

DM

**Utilização de um Loop Fechado de Biofeedback
para Aumentar a Motivação Durante a
Aprendizagem de Matemática**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diogo Filipe Sousa Gaspar

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

novembro | 2022

Utilização de um Loop Fechado de Biofeedback para Aumentar a Motivação Durante a Aprendizagem de Matemática

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diogo Filipe Sousa Gaspar

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTAÇÃO

Pedro Filipe Pereira Campos

CO-ORIENTAÇÃO

Vanessa Quintal Cesário



FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E DA ENGENHARIA

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Utilização de um Loop Fechado de Biofeedback para Aumentar a Motivação Durante a Aprendizagem de Matemática

Diogo Filipe Sousa Gaspar

Orientado por:

Prof. Pedro Campos

Prof. Vanessa Cesário

Constituição do júri de provas públicas:

Karolina Baras (Professora Auxiliar da Universidade da Madeira), Presidente

Frederica Camacho Gonçalves (Professora Adjunta da Universidade da Madeira), Arguente

Pedro Filipe Pereira Campos (Professor Associado com Agregação da Universidade da Madeira),
Orientador

16 de fevereiro de 2023

Resumo

Os estudantes nativos digitais apresentam maior facilidade a utilizar tecnologias computacionais, comparativamente aos imigrantes digitais que têm dificuldade a utilizar as mesmas. Isto abre a possibilidade da introdução de abordagens mais ativas durante o ensino dos conteúdos das disciplinas, como as abordagens baseadas em jogos.

Uma das disciplinas que pode beneficiar com este tipo de abordagem é a disciplina de Matemática, considerada por muitos alunos como uma matéria “muito difícil” e “aborrecida”, devido a não estar adaptada aos interesses dos alunos nativos digitais. Concretamente, esta disciplina pode beneficiar da concretização de uma solução mais ativa de ensino, que se adapta em tempo real aos dados de motivação dos alunos, através da introdução de estratégias persuasivas num jogo, que apenas ocorrem se o jogador diminuir os seus níveis de motivação durante a aprendizagem, de modo a influenciar o comportamento do mesmo. Para isso, neste estudo são utilizados os sensores de EEG e os questionários IMI (Intrinsic Motivation Inventory) como métodos de avaliação da motivação dos participantes, sendo o EEG utilizado para mostrar eventos especiais, em tempo real, no jogo, caso os níveis de motivação do participante se encontrem abaixo do limiar de envolvimento calculado.

Nesta dissertação, efetuou-se uma experiência com 21 alunos do ensino secundário, visando responder a quatro hipóteses de investigação, sendo estas: HI1: “Os sensores EEG são métodos de avaliação mais eficazes do que os questionários no que toca a medir a motivação dos alunos durante a aprendizagem”; HI2: “Um jogo didático de Matemática é mais motivador que uma abordagem tradicional de ensino”; HI3: “A introdução de elementos persuasivos durante o jogo educacional aumenta a motivação do aluno”; HI4: “A abordagem baseada em jogos é mais eficaz que um método tradicional de ensino”. Os testes destas hipóteses permitem-nos verificar a eficácia da aprendizagem baseada em jogos, dos sensores EEG como métodos de avaliação de motivação e da sua utilização para introduzir elementos persuasivos em tempo real.

Keywords: Eletroencefalograma · Abordagem baseada em jogos · Motivação · Análise em tempo real · Biofeedback · Jogo persuasivo

Abstract

Digital native students are more likely to use computer technologies when compared to digital immigrants who struggle to use them. This opens the possibility of introducing more active approaches such as game-based approaches during the teaching process.

One of the subjects that can benefit from this type of approach is the subject of Mathematics, since it is considered by many students as a “very difficult” and “boring” subject due to not being adapted to the interests of digital native students. This subject can benefit from the integration of a more active teaching solution that adapts, in real time, to the student’s motivation data through the introduction of persuasive strategies during a game, which only occurs if the player decreases his motivation levels in order to influence their behavior. This study uses EEG sensors and IMI (Intrinsic Motivation Inventory) questionnaires as methods to evaluate the participant’s motivation, with the EEG being used to show special motivation events during the game, in real time, in order to keep the participant’s motivation levels high.

In this dissertation, an experiment was carried out by 21 high school students, aiming to answer four research questions, namely: HI1: “The EEG sensors are a more effective assessment tool than questionnaires when it comes to measuring the motivation of students during a learning process”; HI2: “A Mathematics learning game is more motivating than a traditional teaching approach”; HI3: “The introduction of persuasive elements during the educational game increases students’ motivation”; HI4: “The game-based approach is more effective than a traditional teaching approach”. Testing these research questions allow us to verify the effectiveness of game-based learning, of EEG sensors as motivational assessment methods and of their use to introduce persuasive elements in real time.

Keywords: Electroencephalogram · Game based learning · Motivation · Real time analysis · Biofeedback · Persuasive games

Agradecimentos

A elaboração da presente dissertação não foi possível sem a contribuição de várias pessoas. Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais e irmã, pelo apoio incondicional e compreensão, ao longo de todo o meu percurso académico, sem eles nada disto seria possível.

Quero dar um agradecimento especial aos meus orientadores da dissertação, Professor Doutor Pedro Campos e Professora Doutora Vanessa Cesário, por toda a ajuda ao longo do processo, pela confiança e disponibilidade.

Agradeço à Professora Bárbara Rodrigues pelo apoio relacionado com os conteúdos Matemáticos e pelo auxílio na elaboração das fichas de avaliação dos conteúdos de “Introdução às Probabilidades”.

Ao Professor Nélio Ramos, à explicadora Ana Gomes e aos alunos do ensino secundário que colaboraram no processo experimental da dissertação. Um muito obrigado por toda a disponibilidade e paciência.

Por último e não menos importante, um agradecimento a todos os meus colegas e amigos que contribuíram de forma direta ou indireta na concretização da dissertação.

Conteúdo

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	x
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Contribuições	2
1.3 Organização do Documento	2
2 Estado de Arte.....	3
2.1 Abordagem Baseada em Jogos	3
2.1.1 Abordagem baseada em jogos <i>versus</i> Métodos Tradicionais.....	3
2.2 Matemática e Abordagens Baseadas em Jogos.....	3
2.3 Outros estudos relacionados	4
2.4 Avaliação da motivação, atenção e carga de memória de trabalho	5
2.4.1 Avaliação através do Eletroencefalograma	6
2.4.2 Casos de Utilização do EEG em Abordagens Baseadas em Jogos..	7
2.5 Jogos Persuasivos	8
3 Descrição da Solução	10
3.1 Protótipos.....	10
3.1.1 Baixa-fidelidade.....	10
3.1.2 Alta-fidelidade	12
3.2 Descrição do Jogo Didático	14
3.3 Escolha do Motor de Jogo	15
3.4 Estratégias Persuasivas Utilizadas	16
3.5 Implementação da Solução	17
3.5.1 Ecrã inicial	17
3.5.2 Ambiente tutorial	19
3.5.3 Ambiente competitivo	28
3.5.4 Ecrã final.....	32
4 Metodologia	33
4.1 Abordagem.....	33
4.2 Equipamento Necessário	33
4.2.1 EEG Emotiv Insight 2.0	33
4.2.2 Eletroencefalograma e Métricas de Performance.....	33
4.3 <i>Playtesting</i> e Testes de Usabilidade.....	35
4.4 Procedimento Experimental	36
4.4.1 Participantes	36
4.4.2 Experiência.....	37
4.4.3 Questionários de avaliação da motivação	38
4.5 Hipóteses de Investigação.....	39
4.5.1 Condições Experimentais	40
5 Apresentação e Análise dos Resultados	41

5.1	Resultados da Metodologia com Questionários de Avaliação de Motivação	41
5.2	Resultados da Metodologia com Eletroencefalograma	44
5.3	Métodos de Avaliação de Motivação: Eletroencefalograma <i>versus</i> IMI ..	48
5.4	Motivação num Método Tradicional <i>versus</i> Abordagem Baseada em Jogos	51
5.4.1	Análise da Classificação IMI do GC e do GE1	52
5.4.2	Análise dos Resultados EEG do GC e do GE2.....	53
5.4.3	Discussão dos Resultados das Condições Experimentais C2a e C2b	54
5.5	Resultados das Estratégias Persuasivas no Aumento da Motivação Durante o Jogo	54
5.6	Resultados da Aquisição de Conhecimentos nas Diferentes Abordagens.	55
6	Conclusão e Trabalho Futuro	57
	Referências	59
	Apêndice	66
I	Classificação do <i>System Usability Scale</i> por Participante	66
II	Classificação dos Participantes do GC pela sua Pontuação no IMI.....	67
III	Classificação dos Participantes do GC pela Tendência de Mudança de Envolvimento	68
IV	Distribuição dos participantes no GC e no GE1 pela classificação IMI	69
V	Distribuição dos participantes no GC e no GE2 pela tendência de mudança de envolvimento.....	70
VI	Resultados da Avaliação do Pré-teste e Pós-teste dos Participantes.....	71
	Anexos	72
A	Conteúdo do Ambiente de Aprendizagem na Abordagem Baseada em Jogos	72
A.1	Experiência Aleatória e Determinista	72
A.2	Espaço Amostral.....	73
A.3	Acontecimento impossível, elementar, certo e composto.	74
A.4	Operações com acontecimentos	75
A.5	Definição clássica de Probabilidade ou de Laplace	77
A.6	Acontecimento independente	78
B	Ecrã Final de Vitória e Derrota	80
C	Formulário de análise de motivação IMI	81
D	Consentimento Informado de Participação no Estudo	84
E	Prova de Verificação de Conhecimentos (Pré-teste)	86
F	Prova de Verificação de Aprendizagem (Pós-teste)	88
G	Conteúdo Utilizado na Aprendizagem Clássica.....	92
H	Gráficos de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento do GE2	102

Lista de Figuras

1	Protótipo de baixa fidelidade referente ao ambiente tutorial.	11
2	Protótipo de baixa fidelidade referente ao ecrã de explicação de conteúdos ao jogador. . .	11
3	Protótipo de baixa fidelidade referente ao ambiente competitivo.	12
4	Protótipo de baixa fidelidade referente a alguns exemplos de minijogos.	12
5	Protótipo de alta fidelidade da explicação da matéria no ambiente tutorial.	13
6	Expressões faciais da personagem “Professor”.	13
7	Protótipo de alta fidelidade do ambiente competitivo.	14
8	Corrotina <i>StartEEGConfiguration</i> e método <i>WaitForSessionCreation</i> responsáveis pela criação da sessão com o <i>headset</i>	18
9	Método <i>GetPerformanceMetricData</i> (esquerda) e <i>SetEngagementThreshold</i> (direita) responsáveis pela obtenção das métricas de performance de envolvimento e por definir o <i>threshold</i> , respetivamente.	18
10	Classe <i>Dialogue</i> responsável por definir os dados de cada caixa de diálogo das explicações teóricas.	20
11	Corrotina <i>ShowDialogue</i> (esquerda) e método <i>ShowNext</i> (direita) responsáveis pela gestão dos diálogos.	20
12	Diagrama da classe <i>Minigame</i> e a sua relação de herança com as subclasses <i>MultipleChoice</i> , <i>BucketPaintMinigame</i> e <i>FractionChoiceGame</i>	21
13	Minijogo especial de consolidação da matéria referente aos espaços amostrais.	22
14	Minijogo especial de criação de conjuntos para consolidar o conceito de união.	23
15	Método <i>AddNewNumber</i> (esquerda), <i>ChangeNumberScreen</i> (direita) responsáveis pela adição de um número a um conjunto.	23
16	Método <i>NumberAction</i> (esquerda em cima), função <i>SetOperationByType</i> (esquerda em baixo) e método <i>CompareSetAccordingToType</i> (direita).	24
17	Minijogo especial de pintar as bolas de uma tigela conforme a probabilidade de tirar bola vermelha.	25
18	Minijogo especial que reforça os conhecimentos do conceito de acontecimento independente. Primeiro exercício (azul) e segundo exercício (cor-de-rosa).	25
19	Método <i>PopulateOptions</i> , presente na superclasse <i>FractionChoiceGame</i> , responsável por criar todas as opções do jogo ilustrado na Figura 18.	26
20	Método <i>ActivateNextMinigame</i> , da classe <i>GameMaster</i> , responsável por definir o próximo minijogo a ser mostrado.	27
21	Métodos <i>PopupMessage</i> , <i>FillPopupDetails</i> , <i>PopupAnimation</i> e função <i>PopoutAnimation</i> , da classe <i>GameMaster</i> , responsáveis por mostrar a informação sobre a escolha do jogador e pela animação do processo.	28
22	Representação do ambiente competitivo com legendas.	29
23	Função <i>IncrementPoints</i> , <i>CalculateTimePoints</i> e método <i>ChangePosition</i> , da classe <i>Points</i> , referentes ao cálculo dos pontos no ambiente competitivo.	30
24	Classe <i>MultipleChoiceExample</i> referente às várias variações de jogos do tipo <i>MultipleChoice</i>	31

25	Implementação dos métodos <i>PickGameAccordingToLevel</i> , <i>PickRandomSpecialEvent</i> e da função <i>TimeToShowSpecialEvent</i> , presentes na classe <i>GameMaster</i>	31
26	Localizações dos sensores no EMOTIV Insight conforme o sistema 10-20 [1,2].	34
27	Painel de visualização dos níveis das métricas de performance na aplicação EMOTIVPRO.	34
28	Escala referente ao <i>System Usability Scale</i>	36
29	Comparação dos valores médios do <i>System Usability Scale</i> (SUS), classificados por adjetivos e por aceitabilidade [3].	36
30	Grupo de controlo (esquerda), Grupo experimental que responde a questionários (centro) e Grupo experimental que apenas joga (direita).	37
31	<i>Layout</i> da sala onde será realizada a experiência, sendo mostrado à esquerda o <i>layout</i> para o GE1 e GE2 e à direita o <i>layout</i> para o GC.	37
32	Escala de pontuação do <i>Intrinsic Motivation Inventory</i>	39
33	Avaliação da motivação do GC através dos questionários IMI para a Parte 1.	42
34	Avaliação da motivação do GC através dos questionários IMI para a Parte 2.	43
35	Avaliação da motivação do GE1 através dos questionários IMI para a Parte 1.	43
36	Avaliação da motivação do GE1 através dos questionários IMI para a Parte 2.	44
37	Motivação do GC segundo a metodologia EEG durante a Parte 1.	46
38	Motivação do GC segundo a metodologia EEG durante a Parte 2.	46
39	Motivação do GE2 segundo a metodologia EEG durante a Parte 1.	47
40	Motivação do GE2 segundo a metodologia EEG durante a Parte 2.	48
41	Classificação dos participantes desmotivados do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.	49
42	Classificação dos participantes na zona-cinzeira do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.	50
43	Classificação dos participantes motivados do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.	50
44	Gráfico de distribuição dos participantes e da sua classificação IMI no GC (aprendizagem clássica) e no GE1(aprendizagem baseada em jogos).	52
45	Gráfico de distribuição dos participantes e da sua tendência de mudança de envolvimento no GC (aprendizagem clássica) e no GE2(aprendizagem baseada em jogos).	53
46	Gráfico de resultados de avaliação do antes e depois da experiência.	55
47	Ecrãs do ambiente tutorial referentes aos conceitos de experiência aleatória e experiência determinista.	72
48	Ecrãs do ambiente tutorial referentes ao conceito de espaço amostral.	73
49	Ecrãs do ambiente tutorial referentes às definições de acontecimento impossível, elementar, certo e composto.	74
50	Ecrãs do ambiente tutorial referentes às operações de união e interseção.	75
51	Ecrãs do ambiente tutorial referentes às operações de contrário e diferença.	76
52	Ecrãs do ambiente tutorial referentes à definição clássica de probabilidade.	77
53	Ecrãs do ambiente tutorial referentes à explicação da definição de um acontecimento independente (parte 1).	78
54	Ecrãs do ambiente tutorial referentes à explicação da definição de um acontecimento independente (parte 2).	79
55	Ecrã final de vitória (esquerda) e de derrota (direita).	80

56 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 2.	102
57 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 6.	102
58 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 10.	103
59 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 12.	103
60 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 17.	104
61 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 18.	104
62 Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 20.	105

Lista de Tabelas

1	Estratégias persuasivas utilizadas conforme o <i>Persuasive System Design</i> [4].	16
2	Grupos de motivação dos participantes conforme o IMI ($\in [1, 7]$).	41
3	Classificação dos participantes conforme a tendência de mudança de envolvimento.	45
4	Classificação dos alunos desmotivados durante a metodologia do EEG para os últimos $x\%$ do tempo de jogo.	49
5	Classificação dos alunos motivados durante a metodologia do EEG para os últimos $x\%$ do tempo de jogo.	51
6	Representação dos Eventos Especiais e dos Casos de Aumento de Motivação para cada Aluno.	55
7	Resultados do SUS para cada participante dividido por questão.	66
8	Classificação dos participantes do GC conforme a sua pontuação nos questionários de avaliação de motivação IMI.	67
9	Classificação dos participantes GC conforme a variação da tendência de mudança de envolvimento.	68
10	Distribuição dos participantes no GC (aprendizagem clássica) e no GE1(aprendizagem baseada em jogos) pela classificação IMI durante a Parte 1 da experiência.	69
11	Distribuição dos participantes e da sua classificação IMI no GC (aprendizagem clássica) e no GE1(aprendizagem baseada em jogos) pela classificação IMI durante a Parte 2 da experiência.	69
12	Distribuição dos participantes do GC e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 1.	70
13	Distribuição dos participantes do GE2 e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 1.	70
14	Distribuição dos participantes do GC e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 2.	70
15	Distribuição dos participantes do GE2 e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 2.	70
16	Resultados dos momentos de avaliação de cada aluno.	71

Lista de Acrónimos

ADD Attention Deficit Disorder

ADHD Attention Deficit Hyperactivity Disorder

EEG Eletroencefalograma

GC Grupo de Controlo

GE1 Grupo Experimental que responde a questionários

GE2 Grupo Experimental que apenas joga

IC Intervalo de confiança

IMI Intrinsic Motivation Inventory

PSD Persuasive System Design

1 Introdução

Na atualidade, os alunos são caracterizados como “nativos digitais”, ou seja, são uma geração que cresceu na era digital e que, normalmente, tem facilidade a utilizar tecnologias computacionais [5], [6]. Por outro lado, nas gerações anteriores os indivíduos são considerados “imigrantes digitais”, devido a apresentarem resistência perante as novas tecnologias ou por terem dificuldade em aceitar as mesmas [7]. A maioria dos profissionais de educação em escolas fazem parte deste último grupo de “imigrantes digitais” [8], causando muitas vezes uma desconexão entre os interesses dos alunos e dos professores.

A existência destas novas tecnologias digitais, criou a possibilidade da aprendizagem através de jogos, uma das formas mais naturais para os estudantes “nativos digitais” adquirirem conhecimento [9], estarem motivados, aumentarem a atenção visual e melhorarem a capacidade associada à memória de trabalho [10–12]. Esta aprendizagem não se restringe apenas a um género de videojogo, visto que jogar Tetris, um jogo casual, também pode melhorar as capacidades associadas à memória de trabalho e capacidades espaciais visuais [13].

Contudo, nem todos os jogos têm valor educacional [8], sendo necessário os investigadores educacionais avaliarem que perspetivas teóricas devem ser consideradas e que variáveis intervêm na realização das mesmas [14].

1.1 Motivação

A disciplina de Matemática continua a ser umas das maiores aflições dos estudantes durante a sua vida académica [15], [16] por ser considerada pelos mesmos como um assunto “muito difícil” ou “aborrecido” [17]. O facto de existirem estes sentimentos referentes à Matemática desencadeiam desinteresse nos alunos, sendo um motivo de preocupação, visto que existem estudos que demonstram que alunos com menor entendimento desta disciplina têm maior hipótese de ter um pior desempenho em outras áreas [8]. Para eliminar estes sentimentos, deve haver uma análise referente às formas de estimular a cognição Matemática, mais especificamente, promover a motivação, atenção e a carga de memória de trabalho durante o processo de aprendizagem, de modo a melhorar o desempenho dos alunos [18].

Uma unidade curricular como a Matemática, devido à sua enorme importância, é alvo de muita investigação, sobretudo no seu método de ensino, particularmente na forma como deve ser apresentado o conteúdo, como deve envolver os alunos durante a aprendizagem e na transmissão de conhecimento entre professor-aluno [19]. Estas investigações levantam questões quanto à eficácia do ensino tradicional e recomendam formas mais ativas de aprendizagem [20] como aulas invertidas, aprendizagem baseada em problemas, projetos práticos, testes práticos e abordagens baseadas em jogos [19].

Tecnologias como os jogos digitais podem ter um grande impacto no ensino de Matemática [15] apesar de o seu uso ser limitado na educação [21]. Uma razão destas limitações é o facto de existir incompatibilidades de objetivos entre a aprendizagem e o próprio jogo, ou seja, a dificuldade em incorporar conteúdos relevantes à aprendizagem em videojogos [9]. Por exemplo, passar de nível num determinado jogo não significa necessariamente que existe progressão no nível de aprendizagem fora do jogo, resultando na necessidade da criação de ferramentas de medição de aprendizagem dentro e fora do mesmo [22], [23].

1.2 Contribuições

Nesta dissertação pretende-se contribuir para o avanço do estado de arte no que diz respeito à forma como compreendemos os processos de abordagens baseadas em jogos na disciplina de Matemática e de que forma as tecnologias digitais e persuasivas podem alavancar este processo.

Mais concretamente podemos caracterizar as contribuições deste trabalho da seguinte forma:

- Uma avaliação em tempo real que utiliza os sensores EEG para medir a motivação dos alunos durante os processos de aprendizagem da disciplina de Matemática;
- Um jogo educacional que adapta os seus conteúdos em tempo real e em função dos níveis de motivação do participante;

1.3 Organização do Documento

O documento está organizado em sete capítulos, sendo estes:

1. Introdução, ou seja, apresentação do problema da dissertação;
2. Estado de arte, mais concretamente, o estudo de soluções existentes de abordagens baseadas em jogos na disciplina de Matemática e dos modos de avaliação e manipulação dos dados da motivação dos alunos;
3. Descrição da Solução, isto é, como foi projetada a solução para resolver os problemas de motivação dos alunos;
4. Metodologia, mais especificamente, os passos necessários para a concretização do estudo;
5. Apresentação e Análise dos Resultados;
6. Conclusão e Trabalho Futuro;

2 Estado de Arte

2.1 Abordagem Baseada em Jogos

Nesta secção são verificados vários casos de estudo relativos às abordagens baseadas em jogos, mais especificamente, são averiguadas as diferenças entre as abordagens tradicionais e as baseadas em jogos, como estas abordagens foram utilizadas no contexto da disciplina de Matemática e quais as suas utilizações em outras áreas curriculares.

2.1.1 Abordagem baseada em jogos *versus* Métodos Tradicionais

Estudantes nativos digitais passam muito tempo a jogar videojogos. Para além de passarem grande parte do seu tempo a jogar, a qualidade do tempo de jogo revela um alto nível de empenho durante o processo [8], [24]. Devido às alterações no mundo digital, nas últimas décadas, estes estudantes nativos digitais têm a expectativa que as novas tecnologias sejam usadas na sua aprendizagem, demonstrando uma necessidade da alteração nos métodos tradicionais atuais [6], [25–28]. Um estudo feito por Freeman [20] levanta questões sobre os métodos tradicionais de ensino atuais e acaba por recomendar abordagens *active learning*, ou seja, atividades que envolvem o aluno na elaboração de tarefas e que obrigam o mesmo a pensar no que faz durante o processo [29].

Uma das abordagens *active learning* é a aprendizagem baseada em jogos [19], ou seja, o estudo que tem como base um jogo com objetivos de aprendizagem definidos [30]. Esta abordagem, ao combinar videojogos e assuntos curriculares, desenvolve a motivação intrínseca do estudante, constrói conhecimento e aumenta o desempenho durante o estudo [8], [31–33]. Segundo Kiili [34], os videojogos podem ser uma maneira dos estudantes entrarem mais facilmente num estado de flow, ou seja, num estado de alta concentração que causa uma absorção total numa certa atividade [35]. Segundo Liu, Cheng, Tsai e Huang [36] o estado flow ajuda a melhorar as capacidades de resolução de problemas. Para confirmar este facto, estes investigadores analisaram a opinião e as capacidades de resolver problemas dos alunos universitários num jogo de simulação desenhado para os ajudar a aprender a resolver problemas computacionais. As suas descobertas confirmaram que os estudantes que aprendiam com o auxílio de jogos tinham mais probabilidades de entrar num estado flow, comparativamente a estudantes que assistiam a aulas tradicionais.

Portanto, para adaptar a educação às necessidades dos estudantes das novas gerações, considerados “nativos digitais”, os professores devem considerar abordagens *active learning*, como, por exemplo, as abordagens baseadas em jogos, visto que são abordagens que não necessitam de substituir completamente os métodos tradicionais, mas podem ser um complemento aos mesmos, pois alavancam a concentração, a capacidade de resolver problemas, a atenção visual, a motivação e a diminuição da carga de memória de trabalho.

2.2 Matemática e Abordagens Baseadas em Jogos

Uma das áreas disciplinares que pode beneficiar da utilização de abordagens *active learning*, mais concretamente da gamificação de conteúdos académicos, é a Matemática, dado que nesta disciplina muitos dos estudantes não apresentam motivação para aprender a mesma [37] e, segundo o autor Rieber [38] a melhor forma de conectar motivação, aprendizagem e tecnologia é através do fenómeno dos videojogos.

Vários estudos defendem que a utilização de objetos que facilitam o raciocínio para a resolução de problemas, mais concretamente, objetos que consideram o conhecimento prévio dos alunos, são

mais apropriados para a aprendizagem. De acordo com estes estudos, isto acontece porque os objetos utilizados reduzem a carga de memória cognitiva, facilitando o processo. Os jogos educacionais digitais são um exemplo de objetos de aprendizagem, visto que possuem características relacionadas à resolução de problemas e proporcionam aos estudantes diferentes possibilidades para elaborar estratégias de estudo e atingir os seus objetivos.

Para verificar a integração desta abordagem nas aulas, Lee et al. [39] elaborou um estudo com 39 estudantes do 2.^o ano, em que estes usavam o seu *software* de exercícios de Matemática “Skills Arena” para verificar o impacto positivo dos videojogos educacionais nos professores e nos alunos. Os dados do estudo mostram que, para além dos alunos e professores terem gostado de utilizar o jogo, os alunos excederam as expectativas por fazerem três vezes mais exercícios de Matemática em 19 dias do que teriam feito em fichas de exercícios tradicionais.

Kebritchi [40] analisou os efeitos de um jogo digital no desempenho e na motivação dos alunos em Matemática, mais concretamente, estudou o papel do conhecimento prévio, da habilidade de utilização de computador e da habilidade na língua inglesa. Participaram 193 estudantes de Álgebra e Pré-Álgebra e 10 professores no estudo, sendo que dos 193 participantes, 117 fizeram parte do grupo experimental e os restantes 76 do grupo de controlo. Os resultados mostraram uma melhoria significativa no desempenho em Matemática do grupo experimental comparativamente ao grupo de controlo. Contudo, os dados relativamente à melhoria da motivação não foram significativos. Para além disto, o conhecimento prévio em computadores e na língua inglesa não tiveram impacto na motivação e no desempenho dos participantes do grupo experimental.

Muntean et al. [19] estudaram o impacto do jogo “Count With Me!” no processo de aprendizagem e no ganho de conhecimento em 24 estudantes universitários. No jogo foram apresentados princípios de contagem, mais precisamente, a adição, multiplicação, fatoriais e permutações. Os investigadores efetuaram testes de conhecimento antes e depois da interação com os jogos e chegaram à conclusão de que os dados estatísticos do teste posterior à utilização do jogo, mostraram melhorias significativas na aquisição de conhecimento e um maior envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem. Deng et al. [41] estudaram a experiência da utilização de um jogo digital por parte de uma professora e dos seus alunos do ensino primário. As experiências e percepções desta investigação foram fortemente influenciadas pela cultura chinesa, mais especificamente, a cultura orientada para exames. Dito isto, apesar de a experiência ter tido um efeito positivo no desempenho e na promoção de um ambiente centrado no aluno, devido à cultura chinesa, os alunos demonstraram preocupação em utilizar um jogo como método de estudo pelo facto de pensarem que podiam não estar a aprender todos os conteúdos necessários de Matemática. Quanto à professora envolvida no estudo, esta afirmou que a experiência foi interessante para os alunos, visto que os jogos podem ajudar a desenvolver a cognição, colaboração, comunicação e competências de modelagem Matemática.

A análise dos estudos anteriormente apresentados permite constatar que existem evidências suficientes que provam que a abordagem baseada em jogos afeta, de forma positiva, a aprendizagem dos estudantes em tópicos matemáticos, contudo, os estudos apresentados acima não demonstram evidências suficientes que comprovem o aumento da motivação e da atenção visual.

2.3 Outros estudos relacionados

As abordagens baseadas em jogos também foram estudadas em outras áreas para além da Matemática, sendo alguns exemplos: saúde, Engenharia Civil, Neurociência e Línguas.

Um destes estudos realizados por Ohrn et al. [42] compara livros de exercícios tradicionais e a aprendizagem interativa por computador sobre o tema de bloqueios neuromusculares, sendo os participantes alunos do 1.^o ano de Anestesia. Os resultados dos testes foram significativamente melhores para o grupo que utilizou os jogos de computador do que o grupo que utilizou livros tradicionais. Além disso, foram detetadas diferenças nas classificações de diversão e na quantidade de informação aprendida, sendo que a aplicação teve maior sucesso.

Goldberg e McKhann [43] estudaram a eficácia de ensinar a unidade curricular introdutória de Neurociência através de um ambiente virtual de aprendizagem e compararam estes resultados com alunos em aulas convencionais. As notas foram consistentemente melhores no ambiente virtual de aprendizagem, independentemente da altura em que eram realizados durante o semestre.

Ebner e Holzinger [44] verificaram a possibilidade da utilização de aprendizagem baseada em jogos no ensino superior, mais especificamente em Engenharia Civil. Numa amostra significativa de 121 alunos, verificaram que esta abordagem tinha, pelo menos, resultados de aprendizagem semelhantes a um método tradicional. Além disso, os investigadores destacaram o fator de diversão que foi maior que era esperado.

Chen [45] focou-se no estudo do efeito da aprendizagem baseada em jogos digitais na motivação e no desempenho dos alunos. A investigação foi feita em duas turmas universitárias das três melhores universidades de Taiwan, sendo que esta teve um total de 326 participantes. A duração da experiência foi de 3 horas semanais durante 16 semanas (total 48 horas). Os resultados da pesquisa mostram que esta abordagem apresenta efeitos significativamente positivos na motivação e no desempenho dos alunos na aprendizagem da matéria. Além disso, o estudo recomenda que os professores utilizem os jogos digitais para aumentar a confiança dos alunos com dificuldades na resolução de problemas, para enfrentarem complicações com uma atitude mais positiva.

Noutras áreas, para além da Matemática, a abordagem baseada em jogos aparenta ser igualmente eficaz, visto que os estudos apresentados anteriormente demonstram um aumento substancial dos níveis de aprendizagem dos estudantes, na diversão e no aumento da confiança perante a resolução de problemas curriculares, demonstrando que pode ser um auxílio relevante para os professores durante o processo de ensino.

2.4 Avaliação da motivação, atenção e carga de memória de trabalho

O estudo de fatores como a motivação, atenção visual e da carga de memória de trabalho ditam a eficácia da implementação das abordagens de *active learning*.

Em regra geral, o estudo destes fatores são feitos por séries de questionários para avaliar o progresso cognitivo dos participantes. Tal como o estudo feito por Freitas e Campos [46], em que numa fase inicial os estudantes foram divididos em dois grupos (grupo de controlo e grupo experimental) e efetuaram uma avaliação da sua aprendizagem que passou por três fases, a fase de pré-teste, ou seja, a fase de “controlo” em que os alunos responderam a um questionário sem terem aprendido a matéria; a fase de aprendizagem, isto é, para os alunos no grupo de controlo, uma aula tradicional e para os alunos no grupo experimental a utilização do sistema SMART; a fase final, ou seja, a fase de avaliação pós-teste, onde foi avaliado através de um teste a evolução do conhecimento. Castellar et al. [12] utilizam uma metodologia de avaliação semelhante para comparar um jogo digital de Matemática com exercícios tradicionais. Primeiramente, dividiram os participantes em dois grupos: um grupo que jogou durante três semanas e um grupo que fez

exercícios durante três semanas. Nos testes de avaliação experimentais foram medidos vários fatores como: precisão, velocidade de resposta às questões, carga de memória de trabalho, planejamento, habilidades viso-motoras e diversão. A classificação destes fatores foi verificada por um pré-teste, um pós-teste e pela resolução de um questionário de *feedback* respondido pelos participantes, de maneira a relacionar as respostas com os resultados. Outro estudo mais recente por Chang et al. [47] utiliza um processo semelhante aos estudos apresentados anteriormente, visto que para estudarem o impacto de uma abordagem baseada em jogos no treino das competências de enfermeiras na análise de Eletrocardiogramas (ECG), recorreram à divisão dos participantes em dois grupos (experimental e controlo) e ao processo de avaliação através de pré-testes e pós-testes. Os testes consistiram em 25 perguntas de escolha múltipla com uma pontuação total de 100. Esta investigação diferenciase dos estudos anteriores, pelo facto dos autores utilizarem escalas de avaliação para medir a motivação, aprendizagem, pensamento crítico e, por no final do estudo, os investigadores utilizaram um processo de entrevistas aos 6 estudantes de cada grupo, escolhidos aleatoriamente, para obter *feedback* sobre possíveis fatores que podiam ter influenciado o seu desempenho.

A utilização de exames/questionários para avaliar fases de pré-teste e pós-teste demonstra ser uma forma eficiente de avaliação da evolução das competências cognitivas dos alunos, contudo, existem fatores como a atenção visual e a motivação que não são facilmente avaliadas por este processo [32]. Para contornar este problema, autores como Chang et al. [47] recorrem a entrevistas para obter *feedback* final dos participantes e obter dados relativos ao aumento da motivação e atenção, porém estes métodos não são completamente fidedignos devido aos participantes poderem estar a ser influenciados de forma subconsciente e por apresentarem potenciais inconsistências nas respostas [48].

2.4.1 Avaliação através do Eletroencefalograma

Uma alternativa interessante à introdução de questionários como métodos de avaliação da cognição e de *feedback* é a utilização de tecnologias de monitorização eletrofisiológica, mais especificamente o EEG (Eletroencefalograma). Os sensores EEG medem as variações dos sinais elétricos criados pela atividade de grandes grupos de neurónios próximos da superfície do cérebro durante um certo tempo [49]. Estes aparelhos medem as mudanças na corrente elétrica entre a pele e o elétrodo do sensor, amplificando a corrente elétrica e filtrando a mesma, caso seja necessário [50]. Os dados recolhidos do aparelho de monitorização podem fornecer informações importantes do ser humano analisado, como os seus estados mentais, pensamentos e imaginação.

No caso da avaliação de fatores como a motivação, atenção e carga de memória de trabalho através do EEG, é necessário definir as bandas de frequência relevantes que necessitam de ser analisadas no estudo. Segundo os investigadores L. Thompson e M. Thompson [51] e Sanel et al. [52] os ritmos da banda beta estão associados ao pensamento ativo, atenção ativa, foco no mundo exterior e resolução de problemas específicos. Schack, Klimesch e Sauseng [53] estudaram a banda theta e as oscilações superiores da banda alpha quanto à sua relação com a memória de trabalho. Os investigadores notaram que uma diminuição em alpha e um aumento na banda de theta estava acompanhado com um aumento da exigência de atenção e da memória de trabalho do participante.

A utilização do EEG como método de avaliação necessita de ter em conta alguns requisitos [49], mais especificamente:

- A qualidade do sinal e a estabilidade – visto que a qualidade depende da conexão entre os elétrodos e o couro cabeludo, são normalmente utilizados os sensores baseados em gel, devido a permitirem uma conexão mais estável durante várias horas;
- A bateria do EEG – no caso da utilização de aparelhos EEG *wireless*, a bateria tem uma correlação negativa com o número de informação obtida, visto que conforme o aumento da quantidade de informação, o nível da bateria diminui. Estudos a longo prazo focados em atividade cerebral, tentam utilizar informações sensoriais estritamente necessárias para poupar os níveis de bateria;
- Sensibilidade a ruídos/artefactos externos – é importante pedir aos participantes para relaxarem e evitarem qualquer movimento do corpo, para não causar ruído nos dados EEG e possíveis problemas de conexão.

Apesar dos sensores EEG apresentarem alguns constrangimentos como a estabilidade, conexão, bateria e sensibilidade a artefactos externos, são dos melhores modos de avaliar fatores como a motivação, atenção e carga de memória de trabalho, visto que obtêm dados sensoriais em tempo real dos participantes. O uso destes sensores em conjunto com outros métodos de avaliação como os questionários e entrevistas ajudam a complementar e a verificar a veracidade dos dados obtidos durante os estudos das abordagens baseadas em jogos.

2.4.2 Casos de Utilização do EEG em Abordagens Baseadas em Jogos

Como mencionado anteriormente, os aparelhos EEG são um dos melhores meios de avaliação da atenção, motivação e da carga de memória de trabalho. Isto deve-se ao facto de, não influenciarem o participante de maneira subconsciente, apresentarem baixo custo de utilização, terem alta flexibilidade, alta resolução temporal, serem de fácil utilização, portabilidade e de terem uma natureza segura, o que torna estes sensores uma ferramenta poderosa para tarefas da avaliação de imagens cerebrais em comparação com outras técnicas de neuroimagem [54].

Investigadores como Ghergulescu e Muntean [32] avaliaram a motivação dos participantes nas abordagens baseadas em jogos através de sensores EEG, sendo o seu objetivo comparar questionários e os dados obtidos relativos aos níveis de motivação com o EEG. Neste estudo participaram 48 pessoas, com idades entre os 18 e os 55 anos, e todas tinham mais de 70% de sinal EEG sem ruído. Neste estudo, os participantes jogaram o jogo educacional, “Fire Protocol”, dividido em duas partes e responderam a questionários no final de cada parte do jogo. Os investigadores utilizaram o EMOTIV Affectiv Suite para medir o envolvimento do participante durante a utilização do jogo, visto que o fator de envolvimento do participante é um dos principais indicadores se o mesmo está motivado [55–57]. Conforme a análise dos resultados, a metodologia proposta pelos autores supera a metodologia tradicional dos questionários, visto que os questionários tradicionais estão limitados a analisar a motivação dos participantes a curto prazo, fazendo com que a viabilidade da motivação geral durante a longa duração do jogo seja perdida. Isso porque a motivação do participante muda com o tempo, e, visto que o questionário apenas é preenchido no fim das duas fases, o participante tende a ser influenciado em termos dos níveis de motivação nos últimos momentos de cada fase. Por outro lado, os sensores EEG são mais adequados para a análise da motivação em curto e longo prazo, visto que não é necessário haver interrupções de jogabilidade, não quebrando o fluxo de jogo e a imersão do jogador.

Outra área de utilização das abordagens baseadas em jogos e do EEG foi no estudo de transtornos mentais como *Attention Deficit Hyperactivity Disorder* (ADHD) e *Attention Deficit Disorder* (ADD). No caso do estudo feito por Alchalcabi et al. [58], estes investigadores utilizaram os aparelhos EEG e a gamificação para aumentar a habilidade de concentração de pessoas com estes transtornos. Quanto ao jogo proposto, os investigadores implementaram um nível simples e de baixa dificuldade, em que o jogador tinha o objetivo de recolher cubos amarelos através de comandos mentais (obtidos pelo EEG). Os resultados mostraram melhorias de cerca de 10.25% no envolvimento e de 8.25% na concentração dos participantes. Ainda na área do estudo de transtornos como o ADHD e o ADD, o estudo feito por Yang et al. [59], combina um jogo com o *feedback* neural, mais especificamente, apresenta um sistema controlado pelos jogadores através de tarefas de imaginação motora, sendo o objetivo principal do sistema treinar a atenção dos jogadores de forma divertida. Neste jogo, quanto mais concentrados estão os jogadores, mais facilmente o jogo é controlado. Para isso, são fornecidos aos utilizadores duas formas de observar o seu estado mental (por um gráfico de ondas e por um ícone expressivo) para ajudar os mesmos. Adicionalmente, os investigadores permitem customizar alguns componentes do *design* do jogo, mais concretamente, a música e a imagem de fundo, para fornecer uma experiência imersiva conforme as preferências de cada utilizador. Quanto ao estudo da eficácia da implementação, os investigadores recrutaram 10 participantes que experimentaram o jogo. Os resultados mostraram que estes ficaram mais envolvidos e relaxados durante o jogo, significando que este sistema pode não só ser usado para entretenimento e relaxamento, como também para melhorar os níveis de atenção e, ser posteriormente estendido para o tratamento de transtornos como o ADHD e ADD.

Conforme os estudos apresentados anteriormente, confirma-se que a introdução dos sensores EEG na avaliação de jogos é das melhores formas de avaliar fatores como a motivação e atenção dos utilizadores, até sendo utilizado para estudar transtornos como o ADHD e ADD. Porém, os poucos resultados experimentais e as pequenas amostras de participantes, demonstram que esta é uma área recente de investigação e com isso, apresenta poucos resultados [32], [59].

2.5 Jogos Persuasivos

Os jogos persuasivos são tipos de jogos que têm como intuito mudar a atitude ou comportamento do jogador através do jogo, estes têm sido estudados em vários contextos nos últimos quarenta anos, sendo considerados poderosos meios de aprendizagem [60–62].

A definição de jogos persuasivos, apresenta várias semelhanças ao conceito de jogos sérios, visto que ambos não têm o propósito de entreter os jogadores. Concretamente, os jogos sérios são desenhados para propósitos educacionais [63], enquanto os jogos persuasivos focam-se na persuasão, mais especificamente a tentar mudar as crenças, pontos de vista e a influenciar os comportamentos dos jogadores [60]. Porém, a distinção entre estes dois jogos é difícil de se fazer, devido a dependerem da intenção do investigador e do contexto da utilização do jogo [64].

Segundo Ruggiero [65], os jogos persuasivos usam vários mecanismos de persuasão utilizados no *marketing* e em publicidades, sendo alguns exemplos: imersão, flow, envolvimento, retórica procedimental e ethos persuasivo. A imersão define-se como a experiência de ser transportado para um local simulado que chama à atenção do participante [66]. O estado flow é atingido quando existe um equilíbrio entre o nível de desafio e o nível de habilidades do jogador, criando um estado de alta concentração [67]. O envolvimento está intrinsecamente relacionado com o flow sendo observado quando o jogador está tão envolvido no jogo que começa a assimilar factos e valores sem se aperceber

que isso acontece [68]. A retórica procedimental e o ethos são teorias de Aristóteles que foram atualizadas por Bogost [60] e Evans [69]. Segundo Bogost, a retórica procedimental em videojogos é a forma de persuadir através dos processos computacionais ao mostrar que todas as ações num jogo têm consequências. No entanto, Evans defende que apenas a retórica procedimental não é suficiente para atingir a persuasão e inclui o ethos para criar um argumento persuasivo, sendo que, o ethos inclui três componentes essenciais: *phronesis*, ou seja, o conhecimento prático que demonstra que um argumento é realmente baseado em factos; *arête*, que se define como a integridade de um argumento, mostrando a credibilidade da fonte do argumento; e a *eunoia*, isto é, a prova que o argumento foi feito com sinceridade e preocupação com o utilizador; A junção da retórica e o ethos permite que o jogador aprenda de forma mais eficaz e, que a obtenção de aprendizagem seja mais duradoura.

Em concordância com os estudos anteriores, é possível afirmar que jogos com a intenção de desencadear certas ações por parte do utilizador são mais fáceis de avaliar, visto que permitem medir mais facilmente o efeito da persuasão. Por exemplo, a eficácia de um jogo para persuadir o jogador a visitar um *website* pode ser medido através do número de jogadores que clicam na página, no entanto, a medição da eficácia de um jogo cujo objetivo é mudar a atitude dos jogadores perante pessoas sem-abrigo é mais difícil de avaliar devido a não ter uma forma concreta de medir [65]. Dito isto, o desenvolvimento de um jogo com características persuasivas necessita de intenções bem definidas e formas de medi-las com a utilização de mecanismos de persuasão, de maneira a persuadir os jogadores num determinado contexto. Adicionalmente, a utilização destes mecanismos em jogos ajuda os utilizadores a manter a concentração, a aumentar o envolvimento e a tornar os níveis de aprendizagem mais eficazes, desta forma, a utilização destes elementos numa abordagem baseada em jogos apresenta muitas vantagens.

3 Descrição da Solução

Os passos iniciais no desenvolvimento de um jogo didático passam pela decisão dos conteúdos que serão abordados no mesmo, mais especificamente, neste contexto, que temas da disciplina de Matemática vão estar presentes no jogo e, como serão apresentados aos alunos durante o processo, mantendo uma complexidade comparável a um cenário tradicional de ensino.

Tendo em mente que, normalmente, os conceitos mais avançados de Matemática necessitam do apoio complementar de papel para auxiliar o raciocínio dos alunos, neste jogo didático foram selecionados, com auxílio de um professor da área curricular, assuntos de “resolução imediata”, mais especificamente os conteúdos de “Introdução ao Cálculo de Probabilidades” da temática de “Probabilidades e Combinatória”, que apresenta os seguintes subtópicos:

- Experiência aleatória, conjunto de resultados e acontecimentos;
- Operações com acontecimentos;
- Aproximações conceptuais para probabilidade;
- Independência e acontecimentos independentes.

Definido o objetivo de ensino, começa o planeamento de como irá se proceder o jogo, e quais as características de *design* que o mesmo deve apresentar, para potenciar a motivação do jogador.

3.1 Protótipos

Uma das maneiras mais comuns de começar o processo de planeamento do desenvolvimento de um jogo é através do processo de prototipagem. Este processo é uma técnica importante de eliciação de informação sobre um determinado *design* e para avaliar a sua usabilidade e viabilidade numa fase inicial de desenvolvimento [70, 71]. Isto é verdade especialmente para jogos, visto que permite identificar problemas de jogabilidade, como também permite resolver problemas de equilíbrio de dificuldade do jogo o mais cedo possível [72], sempre com custos de esforço reduzidos.

Os métodos de prototipagem existem em três tipos de fidelidades: baixa (LoFi), média (MeFi) e alta fidelidade (HiFi) [73]. Sendo cada tipo de fidelidade referente ao nível de maturidade do protótipo.

Nesta dissertação, o método de prototipagem passou por uma fase inicial de baixa-fidelidade, para identificar problemas de usabilidade e corrigir inconsistências de jogabilidade, e também por uma fase avançada de alta-fidelidade, para testar o *design* e a usabilidade do sistema a um nível superior.

3.1.1 Baixa-fidelidade

Para a construção do protótipo de baixa-fidelidade usou-se uma ferramenta digital que permite a prototipagem rápida, sendo esta designada por *Diagrams.net*, uma ferramenta muito usada para processos de prototipagem de baixa-fidelidade, visto a ter ferramentas de construção de formas geométricas, por possibilitar a alteração das propriedades dos componentes adicionados (como cor, altura, largura, espessura, entre outros) e por permitir a introdução de elementos textuais.

O intuito principal da construção deste protótipo deve-se à necessidade de desenvolver o conceito do ambiente de aprendizagem (atual ambiente tutorial) e do ambiente competitivo. Mais

concretamente, trabalhar a melhor representação possível dos conteúdos matemáticos e considerar os tipos de minijogos que podiam ser construídos com esta temática, de modo a potenciar gradualmente a dificuldade do jogo, mantendo o jogador motivado durante todo o processo.

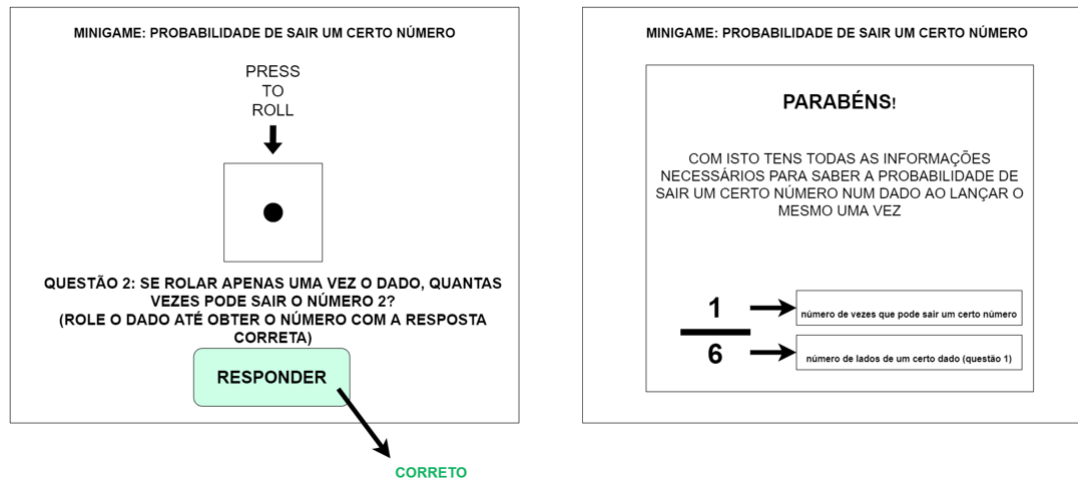


Figura 1: Protótipo de baixa fidelidade referente ao ambiente tutorial.

A Figura 1 demonstra o plano inicial de ensino de conteúdos no ambiente tutorial, neste caso, apenas através dos minijogos. Porém, o facto de existirem vários conceitos teóricos relevantes referentes ao cálculo de probabilidades, que necessitam de ser lecionados, tornou esta idealização pouco viável.

A solução encontrada e verificada como adequada, para este problema, foi a adição de um sistema de diálogo, onde uma personagem explica os conteúdos teóricos através de exemplos ao jogador e, posteriormente, complementa os mesmos com minijogos relacionados com a matéria, como apresentado na Figura 2.



Figura 2: Protótipo de baixa fidelidade referente ao ecrã de explicação de conteúdos ao jogador.

O conceito do ambiente competitivo (representado na Figura 3) retrata como se irá proceder à fase intensa de aprendizagem, mais especificamente, onde o jogador irá praticar os conteúdos matemáticos que aprendeu no ambiente tutorial e, em simultâneo, onde irá competir contra o computador.

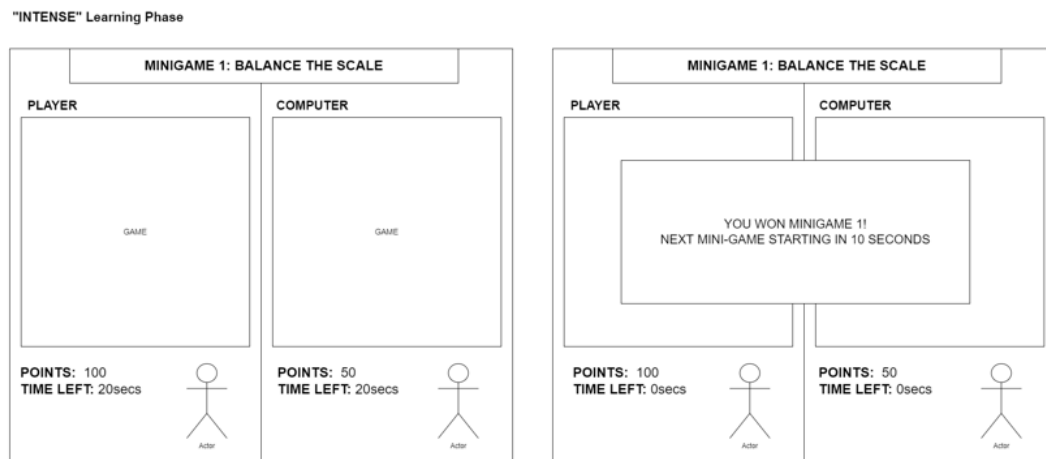


Figura 3: Protótipo de baixa fidelidade referente ao ambiente competitivo.

Na Figura 4 podemos constatar alguns exemplos de minijogos pensados nesta fase, como, por exemplo, minijogos em estilo de *quiz* e jogos mais interativos, como pintar o número de bolas de uma determinada cor para obter a probabilidade pretendida.

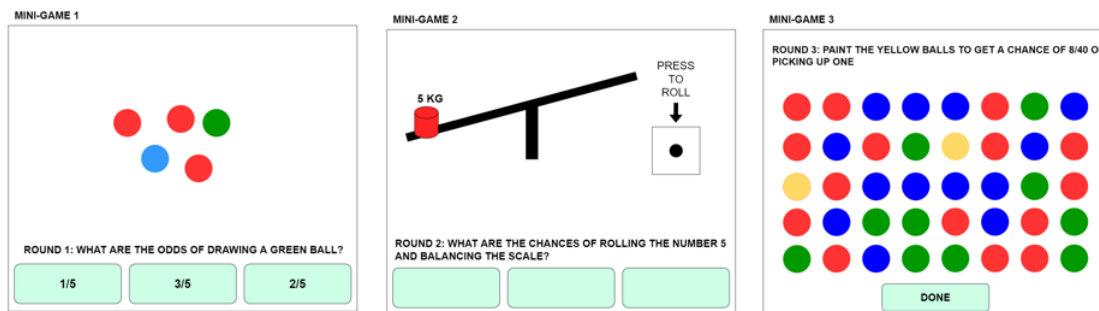


Figura 4: Protótipo de baixa fidelidade referente a alguns exemplos de minijogos.

3.1.2 Alta-fidelidade

Os protótipos de alta-fidelidade foram realizados com o intuito de avaliar a usabilidade e o *design*, visto que as maiores inconsistências de jogabilidade foram previamente encontradas no protótipo de baixa-fidelidade.

Seguindo os *sketches* de baixa-fidelidade apresentados anteriormente, foram estruturados vários ecrãs através do *software Adobe Photoshop*, para serem posteriormente testados por utilizadores.

Como observado na Figura 5, o *design* teve em conta uma paleta de cores reduzida e minimalista e apresenta alguns novos elementos. O quadro no plano de fundo apresenta os exemplos necessários para explicar os conteúdos de “Introdução ao Cálculo de Probabilidades”, o texto apresentado altera-se sempre que o jogador está preparado para avançar para a próxima explicação e a personagem “Professor” é animada conforme os conteúdos do texto, sendo que esta apresenta 6 expressões diferentes (como demonstrado na Figura 6) adaptáveis a várias situações.

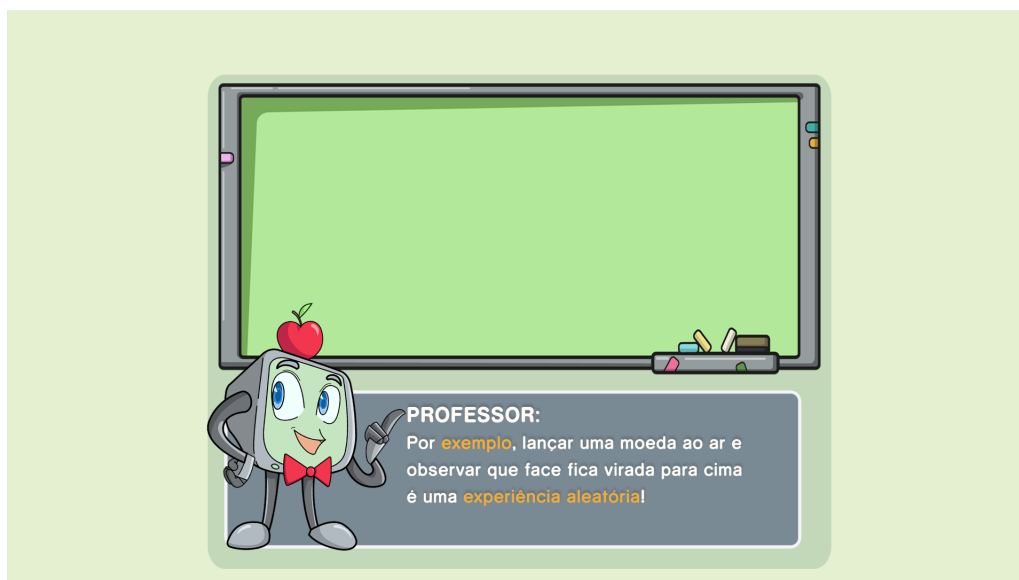


Figura 5: Protótipo de alta fidelidade da explicação da matéria no ambiente tutorial.

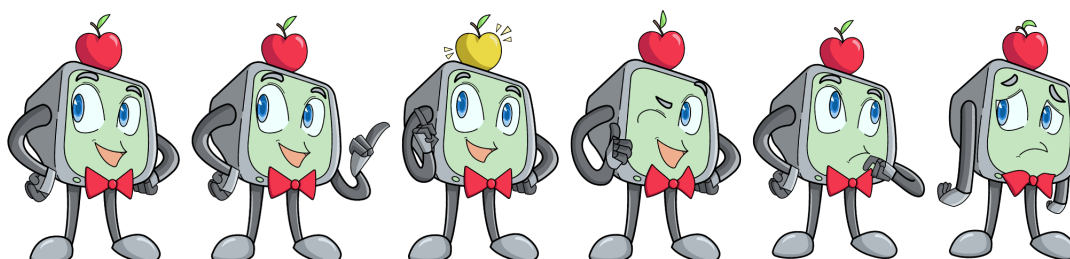


Figura 6: Expressões faciais da personagem “Professor”.

Quanto ao protótipo do ambiente competitivo, ilustrado na Figura 7, comparativamente aos *sketches* anteriores, foram removidos alguns elementos tais como o título na parte superior do ecrã e o tempo por baixo dos pontos de cada jogador. Além disso, foram adicionados novos elementos, como a meta de pontos do jogador e do adversário no centro do ecrã, que indica ao participante quem está mais próximo de vencer o jogo, e um temporizador, para cada jogador, para informar ao participante quanto tempo tem para resolver cada minijogo.

Os testes por parte dos utilizadores levaram ainda a novas melhorias, maioritariamente no ambiente de competição. Este ecrã causa alguma dificuldade ao utilizador, devido à área do Professor estar com um foco semelhante ao do jogador. Apesar de a cor do indicador de seleção e do temporizador diferirem em cada lado, para alguns dos utilizadores isto é considerado um problema

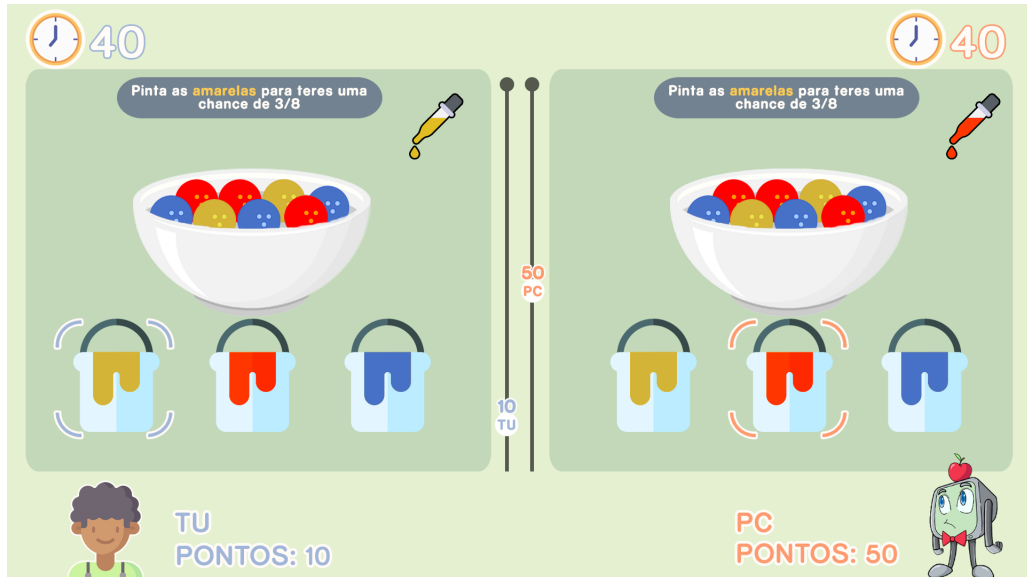


Figura 7: Protótipo de alta fidelidade do ambiente competitivo.

de usabilidade. Outro argumento referido pelos utilizadores foi a questão de ser possível esperar que o computador respondesse corretamente ao minijogo e copiar o resultado correto no seu lado, retirando assim o intuito do reforço da aprendizagem do ambiente competitivo.

Para resolver estes problemas, acrescentou-se no jogo uma “máscara” que desfoca os conteúdos do Professor, resolvendo o problema da área de foco do jogador e também a adversidade de possíveis batotas durante a fase de consolidação dos conteúdos aprendidos. Além disso, foi tomada a decisão de aparecerem jogos diferentes para cada jogador, com o mesmo nível de dificuldade, impossibilitando a cópia das respostas.

3.2 Descrição do Jogo Didático

Existem várias opiniões referentes às características principais que um jogo didático deve apresentar. Segundo Thornton e Cleveland [74], a interatividade é o aspeto mais importante de um jogo. Em contrapartida, Johnson et al. [75] argumenta que os aspetos mais importantes são as dinâmicas visuais, as regras, o objetivo e as interações entre o jogo e o jogador. Contudo, esta dissertação foca-se nos ideais de Malone [76], que afirmam que as características mais relevantes de um jogo são: a fantasia, a curiosidade e o desafio.

Mais concretamente, a fantasia está associada ao cenário e ao mundo em que o jogo está inserido. Caracterizando-se como um mundo virtual que aumenta o interesse do jogador, tornando a aprendizagem mais eficaz. Quanto à curiosidade, esta pode ser apresentada de duas formas, a curiosidade sensorial e a cognitiva. A introdução contínua de informação no jogo sustenta a curiosidade sensorial e cognitiva dos alunos, sendo estes tipos de informações transmitidas em forma de regras, sons, tempo, entre outros. Relativamente ao fator de desafio, este é estipulado por metas definidas e apropriadas, consoante a progressão no jogo por parte do aluno. No caso do nível de dificuldade de um jogo ser muito baixa, os jogadores perdem o interesse.

Conforme as características principais descritas por Malone, a fantasia, ou seja, o cenário virtual do jogo, está dividido em duas partes, o ambiente tutorial e o ambiente competitivo, para potenciar a aprendizagem do jogador. No ambiente tutorial o estudante aprende as bases dos tópicos de

Matemática necessários para competir no ambiente competitivo e também aprende os mecanismos do jogo, mais especificamente, aprende como resolver os diferentes tipos de minijogos interativos que serão apresentados. No ambiente competitivo, como o próprio nome indica, o jogador compete diretamente com um adversário, neste caso, com o computador, caracterizado pela personagem “Professor”, que esteve presente no ambiente tutorial e ensinou ao jogador os conteúdos de Matemática. Neste ambiente, tanto o jogador como o seu adversário têm um determinado tempo para resolver cada minijogo, penalizando-os caso respondam incorretamente.

Durante ambos os ambientes a curiosidade cognitiva e sensorial do jogador é estimulada através da apresentação de sons (quando acerta ou falha o minijogo, quando são apresentados eventos especiais e quando o tempo que tem para responder é escasso) e pela aquisição de pontos, tanto pelo computador como pelo próprio jogador. Por outro lado, o fator de desafio apresenta-se em três níveis, sendo que cada nível aumenta a dificuldade dos minijogos e dos conteúdos apresentados. Além disso, a frequência com que o computador resolve corretamente os minijogos ajusta-se conforme a performance do jogador durante a competição, aumentando a dificuldade do jogador vencer ao adversário.

No caso do jogador estar a utilizar o Eletroencefalograma durante o processo, a análise dos níveis de motivação do mesmo começam desde o ecrã inicial. Estes dados, mais especificamente, os valores das métricas de performance de envolvimento, referentes à motivação do aluno, são sempre guardados para serem estudados e analisados posteriormente. Além disso, e para garantir que temos um *loop* fechado de *biofeedback*, em tempo real, estes dados, sempre que são recebidos, calculam um novo *threshold* mínimo de motivação que o aluno deve apresentar, para desencadear eventos e para potenciar a motivação do mesmo sempre que necessário. Estes eventos, apenas são desencadeados no ambiente competitivo, visto que o ambiente tutorial é utilizado como uma *baseline* para adquirir valores e, conseqüentemente, definir um *threshold* inicial adaptado a cada jogador, com base nas métricas de performance de envolvimento recebidas.

Para garantir que os conteúdos dos minijogos são corretos matematicamente e são lecionados da melhor forma, estes foram analisados e validados previamente por um professor da área de Matemática. Além disto, a implementação do jogo passou por um processo interativo de usabilidade, ou seja, após várias fases da implementação, o jogo passou por uma validação por parte de utilizadores e do professor. Esta validação dos aspetos de usabilidade utilizou entrevistas informais e a escala System Usability Scale (SUS) como metodologia, para identificar possíveis problemas no *design* e de conteúdo do jogo.

3.3 Escolha do Motor de Jogo

No contexto deste estudo, foi utilizado o motor de jogo Unity3D, que, apesar do seu nome, é um motor de jogo que suporta tanto gráficos 2D como 3D, e que utiliza a linguagem de programação C#. Esta *framework* [77] possibilita a produção para várias plataformas em simultâneo, permitindo a modulação em 27 plataformas diferentes, como IOS, Android, Oculus Rift, Windows, Linux, Mac OS, Playstation, entre outros [78]. Além disso, o facto de ser um dos motores de jogo mais populares para projetos de investigação e para o desenvolvimento de jogos faz com que tenha ao seu dispor uma enorme quantidade de documentação simples e bem estruturada e *plugins* que são *open-source*, facilitando o trabalho dos desenvolvedores. Isto acontece com o *plugin* disponibilizado pela empresa que desenvolveu o Eletroencefalograma utilizado neste projeto, a EMOTIV, que implementou um

plugin para a *framework* do Unity, que simplifica o processo de ligação com a sua API (Application Programming Interface).

3.4 Estratégias Persuasivas Utilizadas

Como foi verificado previamente no estado de arte, na subsecção “Jogos Persuasivos”, a maior diferença entre um jogo persuasivo e outro qualquer jogo é o facto de existir um incentivo para a mudança do comportamento do jogador [79, 80], sendo que no caso específico desta dissertação, procura-se alterar a falta de motivação dos estudantes durante a aprendizagem. Para isso, são necessárias várias estratégias e técnicas implementadas para garantir a persuasão do jogador durante o jogo.

Existem várias *frameworks* e modelos que especificam estratégias persuasivas que podem ser utilizados no *design* de jogos persuasivos, tais como o *Persuasive System Design* (PSD) [81], o *Fogg Behavioural Model* [82], os princípios de persuasão de Cialdini [83] e o *Behaviour Change Technique* (BCT) [84].

Neste estudo decidiu-se utilizar algumas das estratégias presentes no modelo PSD, devido a ter uma natureza mais compreensiva e por ser utilizado na maioria dos sistemas persuasivos recentes [85, 86], visto que este modelo combina várias estratégias de outros modelos, tais como o *Fogg Behavioural Model* e os princípios de persuasão de Cialdini.

Conforme o modelo PSD, foram implementadas estratégias de *Competition*, *Liking*, *Praise*, *Rewards*, *Self-monitoring*, *Social comparison* e *Social role*. As definições de cada uma destas estratégias são apresentadas na Tabela 1, segundo o modelo PSD.

Persuasive Strategies	Description
Competition	Persuasive Games should allow players to compete against other players.
Liking	Persuasive Games should look and feel visually attractive.
Praise	Persuasive Games should applaud players for performing or achieving a targeted goal via words, images, symbols, or sounds.
Rewards	Persuasive Games should reward players for achieving game milestones.
Self-monitoring	Persuasive Games should keep track of players' performance and behaviours.
Social comparison	Persuasive Games should allow players to compare their performances with others.
Social role	Persuasive Games should assume a role in the life of the user e.g., a coach, buddy.

Tabela 1: Estratégias persuasivas utilizadas conforme o *Persuasive System Design* [4].

Mais concretamente, a estratégia de *Competition*, sendo esta muito trabalhada no ambiente competitivo, foi cumprida através da introdução de um adversário no jogo (computador), que simula a competição com um adversário real. Além disso, também está presente através da introdução dos vários eventos especiais que ocorrem no jogo (rondas rápidas, provocações por parte do adversário e dos minijogos especiais). A estratégia *Liking* é garantida ao longo do jogo, com a presença de um *design* simples e adequado a um jogo de aprendizagem. Quanto ao *Praise*, o jogador sente aclamação em várias situações do jogo, como acontece no ambiente tutorial, quando o jogador completa um tópico e o Professor congratula o mesmo; ou, até, quando acerta numa resposta,

no ambiente tutorial e no competitivo, o despoletar de sons e das animações de correto/incorrecto mostram ao jogador se este atingiu o objetivo pretendido. A estratégia dos *Rewards* é assegurada devido à presença de pontuação, por completar corretamente um minijogo, e pela progressão nos níveis conforme os vai acumulando. O *Self-monitoring* do comportamento do jogador, mais especificamente da motivação, é efetuado pelo EEG, que altera as variáveis do jogo quando necessário. Além disso, também existe a monitorização da performance do jogador, para alterar a dificuldade adversária em tempo real. Quanto ao *Social comparison*, ou seja, a comparação do seu desempenho com outros, o facto de ser mostrado ao jogador as vitórias e os falhanços do seu adversário, faz com que seja possível uma comparação em tempo real com os seus próprios resultados. Por fim, o *Social role*, mais especificamente o cargo do objetivo do jogo persuasivo sob o jogador, temos presente no jogo o “papel” de Professor, devido à necessidade de ensinar conceitos ao mesmo.

3.5 Implementação da Solução

Esta secção destina-se a demonstrar como foi implementado o sistema para o estudo do aumento da motivação durante a aprendizagem de Matemática. Mais concretamente, visa mostrar como foram introduzidos os elementos teóricos necessários para a aprendizagem da disciplina, de que forma é potenciada a aprendizagem prática do aluno e, também, de que modo são avaliadas as métricas de performance de envolvimento para a criação de um *loop* fechado de *biofeedback*.

Para uma melhor compreensão da solução concretizada, esta secção está dividida conforme os ecrãs principais do jogo, ou seja: ecrã inicial, ambiente tutorial, ambiente competitivo e ecrã final.

3.5.1 Ecrã inicial

O ecrã inicial, isto é, o primeiro ecrã do jogo, apresenta duas vertentes. Por um lado, temos a vertente do aluno, que apenas utiliza este ecrã para inserir o seu código de utilizador e para aprender os *inputs* necessários para jogar. Por outro lado, temos a vertente da configuração inicial do sistema de *biofeedback*, visto que no ecrã inicial estabelece-se a conexão com o Eletroencefalograma, iniciando a interação em tempo real com a API da EMOTIV.

Os *inputs* do jogo, localizados no objeto *Player*, apenas funcionam caso exista um objeto selecionado, mais concretamente, caso um objeto apresente a classe *Selectable*. No caso de um objeto estar selecionado, é possível executar uma ação sobre o mesmo através da tecla “Espaço”, ou, caso existam mais objetos selecionáveis, movimentar-se para o próximo/anterior objeto através das teclas das setas para a direita e para a esquerda, respetivamente. O facto de a navegação ter um conjunto de *inputs* reduzidos, facilita a utilização do sistema para utilizadores sem experiência prévia em jogos ou para participantes que não utilizem o computador frequentemente.

A configuração do EEG atravessa vários passos, mais concretamente, realiza a fase de criação da sessão com o *headset*, executa e começa a gravação dos dados EEG e subscreve as métricas de performance definidas. Estas fases são dependentes, visto que não é possível começar a gravar os dados do Eletroencefalograma sem previamente estabelecer uma sessão com o aparelho. Igualmente, não é possível subscrever uma certa métrica de performance sem começar a gravação dos dados recebidos pelo dispositivo.

A criação da sessão entre a API da EMOTIV e o jogo, é iniciada através da corrotina *StartEEGConfiguration*, que apenas é executado caso o jogador esteja a utilizar o Eletroencefalograma durante o jogo. Este método é responsável por determinar os dados da subscrição recebidos pelo

EEG, criar um identificador para o jogador, validar a licença EMOTIV e definir a sessão com o primeiro *headset* da lista.

```

1 private void StartEEGConfiguration()
2 {
3     // List with which data to subscribe (in this case met = subscribe to receive performance metrics)
4     dataStreams = new List<string>();
5     dataStreams.Add("met");
6
7     // Data is currently not being recorded by the SDK
8     _isRecording = false;
9
10    // Get amount of entries of engagement metrics to set the player ID
11    _currentRecordId = GetAmountOfFilesInFolder(Application.streamingAssetsPath + "/TxtFiles/EngagementMetric", "*.txt");
12
13    // Initialize licence validation and session creation
14    _emotivUnityPlugin.Init(CLIENT_ID, CLIENT_SECRET, APPNAME, APPVERSION, true);
15
16    // Open the websocket and authorize the process
17    _emotivUnityPlugin.Start();
18
19    // Coroutine to await the process to complete
20    StartCoroutine(WaitForSessionCreation());
21 }

```

```

1 private IEnumerator WaitForSessionCreation()
2 {
3     yield return new WaitForSeconds(3f);
4     yield return new WaitUntil(() => _emotivUnityPlugin.IsAuthorizedOK);
5
6     // After authorization is given, create the session with the first headset in list (Empty string refers to first "headset" in list)
7     _emotivUnityPlugin.CreateSessionWithHeadset("");
8 }

```

Figura 8: Corrotina *StartEEGConfiguration* e método *WaitForSessionCreation* responsáveis pela criação da sessão com o *headset*.

O processo de início de gravação dos dados recebidos é iniciado pelo investigador através da tecla de *input* “P” e parado através da tecla “L”, caso exista uma sessão criada previamente. Esta gravação, inicia o processo da recolha de dados referentes à métrica de performance de envolvimento, sendo que os dados enviados são recebidos em intervalos de 10 segundos. Além disso, estas informações recebidas são gravadas localmente num ficheiro com o nome do participante, para futura análise por parte do investigador, e, para definir o *threshold* da métrica de performance de envolvimento do jogador.

```

1 private IEnumerator GetPerformanceMetricData()
2 {
3     while (true)
4     {
5         yield return new WaitForSeconds(10f);
6
7         double engagementMetricData = _emotivUnityPlugin.GetPMData("eng");
8         if (engagementMetricData <= 0) continue;
9
10        _currentEngagementMetricValue = engagementMetricData;
11
12        SaveEngagementMetric(engagementMetricData);
13        SetEngagementThreshold();
14    }
15 }

```

```

1 public void SetEngagementThreshold()
2 {
3     Player player = FindObjectOfType<Player>();
4     if (player == null) Debug.LogError("No player found to set engagement threshold");
5     string name = PlayerPrefs.GetString("PlayerName");
6
7     string path = (Application.streamingAssetsPath + "/TxtFiles/EngagementMetric", "Engagement" + name + "_" + _currentRecordId + ".txt");
8     string fullPath = Path.Combine(path);
9
10    if (!File.Exists(fullPath)) return;
11
12    // Get All values in file
13    double[] engagementMetrics = GetAllEngagementMetrics(fullPath);
14
15    // Calculate average
16    double average = Queryable.Average(engagementMetrics.AsQueryable());
17
18    // Calculate median
19    double median = CalculateMedian(engagementMetrics);
20
21    if (average > median)
22        _engagementThreshold = median;
23    else
24        _engagementThreshold = average;
25 }

```

Figura 9: Método *GetPerformanceMetricData* (esquerda) e *SetEngagementThreshold* (direita) responsáveis pela obtenção das métricas de performance de envolvimento e por definir o *threshold*, respetivamente.

O *threshold* ou limiar de envolvimento, ou seja, o valor mínimo de motivação que cada jogador pode ter durante o jogo, é definido através do cálculo da média ou da mediana das métricas de performance recebidas durante o decorrer do jogo através da API da EMOTIV. O cálculo da média é influenciado por todos os valores da amostra, incluindo os mais discrepantes e os menos discrepantes, tendo um maior impacto no valor do limiar de envolvimento. Por outro lado, a mediana obtém-se pelos valores centrais da amostra ordenada, permitindo ignorar as grandes discrepâncias de valores. Dependendo da amostra, a utilização da média pode ser mais adequada para situações com poucos valores discrepantes, enquanto a mediana é mais adequada para a situação contrária. Desta forma, na implementação do método *SetEngagementThreshold*, é escolhido o menor valor entre a média e a mediana para atualizar o *threshold*, sendo possível obter uma análise mais realista relativamente à motivação do aluno. Este ajuste a cada participante, torna o processo mais versátil, visto que adapta o limiar da motivação intrínseca no momento que joga, sendo este processo atualizado sempre que é recebido um novo valor da métrica de performance.

Neste ecrã também são inicializados o *MotivationEventSaver* e o *AudioManager*. No contexto do jogo, o *script MotivationEventSaver* faz o trabalho de um *logbook* dos momentos que ocorreram os eventos, visando potenciar a motivação do jogador, guardando-os num ficheiro com o código do participante. O *AudioManager*, como o seu próprio nome indica, gere todos os sons presentes no jogo, como sons de resposta correta e incorreta, sons dos eventos especiais e do alerta do tempo a acabar.

3.5.2 Ambiente tutorial

O ambiente tutorial ou, como caracterizado anteriormente, o ambiente de aprendizagem do aluno, apresenta funcionalidades que simulam um ambiente real de aula, com a vantagem da interatividade que um jogo pode proporcionar.

A transmissão dos conteúdos teóricos ao aluno são feitos através do sistema de diálogo, onde o “Professor” explica vários conceitos com ou sem exemplos demonstrativos. Após cada explicação, são apresentados minijogos, com o intuito do aluno aplicar os conteúdos teóricos aprendidos. A composição deste sistema de diálogo apresenta uma imagem que ilustra quem explica o conteúdo, o nome de quem explica, o texto da explicação e um quadro no plano de fundo onde aparecem os exemplos. Em termos técnicos, a implementação deste sistema é gerida pelo *DialogueMaster*, que apresenta um conjunto de *Dialogues* com uma imagem, nome da personagem, texto a mostrar e o conjunto de exemplos a serem mostrados durante essa “fala” do diálogo.

A classe de gestão de conteúdos do diálogo *DialogueMaster*, possibilita iterar entre um conjunto de diálogos de um dado tópico, como também gere os exemplos que devem ser mostrados ou escondidos.

A corrotina *ShowDialogue* apresentada na Figura 11, começa por definir previamente as variáveis da imagem da personagem do diálogo, o seu nome e o texto a ser apresentado. Após a definição das variáveis, são mostrados os exemplos ilustrativos do diálogo atual. Para facilitar a leitura do conteúdo, o texto do diálogo aparece gradualmente, letra a letra, com uma velocidade predeterminada (representado na Figura 11 por *Textdelay*). Após terminado um certo diálogo, é ativada a variável *FinishedDialogue*, que permite ao utilizador passar para o próximo ecrã ou para a próxima explicação, caso esta exista, sendo esta confirmação feita no método *ShowNext*.

```

1 public class Dialogue
2 {
3     [SerializeField]
4     private Sprite dialogueImage;
5
6     [SerializeField]
7     private string charName;
8
9     [SerializeField]
10    [TextArea(10, 15)]
11    private string dialText;
12
13    [SerializeField]
14    private GameObject[] examplesGameObjects;
15
16    // Image of dialogue character
17    public Sprite DialogueImage { get => dialogueImage; set => dialogueImage = value; }
18    public string CharacterName { get => charName; set => charName = value; }
19    public string DialogueText { get => dialText; set => dialText = value; }
20
21    // Dialogue examples to be shown
22    public GameObject[] Examples { get => examplesGameObjects; set => examplesGameObjects = value; }
23
24 }

```

Figura 10: Classe *Dialogue* responsável por definir os dados de cada caixa de diálogo das explicações teóricas.

```

1 public IEnumerator ShowDialogue()
2 {
3     ResetDialogue();
4     ShowDialogueExamples(DialogueCount, true);
5
6     int numVisibleCharacters = dialogTextField.textInfo.
characterCount;
7     // Get how many characters are present in the string
8     int counter = 0;
9     for (int i = 0; i < numVisibleCharacters+1; i++)
10    {
11        // Get how many characters should be visible
12        int visibleCount = counter % (numVisibleCharacters + 1
13    );
14        // Remainder of division gives the number of characters that should be
15        shown
16
17        dialogTextField.maxVisibleCharacters = visibleCount;
18        counter++;
19
20        yield return new WaitForSeconds(Textdelay);
21    }
22
23    DialogueCount++;
24    dialogNext.SetActive(true);
25    FinishedDialogue = true;
26 }

```

```

1 private void ShowNext()
2 {
3     // Check for key pressed and dialogue finished
4     if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space) && FinishedDialogue &&
DialogueCount < dialogues.Length)
5     {
6         ShowDialogueExamples(DialogueCount - 1, false);
7         NextDialogue();
8     }
9     else if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Space) && FinishedDialogue
&& DialogueCount >= dialogues.Length && !_showButtons && !_gameMaster.
TransitionAnimation)
10    {
11        _gameMaster.NextLevel();
12    }
13
14    // Last dialogue box to show buttons repeat and continue
15    if (DialogueCount >= dialogues.Length && _showButtons)
16    {
17        dialogNext.SetActive(false);
18        buttons.SetActive(true);
19    }
20
21 }

```

Figura 11: Corrotina *ShowDialogue* (esquerda) e método *ShowNext* (direita) responsáveis pela gestão dos diálogos.

Depois das explicações teóricas da matéria, são apresentados minijogos para confirmar a aquisição de conhecimento do jogador. Estes minijogos podem ser tanto em forma de *quiz*, com várias escolhas múltiplas (duas, quatro ou seis) ou minijogos “especiais” adaptados a cada parte do conteúdo de Matemática apresentado.

Cada minijogo apresenta características em comum, representadas pela superclasse *Minigame*. Estas características são maioritariamente sobre dados que necessitam de ser mostrados na *user interface*, tais como o título com o tópico da matéria atual (representado na Figura 12 por *TopBarTitle*), o tempo de cada minijogo, o texto caso resposta de forma correta e incorreta e os pontos recebidos por responder a esse minijogo específico.

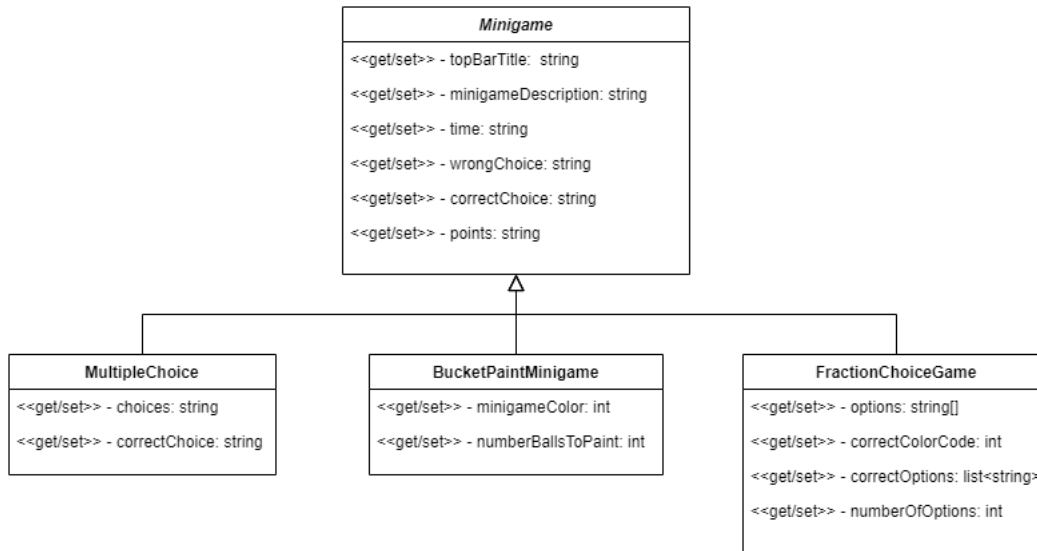


Figura 12: Diagrama da classe *Minigame* e a sua relação de herança com as subclasses *MultipleChoice*, *BucketPaintMinigame* e *FractionChoiceGame*.

As especificações dos diferentes minijogos, quando necessárias, são caracterizadas por subclasses tais como, a subclasse *MultipleChoice*, *BucketPaintMinigame* e *FractionChoiceGame*. Sendo que estas subclasses têm em comum a herança dos atributos e as funções presentes na superclasse *Minigame*.

Quanto aos minijogos com escolhas múltiplas, neste ambiente, o jogador não é penalizado por escolher uma resposta incorreta. Isto porque, tanto nas respostas corretas como incorretas é dada informação ao jogador sobre o motivo dessa resposta estar certa/errada. No caso de responder incorretamente, é apresentada uma nova oportunidade para responder até escolher a opção certa, reforçando assim a necessidade de aprender cada conteúdo, para passar à fase seguinte.

Relativamente aos minijogos especiais, existem jogos para a matéria dos espaços amostrais, para a criação de conjuntos com união, interseção, diferença e contrário, para consolidar a definição de Laplace e o conceito de acontecimento independente.

A matéria dos espaços amostrais é consolidada através de um exercício interativo adaptado do livro “Novo Espaço Parte 1” (livro de Matemática A do 12.^o ano), como mostrado na Figura 13. O jogo consiste na representação de um conjunto com cartas de um baralho e na presença de um número maior de cartas (do que o conjunto apresentado) na mão de um distribuidor. O objetivo deste jogo passa por remover da mão do distribuidor as cartas que não pertencem ao espaço amostral.

Em termos técnicos, a implementação deste minijogo começa com a definição de um espaço amostral aleatório, conforme as cartas presentes num baralho convencional. Após a definição, é utilizada a tecnologia do *TextMeshPro* do Unity3D para juntar imagens e texto, permitindo apresentar o espaço amostral objetivo aos jogadores. Quanto à viragem ou o retorno ao normal das cartas, esta funcionalidade é controlada por um alternador booleano com o nome *Deleted* que alterna a animação da carta selecionada conforme o seu valor. A verificação final de todas as posições das cartas é efetuada através da ação do carregar no botão “Concluído”. Esta ação faz despoletar



Figura 13: Minijogo especial de consolidação da matéria referente aos espaços amostrais.

o método *CardButton* que verifica a condição de vencer o minijogo, ou seja, averigua se todas as cartas estão na posição correta (se estão viradas devidamente ou não).

Os conteúdos referentes aos conjuntos com união, interseção, diferença e contrário são praticados tanto por minijogos de escolha múltipla como também por um minijogo especial criado especificamente para este conteúdo. No minijogo produzido, são apresentados aos jogadores vários conjuntos e este tem que construir um ou mais conjuntos conforme o resultado pretendido. Para construir estes conjuntos são apresentados dois botões, o botão de adicionar (representado por o símbolo “+”) e o botão remover (representado pelo símbolo “×”). A ação de carregar no botão de adicionar acrescenta um número temporário ao conjunto que pode ser controlado com as teclas de *input* seta para cima e para baixo, para aumentar ou diminuir o número apresentado, respetivamente. O botão de remover permite ao jogador eliminar o último número inserido nesse conjunto, sendo que este botão apresenta utilidade caso o utilizador tenha cometido um erro.

A ação de adicionar um número num determinado conjunto é executada pelo método *AddNewNumber*, que cria uma instância de um novo objeto na posição de um marcador específico, que, neste caso, refere-se à posição no mundo do jogo onde deve ser adicionado o número. Esta nova instância criada controla temporariamente o valor do novo número adicionado, através do método *ChangeNumberScreen*, que aumenta e diminui a quantia caso o jogador pressione a tecla de *input* seta para cima e seta para baixo, respetivamente. Durante este processo, se for pressionada a tecla de *input* espaço, o número é gravado e a edição do número deixa de ser possível.

O processo de remoção de um número é ativado pela função *RemoveLastAddedNumber*, que remove o último número de um certo conjunto, move o marcador para a posição anterior e esconde o botão de remover, no caso do conjunto estar vazio.

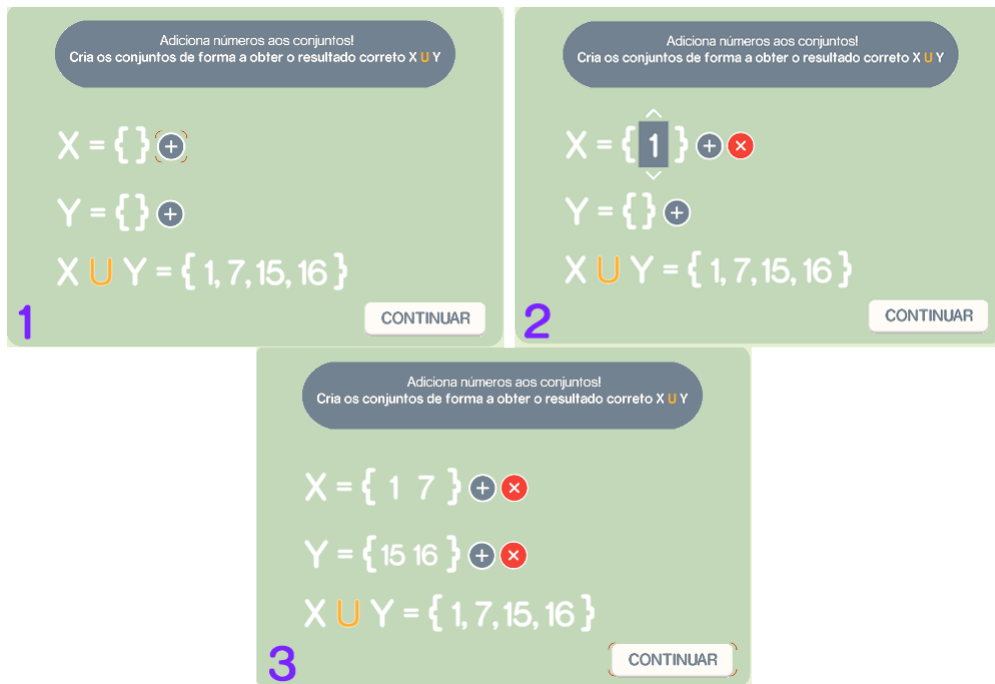


Figura 14: Minijogo especial de criação de conjuntos para consolidar o conceito de união.



Figura 15: Método *AddNewNumber*(esquerda), *ChangeNumberScreen*(direita) responsáveis pela adição de um número a um conjunto.

Quanto à verificação final do conjunto resultado, este é feito no momento que o utilizador pressiona o botão “Continuar”, ativando a ação *NumberAction* (presente na Figura 16) que compara os conjuntos dependendo do tipo de problema (união ou interseção). Esta comparação, primeiramente divide os conjuntos em três grupos distintos, sendo os dois primeiros os conjuntos a comparar e o último o conjunto resultado. Após a divisão de cada conjunto, é criado o conjunto resultado através dos dois primeiros conjuntos que, posteriormente, são comparados com o terceiro conjunto. A comparação final confirma o veredicto, ou seja, se o jogador acertou ou falhou o objetivo.

O terceiro tipo de minijogo especial presente existe para reforçar a aprendizagem da definição de Laplace. Segundo esta definição, mais especificamente, a regra usada para calcular a probabilidade de uma experiência aleatória, define-se pelo quociente entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis. No minijogo implementado, o objetivo principal passa por colorir as bolas de uma tigela corretamente, de maneira a obter a probabilidade correta de retirar uma certa bola de uma cor específica da tigela, mencionada no enunciado. Para isto, o jogador tem ao seu dispor três

```

1 private void NumberAction(GameObject g0)
2 {
3     Sets sets = GameMaster.FindParentWithTag(gameObject, "Minigame")
4     ).GetComponentInChildren<Sets>();
5     if (sets == null) return;
6     if (sets.Type == "Equal")
7         sets.EqualNumbers(g0);
8     else if (sets.Type == "Union1" || sets.Type == "Intersection1")
9         sets.CompareSetsAccordingToType(g0);
10 }
11 }

1 // Return array of type operation (union or intersect)
2 private int[] SetOperationByType(Number[] set, Number[] set2)
3 {
4     if (_type == "Union1")
5         return UnionSets(set, set2).ToArray();
6     if (_type == "Intersection1")
7         return IntersectSets(set, set2).ToArray();
8
9     return null;
10 }

1 // Compare intersection or union of given sets
2 public void CompareSetsAccordingToType(GameObject g0)
3 {
4     Number[] _firstSet = _sets[0].GetComponentInChildren<Number
5     >();
6     Number[] _secondSet = _sets[1].GetComponentInChildren<Number
7     >();
8     Number[] _thirdSet = _sets[2].GetComponentInChildren<Number
9     >();
10
11     if (_firstSet == null || _secondSet == null || _thirdSet ==
12     null)
13     {
14         Debug.Log("Add more sets. Sets.cs");
15         return;
16     }
17
18     int[] resultSet = SetOperationByType(_firstSet, _secondSet);
19     if (resultSet == null) return;
20     Array.Sort(resultSet);
21     int[] compareSet = ExtractArrayNumbers(_thirdSet);
22     Array.Sort(compareSet);
23
24     if (resultSet.SequenceEqual(compareSet))
25     {
26         AudioManager.PlaySound("CorrectSound");
27         LoadNext(true);
28     }
29     else
30     {
31         AudioManager.PlaySound("WrongSound");
32         LoadNext(false);
33     }
34 }

```

Figura 16: Método *NumberAction* (esquerda em cima), função *SetOperationByType* (esquerda em baixo) e método *CompareSetAccordingToType* (direita).

baldes de tinta com as cores amarela, vermelha e azul, que alteram a cor do pincel do jogador e que permitem ao mesmo pintar as bolas da tigela.

Neste jogo, o número de bolas pintadas, a sua cor e o enunciado apresentado são obtidos de forma aleatória, antes da execução do mesmo. No caso das bolas da tigela, estas podem adotar a cor amarela, vermelha ou azul no início da sessão. Quanto ao enunciado, este muda conforme o número de casos favoráveis da experiência, obtidos de forma aleatória, tal como a escolha de uma das três cores.

Em termos de implementação, novamente, a verificação final é feita após acionado o botão “Continuar”. Este botão pretende, de forma sucinta, contar o número de bolas na tigela, com a cor apresentada no enunciado, e compara com o número de casos favoráveis descritos. Esta comparação é facilmente verificável, devido a cada bola na tigela apresentar uma classe *Ball* com o atributo *CurrentColorNumber*, que representa a cor atual de cada bola.

Quanto ao último minijogo especial, este caracteriza-se por aplicar os conceitos dos acontecimentos independentes. Novamente, o enunciado utiliza tigelas como forma de explicar os conceitos, porém, neste minijogo, o jogador procura girar os cubos presentes no ambiente, para obter a probabilidade correta de tirar a bola com a cor apropriada.

Como podemos observar pela Figura 18, temos dois tipos de exercícios para aplicar o conceito de acontecimento independente. O primeiro, refere-se a tirar uma determinada bola de cada uma das taças, visto que são taças diferentes e independentes, é possível aplicar o conceito descrito anteriormente. No segundo exemplo, é apresentada apenas uma taça, porém, o jogador retira várias bolas da mesma, sabendo que existe reposição, consideramos cada acontecimento anterior independente do próximo.

Relativamente ao objetivo deste minijogo, o participante deve utilizar as teclas de *input* seta para cima e para baixo, para navegar entre os vários valores de cada cubo, procurando escolher a



Figura 17: Mini jogo especial de pintar as bolas de uma tigela conforme a probabilidade de tirar bola vermelha.

probabilidade certa para cada acontecimento independente. Dito isto, podemos afirmar que cada cubo presente no jogo reflete a ação de tirar uma bola da tigela.

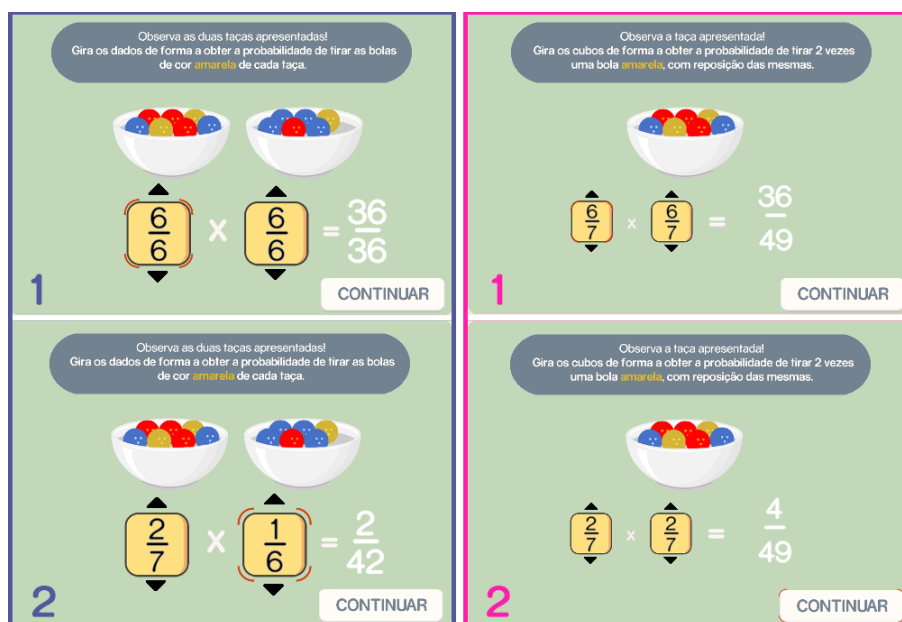


Figura 18: Mini jogo especial que reforça os conhecimentos do conceito de acontecimento independente. Primeiro exercício (azul) e segundo exercício (cor-de-rosa).

A implementação desta funcionalidade é conseguida através da superclasse *FractionChoiceGame* e das suas subclasses, sendo estas *MultipleBowlsGame* e *SingleBowlGame*. A diferenciação de ambas classes, deve-se do facto de serem dois minijogos com características diferentes, apesar das suas semelhanças. Num contexto mais geral, podemos afirmar que as subclasses *MultipleBowlsGame* e *SingleBowlGame*, como o próprio nome indica, referem-se ao número de tigelas apresentadas no minijogo. Em termos técnicos, a diferenciação é mais óbvia na subclasse *SingleBowlGame*, que

depende da instanciação dinâmica dos *fraction pickers* (cubos giratórios com várias frações aleatórias e com as respostas corretas), onde é necessário a reorganização dos elementos do jogo, mais especificamente, dos elementos selecionáveis, em tempo de execução. No entanto, esta instanciação dinâmica não está presente no *MultipleBowlsGame*, devido aos cubos giratórios serem estáticos.

A superclasse *FractionChoiceGame*, apresenta as funções necessárias para descrever corretamente o enunciado e também para “popular” cada cubo com respostas aleatórias e corretas. No caso de um enunciado ser do tipo *SingleBowlGame*, são necessárias informações do número de bolas a tirar da taça e da cor das mesmas. Enquanto um enunciado do tipo *MultipleBowlsGame*, apenas necessita de informação sobre a cor das bolas a serem retiradas. Quanto ao preenchimento do cubo, com as várias opções possíveis, o método responsável por esta funcionalidade tem o nome *PopulateOptions*, como apresentado na Figura 19. Este método primeiramente calcula todas as opções corretas para cada uma das tigelas e adiciona essas opções diretamente ao cubo, após ter completado o processo, são obtidos o número máximo e o mínimo de bolas nas tigelas, para utilizar como valor de divisor nas frações apresentadas. O valor do dividendo é calculado aleatoriamente, sendo o mínimo valor possível 1 e o máximo o número de bolas nas taças.

```

1  public void PopulateOptions(int numberOfOptions)
2  {
3      List<string> options = new List<string>();
4      Bowl[] bowls = gameObject.GetComponentInChildren<Bowl>();
5
6      // Get each correct option from each bowl
7      foreach (var bowl in bowls)
8      {
9          string correctOption = CorrectFractionFromBowl(bowl.
10         GetComponentInChildren<Ball>());
11         CorrectOptions.Add(correctOption);
12
13         if (!options.Contains(correctOption))
14             options.Add(correctOption);
15
16         // Get Min and Max of balls in the bowls
17         int min = GetMinNumberOfBallsInBowl();
18         int max = GetMaxNumberOfBallsInBowl();
19
20         while (options.Count < numberOfOptions)
21         {
22             int divider = UnityEngine.Random.Range(min, max);
23             int dividend = UnityEngine.Random.Range(1, max + 1);
24             string randomOption = dividend + "/" + divider;
25
26             // Avoid adding same options
27             if (!options.Contains(randomOption))
28                 options.Add(randomOption);
29         }
30
31         Options = Shuffle(options.ToArray());
32     }

```

Figura 19: Método *PopulateOptions*, presente na superclasse *FractionChoiceGame*, responsável por criar todas as opções do jogo ilustrado na Figura 18.

As transições entre jogos, exemplos e explicações só são possíveis devido à existência da classe *GameMaster*, mais concretamente, a classe que funciona como gestor de alguns dos processos mais importantes do sistema.

Esta classe não faz a diferenciação entre diálogos, ou seja, explicações por parte do “Professor”, e minijogos, visto que tem a possibilidade de os manipular facilmente por serem do tipo *GameObject*. Isto facilita o processo de transição entre os vários estágios do ambiente tutorial, pois possibilita ativar ou desativar os diferentes *GameObjects*, conforme necessário. O método responsável por esta navegação tem como nome *ActivateNextMinigame*, como ilustrado na Figura 20, este método tem um comportamento diferente no ambiente tutorial e no ambiente competitivo, mas visto que esta secção apenas aborda o ambiente tutorial, iremos nos focar na segunda parte da implementação do método. Como temos um conjunto de todos os objetos presentes no jogo, guardados na variável privada *minigames*, apenas necessitamos do índice do próximo objeto, sempre que é completa uma fase do ambiente tutorial. No caso de não existirem mais *GameObjects* nesse conjunto, acontece a transição para o ambiente competitivo, através da mudança de *Scene*.

```

1 private void ActivateNextMinigame()
2 {
3     if (_gameModes == GameModes.competitive)
4     {
5         NextCompetitiveLevel();
6         return;
7     }
8     int currentIndex = GetCurrentMinigameIndex();
9     _minigames[currentIndex].SetActive(false);
10
11     // End Scene
12     if (currentIndex+1 >= _minigames.Length)
13     {
14         ConfigEEG configEEG = FindObjectOfType<ConfigEEG>();
15
16         if (configEEG != null)
17             configEEG.SetEngagementThreshold();
18
19         SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex + 1);
20         return;
21     }
22
23     _minigames[currentIndex+1].SetActive(true);
24 }

```

Figura 20: Método *ActivateNextMinigame*, da classe *GameMaster*, responsável por definir o próximo minijogo a ser mostrado.

O *GameMaster*, neste ambiente, também tem o trabalho de apresentar ao jogador algumas animações e informações importantes. Relativamente às animações, nesta classe são controladas as animações de transição entre cada minijogo e também as animações do surgimento de informações relativas ao minijogo mostrado. Quanto às informações importantes geridas pela classe *GameMaster*, estas são informações relativas às explicações da resposta estar correta/incorrecta, num certo minijogo. Estas informações são reveladas através de uma animação simples de entrada, onde são mostrados vários dados obtidos diretamente da classe *Minigame*, mais especificamente, os dados da descrição da razão de a resposta estar correta ou incorreta, descritos nas variáveis *CorrectChoiceText* e *WrongChoiceText*, respetivamente. Estes dados preenchem a caixa de texto, mostrada pela animação, através do método *FillPopupDetails*. Relativamente à animação de transição, esta ativa-se após um jogador resolver corretamente um minijogo e após desaparecer a informação sobre o motivo de o ter completado corretamente, sendo esta também caracterizada por uma simples animação de entrada, seguida de uma animação de saída.

```

1 public void PopupMessage(bool correctAnswer)
2 {
3     if (_gameModes == GameModes.competitive)
4     {
5         StartCoroutine(PopupCompetitive(correctAnswer));
6         return;
7     }
8
9     TransitionAnimation = true;
10    Minigame minigame = FindObjectOfType<Minigame>();
11    if (minigame == null) return;
12
13    if (correctAnswer)
14        FillPopupDetails(true, minigame.CorrectChoiceText); //Popup Victory
15    else
16        FillPopupDetails(false, minigame.WrongChoiceText); //Popup Wrong message
17
18    StartCoroutine(PopupAnimation(correctAnswer));
19 }

```

```

1 private IEnumerator PopupAnimation(bool correctAnswer)
2 {
3     Animator animPopup = _popupGameObject.GetComponent<Animator>();
4     TransitionAnimation = true;
5     animPopup.Play("PopupAnimation");
6     yield return new WaitForSeconds(_messageTime);
7     animPopup.Play("PopOut-Leave");
8     StartCoroutine(PopoutAnimation(correctAnswer));
9 }
10 private IEnumerator PopoutAnimation(bool correctAnswer)
11 {
12     yield return new WaitForSeconds(1.5f);
13
14     if (correctAnswer || _gameModes == GameModes.competitive)
15     {
16         StartCoroutine(Transition());
17         yield break;
18     }
19     TransitionAnimation = false;
20 }

```

```

1 private void FillPopupDetails(bool correct, string message)
2 {
3     PopupMessage popupDetails = _popupGameObject.GetComponent<PopupMessage>();
4     popupDetails.MinigameCorrect = correct;
5     popupDetails.MessageText = message;
6 }

```

Figura 21: Métodos *PopupMessage*, *FillPopupDetails*, *PopupAnimation* e função *PopoutAnimation*, da classe *GameManager*, responsáveis por mostrar a informação sobre a escolha do jogador e pela animação do processo.

3.5.3 Ambiente competitivo

O ambiente competitivo reutiliza funcionalidades do ambiente tutorial, principalmente os tipos de minijogos utilizados nesse ambiente (jogos em estilo de quiz, jogo do espaço amostral, jogos de criação de conjuntos, jogo da definição de Laplace e os jogos dos acontecimentos independentes). Contudo, neste ambiente também são introduzidas novas funcionalidades que não estão presentes no ambiente anterior, tais como o conceito de tempo para resolver um minijogo, o conceito de pontuação caso responda corretamente, conceito de níveis e o conceito de adversário (computador).

Neste ambiente existe a necessidade de dividir o ecrã em duas partes, sendo o lado esquerdo representado pela área de jogo do participante e o lado direito a área do computador. Os minijogos apresentados em cada área são determinados aleatoriamente e conforme o nível atual de cada jogador. Para evitar confusão e possíveis batotas por parte do jogador, a área do computador, durante o jogo, está coberta por uma máscara de desfoque, permitindo ao jogador apenas visualizar a atividade do computador, mas não o conteúdo da área do adversário.

Cada jogador também tem ao seu dispor, na sua área de jogo, um indicador de contagem regressiva do tempo que tem para resolver um minijogo, visto que podem ter tempos de resolução diferentes. Após um dos jogadores acabar o minijogo, o tempo “congela” até o outro jogador terminar. A competição por terminar primeiro o minijogo, ajuda na aquisição de pontos, visto que é uma das variáveis dependentes para o cálculo dos mesmos.

Os pontos definem o nível atual do jogador e, conseqüentemente, o vencedor do jogo. Existem três níveis com perguntas de diferentes dificuldades, contendo o nível 1 as perguntas mais fáceis e o nível 3 as mais difíceis, causando um aumento gradual na dificuldade do jogo. O intervalo de pontos necessário para atingir o próximo nível é sempre o mesmo, ou seja, para passar ao nível 2, o jogador precisa de ultrapassar os 100 pontos, para o nível 3 necessita de 200 pontos e para terminar o jogo tem de ter 300 ou mais pontos. Como mencionado anteriormente, uma das variáveis importantes no cálculo dos pontos é o tempo de resolução de um minijogo e, além disso, os pontos específicos de cada minijogo. Na Figura 23, podemos observar como são calculados os pontos após um jogador acertar numa resposta.

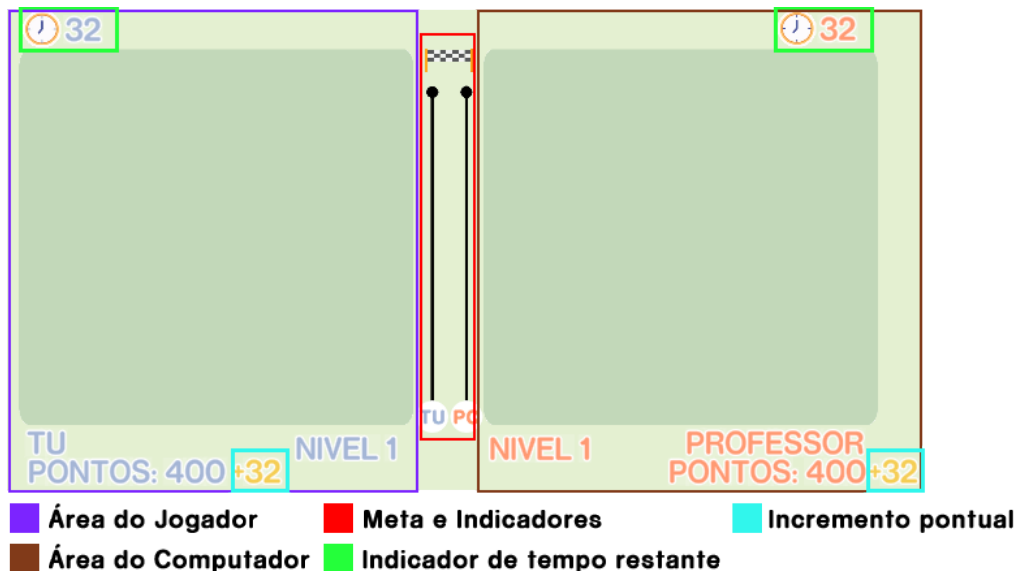


Figura 22: Representação do ambiente competitivo com legendas.

Como observado na Figura 23, a função *CalculateTimePoints* é responsável por calcular uma certa quantidade de pontos consoante o tempo que o jogador demorou a resolver um minijogo. Estes pontos “extra” apenas são adquiridos pelo jogador/computador caso $\frac{TempoTotal}{2} - 10 > 0$, sendo o TempoTotal referente ao tempo total do minijogo. O cálculo destes pontos extra é dado por: $10 * \frac{TempoAtual}{TempoTotal}$. Estes pontos são acrescentados um a um, de forma iterada, resultando numa animação realizada pela classe *PointIncrement*. Além disso, também é modificada a posição de quem adquiriu os pontos (jogador ou computador) na meta apresentada na *user interface*. Esta meta serve de indicador ao jogador sobre a diferença de pontos entre si e o computador e, também, sobre a distância entre os seus pontos e o próximo nível.

A alteração da posição dos indicadores da meta é dada pelo método *ChangePosition* e pelo método *CurrentPlayerPosition* ou *CurrentComputerPosition*, da classe *FinishLine*, conforme o individuo que recebeu os pontos. De forma sucinta, estes métodos recolhem o valor da nova posição do indicador através da fórmula $newPosition = \frac{PointsAmount}{3}$, onde *newPosition* refere-se à nova posição no eixo y do indicador e *PointsAmount* ao total de pontos adquiridos durante esse minijogo. Após realizada, atualiza-se a nova posição do indicador conforme o resultado obtido.

Para garantir o progresso na aprendizagem e para seguir as regras de *design* de Malone, introduziram-se níveis no ambiente competitivo. Mais concretamente, introduziram-se três níveis, com a sua dificuldade aumentada progressivamente, para manter os níveis de interesse do aluno em alta. A criação dos novos minijogos com diferentes dificuldades acontece devido à classe *MultipleChoiceExample*, que permite a criação de variações de um minijogo com um certo exemplo. Cada objeto do tipo *MultipleChoiceExample* apresenta os atributos *TextMeshSpriteAsset*, *ExampleVariations* e *IndexOfCurrentlyChosenExample*, apresentados na Figura 24.

O atributo *TextMeshSpriteAsset* refere-se ao tipo *TMP_SpriteAsset*, com o intuito de utilizar num certo objeto do tipo *TextMeshPro*, mais especificamente, para permitir apresentar imagens específicas com o texto (por exemplo, símbolos que não são suportados pelo tipo de letra do jogo). Quanto ao atributo *ExampleVariations*, este é do tipo *Choice*, ou seja, da classe que identifica o nível do minijogo, as opções das escolhas múltiplas, a escolha correta e a descrição (ou enunciado) do

```

1 public IEnumerator IncrementPoints(int amount, string player)
2 {
3     LevelText levelText = transform.gameObject.GetComponent<LevelText>();
4     if (levelText == null) yield break;
5
6     // Get points for completing the game in certain time
7     int timePoints = CalculateTimePoints(player);
8
9     // Increment points iteratively
10    PointIncrement pointIncrement = gameObject.GetComponentInChildren<
11    PointIncrement>();
12    pointIncrement.Increment = amount + timePoints;
13    yield return new WaitUntil(() => pointIncrement.Increment == 0);
14
15    // Check if should go to next level
16    levelText.UpdateLevel();
17
18    // Change position according to points received
19    float newPosition = (33.33f * PointsAmount) / 100;
20    ChangePosition(player, newPosition);
21
22    if (PointsAmount >= _maxPoints)
23        Gameover();
24 }

```

```

1 // Calculate points based on how fast the player answers
2 private int CalculateTimePoints(string player)
3 {
4     GameObject timer = GameObject.Find("Time" + player);
5     if (timer == null) Debug.LogError("No timer with name Time" + player +
6     " found.");
7
8     float countdownTime = timer.GetComponent<Countdown>().CountdownTime;
9
10    CompetitiveMaster competitiveMaster = FindObjectOfType<CompetitiveMaster>();
11    int minTime = (int)((competitiveMaster.TimeForEachGameInSeconds / 2) - 10);
12
13    if (minTime <= 0 || countdownTime < minTime) return 0;
14
15    return (int)(10 * countdownTime / competitiveMaster.TimeForEachGameInSeconds);
16 }

```

```

1 private void ChangePosition(string player, double position)
2 {
3     FinishLine finishLine = FindObjectOfType<FinishLine>();
4     if (finishLine == null) return;
5
6     if (player.Equals("Player"))
7     {
8         finishLine.CurrentPlayerPosition = (float)position;
9     }
10    else if (player.Equals("Computer"))
11    {
12        finishLine.CurrentComputerPosition = (float)position;
13    }
14 }

```

Figura 23: Função *IncrementPoints*, *CalculateTimePoints* e método *ChangePosition*, da classe *Points*, referentes ao cálculo dos pontos no ambiente competitivo.

minijogo. Por fim, a variável com o nome *IndexOfCurrentlyChosenExample*, identifica o “exemplo” (*index* da variação de um minijogo específico) que deve ser apresentado ao jogador.

As instâncias dos minijogos de um certo nível, tanto para o jogador como para o computador, são geridos pelo *GameMaster*. Este decide se deve mostrar ao jogador um jogo do tipo *MultipleChoice* ou um evento especial. Os jogos do tipo *MultipleChoice* são escolhidos aleatoriamente dependendo do nível atual do jogador ou do adversário. A existência da classe *MultipleChoiceExample* facilita esta escolha e também evita que sejam apresentados minijogos repetidos. Relativamente aos eventos especiais, estes são determinados se devem acontecer, dependendo da utilização ou não do Eletroencefalograma durante o jogo. No caso de não estar a ser utilizado o Eletroencefalograma durante o jogo, acontecem eventos especiais a cada três minijogos. Quando é utilizado o EEG, os eventos especiais apenas são ativados quando o limiar de envolvimento calculado pela classe *ConfigEEG* é ultrapassado. Existem três tipos de eventos especiais, escolhidos de forma aleatória. Um deles é o evento do minijogo especial, em que é apresentado um jogo diferente dos *MultipleChoice*, mas semelhante ao mostrado no ambiente tutorial. O segundo evento especial é caracterizado por ser uma ronda rápida, com o tempo reduzido e com o ritmo da música ambiente mais acelerado, para motivar o jogador a responder mais rapidamente. Quanto ao terceiro evento especial, este caracteriza-se por ser uma “provocação” por parte do Computador, onde o mesmo menciona os pontos que faltam para este ganhar o jogo, lembrando assim o jogador que a sua derrota pode estar iminente. Estes eventos persuasivos têm o objetivo de voltar a aumentar a motivação do jogador para níveis acima do limiar, ou no caso de não estar a utilizar o EEG, de simplesmente manter os níveis de motivação do mesmo.

Como podemos observar pela Figura 25, apresentada anteriormente, o método *PickGameAccordingToLevel* da classe *GameMaster* é responsável por procurar todos os minijogos de um certo nível, de verificar se deve mostrar um evento especial ou se deve ativar um minijogo do tipo *MultipleChoice*. No caso de ser verificado o requisito da função *TimeToShowSpecialEvent*, mais concretamente, a condição que o limiar da métrica de performance do envolvimento do jogador foi ultrapassado (no caso de estar a utilizar o EEG) ou, dada a ocorrência da situação de não estar a

```

1 public class MultipleChoiceExample: MonoBehaviour
2 {
3
4     [SerializeField]
5     private TMP_SpriteAsset _textMeshSpriteAsset = default;
6
7     [SerializeField]
8     private Choices[] _exampleVariations;
9
10    public Choices[] ExampleVariations { get => _exampleVariations; }
11
12    private int _indexOfCurrentlyChosenExample;
13
14    public int IndexOfCurrentlyChosenExample { get => _indexOfCurrentlyChosenExample; }
15

```

Figura 24: Classe *MultipleChoiceExample* referente às várias variações de jogos do tipo *Multiple-Choice*.

```

1 private void PickGameAccordingToLevel(int currentLevel, string parentPath, bool specialEEGEvent)
2 {
3     GameObject playerArea = GameObject.Find(parentPath); // Parent of all games played inside the "player game area"
4     if (playerArea == null) return;
5
6     MultipleChoiceExample[] multipleChoiceExamples = playerArea.GetComponentsInChildren<MultipleChoiceExample>(true);
7
8     // List all games of a certain level
9     List<MultipleChoiceExample> currentLevelGames = ListAllGamesFromSameLevel(multipleChoiceExamples, currentLevel);
10
11    if (currentLevelGames.Count == 0)
12    {
13        // Repeat all previous level minigames, since the player failed a big amount of them
14        ResetLevelMinigames(parentPath);
15        PickGameAccordingToLevel(currentLevel, parentPath, specialEEGEvent);
16        return;
17    }
18
19    // Check if the minigame picked should be a special minigame event
20    if (TimeToShowSpecialEvent(playerArea, specialEEGEvent, currentLevelGames) return;
21
22    ActivateNextGameByLevel(currentLevelGames);
23 }

```

```

1 // Check conditions for showing special minigame event (based on EEG Eng
2 // agement performance metrics and without EEG)
3 private bool TimeToShowSpecialEvent(GameObject playerArea, bool
4 specialEEGEvent, List<MultipleChoiceExample> currentLevelGames)
5 {
6     CompetitiveMaster competitiveMaster = FindObjectOfType<
7 CompetitiveMaster>();
8     if (competitiveMaster == null) return false;
9
10    if (specialEEGEvent || (nextSpecialEventCounter ==
11 competitiveMaster.AmountOfGamesBetweenSpecialEvents && !specialEEGEvent))
12    // Handle special events for players without EEG and with EEG
13    {
14        PickRandomSpecialEvent(playerArea, competitiveMaster,
15 currentLevelGames);
16        return true;
17    }
18    return false;
19 }

```

```

1 private void PickRandomSpecialEvent(GameObject parent, CompetitiveMaster competitiveMaster, List<MultipleChoiceExample> currentLevelGames)
2 {
3     AudioManager audioManager = GameObject.Find("AudioManager").GetComponent<AudioManager>();
4     if (parent.name.Contains("Player"))
5     {
6         MotivationEventSaver motivationEventSaver = FindObjectOfType<MotivationEventSaver>();
7         motivationEventSaver.SaveMotivationEvent();
8     }
9
10    switch (randomEventNumber)
11    {
12        case 0: // Special MinigameEvent
13            audioManager.PlaySound("SpecialEventSound");
14            InstantiateSpecialMinigame(parent, competitiveMaster);
15            break;
16        case 1: // Bullet Speed Round
17            BulletSpeedRound(parent, currentLevelGames);
18            break;
19        case 2: // Computer Taunt
20            audioManager.PlaySound("ThinkingComputer");
21            ComputerTaunt(parent, currentLevelGames);
22            break;
23    }
24    lastRandomEvent = randomEventNumber;
25 }

```

Figura 25: Implementação dos métodos *PickGameAccordingToLevel*, *PickRandomSpecialEvent* e da função *TimeToShowSpecialEvent*, presentes na classe *GameMaster*.

utilizar o Eletroencefalograma e o jogador ter completado um número específico de minijogos anteriormente (sendo que neste caso específico é ativado a cada três minijogos), é escolhido um evento especial aleatoriamente através do método *PickRandomSpecialEvent*. Este método guarda no *log-book* o momento que ocorre o evento especial, para análise posterior do investigador, e seleciona um evento que não seja repetido do anterior.

Os níveis garantem progresso por parte do estudante e também potenciam a dificuldade, porém a introdução de um adversário à altura do jogador garante um aumento na aprendizagem e também da motivação do mesmo [87], visto que a competição faz com que este se esforce mais para resolver as tarefas propostas [88]. Neste ambiente, o jogador compete diretamente com o computador, sendo o objetivo de ambos completar 300 pontos antes do adversário. O computador, na perspectiva do jogador, compete e joga normalmente, porém, não é isso que acontece na realidade. A ocorrência de um minijogo, no lado do computador, despoleta várias corrotinas dependendo do tipo de minijogo apresentado, permitindo a suspensão e o resumo da execução de partes da implementação. A primeira corrotina chamada *CompleteMinigame* apresenta a sua primeira interrupção devido ao atributo *averageResponseTimeSeconds*, que se refere à média dos tempos de resolução dos minijogos de todos os participantes, sendo este valor utilizado para criar um tempo de resposta realista por parte do computador. A segunda interrupção da corrotina apenas acontece caso o jogo seja do tipo *MultipleChoice*, se for, o computador percorre as opções existentes, movendo o seu *cursor*, e encontra a resposta correta. No caso de estar a ser apresentado ao computador um minijogo especial, a “ilusão” de movimentos por parte do computador é feita por animações referentes a cada tipo de minijogo.

A ponderação do sucesso da resposta por parte do computador acontece através de uma avaliação probabilística simples, sendo que o computador tem uma percentagem de 65% de responder corretamente a um minijogo. Esta percentagem é manipulada diretamente, no caso do jogador estar numa sequência de duas ou mais respostas corretas/incorrectas, para manter as pontuações o mais equilibradas possível, potenciando a competição. Se o jogador estiver numa sequência de respostas corretas, o computador fica com uma percentagem de 90% de acertar no minijogo e, caso o jogador esteja numa sequência de respostas incorrectas, o computador altera a sua percentagem de sucesso para 40%. Numa eventual interrupção de uma sequência de respostas/incorrectas, o sucesso do computador volta ao valor original.

3.5.4 Ecrã final

Quando o computador ou o jogador completam os 300 pontos, são redirecionados para o ecrã final. Este ecrã apenas tem a finalidade de apresentar ao jogador a sua pontuação final e o vencedor do jogo. Para o investigador, representa o fim da análise do jogo desse participante, sendo necessário desativar o envio dos dados do EEG (caso esteja a utilizar o mesmo).

Os dados apresentados ao jogador, mais especificamente os seus pontos finais e o vencedor do jogo, são enviados entre a *Scene* anterior (ambiente competitivo) e o ecrã final através da classe *PlayerPrefs* do Unity3D, facilitando o processo de transferência de dados entre ecrãs.

4 Metodologia

Esta secção destina-se a apresentar a metodologia necessária para completar o estudo da análise da motivação durante a aprendizagem de Matemática. Mais concretamente, nesta secção são apresentados os seguintes subtópicos: abordagem do estudo, equipamento necessário para realizar a avaliação da motivação, descrição de como foi executado o *playtesting*, os testes de usabilidade e o procedimento experimental.

4.1 Abordagem

Como mencionado na subsecção 2.1.1 existe a necessidade de adaptar os métodos de ensino tradicionais para ir ao encontro das necessidades dos nativos digitais. Para resolver este problema, conforme o estado de arte, a introdução de uma forma mais ativa de aprendizagem como as abordagens baseadas em jogos pode ser benéfica para os alunos, visto que trabalha fatores como a motivação.

De modo a avaliar a motivação dos alunos em tempo real foram utilizados equipamentos especializados, neste caso o Eletroencefalograma, devido a ser considerado uma das melhores ferramentas para estudar a motivação dos indivíduos, e por ser um equipamento que não influencia os participantes de forma subconsciente. Esta avaliação em tempo real, da motivação, permite a introdução de elementos persuasivos durante o jogo, de maneira a incentivar o estudante, no caso da motivação ultrapassar o *threshold* calculado. Além disso, de modo a complementar o estudo e para apurar a sua veracidade, estes sensores EEG, foram utilizados em conjunto com outros métodos de avaliação, mais concretamente, o método de avaliação de questionários de apuramento da motivação, para permitir uma melhor comparação dos resultados obtidos.

4.2 Equipamento Necessário

Para este estudo foi necessário escolher um equipamento apropriado para a medição, em tempo real, das métricas de performance de um indivíduo. Existem várias soluções comerciais disponíveis para *headsets* EEG, sendo as marcas comerciais mais utilizadas o MUSE e a EMOTIV, porém, devido aos sistemas da empresa MUSE terem recentemente privatizado a sua API, optou-se pela utilização do *hardware* da empresa EMOTIV.

4.2.1 EEG Emotiv Insight 2.0

O Eletroencefalograma utilizado neste estudo é conhecido como EMOTIV Insight 2.0. Este EEG *wireless* foi desenhado com o intuito de permitir a autoquantificação, para utilização da sua interface cérebro-computador e para investigação.

O Insight apresenta 5 elétrodos semi-secos (AF3, AF4, T7, T8 e PZ) e 2 de referência (CMS e DRL), localizados conforme o sistema internacional 10-20 [1], apresentados na Figura 26. Além disso, apresenta uma taxa de amostragem de 128 amostras por segundo por canal, uma resolução de 16 bits, vida de bateria até 20 horas, permite deteções de comandos mentais, métricas de performance e deteta expressões faciais.

4.2.2 Eletroencefalograma e Métricas de Performance

Na metodologia deste estudo, em semelhança a estudos anteriores, como o estudo “*A novel sensor-based methodology for learner’s motivation analysis in game-based learning*” por Ghergulescu e

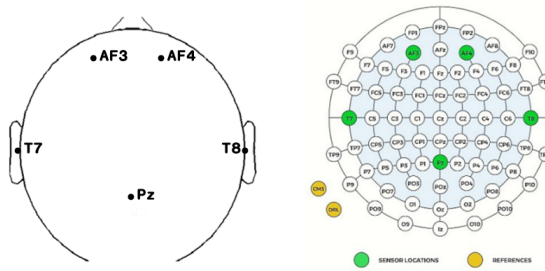


Figura 26: Localizações dos sensores no EMOTIV Insight conforme o sistema 10-20 [1, 2].

Muntean [32], são utilizadas as métricas de performance recebidos pela API da EMOTIV para avaliar a motivação do participante. Mais concretamente, das métricas de performance disponíveis para análise (*stress*/frustração, envolvimento/empenho, interesse, excitação, concentração, relaxamento) será utilizada a métrica de performance de envolvimento/empenho, devido a ser considerado um dos indicadores mais importantes para avaliar a motivação de um certo indivíduo [55, 56].

O facto de existirem evidências que comprovam que o *software* da EMOTIV pode ser utilizado para determinar com precisão o envolvimento do participante [89], garante uma maior segurança referente aos dados obtidos, mais concretamente, sobre os dados relativos às métricas de performance de envolvimento. Estas métricas, ao serem recebidas em tempo real, permitem alterar o valor do limiar de envolvimento do jogador durante o jogo, para despoletar eventos persuasivos motivadores, sempre que necessário.

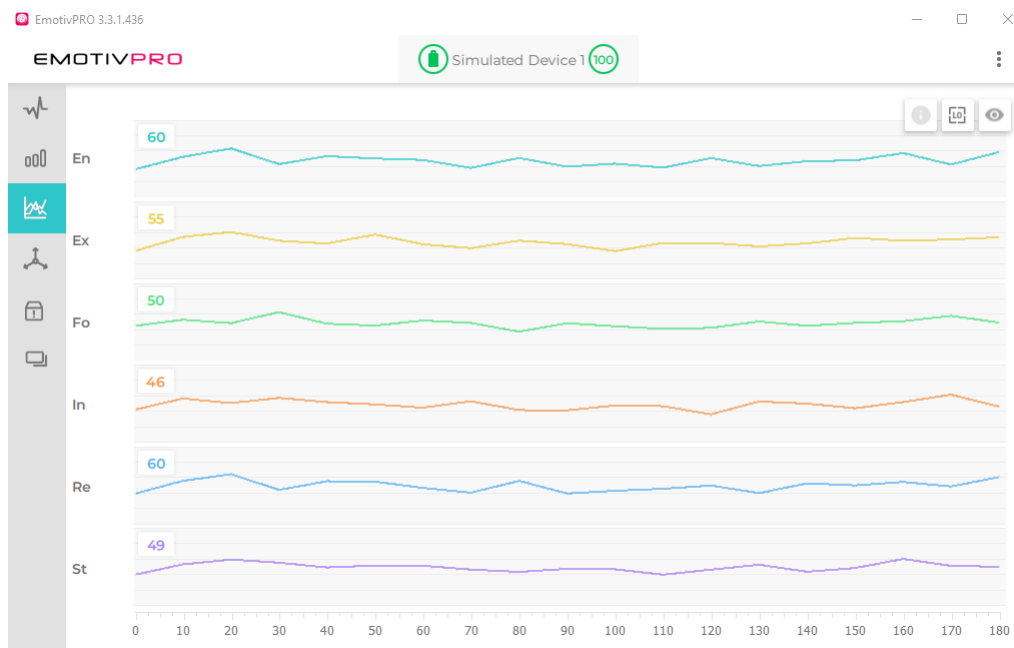


Figura 27: Painel de visualização dos níveis das métricas de performance na aplicação EMOTIV-PRO.

Como podemos observar pela Figura 27, a EMOTIV também disponibiliza o *software* EMOTIVPRO, que permite a verificação em tempo real dos valores relativos às métricas de performance

do participante, uma ferramenta útil neste contexto, principalmente para o investigador, visto que permite uma análise geral da motivação do aluno durante o processo de investigação.

4.3 *Playtesting* e Testes de Usabilidade

O desenvolvimento de um jogo necessita de passar por uma fase de *playtesting*, sendo esta fase considerada uma das mais importantes durante o processo de *design*, visto que nesta etapa obtém-se a resposta às seguintes questões [90]:

- O jogo funciona e a experiência do jogo é percebida como o pretendido?
- O jogo é conclusivo e equilibrado?

Estas questões foram respondidas de forma direta e indireta, através do *playtesting*, por parte de 10 participantes com idades entre os 19 e 28 anos, sendo que a primeira resposta à primeira questão foi apurada através da análise dos resultados obtidos por cada participante durante o jogo, relativamente à motivação e às mudanças de variáveis consequentes. A ativação dos eventos especiais no momento da ultrapassagem do limiar de envolvimento, calculado pelo sistema, demonstrou que o jogo funcionava como o pretendido, permitindo dar resposta positiva à primeira questão. Relativamente à segunda questão, esta análise foi feita com base na performance do jogador contra o seu adversário, mais concretamente, dos 10 participantes, 7 venceram o jogo e 3 perderam, demonstrando a necessidade de aumentar a dificuldade do computador. Este ajuste passou pela alteração da percentagem de vitória de 60% para 65%, para garantir um nível de competição adequado no jogo.

No fim de cada fase de *playtesting*, também foi pedido a cada utilizador para efetuar um teste usabilidade, visto que é imperativo avaliar as dimensões da eficácia da aprendizagem, do envolvimento e o próprio *design* do jogo conforme o contexto e a população alvo [91]. Para avaliar a usabilidade do jogo utilizou-se o *System Usability Scale* (SUS), uma ferramenta prática e rápida para avaliar a usabilidade de um dado sistema, [3], onde foram colocadas as seguintes afirmações aos utilizadores para avaliarem:

1. Acho que gostaria de utilizar este jogo com frequência.
2. Considerei o jogo mais complexo do que necessário.
3. Achei o jogo fácil de utilizar.
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este jogo.
5. Considerei que as várias funcionalidades deste jogo estavam bem integradas.
6. Achei que este jogo tinha muitas inconsistências.
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar este jogo rapidamente.
8. Considerei o jogo muito complicado de utilizar.
9. Senti-me muito confiante a utilizar este jogo.
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este jogo.

Cada afirmação apresenta a escala da Figura 28, para ser avaliada pelo utilizador, sendo o valor 1 referente ao “Discordo Totalmente” e a pontuação mais alta, o número 5 referente ao “Concordo Totalmente”.

Discordo Totalmente	1	2	3	4	5	Concordo Totalmente
---------------------	---	---	---	---	---	---------------------

Figura 28: Escala referente ao *System Usability Scale*.

A avaliação dos resultados do questionário permite-nos aprovar ou reprovar a usabilidade de um determinado sistema, dependendo da classificação. Como podemos verificar pela Figura 29, um resultado superior a 80.3 equivale a um “excelente”, uma classificação entre 68.1 e 80.3 representa um bom resultado, 68 significa um resultado satisfatório, valores entre os 51 e 67.9 são considerados maus resultados (apesar do sistema poder ser utilizado, necessita de ser melhorado para se obterem melhores resultados) e resultados abaixo de 51, são negativos.

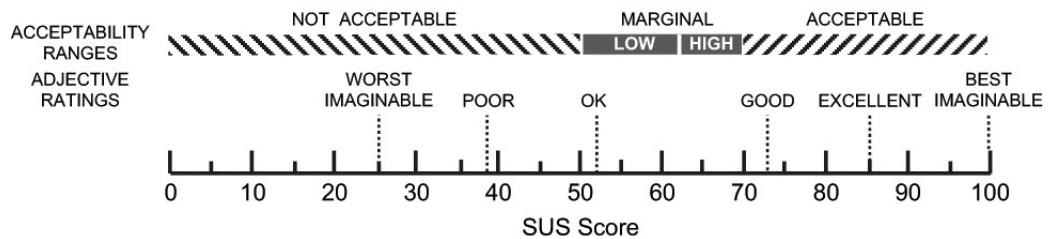


Figura 29: Comparação dos valores médios do *System Usability Scale*(SUS), classificados por adjectivos e por aceitabilidade [3].

Os resultados dos questionários de cada participante, calculados segundo as regras do SUS, deram uma média de 85.9 valores (ver Apêndice I), sendo esta média de valores considerada “excelente” conforme a escala de avaliação de usabilidade apresentada anteriormente.

4.4 Procedimento Experimental

Após a descrição técnica da implementação do sistema, existe a necessidade de explicar como se irá proceder o estudo da motivação com os vários grupos de indivíduos. Com isto, nesta subsecção, será explicado a seleção dos participantes do estudo, a experiência, como serão efetuados os questionários de avaliação de motivação, as hipóteses de investigação e as condições experimentais necessárias para as cumprir.

4.4.1 Participantes

Neste estudo participaram 21 alunos, com idades entre os 14 e os 16 anos, do ensino secundário, mais concretamente dos 10.º e 11.º anos.

Estes alunos pertencem tanto ao ensino profissional como ao ensino regular, sendo que apesar de terem a disciplina de Matemática no plano curricular, nenhum ainda tinha abordado os tópicos de Probabilidades presentes no conteúdo da experiência.

Algo a ter em conta, antes da realização da experiência, devido aos participantes serem menores de idade, é o facto de existir a necessidade de uma autorização por parte dos encarregados de educação para a participação no estudo. Esta autorização foi concebida através da assinatura de um consentimento de participação, sendo este consentimento apresentado no Anexo D.

Quanto à divisão dos alunos em grupos, para a realização da experiência, estes foram divididos em grupo de controlo (GC), grupo experimental que responde a questionários (GE1) e grupo experimental que apenas joga (GE2), como ilustrado na Figura 30, consoante as necessidades das condições experimentais. Estes grupos foram divididos de forma uniforme, sendo que cada grupo contém 7 alunos.



Figura 30: Grupo de controlo (esquerda), Grupo experimental que responde a questionários (centro) e Grupo experimental que apenas joga (direita).

4.4.2 Experiência

O estudo do aumento da motivação durante a aprendizagem de Matemática, necessita de passar por várias fases, dependendo de cada grupo de alunos, sendo que a experiência é realizada por um aluno, de cada vez, como está ilustrado no esquema da Figura 31. No caso do aluno pertencer ao grupo de controlo, o *layout* da sala será o apresentado na Figura da direita, os restantes grupos (GE1 e GE2) necessitam da utilização do computador, logo é imperativo utilizar o *layout* da esquerda.

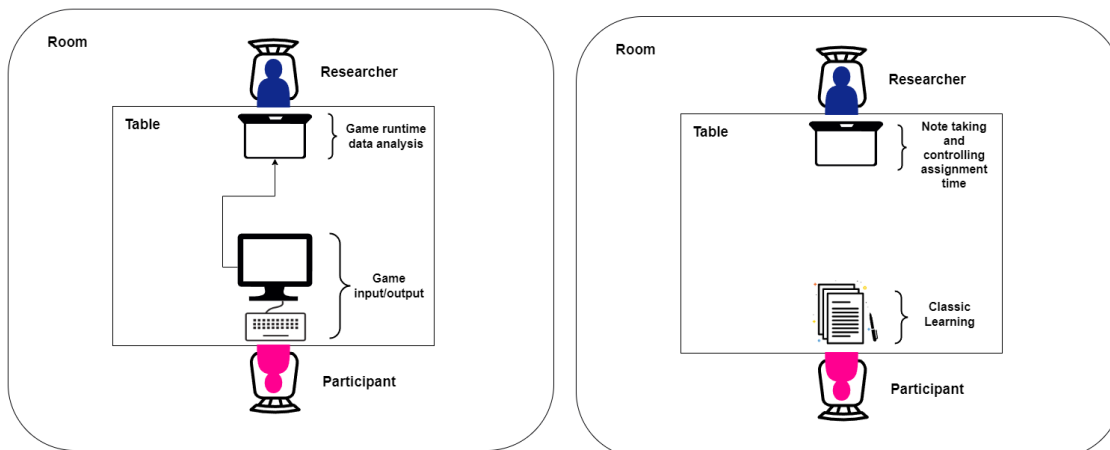


Figura 31: *Layout* da sala onde será realizada a experiência, sendo mostrado à esquerda o *layout* para o GE1 e GE2 e à direita o *layout* para o GC.

A etapa inicial da experiência é comum a todos os grupos, visto que se refere a uma fase pré-teste de avaliação dos conhecimentos dos alunos relativamente aos conceitos de Matemática que

serão abordados. Esta fase tem uma duração máxima de 15 minutos, sendo composta por várias questões de “Introdução às Probabilidades”.

Após a etapa inicial, inicia-se a fase de aprendizagem, mais concretamente, o período onde os alunos aprendem os conteúdos da disciplina. O grupo de controlo, segue uma metodologia de aprendizagem clássica, através do estudo dos componentes teóricos e da resolução de exercícios práticos, enquanto têm a sua motivação monitorizada pelo EEG. Quanto aos alunos do grupo experimental, ambos seguem uma abordagem baseada em jogos para aprenderem os conteúdos, sendo que o GE1 não é monitorizado pelo EEG, ao contrário do GE2, que tem os seus dados analisados durante todo o processo.

Os alunos do grupo de controlo (GC) e do grupo experimental que responde a questionários (GE1), respondem a questionários de avaliação da sua motivação, em duas fases do processo. A primeira fase acontece após os primeiros 15 minutos de aprendizagem. Após responderem ao questionário de avaliação de motivação, os participantes voltam à realização da experiência, dando início à segunda fase do processo, que tem novamente uma duração de 15 minutos, e que termina com uma nova resolução do questionário. Estas duas fases totalizam 30 minutos, não contabilizando o tempo que os participantes demoram a responder aos questionários de avaliação da motivação.

Quanto aos participantes no grupo experimental que apenas joga (GE2), estes realizam toda a aprendizagem baseada em jogos sem interrupções, durante a totalidade de 30 minutos.

No fim da sessão, todos os participantes passam por uma nova avaliação, um pós-teste, com duração de 15 minutos, dos conhecimentos referentes aos tópicos abordados, de modo a verificar a eficiência de cada processo de aprendizagem.

4.4.3 Questionários de avaliação da motivação

Para avaliar a motivação dos alunos presentes nos GC e do GE1, foi necessário utilizar um método mais convencional de estudo de motivação, como o *Intrinsic Motivation Inventory* (IMI).

O IMI é um instrumento de avaliação que engloba vários fatores, tais como o interesse/prazer, competência, esforço, valor/utilidade, pressão/tensão e a escolha de efetuar uma certa tarefa, sendo que, apenas a subescala do interesse/prazer é utilizada para medir a motivação intrínseca de um participante. Devido a isso, nos questionários IMI, normalmente a escala com mais questões é a do interesse/prazer.

Neste contexto, foi utilizado um padrão de questionário IMI, muito utilizado em estudos de laboratório, para a avaliação da motivação durante a realização de uma certa tarefa, composto por 22 questões, sendo estas:

1. Enquanto estava a fazer a tarefa, pensei no quanto estava a gostar de fazer a mesma.
2. Não me senti nada nervoso enquanto realizei a tarefa.
3. Senti que realizar a tarefa foi uma escolha minha.
4. Penso que sou muito bom a realizar esta tarefa.
5. Achei a tarefa muito interessante.
6. Senti-me tenso a realizar a tarefa.
7. Sinto que realizei bem a tarefa, comparando com outros alunos.

8. Foi divertido realizar a tarefa.
9. Senti-me relaxado enquanto realizava a tarefa.
10. Gostei muito de realizar a tarefa.
11. Eu realmente não tive escolha senão realizar a tarefa.
12. Estou satisfeito com o meu desempenho nesta tarefa.
13. Eu estava ansioso enquanto realizava a tarefa.
14. Achei a tarefa aborrecida.
15. Senti que estava a fazer o que queria enquanto realizava a tarefa.
16. Senti-me bastante competente nesta tarefa.
17. Achei a tarefa muito interessante.
18. Senti-me pressionado enquanto realizava a tarefa.
19. Senti-me obrigado a realizar a tarefa.
20. Descreveria a tarefa como uma experiência muito agradável.
21. Fiz a tarefa porque não tinha escolha.
22. Depois de trabalhar nesta tarefa durante algum tempo, sinto-me competente.

Esta versão apresenta quatro subescalas: interesse/prazer, competência da realização da tarefa, escolha do participante e a pressão/tensão sentida durante o processo, sendo que a pressão/tensão é considerado um indicador negativo de motivação no participante.

Quanto à avaliação de cada questão, esta apresenta sete níveis possíveis, sendo o nível um referente ao “Nem um pouco verdade”, o nível quatro “Um pouco verdade” e o nível sete “Muito verdade”. Como apresentado na Figura 32.

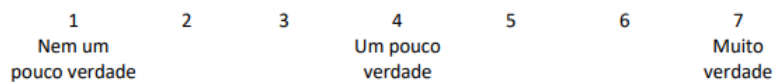


Figura 32: Escala de pontuação do *Intrinsic Motivation Inventory*.

4.5 Hipóteses de Investigação

Para a elaboração desta investigação existem algumas hipóteses de investigação que necessitam de ser respondidas para confirmar que a abordagem se verifica, sendo estas:

- HI1: Os sensores EEG são métodos de avaliação mais eficazes do que os questionários no que toca a medir a motivação dos alunos durante a aprendizagem.
- HI2: Um jogo didático de Matemática é mais motivador que uma abordagem tradicional de ensino.
- HI3: A introdução de elementos persuasivos durante o jogo educacional aumenta a motivação do aluno.

- HI4: A abordagem baseada em jogos é mais eficaz que um método tradicional de ensino.

4.5.1 Condições Experimentais

Para averiguar as hipóteses de investigação, é necessário analisar várias condições experimentais.

Concretamente, a HI1 apresenta a condição experimental C1, que submete os dados do GC referentes aos questionários de avaliação de motivação dos alunos, comparativamente aos dados das métricas de performance de envolvimento obtidas através do EEG durante o processo de aprendizagem clássica.

A hipótese de investigação HI2 é estudada através da condição C2a, ou seja, através da medição dos dados EEG referentes à motivação dos alunos presentes no grupo de controlo (GC) comparativamente aos dados do EEG da motivação dos alunos do GE2. Para além disto, a HI2 também se verifica por C2b, ou seja, da comparação dos resultados das escalas de motivação do GC com os resultados das escalas de motivação do GE1. A existência destas duas condições para verificar esta hipótese, torna a análise dos dados mais robusta.

A HI3 é confirmada por C3, mais concretamente, pela introdução de elementos persuasivos em situações que existem descidas de motivação durante a aprendizagem do GE2 e da avaliação de motivação posterior a esse acontecimento.

Finalmente, HI4 verifica-se com C4, ou seja, a comparação dos resultados do pré-teste e do pós-teste de todos os grupos, para verificar se a abordagem baseada em jogos é mais eficaz que um método tradicional de ensino.

5 Apresentação e Análise dos Resultados

Este capítulo reporta e analisa os resultados das hipóteses de investigação, segundo as condições experimentais mencionadas anteriormente, mais especificamente, neste capítulo são apresentados os resultados que comparam os sensores EEG com os questionários de avaliação de motivação para verificar quais são os mais eficazes, expõe qual é a metodologia de ensino mais motivadora (método tradicional ou uma abordagem baseada em jogos), mostra os resultados da introdução de estratégias persuasivas em determinados momentos do jogo e exhibe a comparação dos resultados dos alunos que utilizaram uma metodologia tradicional *versus* uma metodologia ativa de ensino.

5.1 Resultados da Metodologia com Questionários de Avaliação de Motivação

Como mencionado anteriormente na secção 4, os questionários de avaliação de motivação, mais precisamente o IMI, foram utilizados para analisar a motivação dos participantes do GC e do GE1 nas duas partes do estudo. Estes questionários foram classificados conforme as diretrizes e permitiram dividir os participantes em três grupos: desmotivados, zona-cinzeira e motivados (conforme a Tabela 2).

Grupo de Motivação	Avaliação IMI
Desmotivado	$IMI < 4$
Zona-Cinzeira	$4 \leq IMI \leq 5$
Motivado	$IMI > 5$

Tabela 2: Grupos de motivação dos participantes conforme o IMI ($\in [1, 7]$).

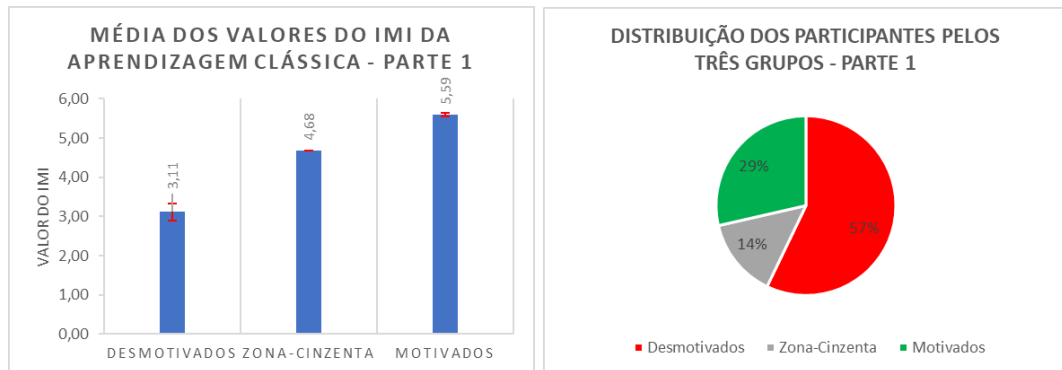
A existência do grupo da zona-cinzeira, presente na Tabela 2, deve-se à necessidade de agrupar os alunos que, pelos questionários de avaliação IMI, não são possíveis de identificar se estão motivados ou desmotivados.

Os resultados obtidos referentes à avaliação IMI dos alunos do grupo de controlo, agrupados conforme a Tabela anterior, estão representados nas Figuras 33 e 34 com um intervalo de confiança de 95%.

Relativamente à Figura 33 (a), referente à média dos valores finais do IMI dos alunos submetidos à aprendizagem clássica na Parte 1 da experiência, é possível constatar que a média de valores dos alunos desmotivados foi de 3,11 (IC: $3,11 \pm 0,72$), os participantes no grupo da zona-cinzeira tiveram uma média de 4,68 valores e o grupo de motivados 5,59 (IC: $5,59 \pm 0,58$).

Para testar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as classificações dos grupos de motivação, conforme a Tabela 2, realizaram-se testes U de Mann-Whitney, visto que temos amostras independentes que não seguem uma distribuição normal e por haver necessidade de testar estatisticamente se as populações dessas amostras podem ser consideradas semelhantes ou não. Os resultados dos testes U na Parte 1, indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as classificações IMI dos grupos de desmotivados e zona-cinzeira ($p = 0,15$; $Z = -1,45$; $\alpha = 0,05$), entre os grupos da zona-cinzeira e motivados ($p = 0,67$; $Z = -4,31E-01$; $\alpha = 0,05$) e entre as classificações dos grupos desmotivados e motivados ($p = 0,06$; $Z = -1,88E+00$; $\alpha = 0,05$).

A Figura 33 (b) mostra que a distribuição de participantes no grupo de controlo, a estudar pelo método clássico, durante a Parte 1, foi de 57% de desmotivados, 14% na zona-cinzena e de 29% motivados.



(a) Média dos valores IMI para o GC durante a Parte 1. (b) Distribuição percentual dos participantes do GC Parte 1, dividida em grupos.

Figura 33: Avaliação da motivação do GC através dos questionários IMI para a Parte 1.

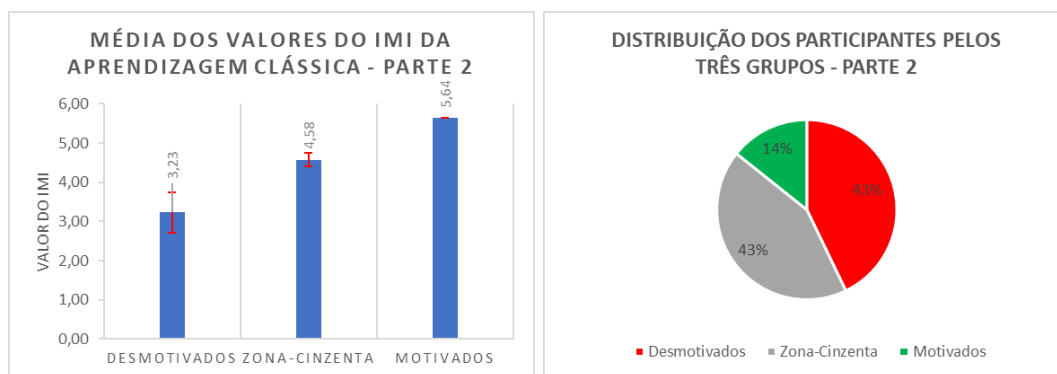
Os resultados da avaliação da motivação da aprendizagem clássica Parte 2 encontram-se representados nas Figuras 34 (a) e 34 (b). A primeira Figura ilustra a evolução da classificação IMI para o grupo de controlo, em que temos uma média de 3,23 (IC: $3,23 \pm 2,25$) valores para os alunos desmotivados, 4,58 (IC: $4,58 \pm 0,75$) para alunos na zona-cinzena e 5,64 valores para os alunos motivados.

Novamente é necessário verificar se as diferenças entre as classificações dos grupos de motivação são estatisticamente significativas para a Parte 2 da experiência. Os resultados dos testes U na Parte 2, indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as classificações dos alunos dos grupos de desmotivados e zona-cinzena ($p = 0,10$; $Z = -1,64$; $\alpha = 0,05$), entre os grupos da zona-cinzena e motivados ($p = 0,50$; $Z = -6,75E - 01$; $\alpha = 0,05$) e entre as classificações dos grupos desmotivados e motivados ($p = 0,50$; $Z = -6,75E - 01$; $\alpha = 0,05$).

A distribuição dos participantes para a Parte 2, ilustrada na Figura 34 (b), demonstra que a aprendizagem clássica praticada pelo GC teve 43% dos alunos desmotivados, 43% na zona-cinzena e 14% motivados.

Pela comparação dos resultados das duas partes da amostra experimental, nas Figuras 33 (a) e 34 (a) verifica-se que houve diferenças nos valores médios da classificação do IMI, mais concretamente houve um aumento na avaliação da motivação dos alunos desmotivados e motivados e uma diminuição da pontuação média dos alunos na zona-cinzena. Quanto à comparação dos gráficos de distribuição percentuais das duas partes, novamente verificamos diferenças nos três grupos, sendo que foi verificada uma diminuição de alunos motivados (-15%) e de alunos desmotivados (-14%) e um aumento da zona-cinzena (+29%).

O método de avaliação da motivação através deste tipo de questionários também foi utilizado pelos alunos pertencentes ao GE1, visto que não utilizaram o Eletroencefalograma. Este grupo praticou uma abordagem baseada em jogos e, como o grupo de controlo, teve a sua experiência



(a) Média dos valores IMI para o GC durante a Parte 2. (b) Distribuição percentual dos participantes do GC Parte 2, dividida em grupos.

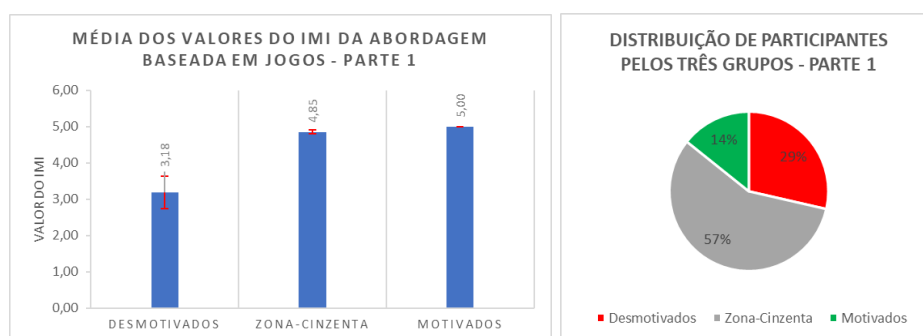
Figura 34: Avaliação da motivação do GC através dos questionários IMI para a Parte 2.

dividida em duas partes, sendo assim possível apurar os mesmos tipos de dados que o grupo anterior.

Os dados do GE1 referentes à distribuição dos valores médios do IMI da Parte 1, para os três grupos, são apresentados na Figura 35 (a). Como é possível constatar na Parte 1, o grupo de alunos desmotivados apresentou uma classificação média de 3,18 (IC: $3,18 \pm 5,77$) valores, a zona-cinzenta teve 4,85 (IC: $4,85 \pm 0,19$) e os motivados tiveram uma média de 5,00 valores.

Os resultados do teste U de Mann-Whitney na Parte 1 para os alunos referentes ao GE1, indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as classificações IMI dos alunos nos grupos de desmotivados e zona-cinzenta ($p = 0,13$; $Z = -1,50$; $\alpha = 0,05$), entre os grupos da zona-cinzenta e motivados ($p = 0,40$; $Z = -8,42E - 01$; $\alpha = 0,05$) e entre os grupos de desmotivados e motivados ($p = 0,67$; $Z = -4,31E - 01$; $\alpha = 0,05$).

Relativamente ao gráfico de distribuição de participantes no grupo experimental que responde a questionários, ilustrado na Figura 35 (b), é possível constatar que 29% dos participantes tiveram a classificação de desmotivados, 57% na zona-cinzenta e 14% apresentaram-se motivados.



(a) Média dos valores IMI para o GE1 durante a Parte 1. (b) Distribuição percentual dos participantes do GE1 Parte 1, dividida em grupos.

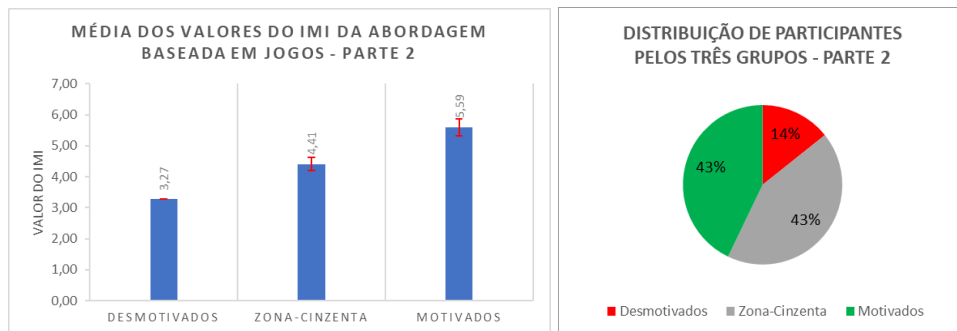
Figura 35: Avaliação da motivação do GE1 através dos questionários IMI para a Parte 1.

Na Parte 2 da experiência, obtiveram-se os dados apresentados nas Figuras 36 (a) e 36 (b). As médias dos valores das classificações do GE1 na Parte 2 demonstra que, os alunos desmotivados têm uma classificação de 3,27 valores, os da zona-cinzenta obtiveram 4,41 (IC: $4,41 \pm 0,90$) valores e os alunos do grupo de motivados tiveram a classificação de 5,59 (IC: $5,59 \pm 1,19$) valores.

Conforme os resultados do teste U de Mann-Whitney na Parte 2, para testar se existem diferenças significativas entre os valores das classificações dos grupos de motivação, sendo que estes indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas entre o grupo de desmotivados e zona-cinzenta ($p = 0,50$; $Z = -6,75E - 01$; $\alpha = 0,05$), entre o grupo da zona-cinzenta e dos motivados ($p = 0,10$; $Z = -1,64$; $\alpha = 0,05$) e entre o grupo de desmotivados e motivados ($p = 0,50$; $Z = -6,75E - 01$; $\alpha = 0,05$).

Quanto à distribuição dos participantes na Parte 2, os alunos que jogaram estão divididos em 14% desmotivados, 43% na zona-cinzenta e 43% motivados.

Comparando os gráficos apresentados do GE1 da Parte 1 com a Parte 2, os valores médios do IMI para a abordagem baseada em jogos apresentam uma diminuição na média da classificação dos alunos na zona-cinzenta e um aumento nos desmotivados e motivados, sendo que a mais significativa foi nos motivados com um aumento de 0,59 valores. Em relação ao gráfico da distribuição de participantes pelos três grupos, a análise permite-nos verificar que houve uma diminuição no número de alunos desmotivados (-15%) e de participantes na zona-cinzenta (-14%), além disso, verifica-se um aumento no número de alunos motivados (+29%).



(a) Média dos valores IMI para o GE1 durante a Parte 2.

(b) Distribuição percentual dos participantes do GE1 Parte 2, dividida em grupos,

Figura 36: Avaliação da motivação do GE1 através dos questionários IMI para a Parte 2.

5.2 Resultados da Metodologia com Eletroencefalograma

Nesta subsecção são apresentados os resultados referentes aos dados das métricas de performance de envolvimento dos alunos pertencentes ao GC e ao GE2. Estes alunos tiveram a sua motivação analisada durante todo o processo de aprendizagem, sendo que apenas os alunos no grupo de controlo apresentaram uma interrupção no processo de ensino, devido à necessidade de responder aos questionários de avaliação de motivação. Contudo, os dados relativos às métricas de performance durante essa classificação não foram incluídos.

Os dados relativos às métricas de performance, obtidos a cada 10 segundos, foram extraídos do ficheiro *logbook* de cada jogador, criado durante o jogo. Após extraídos os dados, dividiu-se o

jogo em duas partes, em semelhança com os resultados anteriores. A primeira parte acaba após 15 minutos decorridos, enquanto a segunda parte apenas acontece no fim do jogo (30 min após o início da aprendizagem).

Conforme a metodologia proposta por “*A novel sensor-based methodology for learner’s motivation analysis in game-based learning*” [32], foi calculada a variação de envolvimento de cada participante através da seguinte equação:

$$\Delta E_{Segm_j} = \frac{E_{Segm_j} - E_0}{E_0}, \quad j = 10 \times (1, \dots, N_{Segm})$$

onde E_0 representa o valor da métrica de performance de envolvimento no início de cada segmento, E_{Segm_j} representa o envolvimento do participante no final do segmento no segundo j , enquanto N_{Segm} simboliza o número de métricas de envolvimento durante o jogo.

Esta equação permite determinar se um segmento do jogo apresenta uma tendência de aumento ou diminuição dos níveis de motivação do participante, tal como é apresentado na Tabela 3. Uma tendência crescente indica que o aluno está motivado, contudo, uma tendência decrescente designa um participante como desmotivado.

Grupo	Tendência de mudança de envolvimento
Desmotivado	tendência(ΔE) < 0
Motivado	tendência(ΔE) \geq 0

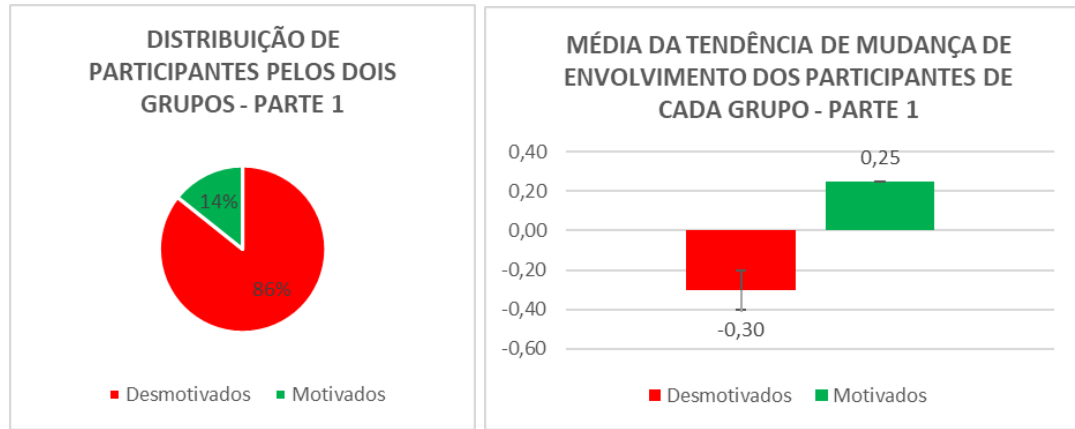
Tabela 3: Classificação dos participantes conforme a tendência de mudança de envolvimento.

Os dados EEG do grupo de controlo para a Parte 1, conforme a Tabela 3, são apresentados nas Figuras 37 (a) e 37 (b). A percentagem da distribuição de alunos no grupo de controlo, segundo a tendência de mudança de envolvimento, indica que durante esta parte 86% dos alunos apresentaram-se desmotivados e 14% tiveram uma tendência positiva, ou seja, estiveram motivados. Relativamente ao gráfico da Figura 37 (b), é possível constatar que a média da tendência de mudança de envolvimento do grupo de controlo para os participantes desmotivados foi de $-0,30$ (IC: $-0,30 \pm 0,26$) e dos alunos motivados foi de $0,25$.

Para avaliar se as diferenças dos valores das tendências de mudança de envolvimento dos grupos da Tabela 3, realizou-se um teste U de Mann-Whitney para os resultados do GC na Parte 1, sendo que estes indicam que entre o grupo de alunos desmotivados e motivados não existem diferenças grandes o suficiente para serem estatisticamente significativas ($p = 0,29$; $Z = -1,07$; $\alpha = 0,05$).

Os dados da Parte 2 da experiência são apresentados nas Figuras 38 (a) e 38 (b), sendo estas referentes à distribuição de participantes motivados e desmotivados e à média dos valores do cálculo das tendências de mudança de envolvimento dos participantes.

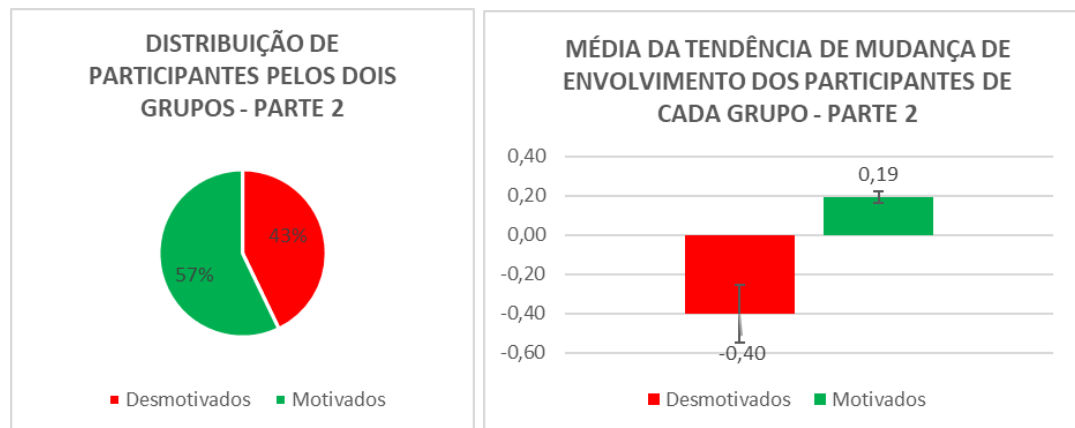
A Figura 38 (a) demonstra que na Parte 2 da experiência 43% dos alunos estavam desmotivados com o conteúdo e cerca de 57% encontravam-se motivados. Relativamente aos dados apresentados na 38 (b), observa-se que o grupo de participantes desmotivados apresentam uma média da tendência de mudança de envolvimento de $-0,40$ (IC: $0,40 \pm 0,63$) valores, enquanto os alunos motivados indicam uma tendência com $0,19$ (IC: $0,19 \pm 0,10$) valores.



(a) Percentagem de distribuição de participantes do GC que utilizaram EEG durante a Parte 1. (b) Média da tendência de mudança de envolvimento para os alunos no GC durante a Parte 1.

Figura 37: Motivação do GC segundo a metodologia EEG durante a Parte 1.

O resultado do teste U do GC para a Parte 2, indica que as diferenças dos valores das amostras não são estatisticamente significativos entre o grupo de desmotivados e motivados ($p = 0,06$; $Z = -1,90$; $\alpha = 0,05$).



(a) Percentagem de distribuição de participantes do GC que utilizaram EEG durante a Parte 2. (b) Média da tendência de mudança de envolvimento para os alunos no GC durante a Parte 2.

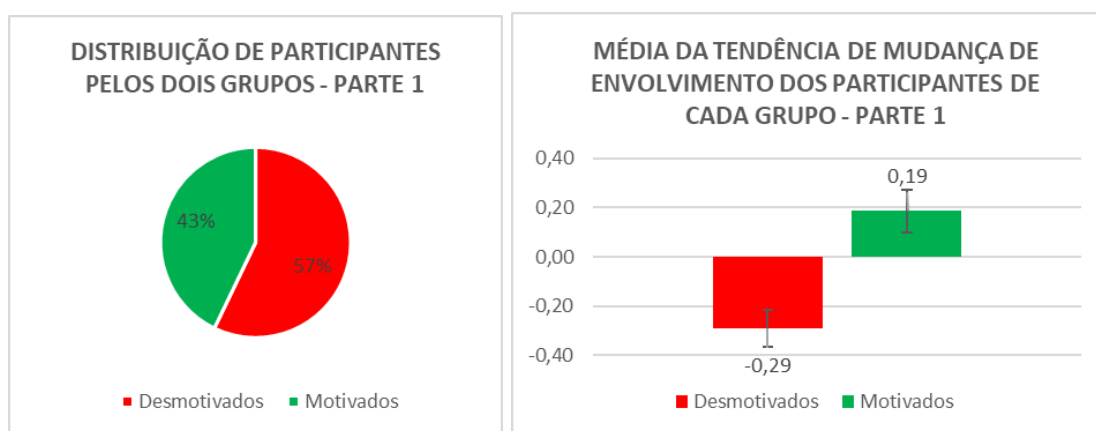
Figura 38: Motivação do GC segundo a metodologia EEG durante a Parte 2.

Analisando as duas partes da aprendizagem clássica, nota-se que os dados da distribuição dos participantes pelos dois grupos tiveram alterações significativas, visto que houve um grande aumento de alunos motivados na Parte 2 (+43%) e, conseqüentemente, uma diminuição igual nos alunos desmotivados. Além disso, também é possível notar diferenças nas médias das tendências de mudança de envolvimento dos participantes, visto que houve uma diminuição dos valores em ambos os grupos, mais concretamente, os alunos desmotivados tiveram uma diminuição de $-0,10$ valores e os motivados uma diminuição de $-0,06$ valores.

Da mesma forma, foram analisados os dados obtidos pelos alunos que participaram numa abordagem baseada em jogos e que utilizaram o EEG, mais concretamente o GE2.

Os gráficos referentes à distribuição dos participantes pelos grupos e à média da tendência de mudança de envolvimento durante a Parte 1 são apresentados nas Figuras 39 (a) e 39 (b). Como podemos observar pela Figura 39 (a), a distribuição de participantes no GE2 durante a Parte 1 do jogo apresentou 57% de alunos desmotivados e 43% motivados. Relativamente ao gráfico na Figura 39 (b), os alunos pertencentes ao grupo dos desmotivados teve uma média de $-0,29$ (IC: $-0,29 \pm 0,24$) valores e os motivados $0,19$ (IC: $0,19 \pm 0,37$) valores.

Conforme os resultados do teste U de Mann-Whitney para a Parte 1 no GE2, que testa se as diferenças entre os valores das classificações dos sensores EEG são estatisticamente significativas, concluí-se que não existem diferenças estatisticamente indicativas entre o grupo de desmotivados e motivados, visto que a hipótese nula não pode ser rejeitada ($p = 0,06$; $Z = -1,90$; $\alpha = 0,05$).



(a) Percentagem de distribuição de participantes do GE2 que utilizaram EEG durante a Parte 1.

(b) Média da tendência de mudança de envolvimento para os alunos no GE2 durante a Parte 1.

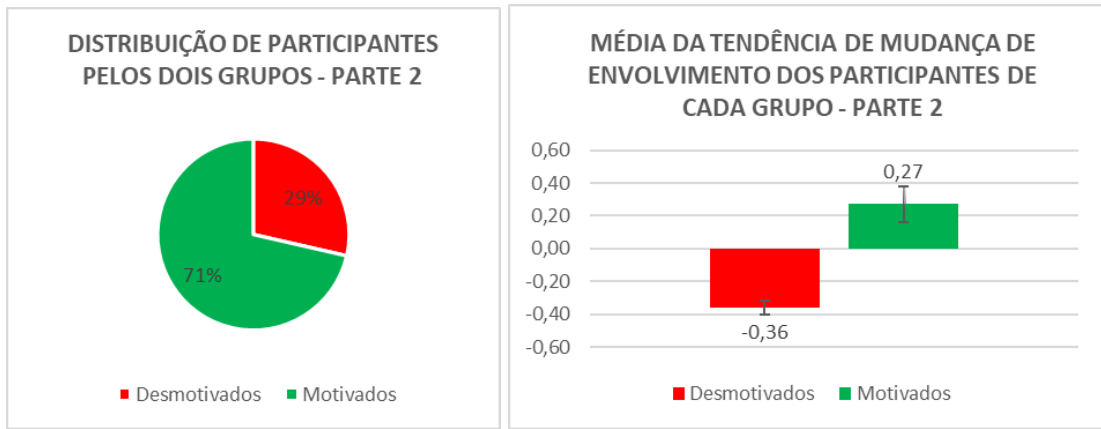
Figura 39: Motivação do GE2 segundo a metodologia EEG durante a Parte 1.

Na segunda parte da experiência também podemos observar a apresentação dos resultados dos jogadores nas Figuras 40 (a) e 40 (b).

Na Parte 2 da abordagem baseada em jogos, podemos observar que a distribuição dos participantes desmotivados é de cerca de 29%, enquanto o grupo dos motivados é de 71%. Relativamente ao gráfico da tendência de mudança de envolvimento da Figura 40 (b), é apresentado um valor de $-0,36$ (IC: $-0,36 \pm 0,54$) para os desmotivados e $0,27$ (IC: $0,27 \pm 0,31$) valores para os motivados.

O resultado do teste U de Mann-Whitney do GE2 para a Parte 2, indica que as diferenças entre as tendências de mudança de envolvimento do grupo de desmotivados e motivados, não são estatisticamente significativas ($p = 0,10$; $Z = -1,67$; $\alpha = 0,05$).

Comparando os resultados do EEG das duas partes para o GE2, podemos observar que o gráfico de distribuição de participantes obteve uma diminuição significativa de alunos desmotivados (-28%) e, conseqüentemente, um aumento igual nos alunos motivados. Relativamente aos gráficos da média da tendência de mudança de envolvimento, observa-se que o valor dos participantes desmotivados diminuiu em $-0,07$ valores e aumentou $0,08$ valores.



(a) Percentagem de distribuição de participantes do GE2 que utilizaram EEG durante a Parte 2.

(b) Média da tendência de mudança de envolvimento para os alunos no GE2 durante a Parte 2.

Figura 40: Motivação do GE2 segundo a metodologia EEG durante a Parte 2.

5.3 Métodos de Avaliação de Motivação: Eletroencefalograma *versus* IMI

Nesta subsecção é apurado se as avaliações através de questionários IMI são igualmente eficazes e comparáveis com a utilização do EEG. Para isso, é necessário estudar a motivação dos participantes que efetuaram a aprendizagem clássica, ou seja, os alunos do grupo de controlo, devido a terem utilizado ambas as metodologias durante o processo.

A análise de ambos os métodos de avaliação de motivação utilizam os dados dos tópicos anteriores, mais especificamente, a divisão dos alunos que efetuaram o questionário IMI em grupos de desmotivados, zona-cinzeira e motivados (conforme a Tabela 2). Além disso, com base nos dados das métricas de performance de envolvimento recebidas pelo EEG, consideram-se os participantes motivados caso a sua tendência seja crescente e desmotivados no caso de ser decrescente (Tabela 3). Para comparar estes dois métodos, foram agrupados todos os alunos com a mesma classificação no IMI (desmotivados, zona-cinzeira e motivados) e em cada uma dessas classificações foi verificado se o aluno apresentava a mesma classificação de tendência de mudança de envolvimento, conforme as métricas do EEG.

Os gráficos apresentados nas Figuras 41 (a) e 41 (b) mostram a percentagem dos alunos motivados e desmotivados segundo os resultados dos sensores EEG, que foram classificados como desmotivados pelo IMI.

Pela análise do primeiro gráfico, verificamos que 100% dos participantes tinham tanto uma classificação IMI < 4 como também uma tendência de mudança de envolvimento decrescente na Parte 1 da aprendizagem clássica. Quanto à segunda figura, apenas 33% dos alunos tiveram uma tendência de mudança de envolvimento decrescente, enquanto 67% apresentaram uma tendência crescente na Parte 2.

Na Tabela 4 é apresentada uma análise detalhada da variação da tendência de envolvimento durante a Parte 1 e a Parte 2 da abordagem clássica, sendo apresentada a variação da tendência para os últimos 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de tempo de aprendizagem para os alunos classificados como desmotivados segundo o IMI.

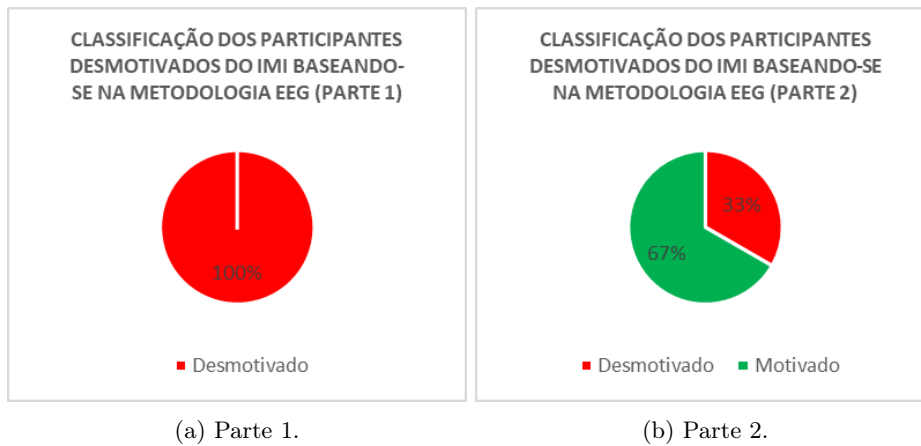


Figura 41: Classificação dos participantes desmotivados do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.

Os resultados da Tabela mostram que na Parte 1, apesar do gráfico apresentado na Figura 41 (a) coincidir totalmente na tendência de mudança de envolvimento relativa com a classificação IMI, verifica-se que ao longo da aprendizagem nesta parte existe variação no número de participantes que se apresentam desmotivados, como acontece, por exemplo, nos últimos 10, 20 e 30% da experiência. Isto demonstra que a realização do IMI no fim da Parte 1, pelos participantes, aconteceu conforme o que sentiram durante a primeira metade da experiência (50, 60, 70, 80 e 90% apresentados na Tabela).

Relativamente à segunda parte da experiência (Parte 2), pela análise da Tabela verificamos ao longo do tempo um aumento do número de alunos com a tendência de envolvimento decrescente, sendo que nos últimos 10% da experiência todos os participantes apresentam-se desmotivados segundo o EEG. A análise demonstra que, na Parte 2, os participantes responderam aos questionários de avaliação de motivação só tendo em conta estes momentos finais e não avaliaram todo o processo.

Classificação dos Alunos Desmotivados durante a Metodologia do EEG			
Duração	Motivação	Parte 1 (%)	Parte 2 (%)
Últimos 10%	Desmotivados	75	100
Últimos 20%	Desmotivados	50	67
Últimos 30%	Desmotivados	75	67
Últimos 40%	Desmotivados	75	67
Últimos 50%	Desmotivados	100	67
Últimos 60%	Desmotivados	50	67
Últimos 70%	Desmotivados	100	67
Últimos 80%	Desmotivados	75	67
Últimos 90%	Desmotivados	100	33

Tabela 4: Classificação dos alunos desmotivados durante a metodologia do EEG para os últimos x% do tempo de jogo.

A classificação IMI considera que pertencem ao grupo da zona-cinzeira os alunos, com a sua média de motivação compreendida entre 4 e 5 valores, sendo que, como o $IMI \in [1, 7]$, podemos afirmar que este grupo encontra-se um pouco motivado, esperando assim que tenham uma tendência crescente de mudança de envolvimento. Isto é efetivamente comprovado pelos gráficos apresentados nas Figuras 42 (a) e 42 (b), visto que na primeira temos 100% dos alunos com uma tendência

de mudança de envolvimento relativa crescente na Parte 1 do jogo e 67% com uma tendência crescente na segunda parte, apesar de existirem 33% dos alunos com uma tendência de mudança de envolvimento relativa decrescente.

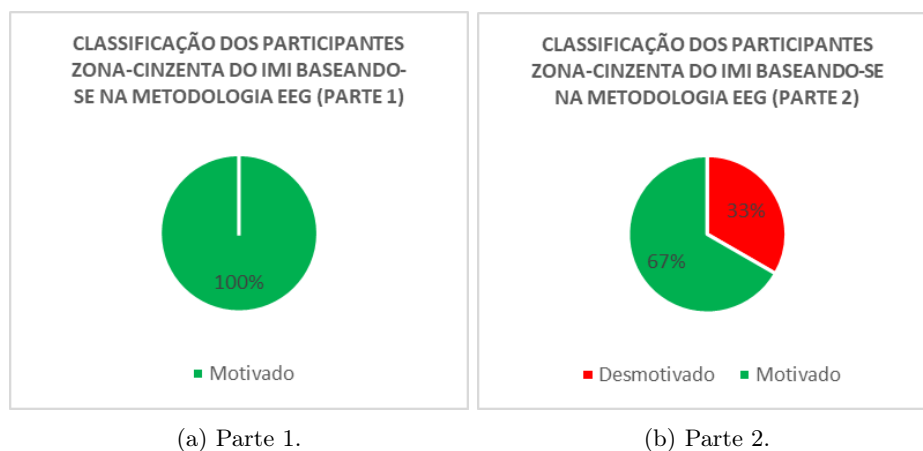


Figura 42: Classificação dos participantes na zona-cinza do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.

Os alunos pertencentes ao grupo de motivados, ou seja, com uma avaliação $IMI \geq 5$, classificados segundo a metodologia baseada em sensores EEG, são representados na Figura 43. Na Parte 1, verificamos que apenas 50% dos alunos classificados como motivados segundo o IMI tiveram uma tendência de mudança de envolvimento relativa crescente, enquanto os outros apresentaram uma tendência decrescente. Relativamente à Parte 2, verificou-se que os alunos tiveram 100% de uma tendência de mudança de envolvimento decrescente.

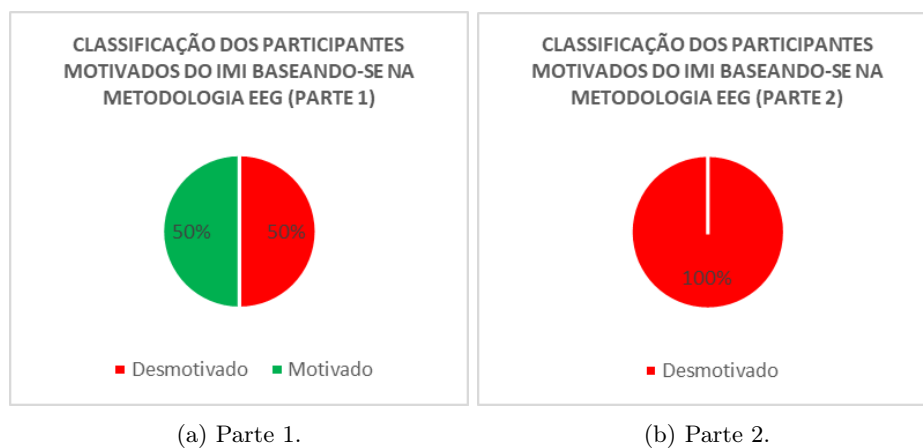


Figura 43: Classificação dos participantes motivados do IMI baseando-se na sua tendência de mudança de envolvimento.

Na Tabela 5 é apresentada uma análise detalhada dos valores relativos à tendência de mudança de envolvimento para o grupo de controlo durante a Parte 1/Parte 2. Nesta análise verifica-se que, para a Parte 1, apesar dos resultados da tendência de mudança de envolvimento ter sido crescente, para todos os participantes, em várias situações, em determinados momentos existiram variações

no número de participantes motivados conforme a metodologia EEG (como é o caso, por exemplo, dos últimos 40 e 90% da experiência). Concluímos assim que metade dos participantes motivados do grupo de controlo focou-se nestes momentos quando resolveram o questionário de avaliação de motivação.

A análise da Parte 2 demonstra que os alunos mantiveram-se desmotivados, ou seja, com uma tendência de mudança de envolvimento decrescente, durante os últimos 10, 20, 30, 40, 50 e 60% momentos desta parte, confirmando os resultados apresentados na Figura 43 (b), contudo encontraram-se motivados segundo a classificação IMI. Isto demonstra que, novamente, os participantes responderam ao questionário de avaliação de motivação conforme um certo momento da experiência, mais precisamente os últimos 70, 80 e 90% segmentos da experiência e não responderam conforme o que sentiram na generalidade.

Classificação dos Alunos Motivados durante a Metodologia do EEG			
Duração	Motivação	Parte 1 (%)	Parte 2 (%)
Últimos 10%	Motivados	100%	0%
Últimos 20%	Motivados	50%	0%
Últimos 30%	Motivados	100%	0%
Últimos 40%	Motivados	50%	0%
Últimos 50%	Motivados	100%	0%
Últimos 60%	Motivados	50%	0%
Últimos 70%	Motivados	100%	100%
Últimos 80%	Motivados	100%	100%
Últimos 90%	Motivados	50%	100%

Tabela 5: Classificação dos alunos motivados durante a metodologia do EEG para os últimos $x\%$ do tempo de jogo.

Os resultados apresentados anteriormente resolvem a condição experimental C1 apresentada na subsecção 4.5.1, mais concretamente, a condição que apresenta a análise necessária para responder à H11: “Os sensores EEG são métodos de avaliação mais eficazes do que os questionários no que toca a medir a motivação dos alunos durante a aprendizagem”.

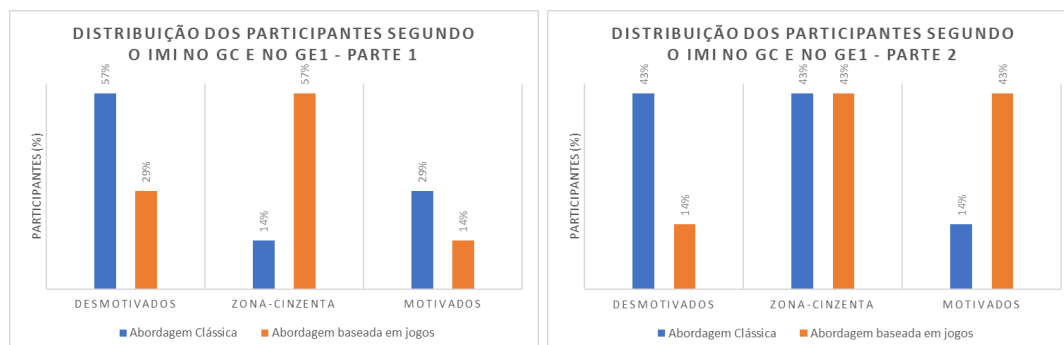
Conforme os resultados, evidenciamos que a avaliação através da metodologia de sensores EEG é mais eficaz que a utilização de questionários de avaliação de motivação, visto que estes últimos são normalmente influenciados por momentos específicos da aprendizagem, enquanto a metodologia por sensores analisa a motivação do participante durante todo o processo. Além disso, também é possível verificar, pela análise apresentada anteriormente, que os sensores EEG são mais adequados para situações de longa duração, como é caso desta experiência, em oposição, os questionários de avaliação de motivação podem ser utilizados em experiências de curta duração.

5.4 Motivação num Método Tradicional *versus* Abordagem Baseada em Jogos

Nesta subsecção são apresentados os resultados das condições experimentais C2a, mais especificamente, são comparados os resultados de motivação, obtidos pelos sensores EEG, dos alunos do grupo de controlo (GC) e dos alunos no grupo experimental que apenas jogam (GE2). Além disso, também é estudado o C2b, ou seja, são comparados os resultados das escalas de motivação IMI dos alunos pertencentes ao GC com os alunos do grupo experimental que respondem a questionários (GE1).

5.4.1 Análise da Classificação IMI do GC e do GE1

Os resultados da comparação da motivação segundo os questionários de avaliação são apresentados nas Figuras 44 (a) e 44 (b), para a Parte 1 e 2, respetivamente.



(a) Gráfico de distribuição dos participantes durante a Parte 1 segundo a Tabela 10.

(b) Gráfico de distribuição dos participantes durante a Parte 2 segundo a Tabela 11.

Figura 44: Gráfico de distribuição dos participantes e da sua classificação IMI no GC (aprendizagem clássica) e no GE1 (aprendizagem baseada em jogos).

Na primeira parte, observamos que existem mais alunos desmotivados e motivados a praticar a abordagem clássica (57% desmotivados e 29% motivados) do que a abordagem baseada em jogos (29% desmotivados e 14% motivados). Além disso, verifica-se uma diferença significativa de alunos classificados como zona-cinzenta no grupo que joga comparativamente ao grupo da aprendizagem clássica (+43% no GE1).

Relativamente à segunda parte da experiência, novamente verificamos mais alunos desmotivados na aprendizagem clássica (43%) comparativamente à abordagem do jogo (14%). Os alunos classificados como zona-cinzenta, nesta fase, apresentaram a mesma quantidade de participantes nos dois grupos (43%), enquanto o grupo de motivados foi superior na abordagem baseada em jogos (43%) comparativamente ao GC (14%).

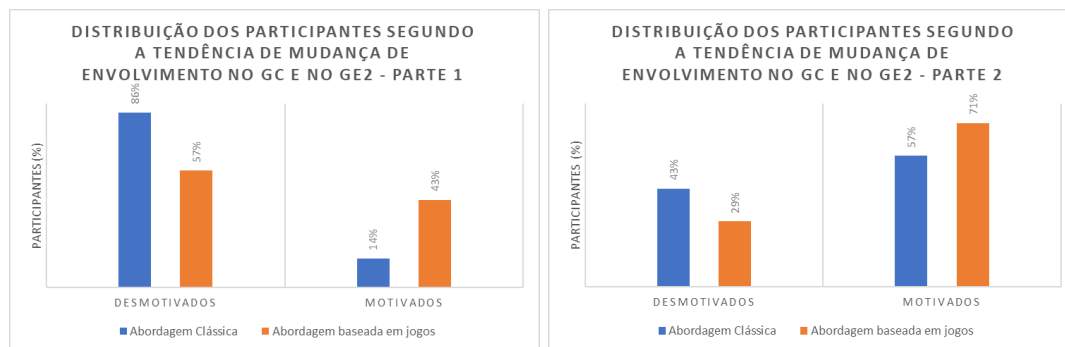
Em suma, equiparando as duas fases da experiência, verifica-se que os alunos que jogaram e se encontravam classificados como zona-cinzenta e desmotivados na primeira parte, passaram a alunos motivados na Parte 2. Em oposição, alguns alunos que se encontravam motivados na aprendizagem clássica na Parte 1 perderam motivação e ficaram classificados como zona-cinzenta. Além disso, outra análise possível pela comparação das duas fases nos dois grupos, é o facto do número de alunos classificados como desmotivados na aprendizagem clássica continuarem a representar uma grande porção da população, apesar de ter diminuído 14% da Parte 1 para a Parte 2.

Pelos resultados dos testes U de Mann-Whitney da classificação IMI dos alunos do GC e do GE1, verifica-se que não existem diferenças estatisticamente significativas na Parte 1 nos grupos de desmotivados ($p = 1,00$; $Z = 0$; $\alpha = 0,05$), zona-cinzenta ($p = 0,28$; $Z = 1,09$; $\alpha = 0,05$) e motivados ($p = 0,67$; $Z = 4,31E - 01$; $\alpha = 0,05$). O mesmo acontece na Parte 2, visto que novamente não se verificam evidências estatísticas para os grupos de desmotivados ($p = 1,00$; $Z = -4,22E - 08$; $\alpha = 0,05$), zona-cinzenta ($p = 0,66$; $Z = -4,43E - 01$; $\alpha = 0,05$) e motivados ($p = 1,00$; $Z = -4,22E - 08$; $\alpha = 0,05$).

Generalizando, na classificação através de questionários de avaliação de motivação, observa-se nas amostras apresentadas (GC e GE1) uma melhoria substancial da abordagem baseada em jogos comparativamente à aprendizagem clássica. No entanto, pelos resultados estatísticos, não se identificam evidências suficientes que verificam que a abordagem baseada em jogos é mais motivadora que a aprendizagem clássica.

5.4.2 Análise dos Resultados EEG do GC e do GE2

As representações gráficas da comparação dos resultados das tendências de mudança de envolvimento dos participantes, segundo a Tabela 3, são apresentadas nas Figuras 45 (a) e 45 (b) para ambas as partes da experiência.



(a) Gráfico de distribuição dos participantes durante a Parte 1 segundo as Tabelas 12 e 13.

(b) Gráfico de distribuição dos participantes durante a Parte 2 segundo as Tabelas 14 e 15.

Figura 45: Gráfico de distribuição dos participantes e da sua tendência de mudança de envolvimento no GC (aprendizagem clássica) e no GE2 (aprendizagem baseada em jogos).

A Figura 45 (a) demonstra que na Parte 1 da experiência existem mais alunos desmotivados no GC (86%) do que GE2 (57%). Além disso, existe uma diferença significativa de alunos com a tendência de mudança de envolvimento crescente no GE2 comparativamente ao GC (+29% de alunos motivados no GE2).

Relativamente ao segundo gráfico, representativo da Parte 2 da experiência, notam-se semelhanças ao gráfico apresentado anteriormente, visto que, novamente, o GC apresenta mais alunos desmotivados e menos alunos motivados comparativamente ao GE2.

Os resultados dos testes U das amostras experimentais do GC e GE2, para a Parte 1, demonstram que não existem evidências estatísticas suficientes que comprovam diferenças de motivação entre os grupos de desmotivados ($p = 1,09$; $Z = -1,08E - 01$; $\alpha = 0,05$) e motivados ($p = 1,00$; $Z = -4,22E - 08$; $\alpha = 0,05$). Quanto à Parte 2, novamente não se evidenciam resultados estatísticos que demonstram diferenças entre os valores dos alunos desmotivados ($p = 0,80$; $Z = -2,53E - 01$; $\alpha = 0,05$) e motivados ($p = 0,73$; $Z = -3,45E - 01$; $\alpha = 0,05$).

A análise da comparação da tendência de mudança de envolvimento dos participantes nas amostras (GC e GE2) permite-nos constatar que houve alterações significativas na motivação dos alunos em ambos os grupos, mais especificamente, uma diminuição no número de alunos desmotivados e um aumento de motivados, contudo, existiram mais alunos motivados em ambas as partes da experiência na abordagem baseada em jogos. Contudo, observando os resultados estatísticos dos

testes U, temos que as populações não apresentam evidências significativas que comprovem o grupo mais motivador.

5.4.3 Discussão dos Resultados das Condições Experimentais C2a e C2b

A análise das subsecções anteriores resolvem as condições experimentais C2a e C2b que permitem responder à HI2: “Um jogo didático de Matemática é mais motivador que uma abordagem tradicional de ensino.”.

Em suma, baseando-se nos dados amostrais, a comparação dos resultados obtidos pela metodologia dos sensores, que verifica a C2a, revela que existe uma melhoria de motivação ao longo do tempo para ambos os grupos da experiência e que, em termos percentuais, em ambas as partes existem mais alunos motivados na abordagem baseada em jogos. Quanto à condição experimental C2b, ou seja, a análise dos resultados da classificação IMI do GC e do GE1, verificam-se mudanças em ambos os grupos, sendo as mais relevantes o aumento de motivação de alguns alunos do grupo experimental (passagem da zona-cinza para motivados) e da diminuição de alunos motivados no GC (passagem de motivados para a zona-cinza) e o facto do grupo de controlo apresentar uma grande percentagem de alunos desmotivados nas duas partes.

Relativamente aos dados populacionais, observou-se que em ambas as condições C2a e C2b não apresentam evidências suficientes para afirmar que existem diferenças de motivação entre os grupos desmotivados, zona-cinza e motivados (GC e GE1) e entre os grupos de desmotivados e motivados (GC e GE2).

A resposta à HI2, segundo os dados amostrais, verificam o estado de arte, visto que os resultados da análise desta experiência demonstram que as abordagens ativas de ensino são melhores métodos para potenciar a motivação dos alunos “nativos digitais” durante a aprendizagem da disciplina de Matemática. Porém, isto não se confirma perante os dados estatísticos das populações, não sendo possível dar resposta afirmativa à HI2.

5.5 Resultados das Estratégias Persuasivas no Aumento da Motivação Durante o Jogo

Durante o decorrer do jogo, todos os eventos especiais que ocorreram foram registados num de *logbook*, com o tempo (em segundos) em que ocorreu o evento especial e o valor da métrica de performance de envolvimento do participante, nesse momento. O registo neste *logbook* permite verificar os valores posteriores ao acontecimento do evento persuasivo e permite verificar se teve o resultado pretendido na motivação do jogador.

A representação visual destes acontecimentos, para cada aluno do GE2, encontra-se no Anexo H, onde podemos verificar diferentes intervalos de tempo de jogabilidade entre jogadores, isto deve-se ao facto de certos jogadores demorarem mais tempo no ambiente tutorial, onde não acontecem eventos persuasivos, e devido a ocorrerem problemas de conectividade Bluetooth entre o EEG e o sistema.

Conforme os dados das métricas de performance de envolvimento e os dados do *logbook* de cada aluno é possível elaborar a Tabela 6, representativa dos casos em que os eventos persuasivos aumentaram a motivação dos alunos. Pela análise, verifica-se que 6 dos 7 alunos do GE2 tiveram um aumento de motivação em mais de 59% dos casos, demonstrando que os eventos especiais realmente tiveram impacto no aumento da sua motivação.

Aluno n.º	Número de Eventos Especiais	Casos de Aumento da Motivação	Casos de Aumento (%)
2	8	7	88
6	22	13	59
10	6	5	83
12	16	6	38
17	14	10	71
18	3	2	67
20	17	12	71

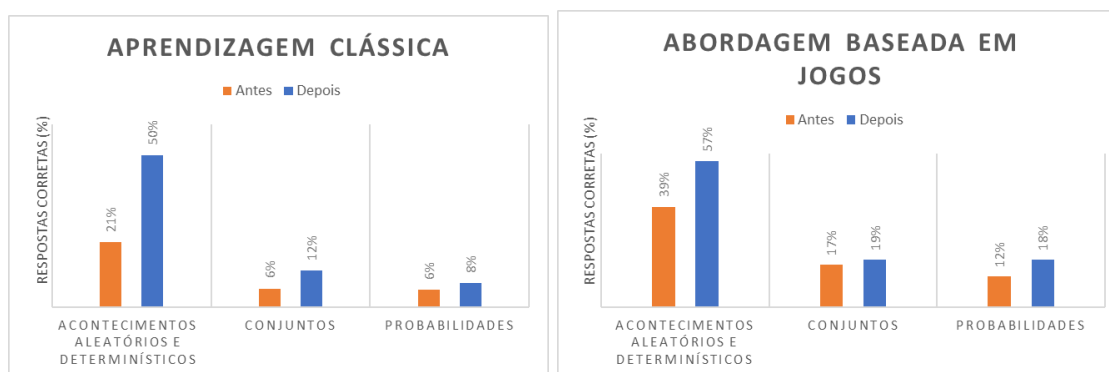
Tabela 6: Representação dos Eventos Especiais e dos Casos de Aumento de Motivação para cada Aluno.

Apurando todos os factos para responder à HI3: “A introdução de elementos persuasivos durante o jogo educacional aumenta a motivação do aluno.”, pela C3, verifica-se um aumento na motivação dos alunos após a ocorrência dos eventos especiais, confirmando a HI3. Contudo, pela análise dos gráficos no Anexo H, verifica-se que este aumento de motivação é temporário e o que realmente aumenta a motivação do aluno a longo prazo é o aumento da dificuldade do jogo, visto que nos momentos finais do jogo não existe a ocorrência de eventos persuasivos.

5.6 Resultados da Aquisição de Conhecimentos nas Diferentes Abordagens

Como mencionado anteriormente na metodologia, os alunos passaram por dois momentos de avaliação. O primeiro momento teve como intuito apurar os conhecimentos dos participantes perante os tópicos de “Introdução às Probabilidades” abordados na experiência, enquanto o segundo teste (pós-teste), que aconteceu depois da experiência ser efetuada, teve como objetivo determinar a evolução dos conhecimentos dos alunos.

Os resultados referentes a cada uma das abordagens são apresentados nas Figuras 46 (a) e 46 (b), sendo representado a cor de laranja os resultados do pré-teste e a azul as classificações do pós-teste. Além disso, os conteúdos principais das avaliações foram divididos em três partes, sendo estas “Acontecimentos aleatórios e determinísticos”, “Conjuntos” e “Probabilidades”, para apurar que componentes dos conteúdos didáticos os alunos tiveram menos e mais dificuldade a aprender.



(a) Gráfico de resultados dos alunos que efetuaram a abordagem clássica (pré-teste e pós-teste) segundo a Tabela 16.

(b) Gráfico de resultados dos alunos que efetuaram a abordagem baseada em jogos (pré-teste e pós-teste) segundo a Tabela 16.

Figura 46: Gráfico de resultados de avaliação do antes e depois da experiência.

Começando por analisar os resultados do gráfico apresentado na Figura 46 (a), referente aos alunos que efetuaram a aprendizagem clássica, observa-se que houve melhorias nas três partes da avaliação, sendo que o tópico dos “Acontecimentos aleatórios e determinísticos” teve uma melhoria de 29%, os “Conjuntos” aumentaram 6% e as “Probabilidades” tiveram o menor aumento da média das respostas corretas, tendo uma melhoria de apenas 2%.

Relativamente aos resultados dos alunos que praticaram uma abordagem mais ativa de ensino, representados na Figura 46 (b), novamente é possível observar um aumento nos três tópicos principais da avaliação, onde novamente a alteração maior é no tópico dos “Acontecimentos aleatórios e determinísticos” com um aumento de 18%. Quanto aos tópicos dos “Conjuntos” e das “Probabilidades”, verifica-se um aumento de 2% e 6%, respetivamente.

Esta análise verifica a condição experimental C4, que permite responder à HI4, mais concretamente, determinar se a abordagem baseada em jogos é mais eficaz que uma abordagem tradicional de ensino. Conforme a análise, conclui-se que ambas as metodologias avançam a progressão de aprendizagem do aluno, sendo a progressão mais evidente no subtópico dos “Acontecimentos aleatórios e determinísticos”, seguido pelo subtópico dos “Conjuntos”. Além disso, verifica-se que os alunos que estudaram a abordagem clássica tiveram maior progressão nos resultados da aprendizagem, apesar de terem notas piores que os alunos que jogaram.

Em suma, verifica-se que uma abordagem baseada em jogos não é mais eficaz que uma abordagem tradicional de ensino, visto que a experiência demonstra um maior progresso de aprendizagem na tradicional, porém, estas abordagens ativas de ensino devem ser utilizadas como complemento ao estudo clássico, para consolidar os conteúdos aprendidos, visto que as suas notas foram melhores nas abordagens baseadas em jogos.

6 Conclusão e Trabalho Futuro

A presente dissertação procura destacar a importância da motivação no ensino, mais especificamente na disciplina de Matemática, e de mostrar de que forma uma abordagem ativa de ensino, como as abordagens baseadas em jogos, podem alavancar este comportamento. Para isso, esta investigação adaptou conteúdos de livros tradicionais de ensino de tópicos de “Introdução às Probabilidades” para um jogo didático e interativo, que utiliza estratégias persuasivas, em tempo real, que adaptam o conteúdo apresentado ao aluno conforme os seus níveis de motivação.

O estudo da solução proposta exigiu a divisão dos participantes em três grupos (GC, GE1 e GE2) e necessitou de uma segmentação do jogo em duas partes distintas, para responder às quatro hipóteses de investigação apresentadas. Esta divisão da investigação em duas partes permitiu confirmar HI1, relativamente à eficácia dos sensores EEG comparativamente aos questionários de avaliação de motivação, visto a estes últimos serem mais adequados a avaliar comportamentos dos participantes a curto prazo, enquanto os sensores EEG permitem efetuar avaliações a curto, médio e longo prazo, sem interromper o processo cognitivo da aprendizagem. Outro ponto discutido que foi abordado no estado de arte, relaciona-se com o facto de uma abordagem baseada em jogos ser mais motivadora que a aprendizagem tradicional, algo que se confirma para a amostra de participantes apresentada, visto que os alunos da abordagem clássica perdem motivação no decorrer da experiência, ao contrário do grupo que joga, que aumenta os níveis de motivação, contudo esta hipótese não é verdadeira, pois pelos dados estatísticos populacionais não existem evidências suficientes que comprovam a HI2. Relativamente à HI3, verificada pelo sucesso da introdução de estratégias persuasivas que voltam a motivar o participante caso o seu limiar de envolvimento médio seja ultrapassado, apurou-se que existiu aumento da motivação na maior parte dos casos, contudo este aumento foi temporário e o que realmente motivou os participantes foi o aumento de dificuldade no jogo. Por fim, a C4 que responde à HI4, ou seja, a comparação da abordagem baseada em jogos com o método tradicional relativamente à aquisição de conhecimentos, verifica que a abordagem baseada em jogos não é mais eficaz que uma abordagem tradicional de ensino, contudo, os alunos podem beneficiar deste tipo de abordagem como um complemento ao estudo tradicional.

A elaboração de uma experiência para a disciplina de Matemática utilizando tecnologias como o EEG suscita algumas dificuldades que necessitam de ser ultrapassadas. Uma das dificuldades principais refere-se à dificuldade de encontrar voluntários do ensino secundário com disponibilidade para efetuar uma hora de estudo extracurricular. Por isso, apenas foi possível a aquisição de 21 voluntários, que, divididos em três grupos, revelaram ser uma amostra pequena, não podendo ser representativa de uma população. Outra dificuldade encontrada no processo, relaciona-se com a implementação da solução, visto a não ser possível introduzir conteúdos de Matemática no jogo que não sejam de raciocínio imediato, pois os alunos não devem utilizar papel ou caneta, visto que quebra o intuito de uma abordagem baseada em jogos.

No trabalho futuro, deve-se tentar resolver estas dificuldades mencionadas, através do contacto direto com mais escolas secundárias e com os seus professores. Além disso, a aquisição de mais Eletroencefalogramas será benéfica, de modo a serem feitas mais experiências em simultâneo. Para resolver o problema de apenas existir conteúdo de raciocínio imediato, devem ser elaboradas estratégias para permitir que o nível de progressão de dificuldade dos conteúdos seja equivalente ao ensino tradicional, por exemplo, a implementação de uma calculadora gráfica personalizada pode facilitar os cálculos mais complicados aos participantes. Outro aspeto que deve ser trabalhado, é

a introdução de mais tipos de eventos persuasivos diferentes, sendo que atualmente existem três tipos e o jogo pode beneficiar de mais eventos que potenciem a dificuldade do jogo.

Referências

- [1] C. Heunis, “Export and analysis of emotiv insight eeg data via eeglab,” *Developing Alternative Stroke Rehabilitation to Reinforce Neural Pathways and Synapses of Middle Cerebral Artery Stroke Patients*, vol. 2016, pp. 1–11, 2016.
- [2] I. N. Zamora, D. S. Benítez, and M. S. Navarro, “On the use of the emotiv cortex api to control a robotic arm using raw eeg signals acquired from the emotiv insight neuroheadset,” in *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [3] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, “An empirical evaluation of the system usability scale,” *Intl. Journal of Human–Computer Interaction*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, 2008.
- [4] C. Ndulue and R. Orji, “Games for change—a comparative systematic review of persuasive strategies in games for behaviour change,” *IEEE Transactions on Games*, 2022.
- [5] D. Tapscott and M.-H. Books, “The irresistible rise of the net generation,” 2009.
- [6] P. Marc, “Digital natives, digital immigrants,” *On the horizon*, vol. 9, no. 5, pp. 1–6, 2001.
- [7] S. Vodanovich, D. Sundaram, and M. Myers, “Research commentary—digital natives and ubiquitous information systems,” *Information Systems Research*, vol. 21, no. 4, pp. 711–723, 2010.
- [8] M. P. Cakir, N. A. Çakir, H. Ayaz, and F. J. Lee, “An optical brain imaging study on the improvements in mathematical fluency from game-based learning,” in *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 2015, pp. 209–219.
- [9] A.-F. Lai, S. Shih, and C.-R. Hong, “Developing a mobile-based digital math game for learning number and calculation in elementary school,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Education and Multimedia Technology*, 2018, pp. 9–13.
- [10] M. Akcaoglu, “Learning problem-solving through making games at the game design and learning summer program,” *Educational Technology Research and Development*, vol. 62, no. 5, pp. 583–600, 2014.
- [11] G.-J. Hwang and C.-H. Chen, “Influences of an inquiry-based ubiquitous gaming design on students’ learning achievements, motivation, behavioral patterns, and tendency towards critical thinking and problem solving,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 48, no. 4, pp. 950–971, 2017.
- [12] E. N. Castellar, A. All, L. De Marez, and J. Van Looy, “Cognitive abilities, digital games and arithmetic performance enhancement: A study comparing the effects of a math game and paper exercises,” *Computers & Education*, vol. 85, pp. 123–133, 2015.
- [13] R. Nouchi, Y. Taki, H. Takeuchi, H. Hashizume, T. Nozawa, T. Kambara, A. Sekiguchi, C. M. Miyauchi, Y. Kotozaki, H. Nouchi *et al.*, “Brain training game boosts executive functions, working memory and processing speed in the young adults: a randomized controlled trial,” *PloS one*, vol. 8, no. 2, p. e55518, 2013.

- [14] J. P. Gee, “Reflections on empirical evidence on games and learning,” *Computer games and instruction*, vol. 223232, 2011.
- [15] M. Bradford, C. Muntean, and P. Pathak, “An analysis of flip-classroom pedagogy in first year undergraduate mathematics for computing,” in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*. IEEE, 2014, pp. 1–5.
- [16] H. Van Steenbrugge, M. Valcke, and A. Desoete, “Mathematics learning difficulties in primary education: teachers’ professional knowledge and the use of commercially available learning packages,” *Educational studies*, vol. 36, no. 1, pp. 59–71, 2010.
- [17] K. R. Liles, D. G. Bryant, and J. M. Beer, “How can social robots motivate students to practice math?” in *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2017, pp. 353–354.
- [18] Z. Wang, S. L. Lukowski, S. A. Hart, I. M. Lyons, L. A. Thompson, Y. Kovas, M. M. Mazzocco, R. Plomin, and S. A. Petrill, “Is math anxiety always bad for math learning? the role of math motivation,” *Psychological science*, vol. 26, no. 12, pp. 1863–1876, 2015.
- [19] C. H. Muntean, N. El Mawas, M. Bradford, and P. Pathak, “Investigating the impact of an immersive computer-based math game on the learning process of undergraduate students,” in *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. IEEE, 2018, pp. 1–8.
- [20] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth, “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics,” *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410–8415, 2014.
- [21] W. Westera, R. J. Nadolski, H. G. Hummel, and I. G. Wopereis, “Serious games for higher education: a framework for reducing design complexity,” *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 24, no. 5, pp. 420–432, 2008.
- [22] J. P. Gee, “What video games have to teach us about learning and literacy,” *Computers in entertainment (CIE)*, vol. 1, no. 1, pp. 20–20, 2003.
- [23] S. Y. Okita and D. L. Schwartz, “Learning by teaching human pupils and teachable agents: The importance of recursive feedback,” *Journal of the Learning Sciences*, vol. 22, no. 3, pp. 375–412, 2013.
- [24] Y. Kafai, “The educational potential of electronic games: From games-to-teach to games-to-learn,” *Playing By The Rules, Cultural Policy Center, University of Chicago, Chicago, IL, 2001*, 2001.
- [25] A. A. Deshpande and S. H. Huang, “Simulation games in engineering education: A state-of-the-art review,” *Computer applications in engineering education*, vol. 19, no. 3, pp. 399–410, 2011.
- [26] S. Rondon, F. C. Sassi, and C. R. Furquim de Andrade, “Computer game-based and traditional learning method: a comparison regarding students’ knowledge retention,” *BMC medical education*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [27] S. P. Hwa, “Pedagogical change in mathematics learning: Harnessing the power of digital game-based learning,” *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 21, no. 4, pp. 259–276, 2018.

- [28] N. Anwar, D. P. Kristiadi, F. A. Novezar, P. A. Tanto, K. Septha, P. Ardhia, K. Evan, A. Chrysler, H. Warnars, and J. Abraham, "Learning math through mobile game for primary school students," *Sylwan*, vol. 164, no. 5, pp. 346–352, 2020.
- [29] C. C. Bonwell and J. A. Eison, "Active learning: Creating excitement in the classroom. eric digest." 1991.
- [30] D. W. Shaffer, K. R. Squire, R. Halverson, and J. P. Gee, "Video games and the future of learning," *Phi delta kappan*, vol. 87, no. 2, pp. 105–111, 2005.
- [31] D. Ifenthaler, D. Eseryel, and X. Ge, "Assessment for game-based learning," in *Assessment in game-based learning*. Springer, 2012, pp. 1–8.
- [32] I. Ghergulescu and C. H. Muntean, "A novel sensor-based methodology for learner's motivation analysis in game-based learning," *Interacting with Computers*, vol. 26, no. 4, pp. 305–320, 2014.
- [33] N. El Mawas, I. Tal, A. Moldovan, D. Bogusevski, J. Andrews, G.-M. Muntean, and C. Muntean, "Final frontier game: A case study on learner experience," in *CSEDU-10th International Conference on Computer Supported Education*, 2018.
- [34] K. Kiili, "Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model," *The Internet and higher education*, vol. 8, no. 1, pp. 13–24, 2005.
- [35] M. Csikszentmihalyi and M. Csikszentmihalyi, *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row New York, 1990, vol. 1990.
- [36] C.-C. Liu, Y.-B. Cheng, and C.-W. Huang, "The effect of simulation games on the learning of computational problem solving," *Computers & Education*, vol. 57, no. 3, pp. 1907–1918, 2011.
- [37] K. Sedig, "From play to thoughtful learning: A design strategy to engage children with mathematical representations," *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, vol. 27, no. 1, pp. 65–101, 2008.
- [38] L. P. Rieber, "Designing learning environments that excite serious play," in *annual meeting of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, Melbourne, Australia*, 2001.
- [39] J. Lee, K. Luchini, B. Michael, C. Norris, and E. Soloway, "More than just fun and games: Assessing the value of educational video games in the classroom," in *CHI'04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, 2004, pp. 1375–1378.
- [40] M. Kebritchi, A. Hirumi, and H. Bai, "The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation," *Computers & education*, vol. 55, no. 2, pp. 427–443, 2010.
- [41] L. Deng, S. Wu, Y. Chen, and Z. Peng, "Digital game-based learning in a shanghai primary-school mathematics class: A case study," *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 36, no. 5, pp. 709–717, 2020.
- [42] M. A. Ohrn, J. H. van Oostrom, and W. L. van Meurs, "A comparison of traditional textbook and interactive computer learning of neuromuscular block," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 84, no. 3, pp. 657–661, 1997.

- [43] H. R. Goldberg and G. M. McKhann, "Student test scores are improved in a virtual learning environment." *Advances in physiology education*, vol. 23, no. 1, pp. S59–66, 2000.
- [44] M. Ebner and A. Holzinger, "Successful implementation of user-centered game based learning in higher education: An example from civil engineering," *Computers & education*, vol. 49, no. 3, pp. 873–890, 2007.
- [45] Y.-C. Chen, "Empirical study on the effect of digital game-based instruction on students' learning motivation and achievement," *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 13, no. 7, pp. 3177–3187, 2017.
- [46] R. Freitas and P. Campos, "Smart: a system of augmented reality for teaching 2 nd grade students," 2008.
- [47] C.-Y. Chang, C.-H. Kao, G.-J. Hwang, and F.-H. Lin, "From experiencing to critical thinking: A contextual game-based learning approach to improving nursing students' performance in electrocardiogram training," *Educational Technology Research and Development*, vol. 68, no. 3, pp. 1225–1245, 2020.
- [48] H. Alshenqeeti, "Interviewing as a data collection method: A critical review," *English linguistics research*, vol. 3, no. 1, pp. 39–45, 2014.
- [49] M. Soufineyestani, D. Dowling, and A. Khan, "Electroencephalography (eeg) technology applications and available devices," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 21, p. 7453, 2020.
- [50] T. J. Sullivan, S. R. Deiss, and G. Cauwenberghs, "A low-noise, non-contact eeg/ecg sensor," in *2007 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*. IEEE, 2007, pp. 154–157.
- [51] M. Thompson and L. Thompson, *The neurofeedback book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback, 2003.
- [52] S. Sanei and J. A. Chambers, *EEG signal processing*. John Wiley & Sons, 2013.
- [53] B. Schack, W. Klimesch, and P. Sauseng, "Phase synchronization between theta and upper alpha oscillations in a working memory task," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 57, no. 2, pp. 105–114, 2005.
- [54] A. Khosla, P. Khandnor, and T. Chand, "A comparative analysis of signal processing and classification methods for different applications based on eeg signals," *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 40, no. 2, pp. 649–690, 2020.
- [55] A. Bandura, G. V. Caprara, C. Barbaranelli, M. Gerbino, and C. Pastorelli, "Role of affective self-regulatory efficacy in diverse spheres of psychosocial functioning," *Child development*, vol. 74, no. 3, pp. 769–782, 2003.
- [56] R. M. Ryan and E. L. Deci, "Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions," *Contemporary educational psychology*, vol. 25, no. 1, pp. 54–67, 2000.
- [57] M. Vansteenkiste, W. Lens, and E. L. Deci, "Intrinsic versus extrinsic goal contents in self-determination theory: Another look at the quality of academic motivation," *Educational psychologist*, vol. 41, no. 1, pp. 19–31, 2006.

- [58] A. E. Alchalcabi, A. N. Eddin, and S. Shirmohammadi, “More attention, less deficit: Wearable eeg-based serious game for focus improvement,” in *2017 IEEE 5th international conference on serious games and applications for health (SeGAH)*. IEEE, 2017, pp. 1–8.
- [59] C. Yang, Y. Ye, X. Li, and R. Wang, “Development of a neuro-feedback game based on motor imagery eeg,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 77, no. 12, pp. 15 929–15 949, 2018.
- [60] I. Bogost, *Persuasive games: The expressive power of videogames*. mit Press, 2010.
- [61] D. Ruggiero, “Conceptualizing a persuasive game framework,” in *EdMedia+ Innovate Learning*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2012, pp. 1181–1185.
- [62] D. N. Ruggiero, “Spent: changing students’ affective learning toward homelessness through persuasive video game play,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2014, pp. 3423–3432.
- [63] C. C. Abt, *Serious games*. University press of America, 1987.
- [64] P. Siriaraya, V. Visch, A. Vermeeren, and M. Bas, “A cookbook method for persuasive game design,” *International Journal of Serious Games*, vol. 5, no. 1, pp. 37–71, 2018.
- [65] D. Ruggiero, “The effect of a persuasive social impact game on affective learning and attitude,” *Computers in Human Behavior*, vol. 45, pp. 213–221, 2015.
- [66] J. H. Murray, *Hamlet on the Holodeck, updated edition: The Future of Narrative in Cyberspace*. MIT press, 2017.
- [67] A. Amory, “Game object model version ii: a theoretical framework for educational game development,” *Educational Technology Research and Development*, vol. 55, no. 1, pp. 51–77, 2007.
- [68] C. N. Quinn, *Engaging learning: Designing e-learning simulation games*. John Wiley & Sons, 2005.
- [69] M. A. Evans, “Procedural ethos: Confirming the persuasive in serious games,” *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations (IJGCMS)*, vol. 3, no. 4, pp. 70–80, 2011.
- [70] B. Köhler, J. Haladjian, B. Simeonova, and D. Ismailović, “Feedback in low vs. high fidelity visuals for game prototypes,” in *2012 Second International Workshop on Games and Software Engineering: Realizing User Engagement with Game Engineering Techniques (GAS)*. IEEE, 2012, pp. 42–47.
- [71] S. Suleri, V. P. Sermuga Pandian, S. Shishkovets, and M. Jarke, “Eve: A sketch-based software prototyping workbench,” in *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2019, pp. 1–6.
- [72] J. Schell, *The Art of Game Design: A book of lenses*. CRC press, 2008.
- [73] D. Engelberg and A. Seffah, “A framework for rapid mid-fidelity prototyping of web sites,” in *IFIP World Computer Congress, TC 13*. Springer, 2002, pp. 203–215.
- [74] G. C. Thornton and J. N. Cleveland, “Developing managerial talent through simulation.” *American Psychologist*, vol. 45, no. 2, p. 190, 1990.

- [75] R. Johnston and W. De Felix, "Learning from video games," *Computer in the Schools*, vol. 9, pp. 199–233, 1993.
- [76] T. Malone, "What makes computer games fun?(abstract only)," in *Conference on Human Factors in Computing Systems: Proceedings of the joint conference on Easier and more productive use of computer systems.(Part- II): Human interface and the user interface-*, vol. 1981, 1981.
- [77] A. Šmíd, "Comparison of unity and unreal engine," *Czech Technical University in Prague*, pp. 41–61, 2017.
- [78] R. Salama and M. Elsayed, "A live comparison between unity and unreal game engines," *Global Journal of Information Technology: Emerging Technologies*, vol. 11, no. 1, pp. 01–07, 2021.
- [79] B. Fogg, "J. persuasive technology: using computers to change what we think and do," *Ubiquity*, vol. 2002, p. 2, 2003.
- [80] C. Ndulue, O. Oyeboade, and R. Orji, "Phisher crush: a mobile persuasive game for promoting online security," in *International Conference on Persuasive Technology*. Springer, 2020, pp. 223–233.
- [81] H. Oinas-Kukkonen and M. Harjumaa, "Persuasive systems design: Key issues, process model, and system features," *Communications of the association for Information Systems*, vol. 24, no. 1, p. 28, 2009.
- [82] B. J. Fogg, "A behavior model for persuasive design," in *Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology*, 2009, pp. 1–7.
- [83] R. Cialdini, "The science of persuasion. scientific american," *Mind (special edition)*, pp. 70–77, 2004.
- [84] S. Michie, M. Richardson, M. Johnston, C. Abraham, J. Francis, W. Hardeman, M. P. Eccles, J. Cane, and C. E. Wood, "The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques: building an international consensus for the reporting of behavior change interventions," *Annals of behavioral medicine*, vol. 46, no. 1, pp. 81–95, 2013.
- [85] R. Orji and K. Moffatt, "Persuasive technology for health and wellness: State-of-the-art and emerging trends," *Health informatics journal*, vol. 24, no. 1, pp. 66–91, 2018.
- [86] O. Oyeboade, C. Ndulue, M. Alhasani, and R. Orji, "Persuasive mobile apps for health and wellness: a comparative systematic review," in *International Conference on Persuasive Technology*. Springer, 2020, pp. 163–181.
- [87] N. E. Cagiltay, E. Ozcelik, and N. S. Ozcelik, "The effect of competition on learning in games," *Computers & Education*, vol. 87, pp. 35–41, 2015.
- [88] L. Pareto, M. Haake, P. Lindström, B. Sjöden, and A. Gulz, "A teachable-agent-based game affording collaboration and competition: Evaluating math comprehension and motivation," *Educational Technology Research and Development*, vol. 60, no. 5, pp. 723–751, 2012.
- [89] D. Cernea, A. Kerren, and A. Ebert, "Detecting insight and emotion in visualization applications with a commercial eeg headset," in *Proceedings of SIGRAD 2011. Evaluations of Graphics and Visualization—Efficiency; Usefulness; Accessibility; Usability; November 17-18; 2011; KTH; Stockholm; Sweden*, no. 065. Linköping University Electronic Press, 2011, pp. 53–60.

- [90] T. Fullerton, *Game design workshop: a playcentric approach to creating innovative games*. CRC press, 2014.
- [91] T. Olsen, K. Procci, and C. Bowers, “Serious games usability testing: How to ensure proper usability, playability, and effectiveness,” in *International conference of design, user experience, and usability*. Springer, 2011, pp. 625–634.

Apêndice

I Classificação do *System Usability Scale* por Participante

Participante	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
P1	5	1	4	1	5	2	5	1	5	1
P2	5	1	5	1	3	1	4	1	5	1
P3	5	1	4	1	5	2	5	1	5	1
P4	4	1	5	1	5	1	5	1	4	1
P5	4	1	5	1	5	1	5	2	5	1
P6	3	1	5	1	5	1	4	1	4	1
P7	4	1	5	1	5	2	5	1	4	1
P8	5	1	5	1	5	2	5	1	4	1
P9	5	1	4	1	5	1	5	1	5	1
P10	5	1	4	1	5	1	5	1	5	1

Tabela 7: Resultados do SUS para cada participante dividido por questão.

II Classificação dos Participantes do GC pela sua Pontuação no IMI

Participante	Resultado IMI P1	Classificação P1	Resultado IMI P2	Classificação P2
5	3,73	Desmotivado	3,77	Desmotivado
7	3,05	Desmotivado	3,73	Desmotivado
11	2,64	Desmotivado	2,18	Desmotivado
15	4,68	Zona-Cinzena	4,77	Zona-Cinzena
16	5,64	Motivado	5,64	Motivado
19	5,55	Motivado	4,77	Zona-Cinzena
21	3,05	Desmotivado	4,23	Zona-Cinzena

Tabela 8: Classificação dos participantes do GC conforme a sua pontuação nos questionários de avaliação de motivação IMI.

III Classificação dos Participantes do GC pela Tendência de Mudança de Envolvimento

Participante	Resultado EEG P1	Classificação P1	Resultado EEG P2	Classificação P2
5	-0,71	Desmotivado	-0,43	Desmotivado
7	-0,38	Desmotivado	0,10	Motivado
11	-0,35	Desmotivado	0,21	Motivado
15	-0,25	Desmotivado	0,22	Motivado
16	-0,03	Desmotivado	-0,13	Desmotivado
19	-0,10	Desmotivado	-0,64	Desmotivado
21	0,25	Motivado	0,23	Motivado

Tabela 9: Classificação dos participantes GC conforme a variação da tendência de mudança de envolvimento.

IV Distribuição dos participantes no GC e no GE1 pela classificação IMI

Parte 1					
Grupo	Pontuação IMI	Ap. Clássica	Ap. Clássica (%)	Ap. c/ Jogos	Ap. c/ Jogos (%)
Desmotivados	$IMI < 4$	4	57%	2	29%
Zona-Cinzenta	$4 \leq IMI < 5$	1	14%	4	57%
Motivados	$IMI \geq 5$	2	29%	1	14%

Tabela 10: Distribuição dos participantes no GC (aprendizagem clássica) e no GE1(aprendizagem baseada em jogos) pela classificação IMI durante a Parte 1 da experiência.

Parte 2					
Grupo	Pontuação IMI	Ap. Clássica	Ap. Clássica (%)	Ap. c/ Jogos	Ap. c/ Jogos (%)
Desmotivados	$IMI < 4$	3	43%	1	14%
Zona-Cinzenta	$4 \leq IMI < 5$	3	43%	3	43%
Motivados	$IMI \geq 5$	1	14%	3	43%

Tabela 11: Distribuição dos participantes e da sua classificação IMI no GC (aprendizagem clássica) e no GE1(aprendizagem baseada em jogos) pela classificação IMI durante a Parte 2 da experiência.

V Distribuição dos participantes no GC e no GE2 pela tendência de mudança de envolvimento

Grupo Controlo EEG - Parte 1		
Grupo	Número de Alunos	Número de Alunos (%)
Desmotivados	6	86%
Motivados	1	14%

Tabela 12: Distribuição dos participantes do GC e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 1.

Grupo experimental que apenas joga - Parte 1		
Grupo	Número de Alunos	Número de Alunos (%)
Desmotivados	4	57%
Motivados	3	43%

Tabela 13: Distribuição dos participantes do GE2 e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 1.

Grupo Controlo EEG - Parte 2		
Grupo	Número de Alunos	Número de Alunos (%)
Desmotivados	3	43%
Motivados	4	57%

Tabela 14: Distribuição dos participantes do GC e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 2.

Grupo experimental que apenas joga - Parte 2		
Grupo	Número de Alunos	Número de Alunos (%)
Desmotivados	2	29%
Motivados	5	71%

Tabela 15: Distribuição dos participantes do GE2 e da sua classificação pela tendência de mudança de envolvimento na Parte 2.

VI Resultados da Avaliação do Pré-teste e Pós-teste dos Participantes

Aluno	Grupo	Antes			Depois		
		Acontecimentos	Conjuntos	Probabilidades	Acontecimentos	Conjuntos	Probabilidades
2	GE2	50%	40%	20%	100%	14%	29%
6	GE2	0%	50%	40%	25%	47%	70%
10	GE2	50%	0%	0%	50%	0%	0%
12	GE2	100%	20%	0%	75%	37%	0%
17	GE2	50%	33%	0%	50%	25%	0%
18	GE2	0%	0%	0%	25%	0%	20%
20	GE2	50%	0%	0%	50%	0%	30%
1	GE1	50%	60%	0%	50%	86%	0%
3	GE1	50%	8%	40%	50%	0%	50%
4	GE1	50%	0%	20%	50%	0%	0%
8	GE1	25%	20%	50%	75%	9%	50%
9	GE1	25%	0%	0%	25%	0%	0%
13	GE1	50%	0%	0%	100%	18%	0%
14	GE1	0%	0%	0%	75%	24%	10%
5	GC	75%	43%	40%	75%	46%	13%
7	GC	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11	GC	50%	0%	0%	75%	0%	0%
15	GC	0%	0%	0%	50%	39%	0%
16	GC	0%	0%	0%	0%	0%	43%
19	GC	25%	0%	0%	50%	0%	0%
21	GC	0%	0%	0%	100%	0%	0%

Tabela 16: Resultados dos momentos de avaliação de cada aluno.

Anexos

A Conteúdo do Ambiente de Aprendizagem na Abordagem Baseada em Jogos

A.1 Experiência Aleatória e Determinista

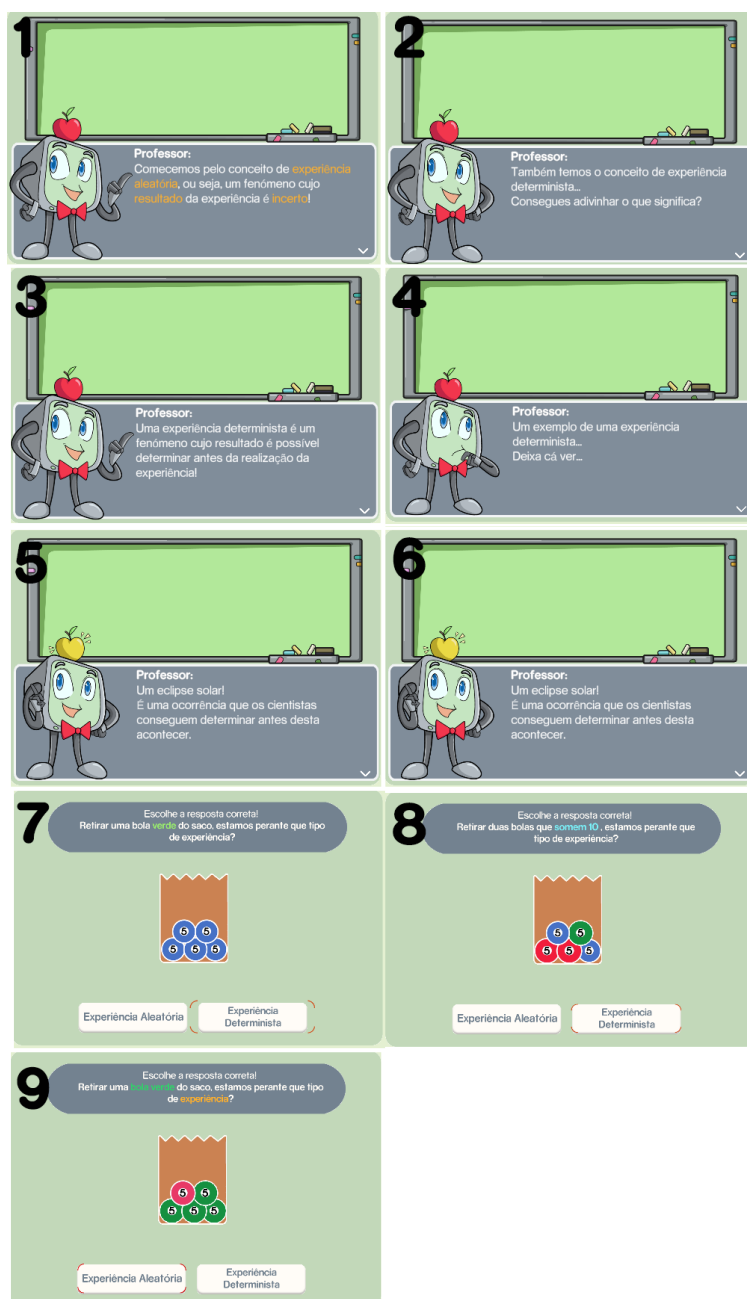


Figura 47: Ecrãs do ambiente tutorial referentes aos conceitos de experiência aleatória e experiência determinista.

A.2 Espaço Amostral

1

Professor:
Apresento-te o conceito de espaço amostral, ou seja, o conjunto de todos os resultados possíveis!
Que pode ser representado por S, E ou Ω (omega).

2

Professor:
Ao longo deste jogo, vamos utilizar o conceito de espaço amostral através da letra Ω .
Por isso, quando veres esta letra, já sabes ao que me refiro!

3

Professor:
Podemos ver alguns exemplos de espaços amostrais?

4

Observa o exemplo apresentado!
Considera a **experiência aleatória de retirar uma carta da mão** do distribuidor de cartas.

$$\Omega = \{ \text{K} \spadesuit, \text{A} \spadesuit, \text{Q} \spadesuit, \text{A} \heartsuit, \text{Q} \heartsuit \}$$

CONTINUAR

5

Remove as cartas que não pertencem!
Conforme as cartas apresentadas no **espaço amostral**, **vira a carta** da mão do distribuidor de cartas as que não pertencem.

$$\Omega = \{ \text{Q} \spadesuit \}$$

6

Remove as cartas que não pertencem!
Conforme as cartas apresentadas no **espaço amostral**, **vira a carta** da mão do distribuidor de cartas as que não pertencem.

$$\Omega = \{ \text{K} \spadesuit, \text{Q} \heartsuit, \text{3} \heartsuit, \text{Q} \spadesuit, \text{A} \heartsuit \}$$

Figura 48: Ecrãs do ambiente tutorial referentes ao conceito de espaço amostral.

A.3 Acontecimento impossível, elementar, certo e composto.

1 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
OU
 $\Omega = \{ \text{1 face com 1 ponto}, \text{1 face com 2 pontos}, \text{1 face com 3 pontos}, \text{1 face com 4 pontos}, \text{1 face com 5 pontos}, \text{1 face com 6 pontos} \}$

Professor:
Conforme o dado mostrado acima, temos que o espaço amostral desta experiência aleatória é dado por:
 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

2 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
OU
 $\Omega = \{ \text{1 face com 1 ponto}, \text{1 face com 2 pontos}, \text{1 face com 3 pontos}, \text{1 face com 4 pontos}, \text{1 face com 5 pontos}, \text{1 face com 6 pontos} \}$

Professor:
Conforme o dado mostrado acima, temos que o espaço amostral desta experiência aleatória é dado por:
 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

3 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
A: "Sair número 7".
A = $\{ \}$ **Acontecimento impossível**

Professor:
Temos o conjunto A: "Sair o número 7".
Ou seja, pelo espaço amostral sabemos que
A = $\{ \}$
É um acontecimento impossível!

4 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
A: "Sair número 7".
A = $\{ \}$ **Acontecimento impossível**
B: "Sair número 2".
B = $\{2\}$ **Acontecimento Elementar**

Professor:
O acontecimento B: "Sair número 2", é um acontecimento elementar, visto que temos
B = $\{2\}$

5 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
A: "Sair número 7".
A = $\{ \}$ **Acontecimento impossível**
B: "Sair número 2".
B = $\{2\}$ **Acontecimento Elementar**
C: "Sair número maior ou igual a 1".
C = $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ **Acontecimento certo**

Professor:
Temos o conjunto C: "Sair número maior ou igual a 1".
Temos que C = $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.
É um acontecimento certo!

6 $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
C: "Sair número maior ou igual a 1".
C = $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ **Acontecimento certo**
D: "Sair número par".
D = $\{2, 4, 6\}$ **Acontecimento composto**

Professor:
Temos o conjunto D: "Sair número par".
Temos que D = $\{2, 4, 6\}$
É um acontecimento composto!

7 Escolhe a resposta correta!
Considera o acontecimento A: "Retirar da tigela uma bola verde".
Estamos perante que tipo de acontecimento?

Acontecimento impossível Acontecimento certo
Acontecimento elementar Acontecimento composto

8 Escolhe a resposta correta!
Considera o acontecimento B: "Retirar bola vermelha".
Estamos perante que tipo de acontecimento?

Acontecimento impossível Acontecimento certo
Acontecimento elementar Acontecimento composto

Figura 49: Ecrãs do ambiente tutorial referentes às definições de acontecimento impossível, elementar, certo e composto.

A.4 Operações com acontecimentos

1 Professor: Agora vamos falar de operações com acontecimentos. Para isso, precisamos de introduzir quatro novos conceitos.

2 Professor: Mais concretamente, o conceito de união, interseção, contrário e diferença. Os próximos exemplos vão te ajudar a entender o que são estes conceitos!

3 Vamos aprender a interseção. Selecciona os números **iguais** dos conjuntos apresentados.

$$X = \{1, 5, 7, 15\}$$

$$Y = \{1, 2, 7, 9, 15\}$$

4

$$X = \{1, 5, 7, 15\}$$

$$Y = \{1, 2, 7, 9, 15\}$$

$$Z = X \cap Y = \{1, 7, 15\}$$

Professor: Muito bem! Ao escolher os números iguais de cada conjunto fizeste a \cap (interseção) dos conjuntos que originaram Z.

5

$$X = \{1, 5, 7, 15\}$$

$$Y = \{1, 2, 7, 9, 15\}$$

$$Z = X \cap Y = \{1, 7, 15\}$$

Professor: Vamos avançar para o conceito de união (U).

6 A **união (U)** ou **reunião** é definida pela junção de dois conjuntos. Observa os exemplos abaixo apresentados.

$$X = \{3, 10, 11\}$$

$$Y = \{6, 8, 9\}$$

$$X \cup Y = \{3, 6, 8, 9, 10, 11\}$$

$$W = \{1, 2\}$$

$$Y = \{1, 2, 9\}$$

$$W \cup Z = \{1, 2, 9\}$$

CONTINUAR

7 Adiciona números aos conjuntos! Cria os conjuntos de forma a obter o resultado correto $X \cup Y$.

$$X = \{\} \oplus$$

$$Y = \{\} \oplus$$

$$X \cup Y = \{1, 7, 15, 16\}$$

CONTINUAR

8 Preenche o conjunto união. De acordo com os conjuntos apresentados, preenche o conjunto referente a **união**.

$$X = \{1, 5\}$$

$$Y = \{1, 2, 5, 11, 16\}$$

$$X \cup Y = \{\} \oplus$$

CONTINUAR

9 Preenche o conjunto interseção. Cria o conjunto resultado da interseção do conjunto W e Z.

$$W = \{3, 5, 6, 7, 11\}$$

$$Z = \{1, 3, 4, 11, 16\}$$

$$W \cap Z = \{\} \oplus$$

CONTINUAR

10 De acordo com os exercícios apresentados anteriormente, qual o resultado da **união** dos seguintes conjuntos (X U W)?

$$X = \{0, 1, 7, 5\}$$

$$W = \{4, 5, 6, 7\}$$

$Z = \{5, 7\}$
 $Z = \{0, 1, 5, 7\}$
 $Z = \{4, 5, 6, 7\}$
 $Z = \{\}$
 $Z = \{0, 1, 4, 5, 6\}$
 $Z = \{0, 1, 4, 5, 6, 7\}$

Figura 50: Ecrãs do ambiente tutorial referentes às operações de união e interseção.

1

Professor:
Falta mencionar os conceitos de diferença e de contrário!

2

Professor:
O contrário ou complementar, como o próprio nome indica, refere-se ao conjunto contrário ao apresentado.

3

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

Professor:
Por exemplo, no espaço amostral,
 $S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

4

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
 $A = \{1, 2\}$

Professor:
Temos que o subconjunto $A = \{1, 2\}$.
Qual seria o contrário deste subconjunto?

5

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
 $A = \{1, 2\}$
 $\bar{A} = \{3, 4, 5\}$ contrário

Professor:
Sabemos que, no exemplo acima, o contrário de A , é representado pelos elementos $\{3, 4, 5\}$

6

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
 $A = \{1, 2\}$
 $\bar{A} = \{3, 4, 5\}$ contrário

Professor:
Resta-nos a operação de diferença de acontecimentos.

7

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
 $A = \{1, 2\}$
 $\bar{A} = \{3, 4, 5\}$ contrário
 $C = \{2\}$

Professor:
Tendo um subconjunto $C = \{2\}$.
Como ficaria a diferença de acontecimentos
 $A - C$ ou $A \setminus C$ (le-se A exceto C)?

8

$S = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
 $A = \{1, 2\}$
 $\bar{A} = \{3, 4, 5\}$ contrário
 $C = \{2\}$
 $A - C = \{1\}$ diferença

Professor:
Simplex!
Retiramos os comuns dos dois conjuntos e ficamos com:
 $A - C = \{1\}$

9

Conforme os exemplos anteriores, escolhe a opção que indica a **diferença** do conjunto A com o conjunto B ($A - B$).

$A = \{1, 3, 7, 11, 25\}$
 $B = \{3, 11\}$

$A - B = \{1, 3, 7, 11\}$ $A - B = \{1, 7, 11, 25\}$ $A - B = \{3, 11\}$
 $A - B = \{1, 3, 7, 25\}$ $A - B = \{1, 7, 25\}$ $A - B = \{1, 7, 11, 25\}$

10

Conforme os exemplos anteriores, e de acordo com o espaço amostral, escolhe a opção que indica o **contrário** do subconjunto B .

$S = \{1, 6, 8, 9\}$
 $B = \{8\}$
 $\bar{B} = ?$

$\{1, 6, 9\}$ $\{1, 6, 8, 9\}$ $\{6, 8, 9\}$
 $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ $\{1, 6, 8\}$ $\{8\}$

Figura 51: Ecrãs do ambiente tutorial referentes às operações de contrário e diferença.

A.5 Definição clássica de Probabilidade ou de Laplace

1

Professor:
Agora vamos falar da definição clássica de probabilidades ou de Laplace.

2

Professor:
Começemos por resolver os próximos exercícios...

3 Escolhe a resposta correta!
Quantas **faces** tem um dado?

1 face 2 faces 3 faces
4 faces 5 faces 6 faces

4 Escolhe a resposta correta!
Se lançar o dado **uma vez**, quantas vezes pode sair o número dois?

1 vez 2 vezes 3 vezes
4 vezes 5 vezes 6 vezes

5

Professor:
Muito bem!
Agora tens todas as informações necessárias para saber a probabilidade de sair um certo número.

6 Segundo a **Lei de Laplace**, pinta as bolas da taça, de modo a teres a probabilidade de 1/7 tirar **bola azul**.

CONTINUAR

7 Dados os dois espaços amostrais apresentados, segundo a **Lei de Laplace**, qual é a probabilidade de sair a cor preta?

$S_1 = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \}$
 $S_2 = \{ \text{Vermelho, Vermelho, Verde, Verde, Verde, Azul, Azul, Preto} \}$

1/8 1/4 7/8
100% 2/8 4/8

8 Dados os dois espaços amostrais apresentados, segundo a **Lei de Laplace**, qual é a probabilidade de sair um número superior ou igual a 4?

$S_1 = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \}$
 $S_2 = \{ \text{Vermelho, Vermelho, Verde, Verde, Verde, Azul, Azul, Preto} \}$

2/8 5/8 3/8
4/8 6/8 7/8

Figura 52: Ecrãs do ambiente tutorial referentes à definição clássica de probabilidade.

A.6 Acontecimento independente

1

Professor: Agora que está percebida a Lei de Laplace, devo também mencionar o que significa um acontecimento independente.

2

Professor: Muito resumidamente, dois acontecimentos A e B dizem-se independentes se a ocorrência de um deles não afeta a probabilidade do outro acontecer.

3

Professor: Por exemplo, na *slot machine* mostrada acima, um número que sai no 1º retângulo é independente dos números que saírem no 2º e 3º retângulo.

4

Professor: Por enquanto, vamos nos focar no 1º retângulo...

5

Professor: Sabendo que temos um espaço amostral $S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ para cada um dos retângulos. Qual seria a probabilidade de sair o número 7 no 1º retângulo?

6

$S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
 A: "Sair 7 no 1º retângulo".
 $P(A) = \frac{1}{8}$

Professor: Fácil! Teríamos a probabilidade de $\frac{1}{8}$ de sair o número 7 no 1º retângulo.

7

$S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
 A: "Sair 7 no 1º retângulo".
 $P(A) = \frac{1}{8}$

Professor: Então qual seria a probabilidade de tirar o número 7 nos três retângulos?

8

$S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
 B: "Sair 7 no 2º retângulo".
 $P(B) = \frac{1}{8}$
 C: "Sair 7 no 3º retângulo".
 $P(C) = \frac{1}{8}$

Professor: Sabemos que a probabilidade de sair 7 no 1º retângulo é $\frac{1}{8}$. Logo a probabilidade de sair nos outros retângulos também é $\frac{1}{8}$.

9

$S = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
 B: "Sair 7 no 2º retângulo".
 $P(B) = \frac{1}{8}$
 C: "Sair 7 no 3º retângulo".
 $P(C) = \frac{1}{8}$

Professor: Dito isto, como ficaria a probabilidade de sair A e B? Ou seja, a $P(\text{Sair 7 no 1º retângulo e de sair 7 no 2º retângulo})$?

10

A: "Sair 7 no 1º retângulo".
 $P(A) = \frac{1}{8}$
 B: "Sair 7 no 2º retângulo".
 $P(B) = \frac{1}{8}$
 D: "Sair 7 no primeiro retângulo e no 2º retângulo".
 $P(D) = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$

Professor: Como são acontecimentos independentes, podemos dizer que:
 $P(\text{Sair 7 no 1º retângulo e de sair 7 no 2º retângulo}) = P(A) \times P(B)$

Figura 53: Ecrãs do ambiente tutorial referentes à explicação da definição de um acontecimento independente (parte 1).

11

A: "Sair 7 no 1º retângulo".
 $P(A) = \frac{1}{8}$
 B: "Sair 7 no 2º retângulo".
 $P(B) = \frac{1}{8}$
 D: "Sair 7 no primeiro retângulo e no 2º retângulo".
 $P(D) = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$

Professor:
 Como são acontecimentos independentes, podemos dizer que:
 $P(\text{"Sair 7 no 1º retângulo e de sair 7 no 2º retângulo"}) = P(A) \times P(B)$

12

A: "Sair 7 no 1º retângulo".
 $P(A) = \frac{1}{8}$
 B: "Sair 7 no 2º retângulo".
 $P(B) = \frac{1}{8}$
 D: "Sair 7 no primeiro retângulo e no 2º retângulo".
 $P(D) = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$

Professor:
 Como são acontecimentos independentes, podemos dizer que:
 $P(\text{"Sair 7 no 1º retângulo e de sair 7 no 2º retângulo"}) = P(A) \times P(B)$

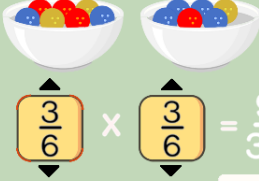
13

D: "Sair 7 no primeiro retângulo e no 2º retângulo".
 $P(D) = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$
 $P(\text{"Sair três setes"}) = P(A) \times P(B) \times P(C)$
 $= \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{512}$

Professor:
 Por fim, como o acontecimento C também é independente de A e B, temos então:
 $P(\text{"Sair três setes"}) = P(A) \times P(B) \times P(C)$
 $= \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8}$

14

Observa as duas taças apresentadas! Os dados de forma a obter a probabilidade de tirar as bolas de cor amarela de cada taça.

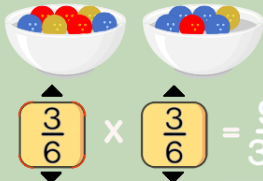


$\frac{3}{6} \times \frac{3}{6} = \frac{9}{36}$

CONTINUAR

15

Observa as duas taças apresentadas! Os dados de forma a obter a probabilidade de tirar as bolas de cor amarela de cada taça.



$\frac{3}{6} \times \frac{3}{6} = \frac{9}{36}$

CONTINUAR

Figura 54: Ecrãs do ambiente tutorial referentes à explicação da definição de um acontecimento independente (parte 2).

B Ecrã Final de Vitória e Derrota



Figura 55: Ecrã final de vitória (esquerda) e de derrota (direita).

C Formulário de análise de motivação IMI

Nome: _____

Leia cada frase e faça um círculo na escala de acordo com o que sente.

NOTA: Tarefa refere-se aos exercícios efetuados/participação no jogo.

1. Enquanto estava a fazer a tarefa, pensei no quanto estava a gostar de fazer a mesma.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

2. Não me senti nada nervoso enquanto realizei a tarefa.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

3. Senti que realizar a tarefa foi uma escolha minha.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

4. Penso que sou muito bom a realizar esta tarefa.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

5. Achei a tarefa muito interessante.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

6. Senti-me tenso a realizar a tarefa.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

7. Sinto que realizei bem a tarefa, comparando com outros alunos.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

8. Foi divertido realizar a tarefa.

1	2	3	4	5	6	7
Nada verdade			Um pouco verdadeiro			Muito Verdadeiro

9. Senti-me relaxado enquanto realizava a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

10. Gostei muito de realizar a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

11. Eu realmente não tive escolha senão realizar a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

12. Estou satisfeito com o meu desempenho nesta tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

13. Eu estava ansioso enquanto realizava a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

14. Achei a tarefa aborrecida.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

15. Senti que estava a fazer o que queria enquanto realizava a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

16. Senti-me bastante competente nesta tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

17. Achei a tarefa muito interessante.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

18. Senti-me pressionado enquanto realizava a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

19. Senti-me obrigado a realizar a tarefa.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

20. Descreveria a tarefa como uma experiência muito agradável.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

21. Fiz a tarefa porque não tinha escolha.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

22. Depois de trabalhar nesta tarefa durante algum tempo, sinto-me competente.

1 Nada verdade	2	3	4 Um pouco verdadeiro	5	6	7 Muito Verdadeiro
----------------------	---	---	-----------------------------	---	---	--------------------------

D Consentimento Informado de Participação no Estudo

Informação ao Participante de Investigação e Consentimento Informado

Título do Estudo: Utilização de um Loop Fechado de Biofeedback para Aumentar a Motivação Durante a Aprendizagem de Matemática

Investigador: Diogo Gaspar, Universidade da Madeira, Aluno de Mestrado em Engenharia Informática 926624530, 1diogogaspar@gmail.com

Orientadores: Prof. Doutor Pedro Campos; Prof. Doutora Vanessa Cesário
Instituto de Tecnologias Interativas (ITI/LARSyS), ARDITI (Agência Regional para o Desenvolvimento da Investigação, Tecnologia e Inovação)

Objetivo do Estudo

O objetivo principal desta investigação é testar um protótipo que permita a alunos do secundário aprender conteúdos de Matemática, mais especificamente, de Probabilidades, através de uma abordagem baseada em jogos, aumentando os níveis de motivação dos participantes.

Procedimento

O procedimento do estudo terá a seguinte forma:

- O aluno fará um pequeno teste de conhecimentos de matemática com a duração de 15 minutos;
- O participante irá realizar uma tarefa que pode ser digital ou analógica, e poderá ou não usar um EEG na sua cabeça para medir o nível de envolvimento com a tarefa – esta tarefa tem a duração máxima de 30min;
- O participante fará outro pequeno teste de conhecimentos de Matemática com a duração de 15 minutos.

Critérios de Inclusão

Será considerado elegível para participar neste estudo os alunos que estiverem a frequentar o ensino secundário e possuem conhecimentos básicos de informática na ótica do utilizador.

Riscos

O equipamento EEG não fornece nenhum risco nem desconforto para a vida do participante, apenas mede variações dos sinais elétricos criados pela atividade de grandes grupos de neurónios próximos da superfície do cérebro.

Benefícios

O benefício de participar neste estudo é dotar os participantes com competências de Matemática, mais concretamente do tópico de “Introdução às Probabilidades”.

Confidencialidade

A confidencialidade dos dados será mantida das seguintes formas: os seus dados serão guardados separadamente; esta declaração de consentimento estará mantida nas instalações da Universidade da Madeira e/ou ARDITI e não será divulgada a terceiros. Ao aceitar participar neste estudo, também aceita que a sua informação recolhida durante a experiência seja objeto de análise e de futuras publicações científicas. Para proteger a sua privacidade, ser-lhe-á atribuído um código e toda a informação recolhida sobre si será gravada através deste código, não contendo nunca o seu nome.

Autorização

Assinale com um X qual das afirmações autoriza:

Entendo que os investigadores podem querer usar fotografias e áudio por razões ilustrativas nas apresentações e publicações deste trabalho, para fins científicos ou educativos.

[] *Eu dou autorização para fazê-lo, desde que o **rosto do meu educando não** apareça.*

[] *Eu dou autorização para fazê-lo, desde que o **rosto do meu educando apareça**.*

Direitos

A sua participação é voluntária. Você é livre de interromper a sua participação em qualquer momento. A recusa em participar ou interrupção da participação não resultará em qualquer penalização, ou perda de eventuais benefícios ou direitos. O investigador principal poderá decidir, de forma fundamentada, interromper a sua participação neste estudo. Caso se verifique esta situação, esta não resultará em qualquer penalização, ou perda de eventuais benefícios ou direitos.

Esclarecimento de Dúvidas & Contactos

Se você tem dúvidas sobre este estudo, poderá fazer agora todas as perguntas. Se quiser fazer perguntas mais tarde, desejar obter mais informações, ou desejar interromper a sua participação no estudo, entre em contato com o Investigador principal em pessoa, por telefone ou e-mail. A informação de contato está disponível no início da primeira página deste documento.

Menores

Os menores (indivíduos com idade inferior a 18 anos) não podem legalmente dar o consentimento para participar em estudos de investigação. O consentimento deve ser dado pelo seu encarregado de educação.

Ao assinar este documento, você confirma que leu a informação acima descrita sobre este estudo, e que todas as suas perguntas foram respondidas. Você poderá também fazer perguntas adicionais a qualquer momento durante o estudo, e mesmo após este ter terminado. Ao assinar este documento, você concorda que o seu educando participe neste estudo de investigação.

ASSINATURA DO ENCARREGADO DE EDUCAÇÃO

DATA

NOME DO ALUNO

Investigador que Obtém o Consentimento

Como membro da equipa de investigação, confirmo que expliquei ao participante acima referido a natureza e finalidade deste estudo de investigação, e que esclareci quais os potenciais benefícios e eventuais riscos da participação no estudo. Todas as perguntas foram respondidas e estou disponível para esclarecer quaisquer dúvidas que possam surgir ao longo do estudo.

ASSINATURA DO INVESTIGADOR

DATA

E Prova de Verificação de Conhecimentos (Pré-teste)



PROJETO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
INFORMÁTICA

Introdução ao cálculo de probabilidades (15 min) [ANTES]

- Das seguintes experiências indique as que são aleatórias e as que são deterministas:

A : Colocar uma barra de ferro sobre uma chapa em brasa durante 5 minutos e verificar se aquece.

B : Lançar ao ar uma moeda com as duas faces iguais e observar a face que fica voltada para cima.

C : Medir o tempo de espera pelo autocarro.

D : Contar o número de acidentes de viação durante o fim-de-semana.
- Uma roleta está dividida em nove setores circulares, geometricamente iguais e numerados de 4 a 11. Admita que, quando a roleta para, após ter sido posta em movimento, a seta indica um setor e todos os setores têm igual probabilidade de ocorrer. Face à experiência que consiste em rodar a roleta e registar o número do setor indicado pela seta, considere os seguintes acontecimentos:

A : "Ocorre número múltiplo de 6."

B : "Ocorre número superior a 11."

C : "Ocorre número ímpar."

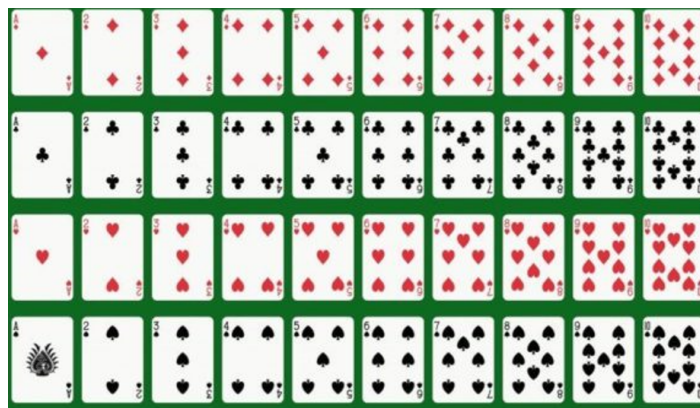
D : "Ocorre número não superior a 7. "

 - Indique:
 - o espaço de resultados;
 - um exemplo de um acontecimento composto;
 - um exemplo de um acontecimento impossível;
 - um exemplo de um acontecimento elementar;
 - um exemplo de um acontecimento certo.
 - Defina, em linguagem corrente, os acontecimentos:
 - $C \cap \bar{B}$
 - $\bar{C} \cup D$
 - Determine:
 - $C \cap \bar{D}$
 - $A \cup B$
- Num saco há sete bolas, quatro bolas azuis numeradas de 1 a 4 e três bolas verdes numeradas de 5 a 7, conforme sugerido na figura.



- (a) Considere a experiência que consiste em retirar aleatoriamente uma bola do saco e observar a cor.
- Indique o espaço amostral.
 - Os acontecimentos elementares são equiprováveis (acontecimentos com a mesma probabilidade de ocorrer)? Justifique.
- (b) Considere a experiência que consiste em retirar aleatoriamente uma bola do saco e observar o número nela registado.
- Indique o espaço amostral.
 - Mostre que os acontecimentos elementares são equiprováveis.
- (c) Considere a experiência que consiste em retirar aleatoriamente uma bola do saco e observar a cor e o número dessa bola. Sejam A e B os acontecimentos:
 A : "Sair bola verde."
 B : "Sair bola com número ímpar."
 Determine a probabilidade do acontecimento:
- \bar{A}
 - $A \cap B$
 - $A \cup \bar{B}$

4. De um baralho com 40 cartas, 10 de cada naipe, retirou-se uma carta ao acaso. Conforme é ilustrado na seguinte figura.



Determine a probabilidade de:

- sair rei;
- sair ás.

(conteúdo adaptado do livro Novo espaço Matemática A 12^o)

F Prova de Verificação de Aprendizagem (Pós-teste)PROJETO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
INFORMÁTICA**Introdução ao cálculo de probabilidades (15 min) [DEPOIS]**

1. Das seguintes experiências indique as que são aleatórias e as que são deterministas:
A : Colocar uma barra de ferro sobre uma chapa em brasa durante 5 minutos e verificar se aquece.
B : Lançar ao ar uma moeda com as duas faces iguais e observar a face que fica voltada para cima.
C : Medir o tempo de espera pelo autocarro.
D : Contar o número de acidentes de viação durante o fim-de-semana.
2. Considere a experiência aleatória que consiste em lançar um dado cúbico com as faces numeradas de 1 a 6, verificando a face que fica voltada para cima.



Considere os seguintes acontecimentos:

A : "Sair face com número superior ou igual a 6."

B : "Sair face com número múltiplo de 5."

C : "Sair face com número par."

- (a) Identifique o espaço de resultados.
 - (b) Determine o contrário dos acontecimentos *A*, *B* e *C*.
 - (c) Indique um exemplo de um acontecimento:
 - i. elementar;
 - ii. composto;
 - iii. impossível;
 - iv. certo.
3. Num saco há cinco bolas numeradas de 1 a 5 e indistinguíveis ao tato. As bolas com os números 2, 4 e 5 são azuis e as bolas 1 e 3 são amarelas.



Considere as experiências aleatórias:

I : Retirar uma bola ao acaso e observar a cor da bola retirada;

II : Retirar uma bola ao acaso e observar o número da bola retirada.

(a) Para cada uma das experiências indique:

- i. o espaço amostral;
- ii. os acontecimentos elementares.

(b) Em que experiência os acontecimentos elementares são equiprováveis (acontecimentos com a mesma probabilidade)? Justifique.

4. Num saco há oito bolas numeradas de 1 a 8, sendo cinco vermelhas e três pretas, como é sugerido na figura.



Uma bola é retirada do saco, ao acaso, e observa-se o número e a cor dessa bola. Sejam A e B os acontecimentos:

A : "Sair bola vermelha."

B : "Sair bola com número ímpar."

Indique os acontecimentos:

- (a) $\bar{A} \cup B$
- (b) $A \cap \bar{B}$
- (c) $B - A$

5. Num saco foram colocadas dez bolas numeradas de 1 a 10. Considere a experiência aleatória que consiste em retirar, ao acaso, uma bola e observar o seu número. Considere os acontecimentos:

A : "Sair número primo."

B : "Sair número par."

C : "Sair divisor de 6."

Represente na forma de conjunto:

- (a) $A \cup B$
- (b) $B \cap C$
- (c) \bar{C}

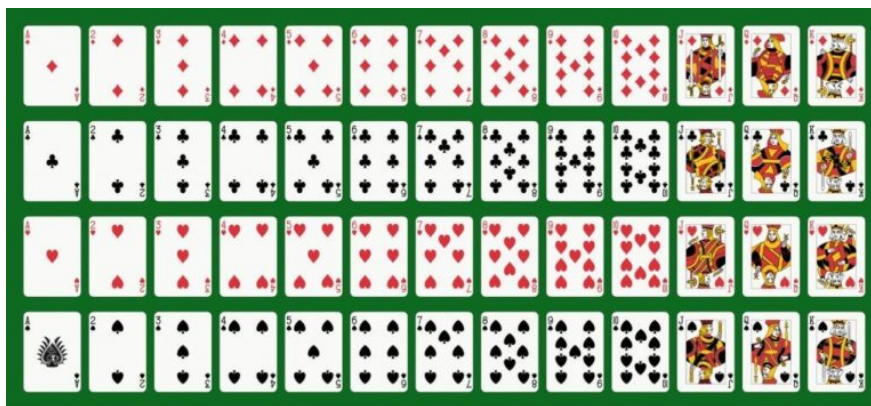
- (d) $A \setminus C$
(e) $C \setminus A$

6. Numa turma de 24 alunos, no ato de matrícula, todos tiveram de escolher uma das seguintes opções: Física ou Biologia. A distribuição dos alunos da turma pelas duas opções é apresentada na seguinte tabela em função do sexo.

	Física	Biologia
Rapazes	12	3
Raparigas	4	10

Considere a experiência aleatória que consiste em escolher, ao acaso, um aluno da turma e registar o sexo e a opção escolhida. Determine a probabilidade:

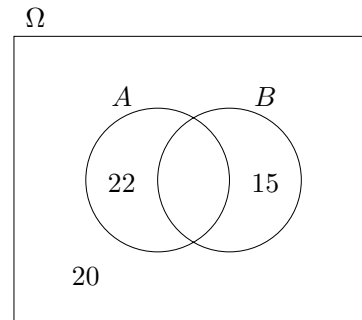
- (a) de um aluno ter escolhido Física.
(b) de ser rapariga e ter escolhido como opção Biologia.
7. Uma caixa contém dez fichas, duas delas numeradas com 1, três numeradas com 3, uma numerada com 5, uma numerada com 6, uma numerada com 8, duas numeradas com 9. Considere a experiência aleatória, que consiste em retirar, ao acaso, uma ficha da caixa e registar o número da ficha. Determine a probabilidade de o número da ficha que é retirada da caixa ser:
- (a) um múltiplo de 3;
(b) um número ímpar.
8. Retiram-se duas cartas ao acaso de um baralho com 52, sucessivamente e sem reposição. Determine a probabilidade de:



- (a) ambas serem reis (existem 4 reis no baralho);
(b) ambas serem copas (existem 13 copas no baralho).
9. Realizou-se um inquérito a 60 funcionários de uma empresa relativamente ao transporte público utilizado. Considerou-se os seguintes acontecimentos:
A : "Utilizam autocarro."

B : "Utilizam comboio."

Resumindo os resultados do inquérito no diagrama de Venn:



Escolhe-se, ao acaso, um dos 60 funcionários. Determine a probabilidade de o funcionário escolhido utilizar:

- (a) o comboio;
- (b) os dois transportes públicos;
- (c) apenas um transporte público.

(conteúdo adaptado do livro Novo espaço Matemática A 12^o)

G Conteúdo Utilizado na Aprendizagem Clássica

 UNIVERSIDADE da MADEIRA	PROJETO DE MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA
--	--

APRENDIZAGEM CLÁSSICA - Introdução ao cálculo de probabilidades (30 min)

Fundamento teórico

- Experiência aleatória

No dia a dia, lidamos com dois tipos de fenómenos: **fenómenos deterministas** e **fenómenos aleatórios**. Um sorteio como o da lotaria é um fenómeno cujo resultado é incerto. O seu resultado apenas é conhecido após a realização do sorteio: é um exemplo de um **fenómeno aleatório**. Os eclipses são fenómenos cuja ocorrência é possível determinar antes da sua realização. Para tal basta recorrer às leis da Física: é um exemplo de **fenómeno determinista**. À realização de um fenómeno, ou seja, ao processo que permite observar o resultado dá-se o nome de **experiência**, que pode ser determinista ou aleatória.

Experiência aleatória é uma experiência com as seguintes características:

- são conhecidos os resultados possíveis;
- não é possível prever (determinar) o resultado de cada uma das experiências;
- pode ser repetida em condições idênticas.

Exemplo:

Num saco foram introduzidas quatro bolas, todas com o número 5 e de cores distintas: uma azul, uma vermelha, uma amarela e uma verde. As bolas são indistinguíveis ao tato e retiram-se do saco, ao acaso, duas delas.



Antecipadamente,

- é possível conhecer a soma dos números das bolas que vão ser retiradas;
- não é possível conhecer as cores das bolas que vão ser retiradas.

- Conjunto de resultados

Conjunto de resultados ou espaço amostral de uma experiência aleatória é o conjunto de resultados possíveis que lhe está associado e representa-se habitualmente por S , E ou Ω .

Exemplo:

Considere a experiência aleatória que consiste em lançar um dado octaédrico com as faces numeradas de 1 a 8 e registar o número da face que fica voltada para baixo.



O espaço amostral Ω associado a esta experiência aleatória é:

$$\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

- Acontecimentos

Exemplo:

Admita que, na realização da experiência do exemplo anterior do octaedro, há interesse em observar se ocorre um dos seguintes acontecimentos:

A : "O número da face voltada para baixo é par."

B : "O número da face voltada para baixo é múltiplo de 5."

C : "O número da face voltada para baixo é múltiplo de 9."

D : "O número da face voltada para baixo é divisor de 840."

A cada um destes acontecimentos corresponde um subconjunto do espaço amostral. Assim, tem-se que:

$$A = \{2, 4, 6, 8\};$$

$$B = \{5\};$$

$$C = \{\};$$

$$D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

Dada uma experiência aleatória em que o espaço amostral é Ω , chama-se acontecimento a todo o subconjunto de Ω . Repare que:

- O acontecimento C é o conjunto vazio. Significa que o acontecimento C não pode ocorrer, ou seja, é um acontecimento impossível.
- O acontecimento D é igual ao espaço amostral. Significa que o acontecimento D ocorre sempre, ou seja, é um acontecimento certo.
- O acontecimento B é um conjunto que tem um e um só elemento do espaço amostral. Diz-se que é um acontecimento elementar.
- Os acontecimentos A e D são conjuntos com mais do que um elemento do espaço amostral. Dizem-se acontecimentos compostos.

- Operações com acontecimentos

- Acontecimento união (reunião):

A união dos acontecimentos A e B representa-se por $A \cup B$ (lê-se " A ou B ") e é o acontecimento que se realiza se e só se, pelo menos um dos acontecimentos A ou B se realizar.

- Acontecimento interseção:
A interseção dos acontecimentos A e C representa-se por $A \cap C$ (lê-se " A e C ") e é o acontecimento que se realiza se e só se A e C se realizam simultaneamente.
- Acontecimento complementar (ou contrário):
O acontecimento complementar (ou contrário) do acontecimento A representa-se por \bar{A} ou A^C e é o acontecimento que se realiza sempre que A não se realiza.
- Acontecimento diferença:
O acontecimento diferença entre A e C representa-se por $A - C$ (ou por $A \setminus C$), e é o acontecimento resultante quando A se realiza e C não se realiza.

Exemplo:

Considera-se os acontecimentos do exemplo anterior:

$$A = \{2, 4, 6, 8\};$$

$$B = \{5\};$$

$$C = \{\};$$

$$D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

A união dos acontecimentos A e B :

$$A \cup B = \{2, 4, 5, 6, 8\}.$$

A interseção dos acontecimentos A e D :

$$A \cap D = \{2, 4, 6, 8\}.$$

O acontecimento complementar do acontecimento B :

$$\bar{B} = \{1, 2, 3, 4, 6, 7, 8\}.$$

O acontecimento diferença entre D e A :

$$D - A = \{1, 3, 5, 7\}.$$

- Lei de Laplace

A regra ou Lei de Laplace é considerada a primeira definição de probabilidade de que há conhecimento. Daí ser conhecida por definição clássica. Considere-se uma experiência aleatória em que o espaço amostral Ω é constituído por n elementos, sendo equiprováveis os n acontecimentos elementares. Se um acontecimento A é constituído por m acontecimentos elementares, sendo $m \leq n$, a probabilidade de A é dada pelo quociente entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis, isto é:

$$P(A) = \frac{m}{n}$$

Exemplo:

Considere a experiência do exemplo anterior do octaedro com os seguintes acontecimentos:

A : "O número da face voltada para baixo é par."

B : "O número da face voltada para baixo é múltiplo de 5."

C : "O número da face voltada para baixo é múltiplo de 9."

D : "O número da face voltada para baixo é divisor de 840."

A cada um destes acontecimentos corresponde um subconjunto do espaço amostral:

$$A = \{2, 4, 6, 8\};$$

$$B = \{5\};$$

$$C = \{\};$$

$$D = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}.$$

A probabilidade de sair o número par na face voltada para baixo:

$$P(A) = \frac{4}{8}.$$

Qualquer um dos 8 números tem igual probabilidade de sair. Há 4 casos favoráveis em 8 possíveis. A probabilidade de sair um múltiplo de 5 na face voltada para baixo:

$$P(B) = \frac{1}{8}.$$

A probabilidade de sair um múltiplo de 9 na face voltada para baixo:

$$P(C) = \frac{1}{8}.$$

A probabilidade de sair um divisor de 840 na face voltada para baixo:

$$P(D) = \frac{8}{8} = 1.$$

- Acontecimentos independentes

Dois acontecimentos A e B , associados a uma experiência aleatória, são independentes se e só se:

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

Generalizando: Se A_1, A_2, \dots, A_n são n acontecimentos independentes, verifica-se:

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1) \times P(A_2) \times \dots \times P(A_n)$$

Exemplo:

Considere a experiência aleatória que consiste em lançar um dado octaédrico com as faces numeradas de 1 a 8 e registar o número da face que fica voltada para baixo. Se o dado for lançado duas vezes, a probabilidade de sair 2 no 1º e no 2º lançamento, dado que os acontecimentos são independentes. Sejam,

A : "Sair 2 no 1º lançamento.";

B : "Sair 2 no 2º lançamento.";

$$P(\text{"sair 2 no 1º e no 2º lançamento"}) = P(A \cap B) = P(A) \times P(B) = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$$

Se o dado for lançado três vezes, a probabilidade de sair 2 nos três lançamentos, dado que os acontecimentos são independentes:

$$P(\text{"sair 2 nos três lançamentos"}) = \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{512}$$

Perguntas

1. Das seguintes experiências indique as que são aleatórias e as que são deterministas:

A : Lançar ao ar uma moeda e observar a face que fica voltada para cima.

B : Observar a quantidade de água que é derramada quando se introduz um cubo com 3 cm de aresta dentro de um recipiente cheio de água.

C : Observar, numa localidade, a pluviosidade (quantidade de chuva) durante uma semana.

D : Num jogo de cartas, observar o número de ases distribuídos a um dos jogadores.

2. Na figura estão representadas seis fichas.



Existem duas fichas azuis com o número 50, duas amarelas com o número 25, uma vermelha com o número 10 e uma verde com o número 100. As seis fichas foram colocadas num saco. Indique o espaço de resultados associado a cada uma das seguintes experiências aleatórias:

(a) Retirar do saco uma ficha ao acaso e observar a cor.

(b) Retirar sucessivamente, sem reposição, duas fichas e calcular a soma dos números das fichas retiradas.

3. Na figura está representado um pião com quatro faces numeradas de 0 a 2.



Considere a experiência aleatória que consiste em jogar o pião duas vezes e calcular o produto dos números obtidos. Sejam os acontecimentos:

A : "O produto é um número ímpar."

B : "O produto é um número par."

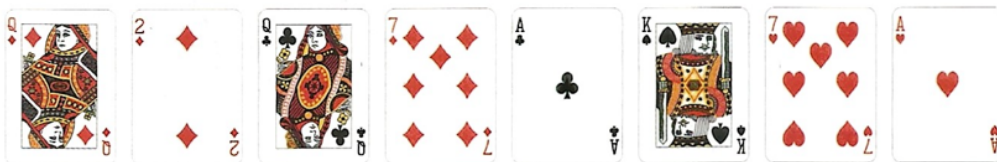
C : "O produto é um número primo."

D : "O produto é um múltiplo positivo de 5."

Indique um acontecimento:

- (a) Elementar;
- (b) Impossível;
- (c) Composto.

4. Apresenta-se oito cartas que são introduzidas num saco e baralhadas. Retira-se uma delas ao acaso, identificando-a e ao naipe a que pertence.



Sejam A , B e C os acontecimentos:

A : "Sair uma carta do naipe de ouros."

B : "Sair um ás."

C : "Sair uma figura."

Determine:

- (a) o conjunto $A - C$;
- (b) a probabilidade de B ;
- (c) a probabilidade de $A \cap C$.

5. Oito fichas numeradas de 1 a 8 e com as cores indicadas na figura, foram introduzidas num saco.



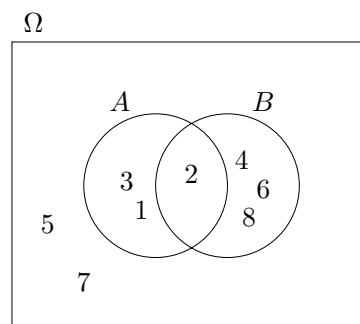
Retira-se uma ficha ao acaso e observa-se o seu número e cor.

Considera-se os seguintes acontecimentos:

A : "Sai ficha azul."

B : "Sai ficha com número par."

Resumindo estas probabilidades no diagrama de Venn, obtemos:



Determine o acontecimento:

(a) $A \cup B$

(b) $A \cap B$

(c) \bar{A}

6. O espaço de resultados de uma experiência aleatória é $\Omega = \{2, 5, 8, 9, 11, 15\}$. Sejam os acontecimentos:

$A : \{2, 5, 9\}$

$B : \{2, 5, 11, 15\}$

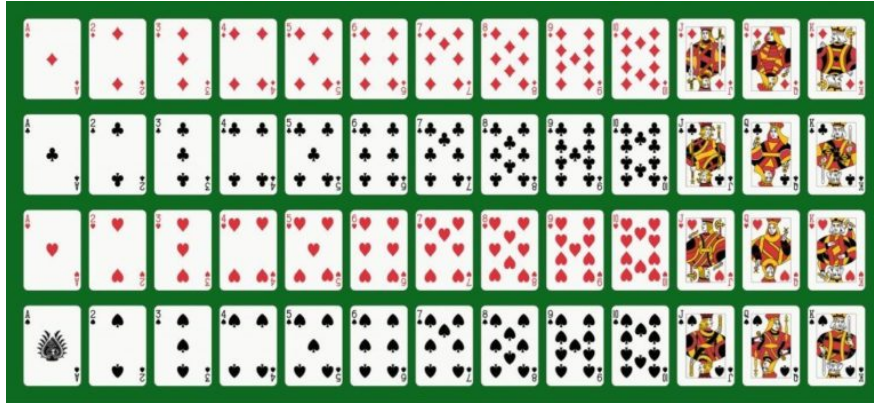
Representa, na forma de conjunto, o acontecimento:

(a) $A \cap B$

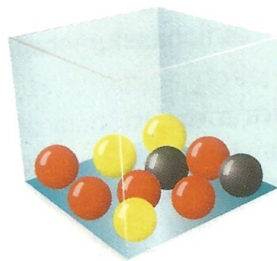
(b) \bar{A}

(c) $A \cup B$

7. Considere a seguinte experiência, de um baralho com 52 cartas é retirada uma ao acaso. Determine a probabilidade do acontecimento:



- (a) sair uma carta de copas (existem 13 copas no baralho);
 (b) sair uma carta que não seja de paus (existem 13 paus no baralho);
 (c) sair um rei (existem 4 reis no baralho).
8. Numa caixa há 10 bolas indistinguíveis ao tato, que diferem apenas na cor: 5 vermelhas, 3 amarelas e 2 pretas.



Considere a experiência aleatória que consiste em retirar, ao acaso, uma bola e observar a cor. Indique um acontecimento cuja probabilidade de ocorrer seja:

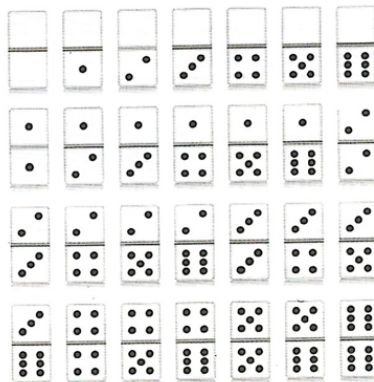
- (a) $\frac{5}{10}$
 (b) $\frac{2}{10}$
9. Num saco foram introduzidas 10 bolas numeradas, com números consecutivos, sendo 20 o menor. Retira-se ao acaso uma bola do saco. Qual é a probabilidade de se retirar uma bola com número ímpar?
10. O João lançou duas vezes uma moeda de 1 euro e registou, em cada lançamento, a face da moeda que ficou voltada para cima. Considere os seguintes acontecimentos:
E : "Sair face euro."
N : "Sair face nacional."



- (a) Identifique os espaço amostral desta experiência.
 (b) Determine a probabilidade de sair no dois lançamentos a face euro.
11. Numa *slot machine* é gerada aleatoriamente uma sequência de quatro algarismos, em cada jogada. Cada elemento da sequência pode tornar qualquer valor de 0 a 9.



- (a) Numa jogada quantos são os resultados possíveis?
 (b) O Carlos nasceu em 1996. Determine a probabilidade de, numa jogada, ocorrer a sequência 1996.
12. Considere o dominó constituído pelas 28 peças representadas na figura.



Depois de as peças terem sido baralhadas, retira-se uma ao acaso e observa-se a pontuação dessa peça. Sejam A e B os seguintes acontecimentos:

A : "Sair uma peça com 4 pontos em pelo menos um dos lados."

B : "A soma dos pontos da peça é 9."

Indique a $P(A)$ e $P(B)$.

Soluções

1. Experiências aleatórias: A, C e D.
Experiência determinista: B.
2. (a) $\Omega = \{\text{azul}, \text{amarela}, \text{vermelha}, \text{verde}\}$.
(b) $\Omega = \{35, 50, 60, 75, 100, 125, 150\}$.
3. (a) O acontecimento A.
(b) O acontecimento D.
(c) Por exemplo, o acontecimento B.
4. (a) $A - C = \{\text{dois de ouros}, \text{sete de ouros}\}$.
(b) $P(B) = \frac{2}{8}$.
(c) $P(A \cap C) = \frac{1}{8}$.
5. (a) $A \cup B = \{1, 2, 3, 4, 6, 8\}$.
(b) $A \cap B = \{2\}$.
(c) $\overline{B} = \{1, 3, 5, 7\}$.
6. (a) $A \cap B = \{2, 5\}$.
(b) $\overline{A} = \{8, 11, 15\}$.
(c) $A \cup B = \{2, 5, 9, 11, 15\}$.
7. (a) $\frac{13}{52}$.
(b) $\frac{39}{52}$.
(c) $\frac{4}{52}$.
8. (a) "Sair bola vermelha."
(b) "Sair bola preta."
9. $\frac{5}{10}$.
10. (a) $\Omega = \{EN, NE, EE, NN\}$.
(b) $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$.
11. (a) $10 \times 10 \times 10 \times 10$.
(b) $\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10}$.
12. $P(A) = \frac{7}{28}$ e $P(B) = \frac{2}{28}$.

(conteúdo adaptado do livro Novo espaço Matemática A 12^o)

H Gráficos de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento do GE2

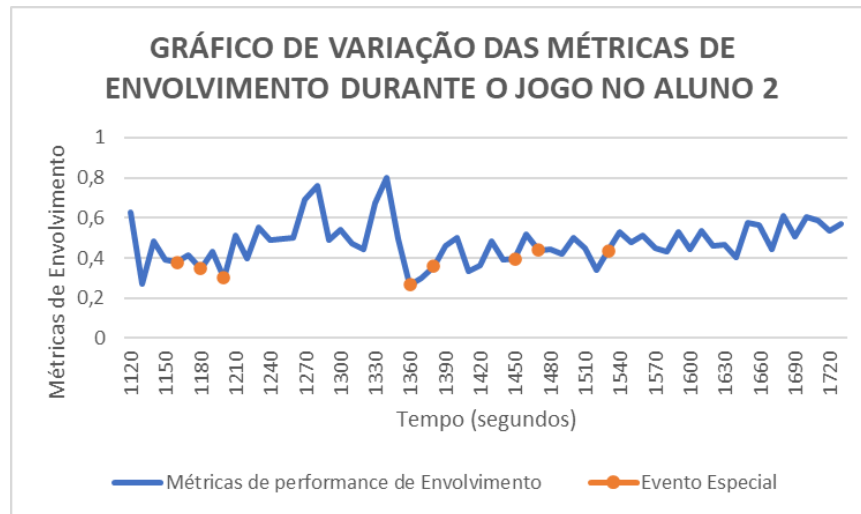


Figura 56: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 2.

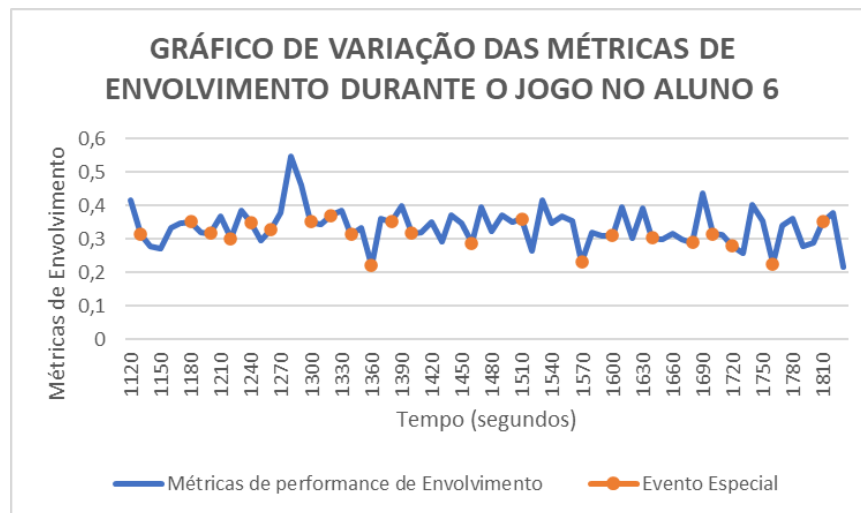


Figura 57: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 6.

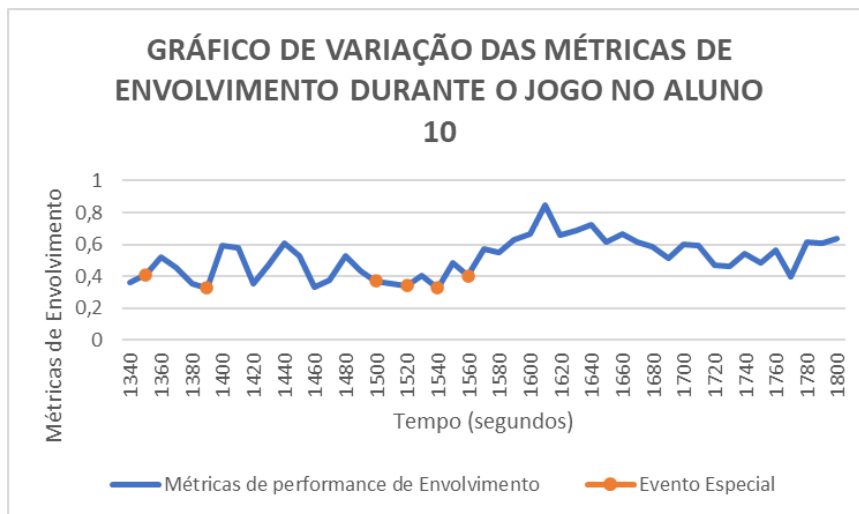


Figura 58: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 10.

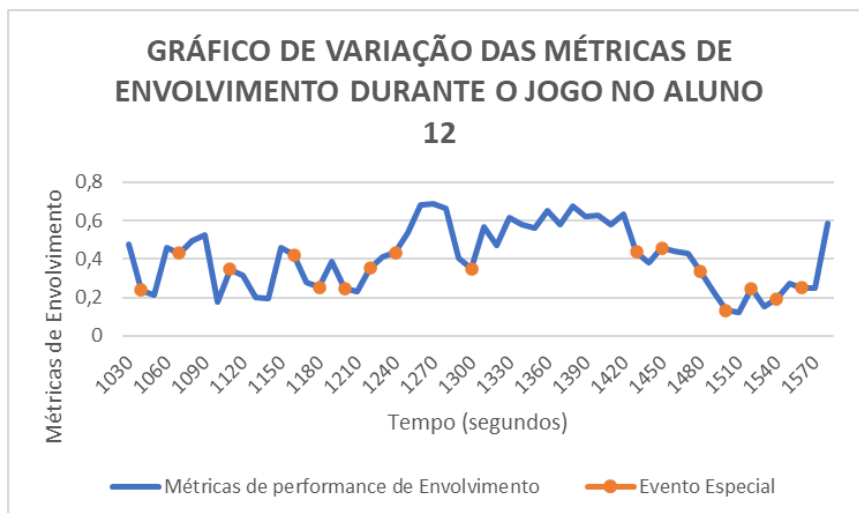


Figura 59: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 12.

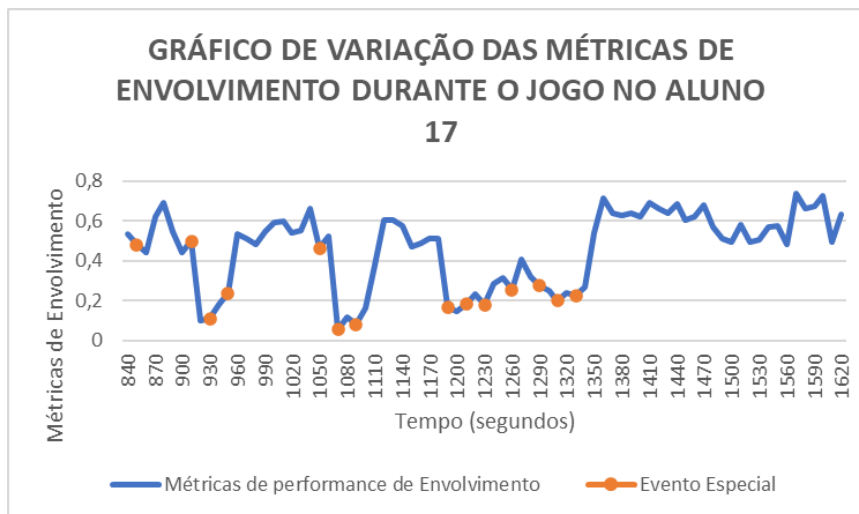


Figura 60: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 17.

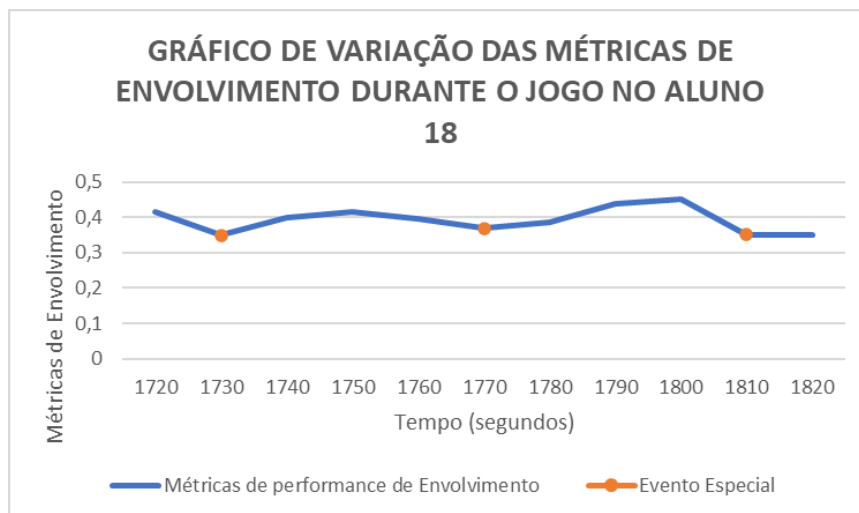


Figura 61: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 18.

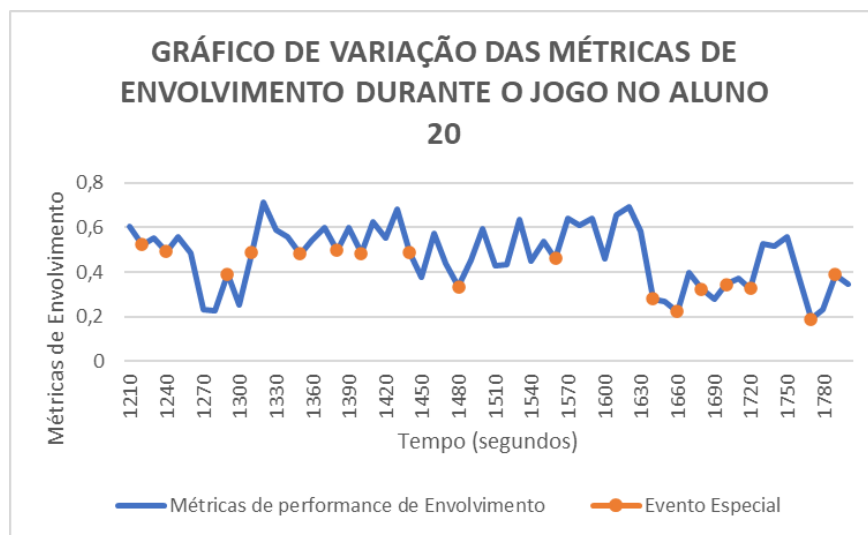


Figura 62: Gráfico de Variação das Métricas de Performance de Envolvimento Durante o Jogo para o Aluno 20.