

Touch Carefully and Nothing Explodes

Relatório Final do Projeto Integrador

José António Pereira Martins



Licenciatura em Engenharia Informática e Computação

Tutor na U.Porto: Prof^o António Augusto de Sousa
Orientador na empresa/Proponente: Prof^o Rui Rodrigues

28/06/2024

Conteúdo

1	Introdução	2
1.1	Enquadramento	2
1.2	Objetivos e resultados esperados	2
1.3	Estrutura do relatório	3
2	Metodologia utilizada e principais atividades desenvolvidas	3
2.1	Metodologia utilizada	3
2.2	Intervenientes, papéis e responsabilidades	4
2.3	Atividades desenvolvidas	4
3	Desenvolvimento da solução	6
3.1	Requisitos	6
3.2	Arquitetura e tecnologias	7
3.3	Solução desenvolvida	9
3.3.1	Componentes	9
3.3.2	Desenvolvimento dos Desafios	11
3.3.3	Cenário	12
3.3.4	Bomba e Temporizador	13
3.4	Validação	14
3.4.1	Construção dos Testes	14
3.4.2	Resultados dos Testes	15
3.4.3	System Usability Scale	16
4	Conclusões	17
4.1	Resultados alcançados	17
4.2	Lições aprendidas	17
4.3	Trabalho futuro	18
A	Manual de desarmamento da bomba	20
B	Respostas ao SUS e Cálculos	25

1 Introdução

A tecnologia tem evoluído a passos largos nos últimos anos, e cada vez se descobrem novas formas de a aplicar. Uma das tecnologias emergentes são as ferramentas hápticas, que permitem o sentido de tato em interações humano-computador. São utilizadas de diversas formas e para numerosas áreas, tais como a Medicina, a Acessibilidade e o Design e Prototipagem. Na Medicina, existem simuladores com interfaces e dispositivos hápticos que permitem recriar ambientes de cirurgias. Com isto, os médicos e enfermeiros são capazes de praticar e aprender a fazer cirurgias, algumas menos habituais e até mesmo de alto risco[1]. Na área da Acessibilidade foi realizado um estudo para ajudar pessoas invisuais a terem uma melhor perceção dos temas lecionados em aulas através de feedback háptico[2]. Na área de Design e Prototipagem, os designers podem criar e manipular os seus modelos 3D com recurso ao feedback háptico, permitindo-lhes sentir a forma e a textura dos seus protótipos antes da sua produção física[3].

Embora ainda não seja comum a sua utilização, as ferramentas hápticas têm sido cada vez mais aplicadas nos Videojogos. A Sony, a título de exemplo, aplicou-as nos comandos da sua consola Playstation 5 com gatilhos adaptáveis e com feedback háptico reativo às ações no jogo. Estes fornecem diferentes níveis de força e tensão à medida que se interage com o equipamento e ambientes no jogo, contendo atuadores duplos que substituem os motores de vibração convencionais[4].

1.1 Enquadramento

O objetivo deste relatório é documentar o processo de desenvolvimento de um estudo sobre os impactos da existência de feedback háptico em ambientes imersivos.

Este projeto foi desenvolvido no laboratório do GIG[5], na sala I220 do edifício I da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no âmbito de um Estágio Curricular no INESC TEC.

Uma vez que o feedback háptico é uma área ainda em desenvolvimento e pouco explorada considera-se fundamental este estudo. Como é uma área ainda em crescimento é imprescindível compreender a necessidade de utilização destas ferramentas, se é desejável do ponto de vista do utilizador e qual o seu impacto na experiência do mesmo.

1.2 Objetivos e resultados esperados

O objetivo deste Estágio foi realizar um estudo sobre os impactos da existência de feedback háptico na experiência do utilizador em ambientes imersivos, em particular num jogo desenvolvido durante as semanas de Estágio.

O primeiro objetivo era que fossem comparadas três situações diferentes do mesmo ambiente:

1. Utilizar os controlos normais dos Oculus de Realidade Virtual.

2. Utilizar um dispositivo de interação 3D - Geomagic Touch [6] - sem feedback háptico.
3. Utilizar o mesmo dispositivo, mas com feedback háptico.

Para isto, teria de ser implementado um protótipo de um jogo baseado no jogo "Keep Talking and Nobody Explodes" [7], onde o Geomagic Touch deveria ser utilizado para desarmar o dispositivo explosivo. Assim, o intuito era explorar diferentes tipos de aproximações de jogabilidade e o impacto que podem ter na experiência do utilizador, explorando propriedades físicas e mecânicas dos objetos e os resultados obtidos a interagir com eles.

Devido à dimensão do projeto, considerou-se que seria melhor resumir os testes a apenas uma única situação onde se utilizaria unicamente o dispositivo com feedback háptico avaliando o seu desempenho e o feedback que o utilizador teria ao utilizar o dispositivo num ambiente virtual.

Deste modo, é esperado que os utilizadores tenham uma experiência completamente nova e sejam capazes de decidir e entender se a utilização do dispositivo e do seu feedback é algo que desejam que seja recorrente e se se sentem confortáveis com a sua utilização.

1.3 Estrutura do relatório

Este relatório está separado em 4 capítulos. Num primeiro capítulo têm-se a introdução. Aqui encontra-se o contexto, o enquadramento do projeto desenvolvido e os seus objetivos. No segundo capítulo está a metodologia e atividades desenvolvidas. Nesta parte está documentado o processo de desenvolvimento e também se encontra presente uma listagem dos intervenientes neste estudo. No terceiro capítulo, o desenvolvimento da solução, pode-se encontrar, de forma detalhada, todos os passos desenvolvidos ao longo deste Estágio. Por fim, têm-se a conclusão, onde estão sumariados e discutidos os resultados alcançados e são apresentadas sugestões de melhorias para trabalho futuro.

2 Metodologia utilizada e principais atividades desenvolvidas

2.1 Metodologia utilizada

Para o desenvolvimento deste projeto foi adotada a metodologia de feature-driven development [8]. Para isto, foram realizadas reuniões semanais tendo sido discutidos os progressos e definidos os próximos passos a adotar. Para além disso, foram utilizadas três tecnologias:

- GitHub [9]: Foi criado um repositório no GitHub para uma melhor organização do trabalho, assim como para facilitar o controlo de versões do projeto.

- Discord[10]: Foi mantido o contacto através desta aplicação para uma comunicação mais facilitada. Em situações pontuais foi necessário realizar algumas reuniões online, as quais foram realizadas através do Discord.
- Google Docs[11]: Foi documentado o processo semanal através de um documento partilhado.

2.2 Intervenientes, papéis e responsabilidades

Este projeto foi totalmente desenvolvido apenas pelo estudante, sendo supervisionado semanalmente pelo Tutor da faculdade e pelo Orientador do INESC TEC. Para além disso, 16 voluntários participaram nos testes realizados.

2.3 Atividades desenvolvidas

O processo de desenvolvimento foi marcado por várias reuniões de feedback com os professores, bem como o desenvolvimento de código e dos testes.

Na Figura 1 está apresentado o planeamento do trabalho desenvolvido através do diagrama de Gantt[12].

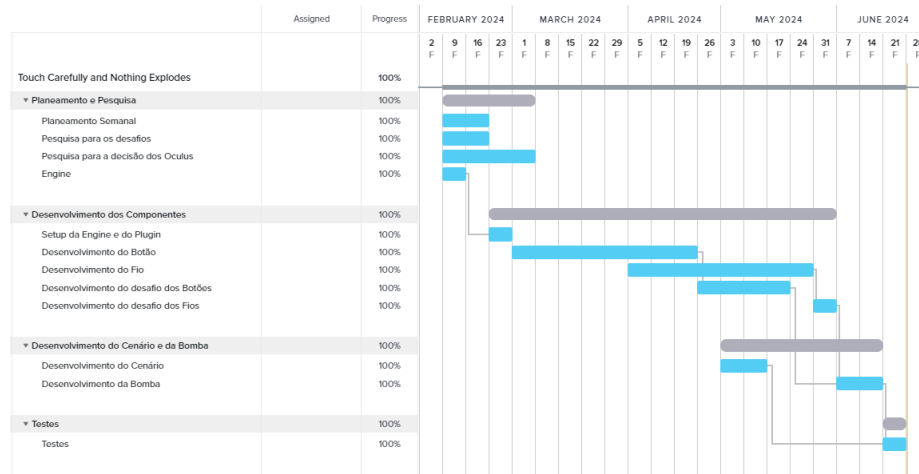


Figura 1: Diagrama de Gantt.

Foi realizada uma pesquisa para os desafios do jogo. Como referido anteriormente, o objetivo deste projeto era de fazer apenas um protótipo ao invés do jogo completo, pelo que foi preciso escolher quais os desafios a adaptar. Numa fase inicial foi ainda necessário decidir qual o motor de jogo, a utilizar. Um motor de jogo, muitas vezes designado como Engine, fornece um ambiente de desenvolvimento para jogos e existem diversos disponíveis. Para decidir qual seria a Engine adequada a utilizar, foi preciso compreender se havia compatibilidade com o pacote de desenvolvimento dos dispositivo háptico, assim como a

existência de integração dos Oculus de Realidade Virtual e qual a sua curva de aprendizagem.

No Desenvolvimento foi preciso configurar a Engine e também os assets. Estes são extensões da Engine que permitiram a integração da Engine com os dispositivos que foram utilizados. Foi ainda realizado um estudo mais intensivo sobre o asset que permitiu a interação com o dispositivo háptico, não só através das cenas disponibilizadas pelo asset, como também através da documentação e do código.

Uma vez configurado, iniciou-se o desenvolvimento do botão. Sendo um componente elementar menos complexo, foi o primeiro a ser desenvolvido. Criou-se um modelo do mesmo em Blender, futuramente colocado na Engine. Foram também desenvolvidos os scripts, código que irá ser utilizado pela Engine para definir comportamentos e ações, que permitiam o contacto com a caneta e que moviam o botão. Por último, foi colocado o feedback háptico no botão.

Seguiu-se o desenvolvimento do fio, para o qual foi feita uma pesquisa para encontrar um asset que facilitasse a criação do mesmo. Uma vez terminada a modulação, foi aplicado o feedback háptico e o script que permitia ao mesmo ser cortado.

De seguida passou-se para o desenvolvimento dos desafios. Para qualquer um destes, o primeiro passo foi decidir as regras para o desafio. No caso do desafio dos fios, como existem duas variantes, a horizontal e a vertical, foi preciso fazer dois conjuntos de regras diferentes. Começando com o desenvolvimento do desafio dos botões, após a decisão das regras, foram desenvolvidos os scripts necessários para a criação da ordem de conclusão do desafio, e foram criados uns componentes de luz para um feedback visual. Ainda no script, foi necessário fazer com que o mesmo reagisse ao movimento dos botões. O desenvolvimento dos desafios dos fios passaram pelo mesmo processo dos botões, porém, sem a componente visual da luz, e devendo reagir ao evento de clicar no botão do dispositivo háptico.

Para o desenvolvimento do cenário, foi feita uma pesquisa para encontrar assets que permitissem uma melhor imersão ao jogador. Depois, tendo decidido o ambiente em que o jogador seria inserido, foi criada uma nova cena e foram colocados os objetos na mesma.

Posteriormente, passou-se para a criação da bomba. Foi colocado na cena uma bomba e adicionados alguns desafios. Depois, foram criadas 3 cenas diferentes, que foram utilizadas nos testes. Por fim, foi adicionado um temporizador à bomba, onde a mesma explode se o tempo chegar a 0.

Com o protótipo totalmente desenvolvido, foram realizados testes com 16 voluntários, e feito um estudo sobre os mesmos para a obtenção de um resultado.

3 Desenvolvimento da solução

3.1 Requisitos

Durante o desenvolvimento do projeto foram definidos alguns requisitos, que permitiram guiar o projeto até uma solução. Estes dividem-se em requisitos funcionais e não funcionais. Os requisitos funcionais descrevem explicitamente as funcionalidades e serviços do sistema, enquanto os não funcionais definem propriedades e restrições do sistema[13].

Requisitos funcionais:

1. Interface do Usuário: o protótipo deve entregar uma interface imersiva que permita ao jogador interagir com o ambiente.
2. Interação com Feedback Háptico: O protótipo deve integrar um dispositivo de feedback háptico que forneça sensações através do tato aos jogadores, de acordo com as suas interações com o sistema.
3. Desarme da Bomba: O sistema deve permitir que o jogador execute ações específicas, tais como cortar fios e pressionar botões para desarmar a bomba.
4. Temporizador: O protótipo deve incluir um temporizador que conte regressivamente indicando o tempo restante para desarmar a bomba.
5. Módulos de Bomba: O protótipo deve ter pelo menos dois tipos diferentes de módulos de bomba que o jogador deve resolver.
6. Indicação de Sucesso/Falha: O sistema deve indicar claramente quando a bomba foi desarmada com sucesso ou quando explodiu devido a um erro ou término do tempo.
7. Suporte a 6DOF: O protótipo deve suportar headsets de VR com 6 graus de liberdade (6DOF) permitindo que os jogadores se movam livremente e interajam com o ambiente virtual de maneira natural e intuitiva.

Requisitos não funcionais:

1. Desempenho: O sistema deve funcionar de forma fluída e responsiva, isto é, sem apresentar um atraso perceptível durante a interação.
2. Usabilidade: O sistema deve ter controlos claros e bem posicionados, de modo que não haja confusão pela parte dos jogadores.
3. Estabilidade: O sistema deve ser estável, sem crashes ou bugs críticos que possam comprometer a experiência do jogador.
4. Precisão do Feedback Háptico: O feedback háptico deve ser preciso e instantâneo, proporcionando uma resposta tátil imediata às ações do jogador.

5. Simplicidade: O sistema deve ser simples de instalar e iniciar com um processo de configuração mínimo.
6. Compatibilidade: O protótipo deve ser compatível com os Oculus de Realidade Virtual e dispositivo de feedback háptico escolhidos para o desenvolvimento.

3.2 Arquitetura e tecnologias

O desenvolvimento deste projeto foi realizado com a presença de várias tecnologias, as quais contribuíram para um sistema conciso e funcional. Abaixo estão detalhadas as principais tecnologias:

- **Dispositivo com feedback háptico: Geomagic Touch**[6]. O dispositivo da 3D Systems, presente na figura 2, foi o dispositivo fornecido pela empresa para ser utilizado no estágio.



Figura 2: Geomagic Touch.

- **Plataforma de Desenvolvimento: Unity**[14]. No início do desenvolvimento foi necessário decidir entre várias Engines qual utilizar. Existem numerosas ferramentas, com diferentes benefícios, no entanto, foram limitadas as escolhas ao Unity e à Unreal Engine[15], sendo as únicas com suporte oficial à ferramenta de feedback háptico. Devido à sua robustez e facilidade de integração, não apenas com o dispositivo, mas especialmente com Realidade Virtual, e à sua curva de aprendizagem mais amigável, foi a plataforma utilizada em todo o projeto.
- **Dispositivo de Realidade Virtual: Oculus Quest 2**[16]. Para decidir qual o dispositivo a utilizar, foi necessário compreender o que era requerido para um protótipo agradável e robusto. Para além disso, um suporte do Unity para o dispositivo também era preferível. Inicialmente, foram escolhidos os Oculus Rift S[17], que se encontravam disponíveis, e que cumpriam os requisitos propostos. No entanto, ao testar, percebeu-se que a ligação do dispositivo ao computador era muito inconsistente, o

que se devia a um problema na conexão com os cabos. Assim, teve de se optar pelos Oculus Quest 2, os quais funcionaram sem dificuldades notáveis. Com a utilização de um asset[18], a conexão com a Engine foi muito facilitada.

- **Asset para feedback háptico: Haptics Direct for Unity** [19]. Para a integração do dispositivo háptico com o Unity, foi necessária a utilização de um asset. Aqui se encontraram as maiores dificuldades ao longo de todo o projeto, visto que a documentação do asset é escassa, não oferecendo uma explicação muito concisa do funcionamento, o que muitas vezes levou a problemas que só foram resolvidos com tentativa e erro. Um caso disso foi um problema com a câmara do jogo, que deve ser colocada a 180º da sua posição quando a cena não está a correr, para poder ficar na posição correta ao correr o protótipo. Para além da escassa documentação, o próprio código está com bastantes comentários de código não utilizado, está principalmente centralizado em um grande script principal, sem qualquer documentação, e é muito pouco legível.
- **Ambiente de programação: Visual Studio Code**[20](VSCode). O Unity utiliza de scripts, que são apresentados na sua interface quando os selecionamos. Entretanto, é necessário um ambiente de desenvolvimento (IDE) para o desenvolvimento dos mesmos. Devido à integração com Unity, à familiaridade com o ambiente e ao excelente suporte para C#[21] (a linguagem utilizada no desenvolvimento) através de duas principais extensões para C#[22] e para o Unity[23] e da package de integração com o Visual Studio em Unity[24], o Visual Studio Code foi selecionado como ambiente de programação. Nesta integração ainda foram encontradas algumas dificuldades: durante o progresso, o IDE deixou de reconhecer o código e quaisquer erros de compilação existentes, devido a um conflito de versões. Para isto, foi necessário reinstalar as extensões, desabilitar o Omnisharp, e voltar a atualizações antigas das mesmas.
- **Modelação de Objetos: Blender**[25]. Nem sempre existem assets que disponham do que é necessário para o desenvolvimento. Por isso, alguns dos objetos utilizados para este projeto foram totalmente modelados no Blender. Este dispõe de uma grande variedade de funcionalidades que permitiram atingir a modulação pretendida dos objetos.

Apresentadas as tecnologias, pode-se concluir qual a arquitetura sob a qual o sistema se rege. Enquanto o Unity recebe inputs do dispositivo háptico, que são interpretados pelo Asset, atualiza a aplicação, enviando através do Asset de realidade virtual a imagem que deve ser apresentada ao utilizador. Apenas isto é necessário para o sistema funcionar. Entretanto, para o processo de desenvolvimento, foi necessário utilizar o IDE, que se conecta através da extensão utilizada com o Unity. A arquitetura do sistema, com as respetivas conexões, encontra-se na Figura 3 abaixo.

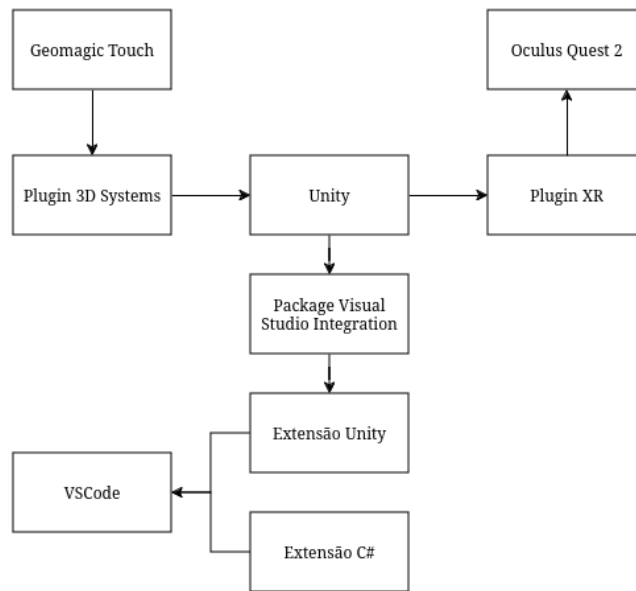


Figura 3: Arquitetura do Sistema.

3.3 Solução desenvolvida

3.3.1 Componentes

Cada componente dos desafios teve a sua implementação própria. O processo da criação foi similar em ambos: modular o componente, fazer o objeto ter colisões e aplicar o material háptico. Apenas após esse processo foram criados os scripts que permitiram o comportamento desejado em cada um deles.

No caso do botão, foi modulado no Blender e exportado para o Unity. Depois, aplicaram-se 3 propriedades, no Unity denominados de **Components**, no objeto: um **RigidBody**, um **MeshCollider** e o **Haptic Material**. Uma vez completado este processo, o botão já estaria pronto para ser detetado pelo dispositivo háptico e já seria possível aplicar o feedback háptico. Visto que o botão é um objeto que deve ser pressionado, foi também necessário criar um script que permitisse a interação com o mesmo. Este script, denominado de **ButtonClicker**, foi desenvolvido para poder detetar as colisões do botão, utilizando apenas as colisões com o dispositivo háptico. Para limitar a movimentação é decidida a posição inicial e final do botão através de limites que foram calculados de acordo com as dimensões do jogo: a posição inicial é a posição do botão no início do jogo e a posição final é a mesma posição, com um deslocamento negativo de 0.5 unidades no eixo Y. Uma vez detetada a colisão correta, o botão passa a estar num estado de pressão e começa a descer, com uma velocidade controlada. Da mesma forma, se o dispositivo deixar de colidir com o botão, este começará a subir com velocidade constante. Já que esta velocidade é constante, o botão, na descida, irá apresentar uma resistência ao ser pressionado, permitindo sentir

a pressão do botão, oferecendo uma experiência mais realista. Para obter um feedback visual, quando o botão é pressionado, é aplicado um material numa luz que está no interior do botão, que muda para a cor verde. Na Figura 4 pode-se verificar a estrutura de um botão e os seus respectivos componentes apresentados na coluna à direita.

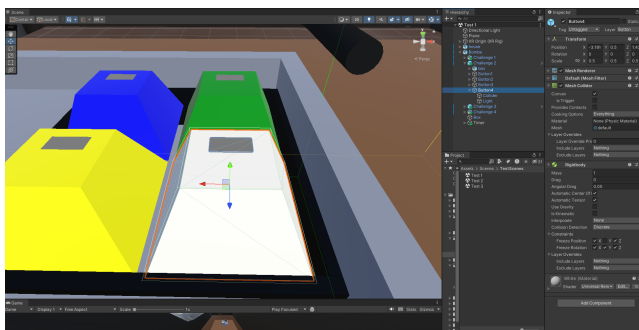


Figura 4: Botão e as suas propriedades.

Por outro lado, para o fio foi utilizado um asset que permitia a criação de fios de forma mais simples[26]. Com alguns clicks foi possível modelar um fio com irregularidades, já no próprio Unity. Embora o asset conseguisse formar um fio visualmente perfeito, os colisores utilizados eram pequenas esferas no centro de cada segmento do fio, o que não permitia uma interação realista com o fio. Ao tentar procurar por um colisor que permitisse uma interação mais realista, o único capaz de cobrir toda a extensão do segmento foi o Box Collider. No entanto, este não permite uma interação realista com o fio, já que não tem a forma de um cilindro. Pode-se verificar esta aproximação na Figura 5, onde os paralelepípedos a branco são os colisores de cada segmento.

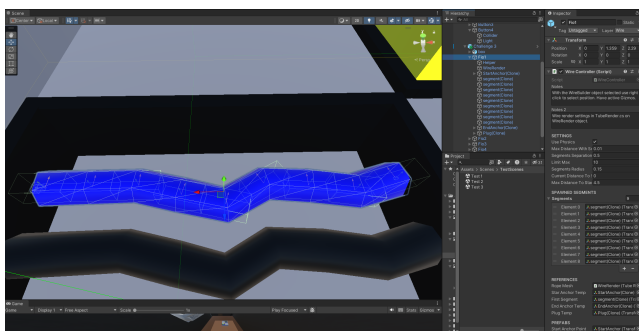


Figura 5: Fio e os Box Colliders.

Isto mostrou-se um inconveniente no desenvolvimento, já que a colisão com o fio acabou por ser prejudicada, mas foi a única solução encontrada. Uma vez decidido o colisor, foram aplicados os mesmos componentes que no botão, exceto

o MeshCollider, que foi substituído pelo Box Collider, permitindo a interação com o fio. Para cortar o fio foi necessário criar um script, CutListener, que detetasse a colisão com o dispositivo háptico, mas que também detetasse que o botão do dispositivo havia sido pressionado. Para detetar a pressão do botão foi utilizada uma variável presente no script do dispositivo háptico, que indicava se o botão estava a ser pressionado. Uma vez detetada a colisão e a pressão do botão, o fio é cortado. Tentou-se ainda aplicar um feedback visual, no qual o segmento do fio cortado desapareceria, mas decidiu-se que era preferível não o fazer, visto que, para um bom desempenho do protótipo, não poderiam existir muitos segmentos e isso faria com que o fio ficasse com uma lacuna muito grande para um pequeno corte.

3.3.2 Desenvolvimento dos Desafios

Como referido anteriormente, foram escolhidos para adaptar 3 tipos de desafios: um desafio com para os botões e dois desafios para os fios, distintos através da disposição dos fios: fios horizontais ou fios verticais. As regras decididas e especificações para estes desafios podem ser encontradas no Anexo A.

Todos os desafios seguiram o mesmo processo de desenvolvimento, estando completamente desenvolvidos em um único script por desafio. Em todos eles foi criado na função **Start** um procedimento que definia a ordem de conclusão do desafio de acordo com as regras. A única mudança entre eles, é a forma como lidam com os seus componentes, no caso, os botões e os fios.

Para o desafio dos botões, a cada **Update** é verificado se algum botão foi pressionado, e se a ordem de pressão foi a correta. Caso a ordem esteja correta, é ativado um evento que acende a luz do botão. Se todos os botões forem pressionados na ordem correta, o desafio é completado. Para o desafio dos fios, se o CutListener detetar que um fio foi cortado, é chamada uma função do script do desafio que verifica se o fio deve ser cortado. Em caso afirmativo, o fio é cortado, e se todos os fios necessários forem cortados, o desafio é completado. Um exemplo de um desafio dos botões encontra-se presente na Figura 6.

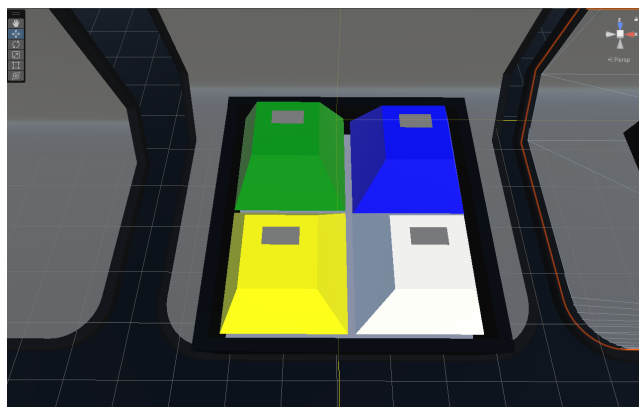


Figura 6: Desafio dos Botões.

Para a modulação dos desafios foi necessário criar um modelo de uma caixa, modulado no Blender, que foi exportado para o Unity. Uma vez na Engine, foi aplicado um material que permitia a interação com o dispositivo háptico, assim como um RigidBody e um MeshCollider. Desta forma, o jogador poderia interagir também com a caixa dos desafios, e não só com os botões e fios.

Uma vez colocados os respectivos componentes dentro da caixa era aplicada na mesma o respetivo script do desafio.

3.3.3 Cenário

Para o cenário foi necessário encontrar assets que permitissem uma melhor imersão do jogador. Para isso, foi feita uma pesquisa e foram encontrados alguns assets que permitiam a criação de um cenário de bomba:

- Simple Garage[27]: Este asset permite a criação de um cenário de garagem, contendo alguns objetos que foram utilizados para a criação do cenário, nomeadamente uma prateleira, um caderno e um ar condicionado.
- Free Wood Door Pack[28]: Este asset contém várias portas de madeira, assim como os seus materiais. Foi utilizada uma porta para a entrada da sala, e foram aproveitados os materiais que simulavam madeira para as paredes da sala, para o chão e para a mesa.

Uma vez escolhidos os assets foi criada uma nova cena e foram colocados os objetos na mesma. Para simular um espaço fechado, já que o utilizador estaria a desarmar uma bomba, foi utilizado o modelo da caixa, com uma rotação de 180° e um escalonamento de 10 vezes nos eixos X e Z, e 5 vezes no eixo Y, para que o jogador se encontrasse dentro da caixa. Para a mesa onde a bomba estaria, foi criado um novo modelo no Blender, no qual foram aplicados os mesmos processos que nos outros modelos. Na Figura 7 encontra-se apresentada a cena final.

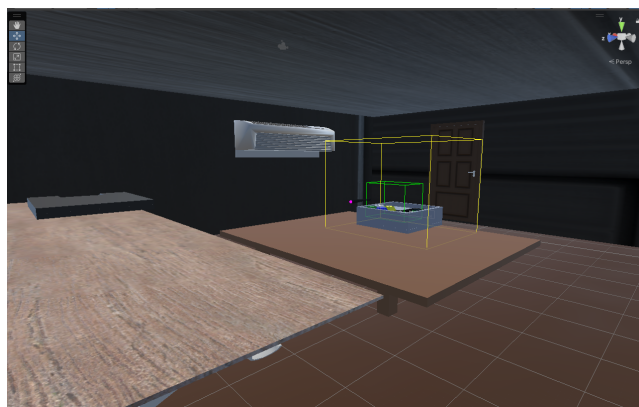


Figura 7: Cena Final.

3.3.4 Bomba e Temporizador

Para a bomba foi também utilizado o modelo da caixa, ao qual foram aplicados os mesmos componentes para obter a interação com o dispositivo háptico.

Para o funcionamento da bomba e do próprio protótipo foi necessário criar um script que reconheça os desafios e verifique constantemente se estão completos. Quando estiverem todos completos a bomba irá ser desarmada. Também neste script, foi criado um método que permite a explosão da bomba. Este método é utilizado pelos desafios para fazer a bomba explodir caso ocorra algum erro na resolução dos desafios.

Como havia a necessidade de um temporizador, foi feita uma pesquisa para encontrar um script que permitisse a contagem decrescente do tempo. Foi encontrado um projeto open-source[29], que permite a contagem decrescente do tempo e a definição do tempo inicial. Uma vez importado para o Unity, foi colocado na caixa da bomba. Como o script não estava preparado para ser utilizado numa bomba foi necessário alterá-lo para que a bomba explodisse quando o tempo chegasse a 0 e para que o tempo parasse se a bomba estivesse desarmada. Um exemplo de uma bomba completa onde podemos verificar como é o temporizador está presente na Figura 8.

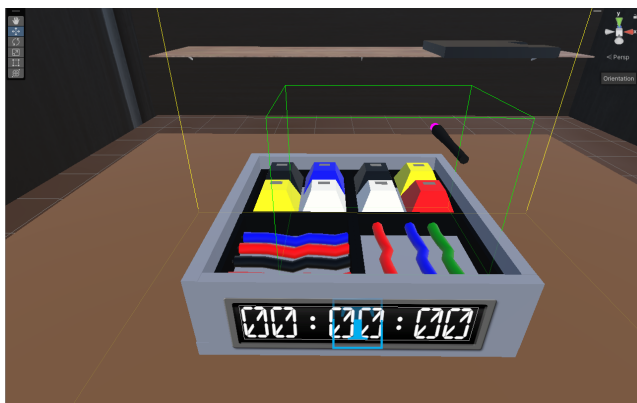


Figura 8: Bomba e Temporizador.

3.4 Validação

3.4.1 Construção dos Testes

Para a validação da solução desenvolvida foram realizados testes com 16 voluntários. Estes testes foram realizados em 3 cenas diferentes, que foram criadas para o efeito.

Inicialmente, foi pedido aos voluntários que preenchessem um formulário com algumas questões sobre a sua experiência com jogos e com dispositivos de Realidade Virtual. Uma vez preenchido o formulário, foi-lhes pedido que passassem por um primeiro nível do jogo, construído na primeira cena, com um desafio de botões e um desafio de fios horizontais, com a duração de 5 minutos. O objetivo deste nível era familiarizar os voluntários com o dispositivo e com o protótipo. Após o primeiro nível, foi-lhes pedido que preenchessem mais uma parte do formulário, com questões sobre a sua experiência com o dispositivo e com o protótipo, e onde os mesmos poderiam fornecer feedback sobre o mesmo. Por fim, foi-lhes pedido que passassem por um segundo nível do jogo, representado na segunda cena, agora com dois desafios de botões, um desafio de fios horizontais e um desafio de fios verticais, em apenas 2 minutos e 30 segundos. Caso falhassem, existia uma segunda tentativa, na terceira cena, com os mesmos tipos de desafios e tempo, mas com variantes diferentes. O objetivo deste nível era fazer os voluntários compreenderem se o feedback háptico era útil e a sua utilização era desejável. Terminado o segundo nível, foi-lhes pedido que preenchessem a parte final do formulário, onde poderiam dar uma vez mais feedback sobre o protótipo, e responder a questões sobre a sua experiência com o mesmo. Também foi questionado aos utilizadores se consideravam que com um comando comum teriam um melhor desempenho. Por fim, foi solicitado para preencherem um System Usability Scale[30], para avaliar a usabilidade do protótipo. As imagens presentes nas Figuras 9, 10 e 11 foram fotografadas durante a execução de alguns destes testes.



Figura 9: Voluntário 1

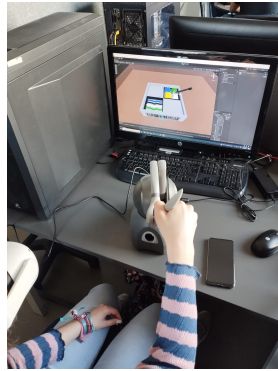


Figura 10: Voluntário 2

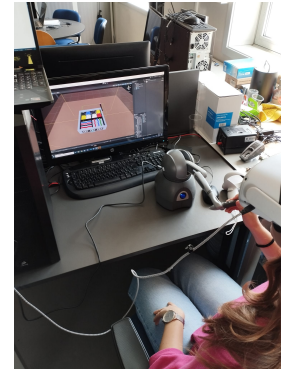


Figura 11: Voluntário 3

3.4.2 Resultados dos Testes

Após a realização dos testes, foi feita uma análise dos resultados obtidos. Ao fazer-se uma média na pergunta sobre a experiência com jogos, obteve-se um valor de 2.75, numa escala de 1 a 5, onde 1 é muito baixa e 5 é muito alta. Isto revela que a maioria dos voluntários tem uma experiência média com jogos, o que é positivo, visto que jogadores mais experientes conseguem sentir mais facilmente a diferença entre um jogo normal e um jogo com feedback háptico. Para além disso, 10 dos voluntários já conheciam ou tinham experimentado o jogo "Keep Talking and Nobody Explodes", o que permite uma comparação entre o protótipo e o jogo original.

O feedback dos níveis foi positivo e todos os voluntários comentaram que o feedback háptico nos botões estava muito realista. Entretanto, foram apontadas algumas críticas, as quais devem ser consideradas. No desafio dos fios, foi apontado que faltava o feedback visual. Além disso, durante a resolução do desafio dos fios horizontais os voluntários ficaram confusos se a ordem de resolução era de cima para baixo ou de baixo para cima. As colisões caneta-objeto, nomeadamente nos cantos dos objetos, foram também apontadas como um incómodo por um dos voluntários que referiu que a os movimentos de transição entre os cantos eram muito bruscos. Isto deve-se ao facto de que os cantos são completamente retos, e a transição entre eles é muito rápida. Num dos testes um dos voluntários referiu que a posição do botão do dispositivo háptico e a posição no mundo virtual poderiam estar mais alinhadas, algo que diminuiu a sua imersividade durante o teste.

De forma geral, todos os voluntários se sentiram confortáveis com a utilização do dispositivo háptico em ambos os testes, como se pode verificar nas Figuras 12 e 13. Apenas um dos voluntários considerou que teria melhor performance com um comando comum.

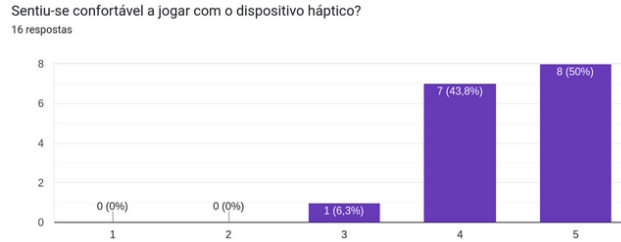


Figura 12: Respostas à pergunta "Sentiu-se confortável a jogar com o dispositivo háptico?".



Figura 13: Respostas à questão "Sente que, se jogasse com um comando normal, teria um desempenho melhor?".

3.4.3 System Usability Scale

O System Usability Score (SUS) é um método de avaliação da usabilidade de um sistema que consiste em 10 afirmações, as quais o utilizador deve avaliar numa uma escala de 1 a 5, sendo 1 discordo completamente e 5 concordo totalmente. Neste método as questões ímpares tem uma conotação positiva, às quais se espera que o utilizador concorde, e as questões pares têm uma conotação negativa, às quais se espera que o utilizador discorde. Assim, para realizar o cálculo do SUS, devemos subtrair 1 valor às respostas das questões ímpares, e subtrair de 5 o valor das respostas das questões pares. Depois, somam-se todos os valores e multiplica-se por 2.5.

$$SUS = ((Q1 - 1) + (5 - Q2) + (Q3 - 1) + (5 - Q4) + (Q5 - 1) + (5 - Q6) + (Q7 - 1) + (5 - Q8) + (Q9 - 1) + (5 - Q10)) * 2.5$$

Com este cálculo, obtém-se um valor entre 0 e 100, onde 0 é a pior avaliação possível e 100 é a melhor avaliação possível. Para se avaliar o resultado, deve-se ter em conta que a média do SUS é de 68, o que faz um sistema com um valor acima de 68 ser considerado acima da média. Foi seguida a fórmula para cada um dos voluntários e, após o calculo da média, obteve-se um valor de 84.07, o que indica que o protótipo desenvolvido é acima da média em termos de usabilidade.

No Anexo B pode-se encontrar as respostas a cada pergunta do SUS, à qual já está aplicado a subtração necessária. Nas últimas duas colunas, estão

presentes a soma das repostas e os valores após a multiplicação por 2.5. No final, podemos verificar o valor médio do SUS.

4 Conclusões

4.1 Resultados alcançados

Após a realização dos testes pode perceber-se que o feedback háptico foi bem recebido pelos voluntários, já que os mesmos consideraram o sistema realista e bastante imersivo. É possível compreender também que a utilização do feedback háptico é desejado pelos jogadores visto que, no geral, os voluntários gostariam de utilizar mais vezes o sistema desenvolvido.

No final deste Estágio conclui-se que o feedback háptico é uma ferramenta muito útil para a criação de ambientes virtuais mais imersivos e realistas do que os que não contêm este feedback, e que a sua utilização é desejada pelos jogadores. Ainda assim, é necessário ter em conta que a utilização do feedback háptico pode ser prejudicada por uma implementação incorreta, como foi o caso do feedback visual nos fios, que foi apontado como uma falha no protótipo.

Conclui-se também que os objetivos propostos foram alcançados. Foi desenvolvido um protótipo de um jogo de Realidade Virtual que permitia ao jogador desarmar uma bomba, utilizando um dispositivo háptico. Foram também realizados testes com 16 voluntários o que permitiu compreender o impacto do feedback háptico em ambientes virtuais.

4.2 Lições aprendidas

Durante o desenvolvimento deste projeto foram aprendidas várias lições, que permitiram compreender melhor o desenvolvimento de jogos de Realidade Virtual e a utilização de feedback háptico.

A primeira lição aprendida advém principalmente do planeamento do projeto. No início, com a falta de experiência, não foi feito um planeamento correto, o que levou a atrasos no desenvolvimento do projeto. A falta de conhecimento sobre as ferramentas utilizadas e a incapacidade de prever problemas que poderiam surgir, levou a que o desenvolvimento do projeto fosse mais lento do que o esperado, e que o protótipo final não fosse tão completo como o esperado.

Outra lição aprendida foi a importância da documentação. A falta de documentação do asset utilizado para o feedback háptico levou a problemas que poderiam ter sido evitados se a documentação fosse mais completa.

A utilização do dispositivo háptico e o seu impacto numa jogabilidade completamente nova foi também forneceu uma lição importante, ligada diretamente aos objetivos de aprendizagem. Em ambientes virtuais, a imersividade é um fator muito importante, visto que é o que permite ao utilizador sentir-se dentro do mesmo. A utilização do feedback háptico permitiu compreender que há uma grande diferença entre um ambiente virtual sem feedback háptico e um ambiente virtual com feedback háptico e que, tendencialmente, os utilizadores preferem a

segunda opção. Por fim, e a mais importante, foi a importância da experiência do utilizador, e a necessidade de testar o protótipo com utilizadores reais. A realização dos testes permitiu compreender o impacto do feedback háptico e as falhas do protótipo, que não teriam sido percebidas sem a realização dos testes. A escolha da implementação do fio, por exemplo, foi uma decisão considerada correta pela parte do desenvolvedor, mas que foi apontada como uma falha pelos voluntários.

4.3 Trabalho futuro

Apesar de terem sido alcançados os objetivos propostos, existem várias melhorias que podem ser feitas no protótipo desenvolvido, para poder torná-lo mais completo e imersivo, e ser novamente testado com utilizadores.

Uma das melhorias que podem ser feitas é a implementação de um feedback visual nos fios, que foi apontado como uma falha no protótipo. A implementação de um feedback visual permitiria ao jogador perceber melhor o que está a fazer e tornaria o protótipo mais completo e imersivo. Para isto, seria necessário alterar o modelo dos fios, uma vez que o modelo atual entregaria um feedback visual indesejado. Outra melhoria que pode ser feita é a implementação de um feedback visual ao nível dos desafios, que mostre quando um desafio foi completado com sucesso. Isto tornaria o protótipo mais imersivo e o jogador poderia perceber melhor o que está a fazer. Poderia também ser implementado som ambiente, principalmente para a explosão da bomba e para o temporizador, já que seria aplicada uma pressão adicional ao jogador, tornando o protótipo mais realista. Por fim, poderiam ser implementados novos desafios e novos níveis, que fornecessem novas experiências hápticas aos jogadores, onde os mesmos pudessem explorar as capacidades do dispositivo háptico e consolidar a sua experiência e opinião sobre o mesmo.

Referências

- [1] A Loisillier, A Granados, A Barrow, and F Bello. Thimble end effector for palpation skills training. pages 86–96. SPRINGER INT PUBLISHING AG, 2016.
- [2] Patricia Estivalet and Eliseo Reategui. Percepção de estudantes cegos sobre características geométricas 3d utilizando sistemas hápticos. *RENOTE*, 17:164–172, 07 2019.
- [3] Christopher Michael Jason Cox, Ben Hicks, James Gopsill, and Chris Snider. From haptic interaction to design insight: An empirical comparison of commercial hand-tracking technology. *Proceedings of the Design Society*, 3:1965–1974, 2023.
- [4] Playstation. <https://www.playstation.com/pt-pt/accessories/dualsense-wireless-controller/>. [Online; acedido a 20 de junho de 2024].

- [5] <https://web.fe.up.pt/~gig/site/about.html>.
- [6] 3D Systems. Geomagic touch. <https://www.3dsystems.com/haptics-devices/geomagic-touch>. Online; acedido 21 de junho de 2024.
- [7] Steel Crate Games. Keep talking and nobody explodes. <https://keeptalkinggame.com/>, 2015.
- [8] Mihai Liviu Despa. Comparative study on software development methodologies. *Database Systems Journal*, 5(3):37–56, 2014.
- [9] GitHub Inc. Github. <https://github.com/>. [Online; acedido 21 de junho de 2024].
- [10] Discord Inc. Discord - a new way to chat with your communities and friends. <https://discord.com/>. Online; acedido 21 de junho de 2024.
- [11] Google. Google docs - online document editor. <https://docs.google.com/>. Online; acedido 21 de junho de 2024.
- [12] wikipedia. Gantt chart. https://en.wikipedia.org/wiki/Gantt_chart. [Online; acedido 10 de junho de 2024].
- [13] Eduardo Figueiredo. Requisitos funcionais e requisitos não funcionais. *Iccex, Dcc/Ufmg*, 2011.
- [14] Unity Technologies. Unity real-time development platform. <https://unity.com/>. [Online; acedido 21 de junho de 2024].
- [15] Epic Games. Unreal engine - real-time 3d creation tool. <https://www.unrealengine.com/>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [16] Inc. Meta Platforms. Oculus quest 2 - advanced all-in-one virtual reality headset. <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [17] Inc. Meta Platforms. Oculus rift s - pc-powered vr gaming headset. <https://www.meta.com/rift-s/>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [18] Unity Technologies. Unity xr plugin framework. <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html>. Online; acedido 21 de junho de 2024.
- [19] Haptics Direct. Haptics direct for unity v1. <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/haptics-direct-for-unity-v1-197034>. Online; acedido 24 de fevereiro de 2024.
- [20] Microsoft. Visual studio code - code editing. redefined. <https://code.visualstudio.com/>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [21] Microsoft. C# programming language. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>. Online; acedido 25 de junho de 2024.

- [22] Microsoft. C# for visual studio code (powered by omnisharp). <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-dotnettools.cssharp>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [23] Unity Technologies. Visual studio code editor. <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=Unity.unity-debug>. Online; acedido 25 de junho de 2024.
- [24] Unity Technologies. Visual studio integration with unity. <https://docs.unity3d.com/Manual/VisualStudioIntegration.html>. Online; acedido 51 de junho de 2024.
- [25] Blender Foundation. Blender - a 3d modelling and rendering software. <https://www.blender.org/>. Online; acedido 21 de junho de 2024.
- [26] Gingersauce. Wirebuilder 1.0. <https://www.patreon.com/posts/wirebuilder-1-0-77014259>, 2023. Online; acedido 26 de junho de 2024.
- [27] Unity Technologies. Simple garage. <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/interior/simple-garage-197251>. Online; acedido 26 de junho de 2024.
- [28] Unity Technologies. Free wood door pack. <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/interior/free-wood-door-pack-280509>. Online; acedido 26 de junho de 2024.
- [29] Comp3 Interactive. Unity timer project. https://github.com/Comp3interactive/Unity_TimerProject. Online; acedido em 27 de junho de 2024.
- [30] James R. Lewis. The system usability scale: Past, present, and future. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(7):577–590, 2018.

A Manual de desarmamento da bomba

Manual de Desarmamento de Bombas

Para o uso em situações de desarmamento de bombas. Siga as instruções cuidadosamente para garantir a segurança e sucesso na missão.

1. Desafio dos Fios Horizontais

Regras para desarmar os fios horizontais:

Instruções Gerais:

- Há sempre 4 fios dispostos horizontalmente.
- Apenas um fio deve ser cortado.

Regras:

1. **Se houver exatamente um fio vermelho:**
 - Corte o último fio, se o último fio não for vermelho.
 - Caso contrário, corte o primeiro fio.
2. **Se houver mais de um fio azul:**
 - Corte o segundo fio azul na sequência.
3. **Se houver exatamente um fio amarelo:**
 - Corte o segundo fio se for verde ou azul.
 - Caso contrário, corte o terceiro fio.
4. **Se não houver fios pretos:**
 - Corte o terceiro fio.
5. **Se o último fio for branco:**
 - Corte o primeiro fio se o segundo fio for vermelho.
 - Caso contrário, corte o último fio.
6. **Se houver exatamente dois fios verdes:**
 - Corte o primeiro fio verde.
7. **Se todos os fios forem da mesma cor:**
 - Corte o terceiro fio.
8. **Se os dois primeiros fios forem da mesma cor:**
 - Corte o segundo fio.

9. Se o último fio for vermelho:

- Corte o terceiro fio.

10. Senão:

- Corte o primeiro fio.

Exemplo de Fios Horizontais:

- **Sequência de Fios:** vermelho, azul, verde, branco
- **Regra Aplicada:** Se houver um fio vermelho, corte o último fio, se o último fio não for vermelho.
- **Ação:** Corte o fio branco (quarto fio).

2. Desafio dos Fios Verticais

Regras para desarmar os fios verticais:

Instruções Gerais:

- Os fios são dispostos verticalmente.
- O jogador deve decidir se deve cortar ou não cada fio com base na cor.

Regras:

1. Fio Vermelho:

- Corte o fio se houver um número ímpar de fios no total.

2. Fio Azul:

- Corte o fio se for o terceiro fio na sequência.

3. Fio Verde:

- Não corte o fio se houver mais de dois fios vermelhos.

4. Fio Amarelo:

- Corte o fio se o número total de fios for múltiplo de 3.

5. Fio Branco:

- Não corte o fio se houver mais fios brancos do que fios azuis.

6. Fio Preto:

- Corte o fio se não houver nenhum fio amarelo na sequência.

Exemplo de Fios Verticais:

- **Sequência de Fios:** vermelho, verde, azul, vermelho, branco, branco
- **Regra Aplicadas:** Fios Vermelhos - Não corte, uma vez que há 6 fios (número par).
Fio verde - Corte, porque só há dois fios vermelhos.
Fio azul - Corte, uma vez que é o terceiro fio.
Fios brancos - Não corte, uma vez que há dois fios brancos mas apenas 1 fio azul.
- **Ação(em ordem de fios):** Não corte, Corte, Corte, Não corte, Não corte, Não corte.

3. Desafio dos Botões

Regras para identificar e pressionar os botões corretamente:

Instruções Gerais:

- Identifique a regra aplicável para seguir a ordem correta em que deve pressionar os botões.
- A ordem padrão: topo-esquerda, topo-direita, baixo-esquerda, baixo-direita.
- Se a regra aplicável seguir uma ordem de cores e não de posições, e existirem dois botões da mesma cor, deve pressionar os mesmos pela ordem em que aparecem na ordem padrão.

Regras:

1. Se houver um botão vermelho:

- Pressione os botões na seguinte ordem: topo-direita, topo-esquerda, baixo-esquerda, baixo-direita.

2. Se houver um botão preto no canto superior esquerdo:

- Pressione os botões na seguinte ordem: Preto, Verde, Branco, Vermelho, Amarelo, Azul.

3. Se houver um botão amarelo no canto inferior direito:

- Pressione os botões na seguinte ordem: baixo-esquerda, baixo-direita, topo-direita, topo-esquerda.

4. Se houver um botão branco no canto superior direito:

- Pressione os botões na seguinte ordem: Vermelho, Preto, Branco, Azul, Verde, Amarelo.

5. Se houver um botão preto no canto inferior esquerdo:

- Pressione os botões na seguinte ordem: Verde, Amarelo, Preto, Vermelho, Azul, Branco.

6. Se nenhuma das regras acima se aplicar:

- Pressione os botões na ordem padrão.

Exemplo de Botões:

- Posição dos Botões:

- Topo-Esquerda: Preto
- Topo-Direita: Vermelho
- Baixo-Esquerda: Verde
- Baixo-Direita: Amarelo

- **Regra Aplicada:** Se houver um botão vermelho, pressione os botões na seguinte ordem: topo-direita, topo-esquerda, baixo-esquerda, baixo-direita.

- **Ação:** Pressione os botões na ordem: Vermelho (topo-direita), Preto (topo-esquerda), Verde (baixo-esquerda), Amarelo (baixo-direita).

Lembre-se de seguir as instruções cuidadosamente para desarmar a bomba com segurança. Boa sorte!

B Respostas ao SUS e Cálculos

Ocorrência de pagar mais por Adotar o sistema deenvio Adotar o sistema deedu de Aceito que precisa de Adotar que as várias func Adotar que o sistema que Aceito que as pessoas Adotar o sistema ataguih Ser-me conforme a util Precisa de aprender mu Score														Final Score	
4	4	3	4	4	4	2	3	3	3	4	2	4	4	36	87,5
4	4	1	3	3	0	4	4	3	3	2	4	3	0	20	49,0
4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	30	82,5
4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	35	87,5
2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	32	80
2	4	3	3	3	2	4	4	4	3	2	4	1	1	26	70
4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	36	95
4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	1	4	3	3	34	85
3	4	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	36	95
3	4	4	3	3	2	4	4	4	4	3	4	4	4	31	77,5
4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	36	95
4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	37	92,5
2	4	4	4	3	4	4	4	4	2	4	4	3	4	33	82,5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
4	4	3	4	3	4	3	2	3	3	4	4	3	4	32	80
4	4	4	4	4	2	4	4	3	4	3	3	3	3	34	85
Média de Scores															84,0625