



# Ship Conquest

48361, Francisco Barreiras, A48361@alunos.isel.pt  
48362, Tomás Carvalho, A48362@alunos.isel.pt

Orientador: Engenheiro Paulo Pereira, paulo.pereira@isel.pt

Relatório do projeto realizado no âmbito de Projecto e Seminário  
Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores

Julho de 2023



# INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

## Ship Conquest

48361 Francisco Cortes Castel'Branco Barreiras

---

48362 Tomás Rua de Carvalho

---

Orientador Engenheiro Paulo Pereira

---

Relatório do projeto realizado no âmbito de Projecto e Seminário  
Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores

Julho de 2023



---

# Resumo

A indústria dos jogos é uma das mais relevantes e em maior crescimento no campo do entretenimento nos dias de hoje. Sendo um dos objetivos deste trabalho publicar o resultado final obtido para demonstrar as nossas capacidades, o projeto foi centrado em torno de um jogo composto por uma componente de aplicação cliente e uma componente de servidor. O projeto consiste num jogo de exploração multijogador de estratégia em tempo real (RTS), onde cada jogador controla uma frota de navios e com estes pode explorar o mundo, lutando contra adversários e conquistando novas ilhas. O sistema do projeto integra uma aplicação cliente designada para dispositivos móveis *Android* e *iOS*, e uma aplicação back-end hospedado pelo serviço Google.

Neste projeto foram enfrentados diversos desafios, tanto a nível de desenvolvimento do produto, de gestão de tempo como também a nível de possíveis custos pela aplicação servidor quando estiver hospedada.

Foram trabalhados diversos conceitos técnicos, nomeadamente *Procedural Generation* e Algoritmos pseudo aleatórios de ruído como o *Perlin Noise* e o *Simplex Noise* para a geração dos mundos, funções de interpolação como as *Bézier Curves*, para a representação dos caminhos percorridos e algoritmos de pesquisa como o *A\** para encontrar caminhos entre pontos.

Com a conclusão deste trabalho é possível demonstrar as competências técnicas, conhecimento e pensamento crítico dos autores deste trabalho, desenho e planeamento, assim como justificar e documentar as soluções escolhidas em comparação com as demais para os problemas encontrados. Devido à pequena janela temporal de desenvolvimento de projeto, alguns aspectos fora do foco atual do projeto mas ainda relevantes não tiveram a atenção desejada inicialmente como o equilíbrio do jogo e algumas funcionalidades opcionais.

**Palavras-chave:** jogo; cliente; servidor; RTS; multijogador; navios; Android; iOS; Google; Procedural Generation; Simplex Noise; Bézier Curves; A\*.



---

# Abstract

The game industry is one of the most relevant and presents one of the biggest growth rates among the entertainment business these days.

Considering one of the objectives of this project was publishing and deploying the final result to evidence the creators' capabilities as Software developers, this project is centered around a game built upon a client app and a server component. \*- The project consists of a multiplayer exploration RTS game (Real Time Strategy Game), where each player controls a fleet to explore the world, fight enemies and conquer islands.

The project's system integrates a client application designed for mobile devices running on *Android*, and a back-end app hosted by the *Google Cloud Platform*.

It was opted to choose the Flutter framework to build the client application due to its cross-platform functionalities, it also provides a good development experience, competence for complex graphical interfaces and relevance in the current job market. The Spring framework was chosen for the back-end due to its quick configuration process, development experience and a rich ecosystem of tools to implement and deploy a Web application.

In this project, several tough challenges were faced, both in terms of product development, time management and also in terms of possible hosting and deploying costs for the server application.

Several technical concepts were worked on, namely *Procedural Generation* and pseudo-random noise algorithms such as *Perlin Noise* and *Simplex Noise* for the generation of the game's worlds, interpolation functions such as *Bézier Curves*, to represent the paths taken by the ships and search algorithms such as *A\** to find paths between points.

With the conclusion of this work it is possible to demonstrate the technical skills, the acquired knowledge and critical thinking by the authors of this project, design and planning, as well as ability to justify and document the chosen solutions in comparison with some already existing solutions for the faced problems. Due to the small time window given to develop the project, some aspects outside of the current focus of the project, although still relevant, did not receive the attention initially desired, such as balancing the game and some optional features.

**Keywords:** game; client; server; RTS; multiplayer; ships; Android; iOS; Google; Procedural Generation; Simplex Noise; Bézier Curves; A\*.



---

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	1
1.3	Ideia . . . . .	2
1.4	Requisitos . . . . .	4
1.4.1	Requisitos essenciais . . . . .	4
1.4.2	Requisitos opcionais . . . . .	4
1.5	Arquitetura . . . . .	5
1.5.1	Tecnologias . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Abordagem</b>	<b>7</b>
2.1	Geração do mundo . . . . .	7
2.1.1	Como? . . . . .	8
2.1.2	Desafios . . . . .	8
2.1.3	A Nossa Abordagem . . . . .	8
2.1.4	Propriedades Tecnológicas . . . . .	10
2.2	Renderização . . . . .	11
2.2.1	A Nossa Visão . . . . .	11
2.2.2	A Nossa Abordagem . . . . .	11
2.2.3	Desafios . . . . .	14
2.2.4	Propriedades Tecnológicas . . . . .	14
2.3	O Movimento Dos Navios . . . . .	15
2.3.1	Movimento Em Jogos Multijogador . . . . .	15
2.3.2	A Nossa Visão . . . . .	16
2.3.3	A Nossa Solução: Curvas De Bézier . . . . .	16
2.3.4	Obstáculos . . . . .	17
2.4	A Criação dos Caminhos . . . . .	20
2.4.1	Como? . . . . .	20
2.4.2	Requisitos e Abordagem . . . . .	20

2.4.3	Desafios . . . . .	22
2.5	Eventos . . . . .	23
2.5.1	Como? . . . . .	23
2.5.2	Desafios . . . . .	23
2.5.3	A Nossa Abordagem . . . . .	24
2.6	Histórico dos pontos visitados . . . . .	28
2.6.1	Como? . . . . .	28
2.6.2	A Nossa Abordagem . . . . .	28
2.6.3	Desafios . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Desenho Do Sistema</b>	<b>31</b>
3.1	Aplicação Cliente . . . . .	31
3.2	Aplicação Servidor . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Conclusão</b>	<b>35</b>
4.1	Considerações . . . . .	35
4.2	Dificuldades . . . . .	36
4.3	Trabalho Futuro . . . . .	37

---

# Listas de Figuras

1.1	Aquitetura do sistema . . . . .	5
2.1	Ilustração do algoritmo Perlin Noise . . . . .	8
2.2	Exemplo de um conjunto de ilhas em pontos aleatórios . . . . .	9
2.3	Resultado gerado pelo algoritmo Simplex Noise . . . . .	9
2.4	Exemplo de uma textura de Falloff gerada . . . . .	10
2.5	Resultado da transformação aplicada ao terreno . . . . .	10
2.6	Perspetiva ortogonal vs perspetiva isométrica . . . . .	11
2.7	Exemplo aplicado da perspetiva isométrica . . . . .	12
2.8	Node ColorRamp do Blender . . . . .	13
2.9	O nosso gradiente de cores . . . . .	14
2.10	Ilustração de um navio . . . . .	15
2.11	Tipos de movimento . . . . .	16
2.12	Ilustração de uma Curva de Bézier cúbica . . . . .	16
2.13	Exemplo de um caminho complexo . . . . .	18
2.14	Exemplo do resultado do algoritmo de procura . . . . .	21
2.15	Ilustração da simplificação da Curva de Bézier . . . . .	25
2.16	Exemplo de uma amostra de pontos da interseção . . . . .	25
2.17	Ilustração dos planos de colisão construídos para a Curva de Bézier . . . . .	26
2.18	Exemplo entre a interseção de dois caminhos . . . . .	27
2.19	Mini mapa com os caminhos recortados . . . . .	29
2.20	Mini mapa sem tratamento do comprimento dos caminhos . . . . .	29
3.1	Desenho da estrutura da aplicação cliente . . . . .	31
3.2	Desenho da organização dos <i>Controllers</i> . . . . .	32
3.3	Componentes e fluxo do servidor. . . . .	33



# Capítulo 1

---

## Introdução

### 1.1 Motivação

Antes de falar sobre a ideia em concreto do trabalho desenvolvido, é importante explicar a motivação e valores que levaram à sua construção, como também é relevante para compreender muitas das decisões tomadas ao longo do seu desenvolvimento.

Foi construída a motivação e valores para este projeto com base nos seguintes factores:

- Considerar uma dimensão adequada para desenvolver um projeto sólido, com a documentação apropriada e um relatório sucinto que descreva competentemente o concretizado.
- Tentar condensar a grande maioria dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso da licenciatura neste projeto, visto que é importante que este trabalho represente as competências adquiridas.
- Aprender novos conceitos e "pisar território ainda inexplorado" como tem sido feito ao longo do percurso académico. É também importante trazer conteúdo novo a este trabalho para o destacar e para aprofundar o conhecimento em novas áreas.

### 1.2 Objetivos

Em relação aos objetivos e pontos principais a alcançar com este projeto são destacados os seguintes:

- Ter uma componente gráfica que ofereça uma experiência visual fluida que tenha uma estética e atmosfera própria assim como responsive às ações do utilizador.
- Utilizar um conjunto de tecnologias e *frameworks* que sejam de interesse continuar a usar, visto que é reconhecida a influência que este projeto pode ter no portefólio e por consequência numa futura carreira profissional.

- Hospedar o trabalho para que possa ser utilizado e desfrutado por um público mais amplo. O deploy bem-sucedido deste trabalho permite não apenas demonstrar as competências técnicas, como também a experiência valiosa adquirida durante o ciclo de vida completo de um projeto.
- Desenvolver um projeto que represente um produto final de entretenimento atrativo e distintivo que se revista de interesse para os consumidores.

### 1.3 Ideia

De forma a encontrar uma ideia de projeto competente, foram tidos em conta alguns aspectos relevantes que serão abordados nos seguintes parágrafos.

Considerando que se pretende distribuir a aplicação pelas típicas lojas digitais e utilizar este projeto como uma peça relevante no portefólio foi tido também em conta a relevância do mesmo para o mercado de trabalho.

A indústria dos jogos está em crescimento e é uma das maiores vertentes no que toca ao desenvolvimento de *Software* nos dias de hoje [21]. Ao mesmo tempo optou-se por não se utilizar um *game engine* de modo a não fechar portas a outras oportunidades fora deste mundo.

De forma a aliar estes objetivos, optou-se por desenvolver a aplicação cliente desta ideia em Flutter[9] devido à sua funcionalidade multiplataforma, boa experiência de desenvolvimento com documentação e ferramentas para debug mais avançadas que a concorrência, competência para interfaces gráficas complexas e relevância no mercado de trabalho. A aplicação servidor foi desenvolvida com a *framework* Spring[20] e a linguagem Kotlin, devido à possibilidade de o programador se abstrair de alguns detalhes de implementação do servidor e do código de infraestrutura. Ao mesmo tempo, considerou-se ser uma ideia que representa bem desenvolvimento dos criadores como engenheiros ao longo do curso, relacionando-se até com os projetos que se têm vindo a desenvolver no âmbito de outras unidades curriculares, que costumam também ser jogos. Deste modo conseguiu adicionar-se camadas de complexidade ao anteriormente aprendido.

Outro aspeto relevante da programação de jogos é a necessidade de encontrar soluções para diversos desafios técnicos envolvendo também alguma criatividade e que tenham em conta o desempenho da aplicação, o aspetto e a experiência de utilizador.

Tendo em conta estes aspetos procede-se agora à explicação da ideia, um jogo multijogador de estratégia em tempo real[6], no qual cada jogador controla um ou mais barcos e tem como objetivo conquistar ilhas ao redor do mapa. O objetivo ao longo do jogo é conquistar o maior número de ilhas possível pelo mapa uma vez que as mesmas são a principal fonte de rendimento dos jogadores. As ilhas conquistadas são uma fonte de rendimento passivo, ou seja, quem a conquistou recebe dinheiro de forma proporcional ao tempo passado na ilha até um máximo definido para incentivar a exploração. Estas ilhas podem, posteriormente, ser conquistadas por outros jogadores.

Este dinheiro serve para comprar mais barcos de forma a impulsionar a expansão do domínio do território do mapa. Através deste sistema quis-se criar um ambiente e um fluxo de jogo que mantenha o utilizador interessado na exploração e na dominação do jogo em que se encontra, ao invés de estabelecer um objetivo fixo de vitória que leva inevitavelmente ao desinteresse.

Existe também um sistema de lutas entre navios. Quando um navio é enviado para procurar novas ilhas, é possível que este se cruze com navios de outros jogadores pelo caminho, o que provoca uma luta entre os mesmos.

O jogo funciona com um sistema de salas, nas quais o utilizador pode escolher entrar em uma já existente ou criar uma nova. É também possível um utilizador manter progresso em mais do que uma sala em simultâneo.

No servidor, os dados da transformação dos barcos e dos blocos têm uma perspetiva universal, estes dados são compostos pelo tamanho e coordenadas destas entidades.

Para a interface de cliente decidiu-se utilizar perspetiva isométrica alterando a transformação do servidor, desta maneira é possível oferecer ao utilizador uma sensação de 3D sem incorrer na complexidade de renderização e de desenvolvimento de 3D. Desta maneira conseguiu-se cumprir um dos objetivos estabelecidos, nomeadamente ter uma componente gráfica forte, rápida, responsiva e atrativa.

## 1.4 Requisitos

É importante notar que durante o desenvolvimento destes requisitos, foi seguido a técnica *Slice-Based development*[17]. Nesta abordagem foram divididas as várias tarefas em pequenas "fatias" menores e iterativas, onde cada "fatia" representa uma ou mais funcionalidades que podem ser implementadas de forma independente. Este método tem a vantagem de dar uma melhor perspetiva do estado do trabalho, visto que, não se foca num só componente do desenvolvimento do ínicio ao fim, mas sim em várias fatias dos componentes e de como estes se relacionam.

### 1.4.1 Requisitos essenciais

- Conceção e implementação dos visuais básicos do jogo da aplicação cliente. É fundamental que esta seja capaz de representar os blocos do mapa na perspectiva 2.5D com uma boa performance.
- Criação de uma *RESTful API* para persistir e manipular os recursos do servidor, como também desenvolver a lógica da aplicação como a geração do mundo, os lobbies, e as várias ações do cliente, além de implementar *Server-Sent Events*[18].
- Desenvolvimento de uma aplicação cliente para dispositivos *mobile* com a *Framework Flutter* para representar o estado do jogo e interagir com o servidor, assim como a conceção e realização dos menus e das diversas funcionalidades.
- Planeamento e implementação de um sistema de eventos gerados por ações do jogador; Estes permitem observar os estados passados do jogo como também os estados futuros. Uma das utilidades deste sistema é permitir agendar notificações e ações na aplicação cliente o que torna obsoleto o uso de *scheduling* no servidor.

### 1.4.2 Requisitos opcionais

- Extender a implementação básica do combate, implementar exércitos para popular os barcos e aumentar o componente de estratégia e risco do jogo atual.
- Melhorar a experiência de utilizador com componentes como efeitos visuais e um tutorial. Para melhor introduzir os jogadores aos conceitos principais do jogo e oferecer uma experiência mais *user friendly*.

## 1.5 Arquitetura

Neste capítulo é apresentado uma breve descrição dos módulos e características do sistema que permitem atingir os objetivos previamente apresentados.

O sistema é composto por duas componentes: A aplicação cliente e a aplicação servidor.

A aplicação cliente é a interface que permite ao utilizador interagir com o sistema e por esse motivo foi necessário ter um maior cuidado com a apresentação e responsividade do mesmo.

O servidor é o módulo que serve como fonte de verdade e onde a aplicação cliente obtém os dados que necessita. Como para qualquer servidor com recursos privados, existe também uma componente de autenticação utilizando *OAuth* com o serviço da *Google*, no entanto, este não é o foco do projeto e não será abordado. Foi implementado apenas com vista ao controlo de identidade dos jogadores.

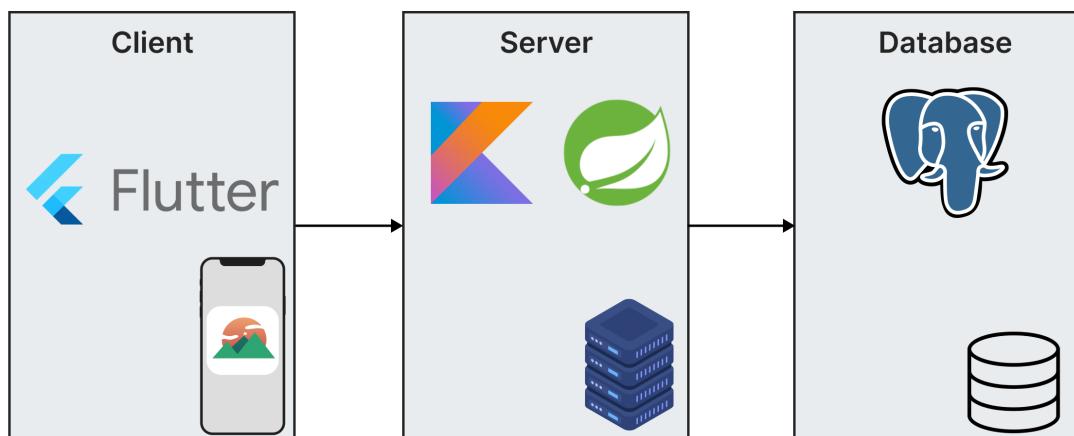


Figura 1.1: Arquitetura do sistema

Na figura 1.1 é apresentado um esquema representativo da arquitetura do sistema, apresentando também as tecnologias utilizadas em cada módulo.

### 1.5.1 Tecnologias

#### Cliente

Para o desenvolvimento da aplicação cliente escolheu-se a *Framework Flutter* devido á sua funcionalidade multiplataforma, que permite manter a mesma base de código para uma aplicação *Android* e uma *iOS*. Outro aspeto na escolha da *Framework* a usar foi a qualidade da documentação encontrada na *internet*, assim como a experiência de desenvolvimento oferecida, ambos fortes do *Flutter*.

O último ponto relevante para a escolha foi a sua competência para interfaces complexas e animações. Inicialmente e aquando da escolha da *Framework* foram testadas outras para ser possível tomar uma decisão informada. Chegou-se à conclusão que com *Flutter* foi possível rapidamente realizar várias implementações dos visuais desejados com uma performance superior às implementações encontradas em outras *Frameworks*. Os testes às outras frameworks foram feitos previamente ao início de desenvolvimento do corrente projeto, sabendo que existe a possibilidade de os testes não terem a melhor implementação possível, influenciando os resultados. No entanto, foi necessário ter em conta o tempo de desenvolvimento necessário em relação ao resultado obtido.

#### Servidor

No servidor decidiu-se manter um stack tecnológico conhecido, nomeadamente a *framework Spring*, em *Kotlin* e com base de dados *PostgreSQL* e que, falando da *framework*, permite ao programador abstrair-se de alguns detalhes de implementação do servidor e do código de infraestrutura, "passando a responsabilidade" para a *framework*. Exemplos desta abstração criada são a injeção de dependências e a definição de camadas do servidor, definidas por anotações.

# Capítulo 2

---

## Abordagem

Durante o desenvolvimento deste projeto foi encontrado um conjunto de problemas e conceitos novos que tiveram de ser pesquisados e resolvidos. Estes tópicos serão apresentados num formato mais teórico destacando a visão e abordagem escolhida, assim como os desafios ligados a estes conceitos e como estes foram resolvidos.

### 2.1 Geração do mundo

Um dos elementos mais importantes de um jogo de exploração é o mundo a ser explorado. É fundamental que este seja interessante para manter o interesse dos jogadores e único para permitir "*replayability*" infinita.

Criar um mundo interessante e único é um desafio, seja por meios manuais com uma equipa de *level designers* ou por meios automáticos como o uso de uma combinação de algoritmos com elementos de aleatoriedade.

Optou-se pela utilização de meios automáticos, visto que, o projeto não foi desenvolvido por *level designers* mas sim programadores. *Procedural Generation*[19] é um assunto que se mostra interessante em explorar dado as suas vantagens, que são o controlo dinâmico sobre os possíveis aspetos das ilhas, que dá a possibilidade de observar as alterações feitas no mundo inteiro instantaneamente, assim como as infinitas variações possíveis do mundo.

### 2.1.1 Como?

Uma das técnicas mais populares para gerar mundos é o uso de algoritmos como o *Perlin Noise*[11], que geram um campo de valores aleatórios que são interpolados suavemente entre si. No contexto deste trabalho, estes valores podem ser interpretados como a altura do terreno, como pode ser observado na figura seguinte.

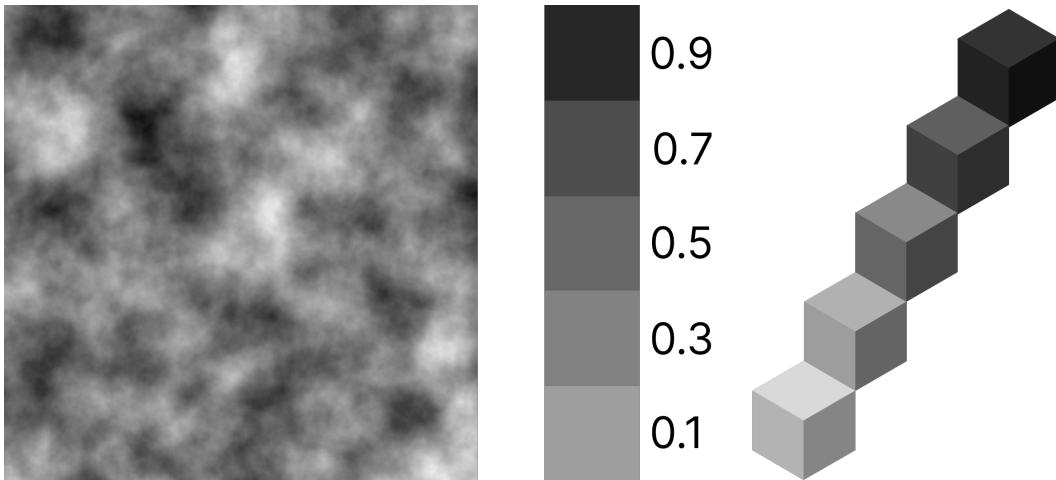


Figura 2.1: Ilustração do algoritmo Perlin Noise

Estas bases permitem a criação de terrenos simples onde facilmente se pode adicionar técnicas por cima para criar todo o tipo de terrenos. Desde aplicar várias camadas de *Perlin Noise* com tamanhos diferentes para aumentar os detalhes e variações do terreno, como simular efeitos reais como a erosão no terreno base.

### 2.1.2 Desafios

Um dos desafios em gerar mundos aleatórios de forma automática é obter consistentemente os resultados esperados, isto pois, quanto maior a dependência de algoritmos aleatórios para gerar um terreno, menos controlo se tem sobre o mesmo. Para além disso, existe também a possibilidade de anomalias como repetições e características não naturais nos terrenos.

### 2.1.3 A Nossa Abordagem

A visão do mundo a criar é um conjunto de ilhas em locais aleatórios, onde cada ilha tem um formato simples, mas distinto e único, composta por praias, planícies e montanhas.

Para isto, é fundamental o uso de mais técnicas para manipular os algoritmos aleatórios a produzirem os resultados esperados.

Descrevendo a abordagem escolhida para a geração do mundo, esta começa com:

1. Escolher pontos aleatórios com uma distância segura no mapa onde serão criadas as ilhas;

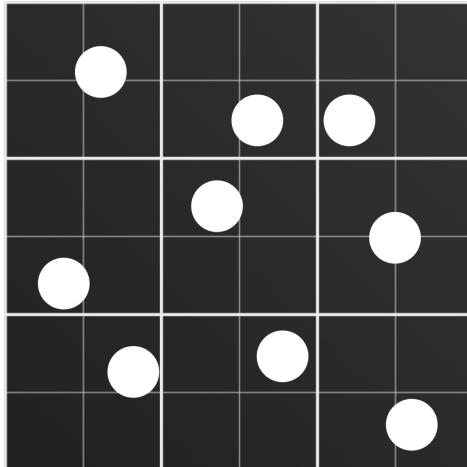


Figura 2.2: Exemplo de um conjunto de ilhas em pontos aleatórios

2. De seguida para cada ilha, escolheu-se utilizar o algoritmo *Simplex Noise*[7] que é uma variante do algoritmo *Perlin Noise*. Este algoritmo gera um conjunto de valores aleatórios que vamos utilizar como o terreno da ilha;

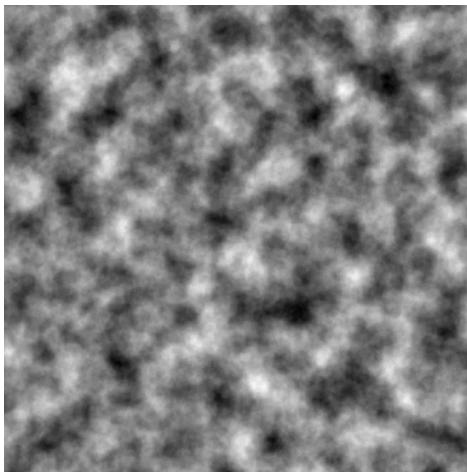


Figura 2.3: Resultado gerado pelo algoritmo Simplex Noise

Esta escolha foi tomada devido às suas vantagens, visto que este é uma versão aprimorada do *Perlin Noise* que é mais eficiente e gera resultados menos distorcidos a calcular os valores de ruído através da técnica *Simplex*.

- No final para cada terreno é aplicado uma transformação designada de Falloff. Esta transformação vai suavizar e reduzir a altura das bordas, garantindo assim que o terreno se conecta ao nível do mar, formando ilhas.

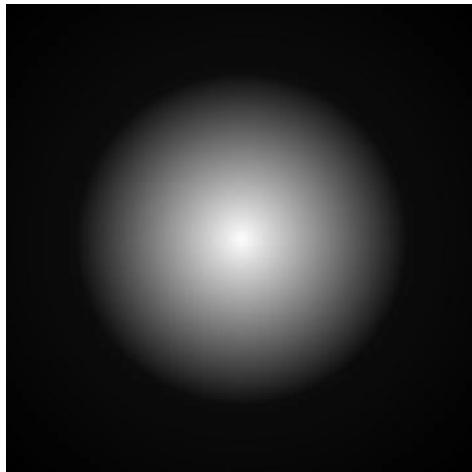


Figura 2.4: Exemplo de uma textura de Falloff gerada

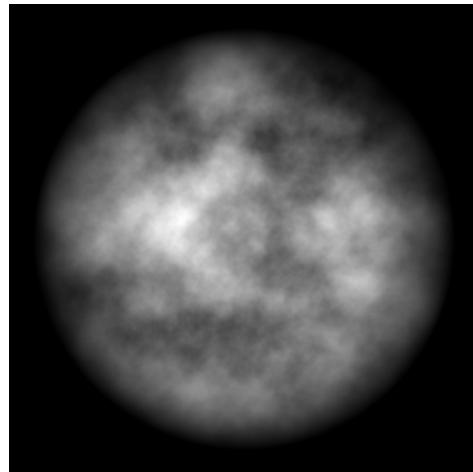


Figura 2.5: Resultado da transformação aplicada ao terreno

Como se pode observar na figura 2.4, foram gerados valores de 0 a 1, onde 0 é preto e branco é 1. A transformação consiste em multiplicar os valores do Falloff com os valores do terreno. O resultado pode ser observado na figura 2.5, interpretando os pixels a preto como o mar, pode observar-se como as bordas do terreno da ilha ficaram conectados ao nível do mar como é esperado de uma ilha.

#### 2.1.4 Propriedades Tecnológicas

##### Privacidade

Os dados dos mundos criados são calculados na aplicação servidora. Desta forma os dados dos mundos são mantidos privados dos utilizadores. Alguns destes dados ficam disponíveis quando um navio do utilizador entra em contacto com os dados em questão.

##### Armazenamento

Outra propriedade importante dos mundos gerados é a forma como estes são armazenados no servidor. Apenas sendo guardados os dados do mapa com altura maior que zero, visto que, os restantes *voxels* são informação redundante pois têm todos a mesma altura, 0.

## 2.2 Renderização

De forma a manter uma interface visual apelativa assim como reduzir ao máximo as suas implicações na performance mostrou-se necessário procurar formas atuais e relevantes de renderizar os componentes da *UI*.

### 2.2.1 A Nossa Visão

Os visuais em mente para a aplicação cliente são uma interface gráfica atraente e responsiva, em específico os visuais do jogo são compostos por *voxels* em perspectiva 3D. O nome *Voxel*[15] tem origem na combinação de um pixel dentro de um volume (*Volumetric pixel*), este é um valor definido dentro de um volume como uma grelha tridimensional.

São desenhados num *Canvas* apenas os *voxels* que estão ao redor do navio atual selecionado. Este *Canvas* é interagível e permite dar Zoom In/Out e Drag para arrastar a câmara e observar o redor.

### 2.2.2 A Nossa Abordagem

A perspetiva isométrica[12] é um sistema de representação gráfica que permite representar objetos tridimensionais em duas dimensões, através de uma projeção paralela e ângulos fixos para criar a ilusão de profundidade e volume. Ao contrário de outras perspetivas, que usam pontos de fuga e linhas convergentes para criar a ilusão de profundidade, a perspetiva isométrica usa ângulos iguais de 120 graus para todas as três dimensões: altura, largura e profundidade.

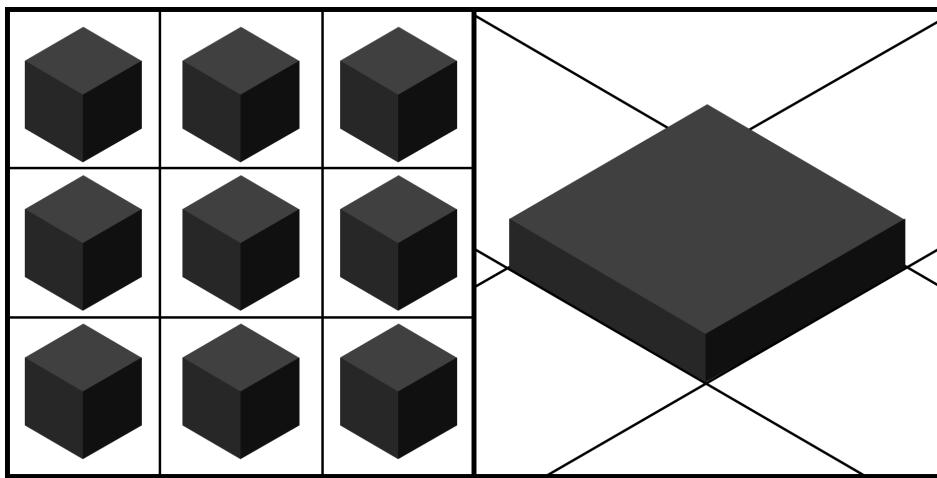


Figura 2.6: Perspetiva ortogonal vs perspetiva isométrica

De forma a representar uma matriz simples em perspetiva isométrica, como observado na figura anterior, é necessário aplicar as devidas transformações, visto que as posições associadas aos pontos encontram-se em perspectiva ortogonal. As transformações necessárias para

alterar uma sequência de blocos em projeção ortogonal para a mesma sequência em projeção isométrica. Considerando *Width* como a largura do bloco e *Height* como a altura do bloco, temos:

$$X \begin{pmatrix} 1 * Width/2 \\ 0.5 * Height/2 \end{pmatrix} + Y \begin{pmatrix} -1 * Width/2 \\ 0.5 * Height/2 \end{pmatrix}$$

No caso de uma ilha, são renderizados primeiro os blocos de água, e só posteriormente é atualizado o ecrã com os resultados do pedido de visão do redor do barco recebidos. Deste modo, a *UI* tem sempre blocos presentes, não esperando pelas respostas para renderizar o mundo. Na figura 2.7 é apresentado um ecrã do jogo de forma a tornar mais claro o assunto tratado.

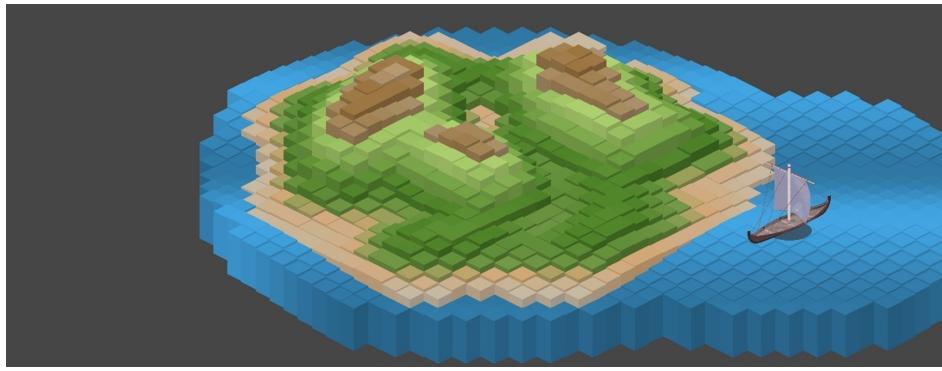


Figura 2.7: Exemplo aplicado da perspetiva isométrica

Um aspecto bastante relevante é o modo como os blocos são renderizados, nomeadamente, através do *Flutter Canvas*. Numa iteração inicial da solução, utilizou-se imagens para representar estes blocos, tanto em formato *PNG (Portable Network Graphics)*, utilizando rasterização, como em *SVG (Scalable Vector Graphics)*, através de vectorização, no entanto notou-se que existiam alguns problemas com esta implementação.

A rasterização[10] e a vetorização[14] são dois métodos de processamento de imagens amplamente utilizados na área da computação gráfica.

A rasterização é um processo que converte objetos em imagens compostas por pixeis. A principal vantagem da rasterização é a sua capacidade de exibir detalhes e efeitos realistas, como sombras, texturas e efeitos de iluminação. No entanto, a rasterização apresenta também algumas desvantagens, sendo uma delas a perda de qualidade ao ampliar ou redimensionar uma imagem rasterizada.

Por outro lado, a vetorização é um método que utiliza fórmulas matemáticas para representar objetos gráficos através de pontos, linhas e curvas. A principal vantagem da vetorização é a capacidade de edição precisa e flexível. É possível manipular cada elemento

individualmente, alterando a sua cor, forma ou posição. Mas a vetorização também tem as suas limitações, podendo ser menos eficiente em termos de processamento para imagens com muitos detalhes, ou no caso deste projeto em específico, na existência de muitas imagens, uma vez que requer cálculos matemáticos complexos para renderizar os objetos.

Ambos este métodos apresentam problemas quando se trata de representar todas as cores pretendidas visto que numa imagem *PNG* não é possível alterar as cores diretamente sobre a imagem, e numa *SVG* seria necessário alterar diretamente o código XML da imagem, o que envolve operações morosas com ficheiros e não se mostrou como uma solução viável.

Outra solução considerada foi utilizar uma das formas anteriormente descritas e através do código *Flutter*, aplicar-lhes um filtro de cor, no entanto esta solução mostrou-se ineficiente e com uma elevada redução de *performance*, visto que o Widget teria que ser constantemente reconstruído.

A solução encontrada para este problema baseia-se na utilização do Flutter Canvas para desenhar os blocos a um nível mais baixo e na criação de formas de calcular as cores de um bloco baseadas na sua altura e através de um gradiente de cores definido na aplicação. Decidiu-se tomar inspiração e basear a implementação no *node ColorRamp*[4] do programa de design gráfico em 3D *Blender*[5]. Este node funciona como uma função de interpolação onde para um valor "T" é retornado um valor intermédio do gradiente definido. Para a nossa implementação, interpretamos o valor "T" como a altura do bloco. Na figura 2.8 é apresentada uma captura de ecrã desta *ColorRamp* para mais fácil percepção.

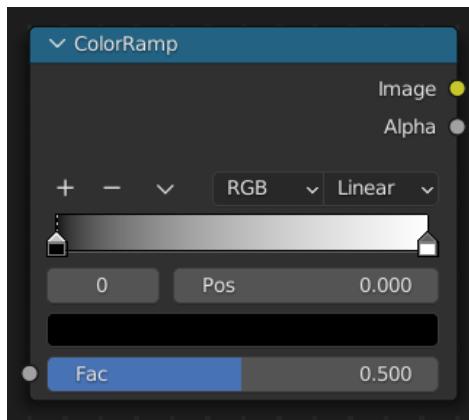


Figura 2.8: Node ColorRamp do Blender

Quer isto dizer que existe total controlo sobre as cores utilizadas no jogo, sem necessidade de carregar novas imagens ou outros *Assets*. Isto permite alterações de cor muito súbtis e interessantes conforme a altura do bloco, permitindo também até alterações da cor dos blocos

de água conforme a sua altura, controlada internamente através de uma animação.

Na figura 2.9 é apresentado o gradiente de cores utilizado, tendo em conta que este gradiente deve ser interpretado da esquerda para a direita, quer isto dizer que quanto mais á esquerda é a cor, mais baixos serão os blocos associados.



Figura 2.9: O nosso gradiente de cores

### 2.2.3 Desafios

Os maiores desafios no que toca á parte da renderização prenderam-se em encontrar maneiras de obter toda a interface visual idealizada na aplicação sem incorrer em riscos significativos de performance, visto que é necessário representar um número significativo de blocos com diferentes cores e animações, no caso de blocos representativos de água.

Outro desafio significativo foi conseguir alterar ”dinamicamente” a cor dos blocos conforme a altura de cada um, tendo em conta que o carregamento de imagens da memória tem os seus custos, assim como o processamento para obter a imagem desejada.

### 2.2.4 Propriedades Tecnológicas

É importante destacar o método que usamos para desenhar os *Voxels*. Desenhar um forma geométrica como um cubo em perspectiva isométrica não é uma tarefa trivial, nem rápida. O que se torna um problema caso se queira desenhar muitas vezes esta forma, como é o caso.

A forma encontrada para desempenhar esta função foi o método do *Canvas DrawVertices*. Este método é dos métodos mais *Low-Level* para desenhar formas. Para além disso, é conveniente para desenhar a forma em mente. Normalmente um cubo é composto por quatro planos, no nosso caso apenas precisamos desenhar 3 destes planos, cada plano é composto por 2 triângulos, e cada triângulo é composto por 3 vértices. O que resulta num total de 18 vértices.

## 2.3 O Movimento Dos Navios



Figura 2.10: Ilustração de um navio

A frota de navios é a representação virtual do jogador no mundo; Cada navio é uma unidade independente que é controlada diretamente pelo jogador. Através dos navios é possível progredir e impactar o ecossistema assim como o mundo do jogo.

A principal função dos Navios é "Navegar". Esta ação permite tanto observar e descobrir novos territórios ao redor do mundo, como também interagir com outros jogadores e as suas frotas.

### 2.3.1 Movimento Em Jogos Multijogador

No movimento de jogos multijogador é preciso garantir que a posição das entidades controladas pelo jogador sejam confiáveis, sejam estas um personagem ou uma frota de navios. Isto é alcançado através do modelo de autoridade do servidor, ou seja, o servidor é responsável por validar e calcular todas as ações e movimentos das entidades. Em vez de aceitar diretamente a posição enviada pelo jogador que pode ter sido manipulada, o servidor recebe apenas as ações do jogador.

Para não existir *delay* entre estes cálculos, a aplicação cliente também realiza uma estimativa da posição com base nos inputs do jogador localmente. Isto é feito para fornecer feedback imediato ao jogador.

Assim que o servidor conclui e envia o cálculo da posição do jogador, a aplicação cliente verifica se esta difere da posição estimada pelo cliente e, se forem diferentes, altera a posição atual para a posição calculada pelo servidor. No entanto, é importante ter em conta que enviar constantemente pedidos para alterar e observar a posição do jogador é pesado no servidor, e normalmente requer um maior número de instâncias do servidor a correr.

### 2.3.2 A Nossa Visão

Ao contrário de muitos jogos de estratégia baseados em grelhas, optou-se por um movimento mais livre em qualquer direção que não respeitasse a grelha. Na escolha do tipo de movimento, foi valorizado este ser suave e fluído de um bloco ao outro, ter um método flexível e competente para caminhos elaborados, e que não causasse grande carga no servidor.

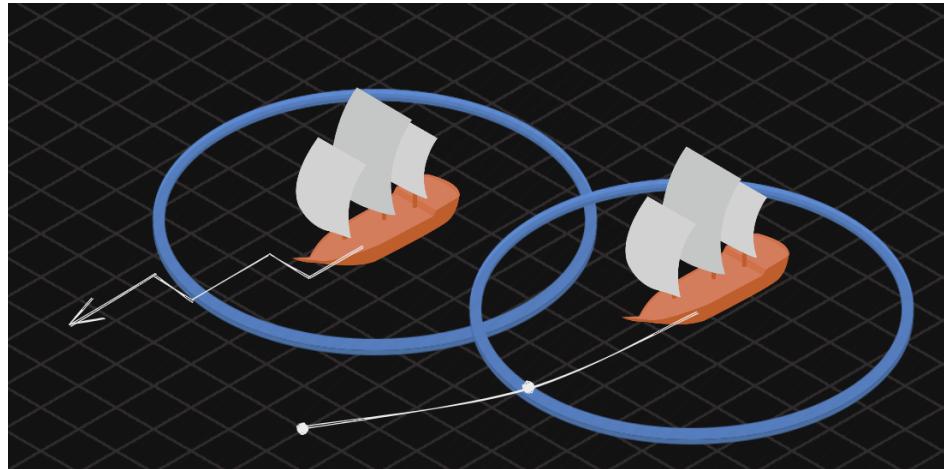


Figura 2.11: Tipos de movimento

Na figura 2.11 é possível observar na esquerda um tipo de movimento que respeita a grelha do jogo, e na direita o tipo de movimento que não respeita a grelha e se escolheu implementar.

### 2.3.3 A Nossa Solução: Curvas De Bézier

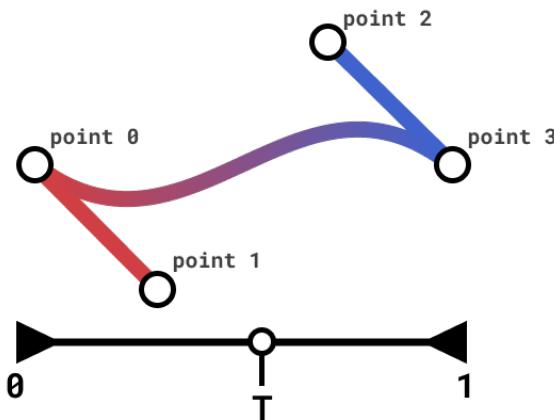


Figura 2.12: Ilustração de uma Curva de Bézier cúbica

Uma *Curva de Bézier*[16] é uma curva suave e flexível definida por uma função de interpolação que pode assumir diferentes formas dependendo do número de pontos que a define, como

interpolação linear, interpolação polinomial ou interpolação por *splines*. As *Curvas de Bézier* são amplamente usadas em design gráfico, modelagem computacional e animações gráficas.

Para dar contexto, uma função de interpolação é uma função matemática utilizada para estimar valores intermédios entre pontos de dados conhecidos. A variável "T" é frequentemente utilizada nestas funções para representar um parâmetro que varia de 0 a 1, indicando a posição relativa entre os pontos de dados.

Com esta ferramenta é possível construir caminhos elaborados em qualquer direção, e interpretar a variável "T" como o tempo para animar objetos, no caso navios, ao longo da curva.

Outra propriedade útil das *Curvas de Bézier* é obter o ângulo da tangente de um ponto ao longo da curva, e através deste ângulo, saber em que direção desenhar o navio.

Ao construir-se o caminho no servidor, é assegurado que este caminho é confiável. Partilhando este com a aplicação cliente, ambos são capazes de observar a posição atual ao longo do caminho independentemente, sem pedidos intermédios. Este método é seguro, eficiente e reduz consideravelmente a carga no servidor.

#### 2.3.4 Obstáculos

Para construir caminhos complexos é necessário usar vários pontos, no entanto, a performance das *Curvas de Bézier* é proporcionalmente menor quantos mais pontos a definirem, pois a complexidade da função de interpolação aumenta.

Para além da performance, outro problema é a falta de controlo local, ou seja, a alteração de um único ponto, tem influência ao longo de toda a curva. Portanto é importante ter controlo local para apenas manipular um segmento da curva, caso contrário, torna-se um desafio criar caminhos complexos.

A solução escolhida para estes obstáculos foi: Em vez de usar uma única curva com "N" pontos, juntar várias curvas de menor complexidade. No caso foi decidido usar as curvas cúbicas definidas por 4 pontos que são o tipo de curva mais usado por ser o intermédio entre simples e competente.

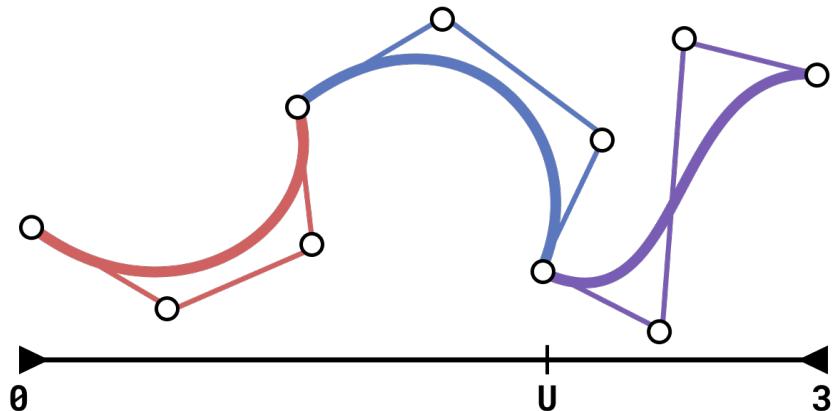


Figura 2.13: Exemplo de um caminho complexo

Na figura 2.13, é possível observar 3 curvas cúbicas e uma variável "U" que varia entre 0 e o número de curvas cúbicas. Esta variável é o valor de interpolação global, e serve para obter os valores intermédios entre o conjunto das curvas. Os valores intermédios da curva podem ser obtidos através da fórmula:

$$T = \text{remainder}(U, 1);$$

$$I = \text{floor}(U);$$

Através da variável "T" tem-se o valor de interpolação local da curva com index igual ao da variável "I".

Assim resolve-se o problema do controlo local, visto que alterar um ponto apenas tem influência nesse segmento da curva, como o problema da performance, pois não importa o número de pontos, a complexidade de obter os valores intermédios permanece constante.

Anteriormente foi falado de como era possível usar a variável "T" para animar objetos ao longo da curva, calculando a posição correspondente ao valor atual de "T" que é incrementado com o tempo. Um detalhe importante que não pode ser negligenciado é que com este método, a distância dos pontos entre si influencia diretamente a velocidade do objeto, ou seja, se ao longo da curva, dois pontos estiverem mais distantes um do outro, então a velocidade do objeto quando estiver entre esses dois pontos vai ser maior.

Isto é um problema, para o movimento dos navios é importante que o movimento seja uniforme, como seria num navio real em condições ideais e constantes.

Foram consideradas duas maneiras de resolver este problema:

- Alterar os cálculos de obtenção dos pontos intermédios para ter em conta a distância entre os pontos;
- Certificar que as caminhos construídos tem pontos com distâncias equivalentes entre si.

Escolheu-se o segundo método, pois não se encontrou mérito em alterar e aumentar a complexidade dos cálculos de obtenção dos pontos intermédios quando podemos resolver este problema com um método mais simples e eficaz.

## 2.4 A Criação dos Caminhos

A necessidade da criação das *Curvas de Bezier* provém da navegação dos navios. A ação de navegar desencadeia o cálculo de um caminho composto por pontos entre o ínicio e o destino, mas de modo a obter estes pontos mostrou-se necessária a utilização de um algoritmo de procura de caminhos eficiente e competente.

### 2.4.1 Como?

Um dos algoritmos mais utilizados na indústria dos jogos para resolver este problema é o  $A^*$ [13], um algoritmo de pesquisa informada e que procura a solução de forma mais curta, tendo em conta não só os caminhos possíveis, mas também os caminhos mais apropriados. Este é calculado utilizando uma heurística, que depende de caso para caso e guia a busca priorizando os caminhos que parecem ser mais promissores. Isto reduz significativamente o número de nós a serem explorados, o que faz deste algoritmo um dos mais eficientes para este tipo de problemas.

### 2.4.2 Requisitos e Abordagem

Um dos requisitos para a navegação foi que o utilizador tivesse um bom nível de controlo sobre as rotas traçadas, para isto criou-se um ponto intermédio que pode ser alterado e que tem influência no caminho final. Outro requisito também importante foi encontrar um algoritmo que permitisse desviar o caminho de alguns obstáculos, que neste contexto, são ilhas. Escolheu-se por uma questão de experiência de utilização que os caminhos traçados se desviariam das ilhas já conhecidas pelo jogador.

Através do algoritmo  $A^*$  mostrou-se possível não só encontrar o caminho mais rápido, que é de forma geral o seu propósito principal, como também influenciar este caminho com o ponto intermédio. Para isto criou-se uma heurística que tem em conta não só a distância desde o ponto atual até ao ponto final, mas também a distância do ponto atual até ao ponto intermédio, embora que com um peso para o valor final da heurística mais reduzido.

Desta forma é possível aplicar uma *penalty* aos pontos vizinhos encontrados que não se aproximem do ponto intermédio e fazer com que o caminho encontrado se desvie em direção do ponto desejado.

Na figura 2.14, é apresentado um exemplo do caminho traçado pelo algoritmo  $A^*$ , com base no caminho escolhido pelo utilizador, desviando-se de uma ilha existente e conhecida. A curva presente na figura começa no barco e termina no ponto final da viagem e representa a curva escolhida pelo utilizador e visualizada na aplicação. O conjunto de pontos a preto representa o caminho gerado pelo algoritmo.

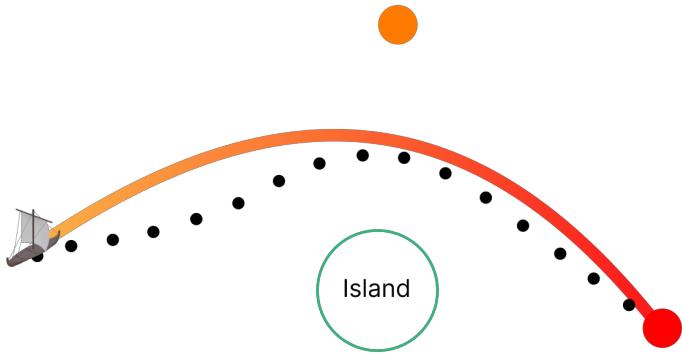


Figura 2.14: Exemplo do resultado do algoritmo de procura

É importante destacar que foram realizadas algumas alterações ao algoritmo  $A^*$  genérico. Foi implementado na criação de nós vizinhos uma distância de segurança com obstáculos, para que o caminho não se aproxime demasiado das ilhas. Da mesma forma, na criação de nós vizinhos foi adicionado um *step* que salta os nós vizinhos mais próximos, pois chegou-se à conclusão que não era necessário uma grande frequência de nós para os caminhos. Isto resulta num algoritmo costumizado para uma solução mais rápido e também mais simples.

O resultado da execução deste algoritmo contém o caminho encontrado como um conjunto de pontos a cada step, no entanto estes pontos não estão prontos para serem usados como *Curvas de Bézier*. É fundamental que o conjunto de pontos seja divisível por quatro para serem criadas curvas de Bézier cúbicas pois estas são compostas por quatro pontos. Para isto, é dividido o caminho encontrado em segmentos de 4 pontos todos a igual distância uns dos outros. Tendo então o caminho encontrado e dividido em segmentos de igual comprimento, é possível representá-lo através de um conjunto de *Curvas de Bézier*.

### **2.4.3 Desafios**

Um dos problemas típicos dos algoritmos de procura de caminhos em espaço de estados é o problema do mínimo local. Este problema é mais concretamente relacionado com a procura de pontos vizinhos (ou pontos sucessores).

Dado que este é um algoritmo de pesquisa informada e que procura os pontos sucessores através de um valor calculado segundo a sua distância ao ponto inicial e o seu valor de heurística, é possível que os pontos vizinhos possíveis para avançar no caminho não sejam elegíveis para o algoritmo, por serem um retrocesso no caminho. Na sua implementação mais comum, o algoritmo não permite retrocessos, e é possível que fique bloqueado num ponto cujos sucessores não são elegíveis, que neste contexto, poderão ser pontos de ilha. Devido a este facto, foi necessário ter em conta este problema na implementação do algoritmo.

## 2.5 Eventos

A ação primária do jogador é a de "Navegar" por um destino à escolha. Esta ação pode ter consequências, como por exemplo:

- Encontrar uma ilha pelo caminho, o que resulta no barco ficar imóvel até uma nova ação de navegar.
- Encontrar um barco inimigo, resultando numa interação de luta enquanto continuam a navegar para os seus destinos.

São estes os dois tipos de eventos que podem ser produzidos pelos jogadores.

A utilidade de um sistema de eventos cuja estrutura descreve as consequências das ações feitas, é poder obter as estatísticas, construir o ranking de um jogador a partir destes dados, observar o estado passado do jogo e consequentemente ter também a possibilidade de fazer um *replay* desde o início do jogo até ao momento presente.

### 2.5.1 Como?

Para um barco "Encontrar" outra entidade seja esta uma ilha ou um navio, este precisa de estar perto desta entidade. No entanto, como os eventos resultam da ação de "Navegar", então o navio vai encontrar-se em movimento até chegar ao seu destino.

O que leva à pergunta:

*Como é que podemos verificar se o navio está perto de alguma entidade durante o seu trajeto quando algumas destas entidades, os barcos, se encontram em movimento?*

Uma solução considerada seria usar um sistema de *Job Scheduler*[8], que é uma *Framework* para criar e controlar a execução de um conjunto de tarefas num determinado tempo e frequência. Através deste sistema, cria-se uma tarefa (*Job*) que seja executada muito frequentemente e verifique se algum navio se encontra perto de alguma entidade.

### 2.5.2 Desafios

Como referido ao longo deste documento, um dos maiores objetivos para este projeto é fazer deploy, o que implica hospedar o servidor. Decidiu-se hospedar o servidor na plataforma *GCP* (*Google Cloud Platform*). Para enfrentar este objetivo realisticamente é preciso pensar nos seus custos.

Hoje em dia, a maioria dos serviços de hospedagem cobram pela quantidade de pedidos recebidos ou pela quantidade de tempo que um servidor permanece ligado.

Embora a escolha seja a *GCP*, outras opções de hospedagem devem ser levadas em conta de modo a não comprometer o projeto com um só serviço. De um modo geral, estes serviços

desligam os servidores quando se encontram inativos, ou seja, quando não são recebidos pedidos dentro de um certo intervalo de tempo, e/ou não existam *Jobs* a serem executados.

Recuando à solução anteriormente referida, utilizando um sistema de *Job Scheduler*, esta seria financeiramente dispendiosa pois:

- Obrigaria o servidor a permanecer ligado devido a existirem *Jobs* executados muito frequentemente;
- Requer um grande número de pedidos necessários para observar o estado atual dos eventos;
- É computacionalmente pesada, visto que o servidor teria de realizar constantemente várias operações não triviais como obter as posições atuais dos barcos e calcular as suas distâncias.

### 2.5.3 A Nossa Abordagem

Por estas razões, decidiu-se abordar o problema de uma maneira completamente diferente.

Em vez de verificar a criação de eventos ao longo do caminho de um barco, calcula-se uma única vez na ação de "Navegar", se são criados eventos ao logo do caminho.

Cada evento é composto pelos seus detalhes e o instante quando este ocorre.

Esta técnica torna o uso de um *Job* obsoleto, optimizando e permitindo ao servidor ficar inactivo. Outra vantagem é o uso dos eventos para agendar tarefas na aplicação cliente, como:

- Observar o estado atual do barco apenas quando existe um estado novo, ou seja, após o instante do evento. Deixando de ser necessário realizar *Pooling* para verificar quando é alterado o estado do navio, pois através dos eventos é possível saber quando exatamente estes sofrem alterações;
- Agendar notificações dos eventos ocorridos no dispositivo móvel do utilizador.

No entanto a complexidade dos cálculos para verificar a criação dos eventos aumentou consideravelmente, dado que já não é tão simples como *verificar se algum barco está perto de outra entidade*.

Para construir os **Island Events** foram utilizadas as seguintes técnicas:

1. Simplificação da *Curva De Bézier* num conjunto de linhas sem qualquer curvatura para simplificar os cálculos de interseções, verificar interseções em *curvas de Bezier* é uma operação cara que envolve matrizes complexas e concluiu-se que se consegue ter resultados equivalentes usando uma técnica mais simples;

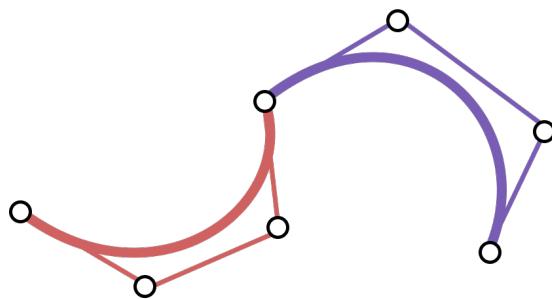


Figura 2.15: Ilustração da simplificação da Curva de Bézier

2. Procura-se o primeiro ponto de intersecção desde o ínicio do caminho até ao fim, entre o conjunto de linhas e o conjunto de ilhas;
3. Isola-se o segmento da *Curva De Bezier* intersetada e tira-se uma amostra de 10 pontos pertencentes a esse segmento;

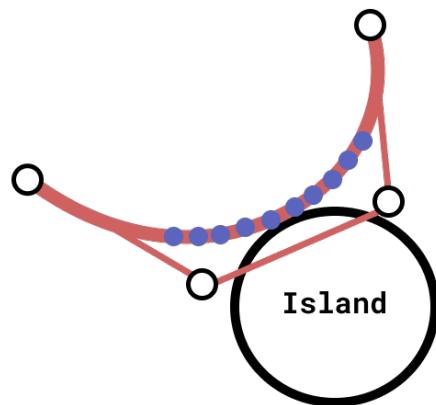


Figura 2.16: Exemplo de uma amostra de pontos da interseção

4. Procura-se o ponto (e o instante) que está mais próximo da ilha, mas não dentro dela. Desta forma, em vez de simplesmente pegar no ponto de intersecção, para obter uma posição perto o suficiente da ilha mas fora dela, para evitar o navio de subir a ilha.

Para construir os **Fight Events** foram utilizadas as seguintes técnicas:

1. Obtem-se o movimento atual, ou seja, o movimento construído para o instante atual do nosso e do barco inimigo;
2. A partir do movimento de cada um, simplifica-se a *Curva De Bézier* num conjunto de linhas sem qualquer curvatura e depois a partir dessas linhas são construídos planos.

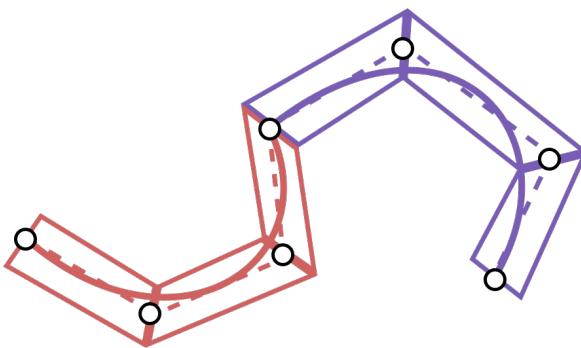


Figura 2.17: Ilustração dos planos de colisão construídos para a Curva de Bézier

Como referido anteriormente, para verificar interseções foi escolhida usar uma técnica mais simples e menos dispendiosa e por isso optou-se por simplificar para um conjunto de linhas sem curvatura. No entanto diferente do anterior, é construído para cada linha um plano.

Desta forma no caso de uma interseção entre dois caminhos que não se cruzam mas passam extremamente perto um do outro na mesma altura, não vai ser criado nenhum evento. Como isto não é o resultado desejado, são usados planos em vez de linhas para existirem interseções nestes casos também.

- Através dos caminhos construídos são procuradas interseções no mesmo período temporal entre cada plano. Sabendo que o navio é uma entidade em movimento ao longo do caminho, não basta existir uma interseção entre os planos para existir um *Fight Event*.

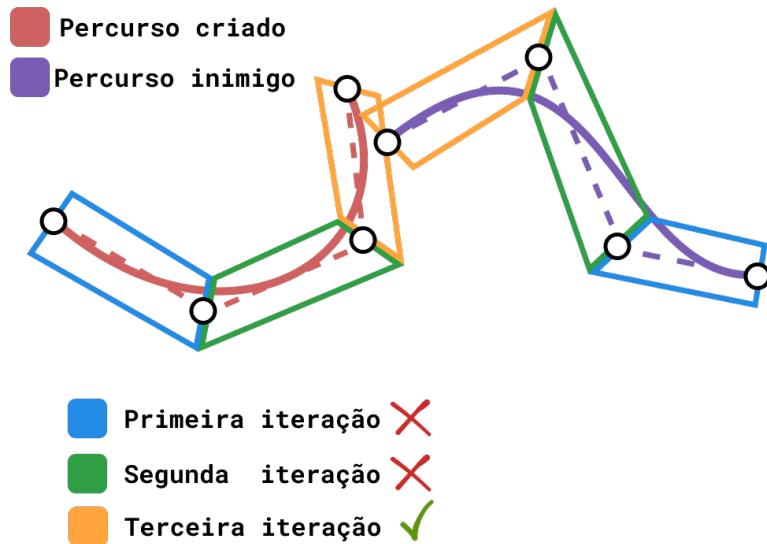


Figura 2.18: Exemplo entre a interseção de dois caminhos

Como se pode observar nesta figura, os planos dos caminhos são agrupados por ordem temporal, isto é, o grupo azul é o plano onde os navios atualmente se encontram, e eventualmente vão estar nos grupos verde e amarelo. Desta forma são apenas verificadas interseções entre os planos do mesmo grupo, pois seria incorreto comparar dois grupos com uma diferença de espaço temporal entre eles, ou seja, acontecem em instantes separados.

Isto é uma técnica chamada *Space Partitioning*[1] que é comum ser utilizado para optimizar algoritmos de colisão em simulações.

- Para cada interseção, é obtida uma amostra de 5 pontos de cada plano intersetado onde são pesquisados os dois pontos que estão mais perto um do outro no espaço tal como no tempo.
- Apartir deste ponto, tem-se o ponto onde o **Fight Event** ocorre e o seu instante, é depois escolhido aleatoriamente um vencedor.
- Repetir os mesmos passos para os restantes barcos.

## 2.6 Histórico dos pontos visitados

Dado que um grande foco de projeto é a exploração do mapa por parte dos jogadores, é necessário ter em conta tanto a experiência de navegação como também persistir a informação de onde os barcos de um utilizador já passaram, de modo a que seja possível manter um histórico de progresso e de navegação na sala em que o utilizador está a jogar.

Neste tipo de projeto, é também preciso ter em conta a experiência a que o utilizador está acostumado de modo a não ser uma mudança que o faça não gostar da solução. Para garantir este aspeto foi feito um estudo de outros jogos do mesmo género, sabendo que estes têm sucesso e uma *UX* agradável e conhecida.

### 2.6.1 Como?

De modo a apresentar fielmente os caminhos feitos pelo utilizador, é utilizado o conjunto de pontos que definem os caminhos traçados para cada barco, guardados na base de dados, o que significa que é possível obter as rotas por onde este passou e enviá-las para o cliente.

De forma a conseguir representar as ilhas já conhecidas pelo utilizador, é utilizado o sistema de eventos previamente explorado no documento. Deste modo é possível saber quais os eventos de ilha que já aconteceram até ao momento em que o utilizador obtém o minimapa e enviar na resposta as ilhas encontradas.

### 2.6.2 A Nossa Abordagem

Persistir o histórico de navegação de forma eficiente em termos de complexidade de espaço ocupado assim como em termos de complexidade de tempo de computação necessário para o obter é um desafio complexo e é necessário encontrar um equilíbrio entre estes dois aspetos de forma a obter uma solução optimizada, apropriada e, o mais importante, correta.

Elaborando um pouco sobre a forma como os dados são tratados, à aplicação de cliente chega um objeto que contém os caminhos percorridos representados através de pontos com 2 coordenadas, e o conjunto de ilhas descobertas, caso existam.

As ilhas são representadas através de objetos que contêm 3 coordenadas, de modo a ser possível representar a sua altura. Para obter as ilhas conhecidas, é comparado o instante no qual acontecerá o evento de ilha com o instante corrente e verifica-se se o evento já aconteceu.

A tarefa do cliente é apenas representar as ilhas recebidas e através do conjunto de caminhos, fazer *pulse* em cada um destes pontos. Um *pulse* define-se visualmente como um círculo cujo centro é o ponto recebido. Este *pulse* pode ser feito visto que em torno de cada um daqueles pontos, não existe mais nenhuma informação, e portanto pode ser imediatamente considerado como água.

Um aspeto bastante importante sobre este sistema de guardar os pontos, que se relaciona também com o uso das curvas de Bezier é que um utilizador pode alterar o caminho de um barco antes do mesmo terminar o caminho corrente. Isto implica que não é correto representar no mini mapa todos os pontos do caminho mas sim apenas os que foram vistos até à criação do novo caminho. Com a utilização das *Curvas De Bézier* tornou-se possível recortar a curva no ponto que corresponde ao início do próximo caminho e desta maneira apenas representar os caminhos que foram efetivamente visitados.

Para abordar o problema de obtenção das ilhas optou-se pela utilização do sistema de eventos previamente abordado. Através deste sistema é possível ao servidor saber quais são as ilhas visitadas pelo utilizador.

Nas figuras 2.19 e 2.20 são apresentados o minimapa atual, com os caminhos recortados à medida certa, e o minimapa sem tratamento.

Ambas têm uma ilha representada e é de notar que são exatamente o mesmo caminho, sendo a única diferença, que a figura 2.19 apresenta os caminhos recortados nos sítios devidos e a figura 2.20 apresenta os caminhos completos sem qualquer tipo de tratamento, diretamente como estão persistidos no servidor.



Figura 2.19: Mini mapa com os caminhos recortados



Figura 2.20: Mini mapa sem tratamento do comprimento dos caminhos

### 2.6.3 Desafios

Os principais desafios da implementação deste sistema prenderam-se com a forma de guardar e obter as informações acerca do caminho.

Mostrou-se necessário encontrar uma forma de enviar apenas os pontos mínimos necessários a uma boa representação em vez de todos os presentes num caminho, isto porque num caso extremo em que o utilizador já conhece o mapa inteiro, seria necessário enviar todos os pontos do mapa. Isto seria bastante custoso visto que um mapa terá em média  $600 \times 600$  tiles, o que resulta em 360.000 pontos. Embora não se enviassem exatamente todos, seria um número bastante considerável e que tornaria as respostas aos pedidos *HTTP* demasiado grandes e morosas de processar.

Numa iteração inicial existiu um sistema que guardava pontos visitados aquando de um pedido por parte do cliente que devia apenas ser respondido com os blocos relevantes á volta da posição do barco. Nesta iteração o cliente seria obrigado não só a realizar um *pulse* por ponto, mas sim a arranjar uma representação visual para os ligar. Isto foi feito criando elipses de 2 em 2 pontos, no entanto, não seria uma representação perfeita visto que as elipses se apresentariam mais largas do que deviam no eixo maior, e demasiado próximas ao ponto nos extremos.

Também foi abordada e testada outra aproximação ao problema da representação, através de *pill shapes*. Estas seriam visualmente mais fieis ao caminho e apresentam-se como fazendo um *pulse* em cada ponto, e unindo-os através de um retângulo. Ambas as abordagens foram abandonadas devido á complexidade de cálculos desnecessária.

Isto provou-se altamente ineficiente e incorreto visto que, em primeiro lugar os pontos só seriam guardados se a aplicação cliente estivesse aberta ao longo do caminho, em segundo envolviam vários cálculos a cada pedido de modo a verificar se o ponto presente do barco deveria ser guardado, ou se estaria demasiado perto do último guardado. Este sistema não permitia também saber com exatidão que ilhas já teriam sido visitadas.

Outro desafio relevante, já previamente explorado, foi apenas representar os caminhos efetivamente visitados, recortando os mesmos até ao início do próximo caminho ou até a um possível evento de ilha.

# Capítulo 3

## Desenho Do Sistema

O desenho do sistema demonstra a estratégia tomada no desenvolvimento de uma aplicação. Em específico, a organização do projeto, as suas diferentes camadas e os seus propósitos e outros detalhes específicos da tecnologia em si.

### 3.1 Aplicação Cliente

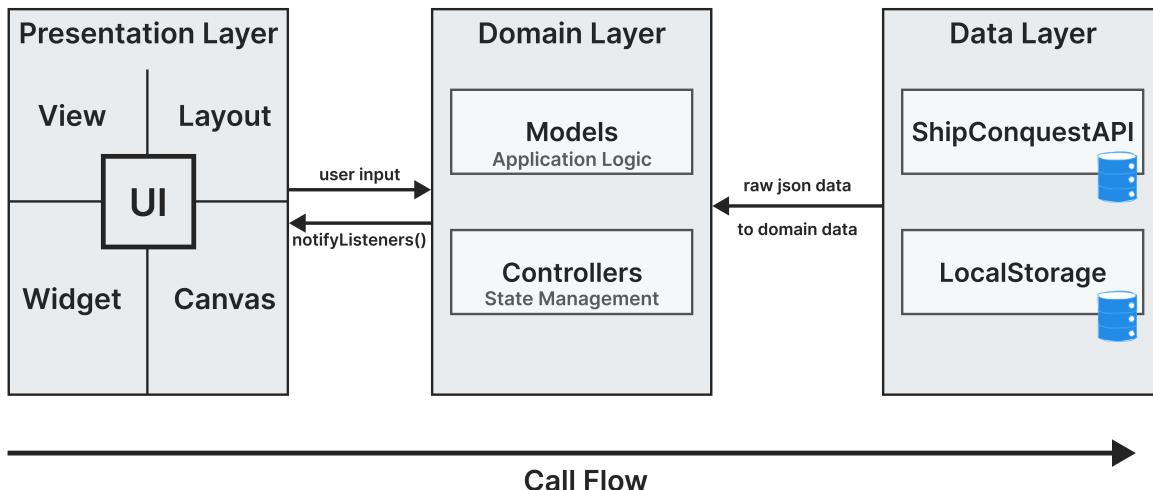


Figura 3.1: Desenho da estrutura da aplicação cliente

Na figura 3.1 estão ilustradas as camadas principais que compõem a arquitetura da aplicação cliente. Esta arquitetura é baseada no modelo: *Presentation*, *Domain* e *Data* que é um modelo estabelecido e recomendado.

No componente do *Domain* está ilustrado o uso de *Controllers*. Os *Controllers* são peças de domínio que guardam e controlam o estado. Estes componentes extendem as classes da *Package Provider*, ao qual a camada de apresentação observa o seu estado.

No *Flutter* existem *Stateful Widgets* para criar um widget (visual) com um estado. Em-

bora isto seja intuitivo e simples, é limitador quando se quer implementar algo mais complexo, visto que a lógica do estado fica a depender de certa forma do seu widget.

A *Package Provider* do *Flutter* é uma biblioteca que fornece um gerenciamento de estado fácil e eficiente para as aplicações. Esta é recomendada e incentivada pelo próprio *Flutter* visto que simplifica a comunicação entre os componentes do aplicativo, permitindo que os dados sejam compartilhados e atualizados de forma eficiente, sem a necessidade de passá-los manualmente entre os widgets.

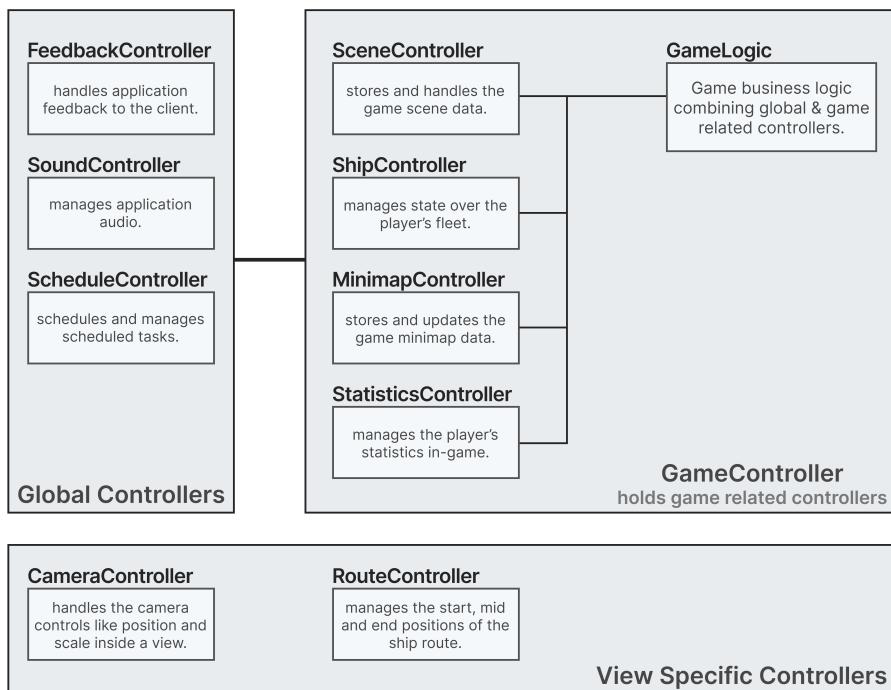


Figura 3.2: Desenho da organização dos *Controllers*

Na figura 3.2 está mapeado a organização dos *Controllers* e das suas funcionalidades. Cada *Controller* é uma peça individual e independente, exceto o *GameController*. O *GameController* é uma peça que depende de outros *Controllers*, que lê e combina para construir a lógica do jogo.

## 3.2 Aplicação Servidor

Como já referido anteriormente, no lado do servidor optou-se pela utilização de Spring Boot com Kotlin, e base de dados PostgreSQL. Esta escolha foi tomada com base na experiência adquirida na tecnologia, competência da mesma para o trabalho pretendido e gestão do risco visto que a framework de front-end utiliza uma tecnologia completamente nova, e não seria viável inovar mais em termos de tecnologias devido ao tempo necessário para aprendê-las.

Com a utilização de Spring, é possível tomar proveito das suas funcionalidades em termos de pipeline e fluxo de pedidos.

Na figura 3.3 é apresentado um esquema representativo do fluxo de um novo pedido.

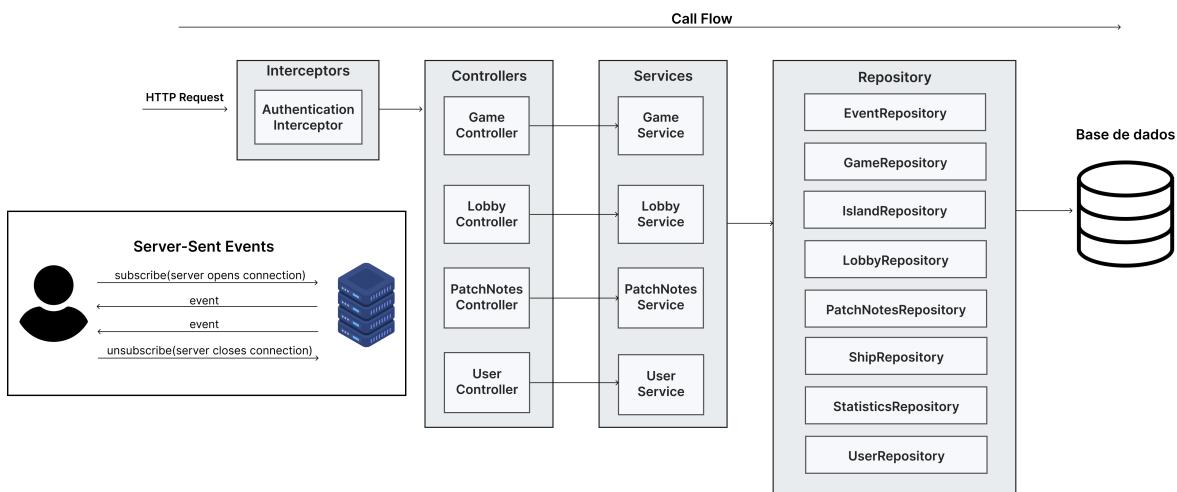


Figura 3.3: Componentes e fluxo do servidor.

Quando chega um novo pedido ao servidor, o Spring utiliza automaticamente o DispatcherServlet através do qual verifica qual dos endpoint handlers é o devido, quando este verifica que o handler recebe como parâmetro um *User*, então é utilizado o interceptor *AuthenticationInterceptor* que retira do pedido as informações de autenticação, nomeadamente o Bearer token do utilizador. Caso o pedido não tenha um Bearer token, é automaticamente enviada uma resposta *401 Unauthorized*.

Este Bearer token é obtido através de uma operação de *log-in* ou *sign-in*, e explicando o fluxo de autenticação, quando o utilizador faz *sign-in*, é obtido o seu id token pela aplicação de cliente[2], este é depois enviado para o servidor que verifica a validade do id token através de uma class importada package de *OAuth2* da Google de nome *GoogleIdTokenVerifier*[3]. Depois de verificada a validade, é então criado um Bearer token que se associa ao utilizador e que será utilizado em todas as interações entre o cliente e o servidor.

Após encontrado o handler correto, o pedido é processado e a responsabilidade da lógica de negócio é passada para a camada de *Services*. Cada *Controller*, tem associado qual dos *Services* deve ser utilizado.

Esta camada comunica também com a camada de acesso a dados, feito através de *JDBI* e que por sua vez comunica com a base de dados PostgreSQL.

# Capítulo 4

---

## Conclusão

### 4.1 Considerações

Com a conclusão deste trabalho foram aplicadas e demonstradas as competências técnicas, conhecimento e pensamento crítico para enfrentar desafios complexos como os apresentados ao longo deste documento. Foi conseguido não só encontrar soluções para os problemas encontrados, como também justificar e documentar a solução tomada em comparação com outras soluções considerando as vantagens e desvantagens de cada um. Este processo envolveu a pesquisa e aprofundamento de conhecimento de conceitos relevantes para o trabalho documentado como para a área de engenharia de Software no geral. No desenvolvimento do projeto foram trabalhadas as habilidades de desenhar e planejar o desenvolvimento de um projeto dentro de um tempo limite, o pensamento crítico para tomar decisões e justificá-las, e a gestão do tempo das tarefas por completar. Alguns dos conceitos explorados neste trabalho foram *Procedural Generation*, Algoritmos pseudo aleatórios de ruído como o *Perlin Noise* e o *Simplex Noise*, funções de interpolação como as *Bézier Curves*, algoritmos como o *A\** e “builders” de recursos.

Tendo em conta que se optou por não utilizar uma *game engine*, mas sim uma *framework* de desenvolvimento de aplicações multiplataforma, é necessário ter em conta os limites da *framework*, visto que a tarefa de representar visualmente um número muito grande de elementos não é tarefa trivial este não é o foco principal da *framework*. Mesmo utilizando as formas mais rápidas de representação, como desenhar diretamente no *Canvas*, pode trazer problemas de performance.

Após o desenvolvimento percebeu-se rapidamente que a quantidade de blocos desenhados e animados tem um impacto relevante na performance e no número máximo *FPS (frames per second)* atingidos. Devido a este facto mostrou-se necessário ter atenção redobrada à quantidade de informações e blocos presentes no ecrã. Seria incomportável, por exemplo, ter uma grelha de blocos visíveis que não acabasse ou até que ocupasse toda a extensão do ecrã, visto que se fosse o caso e o utilizador fizesse *zoom out*, o número de blocos renderizados

escalaria consideravelmente.

É relevante também referir que todas as decisões foram tomadas dentro de um tempo limite, tendo em conta o seu impacto, devido à pequena janela temporal de desenvolvimento do projeto. Antes de tomar qualquer decisão é importante explorar diversas opções e resoluções do problema apresentado, de forma a ser possível tomar uma decisão informada. Pelo mesmo motivo, e por não ser um foco atual não foi priorizada uma experiência de jogo equilibrada, nem mais funcionalidades opcionais, que num projeto de engenharia, têm sempre espaço.

## 4.2 Dificuldades

Foi encontrado ao longo do desenvolvimento deste trabalho um conjunto de dificuldades, algumas comuns neste tipo de projeto e outras mais específicas a este projeto.

Para uma melhor compreensão do trabalho realizado, são apresentadas as dificuldades que merecem maior ênfase:

- Para a aplicação cliente foi usada a framework Flutter, que embora fosse a (nossa) primeira interação com esta framework o verdadeiro desafio não foi a ”aprender”, mas sim construir um jogo e os seus componentes visuais nela. Esta dificuldade já era expectada, visto que esta framework não foi feita especificamente para jogos.
- Foram também encontradas dificuldades na matemática espacial especificamente os cálculos que envolviam o espaço como posições. Ao longo do desenvolvimento deste projeto foi necessário trabalhar com conceitos como posições globais e locais, posições em perspetiva global e em perspetiva isométrica e as suas características como tamanho e transformações.
- Uma dificuldade contínua ao longo deste trabalho foi encontrar soluções realistas para os problemas encontrados. Soluções que se possam aplicar em meios e condições reais, dentro das limitações tecnológicas e económicas. Estas dificuldades são principalmente devido à carga que jogos RTS (Real Time Strategy) impõem dos servidores.

Estas dificuldades foram anteriormente exploradas e documentadas em maior detalhe através de problemas reais e as suas soluções.

### **4.3 Trabalho Futuro**

Devido à dimensão do projeto escolhido e aos constrangimentos de tempo inerentes ao mesmo ser realizado num período de tempo de um semestre e a equipa de desenvolvimento ser pequena para um projeto deste género, mostrou-se impossível concluir todas as tarefas opcionais e adicionais que haviam sido planeadas.

Como já foi referido no presente documento, este projeto foi pensado com intenção em continuar a ser desenvolvido após o término da unidade curricular. Para seguir em frente com o projeto desenvolvido está planeado implementar mais funcionalidades para construir um produto mais completo e indicado para ser publicado nas lojas digitais. Enumera-se então uma lista de tarefas para desempenhar no futuro.

- Aumentar a complexidades das ilhas com outros tipos de ilhas e mais interações;
- Sistema de amigos, de modo a ser possível ver o progresso dos amigos do jogador e ser mais fácil entrar em salas em que amigos já estão a jogar;
- Animações ou efeitos visuais durante batalhas entre navios;
- Testar com um maior número de jogadores para compreender e conseguir equilibrar o jogo e a sua economia;
- Adicionar uma loja dentro de jogo com *skins* e alterações de aspetto, utilizando micro-transações, de forma a tornar o jogo autossustentável ou até rentável;
- Distribuir o jogo pelas principais lojas digitais;
- Implementação da aplicação Web, também em Flutter;

A maioria dos pontos enumerados anteriormente são melhorias à experiência de jogo dos utilizadores e não fazem parte do produto mínimo pensado aquando do início do desenvolvimento do projeto.



---

# Bibliografia

- [1] Pankaj K Agarwal e Micha Sharir. “Applications of a new space-partitioning technique”. Em: *Discrete & Computational Geometry* 9.1 (1993), pp. 11–38.
- [2] *Android authentication flow*. <https://developers.google.com/identity/one-tap/android/idtoken-auth>. Accessed: 2023-05-31.
- [3] *Backend authentication flow*. <https://developers.google.com/identity/sign-in/web/backend-auth>. Accessed: 2023-05-31.
- [4] *Blender Color Ramp Node*. [https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/shader\\_nodes/converter/color\\_ramp.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/shader_nodes/converter/color_ramp.html). Accessed: 2023-05-31.
- [5] *Blender Project*. <https://www.blender.org/>. Accessed: 2023-05-31.
- [6] Michael Buro. “Real-time strategy games: A new AI research challenge”. Em: *IJCAI*. Vol. 2003. 2003, pp. 1534–1535.
- [7] Daniel Carli et al. “A Survey of Procedural Content Generation Techniques Suitable to Game Development”. Em: nov. de 2011, pp. 26–35. ISBN: 978-1-4673-0797-0. DOI: [10.1109/SBGames.2011.15](https://doi.org/10.1109/SBGames.2011.15).
- [8] Dror G Feitelson, Larry Rudolph e Uwe Schwiegelshohn. “Parallel job scheduling—a status report”. Em: *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing: 10th International Workshop, JSSPP 2004, New York, NY, USA, June 13, 2004. Revised Selected Papers 10*. Springer. 2005, pp. 1–16.
- [9] *Flutter documentation*. <https://docs.flutter.dev/>. Accessed: 2023-05-31.
- [10] Nader Gharachorloo et al. “A characterization of ten rasterization techniques”. Em: *Proceedings of the 16th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. 1989, pp. 355–368.
- [11] Simon Green. “Implementing improved perlin noise”. Em: *GPU Gems 2* (2005), pp. 409–416.
- [12] Myron H Halpern. “A method of graphic reconstruction in isometric perspective”. Em: (1953).
- [13] Peter Hart, Nils Nilsson e Bertram Raphael. “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths”. Em: *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics* 4.2 (1968), pp. 100–107. DOI: [10.1109/tssc.1968.300136](https://doi.org/10.1109/tssc.1968.300136). URL: <https://doi.org/10.1109/tssc.1968.300136>.
- [14] Javier Jimenez e Jose L Navalon. “Some experiments in image vectorization”. Em: *IBM Journal of research and Development* 26.6 (1982), pp. 724–734.
- [15] Günter Knittel. “Verve: Voxel Engine for Real-time Visualization and Examination”. Em: *Computer Graphics Forum*. Vol. 12. 3. Wiley Online Library. 1993, pp. 37–48.

- [16] M.E. Mortenson. *Mathematics for Computer Graphics Applications*. G - Reference,Information and Interdisciplinary Subjects Series. Industrial Press, 1999. ISBN: 9780831131111. URL: <https://books.google.pt/books?id=YmQy799f1PkC>.
- [17] Ian Michael Ratner e Jack Harvey. “Vertical slicing: Smaller is better”. Em: *2011 Agile Conference*. IEEE. 2011, pp. 240–245.
- [18] *Server Sent Events Documentation*. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Server-sent\\_events/Using\\_server-sent\\_events](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Server-sent_events/Using_server-sent_events). Accessed: 2023-05-31.
- [19] Noor Shaker, Julian Togelius e Mark J. Nelson. *Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*. Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-42716-4.
- [20] *Spring Boot Documentation*. <https://docs.spring.io/spring-boot/docs/current/reference/htmlsingle/>. Accessed: 2023-05-31.
- [21] *Video Games - Worldwide*. <https://www.statista.com/outlook/dmo/digital-media/video-games/worldwide>. Accessed: 2023-05-31.