

Maio 2022/23



# OTIMIZAÇÃO HEURÍSTICA

## Trabalho Individual II

*Docentes:*

*Professora Doutora Anabela Ribeiro Dias da Costa*

*Professora Doutora Mafalda Coutinho de Ponte*

*Professora Doutora Maria João Sacadura Fonseca Calado de Carvalho e Cortinhal*

***Licenciatura em Ciência de Dados***

***Turma: CDB1***

*Marco Delgado Esperança nº 110451*

# Índice

Introdução .....	2
Respostas às questões .....	2
Conclusão .....	16
Bibliografia .....	17
Anexos .....	18



# Introdução

A otimização heurística é uma área da inteligência artificial e da pesquisa operacional que visa encontrar soluções aproximadas para problemas complexos de otimização. Diferente dos métodos exatos, que garantem a obtenção da solução ótima, os algoritmos heurísticos são projetados para procurar soluções de alta qualidade, mesmo em problemas de grande escala e com espaço de procura muito extenso.

Neste trabalho, abordaremos um problema de otimização relacionado à alocação de cientistas seniores a projetos de pesquisa e desenvolvimento (I&D) em uma companhia farmacêutica chamada Lusa\_Med. A empresa detém os direitos sobre dez projetos, cada um voltado para o desenvolvimento de um novo medicamento destinado ao tratamento de um tipo específico de doença. Cada projeto requer um coordenador distinto, e cada cientista sénior selecionado só pode liderar um único projeto.

A Lusa\_Med procura determinar a alocação dos cientistas aos projetos que maximize a aptidão total. Para isso, será desenvolvido um algoritmo de Pesquisa Tabu, uma técnica heurística que permite explorar o espaço de soluções de forma eficiente, procurando soluções admissíveis de alta qualidade.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma descrição detalhada do problema, discutir as características da abordagem de Pesquisa Tabu e sua aplicação na resolução do problema de alocação de cientistas aos projetos. Serão apresentados os passos necessários para implementar o algoritmo de Pesquisa Tabu e avaliar sua eficácia na obtenção de soluções admissíveis de alto desempenho.

No final deste trabalho, espera-se fornecer *insights* valiosos sobre a utilização de técnicas heurísticas, como a Pesquisa Tabu, para resolver problemas de otimização complexos, contribuindo para o avanço da área de pesquisa operacional e aplicações práticas no domínio da indústria farmacêutica.

## Respostas às questões

### a) Descrição de uma solução admissível para o problema

Uma solução admissível para este problema consiste em atribuir exatamente um cientista sénior para liderar cada um dos dez projetos de I&D. Cada cientista só pode ser alocado para liderar um único projeto, e cada projeto deve ter um coordenador distinto. A alocação dos cientistas para os projetos deve respeitar as restrições de aptidão, ou seja, cada cientista tem uma pontuação de aptidão diferente para liderar cada projeto. O objetivo é encontrar a alocação de cientistas para projetos que maximiza a soma total das pontuações de aptidão dos cientistas para os projetos alocados a eles.

b) Definição de uma heurística que lhe permite determinar uma solução admissível para o problema

A heurística desenvolve-se com a alocação dos cientistas C1 a C10 aos projetos I&D, P1 a P10.

Assim para o seu desenvolvimento serão percorridas as seguintes etapas:

1. Percorrer a coluna por ordem crescente, ou seja, olhar para cada projeto de P1 a P10 e encontrar o cientista com maior aptidão para o liderar, sendo que nos casos em que haja empate atribui-se ao cientista que aparecer primeiro, ou seja, ao cientista com menor número depois do C.
2. Atribuir o projeto ao cientista correspondente.
3. Assinalar esse cientista como bloqueado, uma vez que já não é possível liderar outros projetos, adicionando-o à lista tabu.
4. Efetuam-se várias iterações até os cientistas terem um e um só projeto a seu cargo.

Assim, pretende-se priorizar os cientistas com maior aptidão para liderar um determinado projeto, assegurando que, pelo menos inicialmente o cientista com maiores qualificações é o escolhido. Estando escolhido, esse cientista é marcado como indisponível, não havendo mais do que um cientista a liderar o mesmo projeto.

Com este método, uma solução admissível obtida a partir da heurística, não garante uma aptidão total ótima, pois, para isso, seria necessário calcular todas as combinações possíveis.

c) Determinação de uma solução admissível para o problema, tendo em conta a alínea b)

A partir da heurística definida em b), pretende-se encontrar uma solução admissível (S.A). Para isso, iremos atribuir o cientista com maior aptidão a esse mesmo projeto. A solução admissível que iremos obter não será a ótima pelo motivo anteriormente explicado, mas respeita as restrições e utiliza as aptidões mais altas para cada projeto.

Inicialmente, possuímos o seguinte:

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10
- Cientistas já bloqueados: N/A

Etapas:

1. Ver para o P1, o cientista com mais aptidão para esse projeto. O C5 tem a maior aptidão para esse projeto (100), sendo esse o escolhido para esse projeto e bloqueado para os restantes.
  - Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9, C10
  - Cientistas bloqueados: C5
2. Relativamente ao P2, o cientista C8 é o que possui maior aptidão para esse projeto (95)
  - Cientistas já bloqueados: C1, C2, C3, C4, C6, C7, C9, C10
  - Cientistas bloqueados: C5, C8

3. Para o P3, verifica-se que o cientista com maior aptidão é o C8, mas este já está atribuído a um projeto, pelo que escolhe-se o cientista com maior aptidão logo a seguir a esse que é o cientista C7 com aptidão de 90.

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C6, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7

4. No que diz respeito ao P4, os três cientistas com maior aptidão são, por ordem decrescente, C7, C5 e C6, com aptidão de 79, 77 e 65, respetivamente.

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6

5. Em relação a P5, os cientistas com mais aptidão são C2 e C10 com 100, mas como C2 aparece primeiro na lista de cientistas, escolhemos atribuir C2 para este projeto.

- Cientistas disponíveis: C1, C3, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2

6. Para o P6, o cientista C3 é o mais apto com aptidão de 81.

- Cientistas disponíveis: C1, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2, C3

7. Relativamente a P7, os cinco cientistas mais aptos são C1, C5, C7, C9 e C10, com aptidão de 80, 93, 90, 80, 80, respetivamente. Como C5 e C7 já estão bloqueados e C1 aparece primeiro que C9 e C10, atribuímos P7 a C1.

- Cientistas disponíveis: C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2, C3, C1

8. Em relação ao P8, os dois cientistas com maior aptidão são C4 e C8, mas como apenas C4 está disponível, escolhe-se esse.

- Cientistas disponíveis: C9, C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2, C3, C1, C4

9. Para P9, como apenas C9 e C10 se encontram disponíveis e C9 possui o maior valor de aptidão (71) escolhe-se esse.

- Cientistas disponíveis: C10
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2, C3, C1, C4, C9

10. Por fim, para P10, o único cientista disponível é o C10, pelo que atribui-se esse a este projeto.

- Cientistas disponíveis: N/A
- Cientistas bloqueados: C5, C8, C7, C6, C2, C3, C1, C4, C9, C10

$$\text{Aptidão total} = 100 + 95 + 90 + 65 + 100 + 81 + 80 + 100 + 71 + 70 = 852$$

Desta forma, a aptidão total é de 852.

De seguida, apresenta-se uma tabela com as atribuições efetuadas e os valores de aptidões.

Projeto	Cientista	Aptidão
P1	C5	100
P2	C8	95
P3	C7	90
P4	C6	65
P5	C2	100
P6	C3	81
P7	C1	80
P8	C4	100
P9	C9	71
P10	C10	70
-	-	852

← Aptidão total

#### d) Definição da estrutura de vizinhança de uma população

A estrutura de vizinhança é definida pela função  $\mathcal{N}: S \rightarrow 2^S$  que atribui a cada solução  $s \in S$ , um conjunto de soluções vizinhas,  $\mathcal{N}(s)$ , contido ou igual a  $S$ . O conjunto  $\mathcal{N}(s)$  designa-se por Vizinhança da Solução  $s$ .

Neste caso,  $s_2$  é uma solução vizinha de  $s_1$ , caso seja obtida a partir de  $s_1$  por troca de dois cientistas alocados a dois projetos distintos. Portanto assumindo que retirávamos P2 e C8 e P3 e C7, o C8 ficaria atribuído a P3 e C7 a P2.

- e) Determinação de solução vizinha da solução que se apresentou na alínea c), tendo em conta d)

Para resolver esta alínea, iremos trocar dois cientistas que foram atribuídos a dois projetos.

Na alínea c) tínhamos C8 alocado a P2 e C7 alocado a P3.



Inicialmente, temos o seguinte:

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10
- Cientistas bloqueados: N/A

Etapas:

1. Atribuir C7 a P2

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C8, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7

2. Atribuir C8 a P3

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C5, C6, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8

3. Atribuir C5 a P1

- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C6, C9, C10
- Cientistas já bloqueados: C7, C8, C5

4. Para P4, os três cientistas com mais aptidão são C5, C6 e C7 com valores de aptidão de 77, 65 e 79, respetivamente. Como só C6 se encontra livre, atribuímos P4 a este cientista



- Cientistas disponíveis: C1, C2, C3, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6

5. Relativamente ao P5, verificam-se que os cientistas com maior aptidão são C2 e C10 com 100, mas C2 aparece primeiro do que C10, então atribui-se C2 ao P5.

- Cientistas disponíveis: C1, C3, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: ???

6. Para P6, o cientista com maior aptidão disponível é o C1 com 81

- Cientistas disponíveis: C1, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6, C2, C3

7. Para o P7, os cientistas com maior valor de aptidão são C1, C5, C7, C9 e C10 com aptidões de 80, 93, 90, 80, 80, respetivamente.

- Cientistas disponíveis: C1, C4, C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6, C2, C3, C1

8. Em relação ao P8, os cientistas com mais aptidão são C4 e C8, mas como apenas C4 está disponível escolhe-se C4.

- Cientistas disponíveis: C9, C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6, C2, C3, C1, C4

9. No que diz respeito ao P9, os cientistas com mais aptidão são C1, C2, C3, C6, C7 e C9, com aptidão de 100, 82, 100, 73, 85 e 71, respetivamente, mas como apenas C9 está disponível atribui-se este cientista a este projeto.

- Cientistas disponíveis: C10
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6, C2, C3, C1, C4, C9

10. Finalmente, relativamente ao P10, os quatros cientistas que registam maior aptidão são C1, C4, C7e C10, com aptidão de 85, 75, 90 e 70, respetivamente. Contudo, como C10 é o único disponível, este fica atribuído ao P10.

- Cientistas disponíveis: N/A
- Cientistas bloqueados: C7, C8, C5, C6, C2, C3, C1, C4, C9, C10

Aptidão total =  $63 + 100 + 100 + 65 + 100 + 81 + 80 + 100 + 71 + 70 = 830$

Desta forma, a aptidão total é de 830.

De seguida, apresenta-se uma tabela com as atribuições efetuadas e os valores de aptidões.

Projeto	Cientista	Aptidão
P2	C7	63
P3	C8	100
P1	C5	100
P4	C6	65
P5	C2	100
P6	C3	81
P7	C1	80
P8	C4	100

P9	C9	71
P10	C10	70
-	-	830

← Aptidão total

f) Definição da lista tabu, tendo em conta as opções tomadas para responder às alíneas anteriores

A Lista Tabu é uma estrutura de dados utilizada, na procura tabu, que tem o objetivo de evitar que o algoritmo revisite soluções já exploradas recentemente, evitando ciclos infinitos ou retornos a soluções de baixa qualidade. A Lista Tabu mantém um registo com a lista de movimentos com as atribuições já efetuadas, determinada em cada iteração, sendo que, neste caso, uma melhor solução é uma solução que possua maior valor de aptidão total. Na Lista Tabu adiciona-se o par de ligações projeto/cientista que foi adicionado.

Esta Lista guarda um conjunto limitado de pares de ligações recentes, descartando as mais antigas, à medida que se geram novas soluções, de forma que a dimensão da Lista Tabu seja cumprida com a definida previamente. Quando se encontra uma nova solução, o algoritmo verifica se algum dos pares gerados está na Lista Tabu: caso esteja, a nova solução não é aceite; caso contrário, a solução é aceite e a Lista Tabu é atualizada.

Assim, a Lista Tabu contribui para encontrar soluções que melhorem a eficiência e a qualidade das soluções encontradas.

g) Atualização da lista tabu, de acordo com a solução vizinha apresentada na alínea e)

Consideremos que a Lista Tabu tem dimensão 2, que corresponde ao número de iterações entre os pares projeto/cientistas que irão estar proibidos de modificar. Na alínea i) irei testar a Lista Tabu para diferentes comprimentos.

Na solução admissível inicial, C8 encontrava-se atribuído a P2 e C7 a P3, sendo que na nova solução vizinha trocou-se esta atribuição, isto é, C8 ficou atribuído a P3 e C7 ficou atribuído a P2. Desta forma, procedeu-se à atribuição de cientistas ao projeto que o colega estava inicialmente responsável por.

Assim, a Lista Tabu fica {(P3, C8), (P2, C7)}.

h) Definição dos movimentos Tabu, tendo em conta as opções tomadas nas alíneas anteriores

Os Movimentos Tabu apresentam os movimentos que não podem ser efetuados durante um período de tempo da procura do algoritmo de Pesquisa Tabu, dependente da dimensão da lista. Desta forma, garante-se que o algoritmo não explore soluções menos promissoras repetidamente, que, neste problema, correspondem a menores valores de aptidão total, permitindo a diversificação da exploração do espaço de procura.

Estes movimentos podem ser efetuados de acordo com critérios de aspiração, o que permite que as soluções resultantes dos Movimentos Tabu possam ser escolhidas como a

melhor solução vizinha, condicionada a que o valor da função objetivo seja estritamente melhor que o valor da função objetivo da melhor solução determinada até ao momento. No contexto deste problema, vai-se adicionando, em cada iterada, o projeto atribuído a cada cientista, de forma a cada projeto estar atribuído a um cientista e cada cientista só ser responsável por um projeto.

Assim, o Movimento Tabu corresponde à remoção de um par de ligações da Lista Tabu, ou seja, corresponde a deixar de atribuir P2 a C7 e P3 a C8.

#### i) Implementação do algoritmo de Pesquisa Tabu

Para implementar o algoritmo de Pesquisa Tabu considerou-se como critério de paragem 100 como número máximo de iterações ou a obtenção de uma solução admissível cujo valor de aptidão total seja pelo menos 850.

##### Uma iteração

Comecei por considerar apenas uma iteração para ver se o algoritmo se encontrava correto. Para estes casos considerei Listas Tabus de dimensões 2 e 3 apenas para testar. Os outputs obtidos encontram-se nas figuras 1 e 2 dos anexos.

Em ambos os casos a sequência de atribuição de cientistas para a atribuição dos projetos por ordem crescente de 1 a 10 foi a seguinte: C5-C2-C3-C4-C1-C6-C7-C8-C9-C10. O valor de aptidão total foi de 180 e o par projeto/cientista presente na Lista Tabu é (1,5).

O output para as Listas Tabus de dimensões 2 e 3 pode ser consultado, respetivamente, nas figuras 1 e 2 dos Anexos.

##### 100 iterações

Em seguida, procedi ao teste do algoritmo com 100 iterações.

##### Lista Tabu de dimensão 2

Na figura abaixo apresenta-se a evolução da aptidão total em função do número de iterações.

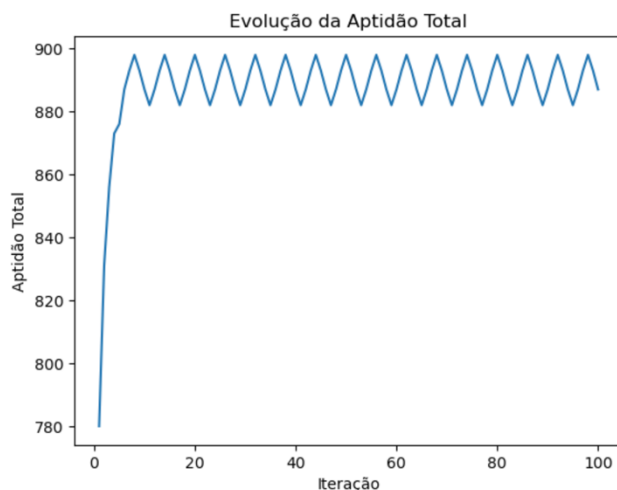


Figura 1 – Gráfico com a evolução da aptidão total para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 2

Podemos verificar que o valor da aptidão total sobe a pique até, sensivelmente, a 15ª iteração, a partir do qual começa a haver subidas e descidas pouco significativas (entre valores próximos de 900 e próximos de 880).

Decidi também analisar a frequência de uso de movimentos tabu.

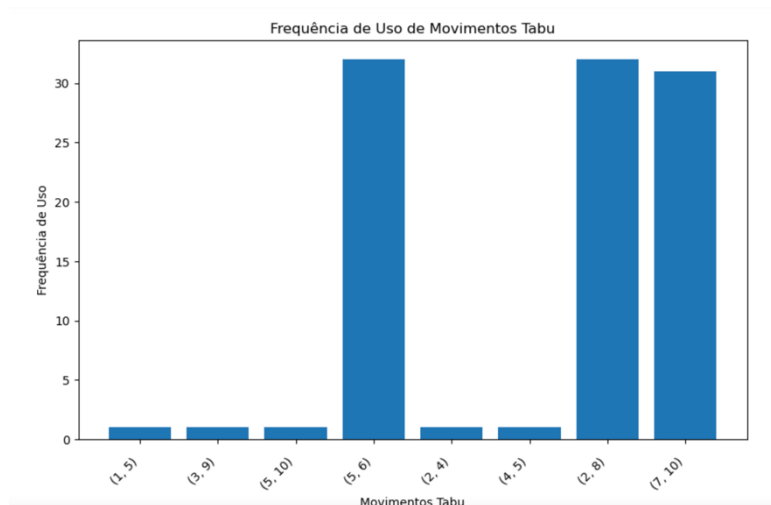


Figura 2 - Gráfico com a frequência de uso de Movimentos Tabu para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 2

Os Movimentos Tabu mais usados (no formato (projeto, cientista)) foram: (5,6); (2,8) e (7,10).

Quanto aos resultados obtidos foram os seguintes:

- Projetos atribuídos aos cientistas (por ordem crescente de número de projeto): C5-C8-C9-C6-C10-C2-C7-C4, C3, C1
- Aptidão total: 898

Para o output completo consultar a figura 3 dos Anexos.

### Lista Tabu de dimensão 3

Na figura abaixo apresenta-se a evolução da aptidão total em função do número de iterações.

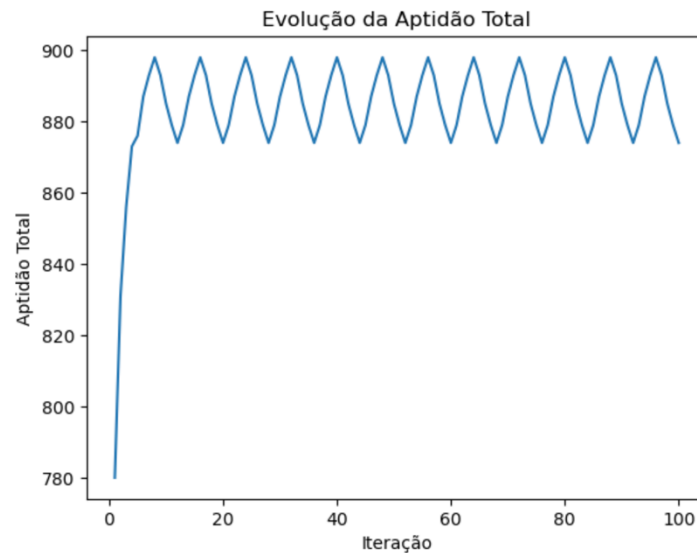


Figura 3 - Gráfico com a evolução da aptidão total para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 3

A análise é análoga à previamente feita para a Lista Tabu de dimensão 2.

Em seguida, apresenta-se o gráfico da frequência de uso de Movimentos Tabu.

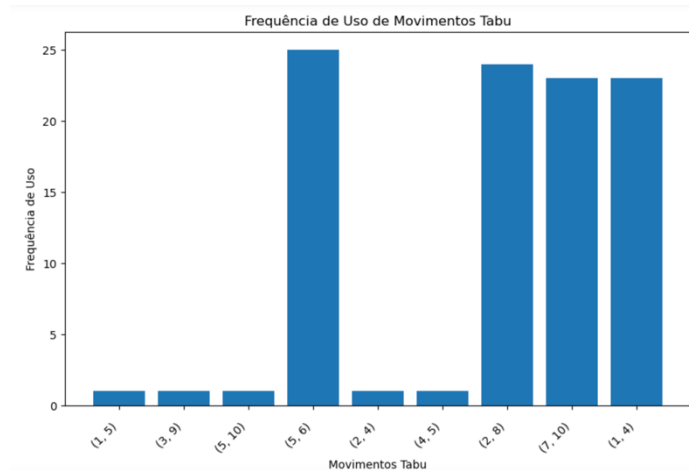


Figura 4 - Gráfico com a frequência de uso de Movimentos Tabu para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 3

Os Movimentos Tabu mais usados foram: (5,6); (2,8); (7,10) e (1,4).

Quanto aos resultados obtidos foram os seguintes:

- Projetos atribuídos aos cientistas (por ordem crescente de número de projeto): C5-C8-C9-C6-C10-C2-C7-C4-C3-C1
- Aptidão total: 898

Para o output completo consultar a figura 4 dos Anexos.

#### Lista Tabu de dimensão 4

Também decidi utilizar uma Lista Tabu de dimensão 4, uma vez que obtive o valor de aptidão total ótimo (902).

Na figura abaixo apresenta-se a evolução da aptidão total em função do número de iterações.

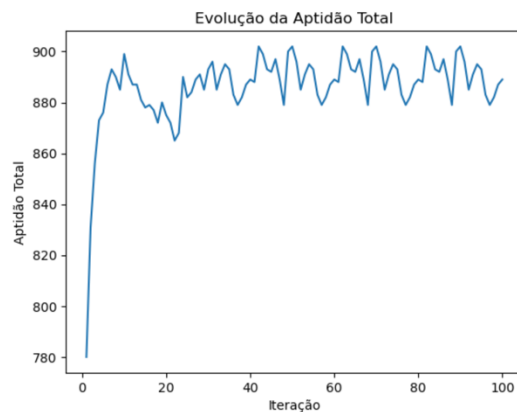


Figura 5 - Gráfico com a evolução da aptidão total para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 4

Podemos verificar que existe uma alteração do panorama registado para as Listas Tabu de dimensões 2 e 3.

No gráfico apresentado, o valor da aptidão total sobe a pique até, sensivelmente, a 15<sup>a</sup> iteração, a partir do qual começa a haver uma descida significativa até, sensivelmente, a 22<sup>a</sup> iteração, sendo que, de seguida, começa a haver subidas e descidas pouco significativas (entre valores próximos de 900 e próximos de 880).

Em seguida, apresenta-se o gráfico da frequência de uso de Movimentos Tabu.

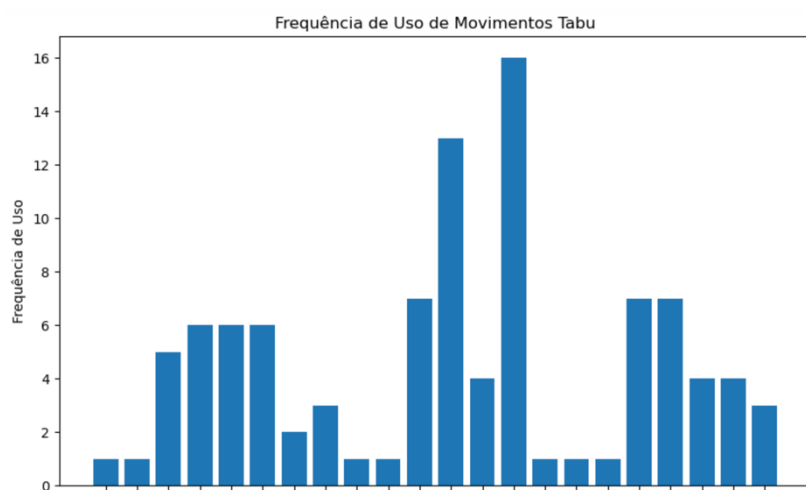


Figura 6 - Gráfico com a frequência de uso de Movimentos Tabu para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 4

Neste gráfico também se regista uma alteração do panorama relativamente às Listas Tabus de dimensão 2 e 3, uma vez que existem mais diferenças entre a frequência dos Movimentos Tabu mais utilizados, sendo os movimentos mais frequentes: (2,6) e (4,7).

Quanto aos resultados obtidos foram os seguintes:

- Projetos atribuídos aos cientistas (por ordem crescente de número de projeto):  
C9-C2-C8-C6-C10-C3-C5-C4-C1-C7
- Aptidão total: 902

Para o output completo consultar a figura 5 dos Anexos.



# Conclusão

Neste trabalho, abordamos um problema de atribuição de projetos a cientistas, com o objetivo de otimizar a aptidão total da equipa. Para resolver esse problema, implementou-se um algoritmo de Pesquisa Tabu.

O algoritmo de Pesquisa Tabu explorou diferentes combinações de atribuições de cientistas aos projetos, procurando maximizar a aptidão total, de acordo com uma heurística específica. O algoritmo percorreu as diferentes etapas, considerando a ordenação crescente dos projetos e selecionando o cientista com maior aptidão para liderar cada projeto. Além disso, o algoritmo utilizou uma Lista Tabu para evitar soluções já exploradas.

Aplicou-se o algoritmo de Pesquisa Tabu em várias iterações, variando o tamanho da lista tabu, e obtiveram-se diferentes soluções com suas respectivas aptidões totais. Analisando os resultados, identificaram-se as soluções com as maiores aptidões totais, observando a sequência de atribuição de cientistas aos projetos.

Em suma, o algoritmo de Pesquisa Tabu mostrou-se eficaz na procura por soluções que maximizem a aptidão total da equipa. As soluções encontradas demonstraram a importância da heurística adotada e das restrições impostas pela Lista Tabu.

# Bibliografia

- Burke, E. K.; Kendall, G. (Eds.) (2014).
- Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support, 2 nd edition, Springer.
- Siarry, P. (Ed.) (2016). Metaheuristics, Springer.
- Ehrgott, M. (2005). Multicriteria Optimization, 2nd edition, Springer.
- Ragsdale, C.T. (2017). Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Business Analytics. 8th Ed. Cengage Learning.
- Documentos de apoio fornecidos pela equipa docente.

# Anexos

Projetos atribuídos aos cientistas:

Projeto P1: C5  
Projeto P2: C2  
Projeto P3: C3  
Projeto P4: C4  
Projeto P5: C1  
Projeto P6: C6  
Projeto P7: C7  
Projeto P8: C8  
Projeto P9: C9  
Projeto P10: C10

Melhor solução: [5, 2, 3, 4, 1, 6, 7, 8, 9, 10]  
Aptidão total: 780  
Número de iterações: 1

Lista Tabu: [(1, 5)]

Figura 1 - Output do resultados com apenas uma iteração e Lista Tabu de dimensão 2

Projetos atribuídos aos cientistas:

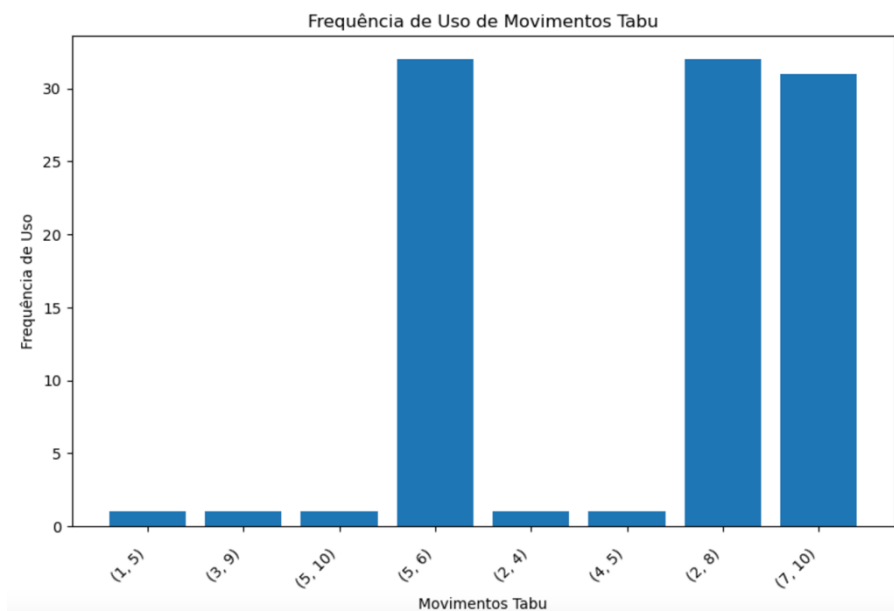
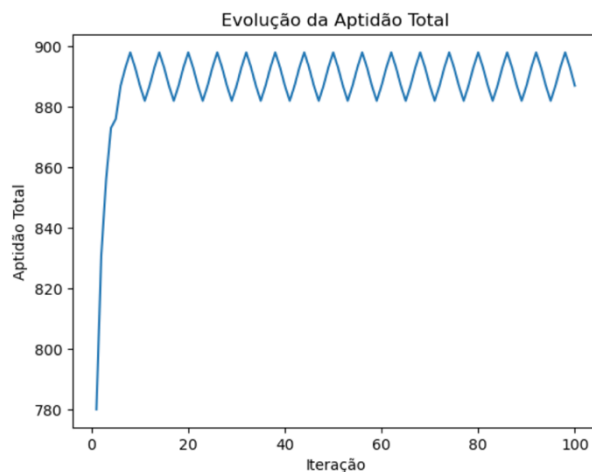
Projeto P1: C5  
Projeto P2: C2  
Projeto P3: C3  
Projeto P4: C4  
Projeto P5: C1  
Projeto P6: C6  
Projeto P7: C7  
Projeto P8: C8  
Projeto P9: C9  
Projeto P10: C10

Melhor solução: [5, 2, 3, 4, 1, 6, 7, 8, 9, 10]  
Aptidão total: 780  
Número de iterações: 1

Lista Tabu: [(1, 5)]

18

Figura 2 - Output do resultados com apenas uma iteração e Lista Tabu de dimensão 3



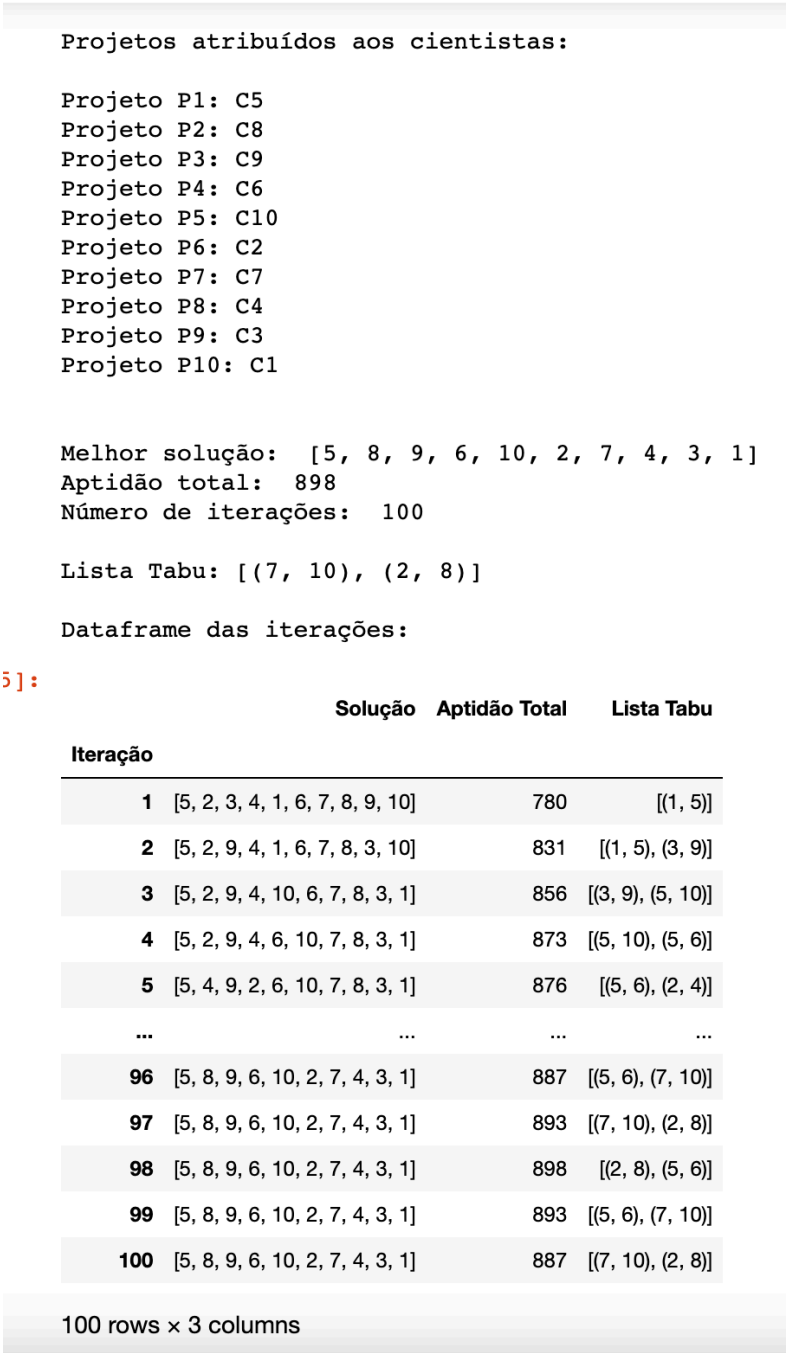
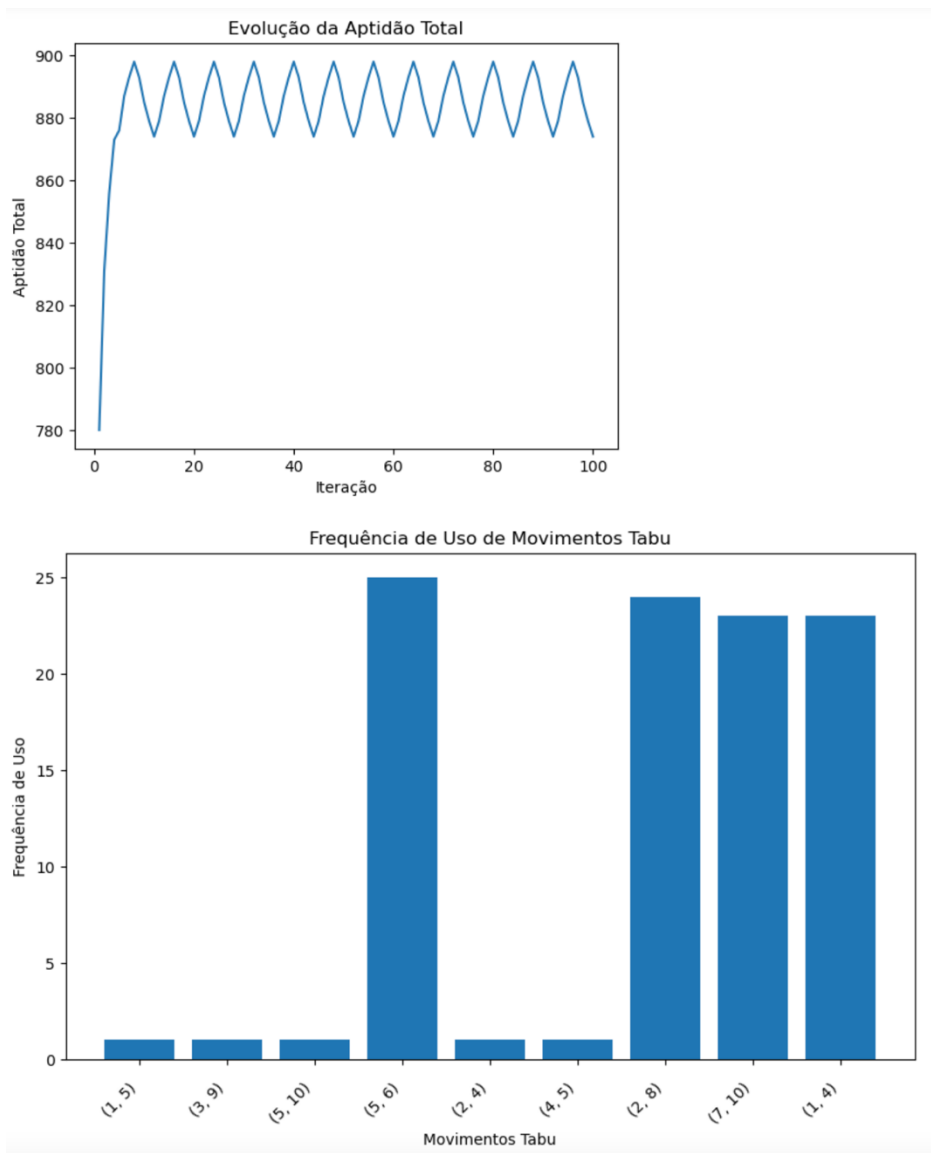


Figura 3 - Output completo para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 2



Projetos atribuídos aos cientistas:

- Projeto P1: C5
- Projeto P2: C8
- Projeto P3: C9
- Projeto P4: C6
- Projeto P5: C10
- Projeto P6: C2
- Projeto P7: C7
- Projeto P8: C4
- Projeto P9: C3
- Projeto P10: C1

Figura 7 -

Melhor solução: [5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]  
Aptidão total: 898  
Número de iterações: 100

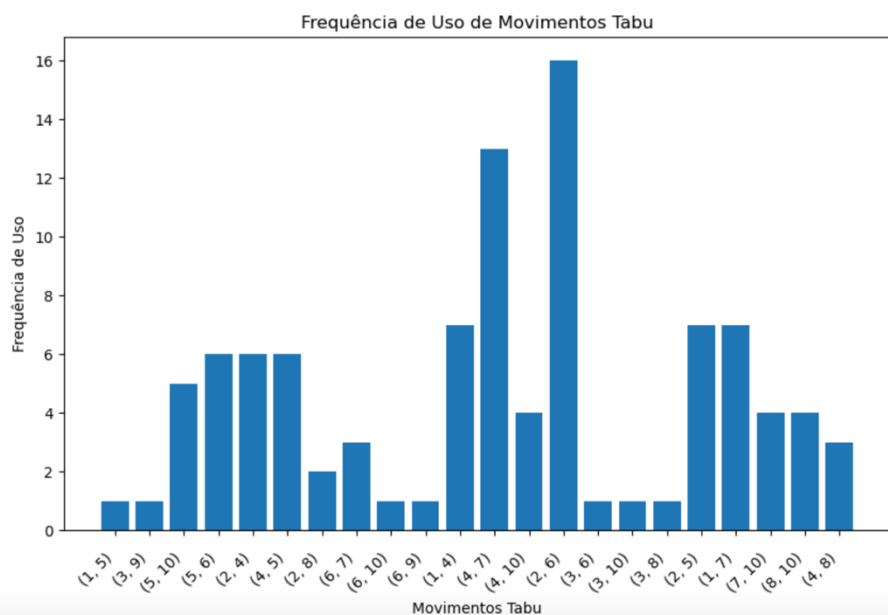
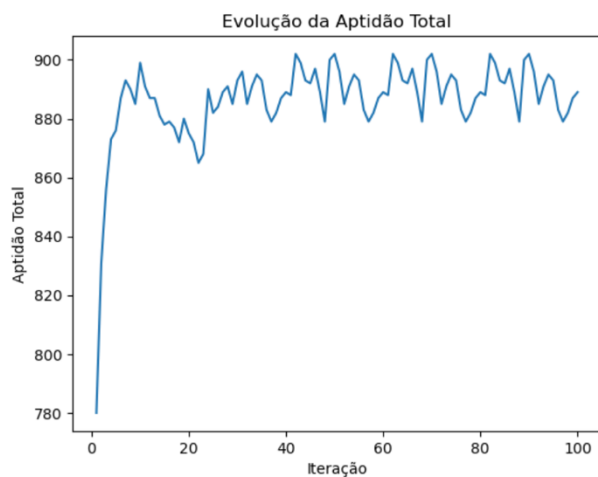
Lista Tabu: [(1, 4), (2, 8), (5, 6)]

Dataframe das iterações:

	Solução	Aptidão Total	Lista Tabu
Iteração			
1	[5, 2, 3, 4, 1, 6, 7, 8, 9, 10]	780	[(1, 5)]
2	[5, 2, 9, 4, 1, 6, 7, 8, 3, 10]	831	[(1, 5), (3, 9)]
3	[5, 2, 9, 4, 10, 6, 7, 8, 3, 1]	856	[(1, 5), (3, 9), (5, 10)]
4	[5, 2, 9, 4, 6, 10, 7, 8, 3, 1]	873	[(3, 9), (5, 10), (5, 6)]
5	[5, 4, 9, 2, 6, 10, 7, 8, 3, 1]	876	[(5, 10), (5, 6), (2, 4)]
...	...	...	...
96	[5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]	898	[(1, 4), (2, 8), (5, 6)]
97	[5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]	893	[(2, 8), (5, 6), (7, 10)]
98	[5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]	885	[(5, 6), (7, 10), (1, 4)]
99	[5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]	879	[(7, 10), (1, 4), (2, 8)]
100	[5, 8, 9, 6, 10, 2, 7, 4, 3, 1]	874	[(1, 4), (2, 8), (5, 6)]

100 rows x 3 columns

Figura 4 - Output completo para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 3



Projetos atribuídos aos cientistas:

Projeto P1: C9  
Projeto P2: C2  
Projeto P3: C8  
Projeto P4: C6  
Projeto P5: C10  
Projeto P6: C3  
Projeto P7: C5  
Projeto P8: C4  
Projeto P9: C1  
Projeto P10: C7

Melhor solução: [9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]  
Aptidão total: 902  
Número de iterações: 100

Lista Tabu: [(5, 10), (8, 10), (4, 7), (2, 6)]

Dataframe das iterações:

	Solução	Aptidão Total	Lista Tabu
Iteração			
1	[5, 2, 3, 4, 1, 6, 7, 8, 9, 10]	780	[(1, 5)]
2	[5, 2, 9, 4, 1, 6, 7, 8, 3, 10]	831	[(1, 5), (3, 9)]
3	[5, 2, 9, 4, 10, 6, 7, 8, 3, 1]	856	[(1, 5), (3, 9), (5, 10)]
4	[5, 2, 9, 4, 6, 10, 7, 8, 3, 1]	873	[(1, 5), (3, 9), (5, 10), (5, 6)]
5	[5, 4, 9, 2, 6, 10, 7, 8, 3, 1]	876	[(3, 9), (5, 10), (5, 6), (2, 4)]
...	...	...	...
96	[9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]	883	[(2, 4), (4, 7), (2, 6), (7, 10)]
97	[9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]	879	[(4, 7), (2, 6), (7, 10), (5, 10)]
98	[9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]	882	[(2, 6), (7, 10), (5, 10), (8, 10)]
99	[9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]	887	[(7, 10), (5, 10), (8, 10), (4, 7)]
100	[9, 2, 8, 6, 10, 3, 5, 4, 1, 7]	889	[(5, 10), (8, 10), (4, 7), (2, 6)]

100 rows × 3 columns

Figura 5 - Output completo para 100 iterações e uma Lista Tabu de dimensão 4