

# **RELATÓRIO**

# **SPRINT-3**

## **ALGAV**

**Instituto Superior de Engenharia do Porto**  
**2024/2025**

**3DG – Grupo 38**

1221933 | Ana Sofia De Oliveira Guterres  
1220738 | José Afonso Calheiros Cruz Dos Santos  
1220683 | Matilde Xavier Varela  
1220841 | Rita Beatriz Ferreira Barbosa

# ÍNDICE

Introdução.....	2
Algoritmo genético.....	3
> Aleatoriedade no cruzamento entre indivíduos .....	3
> Seleção da nova geração .....	3
> Condições de paragem .....	4
> Adaptação do algoritmo para o escalonamento de cirurgias.....	4
Método de atribuição das operações às salas .....	6
Integração do algoritmo genético com o método de atribuição das operações às salas ....	7
Estado da Arte .....	8
Robôs .....	8
> Endoscopia Tradicional vs. Assistida por Robôs.....	8
> Assistência de robôs em Cirurgias Oftálmicas.....	9
> Uso de Robôs em Cirurgias Ortopédicas .....	9
Visão por computador .....	9
> Cirurgia Guiada Por Imagem .....	10
> Visão Por Computador na Análise e Avaliação de Técnicas de Suturas em Cirurgias Robóticas .....	10
> Análise de Habilidade e Eficiência em Técnicas de Cirurgia .....	11
Conclusões .....	12
Referências .....	13
Anexos .....	14
Como executar a solução .....	14

# Introdução

Este relatório tem como objetivo documentar, de forma clara e detalhada, os resultados alcançados e as decisões tomadas durante o desenvolvimento da solução proposta. O foco principal deste trabalho é a implementação e adaptação de um Algoritmo Genético (AG) para o escalonamento de cirurgias em blocos operatórios, incluindo a solução desenvolvida para gerir operações em múltiplas salas de operação de forma eficiente.

Para complementar, foi realizada uma análise do estado da arte sobre a aplicação de robôs e visão por computador em contextos hospitalares, explorando o seu impacto e potencial no apoio a processos cirúrgicos.

# Algoritmo genético

Para o desenvolvimento do algoritmo utilizamos como base os predicados disponibilizados. Para o desenvolvimento do algoritmo, utilizámos como ponto de partida os predicados disponibilizados, ajustando-os para atender aos objetivos definidos.

Primeiramente, introduzimos aleatoriedade no cruzamento entre indivíduos. Em seguida, modificámos o método de seleção da nova geração, garantindo que este não fosse puramente elitista, mas ainda preservasse os melhores indivíduos. Em adição, alterámos as condições de paragem do algoritmo, tornando-as mais adequadas ao contexto do problema.

Por último, procedemos à adaptação do algoritmo para o contexto do problema, escalonamento de cirurgias, onde maioritariamente alteramos o modo de avaliação dos indivíduos.

## > *Aleatoriedade no cruzamento entre indivíduos*

O predicado ***generate\_generation/4*** é responsável pela criação de novas gerações. Este processo ocorre após o cruzamento entre indivíduos, mutação e avaliação dos novos indivíduos de cada população. Para realizar o cruzamento entre os indivíduos, o predicado utiliza ***crossover/2***, que combina pares de indivíduos selecionados para gerar descendentes.

Desta forma, para garantir a aleatoriedade do cruzamento utilizamos o predicado ***random\_permutation/2***, que obtém uma permutação aleatória dos indivíduos presentes na população.

Assim sendo, esta abordagem assegura que a seleção dos pares para o cruzamento, no predicado ***crossover/2***, ocorre de forma não elitista, mesmo que o predicado faça o cruzamento entre dois indivíduos sucessivos.

## > *Seleção da nova geração*

O predicado ***select\_population/4***, utilizado por ***generate\_generation/4*** após a avaliação dos indivíduos da população, é responsável pela seleção da nova geração.

Começa por juntar a população da geração anterior e a nova população, utilizando o predicado ***append/3***. Em seguida, os indivíduos duplicados são removidos através do predicado ***remove\_duplicates/2***, garantindo que cada indivíduo na população resultante seja único.

Após esta etapa inicial, a população resultante é ordenada com o predicado ***order\_population/2***, preparando-a para a seleção dos indivíduos que irão compor a próxima geração. A seleção é realizada pelo predicado ***select\_individuals\_for\_pop/2***, que desempenha duas funções principais:

1. Selecionar os melhores indivíduos da população através de ***choose\_top\_individuals/2***, de acordo com uma percentagem definida pelo predicado ***mix\_percentage/1***. Este parâmetro determina quantos melhores indivíduos serão escolhidos, onde garantimos que, no mínimo, um indivíduo é selecionado.
2. Completar a população com indivíduos aleatórios. Para isso, é calculado o número de indivíduos restantes e, com o auxílio do predicado ***random\_select\_rest\_pop/3***, que utiliza ***random\_select/3***, escolhem-se aleatoriamente os restantes indivíduos da população.

Este método de seleção assegura que o melhor indivíduo, considerando a população da geração anterior e a nova, passa para a próxima geração. Adicionalmente, não é puramente elitista, permitindo que o indivíduo com a pior avaliação tenha uma hipótese de passar para a próxima geração.

## > Condições de paragem

O algoritmo genético foi alterado para incluir três condições de paragem: atingir um valor de referência, alcançar um tempo limite definido ou estabilizar a população. Optamos por eliminar a condição de paragem baseada num número limite de gerações, visto que passamos a utilizar o tempo limite. Posto isto, a implementação foi alterada, nomeadamente no predicado **generate\_generation(T, N, G, Pop)**.

Para avaliar se a estabilização da população foi alcançada, utilizamos o predicado **equal\_pop/2**, que avalia se a população da geração anterior é igual à nova população. Se as populações forem iguais, incrementamos o valor do argumento N. Caso contrário, o valor de N é passa a ser 0. Para garantir que o algoritmo pare, quando a estabilização for atingida, alterámos o caso base do predicado, de modo que ele verifique se o número de populações iguais consecutivas (representado por N) atinge o valor definido em **generations/1** (representado por G), que determina quantas populações iguais são necessárias para considerar que a estabilização foi alcançada.

Relativamente ao tempo limite (T), este é avaliado no início do predicado **generate\_generation/4**, antes do processo de geração da nova população. Utilizamos o predicado **evaluate\_time/1** para verificar se o tempo limite já foi ultrapassado.

Por último, o valor de referência é também avaliado no início do predicado **generate\_generation/4**, através de **evaluate\_reference\_value**. Este verifica se o valor do melhor indivíduo, obtido pelo predicado auxiliar **better/4**, é menor ou igual ao valor de referência estabelecido.

## > Adaptação do algoritmo para o escalonamento de cirurgias

Uma das primeiras alterações que fizemos foi a base de conhecimento, onde passámos a lidar com cirurgias (*surgeries*) em vez de tarefas (*tasks*). Neste novo contexto, os indivíduos passaram a representar a ordem de agendamento das cirurgias, o que significa que cada indivíduo contém os *ids* das cirurgias a serem agendadas. Além disso, para manter consistência incorporamos os factos do sprint anterior, garantindo que a lógica e os dados utilizados estejam alinhados com o sprint passado.

Para adaptar o algoritmo ao contexto do escalonamento de cirurgias, modificámos o método de avaliação dos indivíduos da população. Alterámos, assim, o predicado **evaluate/2**, que agora inclui a lógica para o escalonamento das cirurgias, baseada no trabalho realizado no sprint anterior.

O processo de avaliação começa com a inicialização de três predicados auxiliares: **agenda\_staff1/3**, **agenda\_operation\_room1/3** e **availability/3**. Em seguida, o algoritmo prossegue com a avaliação do indivíduo através do predicado **can\_schedule\_surgeries/4**. Este predicado tem a função de verificar se é possível agendar as cirurgias de acordo com a sequência definida pelo indivíduo. Para cada cirurgia, a possibilidade de agendamento é verificada através do predicado **availability\_operation\_changed2/5**. Caso o agendamento seja possível, os predicados auxiliares são atualizados de acordo.

Além disso, o predicado ***can\_schedule\_surgeries/4*** obtém o tempo final da última cirurgia agendada, que é utilizado como o valor de *fitness* associado ao indivíduo avaliado. Se não for possível agendar as cirurgias na sequência definida pelo indivíduo, o seu *fitness* será atribuído ao valor 1441, considerado o pior valor possível.

## Método de atribuição das operações às salas

Para distribuir as operações pelos diferentes blocos de operação, implementámos o predicado ***distribute\_rooms/1***, cujo argumento é o dia em que se pretende agendar as cirurgias.

O processo inicia-se com a preparação dos dados necessários, através do predicado ***assert\_occupied\_times/1*** (o argumento é a lista das salas) que é utilizado para calcular o tempo total de ocupação de cada sala. Para isso, faz-se uso do predicado ***get\_total\_time\_sum\_in\_intervals/3***, que soma os intervalos de tempo em que as salas estão ocupadas, e em seguida, atualiza o predicado dinâmico ***occupied\_time/2***, que mantém as salas e os seus tempos de ocupação correspondentes.

Após esta preparação, o algoritmo avança para a distribuição das operações, utilizando o predicado ***distribute\_operations\_round\_robin1/2***. Este predicado é responsável por distribuir as cirurgias pelas salas de operação disponíveis.

Para cada cirurgia, recorre ao predicado ***attempt\_assign\_to\_rooms/2***, que tenta atribuir a cirurgia a uma sala disponível. Para verificar a viabilidade da distribuição, o predicado usa ***check\_current\_room\_occupancy\_ratio/2*** que calcula o rácio de ocupação da sala. Caso o rácio seja inferior a 0,8, isso indica que a sala pode acomodar a cirurgia. Nesse caso, utiliza-se o predicado ***schedule\_operation\_in\_room/2*** para atualizar a informação no predicado dinâmico ***occupied\_time/2*** e também no predicado ***operation\_assignment/2***, que mantém a associação entre as cirurgias e as salas. Caso o rácio de ocupação seja superior a 0,8, o algoritmo passa para a próxima sala disponível, repetindo o processo até encontrar uma sala adequada ou esgotar as opções.

Se nenhuma das salas disponíveis for capaz de suportar a cirurgia, o sistema devolve uma mensagem de erro, indicando que não foi possível realizar o agendamento.

## Integração do algoritmo genético com o método de atribuição das operações às salas

A última fase do desenvolvimento consistiu na integração do algoritmo genético com o método de atribuição de operações às salas. Para isso, foi necessário realizar algumas modificações na solução existente.

Uma das alterações mais significativas ocorreu no predicado **distribute\_rooms/1**, que passou a utilizar o predicado **schedule\_operations\_in\_rooms/1**. Este recebe como argumento a lista das salas, permitindo que o algoritmo genético seja acionado após a atribuição das operações às salas. Assim, o predicado **schedule\_operations\_in\_rooms/1** tornou-se responsável por agendar as cirurgias atribuídas a cada sala, utilizando o algoritmo genético.

O processo começa com a atualização do predicado dinâmico **room\_in\_scheduling/1**, que permite identificar durante a avaliação dos indivíduos do algoritmo genético para qual sala estão a ser agendadas operações. Em seguida, o predicado obtém a lista de todas as cirurgias atribuídas à sala, utilizando o predicado **findall/3** para obter as cirurgias associadas àquela sala. Caso seja identificada uma sala com menos de duas cirurgias atribuídas, o sistema retorna uma mensagem de erro, pois o algoritmo genético exige que pelo menos duas cirurgias estejam agendadas por sala.

Caso contrário, o predicado dinâmico **surgeries/1** é atualizado, que contém o número de cirurgias a serem agendadas, e o predicado **generate/4** é usado para executar o algoritmo genético. Após a sua execução, os resultados são obtidos através do predicado dinâmico **better/4**, que contém o melhor indivíduo, o valor de *fitness* associado e as agendas do staff e da sala resultantes. Se o *fitness* for diferente de 1441, isso significa que foi possível agendar todas as cirurgias, e as agendas resultantes são apresentadas. Caso contrário, uma mensagem de erro é exibida, indicando que não foi possível agendar todas as cirurgias. Este processo é repetido para todas as salas.

No que diz respeito às modificações realizadas no algoritmo genético, estas focam-se principalmente no tratamento das agendas do staff e das salas. Uma vez que as cirurgias são agendadas para cada sala de forma sequencial, é importante garantir que os dados utilizados na avaliação dos indivíduos sejam atualizados conforme os agendamentos.

Para tal, introduzimos dois novos predicados dinâmicos, **agenda\_staff\_aux/3** e **agenda\_operation\_room\_aux/3**, que substituem **agenda\_staff/3** e **agenda\_operation\_room/3**. Antes de realizar o agendamento, os predicados dinâmicos são atualizados para refletir as informações presentes nos factos, e durante a execução do algoritmo genético, mais especificamente na avaliação dos indivíduos, os predicados auxiliares (*agenda\_staff1/3* e *agenda\_operation\_room1/3*) consultam esses novos predicados.

No final da execução do predicado **generate**, caso o agendamento tenha sido bem-sucedido, os predicados **agenda\_staff\_aux/3** e **agenda\_operation\_room\_aux/3** são novamente atualizados. Assim, com base no predicado **better/4**, obtemos as novas agendas e, através dos predicados **update\_staff\_aux** e **update\_operation\_room\_aux**, asseguramos que as agendas estejam devidamente atualizadas para o próximo ciclo de agendamento de cirurgias.



# Estado da Arte

## Robôs

O desenvolvimento da tecnologia tem-se estendido a várias áreas, incluindo a medicina, onde há um grande foco em criar técnicas e robôs que auxiliem na execução de operações de forma cada vez mais precisa e menos intrusiva.

Ao longo do tempo, os robôs têm sido cada vez mais utilizados na realização de cirurgias, não apenas para desenvolver novas técnicas, mas também para aperfeiçoar as já existentes. Estes avanços têm permitido uma maior precisão nos procedimentos, na redução de riscos para os pacientes e uma recuperação mais rápida, transformando a forma como muitas intervenções médicas são conduzidas.

### > *Endoscopia Tradicional vs. Assistida por Robôs*

Os robôs miniaturizados já foram testados em modelos animais, sendo integrados a ferramentas laparoscópicas, endoscópicas e ao sistema cirúrgico da Vinci. Estes robôs podem ser inseridos diretamente na cavidade abdominal, proporcionando visualização avançada e assistência em tarefas cirúrgicas, sem a necessidade de múltiplas incisões, o que reduz significativamente o trauma cirúrgico [3].

A endoscopia tradicional utiliza um tubo flexível com uma câmara e luz na ponta para visualizar o interior do corpo. No entanto, sua mobilidade é limitada, e a qualidade das imagens depende do ângulo de entrada e da posição fixa do endoscópio. Já os robôs miniaturizados superam essas limitações ao poderem ser posicionados dinamicamente dentro da cavidade peritoneal. Isso permite ao cirurgião obter diferentes perspectivas internas, melhorando a precisão na navegação e execução dos procedimentos [3].

Além disso, os testes demonstraram que estes robôs podem trabalhar em conjunto com sistemas como o da Vinci, complementando as imagens da endoscopia tradicional e melhorando a profundidade de visão e flexibilidade durante a cirurgia [3].

A principal vantagem desse sistema é a redução do número de incisões, o que minimiza o impacto cirúrgico e acelera a recuperação do paciente [3].

### > *Tube Robots em cirurgias menos invasivas*

Todos os anos são realizadas diversas cirurgias que obrigam percorrer caminhos complexos, muitos deles que são curvos, de modo a ser possível alcançar o local alvo, sendo usados normalmente instrumentos como agulhas flexíveis ou cateteres. No entanto, estes instrumentos apresentam algumas limitações, o que dificulta o seu uso em todas as cirurgias [4].

De modo a combater estas limitações, foram desenvolvidos os *concentric tube robots*, que apresentam diâmetro semelhante às agulhas e cateteres, no entanto estes tubos metálicos são superelásticos e tem um formato curvo, mais rígido, o que permite ter uma maior rigidez [4].

Ao longo do desenvolvimento destes robôs, foram tidos em conta fatores importantes como o facto de que as secções telescópicas terem de ser mais rígidas que as ditais, cada secção necessitar de ter uma curvatura constante e que cada secção telescópica poder ter uma curvatura fixa ou variável. Para além disso, quando se recorre ao uso destes tubos é necessário recorrer ao uso da imagiologia, através de ultrassom [4].

Esta tecnologia representa uma inovação promissora para as cirurgias menos invasivas, visto combater as falhas existentes em alguns dos instrumentos utilizados atualmente, mas ainda é necessário continuar a testar esta ferramenta, com o objetivo de conseguir o melhor uso da mesma [4].

### **> Assistência de robôs em Cirurgias Oftálmicas**

Sistemas robóticos foram concebidos para melhorar a precisão em procedimentos delicados, como o tratamento de Oclusão da Veia Retiniana. O robô utiliza um mecanismo inovador para reduzir tremores e aumentar a estabilidade. É leve, portátil e compatível com ferramentas cirúrgicas existentes, integrando-se facilmente no ambiente do bloco operatório [7].

Montado na testa do paciente, elimina problemas de movimento do paciente, tremores do cirurgião, e vibrações no espaço de trabalho, oferecendo maior controle e segurança para os cirurgiões [7].

### **> Uso de Robôs em Cirurgias Ortopédicas**

As cirurgias ortopédicas são cirurgias que exigem uma elevada precisão de modo que a fixação interna seja a melhor possível, o que afeta diretamente o sucesso do procedimento. Existem técnicas para inserir os parafusos manualmente, embora estas não tenham uma precisão elevada o que pode levar a resultados não desejados. Com o avanço da tecnologia e o uso de raios-X e de TAC, foi se tornando possível um melhor planejamento do caminho aos locais cirúrgicos, no entanto ainda existem impasses [8].

Para aumentar a precisão dos procedimentos e ajudar na realização dos mesmos, foi realizado um estudo, aonde se desenvolveu um robô a ser usado neste tipo de cirurgias, com o objetivo de gerir o posicionamento e a postura dos cirurgiões para serem definidas os melhores acessos para a cirurgia. O robô ainda vai posicionar o dispositivo a ser utilizado para o melhor local e mantém-no estável, auxiliando os cirurgiões a realizar os procedimentos [8].

Este robô é constituído por um braço robótico que pode ser ajustado para funcionar para todos os tipos de cirurgias ortopédicas, o que o torna extremamente importante e flexível [8].

Atualmente, o robô já está a ser usado em diversas operações e tem demonstrado uma melhor precisão e eficácia em cirurgias ortopédicas, mostrando um grande avanço realizado nesta área [8].

Assim, estes robôs mostram ser uma solução para melhorar a precisão e o sucesso das cirurgias ortopédicas, evitando erros que possam ocorrer devido a falhas humanas.

## **Visão por computador**

A visão por computador tem evoluído rapidamente, tornando-se numa ferramenta com grande potencial para melhorar significativamente a segurança e precisão das cirurgias, enquanto reduz a sua invasividade. A utilização de tecnologias de visão por computador permite a análise de imagens em tempo real, permitindo uma melhor visualização e uma eficaz navegação durante os procedimentos cirúrgicos [1]. A seguir, serão apresentados alguns exemplos de aplicações desta tecnologia.

## > **Cirurgia Guiada Por Imagem**

A cirurgia guiada por imagem usa tecnologias de visão por computador para ajudar os cirurgiões a visualizar as estruturas internas do corpo e a forma como estão posicionadas umas em relação às outras.

Através de imagens médicas, como tomografias e ressonâncias magnéticas, é criado um modelo 3D do paciente, que depois é alinhado com a posição do paciente na mesa de operações. Durante a cirurgia, os instrumentos cirúrgicos são monitorizados em relação ao paciente e ao modelo, o que ajuda a evitar danos a estruturas críticas ou escondidas [2].

Para tal, são usados algoritmos avançados nas etapas do processo, incluindo o registo de imagens, que permite alinhar diferentes conjuntos de dados; a segmentação que identifica as estruturas anatómicas específicos; e o rastreamento que monitoriza a posição dos instrumentos cirúrgicos [2].

No entanto, o desenvolvimento deste tipo de sistemas continua a ser um desafio devido à necessidade de garantir uma elevada precisão, tempos de processamento rápidos e uma integração eficaz com os outros equipamentos médicos. Em adição, a adaptação desta tecnologia a diferentes tipos de cirurgia exige um grande esforço.

## > **Visão Por Computador na Análise e Avaliação de Técnicas de Suturas em Cirurgias Robóticas**

Um estudo sobre a criação, adaptação e habilidades de um sistema médico com ajuda de algoritmos e visão computacional que identifica quando suturas são feitas em cirurgias e também as identifica [5].

O facto de a boa performance de cirurgias em pacientes estar ligada às suturas feitas nestes é reconhecido por toda a comunidade científica, e por isso, o objetivo do estudo é tentar criar uma maneira de analisar de forma escalável a técnica e uso por parte dos cirurgiões de vários tipos de suturas. O estudo foi feito em pequena escala começando com apenas um tipo de cirurgia, a anastomose uretrovesical durante a prostatectomia radical assistida por robô [5].

Este projeto foi feito baseando-se em um projeto anterior pelos mesmos autores que também identificava suturas. Os autores quiseram expandir a ideia e capacidade do projeto de modo a conseguir chegar ao resultado anteriormente referido [5].

Graças a duas bases de dados, uma com *clips* de cirurgias, cerca de 50% de suturas e o resto de “não-suturas” (identificação de ação), e uma outra base de dados com cliques de 5 diferentes tipos de suturas utilizadas em cirurgia (classificação de sutura) um modelo IA for treinado para identificar quando uma sutura é feita e qual tipo é.

Este processo é explicado pela seguinte lista de eventos:

- I. **Pré-processamento:** os *pixéis* RGB são passados pela *two-stream neural network* treinada para estimar o fluxo óptico. O fluxo óptico é codificado em RGB e concatenado com os *pixéis* originais [5].
- II. **Extração de recursos:** Dois extratores de recursos são treinados (um para RGB e outro para fluxo óptico), treinados no **ImageNet** [5].
- III. **Classificação:** Os recursos concatenados são passados por uma camada de classificação recorrente (**LSTM ou LSTM convolucional**) para prever a presença ou tipo de gesto [5].

## **> Análise de Habilidade e Eficiência em Técnicas de Cirurgia**

Tendo referido anteriormente, também existem trabalhos que tentaram avançar com a ideia de uma análise de proficiência em cirurgia baseado em vídeos de forma a encontrar e classificar um cirurgião de forma a melhorar as capacidades deste no futuro.

Este tipo de tecnologia baseia-se nos mesmo princípios mencionados pelo projeto anterior, também utilizando vários profissionais na área e técnicas de avaliação já implementadas no setor da medicina (*GEARS Assessment Tool*). Este tipo de estudos e avanços tem uma notável chance de sucesso [6]:

*“Neste estudo, as medidas de proficiência técnica extraídas de algoritmos de IA correlacionam-se com aquelas fornecidas por cirurgiões especialistas. Embora tenhamos como objetivo medições de eficiência e destreza bimanual, este trabalho sugere que a inteligência artificial através da visão computacional é uma promessa para padronizar de forma eficiente a classificação da técnica cirúrgica, o que pode ajudar no treinamento de habilidades cirúrgicas.” [6]*

## Conclusões

O desenvolvimento do algoritmo genético permitiu perceber que, para abordar problemas com grande complexidade, este tipo de abordagem são ideais. O uso de técnicas de crossover e mutação demonstrou ser fundamental para obter soluções de qualidade num intervalo de tempo aceitável.

O estado da arte permitiu compreender os avanços significativos no âmbito das cirurgias assistidas por tecnologia. Verificamos que a integração de robôs e visão por computador constitui uma mais-valia, ao contribuir para a redução da invasividade e o aumento da precisão cirúrgica. No entanto, reconhecemos que ainda existem muitos desafios, nomeadamente a necessidade de tempos de processamento mais rápidos e a garantia de elevados níveis de precisão.

## Referências

- [1] Mascagni, P., Alapatt, D., Sestini, L., Altieri, M. S., Madani, A., Watanabe, Y., ... & Hashimoto, D. A. (2022). Computer vision in surgery: from potential to clinical value. *npj Digital Medicine*, 5(1), 163.
- [2] Grimson, W. E. L., Leventon, M. E., Faugeras, O. D., Wells, W., Mirmehdi, M., & Thomas, B. (2000, September). Computer Vision Methods for Image Guided Surgery. In *BMVC* (pp. 1-12).
- [3] Lehman, A. C., Berg, K. A., Dumpert, J., Wood, N. A., Visty, A. Q., Rentschler, M. E., ... & Oleynikov, D. (2008). Surgery with cooperative robots. *Computer Aided Surgery*, 13(2), 95-105.
- [4] Dupont, P., Gosline, A., Vasilyev, N., Lock, J., Butler, E., Folk, C., ... & del Nido, P. (2012, January). Concentric tube robots for minimally invasive surgery. In *hamlyn symposium on medical robotics* (Vol. 7, p. 8).
- [5] Luongo, F., Hakim, R., Nguyen, J. H., Anandkumar, A., & Hung, A. J. (2021). Deep learning-based computer vision to recognize and classify suturing gestures in robot-assisted surgery. *Surgery*, 169(5), 1240-1244.
- [6] Yang, J. H., Goodman, E. D., Dawes, A. J., Gahagan, J. V., Esquivel, M. M., Liebert, C. A., ... & Gurland, B. H. (2023). Using AI and computer vision to analyze technical proficiency in robotic surgery. *Surgical Endoscopy*, 37(4), 3010-3017.
- [7] Nasser, M. A., Eder, M., Nair, S., Dean, E. C., Maier, M., Zapp, D., ... & Knoll, A. (2013, July). The introduction of a new robot for assistance in ophthalmic surgery. In *2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 5682-5685). IEEE.
- [8] Fan, M., Zhang, Q., Fang, Y., & Tian, W. (2023). Robotic solution for orthopedic surgery. *Chinese Medical Journal*, 136(12), 1387-1389.

# Anexos

## Como executar a solução

Optámos por submeter três ficheiros, cada um correspondente a uma *user story*, com um terceiro ficheiro que integra as duas funcionalidades. Para executar cada parte da solução, é necessário proceder da seguinte forma:

- **us-7.3.1-room-distribution.pl**  
Este ficheiro contém a implementação do algoritmo desenvolvido para a atribuição de cirurgias às salas de operação.  
Para executar a funcionalidade, deve-se utilizar: *distribute\_rooms(20241028)*.
- **us-7.3.2-genetic.pl**  
Este ficheiro contém a implementação do algoritmo genético, adaptado para o contexto de escalonamento de cirurgias.  
Para executar a funcionalidade, deve-se utilizar o comando: *generate*.
- **us-7.3.1+7.3.2.pl**  
Este ficheiro contém a integração do algoritmo genético com o método de atribuição das operações às salas.  
Para executar a funcionalidade, deve-se utilizar o comando:  
*distribute\_rooms(20241028)*.