

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Biofeedback Augmented Gameplay

**Criação de Uma Framework para o Desenvolvimento de
Mecanismos de Interação Fisiológica em Videojogos Comerciais**

David de Oliveira Rego



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Rui Rodrigues (Professor)
Co-Orientador: Pedro Nogueira (Mestre)

Julho de 2014

© David Rego, 2014

Biofeedback Augmented Gameplay

**Criação de Uma Framework para o Desenvolvimento de Mecanismos de Interação
Fisiológica em Videojogos Comerciais**

David de Oliveira Rego

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: António Augusto de Sousa (Professor)

Vogal Externo: Pedro Moreira (Professor)

Orientador: Rui Pedro Amaral Rodrigues (Professor)

25 de Julho de 2014

Resumo

Desde que os videogames foram criados, o modo como o utilizador interage com os mesmos teve uma evolução reduzida. Os controladores tradicionais (teclado/rato) criam uma barreira física e emocional entre o videogame e o utilizador, e com isso, podem originar uma experiência de jogo pouco imersiva e pouco ativa.

No entanto, nos últimos anos houve um crescente interesse em criar novos mecanismos na procura de alargar a forma como jogamos os videogames, tais como os mecanismos de interação natural. Mesmo que estes novos mecanismos tragam novas experiências aos utilizadores, não resolvem o problema da barreira física e emocional, porque ignoram conceitos tais como a emoção do utilizador, entre outros. É então aqui que entra o conceito de *biofeedback*, que representa a interação fisiológica entre um jogador e o videogame.

Com o objetivo de ultrapassar estas limitações e tornar o utilizador uma parte integrante do videogame, foi concebido este projeto, que visa criar uma *framework* que implemente mecanismos de *biofeedback*. Esta *framework* tem o objetivo de receber, tratar e mapear os dados fisiológicos do utilizador nos controladores de jogo, de forma a criar uma experiência de jogo imersiva. Após a criação dessa ferramenta, procurou-se também analisar o impacto que estes mecanismos têm na experiência de jogo dos utilizadores, através de um caso de estudo realizado com 15 participantes.

A *framework* desenvolvida ajuda à criação de vários controladores de jogo que não estão restringidos a nenhum videogame em particular e contêm mecânicas de *biofeedback* que podem ser personalizadas pelo utilizador final. Com recurso a essa mesma *framework* foi realizado um caso de estudo que consistiu em comparar dois cenários diferentes de interação com o videogame: um dos cenários recorria a mecanismos tradicionais, enquanto o outro recorria a mecanismos de *biofeedback*. Cada participante jogava os dois cenários e no fim respondia a um conjunto de questionários de forma a avaliar o seu feedback.

Por fim, todos os dados dos questionários foram tratados através de um teste estatístico de forma a poder concluir se de facto há diferenças estatisticamente significativas entre o uso destas mecânicas de *biofeedback* e as mecânicas tradicionais na melhoria da experiência de jogo, e os resultados obtidos foram bastante positivos, com o cenário de *biofeedback* a ser o que mais agradou à maioria dos participantes. É possível então concluir que a entrada destes novos mecanismos no mercado num futuro próximo será recebida com bastante entusiasmo.

Abstract

Since the creation of video games, the way the user interacts with them hardly changed. The traditional controllers (keyboard / mouse) create a physical and emotional barrier between the videogame and the user, and thus, it can yield a less active and consequently less immersive gaming experience.

However, in recent years there has been a growing interest in creating new mechanisms in seeking to extend the way we play video games, such as the mechanisms of natural interaction. Even though these new mechanisms bring new experiences to users, do not solve the problem of physical and emotional barrier, because they ignore concepts such as the emotion of the user, among others. It then here comes that the concept of biofeedback, which is the physiological interaction between a player and videogame.

In order to correct these limitations and make the user an integral part of the video game, this project was conceived, which aims to create a framework that implements biofeedback mechanisms. This framework is designed to receive, process and map the physiological data from the user in game controllers, in order to create an immersive gaming experience. After the creation of this tool, we also tried to analyze the impact that these mechanisms have on the gameplay experience of users through a case study with 15 participants.

The framework developed helps to create various game controllers which are not restricted to any particular video game and contain biofeedback mechanics that can be customized by the end user. With the use of this framework was conducted a case study which compared two different ways of interaction with the video game, one of the scenarios resorted to traditional mechanisms, while the other resorted to biofeedback mechanisms. Each participant played the two scenarios and then answered a set of questionnaires to assess their feedback.

Finally, all data from the questionnaires were processed through a statistical test in order to be able to conclude if there is statistically significant differences between the use of these biofeedback mechanics and traditional mechanics in improving the game experience, and the results were very positive, with the backdrop of biofeedback to be the most appreciated by the majority of the participants. We can then conclude that the entry of these new mechanisms on the market in the near future will be received with great enthusiasm.

Agradecimentos

Primeiro que tudo, quero agradecer aos meus orientadores Professor Rui Rodrigues e Pedro Nogueira por me terem selecionado para este projeto bastante encorajador, e por terem estado sempre disponíveis para ajudar a ultrapassar as adversidades que iam aparecendo pelo caminho. Segundo, agradecer à minha família por todo o apoio ao longo destes anos e por estar lá em todos os momentos maus e bons, é com toda a certeza graças a eles que cheguei ao fim destes 5 anos de muito trabalho. Por último, aos meus companheiros de curso, que fizeram tudo o que lhes competia enquanto colegas, mas essencialmente enquanto amigos, cada um com a sua maneira de ser, e sempre disponíveis a ajudar fora e dentro do curso. Posso dizer que me sinto realizado por ter chegado a este momento, mas não quero parar por aqui, porque estamos sempre a evoluir a cada dia que passa.

David de Oliveira Rego

“On a given day, a given circumstance, you think you have a limit. And you then go for this limit and you touch this limit, and you think, 'Okay, this is the limit.' As soon as you touch this limit, something happens and you suddenly can go a little bit further. With your mind power, your determination, your instinct, and the experience as well, you can fly very high.”

Ayrton Senna

Conteúdo

1 Introdução.....	1
1.1 Motivação e Objetivos	2
1.2 Estrutura da Dissertação.....	2
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 <i>Biofeedback</i> : o que é?.....	4
2.2 <i>Biofeedback</i> em videojogos.....	4
2.2.1 <i>Feedback</i> afetivo	5
2.2.2 Investigação em <i>biofeedback</i> em videojogos	6
2.2.3 <i>Biofeedback</i> direto vs <i>Biofeedback</i> indireto	8
2.3 Sensores	9
2.3.1 Eletroencefalografia (EEG).....	9
2.3.2 Eletromiografia (EMG).....	10
2.3.3 Eletrocardiografia (ECG).....	11
2.3.4 Respiração.....	12
2.3.5 Sudação da pele.....	13
2.3.6 Temperatura	14
2.3.7 Pressão sanguínea	15
2.4 Considerações finais.....	16
3 <i>Biofeedback Augmented Gameplay: Framework</i>	17
3.1 Especificação da <i>Framework</i>	17
3.1.1 Configuração	17
3.1.2 Calibração	18
3.1.3 Utilização	19
3.2 Arquitetura do sistema	20
3.3 Considerações finais.....	21
4 Implementação da <i>Framework</i>.....	23
4.1 Tecnologias usadas.....	23
4.2 Descrição da implementação.....	24
4.2.1 Configuração.....	24

4.2.2 Calibração	29
4.2.3 Utilização	30
5 Caso de Estudo	32
5.1 Fluxo do protocolo experimental	32
5.2 Participantes	34
5.3 Ambiente de teste	35
5.4 O videogame: <i>Dark Souls</i>	35
5.5 Mecânicas implementadas	36
5.5.1 Defender	37
5.5.2 Atacar	38
5.5.3 Correr	40
5.5.4 Curar	41
5.6 Considerações finais	42
6 Análise de Resultados.....	43
6.1 Questionário I – Mecânicas de Jogo	43
6.1.1 Divertimento	44
6.1.2 Facilidade de Uso	45
6.1.3 Originalidade	46
6.2 Questionário II – IMI	46
6.3 Questionário III – Experiência de jogo	48
6.4 Discussão de resultados	50
6.4.1 Aceitação dos novos mecanismos	50
6.4.2 Impacto na experiência de jogo	50
6.4.3 Limitações	51
7 Conclusões.....	53
7.1 Satisfação dos objetivos	53
7.2 Trabalho futuro	54
Referências.....	55
Anexo A - Questionário I – Mecânicas de Jogo.	59
A.1 Fun	59
A.2 Ease of Use	60
A.3 Originality	61
Anexo B - Questionário II – IMI.....	62
B.1 Interest / Enjoyment	62
B.2 Perceived Competence	63
B.3 Effort / Importance	64
B.4 Pressure / Tension	65

B.5 Value / Usefulness.....	66
B.6 Relatedness.....	67
Anexo C - Questionário III – Experiência de jogo	68
C.1 Fun.....	68
C.2 Playability.....	68
C.3 Preference.....	68

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de sensor EEG.	9
Figura 2 - Exemplo de sensor EMG.	10
Figura 3 - Exemplo de sensor ECG.	11
Figura 4 - Exemplo de sensor de respiração.	12
Figura 5 - Exemplo de sensor de sudação da pele.	13
Figura 6 - Exemplo de um sensor de temperatura.	14
Figura 7 - Exemplo de um sensor de pressão sanguínea.	15
Figura 8 - Fluxo de interação com o utilizador.	19
Figura 9 - Arquitetura do sistema.	20
Figura 10 - Janela de criação de novo controlador.	25
Figura 11 - Janela de criação de nova <i>feature</i> .	26
Figura 12 - Exemplo de <i>feature</i> criada.	28
Figura 13 - Janela inicial da <i>framework</i> .	29
Figura 14 - Janela de calibração.	30
Figura 15 - Fluxo do protocolo experimental.	34
Figura 16 - O videojogo <i>Dark Souls</i> .	35
Figura 17 - Exemplo da ação "Defender" no videojogo.	37
Figura 18 - Exemplo da ação "Atacar" no videojogo.	38
Figura 19 - Exemplo da ação "Correr" no videojogo.	40
Figura 20 - Exemplo da ação "Curar" no videojogo.	41

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Mecânicas implementadas.	36
Tabela 2 – Especificação da mecânica “Defender”.	37
Tabela 3 – Especificação da mecânica “Ataque normal”.	39
Tabela 4 – Especificação da mecânica “Ataque forte”.	39
Tabela 5 – Especificação da mecânica “Correr”.	40
Tabela 6 – Especificação da mecânica “Curar”.	41
Tabela 7 - Resultados da componente "Divertimento" do Questionário I.	44
Tabela 8 - Resultados da componente "Facilidade de Uso" do Questionário I.	45
Tabela 9 - Resultados da componente "Originalidade" do Questionário I.	46
Tabela 10 - Resultados do Questionário II.	47
Tabela 11 - Resultados do Questionário III.	49

Abreviaturas e Símbolos

EEG	Eletroencefalografia
ECG	Eletrocardiografia
EMG	Eletromiografia
IMI	<i>Intrinsic Motivation Inventory</i>
RPG	<i>Role Playing Game</i>
FPS	<i>First Person Shooter</i>
MOBA	<i>Multiplayer online battle arena</i>

Capítulo 1

Introdução

O conceito de videogame surgiu no final dos anos 50, numa época em que os computadores tinham elevado custo e eram apenas usados por grandes organizações, o que tornava difícil a investigação nessa área. Nessa altura não passavam de experiências e simulações do âmbito científico e até mesmo militar, contudo em 1958, o físico William Higinbotham decidiu levar uma dessas experiências para um outro propósito, que viria a ser, cerca de 20 anos mais tarde, o grande objetivo dos videogames: entreter o utilizador. Designado de “*Tennis for Two*”, consistia num simples jogo de ténis com dois controladores, transmitido através do ecrã de um osciloscópio, e teve como propósito animar os visitantes do laboratório de Brookhaven [\[BNL\]](#).

Desde então, houve uma grande evolução das capacidades computacionais e gráficas do videogame, que originou um aumento do realismo gráfico, na tentativa de aproximar o seu ambiente e personagens ao mundo real. Por outro lado, no que toca à interação entre utilizador e videogame até há alguns anos atrás, a evolução foi reduzida, e a principal aposta continuam a ser os controladores tradicionais (como por exemplo, o teclado, o rato ou o comando).

Contudo, esta tendência tem-se alterado nos últimos anos, uma vez que houve um crescente interesse em procurar novas formas de interação de forma a melhorar a experiência do utilizador, como por exemplo através introdução no mercado de dispositivos como o *Wii Remote* ou a *Microsoft Kinect*, que têm como objetivo substituir os controladores tradicionais. Noutros casos, surgiram mecanismos específicos com o objetivo de expandir novas formas de interagir com o videogame, como por exemplo os volantes ou instrumentos musicais.

Embora a forma de interagir com o videogame esteja a ser alargada, continua a existir uma espécie de barreira física e emocional entre utilizador e videogame, isto é, qualquer que seja o impacto que o videogame tenha no utilizador, este só consegue responder através do controlador, enquanto aspetos como a emoção do utilizador e o seu estado físico são ignorados. Assim, um dos problemas que se enfrentam hoje em dia resume-se à falta de uma experiência de jogo mais ativa e imersiva.

Introdução

1.1 Motivação e Objetivos

A empresa de videogames Valve tem demonstrado algum descontentamento em relação à falta de inovação sobre novos mecanismos de interação, como reportam nesta entrevista [IGN12]:

“We’re frustrated by the lack of innovation in the computer hardware space though, so we’re jumping in. (...) Even basic input, the keyboard and mouse, haven’t really changed in any meaningful way over the years (...) There’s a real void in the marketplace, and opportunities to create compelling user experiences are being overlooked.”

No entanto, a recente massificação e baixo custo dos sensores fisiológicos tem levado a que grandes empresas invistam no estudo de novos mecanismos de interação com base nestes sensores. Esses novos mecanismos recorrem a processos de *biofeedback*, que usam leituras fisiológicas para manipular ou alterar o estado de um processo ou experiência, neste caso, videogames.

É a partir destes dois pontos que nasce a motivação deste projeto, que tem como objetivos principais:

- Criar uma ferramenta para a rápida prototipagem e experimentação deste tipo de mecanismos, que permite a interligação de dados provenientes dos sensores fisiológicos com o videogame, ao simular ações dos controladores de jogo.
- Estudar o impacto destes novos mecanismos na experiência do utilizador.

A incorporação de sensores em videogames pode resultar num maior envolvimento entre o utilizador e o videogame. Ao transportar dados fisiológicos do utilizador para o videogame, espera-se que a barreira entre o real e o virtual fique mais ténue do que tem sido com os controladores tradicionais, e com isso pretende-se que a experiência de jogo dos utilizadores melhore e se torne mais imersiva.

1.2 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, este documento contém mais 6 capítulos. No capítulo 2, é descrito o estado da arte e são apresentados trabalhos relacionados. No capítulo 3, é descrita a *framework* desenvolvida. No capítulo 4, é descrita a implementação da *framework* e a tecnologia usada. No capítulo 5, é descrito o caso de estudo usado para validar a *framework*. No capítulo 6, é descrita uma análise de resultados do caso de estudo realizado e posterior discussão dos mesmos. Por fim, no capítulo 7 são apresentadas conclusões sobre o trabalho desenvolvido e uma perspetiva de trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O presente capítulo fornece uma breve introdução ao conceito de *biofeedback*, e uma investigação sobre trabalhos realizados na área do *biofeedback* em videojogos. Este estudo tem especial importância, sobretudo porque a partir da informação retirada é possível fazer um melhor levantamento, não só de pontos fortes onde este projeto pode apostar, mas também de questões não desenvolvidas por outros trabalhos, de forma a tornar este projeto inovador e mais completo.

Em primeiro lugar, é importante explorar de uma forma abrangente que tipos de *biofeedback* proporcionam uma experiência de jogo melhor, e por outro lado, qual é a complexidade de os implementar em videojogos comerciais. Após ter uma conclusão bem fundamentada sobre qual o melhor mecanismo a adotar, é necessário investigar informação sobre as ferramentas necessárias, neste caso, os sensores utilizados neste tipo de mecanismos. Uma vez que diferentes sensores estão relacionados com diferentes tipos de *biofeedback*, é necessário fazer um levantamento dos sensores mais relevantes a adicionar ao projeto, ou seja, quais se adequam melhor aos videojogos comerciais.

Numa segunda fase, e após ter um leque concreto de sensores fisiológicos a utilizar, é necessário explorar como os ligar ao videojogo, isto é, de que forma podem ser mapeados no controlador. Isto é feito com a ajuda de um estudo sobre as funcionalidades que os videojogos possuem, como por exemplo, quais as ações que o personagem é capaz de fazer, e a partir daí construir um conjunto de cenários de ligação entre os sinais dos sensores e uma ação no videojogo.

Posto isto, com as conclusões que se atingiu com este estudo, foi possível dar-se início à próxima fase do plano de trabalho.

2.1 *Biofeedback*: o que é?

Ao longo dos anos 60, vários estudos no campo da psicofisiologia e da medicina comportamental, divergiam quanto à noção de que os seres humanos eram capazes de exercer influência consciente sobre a fisiologia aparentemente inconsciente. A partir daí, toda a investigação feita neste campo teve como objetivo demonstrar que tanto a mente como o corpo estavam ligados, e que as pessoas podiam ser ensinadas a aproveitar todo o potencial desta ligação para mudar a sua atividade física e melhorar a sua saúde. Concluiu-se, então, que ao devolver a informação fisiológica lida pelos sensores de volta para o sujeito (*feedback*), este tinha um maior controlo sobre a sua atividade fisiológica. A este processo dá-se o nome de *biofeedback* [AF04].

Hoje em dia, o *biofeedback* é já uma metodologia bem conceituada e usada sobretudo no âmbito clínico para tratamento de certas condições médicas e melhoramento do desempenho humano. No final de 2007, três das organizações responsáveis pelo *biofeedback*, a *Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback* (AAPB), *Biofeedback Certification International Alliance* (BCIA) e a *International Society for Neurofeedback and Research* (ISNR) decidiram criar uma definição formal para o conceito de *biofeedback* [AAP07]:

“Biofeedback is a process that enables an individual to learn how to change physiological activity for the purposes of improving health and performance. Precise instruments measure physiological activity such as brainwaves, heart function, breathing, muscle activity, and skin temperature. These instruments rapidly and accurately “feed back” information to the user. The presentation of this information — often in conjunction with changes in thinking, emotions, and behavior — supports desired physiological changes. Over time, these changes can endure without continued use of an instrument.”

2.2 *Biofeedback* em videojogos

Na última década o conceito de *biofeedback* tem vindo a ser associado aos videojogos, através de investigação realizada na área de Interação Pessoa-Computador, com o objetivo de melhorar a experiência dos utilizadores, mas também de estudar as limitações ao nível do desenho de novos videojogos direcionados exclusivamente a estes mecanismos. O *biofeedback* pode dividir-se em dois tipos:

- *Biofeedback* direto;
- *Biofeedback* indireto;

Kuikkaniemi et al. [KLT+10] fazem uma distinção breve entre os dois tipos: o conceito de *biofeedback* direto (explícito) tem como propósito fazer com que o utilizador esteja

consciente dos seus dados fisiológicos, através da informação clara e perceptível que lhe é passada sobre esses mesmos dados. Por outro lado, no conceito de *biofeedback* indireto (implícito), o sistema é na mesma modulado através dos dados fisiológicos do utilizador, mas este não está consciente do feedback que gera no sistema. De uma forma geral, no *biofeedback* direto o utilizador possui um controlo consciente da aplicação, enquanto no *biofeedback* indireto a aplicação é controlada de forma indireta por sinais afetivos, ou estado emocional do utilizador.

2.2.1 *Feedback* afetivo

É através da noção de estado emocional, que se associa o *biofeedback* indireto ao termo *feedback* afetivo. Segundo Bersark et al. [BMA+01], o *feedback* afetivo é um híbrido do *biofeedback* tradicional com computação afetiva, um termo adotado por Rosalind Picard [PIC97], que tem como significado: “*computing that...arises from or deliberately influences emotion.*”, isto é, toda a computação que surge de emoção ou influencia deliberadamente emoção. No *feedback* afetivo, a emoção pode ser representada num espaço dimensional de duas variáveis: valência emocional e estimulação emocional. A valência emocional avalia se o utilizador está aborrecido (valência negativa) ou contente (valência positiva), enquanto a estimulação emocional representa a intensidade dessa emoção, ou seja, com estas variáveis é possível atribuir uma certa emoção ao utilizador.

A noção principal deste tipo de *feedback* consiste na ideia de que o utilizador não é apenas afetado pelo *feedback* gerado pelo seu estado fisiológico, mas também pela forma como essa informação lhe é apresentada.

De forma a exemplificar este conceito, Bersark et al. [BMA+01] desenharam um videojogo de corridas para dois jogadores, denominado de “*Relax-to-Win*”, que se baseava no nível de relaxamento de cada jogador, através de leituras do sensor de sudação da pele. Quanto mais relaxado estivesse o jogador, mais rápido a sua personagem se deslocava. À partida, este processo é idêntico ao *biofeedback* tradicional: o utilizador recebe informação do *feedback* gerado pelo seu nível de relaxamento, representado na velocidade do seu personagem. No entanto, o ambiente competitivo em que se encontra o videojogo, afeta emocionalmente cada jogador, que por sua vez altera o seu nível de relaxamento.

É então, na forma como o *feedback* é apresentado ao utilizador e na maneira como o afeta emocionalmente, que se baseia a diferença chave do *feedback* afetivo. Gilleade et al. [GDA05], explicam de forma breve esta diferença na seguinte citação:

“In essence a videogame is affective if it can maintain an affective feedback loop; if the player becomes consciously aware of how that feedback loop is controlled by their physiology and so able to consciously control their reactions, the affective nature of the feedback loop is lost and it becomes a form of biofeedback”

Ou seja, a partir do momento em que o utilizador está consciente de que o *feedback* é controlado pelos seus dados fisiológicos, e portanto, consegue controlar as suas reações, o efeito natural do *feedback* afetivo perde-se. Dentro da área de *feedback* afetivo têm vindo a ser realizados vários trabalhos, como o caso de Nogueira et al. [NRO+13], que realizaram trabalhos de deteção emocional. Com o fim de ajudar no desenho de videojogos que necessitem deste tipo de feedback e na melhoria da experiência de jogo, Nogueira et al. [Nog13][NAR+14] realizaram também vários trabalhos com o objetivo de construir modelos de emoções mais robustos consoantes os sinais recebidos dos sensores fisiológicos. No entanto, quanto às reações emocionais foram realizados dois trabalhos importantes [KNR11][NTR13] que tinham como objetivo detetar e analisar as reações dos jogadores ao *feedback* que recebiam do videojogo de forma automatizada. Relacionado com agentes, Nogueira et al. [TNS13] também realizaram uma experiência que consistia na criação de um método para simular uma componente emocional no comportamento de agentes, para depois poderem ser aplicados em videojogos.

2.2.2 Investigação em *biofeedback* em videojogos

Durante os primeiros anos, os investigadores preocupavam-se bastante em arranjar formas alternativas de controlar um videojogo e de modo a substituir os controladores tradicionais (teclado/rato), mas a preocupação pela melhoria na experiência do utilizador não era ainda relevante. Experiências como a de Hjelm et al. [HC00], denominada de “*BrainBall*”, faziam uma leitura das ondas cerebrais de cada jogador, através de EEG, e tinham como principal objetivo verificar se realmente os seus videojogos podiam ser uma ferramenta para controlar o *stress* dos utilizadores.

No entanto, uma experiência realizada por Dekker et al. [DC07], aplicada no motor de jogo de “*Half-Life 2*”, deu entrada à preocupação por parte dos investigadores com a melhoria da experiência do utilizador. Nesta experiência, o ambiente do jogo e características da personagem eram alteradas consoante o batimento cardíaco e o nível de sudação da pele do utilizador, como por exemplo, a velocidade da personagem, entre outras. Apesar de esta experiência ter sido realizada num videojogo comercial, o que manteve a qualidade gráfica elevada, houve uma falta de controlo no número de modificações feitas, tendo em conta que apenas existiam dois sinais fisiológicos de entrada, o que não permitiu tirar conclusões precisas sobre a eficácia de todo o processo na experiência de jogo.

Por exemplo, se o utilizador estivesse com um batimento cardíaco elevado, a personagem movia-se mais rápido e o ecrã ficava de cor vermelha. Por outro lado, se o utilizador estivesse calmo, era ativada uma habilidade especial, e o número de *zombies* aumentava. Nos resultados dos questionários, alguns participantes não se aperceberam que o nível era alterado pelo seu *biofeedback*, e outros não repararam nas alterações que aconteciam no ambiente de jogo.

Esta questão representa um problema que o *biofeedback* indireto pode ter com a imersividade do utilizador, uma vez que este, por vezes, não é capaz de reparar nas alterações

Revisão Bibliográfica

que está a provocar no videojogo, e deste modo a melhoria na sua experiência de jogo pode não ser verificada.

A empresa de videojogos Valve, tem também apostado bastante na investigação destes novos mecanismos de *biofeedback*. Ambinder [Amb11] realizou várias experiências em videojogos comerciais, como por exemplo:

- Modificação do controlador do jogo “Left 4 Dead” através do nível de sudação da pele do utilizador;
- Uso de *input* físico no jogo “Alien Swarm”;
- Uso de *eye-tracking* como controlo ativo no jogo “Portal 2”;

Através deste estudo, Ambinder concluiu que ao adicionar *input* fisiológico criam-se novas maneiras de jogar videojogos, e que um dos pontos abordar no futuro prende-se com a experimentação destes mecanismos nas mecânicas de jogo. É neste propósito que este projeto pretende basear-se, ou seja, tirar melhor partido das mecânicas já existentes nos videojogos comerciais, com a ajuda de mecanismos de *biofeedback* de forma a melhorar a experiência de jogo.

O último método usado na experiência de Ambinder, o *eye-tracking*, apesar de ser diferente dos sensores clássicos de *biofeedback*, ganhou bastante popularidade.

Smith et al. [SG06] estudaram qual o impacto que este método tem na experiência do utilizador e realçou 4 pontos nos quais o *eye-tracking* sai beneficiado em relação a outros mecanismos:

- O olhar é um movimento bastante natural, uma vez que é usado no nosso dia-a-dia, qualquer que seja a tarefa.
- O olhar é um movimento rápido, e por outro lado, não requer tanto esforço muscular como outros movimentos.
- O olhar providencia contexto para outros tipos de interação, por exemplo, o humano tipicamente olha primeiro para o alvo, antes de comunicar com ele.
- A tecnologia do *eye-tracking* tem sido utilizada há já vários anos, ou seja, está bem estabelecida.

Nesta experiência, Smith et al. compararam o mecanismo de *eye-tracking* com um controlador tradicional (rato), e concluíram que para tarefas que envolvam alvos estáticos os olhos são mais eficazes, ao contrário das tarefas que envolvam alvos em movimento, onde o rato foi mais eficaz. Também Istance et al. [IHV09] estudaram o uso deste mecanismo no motor do videojogo *online* “World of Warcraft”, em que um dos objetivos era ajudar utilizadores com

deficiências motoras a terem oportunidade de usar estes mecanismos como forma de jogarem videogames. No entanto, nesta experiência não estiveram utilizadores com deficiências motoras.

Esta abordagem de relacionar videogames com problemas médicos, recorrendo ao *biofeedback*, foi também utilizada por Stepp et al. [SBC+11]. Na sua experiência, é utilizado um simples videogame para ajudar na reabilitação de doentes com disfagia (dificuldade em engolir).

Por fim, existem também outros mecanismos de *biofeedback* menos usados, tais como o reconhecimento de voz e a análise facial. As razões para o uso da análise facial ser ainda tão escasso, segundo Ambinder [Amb11], deve-se ao seu custo bastante elevado e porque é um mecanismo que necessita de treino, já que a expressão facial pode ser facilmente influenciável. Dentro destes mecanismos, destaca-se o trabalho de Bernhaupt et al. [BBM+07], designado de “*Emotion Flowers*”, onde o crescimento de uma flor dependia da expressão facial do utilizador.

Relacionado com o projeto a ser feito nesta dissertação, existe um trabalho realizado por Teófilo et al. [TNS13] que consiste numa *framework* de interligação entre o utilizador e o videogame, embora aplicada a mecanismos de interação natural, como é o caso da *Microsoft Kinect*.

2.2.3 *Biofeedback* direto vs *Biofeedback* indireto

Segundo uma experiência realizada por Nacke et al. [NKL11], onde os dois tipos de *biofeedback* são comparados consoante a opinião dos participantes, os sensores e métodos que agradaram mais e provocaram uma maior imersividade no videogame estão relacionados com o *biofeedback* direto. Segundo a citação retirada do mesmo artigo:

“Many participants noted that direct control was their preferred way of controlling the game mechanics as they felt it provided direct feedback to them and made the game more responsive”

Por sua vez, também Kuikkaniemi et al. [KLT+10] realizaram uma experiência semelhante e concluíram que o mecanismo de *biofeedback* direto melhora a experiência do utilizador, ao contrário do *biofeedback* indireto que não produziu efeitos suficientes na experiência dos jogadores. Como nota final, aconselham uma exploração mais detalhada deste mecanismo em videogames comerciais.

Estes estudos suportam bastante o objetivo deste projeto, no sentido de tirar melhor partido do *biofeedback* direto para estender as mecânicas de jogo já existentes nos videogames comerciais, e por sua vez, torná-los mais imersivos.

2.3 Sensores

Para poder recolher informação fisiológica do utilizador, e por sua vez tornar possível a ligação entre utilizador-máquina em que se baseia o *biofeedback*, são usados vários sensores.

De seguida, será feita uma breve descrição de cada um deles [AF04], qual o tipo de *biofeedback* a que se adequam melhor, e as suas vantagens e desvantagens [Amb11].

2.3.1 Eletroencefalografia (EEG)

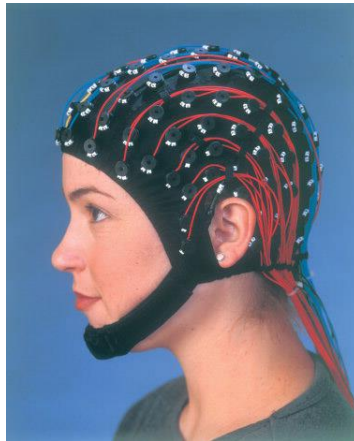


Figura 1 - Exemplo de sensor EEG¹.

A EEG é usada principalmente na monitorização do nível de atenção do cérebro. O sensor é posicionado no couro cabeludo e mede a actividade eléctrica do córtex ou da superfície do cérebro. A frequência de actividade do cérebro é geralmente dividida em estados de acordo com o seu valor:

- O estado *beta* (entre 14 a 30 Hz), está associado com um nível de atenção alto.
- O estado *alpha* (entre 8 a 12 Hz), representa um estado de relaxamento ou de atenção moderada.
- Por fim, o estado *delta* (entre 0.5 a 3.5 Hz), está associado com a sonolência.

Este sensor está relacionado com o *biofeedback* indireto, uma vez que a actividade do cérebro não é controlada conscientemente.

Vantagens:

- Bom índice de estimulação emocional;
- Bom índice de valência emocional;

Desvantagens:

- Muito dispendioso;
- Dificuldade em validar os dados;
- Sujeito a ser afetado por ruído externo;

¹ Fonte: www.esse.wustl.edu

2.3.2 Eletromiografia (EMG)



Figura 2 - Exemplo de sensor EMG².

A EMG analisa o estado de um dado músculo do corpo, isto é, se está contraído ou relaxado. São posicionados elétrodos sobre o músculo, que medem a atividade elétrica do mesmo.

Este sensor pode ser usado nos dois tipos de *biofeedback*, já que existem músculos do nosso corpo que se alteram inconscientemente, o que acontece quando muitas vezes sorrimos. Mas, como o utilizador consegue ativar conscientemente a maior parte dos músculos do seu corpo, a EMG é aproveitada de maneira mais eficiente no *biofeedback* direto.

Vantagens:

- Pode ser usado em bastantes locais do corpo;
- É usado em ambos os tipos de *biofeedback*;
- Fácil de medir;

Desvantagens:

- Tipicamente dispendioso (apesar de estarem a surgir dispositivos mais acessíveis);

² Fonte: www.biometricsltd.com

2.3.3 Eletrocardiografia (ECG)

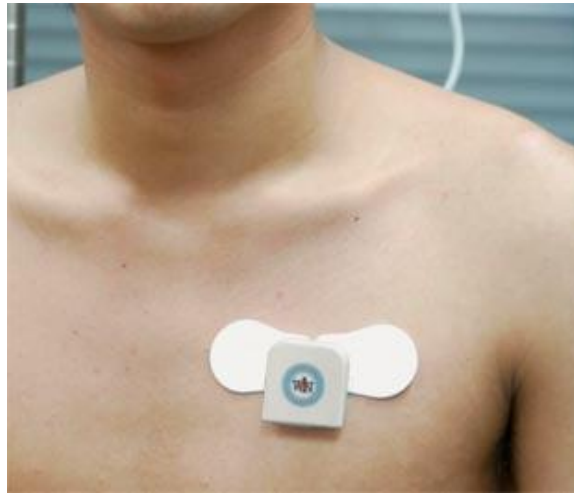


Figura 3 - Exemplo de sensor ECG³.

A ECG mede eventos elétricos associados com a contração do músculo do coração. Com isso, é possível calcular a que velocidade que o coração bate, mais conhecido como batimento cardíaco.

Uma vez que o batimento cardíaco é um acontecimento inconsciente, este sensor está associado ao *biofeedback* indireto.

Vantagens:

- Bom índice de estimulação emocional;
- Preço acessível;
- Fácil de medir;

Desvantagens:

- Mau índice de valência emocional;

³ Fonte: www.medgadget.com

2.3.4 Respiração

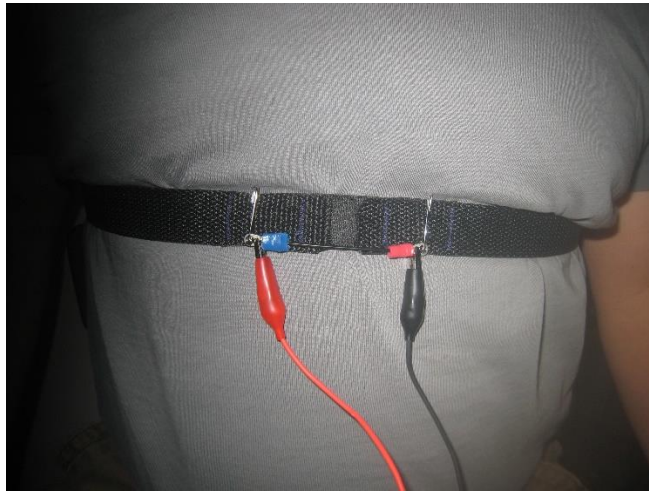


Figura 4 - Exemplo de sensor de respiração⁴.

Através de um sensor que é colocado em redor do peito do utilizador, é possível calcular a frequência de respiração (número de inspirações e expirações por minuto) e quão profunda é a mesma.

Apesar de ser, a par do batimento cardíaco, um acontecimento inconsciente, é usualmente relacionado com *biofeedback* indireto. Mas como a respiração pode ser facilmente controlada, podemos aplicá-lo no *biofeedback* direto.

Vantagens:

- É usado em ambos os tipos de *biofeedback*;

Desvantagens:

- Facilmente manipulável;

⁴ Fonte: <http://mfleisig.wordpress.com>

2.3.5 Sudação da pele

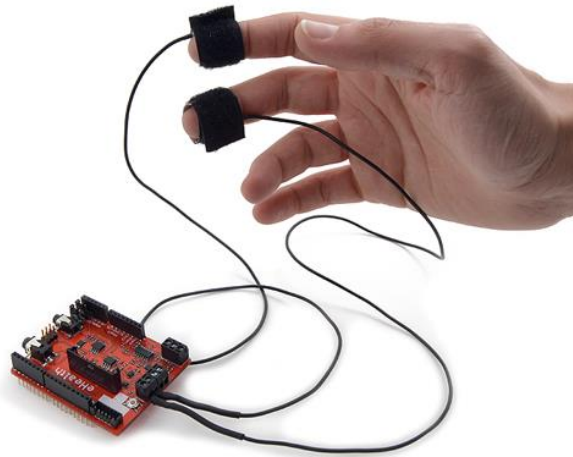


Figura 5 - Exemplo de sensor de sudação da pele⁵.

Este sensor é usualmente colocado nas pontas dos dedos, e tem como objetivo medir a resistência da pele, através do nível de suor na mesma. Isto permite avaliar, de certa forma, o nível de relaxamento do utilizador.

É usado sobretudo no *biofeedback* indireto.

Vantagens:

- Bom índice de estimulação emocional;
- Pode ser usado em bastantes locais do corpo;
- Preço acessível;

Desvantagens:

- Mau índice de valência emocional;
- Dificuldade em associar a eventos provocados;

⁵ Fonte: www.cooking-hacks.com

2.3.6 Temperatura

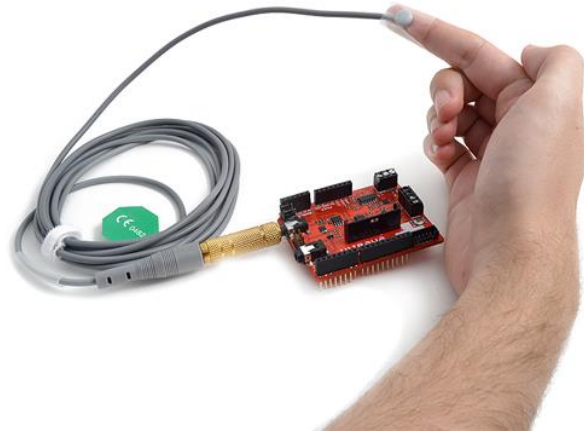


Figura 6 - Exemplo de um sensor de temperatura⁶.

Este sensor permite medir a temperatura corporal do utilizador. Está associado ao *biofeedback* indireto, mas pode também ser associado ao *biofeedback* direto caso o utilizador realize alterações de temperatura de forma consciente.

Vantagens:

- Bom índice de estimulação emocional.
- Preço acessível;

Desvantagens:

- Valores sujeitos a muitas variações.

⁶ Fonte: www.cooking-hacks.com/

2.3.7 Pressão sanguínea



Figura 7 - Exemplo de um sensor de pressão sanguínea⁷.

Este sensor permite medir a pressão sanguínea, e é bastante usado para calcular o batimento cardíaco de um utilizador.

Vantagens:

- Bom índice de estimulação emocional;
- Preço acessível;

Desvantagens:

- Valores sujeitos a muitas variações.

⁷ Fonte: <http://www.infendo.com/>

2.4 Considerações finais

A revisão bibliográfica realizada permitiu fazer um levantamento dos pontos fortes e fracos de cada tipo de *biofeedback*, e do tipo de sensores que melhor se relacionam com estes mecanismos. Através da análise feita, foi possível concluir que o *biofeedback* direto pode ser implementado de maneira mais eficaz, uma vez que as reações do utilizador neste tipo de *biofeedback* são avaliadas de forma mais precisa do que no *biofeedback* indireto, ou seja, é mais fácil detetar se o utilizador exerceu força num músculo, do que saber com a mesma exatidão se o utilizador se sente nervoso em determinado instante. Na experiência de jogo do utilizador, por vezes é difícil ter noção de qual foi o verdadeiro impacto das mecânicas implementadas no *biofeedback* indireto, e isto acontece quando o utilizador não repara nas alterações que provoca no videojogo, e por sua vez não consegue fazer uma avaliação sobre a experiência que teve. No entanto, é importante realçar que o *biofeedback* indireto pode ser implementado de forma tão eficaz como o *biofeedback* direto, como pode ser visto em algumas experiências demonstradas nas secções 2.1 e 2.2. Após realizado todo este estudo, foi possível dar-se início à especificação das ferramentas a usar.

Capítulo 3

Biofeedback Augmented Gameplay: Framework

O estudo do estado da arte permitiu fazer uma escolha mais precisa de quais os melhores sensores a incluir na *framework* e de que forma os relacionar com o *biofeedback* direto e indireto. Os sensores de EMG, respiração, sudorese da pele, temperatura e pressão sanguínea foram os mais indicados de acordo com o estudo feito, primeiro porque os seus valores eram de fácil leitura e posterior interpretação, enquanto o de EEG é um sensor bastante sensível à existência de ruídos e torna difícil fazer uma validação precisa dos seus dados, de forma a conseguir apurar qual é o verdadeiro significado do seu valor, uma vez que é um sensor relacionado com o *biofeedback* indireto. Com este leque de sensores é então possível abordar os dois tipos de *biofeedback*.

3.1 Especificação da *Framework*

A *framework* tem como finalidade ser capaz de possibilitar uma interação fisiológica em videojogos comerciais que não a suportem originalmente, no entanto, o principal objetivo é torná-la usável por qualquer tipo de utilizador, mesmo que este não tenha conhecimentos aprofundados. Para o efeito, foram identificados vários requisitos, que podem ser descritos detalhadamente em três módulos diferentes: configuração, calibração e utilização.

3.1.1 Configuração

Na especificação da *framework*, a configuração foi considerada um requisito importante, de forma a permitir a criação de vários controladores de jogo, o que faz com que a *framework*

não esteja restringida exclusivamente a um videogame, nem a um conjunto de mecânicas de *biofeedback*. Nesse sentido, um controlador é definido como sendo composto por um conjunto de *features*, ou mecânicas, que podem ser também personalizadas. Por sua vez, cada *feature* é definida por conjunto de restrições aplicadas aos dados recebidos através dos sensores fisiológicos, e um conjunto de teclas para emular. Um exemplo simples pode ser traduzido da seguinte forma:

“se o valor recebido através do sensor de respiração for superior a 9800, então simula um clique na tecla Enter”

As restrições podem também ser aplicadas a dados filtrados por outras operações, como por exemplo a derivada, calculada depois de a *framework* receber os dados do sensor. Por outro lado, as teclas a emular podem ser de dois tipos: manter pressionado ou clicar. Um exemplo prático de uma *feature* mais complexa pode ser traduzido da seguinte forma:

“se a derivada do valor recebido através do sensor GSR for superior a 0.3 e o valor absoluto recebido através do sensor de HR for superior a 80bpm, então simula um clique na tecla Espaço”

Para além da criação de controladores, a *framework* permite também a edição dos mesmos, incluindo as suas *features*, e a possibilidade de se guardar todos os controladores criados.

Posto isto, esta característica da *framework* permite ao utilizador final a criação de várias mecânicas de *biofeedback* em diferentes jogos de forma rápida e simples, e desta forma cumpre o objetivo de a tornar usável para qualquer tipo de pessoa, embora possa ser também vantajosa em estudos sobre o impacto destes novos mecanismos.

3.1.2 Calibração

A calibração tem como principal função definir o intervalo de valores a receber de determinados sensores, ao criar limites máximos e mínimos para cada um deles. Este processo permite que os limites sejam atualizados automaticamente, ao mesmo tempo que a *framework* lê os dados dos sensores fisiológicos e os disponibiliza ao utilizador. O uso da calibração tem como fim apoiar a criação de outro tipo de restrições, como por exemplo:

“se o valor recebido do sensor de EMG for superior a 80% do máximo previamente calibrado...”

Por fim, todos os limites calibrados podem ser gravados a qualquer instante.

3.1.3 Utilização

É neste conjunto que se vai realizar a interação fisiológica entre o utilizador e o videojogo, que começa nos dados provenientes dos sensores fisiológicos e vai até à emulação das teclas. De forma a realizar esta interação, a *framework* tem como requisito inicial ser capaz de ler e interpretar os dados transmitidos pelos sensores fisiológicos, e de seguida fazer a validação das restrições de cada *feature* do controlador previamente criado. Após validar as restrições, a *framework* emula as teclas que estavam associadas à *feature* validada.

Desta forma é possível estender a forma de interagir com os videojogos que não suportem estes mecanismos originalmente, uma vez que a partir de qualquer ação fisiológica por parte do jogador, e depois da sua validação, é simulada uma determinada ação no videojogo através da tecla emulada pela *framework*. Na Figura 8 é apresentado um fluxo de interação do utilizador com a *framework*.

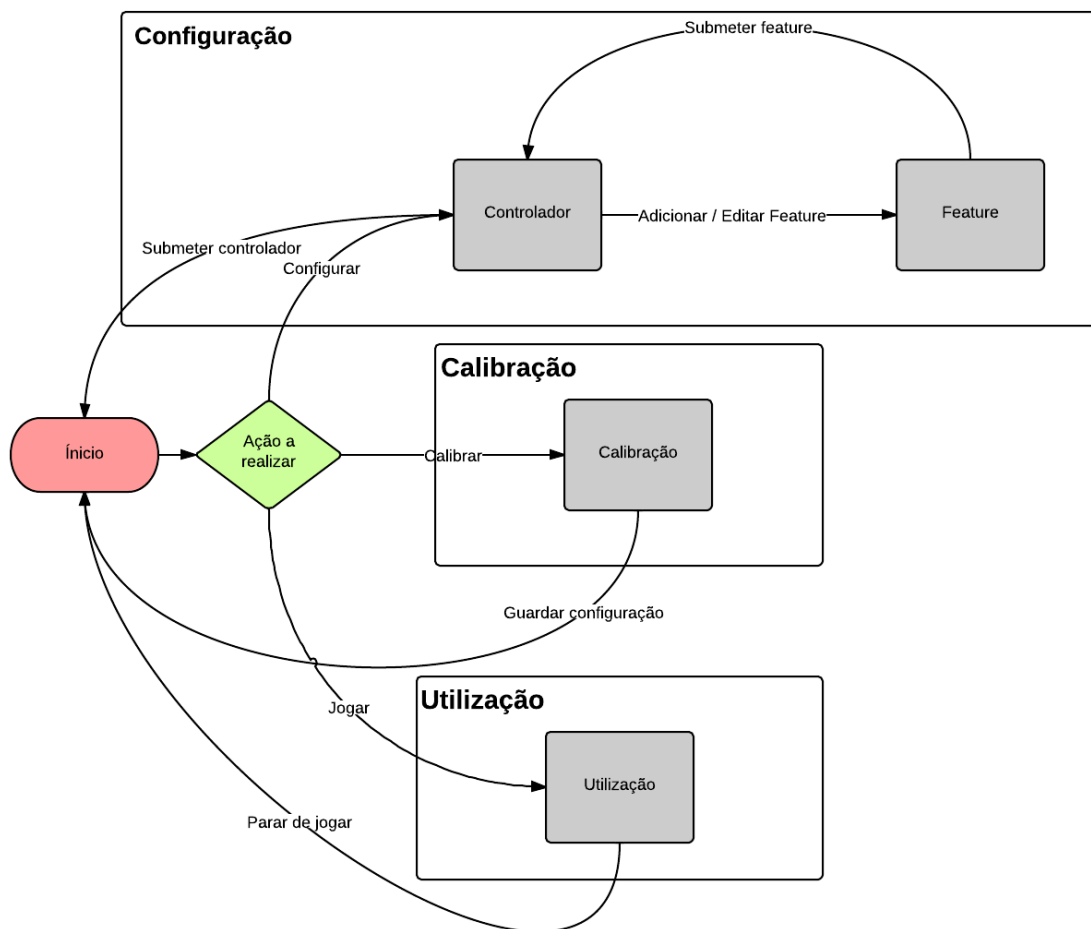


Figura 8 - Fluxo de interação com o utilizador.

3.2 Arquitetura do sistema

O sistema pode ser dividido em duas partes, a primeira corresponde aos sensores fisiológicos e a segunda corresponde à própria *framework*. Quanto aos sensores fisiológicos, foram disponibilizados através do aparelho *NeXus-10*⁸, que é constituído por um vasto número de sensores: EMG, respiração, pressão sanguínea, entre outros. Os dados são transmitidos para o computador através de *Bluetooth* ou por um cabo USB, sob a forma de ficheiro binário que contém todos os dados dos canais fisiológicos ativos. A *framework* é composta por 3 módulos diferentes já descritos anteriormente na sua especificação, no entanto, uma explicação detalhada sobre a sua implementação irá ser apresentada no próximo capítulo. A arquitetura é representada pela Figura 9.

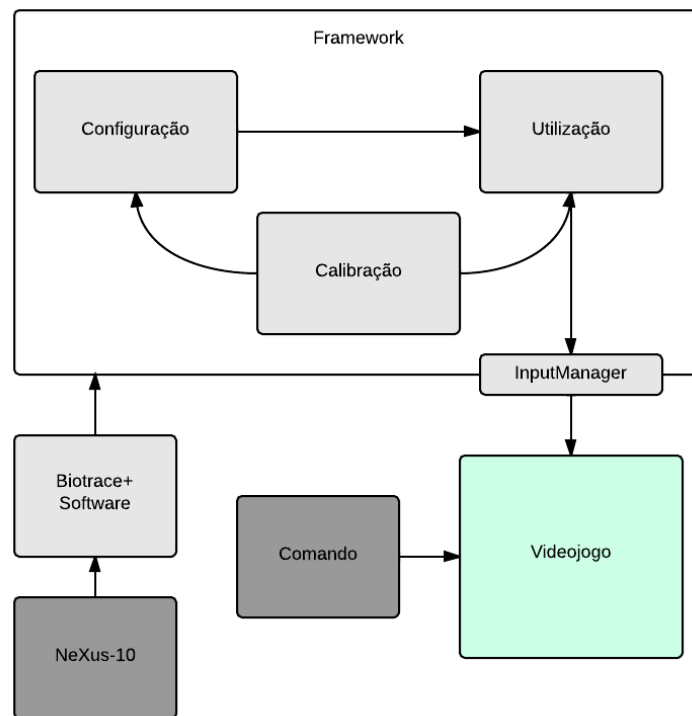


Figura 9 - Arquitetura do sistema.

⁸ http://www.humankarigar.com/wireless_nexus10.htm

3.3 Considerações finais

Com a especificação a ser dividida em três módulos, é possível abordar todos os principais requisitos que a framework precisa de ter de forma mais organizada. O objetivo de a tornar usável por qualquer tipo de utilizador é conseguido através da componente de configuração e de calibração presentes na framework. Deste modo, e com os controladores configurados de forma livre pelos utilizadores, o outro requisito principal é tornar a framework uma ligação eficaz entre os sensores fisiológicos e o videojogo, e possibilitar que o utilizador jogue qualquer videojogo através de várias mecânicas de *biofeedback*. Através desta especificação é então possível partir para a implementação da framework, embora tenha sido necessário um estudo prévio sobre que tecnologias usar consoante os requisitos descritos anteriormente.

Capítulo 4

Implementação da *Framework*

Após realizada a especificação da *framework*, foi feito um pequeno estudo sobre quais as tecnologias mais indicadas a usar neste tipo de problema. De todas as linguagens de programação procurou-se uma que tivesse bibliotecas eficazes para realizar a emulação de todas as teclas, desde o rato ao teclado. E por outro lado, uma linguagem que tivesse uma boa biblioteca gráfica, uma vez que é necessário construir uma interface gráfica usável para qualquer tipo de utilizador. Quanto à parte dos sensores, foi disponibilizado um aparelho que inclui vários tipos de sensores, mais concretamente os mencionados na revisão bibliográfica, e que foi descrito na Secção 3.2.

4.1 Tecnologias usadas

Na implementação da *framework* foi utilizada a linguagem de programação C# em toda a sua estrutura. Para a emulação do teclado e rato foi utilizada uma biblioteca externa em C#, denominada por *InputManager*. Esta biblioteca contém um conjunto de métodos que permitem emular todas teclas de acordo com vários tipos de clique como: manter pressionado, clicar ou fazer uma combinação de teclas, como por exemplo “*Shift+Alt+E*”. A *framework* chama estes métodos quando o utilizador está a jogar, de modo a simular as ações no videojogo, embora na parte de configuração, os objetos que a biblioteca usa para representar as teclas são usados para atribuir às *features* criadas.

Quanto ao processamento e leitura dos sinais fisiológicos foi utilizado o *software Biotrace+*, que é fornecido com o aparelho *NeXus-10*. Este *software* lê os dados dos sensores, faz o processamento de acordo com os canais fisiológicos que estão ativos e disponibiliza as

amostras dos dados de cada canal, bem como outros valores calculados sobre esses canais, ou seja por exemplo, devolve a amplitude do sensor de respiração mas também a taxa de respiração calculada ao longo do tempo. Estes valores são todos disponibilizados em tempo real num ficheiro binário, e para cada canal é possível configurar a frequência de amostragem.

4.2 Descrição da implementação

À semelhança da especificação feita anteriormente, a implementação da *framework* é separada nos três módulos que a constituem: configuração, calibração e utilização. Cada conjunto contém uma lista de requisitos a cumprir conforme foram especificados no capítulo 3.

4.2.1 Configuração

Na implementação desta parte importante da *framework*, focou-se essencialmente na sua usabilidade da aplicação para o utilizador final, uma vez que é onde se vai encontrar grande parte da sua interação com a *framework*. Para isso, criou-se uma interface gráfica com recurso aos *Windows Forms* da linguagem C#.

A lista de requisitos que este conjunto deve cumprir é a seguinte:

- Criar/editar controladores;
- Adicionar *features* a controladores;
- Editar *features*;
- Adicionar restrições a *features*;
- Adicionar emulação de teclas a *features*;
- Guardar controladores;

Implementação da *Framework*

Para descrever a estrutura da configuração, podemos separá-la em vários cenários, cada um representado por uma janela, ou *Form*. De forma a seguir o fluxo natural da criação de um controlador, começamos pela janela respetiva, visível na Figura 10.

The screenshot shows a window titled "ControllerForm" with a light gray background and a blue border. At the top left, there is a text input field labeled "Controller Name:". Below it is a large empty rectangular area labeled "Features :". To the right of the "Features" area, there are two table-like structures. The first is labeled "List of Constraints:" and has a header with "Sensor" and "Constraint". The second is labeled "List of Keys:" and has a header with "Type" and "Key". Below the "Features" area, there are three buttons: "Add Feature" (highlighted in blue), "Edit Feature", and "Submit Controller".

Figura 10 - Janela de criação de novo controlador.

Após aceder à opção para adicionar um novo controlador, o utilizador é redirecionado para a janela representada pela Figura 10, que contém informação básica, como o nome do controlador, mas também um resumo de todas as *features* de que é composto, através de uma lista. As duas grelhas posicionadas do lado direito da janela representam a informação detalhada de cada *feature* que constitui este controlador, mas como ainda não foram adicionadas novas *features*, a informação encontra-se vazia. Para se adicionar uma nova *feature*, o utilizador clica no botão “Add Feature” e é redirecionado para uma nova janela.

Implementação da *Framework*

The screenshot shows a software window titled "Feature". It contains the following elements:

- A text input field for "Feature Name".
- Two rows of dropdown menus for selecting sensor and constraint type.
- Buttons for "Add Constraint" and "Add Keypress".
- Two empty tables for "Current Constraints" and "Current Key Presses".
- Buttons for "Reset" and "Submit Feature".

Figura 11 - Janela de criação de nova *feature*.

Na janela da Figura 11, procurou-se essencialmente que fosse fácil para o utilizador adicionar as suas restrições e consequente emulação de teclas. A existência do campo para o nome da *feature* é importante para se poder fazer a distinção entre cada uma das *features* na lista que estava presente na janela anterior. A seguir ao nome, temos vários campos representados por pequenas caixas de listagem (*List boxes*) que permitem escolher de forma rápida como o utilizador quer formar uma nova restrição. O primeiro campo corresponde ao sensor que se pretende associar à nova restrição, e é formado pelo seguinte conjunto de dados:

- EMG1 – Eletromiografia 1
- EMG2 – Eletromiografia 2
- EMG3 – Eletromiografia 3
- RESP – Respiração
- BP – Pressão sanguínea
- GSR – Sudação da pele
- TEMP - Temperatura
- HR – Batimento cardíaco
- RESP_RATE – Taxa de respiração

Implementação da *Framework*

Existem duas formas de avaliar o valor de cada um destes sensores, que estão representadas no próximo campo:

- Absolute Value – Valor absoluto
- Derivative Value – Valor da derivada | Variação

A variação é usada sobretudo em dados que são difíceis de ser avaliados através do valor absoluto. Por exemplo, o batimento cardíaco é difícil de ser ligado a uma restrição com valor absoluto, uma vez que só com o valor dos batimentos por minuto é difícil saber como reage o jogador a certa altura do videojogo, já que o valor pode manter-se constante. Por outro lado, com a variação do batimento cardíaco consegue-se saber essa informação, isto é, se por exemplo houver uma variação positiva do batimento cardíaco, é possível concluir que o jogador se sentiu mais nervoso a certa altura.

No último campo é inserido o valor que se pretende comparar com os dados que vão ser recebidos em tempo real a partir dos sensores fisiológicos, de acordo com o operador de comparação escolhido no campo anterior: <, <=, =, >=, >. Nos sensores que são calibrados pelo utilizador, como é o caso dos: EMG1, EMG2, EMG3, TEMP e RESP, só pode ser usada a restrição de valor absoluto, já que a validação da regra associada a estes sensores é feita de maneira diferente, uma vez que entram sempre em conta os limites máximos e mínimos que foram previamente calibrados, ou seja, o valor inserido no último campo é uma percentagem em relação ao valor máximo. Um exemplo prático desta situação pode ser traduzida da seguinte forma:

“se a força exercida no EMG1 for superior a 0.3, ou seja, 30% da força máxima....”

No caso de outros sensores, o valor inserido e comparado com o valor absoluto está no formato com que é lido a partir dos sensores fisiológicos, e um exemplo prático seria o seguinte:

“se o valor do batimento cardíaco for inferior a 90bpm...”

Por fim, o utilizador insere a nova restrição ao clicar no botão “Add Constraint”, e a grelha localizada no canto inferior esquerdo é atualizada automaticamente, embora seja possível remover uma restrição a qualquer altura.

A emulação das teclas é processada da mesma forma que as restrições, o primeiro campo serve para indicar qual é o tipo de clique que se pretender inserir:

- KeyPress – Clicar uma vez
- KeyHold – Manter pressionado

O próximo campo contém todas as teclas possíveis de serem emuladas, desde o teclado ao rato. Para adicionar o utilizador clica no botão “Add KeyPress” e a tecla é inserida na lista que se encontra no canto inferior direito.

Implementação da *Framework*

Feature

Feature Name:

Current Constraints:

Sensor	Constraint
EMG1	> 0,35
EMG1	<= 0,95

Current Key Presses:

Type	Key
KeyPress	H

Figura 12 - Exemplo de *feature* criada.

Na Figura 12 é possível ver-se um exemplo de uma *feature* completa que é traduzida da seguinte forma:

“se a força exercida no sensor EMG1 for maior que 35% da força máxima previamente calibrada , e a força exercida no sensor EMG1 for menor ou igual que 95% da força máxima previamente calibrada, então simula um clique na tecla H “

Por fim, para completar a criação de um controlador ou uma *feature*, o utilizador clica no botão “Submit” da respetiva janela.

Implementação da *Framework*

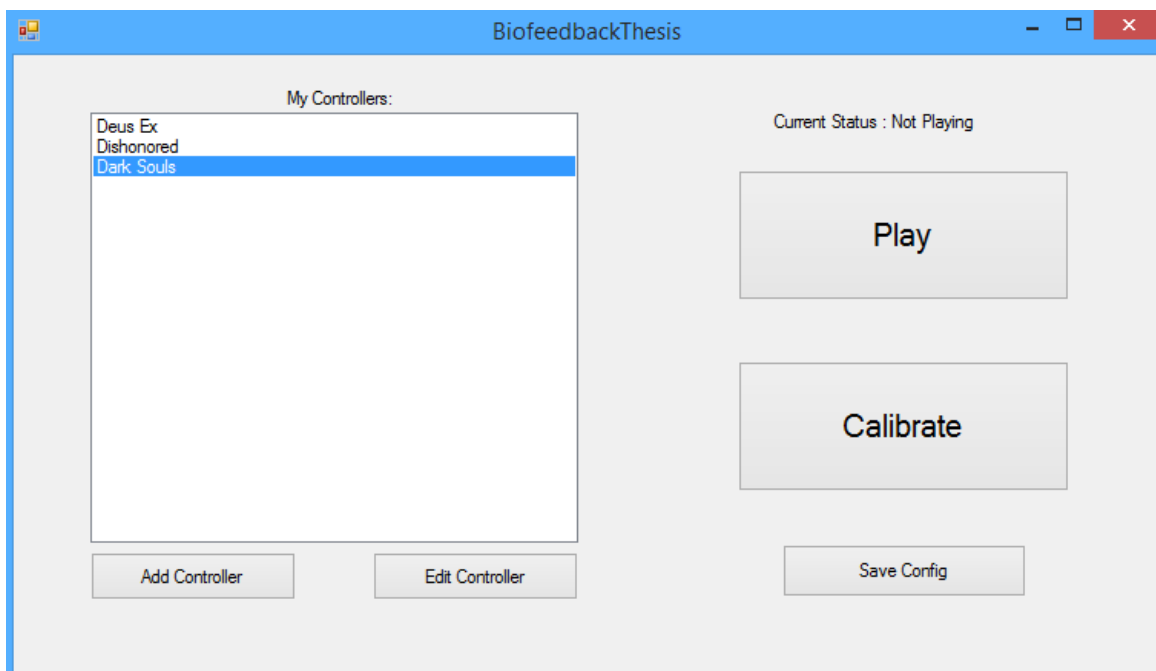


Figura 13 - Janela inicial da *framework*.

A Figura 13 demonstra o ecrã inicial da *framework* já com vários controladores criados, e com três botões posicionados do lado direito da janela. O botão “Save Config” tem como objetivo guardar os controladores num ficheiro binário, e sempre que a *framework* é aberta esses controladores são automaticamente carregados a partir do mesmo ficheiro. Por outro lado, os dois botões que ocupam maior destaque na janela representam as outras duas partes que também constituem a *framework*: calibração e utilização.

4.2.2 Calibração

A lista de requisitos que este conjunto deve cumprir são os seguintes:

- Ler os valores dos sensores fisiológicos;
- Atualizar automaticamente os limites máximos e mínimos de cada sensor;
- Restabelecer os valores iniciais de cada limite;
- Guardar os limites de cada sensor;

Implementação da *Framework*

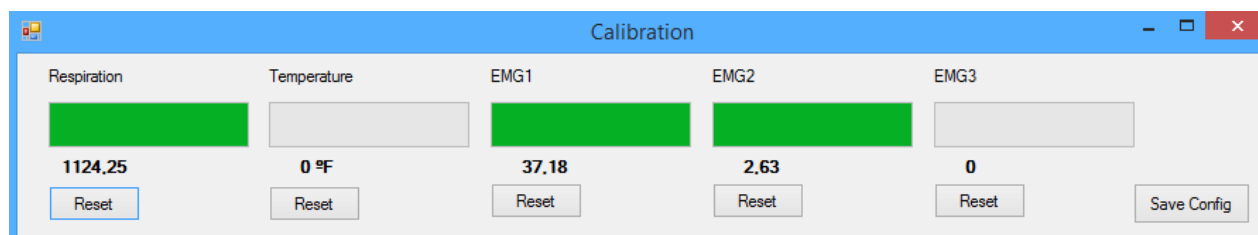


Figura 14 - Janela de calibração.

Como foi já mencionado no capítulo anterior, a calibração é acedida através do botão “Calibrate” localizado no ecrã inicial da *framework*, que depois redireciona para a janela representada pela Figura 14. Na janela de calibração encontram-se apenas os sensores que podem ser calibrados pela *framework*, que é caso do EMG1, EMG2, EMG3, TEMP e RESP. Cada sensor tem associado a si uma barra que mostra em tempo real onde se encontra o valor lido pelos sensores fisiológicos, sempre entre o limite mínimo e máximo atual, embora estes estejam permanentemente a ser atualizados caso o valor lido exceda um dos limites. Mais abaixo é possível mostrar ao utilizador o valor que está a ser lido em forma de texto e nas unidades correspondentes. Por fim, se o utilizador pretender restabelecer os limites mínimos e máximos de cada sensor para os valores iniciais, é usado o botão “Reset”, por outro lado, se pretender gravar os limites atuais de todos os sensores para posteriormente serem utilizados noutras secções da *framework*, é utilizado o botão “Save Config” que grava todos esses dados num ficheiro de texto.

4.2.3 Utilização

A lista de requisitos que este conjunto deve cumprir são os seguintes:

- Ler os valores dos sensores fisiológicos;
- Selecionar um controlador;
- Validar as *features* do controlador selecionado;
- Emular no videojogo as teclas das *features* validadas;

Ao contrário das últimas duas partes, esta secção da *framework* não contém interface gráfica, uma vez que já não é direcionada para a interação com o utilizador, mas sim para a ligação entre utilizador e videojogo. A implementação desta parte centrou-se sobretudo em criar um fluxo que representasse a interação entre as ações fisiológicas do utilizador e os controlos do videojogo. Para dar início a esse fluxo, ou seja, de forma ao utilizador poder começar a jogar é necessário selecionar primeiro o controlador a utilizar, e de seguida clicar no botão “Play”, que altera o estado de *Not Playing* para *Playing*.

Implementação da *Framework*

O fluxo começa com a leitura dos dados dos sensores fisiológicos, e para isso o aparelho *NeXus-10* após fazer o tratamento aos sinais que recebe dos seus sensores, disponibiliza um ficheiro binário, sempre atualizado, com os dados de todos os sensores, e é a partir da leitura desse ficheiro que a *framework* consegue obter e guardar em tempo real os valores atuais de cada sensor. Este conjunto de ações é representado sob a forma de *thread*, que lê o ficheiro binário de meio em meio segundo. Uma vez que a *framework* já possui forma de obter os dados de que necessita, o próximo passo do fluxo é a validação das *features* que constituem o controlador selecionado. A validação é também representada sob a forma de *thread*, que percorre todas as *features* presentes no controlador de meio em meio segundo, e para cada uma das *features* faz a verificação das suas restrições individualmente, e só no caso de todas as suas restrições serem validadas é que dá origem à emulação das teclas que estariam associadas a essa *feature*, com recurso à biblioteca externa *InputManager*. Para dados de sensores que necessitem de ser calibrados previamente, a *framework* transforma o valor recebido em formato de percentagem, sempre em relação ao limite mínimo e máximo calibrado. Os limites são carregados logo após o utilizador clicar no botão “Play”, através do ficheiro de texto que é criado na janela de calibração. Posto isto, e uma vez que são processos a correr em *threads* separadas, não existe o problema de a validação estar suspensa à espera que a leitura do ficheiro de dados seja feita.

O fluxo termina quando o utilizador clica no botão “Stop Playing”, que altera o estado de *Playing* para *Not Playing* e termina todas as *threads*.

Capítulo 5

Caso de Estudo

De forma a avaliar se os mecanismos de *biofeedback*, com recurso à *framework* desenvolvida, melhoram a experiência de jogo, foram realizados testes com um número simbólico de participantes ($n = 15$). A presença de utilizadores humanos nestes testes é bastante importante, uma vez que a experiência de jogo depende da existência de um jogador e do seu *feedback*, tal como Ermi et al. [EM07] afirmam:

“The essence of a game is rooted in its interactive nature, and there is no game without a player”

No fim da sua sessão de teste, cada sujeito respondeu a um conjunto de questionários referente a vários aspetos do jogo, mas também foram analisados comentários que o sujeito transmitia espontaneamente durante a sessão. Através da análise conjunta de todas estas opiniões obtidas no fim das sessões, foi possível construir uma avaliação bem fundamentada de todo o sistema desenvolvido que irá ser discutida nos próximos capítulos.

5.1 Fluxo do protocolo experimental

A realização de cada teste seguiu um planeamento previamente estruturado (Figura 15), com o objetivo de se obter um conjunto de respostas consistente, uma vez que todos os sujeitos de testes seriam submetidos às mesmas condições.

O plano de testes foi composto por diversas fases, sempre iniciado com um pequeno *briefing*.

- **Briefing**

Esta fase tinha o objetivo de dar a conhecer aos sujeitos todo o desenrolar da sessão e estabelecer a ligação dos sensores no corpo do sujeito. Após a sua ligação eram realizados testes, como por exemplo, pedir ao utilizador que exercesse força no músculo do braço, de forma a verificar se os dados eram lidos corretamente e para se proceder à calibração dos mesmos.

- **Processo de Calibração**

Neste processo era pedido aos jogadores que exercessem a força máxima que conseguissem em cada um dos músculos que iriam usar, pela seguinte ordem: bíceps esquerdo, bíceps direito, fibular longo da perna direita e por fim, pedia-se que respirassem fundo (secção 5.5). Cada um destes passos permitia à *framework* atualizar os valores do limite máximo e mínimo que o sujeito de teste conseguia atingir, e após estarem todos guardados no ficheiro de texto era então possível passar à fase de jogar, uma vez que agora a *framework* podia proceder aos cálculos necessários aquando das validações de cada *feature*.

- **Jogo**

Esta fase, porventura a mais importante, consistiu no sujeito jogar o videojogo de acordo com dois cenários de interação que se pretendiam comparar no final dos testes. São eles o cenário *Vanilla* e o cenário *Biofeedback*. No cenário *Vanilla*, o sujeito de teste interage com o jogo através de um método de interação tradicional, neste caso, um comando. Por outro lado, no cenário *Biofeedback*, o sujeito recorre não só a um comando, mas também às mecânicas de *biofeedback*, através dos dados dos sensores fisiológicos que se encontravam ligados ao seu corpo. Ou seja, de forma resumida:

Vanilla: Comando

Biofeedback: Comando + Sensores fisiológicos

Esta fase iniciava-se com um pequeno tutorial, onde o sujeito se ambientava aos controlos do jogo, tanto no comando como nas mecânicas de *biofeedback* (que serão descritas com maior detalhe mais à frente). Assim que o sujeito se sentisse ambientado aos controlos, dava início ao jogo, primeiro com o cenário *Biofeedback* e de seguida com o cenário *Vanilla*. Cada cenário tinha a duração de sensivelmente 20 minutos. Encerrado o cenário *Biofeedback*, os sensores eram retirados do corpo do sujeito e era iniciado o cenário *Vanilla*.

- **Questionários**

No final do cenário *Vanilla*, eram disponibilizados três questionários relativos às variáveis que se pretendem avaliar: Mecânicas de jogo, *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*⁹ e Experiência de jogo. Cada um dos questionários é descrito com maior detalhe no Capítulo 6.

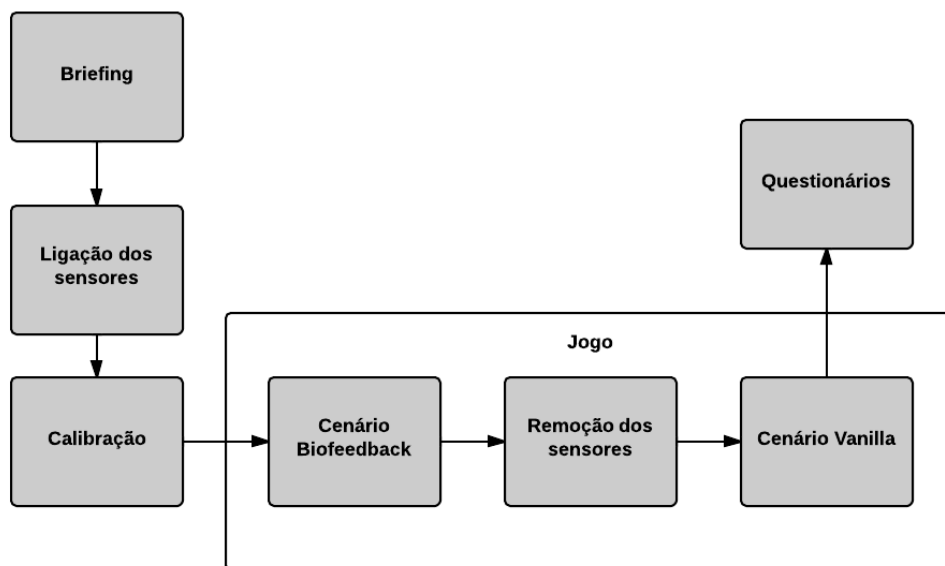


Figura 15 - Fluxo do protocolo experimental.

5.2 Participantes

Neste caso de estudo participaram quinze pessoas, todas do sexo masculino e com idades compreendidas entre os 20 e 23 anos ($M=22.06$, $DP=1.10$). A maior parte dos participantes costuma jogar videogames semanalmente ($N=9$), enquanto os restantes jogam apenas casualmente ($N=6$), ou seja, pelo menos uma vez por mês. Em relação ao género de jogos que os participantes preferem, as escolhas dividiram-se entre: RPG (*role playing game*), FPS (*first person shooter*) e MOBA (*Multiplayer online battle arena*), com os géneros MOBA e RPG a serem os mais preferidos.

Por fim, quanto à experiência com novos mecanismos de interação em videogames, apenas 2 participantes reportaram já terem tido experiência com a *Microsoft Kinect*.

⁹ <http://www.ravansanji.ir/?std1019IMIfull>

5.3 Ambiente de teste

O videogame foi corrido num computador portátil com a seguinte especificação:

- Processador Intel i7-2670QM @2.20GHz
- 6GB RAM
- NVIDIA GeForce GT 540M
- Monitor incorporado de 17" (resolução 1366 x 768)
- Windows 8.1 Professional 64 bits

O comando utilizado durante as sessões de testes foi um *Sony Dualshock 3*¹⁰, e a nível de software o videogame testado foi o *Dark Souls*¹¹.

5.4 O videogame: *Dark Souls*

O *Dark Souls* é um videogame do estilo RPG, ou “*role playing game*”, produzido pela *From Software*, que se desenrola em mundo aberto, e que permite ao jogador explorar livremente o cenário de jogo. O personagem principal é um humano amaldiçoado que foi escolhido para realizar uma peregrinação, no sentido de descobrir que destino estaria guardado para os mortos-vivos que habitavam nesse mundo.

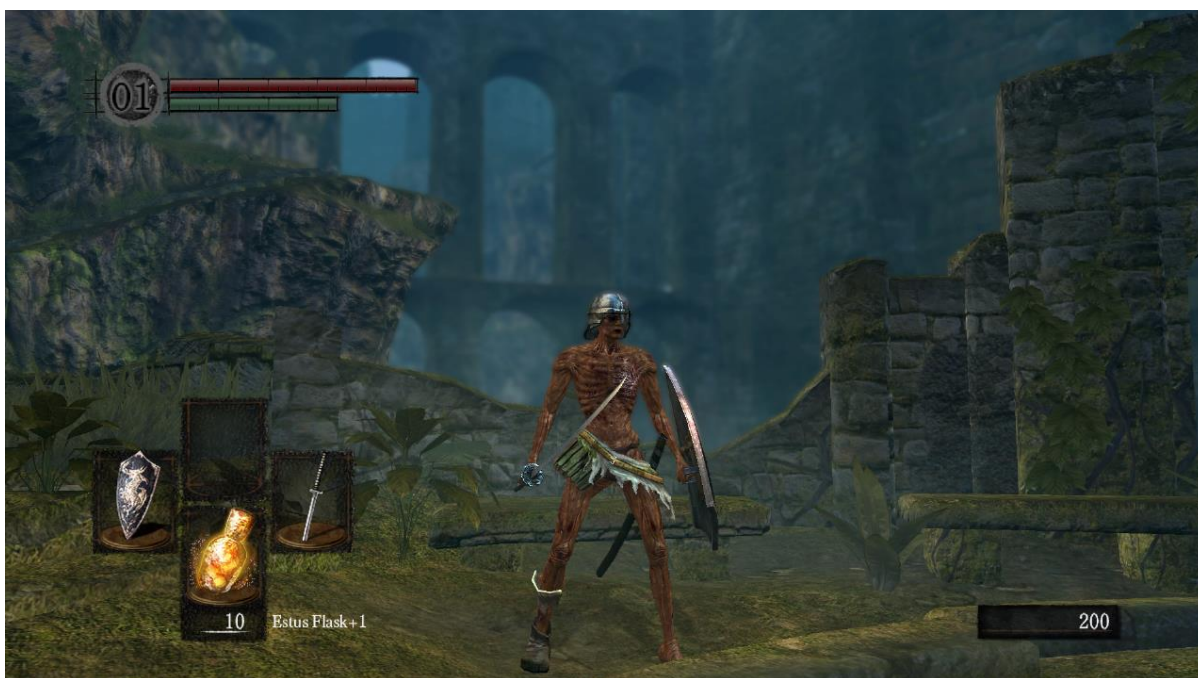


Figura 16 - O videogame *Dark Souls*.

¹⁰ <http://us.playstation.com/ps3/accessories/dualshock-3-wireless-controller-ps3.html>

¹¹ http://darksouls.fromsoftware.jp/contents/index_en.html

Caso de Estudo

Quanto aos controlos de jogo, foram deixados de parte os mais complexos como a gestão do equipamento e dos itens do personagem, e apenas tidos em conta os principais como o movimento e as ações de combate. O personagem é capaz de carregar um escudo no braço esquerdo e uma espada no braço direito (Figura 16), e cada uma dessas ações é feita através de controlos diferentes. Se o personagem estiver ferido, é possível curá-lo com uma poção que tenha disponível. Os modos que existem para ele se mover são o caminhar, que é o modo por omissão, e o correr que é ativado através de um controlo de jogo.

Durante a sessão de teste os participantes começavam o jogo num local específico do mapa e podiam explorar livremente até que a duração do teste terminasse. No *Dark Souls* existem vários inimigos espalhados por todo o mapa, e desse modo o sujeito de teste podia tirar partido de todos os controlos e mecânicas implementadas. Em relação a todos os controlos importantes que não eram afetados pelas mecânicas implementadas (como o mover o personagem), o sujeito usava as teclas do comando.

5.5 Mecânicas implementadas

A partir do leque de sensores de que é composto o *NeXus-10*, decidiu-se integrar na sessão de teste aqueles que podiam ser avaliados e controlados de forma mais acessível, isto é, sensores direccionados para o *biofeedback* direto. Desta forma, foram escolhidos três sensores de EMG e um de respiração.

Na escolha das mecânicas de *biofeedback* a implementar, procurou-se sobretudo estabelecer uma ligação entre o sujeito e o videojogo que fosse o mais intuitiva possível, para que as reações do sujeito fossem realizadas com maior eficácia. Toda a sessão de teste foi realizada com recurso à *framework* desenvolvida, tanto na criação de um controlador específico, como também no modo de jogar.

Mecânica	Cenário <i>Vanilla</i> (Comando)	Cenário <i>Biofeedback</i> (Sensores)
Defender	L1	EMG1
Atacar	R1	EMG2
Correr	○ (círculo)	EMG3
Curar	□ (quadrado)	RESP
Movimento	Comando (Analogico esquerdo)	Comando (Analogico esquerdo)

Tabela 1 - Mecânicas implementadas.

5.5.1 Defender

Dado que o escudo se encontra no braço esquerdo da personagem, decidiu-se que a maneira mais intuitiva e fácil de se usar por parte do sujeito de teste seria através de um sensor EMG posicionado no bíceps esquerdo do sujeito (Figura 17), de forma a aproximá-lo do seu personagem e por ser um local acessível de medir a força exercida.



Figura 17 - Exemplo da ação "Defender" no videogame.

No cenário *Vanilla*, o sujeito ativava o escudo se mantivesse pressionada a tecla L1 do comando. Por outro lado, no cenário *Biofeedback* o escudo era ativado através de uma *feature* criada no controlador de teste (Tabela 2):

“Se a força exercida no sensor EMG1 for superior a 15% da gama máxima calibrada anteriormente, é simulado no videogame a ação de manter pressionada a tecla Shift Esquerdo”

Restrições				Emulações	
Sensor	Tipo de restrição	Operador	Valor	Tipo	Tecla
EMG1	Valor Absoluto	>	0.15 (15% da força máxima)	Manter pressionado	Shift Esquerdo

Tabela 2 – Especificação da mecânica “Defender”.

5.5.2 Atacar

De modo a seguir o mesmo raciocínio que a mecânica de defender, e como a espada se encontra na mão direita do personagem, decidiu-se posicionar outro sensor de EMG no bíceps direito do sujeito de teste (Figura 18).



Figura 18 - Exemplo da ação "Atacar" no videogame.

Ao contrário da ativação do escudo, no caso da espada existem dois ataques possíveis de se realizarem: ataque normal e o ataque forte. No cenário *Vanilla*, o ataque normal era ativado com a tecla R1 do comando, enquanto o ataque forte era ativado com a tecla R2. Já no cenário *Biofeedback*, foram criadas duas *features* diferentes para cada tipo de ataque (Tabela 3 e Tabela 4).

O ataque normal é traduzido da seguinte forma:

“Se a força exercida no sensor EMG2 for superior a 35% e inferior ou igual a 95% da gama máxima calibrada anteriormente, é simulado no videogame um clique na tecla H”

Caso de Estudo

Restrições				Emulações	
Sensor	Tipo de restrição	Operador	Valor	Tipo	Tecla
EMG2	Valor Absoluto	>	0.35 (35% da força máxima)	Clicar	H
EMG2	Valor Absoluto	<=	0.95 (95% da força máxima)		

Tabela 3 – Especificação da mecânica “Ataque normal”.

O ataque forte é traduzido da seguinte forma:

“Se a força exercida no sensor EMG2 for superior a 95% da gama máxima calibrada anteriormente, é simulado no videojogo um clique na tecla U”

Restrições				Emulações	
Sensor	Tipo de restrição	Operador	Valor	Tipo	Tecla
EMG2	Valor Absoluto	>	0.95 (95% da força máxima)	Clicar	U

Tabela 4 – Especificação da mecânica “Ataque forte”.

5.5.3 Correr

A ação de correr por parte do personagem é feita através das suas pernas, ou seja, a forma mais intuitiva de aproximar o sujeito de teste ao seu personagem foi colocar um sensor de EMG no músculo fibular longo da perna direita (Figura 19).



Figura 19 - Exemplo da ação "Correr" no videogame.

No cenário *Vanilla*, o personagem corre se a tecla O (círculo) do comando se mantiver pressionada. No entanto, no cenário *Biofeedback*, foi criada a seguinte *feature* (Tabela 5):

“Se a força exercida no sensor EMG3 for superior a 20% da gama máxima calibrada anteriormente, é simulado no videogame a ação de manter pressionada a tecla Espaço”

Restrições				Emulações	
Sensor	Tipo de restrição	Operador	Valor	Tipo	Tecla
EMG3	Valor Absoluto	>	0.20 (20% da força máxima)	Manter pressionado	Espaço

Tabela 5 – Especificação da mecânica “Correr”.

5.5.4 Curar

Sempre que a vida do personagem está baixa, é necessário beber uma poção que volta a restabelecê-la. Como forma de aproximar a mecânica de curar a um método natural que sirva para restabelecer energias ou relaxar, decidiu-se escolher o sensor de respiração e ativar a mecânica apenas quando o sujeito respirasse fundo (Figura 20).



Figura 20 - Exemplo da ação "Curar" no videogame.

No cenário *Vanilla*, o sujeito curava o seu personagem ao clicar na tecla □ (quadrado). Por outro lado, no cenário *Biofeedback* foi criada a seguinte *feature* (Tabela 6):

“Se a amplitude do sensor RESP for superior a 85% da gama máxima calibrada anteriormente, é simulado no videogame um clique na tecla E”

Restrições				Emulações	
Sensor	Tipo de restrição	Operador	Valor	Tipo	Tecla
RESP	Valor Absoluto	>	0.85 (85% da força máxima)	Clicar	E

Tabela 6 – Especificação da mecânica “Curar”.

5.6 Considerações finais

Todas as sessões de teste foram realizadas conforme o planeamento previamente descrito na Secção 5.1, sem problemas a registar na ligação dos sensores, na fase de calibração e por fim, na fase de jogar. A escolha das mecânicas a implementar não demonstrou grande dificuldade de adaptação por parte dos sujeitos de teste, uma vez que todos conseguiram perceber como as mesmas funcionavam e de que forma as podiam ativar. Os questionários foram bem interpretados por todos os sujeitos, e desse modo foi possível reunir um conjunto de respostas consistentes em todos os questionários. Com todos os resultados e *feedback* obtido, é então possível passar à análise dos resultados, e desta forma poder tirar conclusões das várias questões relevantes para o estudo que se pretende realizar sobre o impacto destes mecanismos na experiência de jogo.

Capítulo 6

Análise de Resultados

Na análise dos resultados, foram usados três questionários que abordam os aspectos mais importantes que se pretendem avaliar. O primeiro deles refere-se às mecânicas implementadas e descritas no capítulo anterior, o segundo segue a estrutura do questionário *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI) que avalia várias componentes relacionadas com testes e por fim, o último questionário avalia a experiência de jogo. Estes questionários englobam sempre os dois cenários que foram testados (*vanilla* e *biofeedback*), ou seja, produzem duas amostras para cada sujeito de teste, e o formato das respostas segue uma escala de *Likert* que varia de 1 a 7.

A avaliação dos resultados foi feita com o recurso ao teste estatístico “*Wilcoxon Signed-Rank Test*”, uma vez que se está a trabalhar com dois cenários de teste emparelhados e com valores ordinais. Foram considerados estatisticamente significantes valores *p* abaixo de 0.05.

De seguida são apresentados os detalhes sobre cada questionário e os respetivos resultados.

6.1 Questionário I – Mecânicas de Jogo

Neste questionário foram avaliadas três componentes: divertimento, facilidade de uso e originalidade de cada mecânica implementada, tanto no cenário *Vanilla* como no cenário *Biofeedback*.

6.1.1 Divertimento

Os resultados na componente de divertimento foram bastante positivos, uma vez que os valores p obtidos são inferiores ao ponto de referência (0,05), com a mecânica de defesa a obter o valor p mais baixo ($Z = -3,508$, $p = 0,000451$). Isto significa que há uma diferença estatisticamente significativa no fator divertimento entre os dois cenários de teste, com o *Biofeedback* a ter melhor pontuação em todas as mecânicas como mostra a tabela 7.

	Defender	Atacar	Correr	Curar
Valor Z	-3,508	-3,255	-2,598	-2,884
Valor p	0,000451	0,001134	0,009384	0,003928

	Defender (V)	Defender (B)	Atacar (V)	Atacar (B)	Correr (V)	Correr (B)	Curar (V)	Curar (B)
Média	4,47	6,00	4,60	6,07	4,20	5,67	3,87	6,07
Desvio padrão	0,74	0,53	0,63	0,80	1,26	1,11	1,46	1,10
V – Cenário <i>Vanilla</i>				B – Cenário <i>Biofeedback</i>				

Tabela 7 - Resultados da componente "Divertimento" do Questionário I.

A mecânica de corrida, que apesar de ter uma diferença estatisticamente significativa ($Z = -2,598$, $p = 0,009384$) obteve a pior pontuação no cenário *Biofeedback* ($M = 5,67$, $DP = 1,11$). Isto é explicado através de comentários partilhados por alguns sujeitos de teste no decorrer da sessão.

“Após algum tempo a correr com a personagem sinto o músculo da perna um bocado cansado” (P.6)

“Não consigo coordenar bem a ação de correr porque deixo de fazer força no músculo da perna inconscientemente, talvez por estar também a exercer força nos músculos do braço” (P.2)

O primeiro comentário refere o fator esforço/cansaço na mecânica de correr como razão para diminuir o fator de divertimento ao jogar o videojogo, enquanto o segundo comentário diz respeito ao uso de vários músculos diferentes do corpo ao mesmo tempo, o que para alguns sujeitos pode tornar-se difícil de coordenar, e também provocar um esforço adicional. Por outro lado, a mecânica de curar no cenário *Vanilla* obteve uma pontuação bastante baixa comparado com as outras mecânicas todas ($M = 3,87$, $DP = 1,46$), esta diferença é explicado pelo facto de que a maior parte dos sujeitos de teste achou a ação de curar demasiado simples no comando,

Análise de Resultados

quando comparada com o cenário *Biofeedback*, como pode ser visto na componente de facilidade de uso.

6.1.2 Facilidade de Uso

A partir dos resultados obtidos para a componente da facilidade de uso, concluiu-se que a maior parte das mecânicas não demonstra uma diferença estatisticamente significativa entre os dois cenários de testes, uma vez que os seus valores p são superiores ao ponto de referência 0,05. No entanto, a mecânica de curar foi a única que teve um valor de p inferior a 0,05 ($Z = -2,077$, $p = 0,037813$), com a sua pontuação a tender para o cenário *Vanilla* ($M = 6,40$, $DP = 0,51$).

	Defender	Atacar	Correr	Curar
Valor Z	-1,350	-1,874	-1,674	-2,077
Valor p	0,176960	0,060887	0,094168	0,037813

	Defender (V)	Defender (B)	Atacar (V)	Atacar (B)	Correr (V)	Correr (B)	Curar (V)	Curar (B)
Média	6,00	5,60	6,00	5,33	5,93	5,33	6,40	5,73
Desvio padrão	0,53	0,74	0,65	1,05	0,46	1,05	0,51	0,96
V – Cenário <i>Vanilla</i>				B – Cenário <i>Biofeedback</i>				

Tabela 8 - Resultados da componente "Facilidade de Uso" do Questionário I.

A partir da pontuação de cada mecânica é possível verificar que a maior parte dos sujeitos de teste adaptaram-se menos facilmente ao cenário *Biofeedback*, mas essa diferença acentua-se com a mecânica de curar ($M = 5,73$, $DP = 0,96$). Esta diferença pode ser explicada pelo facto de que o sensor de respiração é bastante sensível a mudanças de posição por parte do utilizador que o usa, e isso fez com que em alguns casos a ação de curar funcionasse sem ser preciso respirar tão fundo, uma vez que os 85% da posição em que o sujeito calibrou iam corresponder a outro valor, caso o sujeito alterasse demasiado a sua posição.

No entanto, a principal razão que alguns sujeitos apontaram para justificar a dificuldade de uso das mecânicas no cenário *Biofeedback* foi a existência de um ligeiro atraso entre a ação do sujeito e a resposta no videojogo que podia demorar entre meio segundo a um segundo, uma vez

Análise de Resultados

que as *threads* implementadas para leitura dos dados fisiológicos e para a validação das features são executadas de meio em meio segundo.

6.1.3 Originalidade

A componente de originalidade foi a que obteve os resultados com maior diferença estatisticamente significativa, já que se registaram os valores p mais baixos entre as três componentes, com todos eles inferiores a 0,05. Por sua vez, o cenário *Biofeedback* obteve pontuação mais alta em todas as mecânicas.

	Defender	Atacar	Correr	Curar
Valor Z	-3,343	-3,432	-3,447	-3,432
Valor p	0,000576	0,000599	0,000567	0,000599

	Defender (V)	Defender (B)	Atacar (V)	Atacar (B)	Correr (V)	Correr (B)	Curar (V)	Curar (B)
Média	2,80	6,33	2,53	6,60	2,40	6,67	2,40	6,53
Desvio padrão	1,21	0,62	1,13	0,63	0,91	0,49	0,91	0,74
V – Cenário <i>Vanilla</i>				B – Cenário <i>Biofeedback</i>				

Tabela 9 - Resultados da componente "Originalidade" do Questionário I.

Apesar de todas as mecânicas obterem valores p bastante baixos, a de correr apresenta o menor valor de todos ($Z = -3,447$, $p = 0,000567$), e isto é confirmado pelos comentários da maior parte dos sujeitos de teste que afirmaram ser a mecânica mais intuitiva de todas e por isso ser também a mais original de todas. A razão pela qual existe tanta diferença entre os dois cenários pode ser explicada pelo facto de que a maior parte dos jogadores já usa estes mecanismos tradicionais (cenário *Vanilla*) na sua rotina como jogador, ao contrário dos mecanismos de *biofeedback* que são uma completa novidade.

6.2 Questionário II – IMI

No questionário de *Intrinsic Motivation Inventory* são avaliadas várias componentes:

- Interesse / Prazer;
- Perceção de competência;

Análise de Resultados

- Esforço / Importância;
- Pressão / Tensão;
- Valor / Utilidade;
- Relacionamento;

Em cada uma destas componentes são feitas várias afirmações relacionadas com o tema da componente, em que cada sujeito tem de escolher se concorda totalmente ou não (numa escala de 1 a 7) com cada afirmação, e por fim, é calculada uma pontuação final para atribuir à componente. É a partir dessa pontuação final, feito para os dois cenários de teste, que são calculados os valores do teste “*Wilcoxon Signed-Rank Test*”.

	Interesse / Prazer	Perceção de competência	Esforço / Importância	Pressão / Tensão	Valor / Utilidade	Relacionamento
Valor Z	-3,410	-2,383	-3,237	-2,163	-3,410	-3,356
Valor p	0,000650	0,017154	0,001208	0,030537	0,000650	0,000792

Componentes	Cenário <i>Vanilla</i>	Cenário <i>Biofeedback</i>
Interesse / Prazer	4,86 (DP = 0,73)	6,32 (DP = 0,33)
Perceção de competência	5,55 (DP = 0,62)	5,05 (DP = 0,78)
Esforço / Importância	4,12 (DP = 1,10)	5,67 (DP = 0,51)
Pressão / Tensão	2,05 (DP = 0,72)	2,92 (DP = 1,17)
Valor / Utilidade	3,93 (DP = 1,01)	6,11 (DP = 0,40)
Relacionamento	4,17 (DP = 0,67)	5,85 (DP = 0,72)

Tabela 10 - Resultados do Questionário II.

Após a análise dos resultados obtidos, verificou-se que existem em todos eles uma diferença estatisticamente significativa entre os dois cenários. A componente “Interesse / Prazer” ($Z = -3,410$, $p = 0,000650$) e “Valor / Utilidade” ($Z = -3,410$, $p = 0,000650$) foram as que registaram a maior diferença, com a pontuação máxima a ser atribuída ao cenário

Análise de Resultados

Biofeedback, principalmente na componente de “Interesse / Prazer” ($M = 6,32$, $DP = 0,33$). Este resultado mostra que os sujeitos de teste disfrutaram bastante mais a jogar o videojogo com recurso às mecânicas implementadas e que isso trouxe valor para a sua experiência de jogo.

A componente “Relacionamento” representa a imersividade que o sujeito sentiu ao jogar o videojogo, uma vez que as afirmações feitas eram sobre a sua proximidade com o personagem. Neste caso os resultados foram positivos, com a existência de uma diferença estatisticamente significativa ($Z = -3,356$, $p = 0,000792$) e com a maior parte dos sujeitos a preferirem o cenário *Biofeedback* ($M = 5,82$, $DP = 0,72$).

Na componente “Esforço / Importância”, os resultados que foram obtidos mostram que houve uma diferença estatisticamente significativa em termos de esforço nos dois cenários ($Z = -3,237$, $p = 0,001208$), com o cenário *Biofeedback* a ser o que provocou maior esforço e vontade de ser bem sucedido no teste ($M = 5,67$, $DP = 0,51$). Isto vai de encontro com os resultados da componente da facilidade de uso presente no primeiro questionário, porque a dificuldade acrescida em usar um mecanismo a que não estão habituados provoca um maior esforço, e por conseguinte uma maior vontade de aprender/ser bem sucedido. Do ponto de vista físico, o cenário *Biofeedback* requer bastante mais esforço que o cenário *Vanilla*, uma vez que a maior parte das mecânicas implementadas recorre ao uso de força muscular. A componente “Perceção de competência” pode ser relacionada com esta última componente, já que os resultados obtidos mostram que os sujeitos de teste sentem-se mais competentes a jogar o cenário *Vanilla* ($M = 5,55$, $DP = 0,62$), ou seja, o esforço e importância que colocaram nesse cenário foi bastante menor que no cenário *Biofeedback*.

Por fim, a componente “Pressão / Tensão” foi a que teve um valor de p mais elevado, mas mesmo assim deu origem a uma diferença estatisticamente significativa entre os dois cenários ($Z = -2,163$, $p = 0,030537$). Durante as sessões de teste, principalmente no cenário *Biofeedback*, alguns sujeitos de teste mostravam algum nervosismo quando, por exemplo, trocavam a ação do braço esquerdo com a ação do braço direito, embora essa situação também tenha acontecido no cenário *Vanilla* com algumas teclas do comando. O que pode explicar a elevada pontuação no cenário *Biofeedback* ($M = 2,92$, $DP = 1,17$) é a questão já discutida anteriormente sobre o esforço submetido pelos sujeitos de teste neste mesmo cenário, o que provoca uma maior tensão.

6.3 Questionário III – Experiência de jogo

No último questionário entregue aos sujeitos de teste, referente à experiência de jogo, foram apenas avaliadas as componentes de divertimento e jogabilidade nos dois cenários, e por fim, qual a preferência que os sujeitos tinham entre os dois. Este questionário é talvez dos mais

Análise de Resultados

importantes para avaliar se a experiência de jogo pode ser ou não melhorada com recurso à *framework* desenvolvida e aos novos mecanismos de *biofeedback*.

	Divertimento	Jogabilidade
Valor Z	-3,040	-2,491
Valor p	0,002362	0,012722

	Divertimento (V)	Divertimento (B)	Jogabilidade (V)	Jogabilidade (B)
Média	5,33	6,60	6,13	5,20
Desvio padrão	0,90	0,51	0,92	0,56
V – Cenário <i>Vanilla</i>		B – Cenário <i>Biofeedback</i>		

Tabela 11 - Resultados do Questionário III.

À semelhança do resultado obtido nos primeiros questionários sobre o divertimento nas várias mecânicas de jogo, a componente de divertimento na experiência de jogo também obteve uma diferença estatisticamente significativa ($Z = -3,040$, $p = 0,002362$) com a maioria dos sujeitos de teste a preferir o cenário *Biofeedback* ($M = 6,60$, $DP = 0,51$). Por outro lado, embora também com um diferença estatisticamente significativa ($Z = -2,491$, $p = 0,012722$), a jogabilidade teve uma melhor pontuação no cenário *Vanilla* ($M = 6,13$, $DP = 0,92$). Quanto à questão de qual dos dois cenários é que os sujeitos preferiram, houve unanimidade entre todos ao escolherem o cenário *Biofeedback*. Grande parte dos comentários feitos pelos utilizadores referiam que a principal razão pela sua preferência era o facto de estes mecanismos serem uma novidade e proporcionarem uma sensação nova ao jogar o videojogo.

Posto isto, e ao analisar os resultados obtidos nestas três componentes, é possível concluir de forma resumida que estes mecanismos de facto melhoraram a experiência de jogo, mas no entanto, a jogabilidade neles assente ainda não está de todo bem afinada para estar ao nível dos mecanismos tradicionais. No próximo capítulo é feita uma discussão mais detalhada sobre todos os resultados obtidos durante a validação.

6.4 Discussão de resultados

6.4.1 Aceitação dos novos mecanismos

Após o caso de estudo realizado foi possível avaliar como eram aceites estes novos mecanismos de interação por parte dos utilizadores, e os resultados que se obtiveram foram bastante positivos. A maior parte dos participantes salientou que o facto de estarem sempre restringidos a interagir com os videojogos através dos mecanismos de interação tradicional, como por exemplo um comando, ajuda a que o uso destes novos mecanismos seja visto não só como uma evolução, mas sobretudo como uma libertação dos mecanismos tradicionais.

“No comando torna-se bastante repetitivo porque estamos sempre a carregar em botões e não passa disso. Com os sensores há grande variedade de controlos por onde explorar” (P. 13)

Por exemplo, para fazermos o nosso personagem saltar num videojogo com o comando, só o conseguimos fazer com os botões. Por outro lado, com recurso às mecânicas de *biofeedback* pode-se implementar esta ação do personagem de diferentes formas, através de um ou mais sensores em conjunto, seja de respiração, de EMG, entre outros. A criação desta *framework* dá a oportunidade de o jogador escolher qual é a mecânica que mais lhe convém para determinada ação no videojogo.

No entanto, é importante realçar que o objetivo não é substituir por completo os mecanismos de interação tradicional, mas sim estendê-los com a ajuda das mecânicas de *biofeedback*, à imagem do que foi feito no caso de estudo, em que o cenário *Biofeedback* era jogado com o comando e com os sensores fisiológicos.

6.4.2 Impacto na experiência de jogo

O impacto na experiência de jogo é o ponto de discussão mais importante, uma vez que os questionários se focaram essencialmente nesse tema, e é também um dos objetivos da dissertação. Através da análise dos resultados, é possível concluir que de modo geral os participantes acharam mais divertido recorrer às mecânicas de *biofeedback* para interagir com o videojogo em questão, embora não signifique que este resultado seja igual para outros videojogos diferentes.

A principal qualidade que um videojogo precisa de ter de forma a transmitir uma experiência de jogo melhor, é ser o mais imersivo possível, e é a partir desse pressuposto que Brown [BC04] enunciou uma teoria para explicar a imersividade nos videojogos, que se divide em três fases: compromisso, atenção captada e imersão total. Para alcançar a primeira fase de compromisso, Brown afirma que o jogador precisa de investir tempo, esforço e atenção. Através do questionário IMI, foi possível então analisar quais eram os níveis de esforço e atenção de

cada participante enquanto jogavam os dois cenários de teste. O cenário *Biofeedback* mostrou-se com melhores resultados em relação ao esforço e atenção dos participantes, e desse modo significa que o jogo estava a ser mais imersivo que no cenário *Vanilla*. Outro ponto do questionário IMI que pode ser importante para a questão da imersividade, embora já discutido na secção 6.2, é a componente de Relacionamento, que tentava relacionar o participante ao personagem, ou seja, se o mesmo se sentia mais próximo ou não do seu personagem. À semelhança dos resultados anteriores, também foi no cenário *Biofeedback* que os participantes se sentiram mais próximos do seu personagens.

No entanto, como já referido no capítulo anterior, alguns participantes transmitiram um certo cansaço passado algum tempo a jogar com os sensores, o que pode provocar alguma preocupação quanto à melhoria na experiência de jogo. Esta questão não é todo um obstáculo, e permite na mesma concluir que de forma geral a implementação destes novos mecanismos têm realmente um impacto positivo na experiência de jogo, só que de qualquer forma é um aspeto que precisa de ser encarado com especial atenção em futuros desenvolvimentos.

6.4.3 Limitações

As limitações encontradas foram sobretudo a nível de equipamento, uma vez que o uso de vários sensores com fios torna o processo pouco cómodo, como afirmaram alguns participantes.

“O número elevado de fios às vezes pode atrapalhar algumas ações do corpo que podia precisar de fazer para jogar, enquanto com o comando posso estar numa posição ao meu agrado” (P.4)

No entanto, na escolha das mecânicas e na montagem dos sensores, procurou-se evitar que estas situações ocorressem. Ainda relacionado com o equipamento, o tempo que cada utilizador precisaria para montar os sensores e calibrar os dados manualmente, tornava pouco viável o uso destas mecânicas no dia-a-dia de um jogador, embora o uso da *framework* permitisse poupar tempo na calibração, uma vez que a calibração do jogador iria permanecer guardada.

Na análise de resultados foram mencionadas outras limitações, como a elevada sensibilidade do sensor de respiração, que podia dificultar o seu uso no vídeojogo sempre que o jogador alterava a sua posição. E por outro lado, o cansaço que alguns sensores podiam provocar devido ao uso de força muscular. Os resultados obtidos na componente facilidade de uso destas mecânicas, podem ser também considerados uma limitação, uma vez que vários participantes continuam a achar os mecanismos tradicionais mais fáceis de se usar, no entanto, o uso destas novas mecânicas pode ser melhorado se houver um maior tempo de habituação por parte dos utilizadores, uma vez que se registava sempre um aumento de desempenho em cada participante ao longo da sua sessão de teste, com os próprios a realizarem as ações das mecânicas de forma mais rápida e eficaz.

Análise de Resultados

Por fim, a investigação destas mecânicas de *biofeedback* dentro de um grupo reduzido de géneros de jogo, principalmente RPG (*role playing game*) e FPS (*First Person Shooter*), é ainda uma limitação, uma vez que existe um elevado número de géneros diferente.

Capítulo 7

Conclusões

Concluída a implementação da *framework* e posterior avaliação dos resultados obtidos no caso de estudo realizado, foi possível completar todo o plano de trabalho construído no início da realização desta dissertação. Desta forma conseguiu-se avaliar o impacto dos mecanismos de *biofeedback* na experiência de jogo num videojogo comercial, com recurso à *framework* desenvolvida. A realização de todas estas tarefas propostas permite então tirar conclusões sobre todos os objetivos que constituíam esta dissertação, e fazer um planeamento do trabalho futuro a ser realizado consoante as limitações encontradas, mas também consoante outros melhoramentos que recorram a novas tecnologias e novos estudos.

7.1 Satisfação dos objetivos

A dissertação separou-se em dois objetivos principais, o primeiro referente à criação de uma ferramenta para interligar sensores fisiológicos aos controladores de jogo, e o segundo referente ao estudo do impacto destas mecânicas na experiência de jogo.

O primeiro objetivo foi cumprido com a implementação da *framework*, uma vez que permitia a interligação rápida dos sensores fisiológicos aos controladores de jogo, com especial atenção à possibilidade de criação de vários controladores de jogo para vários videojogos, e também à usabilidade para com o utilizador final. A satisfação deste objetivo foi comprovada com o uso da *framework* no caso de estudo realizado, que decorreu sem nenhum problema relacionado com as suas funcionalidades.

Conclusões

O segundo objetivo, bastante importante porque permitia avaliar o trabalho realizado através da opinião de vários utilizadores, foi cumprido com a realização do caso de estudo. As sessões de teste foram planeadas para que todos os participantes tivessem as mesmas condições. Como é possível ver na análise de resultados e na sua discussão, todos os testes correram dentro do esperado e o *feedback* recebido no final por parte de todos os participantes foi bastante encorajador, não só para esta dissertação mas também para a investigação de novos mecanismos de interação.

Posto isto, é importante realçar que os resultados obtidos durante este trabalho foram semelhantes a outros descritos anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica, o que abre muitas oportunidades para a entrada de mecanismos de *biofeedback* no mercado dos videojogos num futuro próximo. As limitações encontradas não são de importância extrema, porque não impossibilitam de todo o uso destas mecânicas, e muitas delas podem ser resolvidas com a criação de novos equipamentos mais usáveis e com um poder de processamento melhorado.

7.2 Trabalho futuro

O trabalho futuro incide sobretudo na implementação de novos sensores dentro da *framework*, com especial destaque para sensores de eye-tracking e de luvas virtuais. Outra possibilidade que ultimamente tem vindo a receber bastantes elogios por parte da comunidade, é o caso dos Oculus Rift¹², que é um equipamento de realidade virtual direcionado para videojogos, e tem como objetivo aumentar a imersividade dos mesmos.

Dentro da própria *framework*, o trabalho futuro passa principalmente pela melhoria da sua eficácia, como os problemas de atraso nas ações do personagem já mencionados em capítulos anteriores. Por outro lado, também podem ser feitas melhorias na emulação de teclas, ao adicionar novas sequências, como por exemplo clicar 5 vezes numa tecla durante um segundo, entre outras.

Embora grande parte do trabalho futuro possa ser feito dentro da *framework*, há também outro caminho que pode ser explorado, como o estudo destas novas mecânicas em diferentes géneros de jogos, de forma a alargar cada vez mais as possibilidades de implementação das mecânicas de *biofeedback*. Muitos dos participantes do caso de estudo têm como género de jogo preferido MOBA (*Multitplayer online battle arena*), como o caso do videojogo “*League of Legends*”, que nos últimos anos tem tido um crescimento muito grande de adeptos, e desta forma pode tornar-se numa forte aposta para implementação destes novos mecanismos.

¹² <http://www.oculusvr.com/>

Referências

- [AAP07] AAPB. About Biofeedback
<http://www.aapb.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3463>, acessado pela última vez em 11 de Fevereiro de 2014.
- [AF04] Allanson, J., Fairclough, S. A Research Agenda for Physiological Computing. Interacting with Computers. Special Issue on Physiological Computing. October 2004, Vol. 16 Issue 5 pp. 857-878.
- [Amb11] Mike Ambinder. Biofeedback in gameplay: How valve measures physiology to enhance gaming experience. In Game Developers Conference, 2011.
- [BBM+07] Regina Bernhaupt, Andreas Boldt, Thomas Mirlacher, David Wilfinger, and Manfred Tscheligi. Using emotion in games: emotional flowers. In Proceedings of the International Conference on Advances in computer entertainment technology, pages 41–48. ACM, 2007
- [BC04] Emily Brown and Paul Cairns. A grounded investigation of game immersion. In CHI'04 extended abstracts on Human factors in computing systems, pages 1297–1300. ACM, 2004.
- [BMA+01] Bersak, D., McDarby, G., Augenblick, N., McDarby, P., McDonnell, D., McDonal, B., Karkun, R. Biofeedback using an Immersive Competitive Environment. Online Proceedings for the Designing Ubiquitous Computing Games Workshop, UbiComp 2001.
- [BNL] BNL. About Brookhaven: First Video Game?
<http://www.bnl.gov/about/history/firstvideo.php>, acessado em pela última vez em 11 de Fevereiro de 2014 .
- [DC07] Andrew Dekker and Erik Champion. Please biofeed the zombies: enhancing the gameplay and display of a horror game using biofeedback. Proc. of DiGRA, 2007.
- [EM07] Emily Brown and Paul Cairns. A grounded investigation of game immersion. In CHI'04 extended abstracts on Human factors in computing systems, pages 1297–1300. ACM, 2004.

Referências

- [GDA05] Kiel Gilleade, Alan Dix, and Jen Allanson. Affective Videogames and Modes of Affective Gaming: Assist Me, Challenge Me, Emote Me. Proceedings of DIGRA'2005. 2005
- [HC00] Sara Ilstedt Hjelm and Carolina Browall. Brainball—using brain activity for cool competition. In Proceedings of NordiCHI, pages 177–188, 2000.
- [IGN12] IGN. Valve Confirms Hardware Development. <http://uk.ign.com/articles/2012/09/03/valve-confirms-hardware-development>, acessado pela última vez em 11 de Fevereiro de 2014.
- [IHV09] Howell Istance, Aulikki Hyrskykari, Stephen Vickers, and Thiago Chaves. For your eyes only: Controlling 3D online games by eye-gaze. In Human-Computer Interaction—INTERACT 2009, pages 314–327. Springer, 2009
- [KLT+10] Kuikkaniemi, K., Laitinen, T., Turpeinen, M., Saari, T., Kosunen, I., Ravaja, N. 2010. The Influence of Implicit and Explicit Biofeedback in First-Person Shooter Games. CHI 2010. Atlanta, GA, USA.
- [KNR11] Matias Kivikangas, J., Nacke, L., & Ravaja, N. Developing a triangulation system for digital game events, observational video, and psychophysiological data to study emotional responses to a virtual character. Entertainment Computing, 2(1), 11–16, 2011
- [NAR+14] Nogueira, P. A., Aguiar, R., Rodrigues, R., & Oliveira, E. Designing Players' Emotional Reaction Models: A Generic Method Towards Adaptive Affective Gaming. In Information Systems and Technologies (CISTI), 2014 9th Iberian Conference on., Barcelona, Spain: IEEE, 2014.
- [NKL11] Lennart Erik Nacke, Michael Kalyn, Calvin Lough, and Regan Lee Mandryk. Biofeedbackgamedesign:using direct and indirect physiological controlto enhance game interaction. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pages 103–112. ACM, 2011
- [Nog13] Nogueira, P. A. Towards Dynamically Crafted Affective Experiences Through Emotional Response Player Modelling. Proceedings of the Ninth Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment, 2013.
- [NRO+13] Nogueira, P. A., Rodrigues, R., Oliveira, E., & Nacke, L. E.. A Hybrid Approach at Emotional State Detection: Merging Theoretical Models of Emotion with Data-Driven Statistical Classifiers. In Proceedings of the 2013 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (pp. 253 – 260), 2013.

Referências

- [NS13] Nogueira, P., & Serra, J. Personality Simulation in Interactive Agents Through Emotional Biases. In European Conference on Modelling and Simulation (pp. 25–31), 2013.
- [NTR13] Nogueira, P. A., Torres, V., & Rodrigues, R. Automatic Emotional Reactions Identification: A Software Tool for Offline User Experience Research. In Entertainment Computing--ICEC 2013 (pp. 164–167). Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [PIC97] Picard, R. Affective Computing. MIT Press (1997).
- [SBC+11] Cara E Stepp, Deanna Britton, Chelsey Chang, Albert L Merati, and Yoky Matsuoka. Feasibility of game-based electromyographic biofeedback for dysphagia rehabilitation. In Neural Engineering (NER), 2011 5th International IEEE/EMBS Conference on, pages 233–236. IEEE, 2011.
- [SG06] J David Smith and TC Graham. Use of eye movements for video game control. In Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, page 20. ACM, 2006.
- [TNS13] Teófilo, L. F., Nogueira, P. A., & Silva, P. B. GEMINI: A Generic Multi-Modal Natural Interface Framework for Videogames. In Advances in Information Systems and Technologies (pp. 873–884). Springer Berlin Heidelberg, 2013.

Anexo A

Questionário I – Mecânicas de Jogo.

A.1 Fun

Shield

- **Vanilla**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

- **Biofeedback**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

Sword Attack

- **Vanilla**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

- **Biofeedback**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

Sprint

- **Vanilla**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

- **Biofeedback**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

Heal

- **Vanilla**

1 (Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

- **Biofeedback**

1(Boring) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very fun)

A.2 Ease of Use

Shield

- **Vanilla**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

- **Biofeedback**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

Sword Attack

- **Vanilla**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

- **Biofeedback**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

Sprint

- **Vanilla**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

- **Biofeedback**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

Heal

- **Vanilla**

1 (Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

- **Biofeedback**

1(Difficult) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Easy)

A.3 Originality

Shield

- **Vanilla**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

- **Biofeedback**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

Sword Attack

- **Vanilla**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

- **Biofeedback**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

Sprint

- **Vanilla**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

- **Biofeedback**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

Heal

- **Vanilla**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

- **Biofeedback**

1 (No originality) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very original)

Anexo B

Questionário II – IMI

B.1 Interest / Enjoyment

Vanilla

- **I enjoyed this activity very much**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This activity was fun to do**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I thought this was a boring activity**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This activity did not hold my attention at all**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would describe this activity as very interesting**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I thought this activity was quite enjoyable.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **While I was doing this activity, I was thinking about how much I enjoyed it.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I enjoyed this activity very much**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This activity was fun to do**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I thought this was a boring activity**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This activity did not hold my attention at all**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would describe this activity as very interesting**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I thought this activity was quite enjoyable.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **While I was doing this activity, I was thinking about how much I enjoyed it.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

B.2 Perceived Competence

Vanilla

- **I think I am pretty good at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **After working at this activity for awhile, I felt pretty competent.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I am satisfied with my performance at this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was pretty skilled at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This was an activity that I couldnt do very well.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I think I am pretty good at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **After working at this activity for awhile, I felt pretty competent.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I am satisfied with my performance at this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was pretty skilled at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **This was an activity that I couldnt do very well.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

B.3 Effort / Importance

Vanilla

- **I put a lot of effort into this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I didnt try very hard to do well at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I tried very hard on this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **It was important to me to do well at this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I didnt put much energy into this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I put a lot of effort into this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I didnt try very hard to do well at this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I tried very hard on this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **It was important to me to do well at this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I didnt put much energy into this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

B.4 Pressure / Tension

Vanilla

- **I did not feel nervous at all while doing this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I felt very tense while doing this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was very relaxed in doing these.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was anxious while working on this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I felt pressured while doing these.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I did not feel nervous at all while doing this.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I felt very tense while doing this activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was very relaxed in doing these.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I was anxious while working on this task.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I felt pressured while doing these.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

B.5 Value / Usefulness

Vanilla

- **I believe this activity could be of some value to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think that doing this activity is useful for me to experience new ways to play a game.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think this is important to do because it can improve my game experience.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would be willing to do this again because it has some value to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I believe doing this activity could be beneficial to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think this is an important activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I believe this activity could be of some value to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think that doing this activity is useful for me to experience new ways to play a game.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think this is important to do because it can improve my game experience.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would be willing to do this again because it has some value to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I believe doing this activity could be beneficial to me.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I think this is an important activity.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

B.6 Relatedness

Vanilla

- **I felt really distant to this character.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would like a chance to interact with this character more often.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would really prefer not to interact with this character in the future.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I feel close to this character**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Biofeedback

- **I felt really distant to this character.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would like a chance to interact with this character more often.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I would really prefer not to interact with this character in the future.**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

- **I feel close to this character**

1 (Not at all true) ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ 7 (Very true)

Anexo C

Questionário III – Experiência de Jogo

C.1 Fun

- **Vanilla**

1 (Boring) 7 (Very fun)

- **Biofeedback**

1 (Boring) 7 (Very fun)

C.2 Playability

- **Vanilla**

1 (Not playable) 7 (Very playable)

- **Biofeedback**

1 (Not playable) 7 (Very playable)

C.3 Preference

Which condition did you prefer?

- Vanilla
- Biofeedback

Questionário III – Experiência de Jogo