer. O objetivo será encontrar a solução ótima para cada um, minimizando o custo. Isto será possível através da utilização de três algoritmos: Pesquisa Aleatória, o Trepa Colinas e a Recristalização Simulada. Assim, com este trabalho de investigação será possível determinar os pontos fortes e fracos de cada algoritmo e para que cenários é que a sua utilização trará maior vantagem.

2 Implementação

Nesta fase foram implementados os algoritmos Trepa Colinas e Recristalização Simulada de acordo com o pseudocódigo fornecido no enunciado do trabalho prático. Foi também implementada uma função de escalonamento de temperatura para complementar o algoritmo de recristalização. Esta função de escalonamento contém três opções para manipular a temperatura. Cada opção pode ser escolhida através do Unity. Se a primeira opção de escalonamento for escolhida a temperatura irá decrementar 0.1 a cada step ($temperatura = temperatura - 0.1$), caso seja a segunda opção a escolhida é aplicado um logaritmo negativo sobre valor atual da temperatura ($-\log(temperatura)$), se for a terceira opção é aplicada a função exponencial sobre o valor da temperatura ($e^{temperatura}$). No caso do logaritmo negativo foi imposta uma condição caso a temperatura chegasse a valores negativos. Foi tomada esta decisão porque o logaritmo não pode ter temperatura negativa.

3 Setup Experimental

Após a fase de implementação foram planeados todos os testes necessários para realizar a análise experimental. As condições em que as experiências foram realizadas foram as seguintes: Em cada um dos 5 mapas diferentes (*NoObstacles*, *ObstaclesSmall*, *ObstaclesSmallManyBox*, *ReturnTo2b*, *ReturnTo2bHarder*), foram testados os três algoritmos: Pesquisa Aleatória, Trepas Colinas e Recristalização Simulada. Cada algoritmo foi testado com 100, 500, 1000 e 10 000 iterações. No algoritmo de recristalização simulada foram ainda consideradas as seguintes temperaturas iniciais: 50, 500 e 5000, e cada temperatura foi testado com os três algoritmos de escalonamento implementados (descritos na secção acima) de forma a analisar o seu comportamento ao longo do tempo e de que modo influencia os resultados.

Como os algoritmos usados têm uma componente estocástica, as experiências foram repetidas 5 vezes para cada mapa com as seguintes seeds aleatórias: 1020, 2021, 3022, 4023, 5024.

<i>Mapa x</i>				
<i>Algoritmo x</i>	Iterações	Seeds	Temperatura Inicial *	Algoritmo de escalonamento *
	100	1020	50	$t = t - 0.1$
	500	2021	500	$-\log(t)$
	1000	3022	5000	e^t
	10 000	4023		
		5024		

Tab. 1 – Dados para as experiências efetuadas em cada mapa.

*Apenas aplicável ao algoritmo de Recristalização Simulada.

4 Resultados Experimentais e Análise

4.1 Mapa 1 – NoObstacles

Devido à simplicidade deste mapa todos os algoritmos chegaram à solução ótima. A partir de 100 iterações todos os algoritmos atingiram o melhor resultado, custo 17, sendo os piores resultados derivados das primeiras iterações, custo 27. Como nas iterações definidas não foi possível comparar os algoritmos, o número de iterações foi diminuído de forma a que fosse possível visualizar o algoritmo que atinge o menor custo mais rapidamente. No caso da pesquisa aleatória após a segunda iteração já é possível atingir o melhor custo, mas só após 39 iterações o valor é atingido em todas as experiências. O algoritmo trepa colinas consegue chegar à solução ótima apenas com 15 iterações. O algoritmo de recristalização teve um comportamento semelhante em todas as temperaturas, e apresentou os melhores resultados com o algoritmo de escalonamento 4 ($T = -\log(T)$), onde foi possível atingir o resultado ótimo em todas as repetições com apenas 8 iterações.

Todos os algoritmos obtiveram uma solução ótima, no entanto o algoritmo de recristalização simulada pode ser considerado o melhor para este mapa e também mais viável ao longo do tempo. Contudo como a amostra é muito pequena o algoritmo de pesquisa aleatória também é uma opção viável, pois a procura vai ser semelhante em ambos os algoritmos.

<i>Algoritmo</i>	<i>Pesquisa aleatória</i>	<i>Trepa Colinas</i>	<i>Recristalização Simulada</i> $T = T - 0.1$	<i>Recristalização Simulada</i> $T = -\log(T)$	<i>Recristalização Simulada</i> $T = e^{-(T)}$
Custo médio	17	17	17	17	22.5

Tab. 2 - Resultados médios das experiências (média calculada tendo em conta as 3 temperaturas definidas).

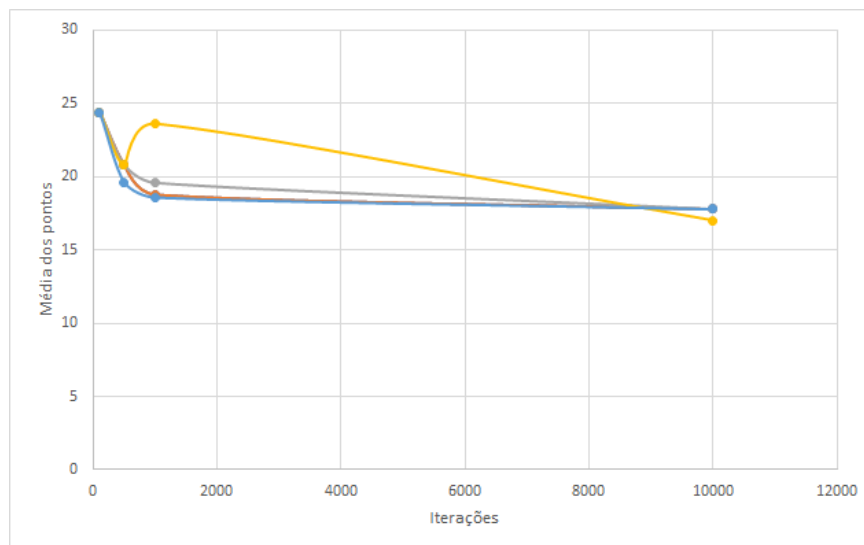


Gráfico 1 - Evolução do custo ao longo do tempo para os 3 algoritmos (**Azul**: Pesquisa aleatória, **Laranja**: Trepa Colinas, **Cinzento**: Recristalização Simulada $T = T - 0.1$, **Amarelo**: Recristalização Simulada $T = -\log(T)$).

4.2 Mapa 2 – *ObstaclesSmall*

Este mapa consiste na adição de pequenos obstáculos ao mapa anterior, o que faz com que nem todos os algoritmos consigam chegar à solução ótima. Destes, o algoritmo que registou o melhor resultado foi o da Pesquisa Aleatória, chegando a um custo de 25 passos entre as 100 e as 500 iterações, e o pior resultado foi o Trepa Colinas, que apesar de obter os piores resultados, atingiu o seu melhor resultado (custo 29) em menos de 100 iterações. Já o algoritmo Recristalização Simulada possui resultados médios (Tab. 3) melhores do que o Trepa Colinas, chegando igualmente há solução ótima em menos de 100 iterações. Ao comparar o algoritmo de pesquisa aleatória com o de recristalização simulada, o primeiro pode ser considerado o melhor pois atinge a solução ótima mais frequentemente, podendo por isso ser considerado mais viável e estável ao longo do tempo.

Na seguinte tabela estão representados os valores médios das experiências efetuadas. É de acrescentar que o algoritmo de recristalização simulado tem um melhor comportamento quando é usado com o logaritmo negativo, pois a temperatura decresce mais rapidamente, ou seja, maior é a probabilidade de encontrar a solução ótima.

Algoritmo	Pesquisa aleatória	Trepa Colinas	Recristalização Simulada $T = T - 0.1$	Recristalização Simulada $T = -\log(T)$	Recristalização Simulada $T = e^{-(T)}$
Custo médio	26.8	32	29.6	28.2	48.5

Tab. 3 - Resultados médios das experiências (média calculada tendo em conta as 3 temperaturas definidas).

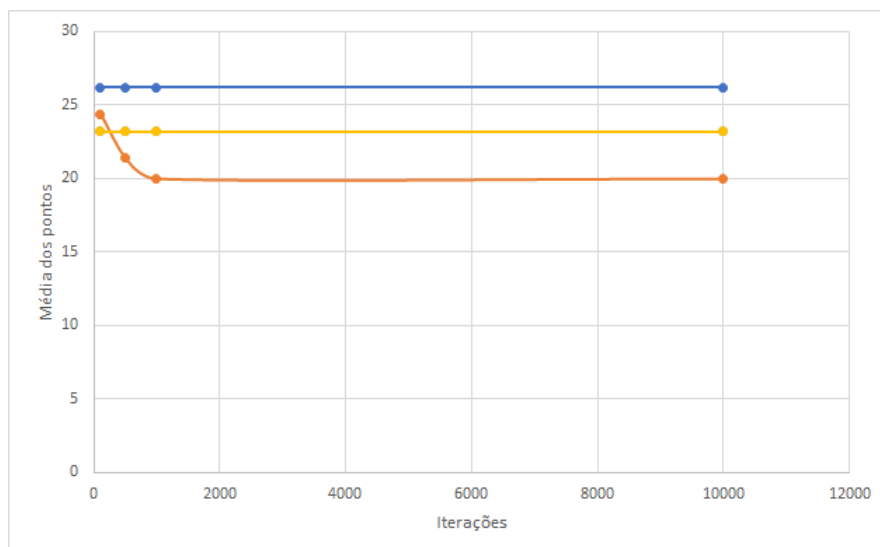


Gráfico 2 - Evolução do custo ao longo do tempo para os 3 algoritmos (**Azul**: Pesquisa aleatória, **Laranja**: Trepa Colinas, **Cinza**: Recristalização Simulada $T = T - 0.1$, **Amarelo**: Recristalização Simulada $T = -\log(T)$).

4.3 Mapa 3 - *ObstaclesSmallManyBox*

Este mapa é idêntico ao mapa anterior, com a exceção de possuir mais caixas para o robô apanhar. Neste mapa o melhor resultado foi obtido pelo algoritmo Trepa Colinas, atingindo-o em 10000 iterações com um custo de 30 passos, e o pior resultado pertence á Pesquisa Aleatória, atingindo o seu melhor resultado em 10000 iterações com 39 passos de custo. Neste mapa, o algoritmo de Recristalização Simulada tem em média, resultados melhores do que o da Pesquisa Aleatória e apenas ligeiramente piores do que o Trepa Colinas, atingindo o seu melhor resultado em 500 iterações, com um custo de 32 passos. Comparando o algoritmo Trepa Colinas com o Recristalização Simulada, o segundo pode ser considerado o mais adequado, pois apesar do seu melhor valor ser ligeiramente maior do que o Trepa Colinas, este atinge-o não só com mais frequência, mas também em muito menos iterações do que o Trepa Colinas, sendo por isso melhor em termos de escalabilidade e em tempo de execução.

Podemos observar na tabela (Tab. 3) que o Trepa Colinas e a Recristalização Simulada têm valores médios muito semelhantes, e que as funções de escalonamento da temperatura também não contribuem de forma relevante para o desempenho da Recristalização Simulada neste caso, algo que poderá estar relacionado com a quantidade de caixas presentes nele.

Algoritmo	Pesquisa aleatória	Trepa Colinas	Recristalização Simulada $T = T - 0.1$	Recristalização Simulada $T = -\log(T)$	Recristalização Simulada $T = e^{-(T)}$
Custo médio	46.2	35.2	35.6	36	84.7

Tab. 4 - Resultados médios das experiências efetuadas no mapa 3 (média calculada tendo em conta as 3 temperaturas definidas).

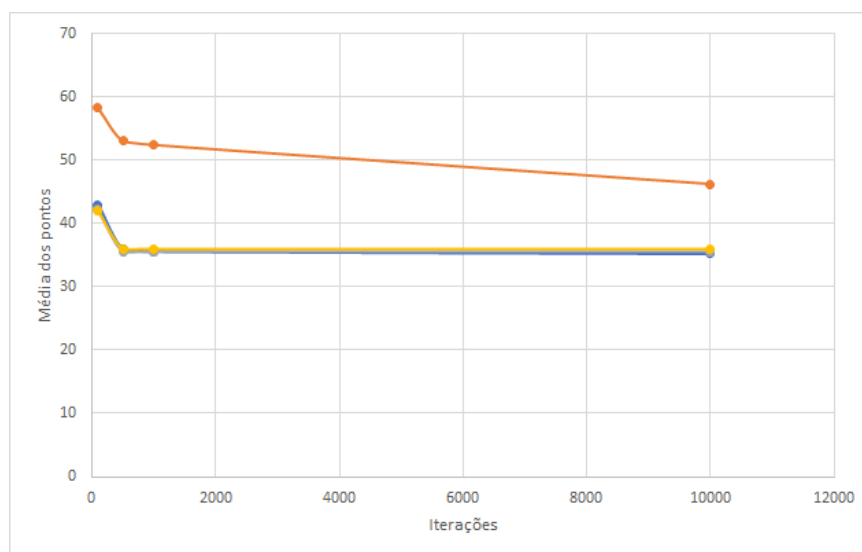


Gráfico 3 - Evolução do custo ao longo do tempo para os 3 algoritmos (**Azul**: Pesquisa aleatória, **Laranja**: Trepa Colinas, **Cinzento**: Recristalização Simulada $T = T - 0.1$, **Amarelo**: Recristalização Simulada $T = -\log(T)$).

4.4 Mapa 4 - *ReturnTo2b*

O mapa 4 diferencia-se dos mapas anteriores por ter um campo de jogo muito maior, o que irá resultar num custo médio mais elevado em comparação aos mapas anteriores. O melhor resultado neste mapa foi obtido pela Pesquisa Aleatória, atingindo um custo de 63 entre 1000 e 10000 iterações, e o pior resultado foi obtido pelo algoritmo Trepa Colinas, com o seu melhor teste a atingir um custo de 70 passos em 100 a 500 iterações. Já o algoritmo de Cristalização Simulada apresenta o seu melhor resultado com 64 passos em menos de 100 iterações, um resultado muito melhor comparativamente aos outros algoritmos, pois atinge o seu melhor resultado muito mais rapidamente do que a Pesquisa Aleatória com um custo muito inferior ao melhor resultado do Trepa Colinas.

Ao observar a tabela abaixo podemos observar que, apesar de ter um resultado melhor inferior à Pesquisa Aleatória, a Recristalização Simulada apresenta valores médios muito melhores do que esta. Isto deve-se ao facto de a Pesquisa Aleatória demorar bastante tempo a encontrar a sua solução ideal, tornando a sua utilização em mapas complexos pouco viáveis.

<i>Algoritmo</i>	<i>Pesquisa aleatória</i>	<i>Trepa Colinas</i>	<i>Recristalização Simulada</i> $T = T - 0.1$	<i>Recristalização Simulada</i> $T = -\log(T)$	<i>Recristalização Simulada</i> $T = e^{-(T)}$
<i>Custo médio</i>	74.1	74.05	69.9	69.9	114.5

Tab. 5 - Resultados médios das experiências efetuadas no mapa 3 (média calculada tendo em conta as 3 temperaturas definidas).

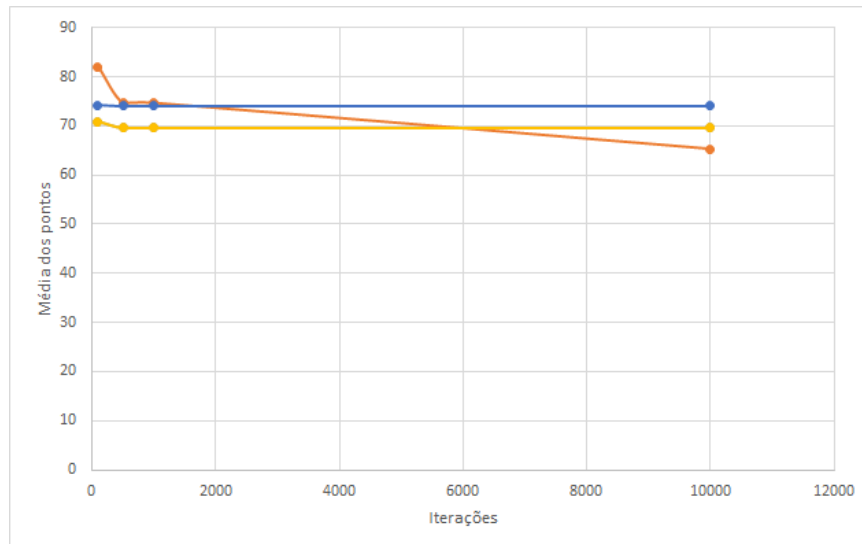


Gráfico 4 - Evolução do custo ao longo do tempo para os 3 algoritmos (**Azul**: Pesquisa aleatória, **Laranja**: Trepa Colinas, **Cinza**: Recristalização Simulada $T = T - 0.1$, **Amarelo**: Recristalização Simulada $T = -\log(T)$).

4.5 Mapa 5 – *ReturnTo2bHarder*

Este mapa consiste na adição de mais caixas ao mapa anterior, sendo expectável mais uma vez o aumento significativo do custo comparativamente aos mapas anteriores. Neste mapa o algoritmo que obteve o melhor resultado foi a Recristalização Simulada, obtendo um custo de 77 passos entre 500 e 1000 iterações. Já o pior resultado foi obtido pela Pesquisa Aleatória, atingindo em 500 a 1000 iterações um custo de 125 passos. Já o Trepa Colinas obteve o seu melhor resultado também em 500 a 1000 iterações, com um custo de 83 passos.

No entanto, através da análise da tabela abaixo, podemos concluir que o algoritmo Trepa Colinas apresenta resultados médios consideravelmente melhores do que a Recristalização Simulada, assim como muito melhores do que a Pesquisa Aleatória. Uma possível explicação para isto é o facto de o algoritmo de Recristalização Simulada escolher sempre o vizinho mais próximo, o que, apesar de produzir um resultado ótimo poderá negligenciar outros caminhos sub ótimos, e assim prejudicar o seu custo médio. Em termos de estabilidade, o Trepa Colinas pode ser considerado o mais estável ao longo do tempo, pois independentemente das seeds usadas e do número de iterações, este algoritmo apresenta um comportamento semelhante em todas as situações.

Algoritmo	Pesquisa aleatória	Trepa Colinas	Recristalização Simulada $T = T - 0.1$	Recristalização Simulada $T = -\log(T)$	Recristalização Simulada $T = e^{-(T)}$
Custo médio	147.75	97.1	101.53(3)	101.4	2015.5

Tab. 6 - Resultados médios das experiências efetuadas no mapa 3 (média calculada tendo em conta as 3 temperaturas definidas).

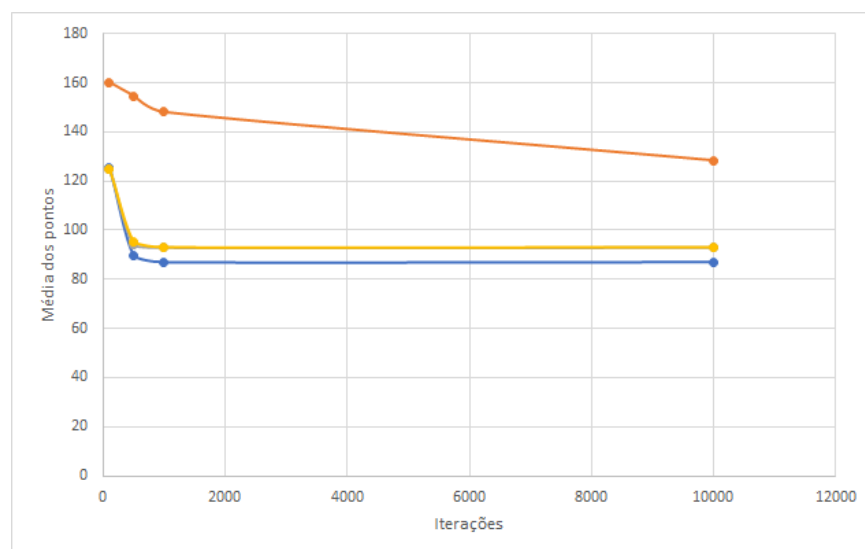


Gráfico 5 - Evolução do custo ao longo do tempo para os 3 algoritmos (**Azul**: Pesquisa aleatória, **Laranja**: Trepa Colinas, **Cinzento**: Recristalização Simulada $T = T - 0.1$, **Amarelo**: Recristalização Simulada $T = -\log(T)$).

5 Conclusão

Após a análise experimental é possível afirmar que num ambiente com menos obstáculos e menos caixas, bastará aplicar um algoritmo de pesquisa aleatória, visto que nestas condições a probabilidade de ser escolhida a melhor sequência nas primeiras iterações é maior.

Quando se fala de ambientes mais complexos em teoria o algoritmo de recristalização simulada poderá alcançar melhores resultados, pois apesar de ter uma componente estocástica como os outros algoritmos, este irá procurar o vizinho mais próximo. Os algoritmos de recristalização simulada usam probabilidades como um fator de decisão. Esta probabilidade varia entre zero e um sendo que quando a probabilidade é um a sequência atual muda. Contudo nas experiências efetuadas, é possível observar que em certos casos o algoritmo de recristalização simulada nem sempre é o melhor, como é o caso do mapa 5. Como este algoritmo depende das funções de escalonamento de temperatura, as que foram utilizadas não foram ótimas para os mapas testados.

Na primeira função de escalonamento ($T = T - 0.1$) é decrementado o valor da temperatura de forma linear, no entanto quando o valor da temperatura é mais elevado, não decrementa o suficiente para que a temperatura varie e sejam obtidas melhores soluções.

Na segunda função de escalonamento usada ($T = -\log(T)$), também não foi possível obter soluções ótimas em menos iterações, visto que a temperatura fica a zero nos primeiros passos, mantendo-se constante até ao fim.

No terceiro algoritmo de escalonamento ($T = e^{-T}$) é possível demonstrar que a temperatura ao aumentar exponencialmente, não permite obter soluções ótimas visto que a probabilidade de alterar para uma solução pior incrementa com o valor da temperatura.

De modo geral, é possível constatar que os agentes de procura usados são versáteis e a sua utilização adequada depende fortemente do ambiente em que são aplicados. Nos testes efetuados foi também possível concluir que a eficácia do algoritmo de recristalização simulada aumenta com o melhor controlo da variação da temperatura, e que o algoritmo trepa colinas e pesquisa aleatória são mais vantajosos em ambientes mais pequenos e limitados.

6 Referências

- **Inteligência Artificial: Fundamentos e Aplicações**
Ernesto Costa, Anabela Simões

7 Anexos

- Juntamento com este relatório, será enviado três ficheiros com resultados de todas as experiências efetuadas, os gráficos utilizados e o package do Unity onde forram efetuadas as experiências.
 - GrafsMapas.xlsx
 - Experiencias_IIA.pdf
 - Trabalho2.unitypackage