



Frederico Diogo Carvalho Ferreira

Licenciado em Engenharia Informática

**“O Código Pitágoras”:
Um jogo educativo para alunos cegos e
amblíopes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática

Orientadora : Sofia Faria Cavaco, Prof.^a Auxiliar,
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Dr. Rodrigo Miragaia Rodrigues

Arguente: Dr. Pedro Faria Lopes

Vogal: Dr^a. Sofia Faria Cavaco



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2014

“O Código Pitágoras”:

Um jogo educativo para alunos cegos e amblíopes

Copyright © Frederico Diogo Carvalho Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora a Prof.^a Dr.^a Sofia Cavaco pelos seus esforços, motivação e orientação ao longo destes árduos meses. Agradeço também os conselhos e metodologias de trabalho que me transmitiu. Obrigado por acreditar em mim, no meu trabalho e por me dar a oportunidade de trabalhar consigo.

Dedico esta dissertação à minha família, por estar sempre ao meu lado para me apoiar e puxar para cima. E em especial à minha mulher e ao meu filho que suportaram a minha “ausência” mesmo quando eu estava presente.

Agradeço à escritora Mafalda Moutinho por me autorizar a utilizar e a adaptar a sua obra “A Mensagem Secreta de Lisboa”, para que esta se ajustasse às necessidades do jogo que eu idealizei e desenvolvi.

Um obrigado muito especial também ao Sr. Carlos Ferreira e às professoras Helena Maxieira e Joana Silvestre pelo apoio, ideias e conselhos ao longo do desenvolvimento e do período de validação do jogo “O Código Pitágoras”, bem como à minha estimada colega de trabalho Ema Fernandes por ter compilado todos os exercícios de Matemática que tinha disponíveis para eu poder utilizar no jogo.

E por último mas não menos importante, um obrigado a todos os alunos do 9º da Escola Romeu Correia e do Centro Helen Keller por terem aceite o desafio de testarem o jogo nos seus computadores, adicionando valiosas opiniões e *feedback* acerca do jogo.

Resumo

Devido à crescente popularização dos computadores pessoais, estes encontram-se fortemente enraizados na nossa vida quotidiana. Para muitas pessoas, em particular as mais jovens, o computador já se tornou uma ferramenta de trabalho, uma fonte de informação ou até uma forma de entretenimento indispensável ao seu dia-a-dia. Por estas razões os computadores oferecem-nos boas oportunidades de expansão em diversos contextos, nomeadamente no ensino escolar e na inclusão social.

Vários estudos afirmam que o uso de vídeo jogos na educação traria muitos benefícios ao processo de aprendizagem, pois permitiriam formas de ensino mais motivadoras e adaptáveis aos comportamentos sociais das crianças e jovens de hoje. No entanto há que ter diversos cuidados, caso contrário, corre-se o sério risco de tornar o jogo um motivo de desconcentração e não numa ferramenta de estudo. Para tal é importante encontrar métodos que façam a distinção entre os alunos que decoraram as soluções do jogo por jogarem frequentemente, dos que arriscam nas respostas sempre que jogam e dos alunos que vão adquirindo conhecimentos de cada vez que jogam, premiando estes últimos em detrimento dos dois primeiros.

A forte presença do computador no dia-a-dia torna-o também um importante veículo para a inclusão de pessoas com deficiências visuais. No entanto como a interacção com o computador é normalmente muito exigente a nível visual, se as aplicações não forem bem desenhadas podem aumentar a disparidade entre os utilizadores visuais e os utilizadores invisuais. Assim é fundamental perceber o impacto das diferenças individuais e a sua relação com as exigências das interfaces, sobretudo nos vídeo jogos onde a principal forma de *output* é visual. Isto permitirá o desenvolvimento de soluções de interacção adequadas aos utilizadores invisuais, conferindo-lhes assim uma melhor forma de inclusão.

Nesta dissertação desenvolveu-se um vídeo jogo educativo para a aprendizagem de matemática, adaptado para ser jogado por alunos cegos e amblíopes do 9º ano de escolaridade. O jogo reúne elementos apropriados para a idade dos jogadores, tal como a história de aventura/caça ao tesouro e personagens com quem se podem identificar, contribuindo para uma maior motivação dos alunos ao jogarem “O Código Pitágoras”. Apesar de se

tratar de um jogo acessível para jovens invisuais, este também pode ser jogado por alunos normovisuais devido à sua componente gráfica. Desta forma contribui-se para uma maior integração dos alunos cegos e amblíopes nas suas turmas e na sociedade em geral, permitindo-lhes em simultâneo acesso às mesmas oportunidades que os colegas normovisuais. Os principais objectivos a atingir são: que o jogo seja de facto uma ferramenta útil ao ensino; que todos os seus conteúdos jogáveis possam ser acedidos por crianças com deficiência visual e que o mesmo seja considerado pelos seus utilizadores como um vídeo jogo normal.

Palavras-chave: Jogos Educativos, Software para Cegos e Amblíopes, Aprendizagem Interactiva, Interface Auditiva

Abstract

Due to their growing popularity, personal computers are now firmly present in our everyday lives. For many people, particularly the younger ones, the computer has become a working tool, a source of information or even a form of entertainment essential to their daily needs. For these reasons computers offer us good opportunities to expand in several contexts, especially in school education and social inclusion.

Several studies claim that the use of video games in education would bring many benefits to the learning process as they would allow forms of learning which are more motivating and adaptable to the social behavior of children and young people today. However there are several precautions to take, otherwise we run the serious risk of making the game a matter of distraction and not a study tool. For this it is important to find methods that make a distinction between students who memorize the solutions of the game by playing often, those who risk the answers whenever they play and the students who acquire knowledge at every game play, rewarding the latter in detriment of the former two.

The strong presence of the computer in daily life also makes it an important vehicle for the inclusion of people with visual impairments. However since computer interaction is usually very demanding at visual level, if the applications are not well designed they may increase the disparity between visual users and blind users. So it is essential to understand the impact of individual differences and their relationship to the requirements of the interfaces, especially in video games where the main form of output is visual. This will allow the development of appropriate interaction solutions for blind users, thereby giving them a better way of inclusion.

This dissertation proposes an educational video game for learning mathematics, “O Código Pitágoras”, which is adapted to be played by blind and visually impaired students from the 9th grade of the portuguese educational system. The game combines age-appropriate elements, such as a story of adventure/treasure hunt and characters to whom the students may identify with, contributing to greater motivation of students to play “O Código Pitágoras”. Although this is an accessible game for blind youngsters, it

includes a graphical component to motivate sighted students to play. Thus it makes for a greater integration of blind and visually impaired students in their classes and on society in general, while allowing them to simultaneously have the same opportunities as their sighted colleagues. The main objectives are: that the game is in fact a useful teaching tool, that all their playable contents can be accessed by visually impaired children and that it is considered by its users as a regular video game.

Keywords: Educational Games, Software for Blind and Visual Impaired, Interactive Learning, Auditory Interface

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Descrição do Problema	4
1.2	Objetivos e Contribuições da Dissertação	5
2	Trabalho Relacionado	7
2.1	Acessibilidade em Software para Cegos e Amblíopes	7
2.1.1	Navegação com Coordenadas Polares	8
2.1.2	Som Localizável em 3D	10
2.1.3	Ecrãs Tácteis	11
2.1.4	Mapeamento de Imagens em Som	13
3	Desenvolvimento de Jogos	15
3.1	Processo de Desenvolvimento	15
3.2	Avaliação de Jogos Educativos	18
4	O Código Pitágoras	21
4.1	Descrição do Jogo	21
4.2	Acessibilidade do jogo para Cegos e Amblíopes	24
4.3	Modo Aprendizagem	26
4.4	Modo Aventura	30
4.5	Modo História	31
5	Informação Técnica	33
5.1	Frameworks e Ambientes de Desenvolvimento	33
5.2	Motor de Jogo	35
5.2.1	O Caminho Mais Curto	35
5.2.2	Gestão dos Múltiplos Ecrãs	36
5.2.3	Acessibilidade Sonora	37
5.2.4	Gestão dos Modos de Jogo	39

6	Validação em Escolas de Ensino Inclusivo	41
7	Conclusões e Trabalho Futuro	47
A	Heurísticas de Usabilidade	55
B	História do jogo “O Código Pitágoras”	59
C	Ficheiro de gravação do jogo “O Código Pitágoras”	67
D	Ficheiros de Conteúdos do Jogo	73

Lista de Figuras

1.1	Níveis de capacidade visual baseados na acuidade visual	4
2.1	Interface gráfica da aplicação NavMol ²	9
2.2	Renderização 3D em tempo real nos modos Normal e Alto Contraste . . .	10
2.3	<i>Layout</i> da aplicação BrailleTouch e posicionamento dos dedos	12
3.1	Ciclo de desenvolvimento do jogo “O Código Pitágoras”	16
3.2	Diferenças entre as versões <i>alfa</i> e <i>beta</i> do jogo Starcraft	17
4.1	Fluxo dos modos do jogo	22
4.2	Gráfico da função de pontuação	23
4.3	Cenários dos jogos The Legend of Zelda e Pokémon Emerald	24
4.4	Cenários do jogo “O Código Pitágoras”	25
4.5	Exemplos de perguntas para cada matéria abordada no jogo	26
4.6	Exemplos de perguntas utilizadas no jogo	27
4.7	Exemplo de ecrã no modo aprendizagem	28
4.8	Exemplos de ecrãs com pergunta e com <i>feedback</i>	29
4.9	Exemplo de cenário no modo aventura	30
4.10	Exemplos de ecrãs no modo história	31
5.1	Mapa preenchido com os custos calculados pelo algoritmo <i>Flood Fill</i>	36
5.2	Exemplos dos ecrãs utilizados no jogo	37
5.3	Gráfico da função de volume	38
6.1	Resultados médios das fichas dos alunos cegos e amblíopes	43
6.2	Resultados médios das fichas dos três grupos	44
6.3	Variação nas médias de respostas certas por matéria	45

Lista de Tabelas

5.1	Comparação entre as soluções de desenvolvimento estudadas	35
A.1	Tabela de heurísticas de usabilidade de Nielsen	55
A.1	Tabela de heurísticas de usabilidade de Nielsen (continuação)	56
A.2	Tabela de heurísticas de usabilidade de aplicações para crianças	56
A.3	Tabela de heurísticas de usabilidade de aplicações de <i>e-learning</i>	57
B.1	<i>Storyboard</i> do jogo “O Código Pitágoras”	60

Listagens

C.1	Excerto de um ficheiro de gravação do jogo “O Código Pitágoras”	67
D.1	Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo <i>mapa</i>	73
D.2	Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo <i>história</i>	74
D.3	Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo <i>problemas</i>	75



Introdução

Actualmente o acesso às novas tecnologias por parte das crianças e jovens é muito facilitado, pelo que as gerações mais recentes têm um ritmo de aprendizagem e de interacção surpreendentemente rápido. No entanto verifica-se regularmente que essa desenvoltura se direcciona apenas para o uso dos computadores como distração e não como ferramenta de aprendizagem. Por outro lado, tanto as crianças que iniciam a sua vida estudantil como os jovens que a terminam, vêem-se frequentemente perante modos de aprendizagem pouco apelativos. Estes pressupõem um trabalho mais individual e menos interactivo. Assim através do uso de ferramentas interactivas e motivadoras, podemos canalizar o gosto dos jovens pela informática e aplicá-lo no auxílio à pedagogia.

Os jogos de vídeo são hoje em dia uma das diversões mais procuradas por crianças e jovens. Existem incontáveis jogos de vídeo de diversos géneros (plataformas, corridas, aventura, *beat'em up*, *shot'em up*, etc.), para diversas idades e com as histórias mais variadas. Alguns vídeo jogos têm um propósito que vai muito além do entretenimento. Estes são designados por “jogos sérios” e dão a oportunidade de aprender, mesmo em situações que não poderiam ser recriadas devido a diversos factores, entre os quais o risco que essas situações apresentam [WW13]. Como exemplos temos: jogos educativos, jogos para a saúde, jogos para a política e mudança social.

Felizmente, durante os últimos anos, a habitual conversa sobre jogos de vídeo tem vindo a mudar e a tendência é abandonar progressivamente o preconceito dos jogos como um vício para adolescentes. Diversos estudos, como por exemplo [MSM11], verificaram que os jogos electrónicos podem ter um impacto positivo no rendimento escolar dos alunos, e corroboram a ideia de se utilizarem vídeo jogos no ensino. Rapidamente se compreende que é necessário adaptar o ensino aos comportamentos actuais dos jovens e ensinar os mesmos a usar correctamente o computador como ferramenta de estudo.

Existem diversos conceitos cuja compreensão é muito importante para o desenvolvimento de jogos educativos, motivadores e pedagogicamente eficazes. Alguns dos exemplos mais influentes são: a capacidade de aprendizagem, a diversão e os níveis cognitivos e emocionais das crianças e jovens. As dificuldades inerentes a estes factores são os principais entraves ao desenvolvimento e aparecimento de mais e melhores jogos na educação. Assim os jogos educativos, necessitam aliar aos bons conteúdos lectivos, experiências pedagógicas enriquecedoras e um excelente *game design*.

Hoje em dia, existe uma grande variedade de *software* educativo ao alcance das pessoas, temos por exemplo as enciclopédias electrónicas, os CD-ROM de exercícios que por vezes acompanham os manuais escolares ou diversos jogos didácticos online. Mas de todos, são os jogos os que proporcionam as formas mais divertidas e abrangentes de colaboração e interacção. Os jogos educativos tornam o processo de aprendizagem mais envolvente e cativante para os alunos. Contribuindo assim para um aumento da motivação e empenho dos estudantes, bem como na aquisição de diversas competências (*soft-skills*) para além dos conhecimentos escolares. Há no entanto diversos aspectos que necessitam de ser melhorados nos jogos educativos actuais. Nomeadamente na forma como cativam os alunos, através do uso de histórias interessantes, gráficos coloridos, *badges* e *achievements*, bem como na forma como ensinam, com desafios estimulantes, tutores virtuais e reforço positivo. Os jogos educativos devem ser cativantes ou motivadores o suficiente para garantir uma utilização repetida adequada à aprendizagem.

A maioria do *software* educativo disponível está desenhado para crianças e jovens normovisuais. No entanto é também desejável que crianças e jovens invisuais possam ter acesso a estas tecnologias. O método de ensino de crianças com necessidades especiais em escolas de ensino inclusivo realça a necessidade de aplicar as novas tecnologias no auxílio das crianças invisuais. A grande maioria dos jogos educativos não pode ser jogada por cegos pois a sua principal forma de *output* é visual. O problema é ainda mais acentuado uma vez que devido à sua incapacidade as crianças cegas e amblíopes apresentam mais limitações na utilização do computador.

Ainda assim é possível afirmar que os computadores e a Internet trazem um imenso potencial para os utilizadores cegos e amblíopes. Os meios informáticos permitem uma troca de informação rápida, num formato acessível quer aos normovisuais quer aos invisuais, algo que nem sempre é conseguido pela escrita em braille ou normal [MMNMR08]. O uso de *software* adaptado às suas limitações também permite aos invisuais terem acesso mais alargado a vários conteúdos electrónicos que de outra forma seriam difíceis de obter. Este facto contribui para que estes indivíduos tenham uma maior integração na sociedade, bem como uma maior independência na vida académica e profissional.

Como ferramenta de ensino, o computador permite ainda o desenvolvimento de outras faculdades: a capacidade de raciocínio (capacidade de avaliar mentalmente os problemas e dar opinião própria), a memória (ser capaz de rapidamente readquirir conceitos mentais) e o reconhecimento do ambiente envolvente (reconhecer através do som ou toque a sua origem), muito importantes para indivíduos cegos ou amblíopes. No entanto

a grande maioria do *software* existente não está devidamente adaptado às necessidades das crianças invisuais. Aquele que existe é por vezes de difícil acesso, quer devido aos elevados custos de aquisição, quer por terem complexos processos de instalação e configuração. Assim sendo a utilização do computador nas aulas, por parte dos estudantes invisuais, está ligada ao uso do *software* de leitura de ecrã, para acompanhamento auditivo dos manuais escolares e resolução de exercícios. Este *software* nem sempre é o mais adequado, uma vez que pode apresentar interferências no som, tons de voz monocórdicos e/ou limitações de idiomas.

Tal como Michael Masser e Linda Creed escreveram numa letra imortalizada em canção por Whitney Houston, "*I believe the children are our future, teach them well and let them lead the way*", traduzindo: eu acredito que as crianças são o nosso futuro, ensinem-nas bem e deixem-nas liderar o caminho. Por essa razão considero que é muito importante dar a todas as crianças e jovens os meios necessários para que sejam bem-sucedidos na vida. Como pai e estudante sei a importância da educação, assim a pensar no meu filho e em todas as crianças desejo contribuir activamente para um melhor ensino. Uma vez que as crianças gastam muito do seu tempo a jogar, porque não utilizar esse tempo para através de um jogo cativante lhes transmitir conhecimentos?

Por estas razões concluí ser realmente essencial desenvolver *software* específico para o ensino, incorporando meios que cativem os alunos ao mesmo tempo que lhes transmitam conhecimento. É também fundamental que esse *software* seja o mais abrangente possível ao nível dos seus utilizadores. Promovendo assim a colaboração e entajuda ou criando formas de competição saudável entre os diversos alunos. Isto levará a uma melhor integração dos alunos cegos e amblíopes nas respectivas turmas de ensino inclusivo. Nesta dissertação pretende-se assim desenvolver um jogo de computador para crianças cegas, que reúna características que o tornem num jogo educativo motivador, integrador e cativante [FC14].

Esta dissertação de mestrado, encontra-se dividida em 7 capítulos. Neste primeiro capítulo é feita a introdução do tema da dissertação, e nas secções seguintes, iremos descrever o problema apresentado, bem como as principais contribuições e objectivos deste trabalho. O capítulo 2 discute o trabalho relacionado, aí são descritos alguns dos trabalhos já realizados na área do *software* para cegos e amblíopes. Esta discussão permite identificar os componentes necessários para o desenvolvimento de um jogo educativo que vai ao encontro dos objectivos propostos. No capítulo 3, é explicado o processo de desenvolvimento de um jogo e as principais diferenças em relação ao processo de desenvolvimento de outros tipos de *software*. São também descritos métodos de avaliação de jogos educativos a diversos níveis. O capítulo 4 descreve o jogo proposto, "*O Código Pitágoras*", e discute as suas principais características e a importância destas no contexto da dissertação. No capítulo 5, são identificadas as *frameworks* e ambientes de desenvolvimento de jogos de vídeo, bem como as principais componentes do jogo. No capítulo 6 é descrito o processo de validação do jogo e as metodologias utilizadas para a sua adaptação em escolas de ensino inclusivo. O capítulo 7 apresenta as conclusões e descreve

algum do trabalho a realizar futuramente.

1.1 Descrição do Problema

O principal objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um jogo de vídeo educacional especialmente desenhado para alunos cegos e amblíopes, mas que também possa ser jogado por alunos normovisuais. Tal facto irá contribuir para a integração dos alunos cegos e amblíopes nas respectivas turmas de ensino inclusivo através da colaboração entre colegas. O jogo poderá ser utilizado como ferramenta de ensino, método de estudo (individual ou em grupo) ou como elemento de avaliação de conhecimentos, possibilitando assim uma forma de aprendizagem mais apelativa e motivadora para todos. Para tal é necessário garantir que o jogo de vídeo esteja adaptado ao currículo lectivo dos alunos e às limitações dos utilizadores alvo.

O desempenho da funcionalidade visual é habitualmente medido através de dois parâmetros: a acuidade visual (capacidade de focar nitidamente os objectos) e o campo visual (capacidade de ver os objectos sem olhar directamente para eles) [MMNMR08]. A Organização Mundial de Saúde dividiu a capacidade visual humana em diversos níveis, baseados no grau de acuidade visual. Na figura 1.1 podem observar-se os principais níveis de visão e os graus de acuidade visual a que correspondem. Num tom amarelo claro, pode verificar-se que para graus de acuidade visual superior a 0,3 os indivíduos são considerados normovisuais, isto é, sem problemas de visão. Abaixo desse patamar mas para acuidades visuais ainda superiores a 0,05, considera-se que a pessoa é amblíope. A amblíopia está depois subdividida em dois patamares: a amblíopia moderada, representada no gráfico com um tom amarelo escuro e a amblíopia severa a cor de laranja. Um indivíduo é considerado legalmente cego, quando a sua acuidade visual está abaixo dos 0,05 graus (representado no gráfico pela cor vermelha).

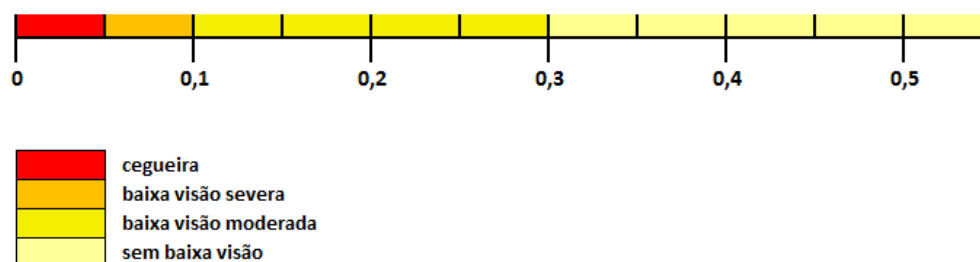


Figura 1.1: Níveis de capacidade visual baseados na acuidade visual

Após entrevistar duas professoras do ensino básico especial, ambas concluíram que os alunos do 3º ciclo seriam aqueles com maior grau de proficiência no uso dos computadores. Evidenciaram também que era nas turmas do 9º ano de escolaridade onde havia um maior número de alunos cegos e amblíopes nesse ano lectivo. Por estas duas razões e

dada a necessidade de validar o jogo “O Código Pitágoras” junto desses alunos, optou-se então por centrar esforços no desenvolvimento de um jogo educativo adequado às idades entre os 14 e os 15 anos.

Dessas entrevistas, surgiu também a ideia que o jogo teria uma maior utilidade se aplicado à disciplina de Matemática, onde grande percentagem dos alunos sente mais dificuldades. É de referir que “*o envolvimento emocional dos jogadores de jogos sérios garante uma maior intensidade ao efeito de aprendizagem*” [WW13]. Assim apesar de emocionalmente haver uma aversão à disciplina, o uso de um jogo de computador poderá motivar os alunos, inculcando-lhes o gosto pela Matemática. Assim, em conjunto com as professoras e dado o período de validação do jogo, por parte dos alunos coincidir com o 2º período lectivo, optou-se por incluir apenas as matérias abordadas pela disciplina de Matemática no 1º período (probabilidades, proporcionalidade e funções).

O jogo proposto, está adaptado de forma a poder ser jogado quer se possua ou não visão, para tal, a principal forma de *output* é feita através do som. No entanto devido às limitações dos programas de leitura de ecrã descritas anteriormente, optou-se por não utilizar este tipo de *software* na interacção do jogador com o jogo. Desta forma, o jogo, “O Código Pitágoras, dá *output* aos seus utilizadores recorrendo a ficheiros de áudio pré-gravados. Também a componente gráfica está correctamente adaptada à capacidade visual dos utilizadores com baixa visão. Para tal são utilizados gráficos com cores de elevado contraste e sem pormenores complexos, dando destaque às personagens em relação aos cenários. Estão também implementadas ajudas específicas que facilitam as crianças cegas e amblíopes a cumprir os objectivos do jogo.

1.2 Objetivos e Contribuições da Dissertação

Como referido anteriormente, o principal objectivo desta dissertação é o desenvolvimento de um jogo de vídeo educativo, cujos utilizadores alvo são alunos cegos ou amblíopes. Este jogo deverá ser para estes alunos uma ferramenta de estudo perfeitamente adaptada às suas limitações, que lhes permita aprender e que os ajude na sua integração social. O jogo também servirá para demonstrar que, quando bem pensado e desenhado, um jogo educativo pode ser uma grande mais-valia nas aulas, por se tratar de um método de ensino mais atractivo, menos formal e que pode melhorar a relação professor/aluno. Também será para os professores uma ferramenta computacional de auxílio em tarefas de ensino ou de avaliação de conhecimentos em determinadas matérias curriculares.

Outros objectivos desta dissertação são: permitir que o jogo guarde o perfil de cada jogador, mantendo um historial das perguntas a que este respondeu ao longo de uma sessão de jogo e os seus resultados. Tal facto, deverá possibilitar os professores fazerem revisões individuais ou em grupo das matérias onde os alunos demonstrarem maiores dificuldades. Um último objectivo é a avaliar o nível de utilidade do jogo como ferramenta de ensino, mas também o seu nível de usabilidade como jogo de computador para alunos cegos e amblíopes e professores ligados ao ensino especial.



Trabalho Relacionado

O jogo de computador desenvolvido no âmbito desta dissertação, enquadra o seu domínio de investigação em dois focos principais: o *software* educativo e o *software* para invisuais. A área do *software* para invisuais engloba diversos tipos de aplicações e programas de computador. Na secção 2.1 são discutidas algumas das formas de interacção pessoa/máquina mais inovadoras e que constituem a *state-of-the-art* em mecanismos de acessibilidade em *software* para cegos e amblíopes.

2.1 Acessibilidade em Software para Cegos e Amblíopes

Poder-se-ia imaginar que sem o sentido da visão, o uso de computadores seria impossível. No entanto, verifica-se que um elevado número de pessoas cegas e amblíopes utilizam o computador sem grandes dificuldades, graças ao recurso a *software* adaptado especialmente para elas. Ainda assim é expectável que a curva de aprendizagem destas pessoas seja mais lenta quando comparada com indivíduos normovisuais, mesmo recorrendo a programas e aplicações com mecanismos de acessibilidade. Nesta secção irão ser exploradas alguns desses mecanismos, que existem para tornar os computadores e as novas tecnologias em ferramentas acessíveis a cada vez mais utilizadores, independentemente das suas limitações.

A maioria do *software* existente não foi desenvolvido a pensar nos utilizadores cegos. Um dos melhores exemplos é na indústria dos vídeo jogos onde a grande maioria dos títulos existentes depende obrigatoriamente do uso da visão para jogar, sendo o som apenas um complemento ou uma forma de embelezamento. Todavia, devido ao esforço de um número significativo de indivíduos e entidades, é possível encontrar diversas aplicações e ferramentas informáticas desenvolvidas especialmente para cegos e amblíopes.

O sistema operativo Dosvox, por exemplo, foi desenvolvido pelo núcleo de computação electrónica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e é capaz de interagir com o utilizador através de um sistema de voz sintetizada embutido [Bor96]. Permite que pessoas cegas ou amblíopes sejam capazes de utilizar o computador de forma autónoma, adquirindo assim um elevado nível de independência tanto nos estudos como no trabalho. O MOVA3D é um jogo que utiliza som 3D, e que pretende ajudar crianças cegas e amblíopes a melhorarem a sua mobilidade, através de um controlador háptico especial que utiliza as 12 horas do relógio como forma de orientação e navegação [SSG09]. O projecto TIM conjuga hardware específico (“*Concept Keyboard*”) com uma linguagem de *scripting* própria (“*TIM language*”) de forma a tornar acessíveis aos cegos e amblíopes, os jogos educativos já existentes [AB00]. Finalmente vale a pena referir também o VoiceOver, um *software* desenvolvido pela Apple Inc. e que permite aos invisuais interagirem com o seu Macintosh ou dispositivo móvel com iOS¹ utilizando controlos de voz, bem como receber *feedback* através de uma voz sintetizada bastante natural [SSPWIS13].

Seguidamente serão apresentados em mais detalhe alguns dos mecanismos de acessibilidade utilizados para tornar as aplicações acessíveis, bem como exemplos de jogos e aplicações que os utilizam, e que exemplificam diversas formas de interacção para os utilizadores cegos e amblíopes.

2.1.1 Navegação com Coordenadas Polares

Numa aplicação para cegos e amblíopes, que envolva alguma forma de navegação, é muito importante definir com cuidado o sistema de coordenadas a utilizar. Um dos sistemas vulgarmente utilizados pelas pessoas cegas nas suas tarefas diárias para saberem onde os objectos se encontram à sua volta é o sistema dos ponteiros do relógio, isto é, um sistema de coordenadas polares em que os ângulos são descritos através da posição do ponteiro das horas. Assim podem por exemplo dizer que numa sala têm às 12 horas (imediatamente em frente) uma janela, às 3 horas (direita) a mesa de jantar e uma cristaleira, às 9 horas (esquerda) o sofá e a televisão, sendo que às 6 horas (atrás) ficará a porta da sala.

O programa NavMol foi desenhado de forma a permitir aos utilizadores cegos navegar e editar representações bidimensionais de estruturas moleculares, bem como, de interpretar a sua utilização em diversas reacções químicas [FPBMSL13]. De forma a obter uma aplicação de elevada qualidade e relevância para os utilizadores cegos e amblíopes, esta aplicação foi continuamente testada por um grupo de utilizadores invisuais durante todo o processo de desenvolvimento. Esta participação permitiu uma rápida correcção dos erros detectados, inclusão de funcionalidades propostas pelos utilizadores, bem como de melhorar algumas das já existentes no *software*.

Recorrendo a um sintetizador de voz embutido, a aplicação transmite as informações necessárias aos seus utilizadores através de voz, bem como textualmente. Na figura 2.1

¹Sistema operativo para dispositivos móveis desenvolvido e distribuído pela Apple Inc.

pode ver-se a representação de uma molécula no NavMol. O átomo actualmente seleccionado pelo utilizador encontra-se assinalado por um círculo azul e as posições relativas de todos os seus átomos vizinhos e respectivas ligações são transmitidas por voz utilizando a posição do ponteiro das horas num relógio. Utilizando as teclas de navegação, o utilizador tem a possibilidade de se deslocar entre átomos vizinhos. Após a navegação para um novo átomo ser feita, a aplicação fornece as respectivas informações sobre o novo átomo. Os utilizadores invisuais podem assim explorar uma molécula e ouvir as informações fornecidas pela aplicação. Esta navegação permite aos utilizadores cegos e amblíopes visualizarem as moléculas no espaço, isto é, construírem uma imagem mental da molécula.

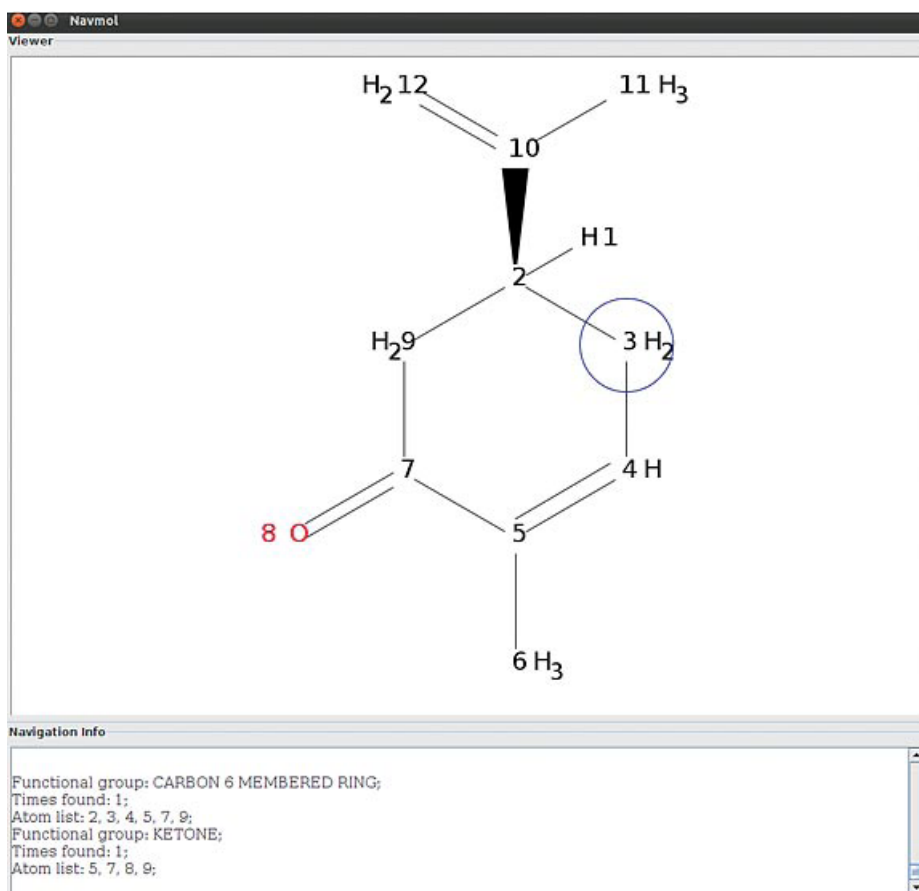


Figura 2.1: Interface gráfica da aplicação NavMol²

As ajudas auditivas à navegação em ambientes virtuais são muito importantes para utilizadores com necessidades especiais. O uso de dicas (*smart hints*), como no caso desta aplicação, tornam-se imprescindíveis para um correcto uso do *software*. Do ponto de vista educacional estas ajudas são também uma forma prática de atingir os objectivos de aprendizagem propostos, pois recorrem a metodologias que são intuitivas para os utilizadores invisuais.

²Imagem retirada de [FPBMSL13]

2.1.2 Som Localizável em 3D

Nos vídeo jogos o som é muitas vezes utilizado apenas como complemento ao ambiente gráfico, sendo limitado a *soundtracks* ou pequenos efeitos sonoros, como os utilizados por exemplo em: disparos das armas, explosões ou o motor dos automóveis. No entanto o som localizável em 3D é uma forma muito útil para dar mais envolvimento ao ambiente de um jogo, tornando-o uma experiência mais completa para o jogador. Nos casos dos cegos ou amblíopes, o som 3D pode mesmo ser a característica fundamental, capaz de tornar o jogo acessível a estes utilizadores.

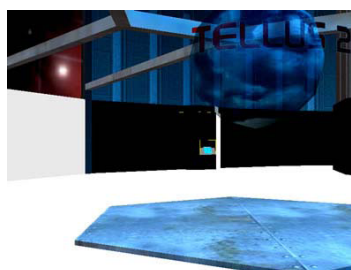
O jogo de computador *Terraformers* é um jogo de aventura futurista desenvolvido por Westin [Wes04], e que graças ao uso do som localizável em 3D pode ser jogado autonomamente por pessoas cegas e amblíopes. A acção do jogo decorre numa estação espacial, onde ao longo dos diversos níveis, o jogador terá que eliminar *robots* e resolver puzzles baseados em sons para conseguir progredir.

Este jogo possui algumas características muito peculiares que o tornam numa experiência muito agradável para todos os utilizadores. Algumas dessas características são: o uso de gráficos a três dimensões em todos os cenários do jogo, os sons ambiente presentes ao longo da aventura pela estação espacial e a utilização de diferentes sons para os passos em diferentes materiais. Através do uso de som 3D os jogadores invisuais conseguem orientar-se no mundo virtual, sendo capazes de se movimentarem autonomamente. Outra característica interessante é o *feedback* das acções do jogador ser dado através de voz sintetizada, permitindo que os jogadores cegos e amblíopes saibam quando as suas acções surtiram os efeitos desejados.

Para os jogadores normovisuais, o ambiente gráfico 3D é renderizado normalmente, com todas as suas características gráficas inalteradas. No entanto para os jogadores amblíopes é possível usar um modo de renderização especial, designado “Modo Alto Contraste”, que renderiza partes dos gráficos a preto e branco. Este modo permite aumentar o contraste entre os objectos e as diferentes áreas o que facilita a sua detecção por parte dos utilizadores amblíopes. Nas figuras 2.2(a) e 2.2(b) podem observar-se algumas das diferenças na renderização dos gráficos do jogo nos modos normal e alto contraste.



(a) modo normal



(b) modo alto contraste

Figura 2.2: Renderização 3D em tempo real nos modos Normal e Alto Contraste³

³Imagens retiradas de [Wes04]

Uma vez que alguns dos computadores dos utilizadores cegos não possuem *hardware* específico para a renderização de gráficos 3D, o jogo Terraformers pode ser jogado sem recurso à renderização 3D. Assim possibilita-se que o jogo corra sem quaisquer problemas em máquinas menos potentes ou mais antigas.

Estas são algumas das características mais marcantes do jogo Terraformers, que de acordo com o *feedback* dado pelos seus utilizadores, ajudam a compreender a importância não só do habitual *feedback* auditivo numa aplicação para cegos mas também das ajudas dadas pelas diversas ferramentas ao dispor do jogador [Wes04]. Nestas denota-se que houve um grande cuidado em torná-las simples, intuitivas e no entanto poderosas o suficiente para auxiliarem o jogador invisual durante a sua aventura no mundo virtual. Uma vez mais salienta-se que o uso do *feedback* sonoro pode ir muito além da simples leitura de ecrã.

2.1.3 Ecrãs Tácteis

Com o aparecimento dos ecrãs tácteis, surge uma nova forma de interacção e com ela uma nova vaga de aplicações. No entanto estas aplicações, sejam elas para computadores ou para dispositivos móveis, são na sua grande maioria apenas acessíveis a pessoas normovisuais. Assim diversos autores começaram por investigar as possibilidades de associar elementos habituais nas aplicações para cegos e amblíopes a estes novos ecrãs, levando à criação de *software* acessível a cegos sem recorrer apenas ao uso de áudio, mas também ao uso das funcionalidades hápticas destes dispositivos.

Roth e colegas estudaram as possibilidades de transformar os diversos elementos de uma página web em sons localizáveis num ambiente tridimensional. Assim desenvolveram a ferramenta WebSound e o *browser* AB-Web. O WebSound associa a cada *tag* HTML um som específico e o AB-Web, utiliza o WebSound para que pessoas cegas possam navegar na Internet e preencher formulários online [RPAP00]. Assim, recorrendo a um ecrã sensível ao toque, os utilizadores cegos podem explorar tatilmente uma página HTML e receber *feedback* acerca da organização espacial desse documento, através do som. Segundo os autores, ao tocar no ecrã táctil o sistema gera um som tridimensional com as seguintes características: A localização tridimensional do som irá corresponder à posição da área tocada, isto é, o utilizador têm a percepção de que o som tem origem na posição tocada; as características do som são determinadas pelo elemento tocado. Cada *tag* HTML terá sempre um som diferente associado.

Frey e colegas desenvolveram uma aplicação, o BrailleTouch, que permite escrever em *Braille* utilizando um dispositivo móvel *iPod Touch* [FSR11]. Uma das características fundamentais desta aplicação é o uso de um número reduzido de botões. Assim, uma vez que o utilizador posicione correctamente os dedos nos botões da aplicação, estes não necessitam de sair da mesma posição e para escrever é apenas necessário pressionar os botões na combinação de cada carácter *Braille*. Os utilizadores seguram no dispositivo com as duas mãos, e utilizam um dedo para cada botão, sendo que cada um dos seis

botões corresponde a cada uma das seis células de um carácter *Braille* (ver figura 2.3). A aplicação possui ainda o botão de “espaço”, um sétimo botão localizado no centro do ecrã, o que facilita e agiliza o processo de escrita. Para que os utilizadores saibam o que estão a escrever, a aplicação providencia *feedback* auditivo de cada carácter à medida que este é introduzido pelo utilizador.

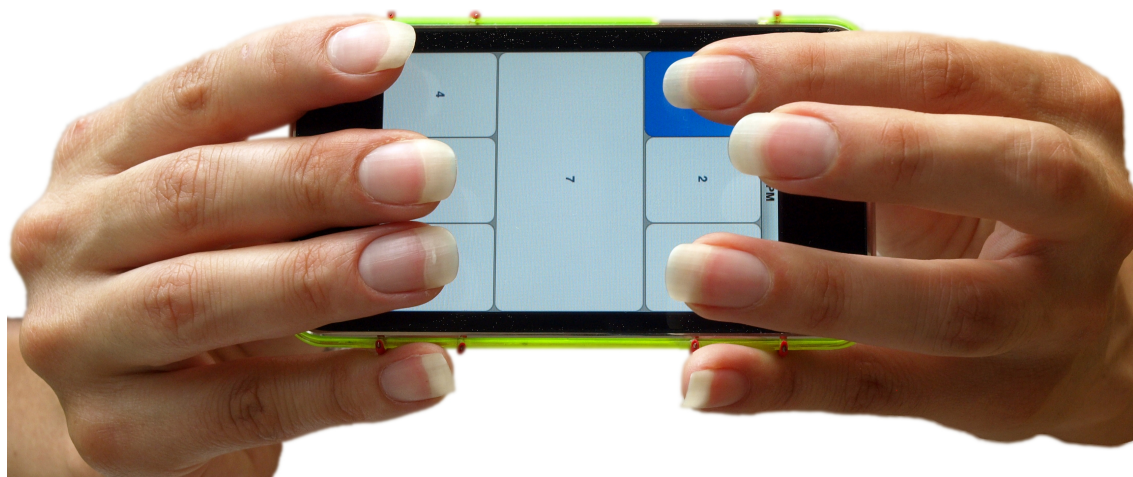


Figura 2.3: *Layout* da aplicação BrailleTouch e posicionamento dos dedos⁴

O jogo AudioPuzzle, consiste num quebra-cabeças musical desenvolvido para plataformas *Android* [CGDC12]. Tal como nos habituais puzzles, o objectivo do jogo é colocar as “peças” na posição correcta do ecrã, reconstruindo não uma imagem mas uma melodia.

Por se tratar de um jogo para cegos, a sua jogabilidade é muito simples e fácil de aprender, bastando o movimento de *slide* para mexer as peças e o toque para acções de ajuda. Apesar de a componente auditiva ser a mais importante neste jogo, ainda assim existe uma interface gráfica dividida em três áreas: uma área no topo, onde ficam as peças já colocadas no puzzle; uma área ao centro com a peça seleccionada actualmente e outra área no fundo do ecrã, que contém todas as peças ainda por colocar no puzzle. Para que os jogadores cegos consigam perceber se a peça que colocaram no puzzle está no local certo ou não, diferentes sons e vibrações são utilizados para indicar se a colocação foi bem ou mal sucedida. De forma a motivar os jogadores a jogarem mais, os autores do AudioPuzzle implementaram um sistema de pontuação baseado no número de vezes que o jogador teve que colocar as peças no puzzle (correcta e incorrectamente). Assim quanto menor for o número de tentativas incorrectas, maior será a pontuação do jogador.

Apesar de todas estas aplicações utilizarem ecrãs sensíveis ao toque, possuem também outras características muito interessantes em termos de acessibilidade para utilizadores cegos e amblíopes. Mais uma vez é perceptível o uso cuidadoso do som como principal forma de *output* e *feedback*. Outras características a salientar, são: o recurso a

⁴Imagem retirada de [FSR11]

um sistema de pontuação para motivar os utilizadores a voltarem a jogar o jogo Audio-Puzzle e o uso de controlos simples como no caso das sete teclas do BrailleTouch que são suficientes para o utilizador conseguir escrever em *Braille* sem dificuldades.

2.1.4 Mapeamento de Imagens em Som

Não é somente através da fala que se pode utilizar o som para transmitir informações às pessoas cegas e amblíopes. Um exemplo muito comum é o som emitido pelo semáforo dos peões enquanto o sinal de peão verde estiver aceso. Este tipo de utilização do som tem sido explorado por diversos autores e utilizado em algumas aplicações. Um exemplo que ilustra este tipo de utilização do som é o *software* desenvolvido no contexto do projecto *See-Through-Sound* [CHMCM13].

O SonarX é uma ferramenta que visa dar às pessoas cegas informações sobre as cores do ambiente circundante (captadas com uma câmara) ou de imagens carregadas na aplicação. A aplicação converte as cores presentes numa imagem em som e para esse efeito, utiliza o modelo de cor *Hue, Saturation and Value* (HSV) e mapeia os atributos da cor dos píxeis em parâmetros de som. Nomeadamente, utiliza o *Hue* para determinar o *pitch* do som, o valor de *Saturation* para alterar o timbre do som e usa o *Value* para determinar a intensidade do som. Para além destes três atributos, utiliza-se também a abcissa do píxel, que é mapeada em azimute (posição simulada da fonte sonora no plano horizontal). Seguindo as ideias de Datteri e Howard acerca da forma como os humanos sentem as cores [DH04], ao fazer o mapeamento das cores para sons, a associação de frequências é invertida. Assim as cores cuja frequência é mais baixa, como os vermelhos e os laranjas, são mapeadas para sons com frequências mais altas (como é o caso dos sons agudos) e o oposto acontece quando se trata das cores violetas e azuis, que possuem uma frequência mais alta e que são mapeadas em sons mais graves (frequências mais baixas).

Payling e colegas discutem uma técnica para conversão de imagens bidimensionais em música, através da associação dos valores de *Hue* dos píxeis de uma imagem a timbres de som [PMH07]. Com base nessa técnica, desenvolveram a aplicação HueMusic. Esta aplicação utiliza a 8 timbres diferentes para representar 8 valores de *Hue*, em que a amplitude de cada timbre depende da quantidade do respectivo valor de *Hue* na imagem.

Outro exemplo da conversão de cores em som é a interface SeeColor [BDP10]. Esta aplicação quantifica as cores de uma imagem de vídeo, utilizando o modelo *Hue, Saturation and Lightness* (HSL) e converte-as em sons localizáveis no espaço. Utiliza os sons de sete instrumentos com quatro notas diferentes para cada instrumento. Uma inovação presente nesta aplicação é o facto de codificarem a profundidade das cores em volume e duração do som. Assim as cores mais distantes têm volumes mais baixos e as cores mais próximas da câmara têm durações mais curtas. O modelo proposto pelos autores, é utilizado em diversas experiências, como a detecção de portas abertas, procurar objectos de determinadas cores em diferentes ambientes ou movimentação num parque de estacionamento.

Nestas aplicações, podemos verificar como o uso do som, não está limitado ao uso de voz ou de sons localizáveis. É assim possível recorrer às propriedades dos sons para conseguir com sucesso transmitir as propriedades das cores. Regra geral os utilizadores cegos possuem uma audição mais apurada que os normovisuais e são mais sensíveis às alterações de timbre e *pitch*, o que aumenta a eficácia deste tipo de mecanismos de acessibilidade para cegos.



Desenvolvimento de Jogos

Apesar de se tratar de uma aplicação interactiva, podemos afirmar que o principal ênfase de um jogo de computador está na sua componente lúdica [RJNJ02]. Seja de que tipo for (aventura, *shooter*, plataformas, etc.), tal como qualquer outra aplicação informática, também os vídeo jogos atravessam diversas etapas durante o seu processo de desenvolvimento. No entanto, quando falamos de vídeo jogos, esse processo possui uma estrutura não linear e muito flexível quando comparada com a da engenharia de *software* tradicional. Na secção 3.1 é explicado o processo adoptado no desenvolvimento do jogo “O Código Pitágoras”.

De modo a se obter uma aplicação de sucesso, esta deve ser correctamente avaliada e analisada. Para tal serão também discutidas na secção 3.2 algumas das heurísticas existentes para a avaliação de jogos educativos.

3.1 Processo de Desenvolvimento

O processo de desenvolvimento de *software*, em particular o de um vídeo jogo, pode ser estruturado de diversas formas [Per06]. Devido às características particulares de cada vídeo jogo, este processo pode ter também diversas variações, mas em todos eles há três fases principais que são “herdadas” da engenharia de *software* tradicional. São elas as fases de desenho, de implementação e de testes.

No desenvolvimento de um vídeo jogo e ao contrário do que se verifica na engenharia de *software*, estas fases não seguem uma ordem totalmente sequencial. No entanto, de forma a garantir que o produto final apresenta boa qualidade, é necessário que este processo apresente uma forte coerência, quer se trate de um vídeo jogo de uma grande

produtora ou de um *Indie Game*⁵. Assim, torna-se imperativo a adopção de metodologias (*best practices*) de desenvolvimento e de normas para escrita da documentação para se garantir um produto de qualidade [Lav09].

A figura 3.1, que é uma adaptação do esquema apresentado por Pereira [Per06], ilustra o núcleo (*core*) do processo de desenvolvimento de um vídeo jogo, tal como descrito por Perucia et al. [PBBC07] e que foi utilizado no desenvolvimento do jogo proposto nesta dissertação. Seguidamente nesta secção irão ser descritas em maior detalhe as diversas fases do ciclo de desenvolvimento, de acordo com as ideias exploradas por Reis Júnior et al. [RJNJ02] e por Rafael Santos et al. [SGA12].

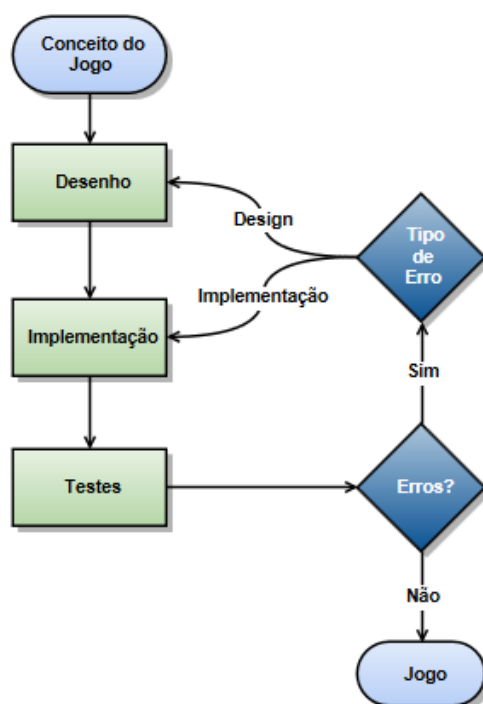


Figura 3.1: Ciclo de desenvolvimento do jogo “O Código Pitágoras”

Como se pode observar pelo diagrama da figura 3.1, a criação de um vídeo jogo começa com a definição de um conceito base. Este é o fundamento por detrás do jogo, e pode ser a visão de uma só pessoa ou o resultado de um *brainstorming* entre vários indivíduos. Nesta fase são geralmente definidos dois parâmetros muito importantes para o jogo: o público-alvo e a plataforma do jogo. Tendo em conta que as preferências e sensibilidades dos jogadores variam conforme a sua faixa etária ou género, este primeiro parâmetro terá um forte impacto quer no desenvolvimento dos conteúdos, quer na criação de uma história para o jogo. Em relação ao segundo parâmetro, também a escolha das ferramentas de desenvolvimento e dos diferentes tipos de conteúdos suportados é fortemente influenciada pela plataforma alvo, pelo que é importante que esta definição seja também feita nesta fase inicial.

⁵Jogos de vídeo desenvolvidos sem financiamento por parte de uma empresa editora de jogos

existentes no jogo e podem incluir ou retirar algumas características. Após a correcção dos problemas encontrados durante os testes da versão *alfa* e da implementação de todas as funcionalidades e requisitos da fase de desenho, o jogo atinge a sua versão *beta*, que será disponibilizada para avaliação e testes funcionais por parte dos utilizadores finais. Na figura 3.2 acima, podem observar-se as diferenças gráficas entre a versão *alfa* (figura 3.2(a)) e a versão *beta* (figura 3.2(b)) do jogo Starcraft da Blizzard. Com esta versão iniciam-se aqueles que são os testes mais característicos do desenvolvimento de vídeo jogos: os testes *beta*.

Neste tipo de testes, uma equipa de desenvolvimento avalia as reacções, os comentários, as sugestões e a aceitação global do jogo por parte dos jogadores convidados a participar nos testes. Existem dois tipos de testes *beta*, os realizados por um público geral designado por “*open beta*” (geralmente através de *download* do jogo ou numa convenção de jogos), ou os realizados por um grupo previamente seleccionado que são chamados “*closed beta*” (normalmente com avaliadores profissionais ou jogadores experientes). As abordagens aos testes também são muito variadas, no entanto existem 3 que são mais comuns: observação directa, entrevista ao jogador ou elaboração de um relatório final. Na primeira abordagem elementos da equipa de desenvolvimento observam a sessão de testes, detectando as reacções e dificuldades dos jogadores. Esta abordagem não pode ser utilizada em testes “*open beta*”, onde o jogador faz o *download* do jogo para o seu computador. Nas entrevistas um elemento da equipa, vai colocando perguntas ao jogador enquanto este joga, anotando as suas respostas e preferências, mas também as suas dificuldades e emoções. Esta é a abordagem mais comum nos testes “*closed beta*”, por permitir um contacto mais directo entre o jogador e a equipa de desenvolvimento. Na última abordagem, o jogador é autónomo para jogar ao seu ritmo, tendo no final que elaborar um relatório ou preencher um questionário que indicará as suas dificuldades, opiniões e ideias sobre o jogo. É a abordagem por excelência, utilizada nos testes “*open beta*”, pois conferem uma liberdade total ao jogador.

No final dos testes *beta* a equipa de desenvolvimento terá de categorizar os diversos erros reportados pelos jogadores, como sendo derivados de problemas de implementação ou desenho. Os erros categorizados como sendo de implementação podem ser imediatamente corrigidos, não sendo necessário recorrer a uma nova fase de testes *beta* e podendo resultar em simples *patches* para o jogo. Os restantes erros apresentam riscos mais elevados, pois podem originar mudanças significativas no desenho do jogo, Estas mudanças podem causar atrasos nos prazos de lançamento ou desvios no orçamento proposto. Compreende-se assim a motivação em manter o desenho do jogo flexível e em ter fases de testes internas durante todo o processo de desenvolvimento.

3.2 Avaliação de Jogos Educativos

No sector do ensino um dos grandes desafios é ser capaz de desenvolver jogos educativos de qualidade, que garantam simultaneamente formas de aprendizagem e diversão

para os alunos. Assim, é necessário identificar quais os requisitos e critérios necessários para realizar uma correcta avaliação dos jogos educativos. Apesar de existirem diversos factores a ponderar nessa avaliação, existem quatro que se destacam pela sua elevada importância [Ber99]. São eles: a facilidade dos utilizadores se adaptarem ao jogo (usabilidade), o nível de atendimento das necessidades pedagógicas e de aprendizagem (eficácia), tempo exigido aos alunos para atingir um bom desempenho educativo (eficiência) e se as características do jogo são cumprem os objectivos educativos propostos (funcionalidade). De forma a poder avaliar os factores anteriormente descritos, são normalmente utilizados os métodos de avaliação de *software* explicados de seguida e que foram utilizados na avaliação do jogo “O Código Pitágoras”.

O primeiro centra-se no uso de fichas de avaliação formativa, realizadas antes e depois dos alunos terem contacto com o jogo educativo [VKM05; Ket03]. Assim é possível obter resultados empíricos que demonstrem se existem melhorias significativas nas classificações dos alunos. Os resultados obtidos permitem assim inferir o nível de eficácia e eficiência do jogo, como ferramenta de estudo e ensino para os alunos. Ao utilizar diferentes grupos de teste é ainda possível comparar resultados entre, por exemplo, as classificações dos alunos com e sem acesso ao vídeo jogo. Permite também, mediante a constituição dos grupos de teste, inferir se as melhorias são generalizadas ou localizadas em um determinado tipo de alunos com determinadas características.

O segundo método utilizado foi a avaliação heurística. Neste método um pequeno grupo de peritos (ou avaliadores), analisam os aspectos relacionados com a usabilidade de uma interface segundo um conjunto de directrizes pré-determinadas, tais como as propostas por Nielsen [Nie94]. No entanto as heurísticas desenvolvidas por Nielsen, por se utilizarem na avaliação da usabilidade de *software* em geral, não são capazes de captar as características particulares dos jogos de vídeo e do *software* educativo ou para crianças. Assim, muitos conjuntos de heurísticas têm sido elaborados para abordar as questões específicas dos vídeo jogos. As heurísticas elaboradas por Pinelle et al. [PWSG09], abordam algumas destas questões tais como: a capacidade de tornar a personagem jogável mais atractiva para o jogador através da personalização, a possibilidade de interagir com outros jogadores durante o decorrer do jogo (jogos para múltiplos jogadores), facilidade em saltar conteúdos não-jogáveis como vídeos (*cutscenes*) ou diálogos [Nie94; MN90].

Ainda assim, quando se trata de avaliar *software* educativo ou para crianças, sejam eles vídeo jogos ou não, tanto as directrizes elaboradas por Nielsen como as de Pinelle não são suficientemente expressivas [AAO09]. Existem diversos requisitos a ter em linha de conta, quando se trata de avaliar *software* educativo e que não se verificam em outras formas de avaliação de *software*. Alguns desses requisitos são por exemplo: a eficácia pedagógica da aplicação educativa, que deve auxiliar os alunos no seu processo de aprendizagem sem que estes necessitem de despender demasiado do seu tempo; a motivação proporcionada ao jogador é suficiente para tornar a aprendizagem divertida e dinâmica; ou se a dificuldade dos conteúdos lectivos do *software* educativo são adequadas à capacidade mental dos jogadores e se a interface da aplicação está também ajustada

às capacidades físicas dos seus utilizadores. Seguindo estes princípios de avaliação, Alsumit e colegas elaboraram um conjunto de heurísticas partindo das directrizes criadas por Nielsen, dividindo-as em três categorias distintas:

Heurísticas de Usabilidade de Nielsen – são as heurísticas originais de Nielsen, e estão relacionadas com o *design* geral das interfaces gráficas. Nestas incluem-se heurísticas como a “Visibilidade do Estado do Sistema”, “Relação entre o Sistema e o Mundo Real” e “Consistência e Padrões” muito influentes num bom jogo educativo. Bem como a heurística de “Ajuda e Documentação” que para os jogadores cegos e amblíopes têm uma elevada importância. Estas e outras heurísticas são explicadas em maior detalhe na tabela anexa A.1;

Heurísticas de Usabilidade de aplicações para crianças – estas heurísticas estão voltadas para as preferências e para as capacidades das crianças. Ganham um elevado destaque numa aplicação de cariz educativo, como é o caso do jogo “O Código Pitágoras”. Esta categoria compreende as heurísticas “Ecrãs de design atractivo”, “Desafiar a criança” e “Encorajar a curiosidade da criança”. Estas heurísticas são descritas em pormenor na tabela anexa A.2;

Heurísticas de Usabilidade de aplicações de *E-learning* – englobam as principais preocupações da componente pedagógica e do aluno no *design* de aplicações educativas. Apresenta heurísticas como o “Design do conteúdo educativo” e “Motivação para aprender” que são fundamentais num jogo educativo. Estas e outras heurísticas são descritas na tabela anexa A.3;

Finalmente, como forma de avaliar a funcionalidade e usabilidade de jogos pode-se recorrer ao uso de inquéritos. Após experimentarem o jogo durante o período de estudo, é pedido aos jogadores que respondam a um pequeno questionário. As perguntas desse questionário podem ser acerca das dificuldades encontradas, do grau de satisfação com o jogo, sugestões de melhorias, tal como outras perguntas relacionadas com o estudo em questão. A partir das respostas dadas pelos utilizadores, e das heurísticas descritas, dever-se-á ser capaz de inferir os níveis de funcionalidade e de usabilidade do jogo. No processo de validação do jogo “O Código Pitágoras” também foi pedido aos alunos que participaram no estudo que respondessem a um pequeno inquérito. Este ajudou a perceber melhor as percepções, dificuldades e sugestões dos alunos em relação à sua experiência pessoal com o jogo.

4

O Código Pitágoras

Como já tinha sido referido anteriormente no capítulo 1, para que um jogo se possa tornar uma ferramenta de ensino útil, este deve estar devidamente adaptado ao ensino. Neste caso e por se tratar da disciplina de Matemática, a aprendizagem pode ocorrer através da exercitação do raciocínio por intermédio de perguntas e problemas das matérias leccionadas na disciplina.

Dada a natureza dos jogos educativos, este tendem a ser menosprezados pela larga maioria dos alunos, que optam por jogos de carácter lúdico. Assim, para que o jogo educativo seja eficaz, este terá que motivar os alunos a jogar sem chegar ao ponto de se tornar uma distração e sem perder a sua principal vertente, o ensino.

Também se pretende que o jogo possa ser jogado por crianças cegas ou amblíopes. Assim este deverá estar preparado para que se possa jogar sem que seja necessário recorrer à visão. O som assume assim um papel muito importante no jogo “O Código Pitágoras”, permitindo que os jogadores cegos possam jogar ao lado de jogadores amblíopes ou normovisuais sem quaisquer limitações na interacção. Seguidamente são descritas as características do jogo “O Código Pitágoras”, desenvolvido para ser um jogo educativo, divertido e integrador.

4.1 Descrição do Jogo

Um dos principais objectivos do jogo proposto nesta dissertação é conseguir motivar a aprendizagem e inculcar o gosto pela matemática a alunos cegos e amblíopes. Como descrito no capítulo 1, os utilizadores alvo são crianças com problemas visuais que frequentem o 9º ano de escolaridade. Nestas idades, apesar das suas limitações, o contacto e a

habituação às novas tecnologias deverá ser maior do que em crianças em iguais circunstâncias mas de idades menores. De forma a garantir que estes jovens se sintam motivados e que gostem de jogar “O Código Pitágoras”, ao desenhar o jogo tiveram-se vários factores em conta, tais como a história, o tipo de jogo, os desafios e as personagens.

Desta forma foi escolhido um tema de aventura para o jogo, nomeadamente uma caça ao tesouro. O jogo descreve as aventuras de três amigos enquanto estes percorrem as ruas de Lisboa, visitando diversos monumentos históricos em busca de pistas para um tesouro escondido. Por se tratar de uma caça ao tesouro, a história do jogo está repleta de mistério e aventura, criando assim uma maior envolvência com os jogadores ao longo do jogo. A história resulta da adaptação do livro juvenil “A Mensagem Secreta de Lisboa” [Mou12] da autora Mafalda Moutinho. A acção do jogo começa com um grupo de três amigos a abrirem um velho baú com documentos do mestre de obras do rei D. João V, o arquitecto António Fonseca. Nesses documentos descobrem a existência de um tesouro escondido num dos monumentos que ele construiu e que sobreviveu incólume ao terramoto de 1755 em Lisboa (ver anexo B).

As personagens do jogo possuem também características que ajudam os jogadores a se identificarem com elas, nomeadamente na idade e personalidade. Para uma maior sensação de identidade, a personagem principal do jogo é também um jovem rapaz cego. O jogador irá assumir o papel dessa personagem, movimentando-a nos cenários e interagindo com as restantes personagens. Ao aliar personagens adequadas à idade dos jogadores com um ambiente aventureiro, espera-se dar aos alunos uma maior motivação para jogar.

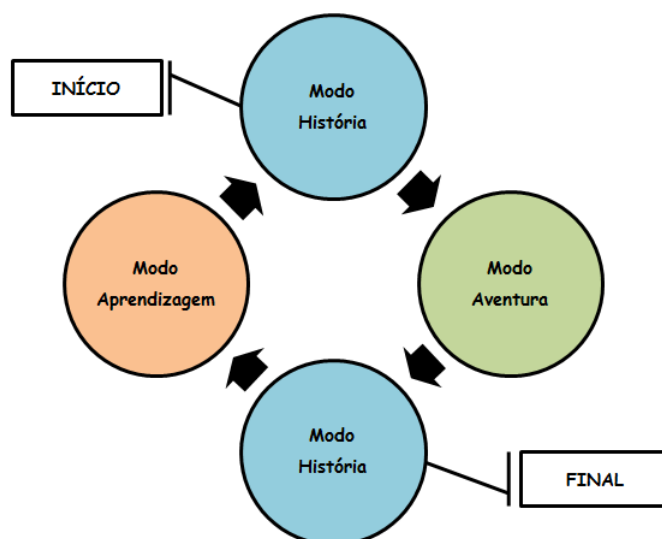


Figura 4.1: Fluxo dos modos do jogo “O Código Pitágoras”

A acção do jogo está dividida em três modos: modo História, modo Aventura e modo Aprendizagem (ver figura 4.1), cada um deles com as suas próprias características. O modo História é utilizado para dar a conhecer aos jogadores o enredo do jogo, através dos diálogos das personagens. No modo Aventura o jogador terá que movimentar a sua

personagem pelas ruas de Lisboa até aos monumentos onde se encontram as pistas para resolver o mistério. No modo Aprendizagem o jogador tem que responder a uma série de perguntas relacionadas com uma das matérias curriculares de matemática e que lhe darão acesso à próxima pista para resolver o mistério.

De forma a tornar o jogo íntegro e fluido, os modos Aventura e Aprendizagem, nunca ocorrem de forma consecutiva. Como apresentado na figura 4.1, entre cada modo Aventura e Aprendizagem há sempre um modo História. Assim podemos falar de um modo História pré-aprendizagem, onde as personagens irão dialogar sobre o tipo de perguntas que terão que responder para obterem a próxima pista e de um modo História pós-aprendizagem, onde as personagens inferem a pista a partir das respostas que deram às perguntas do modo Aprendizagem e combinam um encontro que levará a um novo modo Aventura.

Para dar maior motivação aos jogadores, foi criado um sistema simples de pontuação. Para conseguirem superar os desafios de aprendizagem, os jogadores têm que responder acertadamente a 4 perguntas em cada um dos 6 desafios presentes no jogo. Assim a pontuação final é dada em função do número total de perguntas apresentadas ao aluno e não das respostas certas. Este sistema permite que os jogadores que necessitarem de responder a menos perguntas para superarem os desafios obtenham melhor pontuação, ao mesmo que tempo que dá a oportunidade de os jogadores com mais dificuldades terem mais perguntas para praticarem e exercitarem o raciocínio. A pontuação final é dada em função da seguinte fórmula:

$$\text{pontuação final} = C * \frac{F}{p},$$

em que p é o número total de perguntas a que o aluno respondeu (certas e erradas), C é o número total de respostas certas que o aluno deu e F é o número de pontos que cada resposta certa vale. Na configuração proposta para o jogo temos: $C = 24$ e $F = 20$. Desta forma a pontuação final varia entre 2 e 20, uma vez que o número máximo de perguntas do jogo é 240 (tal como irá ser descrito na secção 4.3). A figura 4.2 traduz graficamente a função utilizada no sistema de pontuação descrito.

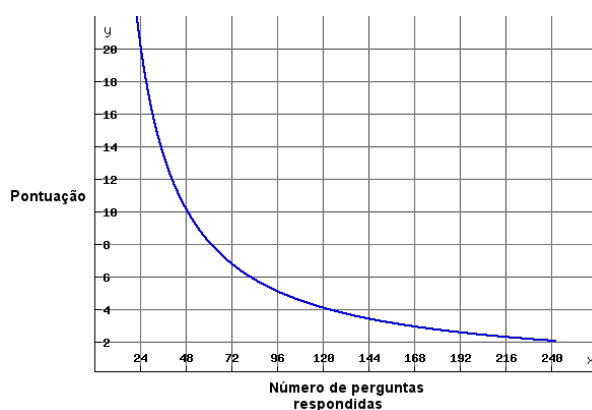


Figura 4.2: Gráfico da função de pontuação

4.2 Acessibilidade do jogo para Cegos e Amblíopes

Tal como referido anteriormente, o jogo “O Código Pitágoras” foi desenhado e desenvolvido para utilizadores cegos e amblíopes. Dado que alguns destes utilizadores podem ter algum grau de visão residual, optou-se por incluir uma interface gráfica que complementa toda a informação auditiva necessária para os utilizadores cegos. A existência desta interface tem também outros dois grandes objectivos. O primeiro é proporcionar a interacção com os colegas normovisuais, que eventualmente ficarão mais motivados em jogar na presença de gráficos. Esta interacção é de grande relevância para favorecer a integração das crianças cegas e amblíopes na escola e na sociedade. O segundo objectivo consiste em facilitar a recolha de resultados de alunos normovisuais com o fim de validar a utilidade do jogo (este ponto será explorado no capítulo 6).

Por se tratar de um jogo para crianças cegas ou amblíopes, a interface gráfica necessitou de alguns cuidados especiais por forma a não esforçar em demasia a capacidade visual dos jogadores amblíopes e para garantir que estes utilizadores são capazes de distinguir os pormenores gráficos essenciais. Desta forma para conferir maior destaque às personagens em relação ao ambiente envolvente, utilizaram-se cores vivas e contrastantes para as personagens e elementos dos cenários. Uma maior dimensão das personagens em comparação com os cenários permite também aumentar o destaque das personagens. A inexistência de pormenores ou detalhes demasiado complexos nos cenários torna-os mais simples de desenvolver e permite evitar confusões e distrações visuais aos jogadores amblíopes.

Uma vez que os cenários a utilizar no jogo teriam que ter todas estas características de acessibilidade presentes, optei por desenvolver cenários simples a duas dimensões. Através do uso de uma perspectiva *top-down*, ao estilo de títulos como: Zelda e Pokémon, ilustrados abaixo na figura 4.3, conseguiu-se dar aos cenários do jogo “O Código Pitágoras” um aspecto de desenho animado muito interessante.

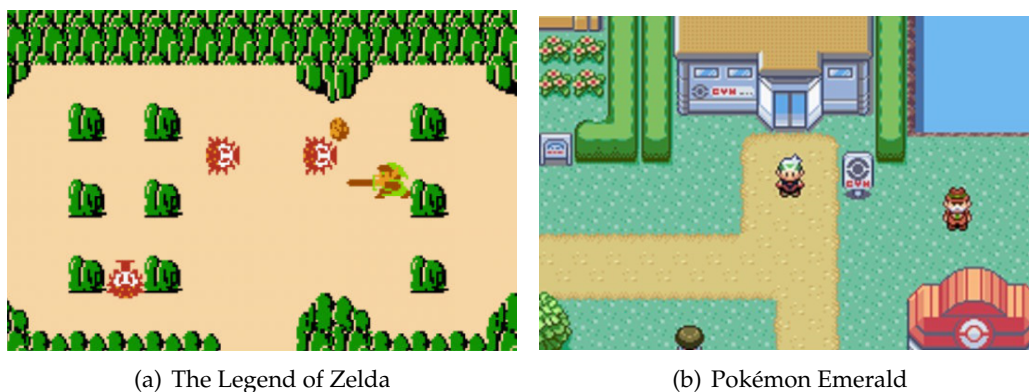


Figura 4.3: Cenários dos jogos The Legend of Zelda⁷ e Pokémon Emerald⁸

⁷Imagem retirada de Destructoid (www.consoleagnostics.com/legend-of-zelda/)

⁸Imagem retirada de Serebii (www.serebii.net/pokearth/hoenn/petalburgcity.shtml)

Deste modo os cenários são mais fáceis de interpretar por parte dos utilizadores amblíopes, pois evitam sobreposições e pormenores complexos. Uma outra vantagem é não ser necessário ter um bom processador gráfico para se poder jogar, o que acontece por vezes com alguns dos computadores dos utilizadores cegos.

A figura 4.4 ilustra dois dos cenários utilizados no jogo: um cenário exterior (à esquerda) onde se vê a personagem principal a percorrer uma rua de Lisboa, e um cenário interior (à direita) onde os três amigos se encontram para conversar. Neles podem verificar-se as diversas características referidas nesta secção. Os objectos utilizados para desenhar os cenários são na sua maioria iguais entre si, mudando apenas na cor para permitir uma maior diversidade, mas sem pôr em causa os princípios anteriormente discutidos. As cores vivas das personagens ajudam a que estas se destaquem, quer em ambientes exteriores quer em interiores. Nas figuras 4.4(a) e 4.4(b) pode também verificar-se que a dimensão das personagens actua como referido acima, conferindo-lhes um maior destaque em relação aos restantes elementos dos cenários.



Figura 4.4: Cenários do jogo “O Código Pitágoras”

Para os jogadores cegos a interface visual é irrelevante, sendo nestes casos o som o elemento fundamental. Para tal todos os menus, diálogos, perguntas e textos que existem ao longo do jogo são complementados com áudio, obtido através da gravação de voz. Nos menus, textos e perguntas as gravações foram feitas de modo a serem fluidas e facilmente perceptíveis. Isto para que os jogadores cegos não ficassem com dúvidas ou criassem más concepções em relação ao que lhes é pedido ou explicado. Ao gravar as vozes das personagens, houve um especial cuidado em modelar a voz de modo a dar a cada personagem uma voz própria e distinta. Desta forma, mesmo sem poder recorrer à visão, o jogador cego consegue sempre distinguir qual a personagem que está a falar. Ajuda também a garantir uma maior aproximação entre o jogador e as personagens.

Durante o modo aprendizagem, os jogadores deverão ser capazes de responder às perguntas sem auxílio de terceiros, para tal é imperativo estes saberem o que é que estão a escrever. Assim o *input* da resposta é sempre acompanhado pela indicação por voz do carácter que o jogador introduz. Há também ajudas específicas para este modo, que são fundamentais para os jogadores cegos e que serão abordadas na secção 4.3.

No modo aventura, são utilizados efeitos sonoros para auxiliar os jogadores cegos e

amblíopes a encontrarem o caminho certo até um local pré-designado em cada cenário. Estes efeitos sonoros são adaptados por forma a permitirem que o jogador consiga perceber se está perto ou longe do objectivo, ou se tem que ir para a esquerda ou direita. Estas adaptações serão também explicadas com mais detalhe na secção 4.4.

4.3 Modo Aprendizagem

O modo aprendizagem é o que distingue o jogo “O Código Pitágoras” como ferramenta educativa. É neste modo, que é pedido aos jogadores para responderem a perguntas do programa de matemática do 9º ano. Tal como referido no capítulo 1 o jogo aborda apenas uma parte da matéria curricular de matemática. Uma vez que a fase de validação nas escolas coincidiu com o 2º período lectivo, optou-se por incluir apenas as matérias leccionadas no 1º período. Assim as matérias incluídas no jogo “O Código Pitágoras” são: probabilidades, proporcionalidade (directa e inversa) e funções (1º e 2º grau). Na figura 4.5 estão ilustrados três exemplos de perguntas (uma de cada matéria) utilizadas no jogo “O Código Pitágoras”.

Matéria : Proporcionalidade

Pergunta: Uma empresa de mudanças cobra 25€ por hora.

Qual é o preço a pagar se para uma mudança forem necessárias 4 horas?

Resposta: 100

Matéria : Probabilidades

Pergunta: Considerando um baralho de 52 cartas e retirando uma carta ao acaso, qual é a probabilidade de sair um rei?

Resposta: 1/13

Matéria : Funções

Pergunta: Dada a função polinomial de 2º grau, $y = x^2 + 10x - 14$.

Qual é o valor de y se x for igual a 2?

Resposta: 10

Figura 4.5: Exemplos de perguntas para cada matéria abordada no jogo

De forma a integrar o modo aprendizagem na história do jogo, este foi pensado para que as respostas às perguntas dessem acesso à pista necessária para os jogadores progredirem na caça ao tesouro. Para tal, este modo surge sempre que as personagens descubram nos monumentos que visitam a indicação de uma pista. Ao resolverem os exercícios que compõem cada desafio conseguem com as respostas desvendar essa pista. Cada pista consiste em indicações sobre o local onde se encontra a próxima pista e a última pista desvenda a chave para a sala do tesouro. A primeira pista, por exemplo, indica-lhes o Aqueduto das Águas Livres uma vez que as funções utilizadas nos exercícios formam parábolas semelhantes aos arcos do aqueduto. Existem assim 6 momentos de aprendizagem distribuídos pelo jogo, conferindo diversas oportunidades de ensino mas sem sobrecarregar o jogador, o que poderia retirar alguma da motivação em jogar.

Como referido na secção 4.1, o jogador terá que responder a diversas perguntas seguidas até conseguir acertar nas respostas de quatro perguntas. Este sistema garante que o número mínimo de perguntas a responder não seja muito reduzido (para não tornar o modo aprendizagem demasiado curto e fácil), sem sobrecarregar o jogador com perguntas, o que poderia reduzir a sua motivação para continuar a jogar. Também evita que os jogadores possam ultrapassar os desafios respondendo sem qualquer raciocínio da sua parte. De forma a que os alunos se concentrem em apenas uma parte da matéria em simultâneo e para manter a fluidez da história, em cada momento de aprendizagem as perguntas apresentadas pertencem apenas a uma das matérias abrangidas no jogo. Como existem seis desafios e três matérias lectivas temos então dois momentos de aprendizagem para cada matéria, distribuídos de forma a que desafios consecutivos, nunca sejam sobre a mesma matéria. As perguntas são escolhidas de forma aleatória para reduzir a probabilidade de haver repetição de perguntas (ou sequência de perguntas) quando se joga novamente o jogo desde o início.

Para evitar a memorização das respostas, numa sessão de jogo a mesma pergunta nunca poderá ser repetida. Assim para cada matéria foram criadas 80 perguntas, o que julgamos ser um número suficientemente grande para que os alunos consigam chegar ao final do jogo sem esgotarem as perguntas de cada matéria. No entanto, se o aluno esgotar todas as perguntas de uma dada matéria, a personagem principal comunica que desiste da caça ao tesouro e o jogador terá que começar o jogo novamente (única situação de “*game over*” no jogo “O Código Pitágoras”). Para tal são utilizadas duas listas para a gestão das perguntas: uma com as perguntas que ainda podem ser feitas na sessão e outra com as perguntas que o jogador já respondeu. Para estas últimas, é guardada a resposta dada pelo jogador, bem como uma indicação se a resposta é a correcta ou não. Estas informações são guardadas num ficheiro (ver listagem anexa C.1) que poderá servir para o professor verificar em que questões os alunos falharam mais ou as matérias onde tiveram mais dificuldades.

```
Pergunta: Seja  $f$  uma função definida por  $k/x$ , com  $x > 0$ .  
          Determina  $k$  de modo a que a função  $f$  passe num ponto  $P$  de coordenadas  $(1/2; 4/9)$   
Resposta: 2/9  
  
Pergunta: Seja  $f$  uma função definida por  $k/x$ , com  $x > 0$ .  
          Determina  $k$  de modo a que a função  $f$  passe num ponto  $P$  de coordenadas  $(5; -5)$   
Resposta: -25  
  
Pergunta: Seja  $f$  uma função definida por  $k/x$ , com  $x > 0$ .  
          Determina  $k$  de modo a que a função  $f$  passe num ponto  $P$  de coordenadas  $(7/13; 5)$   
Resposta: 35
```

Figura 4.6: Exemplos de perguntas utilizadas no jogo

As perguntas criadas para a configuração proposta, são bastante variadas, havendo 80 perguntas para cada uma das três matérias incluídas no jogo. No entanto, para ajudar a melhorar tanto a memória como o raciocínio, foram criadas diversas variações nas perguntas, de forma a obterem-se múltiplas perguntas semelhantes. Como se pode ver na

figura 4.6, as perguntas podem ser semelhantes entre si, no entanto as suas respostas são completamente distintas. Este mecanismo permite que haja diversos problemas que requerem a mesma forma de raciocínio para serem resolvidos, sem no entanto terem uma resposta igual que possa ser completamente memorizada pelo aluno. Assim o aluno é incentivado e ajudado a usar o raciocínio certo para responder, mas evitando que este decore as soluções dos problemas.

As perguntas são apresentadas de uma forma clara e sucinta, num ecrã criado especificamente para este modo (ver figura 4.7). A área onde o jogador introduz a resposta, está bem demarcada e o ecrã não permite qualquer forma de interação que não seja para escrever as respostas. Tal facto evita que o jogador possa sair a meio do modo de aprendizagem para gravar o jogo e fazer um carregamento posterior, caso se engane na resposta.

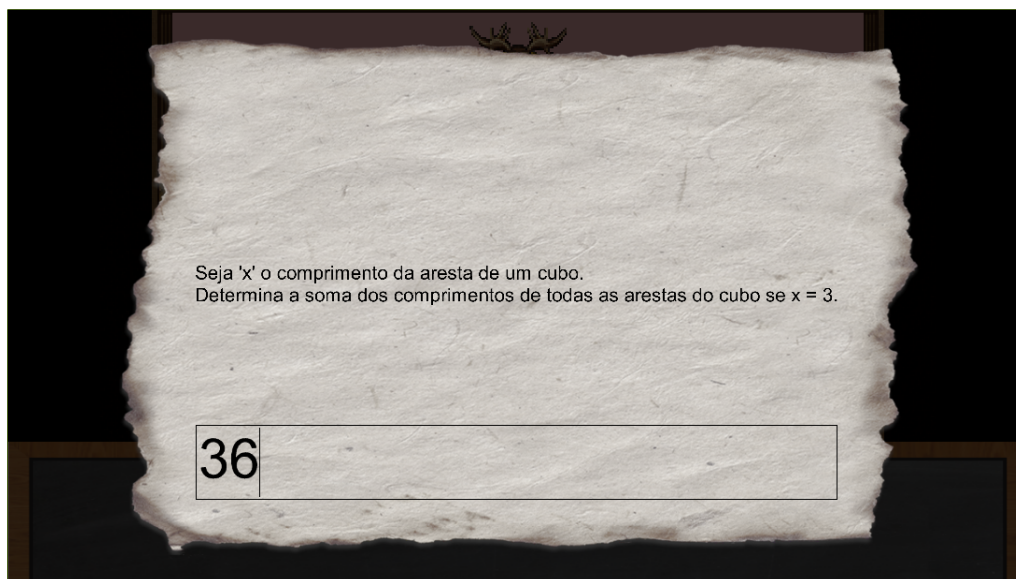
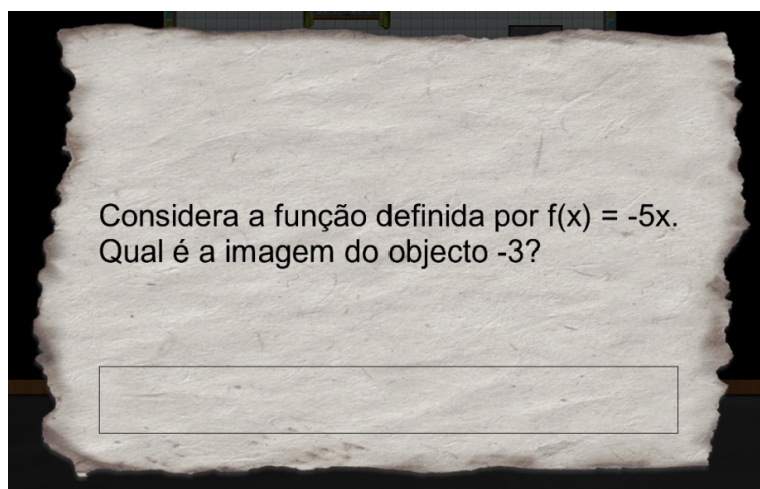


Figura 4.7: Exemplo de ecrã no modo aprendizagem

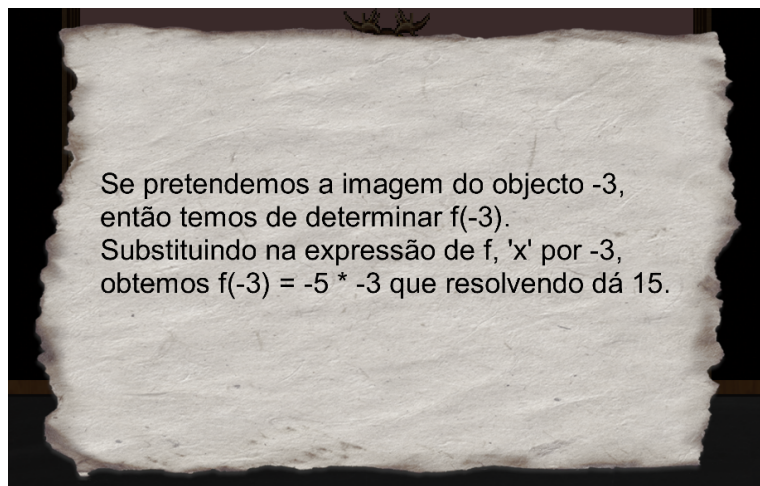
Para simplificar o processo de verificação das respostas, o jogo apenas aceita uma resposta como certa. Somente se a resposta dada pelo jogador for exactamente igual à resposta pré-definida na configuração do jogo, é que o problema é dado como correctamente resolvido. Assim é sempre recomendado aos alunos que oiçam com atenção a secção de ajuda (no menu inicial) onde é dada informação de como proceder para responder às perguntas sem se enganarem. Exemplos desta prática relacionam-se com a simplificação de fracções, pois no jogo apenas serão aceites fracções na sua forma mais simplificada, pelo que se durante o cálculo o aluno obtiver $6/2$, então a resposta certa aceite pelo jogo é o 3 e se obtiver $9/6$ então a resposta aceite é $3/2$. Este sistema também permite incentivar os alunos a não utilizarem as calculadoras, pois resultados com casas decimais nunca serão aceites.

Como para se aprender é necessário não só praticar, mas também perceber a causa dos erros, é muito importante que os alunos percebam onde falharam sempre que derem uma

resposta errada. Além disso, para que os alunos não percam a motivação, também é importante haver um reforço positivo quando estes acertam. Assim, foi criado um sistema de *feedback* que é activado quando o jogador responde às perguntas. No caso de o jogador responder acertadamente à pergunta que lhe foi colocada, o jogo responde-lhe com uma voz animadora “Acertaste!”. Se por acaso o aluno responder mal, então o jogo responde-lhe com uma voz desanimada “Erraste!”. No entanto neste último caso, o jogo explica ao jogador (por escrito e com voz), qual o cálculo ou raciocínio correcto (ver figura 4.8). De seguida, se o jogador ainda não atingiu as quatro respostas certas necessárias, é-lhe colocada uma nova pergunta. Caso o jogador já tenha respondido acertadamente às quatro perguntas, o jogo prossegue passando para o modo história seguinte.



(a) ecrã do modo aprendizagem com pergunta



(b) ecrã do modo aprendizagem com correcção (*feedback*)

Figura 4.8: Exemplos de ecrãs com pergunta e com *feedback* após responder erradamente

Para simplificação e minimização de erros, o *input* de algumas teclas foi desabilitado neste modo, sendo apenas permitida a escrita de caracteres alfanuméricos, operadores matemáticos e alguns caracteres de pontuação. A pensar nas limitações dos jogadores

cegos, criaram-se dois tipos de ajuda para este modo. Quando os jogadores não compreenderem a pergunta, a tecla de ajuda *F1* pode ser utilizada para ouvirem a pergunta quantas vezes sejam necessárias. Para lembrarem o que já escreveram como resposta, podem usar a tecla de ajuda *F2* que irá reler um a um todos os caracteres já introduzidos.

4.4 Modo Aventura

O modo aventura é o mais dinâmico dos três modos. É um elemento muito importante, pois confere ao jogo educativo um elemento que não é comum neste tipo de jogos, contribuindo também para uma maior motivação dos alunos em jogarem. Neste modo o jogador tem que guiar a sua personagem pelas ruas de Lisboa (ver figura 4.9) até um local pré-determinado para cada cenário. Assim, os cenários usados no modo aventura são construídos como um labirinto ortogonal⁹ muito simples. Existem ainda situações em que não é permitida a interacção do jogador. Estas servem apenas para deslocar a personagem e a acção do jogo para outro local dentro do mesmo cenário.



Figura 4.9: Exemplo de cenário no modo aventura

Como referido na secção 4.2, existe também neste modo um efeito sonoro específico para guiar o jogador até ao local que este tem que encontrar no cenário. O efeito sonoro pode ser por exemplo, o som dum autocarro quando as personagens têm que apanhar o autocarro, ou de um sino quando estas têm que ir até à igreja de São Roque. Este efeito sonoro auxilia os jogadores cegos (e não cegos) a direccionar correctamente a personagem no labirinto. Para tal, o som é ouvido com maior intensidade quanto mais próxima a personagem se encontrar do monumento. É também utilizado um sistema de *panning* que distribuiu o volume do som pelos canais de áudio. Assim se a personagem se encontrar

⁹Um labirinto ortogonal é todo aquele cujas células estão dispostas numa grelha rectangular e apenas permitem intersecções em ângulos rectos

à esquerda da origem do som, o canal esquerdo terá uma maior intensidade sonora do que o canal direito.

Quando o jogador se sentir perdido ou estiver com dificuldades em encontrar o caminho até ao destino, este poderá utilizar a tecla $F1$, que permite à personagem percorrer o mapa automaticamente. Esta ajuda é particularmente útil para os jogadores cegos, uma vez que poderão apresentar maiores dificuldades para superar o modo aventura. Uma outra ajuda que lhes é proporcionada, é poderem atravessar todo o mapa imediatamente (“saltando” logo para o destino) utilizando a tecla $F2$. Esta ajuda permite poupar tempo e avançar mais rapidamente para o modo de aprendizagem seguinte, especialmente quando se trata de jogar pela segunda vez.

4.5 Modo História

O modo história é o mais simples dos três modos existentes no jogo. É utilizado para conferir fluidez ao jogo, intercalando os modos aventura e aprendizagem. É neste modo que se dá a conhecer a história ao jogador, através dos diálogos e interações das personagens. A figura 4.10 ilustra dois exemplos de cenários no modo história, em que as personagens estão a dialogar. Para além de se ouvirem os diálogos nas vozes das personagens, no ecrã são sempre exibidas as falas e o retrato da personagem que está a falar. Para tal foi criada uma área *heads-up display* (HUD) na parte inferior do ecrã de jogo e que também pode ser observada na figura 4.10.

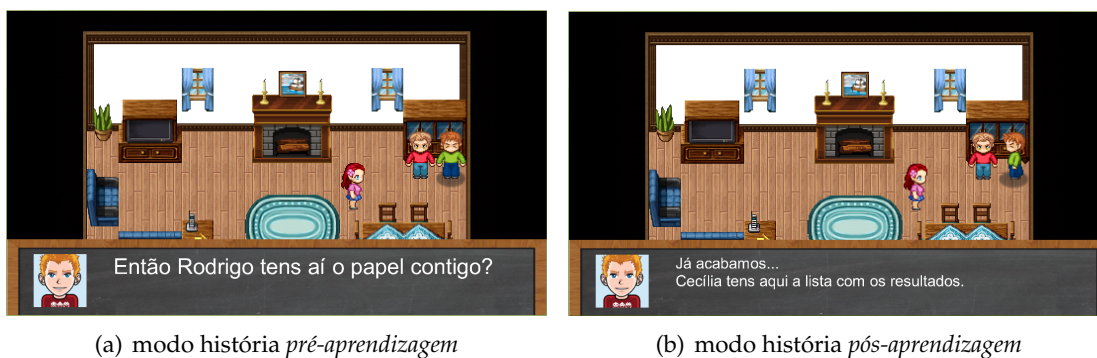


Figura 4.10: Exemplos de ecrãs no modo história, demonstrando o uso do HUD

Como já referido anteriormente na secção 4.1, o modo história pode ser “dividido” em dois sub-modos. O primeiro, é um modo história pré-aprendizagem caracterizado inicialmente por diálogos mais centrados na procura pela pista (habitualmente um pequeno papel com problemas de matemática) e seguidamente pelo entusiasmo das personagens em resolver os exercícios que encontraram (ver figura 4.10(a)). O segundo, é um modo história pós-aprendizagem onde os diálogos andam em torno da investigação que as personagens realizam, para relacionarem os resultados obtidos no modo aprendizagem com os documentos do arquitecto António Fonseca. É essa relação que lhes vai indicar qual o monumento onde estará a próxima pista (ver figura 4.10(b)).

Neste modo, caso o jogador não tenha compreendido ou tenha dúvidas sobre o que foi dito pela personagem que acabou de falar, pode usar a tecla *F1* para voltar a ouvir essa última fala. Esta ajuda é importante uma vez que os diálogos podem conter informações úteis para o jogador sobre quais os passos seguintes. Existe ainda um outro tipo de ajuda permitida neste modo. Ao usar a tecla *F2*, o jogador poderá saltar por completo o modo história actual. Esta ajuda é particularmente útil, pois dá ao jogador a possibilidade de avançar imediatamente para os modos aprendizagem ou aventura seguintes. Assim os jogadores que já conheçam a história, por terem concluído o jogo uma primeira vez, não necessitam de a ouvir novamente.

5

Informação Técnica

Nas artes, o processo criativo inicia-se sempre num ponto comum: o conceito inicial. Nos vídeo jogos também se verifica a mesma situação, sendo habitual um *brainstorming* inicial entre os *game designers* para a definição daquele que será o conceito base do jogo sobre o qual se irá trabalhar. Nos *Indie Games* também é necessário definir o conceito inicial do jogo, que normalmente nasce a partir das ideias e imaginário de um ou mais indivíduos.

Após a definição do conceito inicial do jogo e de realizada a fase de desenho, é necessário começar a procurar as tecnologias e ferramentas que melhor se adequam à implementação dessa visão. Nessa procura é importante ter em linha de conta diversos factores, como o custo das ferramentas ou o tempo e dificuldade no uso dessas ferramentas, bem como as características dessas ferramentas em relação aos requisitos do vídeo jogo a desenvolver.

5.1 Frameworks e Ambientes de Desenvolvimento

Existem diversos IDEs (*Integrated Development Environments*) e *frameworks* específicas para o desenvolvimento de vídeo jogos. Muitas delas, mesmo sendo licenciadas, permitem a utilização de versões de demonstração por tempo limitado ou de versões gratuitas com algumas limitações nas suas funcionalidades. Nesta secção são resumidas as principais características de alguns dos IDEs que foram considerados para uso no desenvolvimento do jogo “O Código Pitágoras”.

O Unity¹⁰ apresenta-se como uma das mais completas *suites* para o desenvolvimento de vídeo jogos em 2D ou 3D. Este IDE inclui um vasto conjunto de ferramentas que auxiliam a criação de jogos multi-plataforma, com um elevado grau de qualidade visual.

¹⁰Unity (unity3d.com)

Permite centralizar todos os elementos do desenvolvimento de um vídeo jogo num só local, facilitando a sua gestão e manuseamento. No site podem encontrar-se diversos tutoriais, bem como uma loja *online* com conteúdos prontos a usar, agilizando assim o processo de desenvolvimento de um jogo. No entanto a versão profissional apresenta um custo demasiado elevado para um projecto sem financiamento e de pequenas dimensões, como é o caso do jogo “O Código Pitágoras”. No entanto há uma versão gratuita do Unity, que apenas apresenta algumas restrições nas funcionalidades disponíveis, mas que não inviabilizam o desenvolvimento do jogo “O Código Pitágoras”.

O RPG Maker¹¹ é um ambiente de desenvolvimento específico para a criação de vídeo jogos do estilo *Role Playing*. Possui uma vasta gama de *tilesets*¹², personagens, monstros e eventos pré-construídos que agilizam o processo de desenvolvimento. Inclui também ferramentas próprias para criar/editar os cenários de jogo, personalizar novas personagens e uma linguagem de *scripting* para a definição de eventos. Todas estas características, permitem desenvolver RPGs a duas dimensões de uma forma rápida e simples, mesmo para alguém que não possua quaisquer conhecimentos de programação. Uma vez que a versão completa deste *software* é paga, apenas se verificaram as características da versão gratuita, cuja única imposição está no número de recursos (*assets*) que se podem utilizar no desenvolvimento do jogo. No entanto a desvantagem mais significativa deste IDE é não permitir utilizar os sons localizáveis em 2D, tornando inviável o seu uso para desenvolver o jogo “O Código Pitágoras”.

O FlashDevelop¹³ é um ambiente de desenvolvimento utilizado para a criação de todo o tipo de aplicações em Adobe Flash. É completamente gratuito e *open source*, possuindo as funcionalidades habituais dos IDEs mais conhecidos e utilizados, como a integração com *software* de controlo de versões, capacidade de depurar o código desenvolvido ou o *autocomplete*. Para permitir um desenvolvimento mais voltado para os vídeos jogos, pode utilizar-se a biblioteca FlashPunk¹⁴ em conjunto com este IDE. Esta biblioteca, sendo específica para o desenvolvimento de vídeo jogos, providencia diversas classes e interfaces para a definição e gestão de animações, cenários, colisões e até de sistemas de partículas e colisões. Uma característica importante desta *framework* é permitir o uso de *panning* e atenuação do volume nos efeitos sonoros do jogo.

O último ambiente de desenvolvimento em análise foi o XNA Game Studio¹⁵. O XNA Game Studio foi criado pela Microsoft e é um conjunto de ferramentas específicas para o desenvolvimento de vídeo jogos para *Windows Phone*, *Xbox 360* e PCs. É baseado na .NET Framework e utiliza-se em conjunto com o IDE Visual Studio, permitindo o desenvolvimento de jogos em C# ou VB.NET. Apesar de ser gratuito e não possuir quaisquer limitações no seu uso, a Microsoft já anunciou que não irá dar continuidade ao suporte do XNA Game Studio. No entanto uma das principais características é a existência de um

¹¹RPG Maker (www.rpgmakerweb.com)

¹²Conjunto de pequenas imagens relacionadas entre si, utilizadas na construção dos cenários

¹³FlashDevelop (www.flashdevelop.org)

¹⁴FlashPunk (useflashpunk.net)

¹⁵XNA Game Studio (www.dreamspark.com/Product/Product.aspx?productid=3)

kit de desenvolvimento de RPG que pode ser instalado em conjunto com o XNA Game Studio. Este *kit* disponibiliza algumas das classes habituais deste tipo de jogos, prontas a usar e com a possibilidade de serem adaptadas de acordo com as características de cada jogo.

A tabela 5.1 apresenta uma comparação entre as diversas *frameworks* estudadas. Como se pode observar nesta tabela, o RPG Maker é imediatamente excluído das opções, pois não possui suporte para o uso de áudio direccional, que se pretende ser uma das características fundamentais do jogo “O Código Pitágoras”. Por se tratar de um IDE completo, sem quaisquer tipos de limitações e por já estar familiarizado com a XNA Framework e a .NET Framework, optei por escolher o XNA Game Studio para o desenvolvimento do jogo. O Unity e FlashDevelop também se adequariam ao pretendido para esta dissertação, no entanto uma das razões mais preponderante para a escolha do XNA Game Studio, foi a existência do *kit* de desenvolvimento de jogos RPG.

Tabela 5.1: Comparação entre as soluções de desenvolvimento estudadas

IDE / Framework	Plataformas Suportadas	Limitações (versão gratuita)	Uso de Áudio Direccional
Unity	Multiplataforma	Funcionais	Sim
RPG Maker	PC	Funcionais	Não
XNA Game Studio	Multiplataforma	Sem limitações	Sim
FlashDevelop + FlashPunk	PC	Sem limitações	Sim

5.2 Motor de Jogo

O jogo apresentado neste trabalho tem como base o *kit* de desenvolvimento de jogos RPG do XNA Game Studio. Este *kit* inclui as principais classes que constituem o núcleo do motor de jogo. Essas classes foram adaptadas de forma a enquadrarem-se com a realidade do vídeo jogo desenvolvido e das suas características particulares. Em seguida descrevem-se brevemente essas características bem como o seu enquadramento nas classes já existentes no *kit* de desenvolvimento.

5.2.1 O Caminho Mais Curto

Tal como referido na secção 4.4, de forma a facilitar a utilização do jogo por parte dos alunos cegos e amblíopes, é possível percorrer de forma automática os cenários do modo aventura. Mais especificamente, quando o utilizador carrega na tecla *F1*, a personagem principal percorre o cenário de forma automática. Para chegar ao destino, a personagem opta sempre pelo caminho mais curto.

De forma a criar a sobreposição entre as personagens e os objectos do cenário (efeito de *background* e *foreground*), cada cenário é descrito num ficheiro do tipo mapa (ver listagem em anexo D.1) onde são definidas três matrizes, designadas por camadas. Cada

célula dessas matrizes é designada por *tile* e corresponde a uma posição no cenário. Os objectos e personagens são renderizados no ecrã pela classe *TileEngine*, utilizando os valores de referência das *tiles* para extrair a informação dos *tilesets*. Uma quarta camada indica, para cada *tile* se esta é ou não um obstáculo intransponível pela personagem.

Para garantir o cálculo do caminho mais curto, começou-se por adicionar a cada ficheiro de mapa mais uma matriz de dimensão igual ao tamanho do mapa. Nesta define-se para cada *tile* o custo de ir dessa mesma *tile* até um ponto específico do cenário, utilizando uma adaptação ao algoritmo *Flood Fill*. O algoritmo começa por dar um custo 0 a todos os pontos de destino do cenário e um custo máximo (número total de células da matriz) a todas as *tiles* que correspondem a um obstáculo. Seguidamente o algoritmo percorre todo o mapa de forma iterativa desde as *tiles* adjacentes aos pontos de destino, até preencher todas as *tiles* com um custo. Assim para cada *tile* x_i cujo custo é $c(x_i)$, as suas células adjacentes (ainda não preenchidas) terão um custo dado pela seguinte função:

$$c(x_j) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } x_j \text{ é um ponto de destino} \\ \infty & , \text{ se a } \textit{tile } x_j \text{ é uma barreira} \\ c(x_i) + 1 & , \text{ se a } \textit{tile } x_j \text{ não é uma barreira} \end{cases}$$

onde x_i e x_j são *tiles* adjacentes, e ∞ é o custo máximo possível para o mapa.

A figura 5.1 ilustra um mapa com as *tiles* devidamente preenchidas por este algoritmo, onde a *tile* a cinzento claro representa o ponto de destino e as *tiles* cinzento escuro os obstáculos. Assim para encontrar o melhor caminho desde qualquer localização no mapa até ao destino basta seguir as *tiles* de custo decrescente.

72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
72	4	72	72	5	6	7	8	9	10	72	72
72	3	72	72	4	72	72	7	72	11	72	72
72	2	72	72	3	72	72	6	72	12	13	72
72	1	0	1	2	3	4	5	72	72	14	72
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

Figura 5.1: Mapa preenchido com os custos calculados pelo algoritmo *Flood Fill*

5.2.2 Gestão dos Múltiplos Ecrãs

A grande maioria dos jogos de vídeo incluem diversos tipos de ecrãs diferentes, cada um com as suas próprias características. Normalmente essas características estão fortemente relacionadas com o *layout* e com as acções que o jogador pode realizar. O jogo “O Código

Pitágoras” possui três tipos de ecrãs principais: os ecrãs do tipo menu (figura 5.2(a)); os ecrãs de jogo, usados no modo aventura e modo história (figura 5.2(b)); e os ecrãs do tipo mensagem, usados no modo aprendizagem, ou como alertas que aparecem sob a forma de *pop-ups* sobre os restantes ecrãs (figuras 5.2(c) e 5.2(d)).



(a) ecrã do menu inicial

(b) cenário do modo história

(c) ecrã do modo aprendizagem

(d) mensagem de confirmação de acção

Figura 5.2: Exemplos dos ecrãs utilizados no jogo

Para gerir os diversos tipos de ecrãs existentes no jogo é imperativo manter o estado de cada ecrã actualizado. Como os ecrãs têm características e *layouts* diferentes entre si, é necessário invocar as funções de *Update* e *Draw* de cada um dos ecrãs nos tempos apropriados. Uma vez que as acções permitidas ao jogador são também diferentes de ecrã para ecrã, é também necessário enviar o *input* do jogador para o ecrã activo a cada instante. Para tal, recorreremos à classe *ScreenManager* do *kit* de desenvolvimento.

5.2.3 Acessibilidade Sonora

Como já tinha sido referido na secção 4.2, por ser possível jogar sem recorrer aos gráficos, o som desempenha um papel muito importante no jogo “O Código Pitágoras”. Para que os jogadores cegos e amblíopes pudessem navegar pelos menus e compreendessem todas as informações e opções, todos os textos e entradas dos menus foram gravados com voz. Uma vez que os menus do jogo possuem também uma música de fundo, para que as gravações de voz sejam perceptíveis, estas são reproduzidas com um volume superior ao da referida música de fundo.

Para que pudessem acompanhar a história do jogo, os diálogos entre as personagens

também foram gravados com voz e são reproduzidos ao mesmo tempo que a fala da personagem é “escrita” no ecrã. Os textos e gravações a utilizar em cada modo história são configurados em ficheiros do tipo história (ver listagem em anexo D.2). Também no modo aprendizagem as perguntas e as suas respectivas correcções foram gravadas com voz. Se o aluno não compreender a pergunta ou correcção, ele têm a opção para voltar a ouvir-la novamente. E se o fizer enquanto a pergunta ou resposta ainda estiver a ser dita, então a gravação recomeça desde o início. As perguntas, correcções e respectivas gravações de cada matéria são configuradas em ficheiros do tipo problemas (ver listagem em anexo D.3). No modo aprendizagem para que os alunos cegos e amblíopes consigam saber o que estão a escrever como resposta, sempre que introduzirem um carácter o jogo indica-lhes qual foi utilizando também voz.

No modo aventura surgem os sons localizáveis em 2D, que ajudam os jogadores cegos e amblíopes a guiar a personagem principal através dos cenários. Por exemplo, se a personagem têm que apanhar um autocarro, os jogadores vão ouvir o som do motor de um autocarro. O volume com que estes sons são reproduzidos, varia com a distância da personagem principal à localização da origem do som. Como consequência, o volume aumenta ou diminui quando a personagem se aproxima ou afasta da fonte sonora. Esta variação é dada pela seguinte função:

$$v = 1 - \frac{d}{d_{max}},$$

onde v é o volume do som representado no intervalo $[0,1]$, d é a distância vectorial da personagem principal até à fonte sonora e d_{max} é a distância máxima para o cenário actual.

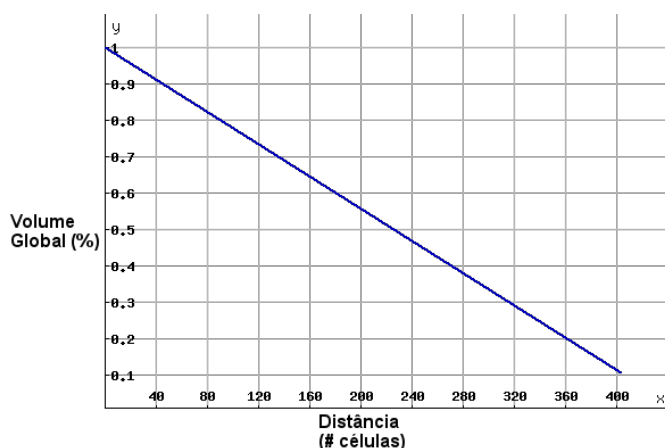


Figura 5.3: Gráfico da função de volume

O gráfico da figura 5.3 representa a função descrita anteriormente para um cenário cujo d_{max} é de 400 células. Apesar de não reflectir o que acontece realmente com a atenuação da intensidade do som esta função, obtida através de experimentação, mostrou-se mais adequada ao ambiente do jogo. Esta função dá aos utilizadores cegos e amblíopes

uma maior sensibilidade à sua movimentação pelos cenários. Adicionalmente, para dar ao jogador a sensação que a origem do som que deve seguir está à esquerda ou à direita da personagem, utilizou-se o *panning* do som. Ao efectuar o *panning* de um som, este é reproduzido com maior intensidade no canal esquerdo ou direito dependendo da localização da personagem em relação à fonte sonora.

Para se poder fazer a gestão dos diversos tipos de sons existentes no jogo, utilizámos como base a classe `AudioManager` presente no *kit* de desenvolvimento. No entanto, com esta classe não era possível gerir todos os efeitos sonoros pretendidos, nomeadamente os sons localizáveis. Desta forma, foi necessário estender a classe adicionando variáveis para guardar as posições actuais da personagem principal e da fonte sonora do cenário corrente, de modo a permitir utilizar efeitos sonoros localizáveis. Através das extensões introduzidas na classe `AudioManager`, sempre que o estado do jogo é actualizado ou há uma mudança de cenário, a nova posição da personagem principal e da fonte sonora são também actualizadas. As variáveis são posteriormente utilizadas para calcular a distância entre as duas posições no cenário seguindo a seguinte fórmula:

$$d = \sqrt{(p_x - s_x)^2 + (p_y - s_y)^2},$$

onde p é a distância entre os dois pontos no cenário, o par (p_x, p_y) é a posição da personagem principal e o par (s_x, s_y) é a posição da fonte sonora.

5.2.4 Gestão dos Modos de Jogo

Uma vez que o jogo possui diversos modos, a coordenação entre eles é fulcral para manter o fluxo de jogo fluído. Para permitir que os jogadores pudessem guardar o seu progresso, de forma a o poderem retomar mais tarde se assim o desejassem, é também necessário manter o estado actual de muitas das componentes da sessão de jogo: o cenário corrente, a posição das personagens nesse cenário, o modo actual, as perguntas já respondidas, etc.

Modificou-se a classe `Session` do *kit* de desenvolvimento, para que esta pudesse gerir também as componentes específicas para além das componentes base do jogo desenvolvido. Esta classe tornou-se responsável por manter o modo de jogo corrente devidamente actualizado, bem como de verificar permanentemente as condições necessárias para a mudança de modo e de cenário, indicando à classe `TileEngine` qual o cenário a desenhar no ecrã. Os critérios para mudança de modo ou cenário, podem variar entre a personagem chegar ao ponto de destino no modo aventura, ou o jogador ter conseguido responder acertadamente a quatro perguntas no modo aprendizagem.

A classe `Session` está também encarregue da gravação do estado corrente da sessão de jogo num ficheiro, e do seu posterior carregamento e restabelecimento da sessão guardada, sempre que o jogador o solicitar através do menu principal. Esta característica permite aos jogadores guardarem o seu progresso e poderem sair do jogo, sem que seja

necessário recomeçar do início quando voltarem a jogar. O ficheiro de gravação (ver listagem anexa C.1) contém também informações que podem ser úteis para os professores, como é o caso das perguntas a que o jogador já respondeu na sessão e jogo guardada, bem como a indicação de este ter respondido bem ou mal. Estas informações podem ser utilizadas pelo professor para perceber as dificuldades específicas de cada aluno, bem como as matérias onde pode ser necessário fazer uma revisão.



Validação em Escolas de Ensino Inclusivo

Para verificar a eficácia do jogo “O Código Pitágoras” enquanto ferramenta educativa, realizou-se um estudo com alunos de duas turmas de 9º ano pertencentes a duas escolas de referência para o ensino inclusivo. Neste estudo seguiu-se a mesma metodologia utilizada por Virvou et al. [VKM05] e por Ketamo [Ket03] já discutida anteriormente na secção 3.2. Tal como sugerido por Virvou, para além de terem acesso ao jogo durante o período de validação, os alunos tiveram que responder a duas fichas formativas. Os resultados destas fichas serviram para determinar se o jogo tem ou não um impacto positivo na aprendizagem da disciplina de matemática. Assim, a primeira ficha realizou-se antes dos alunos terem acesso ao jogo e a segunda ficha realizou-se após o final do período de validação, isto é, após os alunos terem contacto com o jogo durante pelo menos quatro semanas.

O período de validação, isto é, o período em que os alunos tiveram acesso ao jogo, começou logo após a realização da primeira ficha formativa e teve uma duração de quatro semanas. Para que os alunos pudessem ter um acesso facilitado ao jogo “O Código Pitágoras”, este foi-lhes instalado nos seus computadores portáteis, bem como em alguns dos *desktops* das escolas. Desta forma os alunos poderiam jogar autonomamente em casa, mas também na escola com o acompanhamento das professoras do ensino especial. Como forma de motivar os alunos a jogarem com maior regularidade, foi-lhes prometido um prémio simbólico, atribuído ao aluno de cada escola que apresentasse uma maior melhoria entre a primeira e a segunda ficha formativa. O facto de os alunos poderem jogar em casa, implicou que não houvesse qualquer tipo de controlo quanto ao número

de horas que os alunos jogavam diariamente.

De forma a garantir que durante o período de validação do jogo os alunos tivessem à sua disposição um grande leque de perguntas, foram criadas 80 perguntas para cada um dos três temas lectivos abordados pelo jogo. No decorrer do jogo existem seis momentos de aprendizagem, sendo que cada um deles incide em apenas uma das matérias lectivas, existindo portanto dois momentos de aprendizagem para cada um dos temas abordados pelo jogo. Uma vez que há um mínimo de quatro perguntas realizadas durante cada um dos momentos de aprendizagem (ver secção 4.3), temos então para cada matéria um mínimo de oito perguntas em cada ciclo de jogo completo. Um aluno que fosse capaz de jogar o jogo, do início ao fim cerca de duas vezes por semana, durante as quatro semanas de duração do estudo, responderia a pelo menos 64 perguntas de cada tema durante o período de validação. A diferença entre as 64 perguntas e as 80 perguntas criadas, deixa assim uma margem de cerca de 20% para respostas erradas durante todo o estudo, isto sem contar que a cada novo ciclo de jogo as perguntas podem voltar a ser repetidas.

Com o intuito de se poder fazer uma análise mais completa e conclusiva dos resultados do estudo, dividiram-se os alunos em diferentes grupos. Como o universo de alunos cegos e amblíopes era bastante restrito, optou-se por alargar o estudo aos alunos normovisuais, o que também possibilitou estudar a utilidade do jogo para este grupo de alunos. Assim, o ideal seria ter os alunos distribuídos pelos seguintes grupos: um grupo com alunos cegos e amblíopes com acesso ao jogo e às correcções, um grupo de alunos normovisuais com acesso ao jogo e também às correcções, um grupo de alunos normovisuais com acesso ao jogo mas sem acesso às correcções e um grupo de alunos normovisuais sem acesso ao jogo.

Infelizmente o mês escolhido para o estudo e validação do jogo, foi um mês bastante complicado para os alunos. Devido aos testes e trabalhos das várias disciplinas do 9º ano, estes não puderam jogar com uma frequência tão grande quanto gostaríamos e em alguns dos alunos não conseguiram jogar de todo. Consequentemente apenas seis (1 aluno cego, 3 alunos amblíopes e 2 alunos normovisuais) dos universo de alunos inicialmente indicados para participar no estudo realizam a segunda ficha formativa. Estes alunos estão divididos nos seguintes grupos:

- Um grupo constituído por dois alunos cegos e amblíopes. Estes jogadores tiveram acesso às correcções das perguntas caso se enganassem na resposta. Este grupo tem como principal finalidade a avaliação da usabilidade e acessibilidade do jogo para alunos invisuais, bem como a eficácia do jogo como ferramenta educativa;
- Um grupo constituído apenas por um aluno normovisual, sem acesso às correcções dos desafios. Este grupo servirá para verificar se ao não terem acesso às correcções, os alunos apresentam resultados inferiores aos grupos com acesso ao sistema de correcções. Este grupo avaliará a importância deste tipo de mecanismos nos jogos educativos;

- Um grupo constituído por três alunos que não jogaram. Este grupo serve como grupo de controlo e é subdividido em dois subgrupos: um com apenas um aluno normovisual e outro com dois alunos amblíopes.

Ambas as fichas formativas foram divididas em três partes e apresentam a mesma estrutura entre si. Em cada uma das partes são feitas três perguntas de uma das matérias abordadas no jogo (probabilidades, proporcionalidade e funções), sendo que uma delas é de escolha múltipla e as outras duas de cálculo e raciocínio. Temos assim um total de nove perguntas por cada ficha, e todas as perguntas presentes nas duas fichas formativas são variações de perguntas existentes no jogo. Em ambas as fichas os conceitos abordados são os mesmos de forma a facilitar a análise e comparação dos resultados.

Os resultados obtidos nas duas fichas formativas pelos alunos cegos e amblíopes que jogaram e pelos alunos cegos e amblíopes do grupo de controle, isto é, que não jogaram, são apresentados no gráfico 6.1. Como se pode observar as melhorias estão restritas aos alunos que efectivamente jogaram, sendo que os alunos cegos e amblíopes que não jogaram, mantiveram a mesma média de respostas certas. Esta observação sugere que o jogo “O Código Pitágoras” pode ter um impacto benéfico nas classificações dos alunos cegos e amblíopes, uma vez que lhes permite estudar (resolvendo os exercícios) de uma forma mais motivadora e divertida.

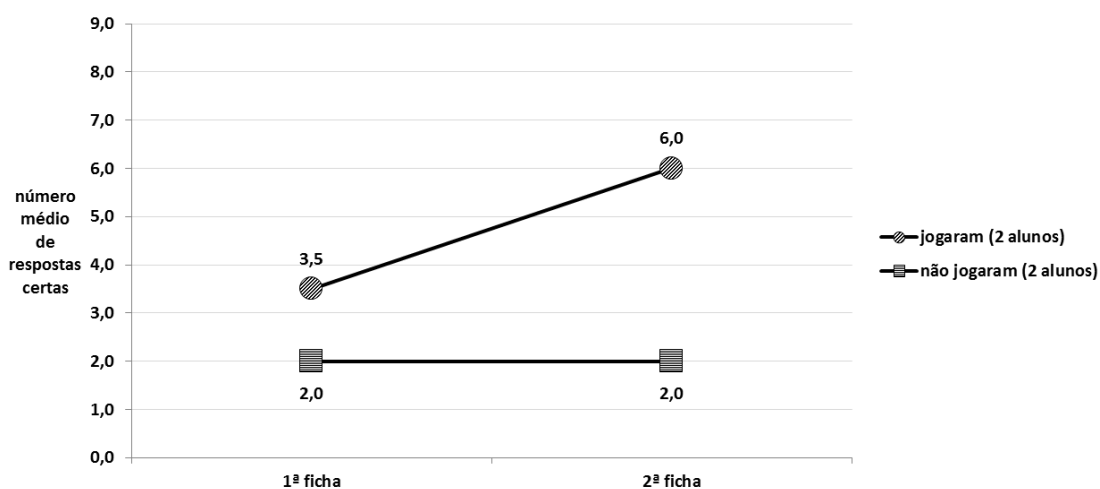


Figura 6.1: Resultados médios das fichas dos alunos cegos e amblíopes

O gráfico 6.2 apresenta os resultados obtidos pelos três grupos: alunos cegos e amblíopes que jogaram e que tinham acesso às correcções, o aluno normovisual que jogou mas que não tinha acesso às correcções quando respondia erradamente e o grupo de alunos que não jogou. Infelizmente os alunos normovisuais que teriam acesso às correcções não jogaram pelo que não é possível inferir se o uso de jogos educativos é efectivamente benéfico para a generalidade dos alunos. No entanto pelos resultados obtidos e demonstrados no gráfico 6.2 podemos verificar que os alunos cegos e amblíopes que tiveram

acesso às correcções obtiveram uma melhoria na segunda ficha formativa, mais significativa que qualquer um dos outros grupos. Este facto sugere que o acesso às correcções pode ser de facto mais benéfico para os alunos e para a sua aprendizagem.

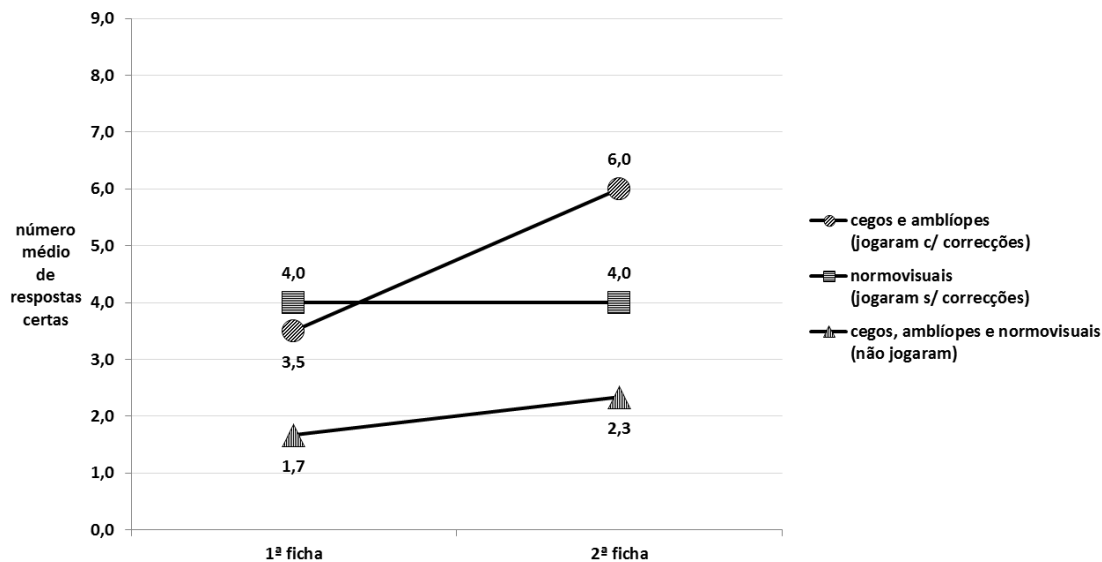


Figura 6.2: Resultados médios das fichas dos três grupos

Mais detalhadamente, podemos também verificar que inicialmente nenhum dos três grupos tinha uma média de respostas certas que chegasse a metade do total de perguntas (média de 4,5), no entanto o grupo dos alunos cegos e amblíopes com acesso às correcções conseguiu no final do período de validação ter uma média de seis respostas certas em nove perguntas, conseguindo assim passar, daquilo que seria uma negativa (média de 3,5), para uma positiva. Este foi o grupo que apresentou uma maior melhoria: uma subida em média de 2,5 respostas certas. Já o aluno que jogou mas não tinha acesso às correcções iniciou com uma média bastante próxima da positiva (média de quatro respostas certas), no entanto e apesar de ter jogado não conseguiu ter nenhuma melhoria na sua média de respostas certas. Em relação ao grupo que não jogou, nota-se que houve uma ligeira melhoria mas inferior à dos alunos com acesso às correcções. Estes alunos passaram de uma média inferior a duas respostas certas para uma um pouco superior na segunda ficha (mais 0,6 respostas certas que na primeira ficha).

O gráfico 6.3, mostra os resultados por matéria de cada um dos três grupos referidos anteriormente. Ao analisar o gráfico grupo a grupo, podemos verificar que o grupo de cegos e amblíopes que jogou é o único grupo que apresenta uma melhoria da 1ª para a 2ª ficha na média de respostas certas, em todas as matérias abordadas pelo jogo. O aluno normovisual que jogou (mas não teve acesso às correcções quando respondia erradamente) conseguiu uma grande melhoria na matéria de proporcionalidade, mas verificase o inverso na matéria de funções. É interessante verificar que este aluno, não tendo um grande gosto pela matemática, ainda assim jogou e chegou a terminar o jogo uma vez. Segundo ele a parte onde sentiu mais dificuldades no jogo foi mesmo nas perguntas de

funções. Isto sugere que a dificuldade das perguntas de funções pode ser elevada (pelo menos no caso deste aluno) e que seria interessante a dificuldade das perguntas poder ser ajustada automaticamente em função dos resultados obtidos pelo aluno enquanto joga. Em relação ao grupo de alunos que não conseguiu jogar, verifica-se que há matérias onde conseguiram ligeiras melhorias, e outra onde baixaram a média de respostas certas. Constatou-se que dos três alunos deste grupo, dois deles afirmam gostar de algumas das matérias de matemática.

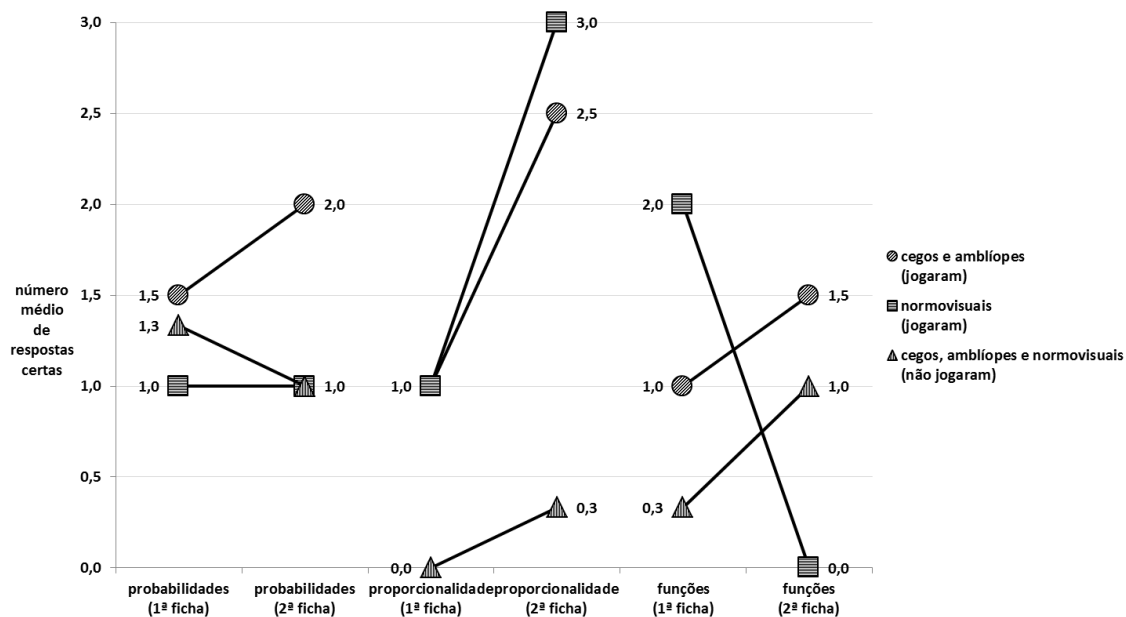


Figura 6.3: Variação nas médias de respostas certas por matéria

No final do estudo, foi pedido aos alunos que preenchessem um pequeno inquérito para melhor compreender as suas percepções acerca do jogo, as áreas que lhes causaram mais dificuldades e as suas preferências. Nas respostas dos inquéritos dos alunos que jogaram, surgiu logo um resultado muito positivo. Os alunos que responderam não gostar de matemática, foram aqueles que afirmaram terem jogado o jogo mais vezes por semana e que o conseguiram terminar. Isto sugere que a ideia de juntar à componente de aprendizagem, um modo aventura dinâmico e motivador com uma história misteriosa e cativante pode ser uma excelente forma de motivar os alunos que menos gostam de matemática a resolverem os exercícios, levando-os a estudar de uma forma mais divertida e menos formal. Todos os alunos que jogaram, afirmaram gostar muito do jogo, sendo que cada um deu preferência a uma ou outra característica do jogo, relacionada com a história ou com o funcionamento do modo aventura. No entanto houve consenso em relação às partes do jogo que menos agrado causaram. Essas foram sem dúvida alguma as perguntas, nomeadamente as perguntas de funções, onde dois dos alunos atribuíram uma dificuldade de 5 (numa escala de dificuldade crescente de 1 a 5).

Quando inquiridos se este tipo de jogos educativos poderia ser uma mais valia nas aulas, todos os alunos (mesmo os que não puderam jogar), afirmaram que sim, uma vez

que traria a possibilidade de jogarem em conjunto com os colegas e tornaria as aulas de matemática mais divertidas e com uma maior participação por parte dos alunos. Alguns dos alunos que disseram não gostar de matemática, também afirmaram que jogos como “O Código Pitágoras” os poderia ajudar a ter um maior interesse pela disciplina.

Também lhes foi pedido que dessem sugestões para melhorar o jogo, o que poderá ser bastante útil no possível desenvolvimento de uma segunda versão do jogo. São de salientar as seguintes ideias e sugestões dos alunos: adicionar mais pessoas aos cenários, não restringir os cenários no modo aventura (ruas onde o jogador não podia entrar), dar mais realismo e movimento aos carros nas ruas da cidade, ter uma forma auditiva de saber quando se vai contra um obstáculo ou fazer o jogo em 3D. Algumas das características sugeridas, já tinham sido comunicadas pelas professoras do ensino especial ao longo do período de validação e neste momento já se encontram implementadas no jogo, como é o caso dos cenários com mais personagens não jogáveis e também do *feedback* auditivo quando o jogador embate num obstáculo (carros, paredes ou outras personagens) nos cenários do modo aventura. Para esta situação em particular adicionou-se um efeito sonoro para o embate num obstáculo, seguido da indicação dada por uma personagem de qual a melhor direcção a tomar após esse embate. Outras modificações estão a ser implementadas e quando estiverem concluídas será então entregue nas escolas uma segunda versão do jogo em formato CD-ROM para que a possam distribuir pelos alunos interessados de uma forma rápida e gratuita.



Conclusões e Trabalho Futuro

Apesar de existirem diversos jogos de computador educativos, poucos são os que estão devidamente adaptados para estudantes com necessidades especiais. Esta dissertação propõe um jogo educativo de computador, chamado “O Código Pitágoras”, que tem a particularidade de poder ser jogado quer por alunos normovisuais quer por alunos cegos e amblíopes, dando assim iguais oportunidades de aprendizagem a todos. Este facto incentiva os alunos invisuais a interagir mais com os seus colegas normovisuais, levando também a uma maior integração destes nas suas turmas e na sociedade, favorecendo o ensino inclusivo. Ao utilizarem um jogo como ferramenta de ensino, a relação dos alunos com os seus professores e o gosto pela disciplina também podem melhorar. Por se tratar de uma disciplina na qual a maioria dos alunos tem muitas dificuldades, as matérias lectivas abordadas no jogo (probabilidades, proporcionalidade e funções) fazem parte do plano curricular de matemática do 9º ano.

Um dos principais objectivos do jogo é ser uma ferramenta de aprendizagem motivadora. Para tal a história do jogo foi adaptada de um livro de aventura e mistério juvenil [Mou12], sendo que toda a acção gira em torno de uma caça ao tesouro. De forma a aumentar a motivação dos alunos e sem pôr em causa os momentos de aprendizagem, o jogo intercala sempre os modos de aprendizagem e de aventura com uma sequência de modos história. Este fluxo de jogo, apesar de não ser habitual em jogos educativos de perguntas e respostas, permite captar o interesse e a curiosidade dos alunos que se vão esforçar para ultrapassar o modo aprendizagem sabendo que isso os levará a um novo modo aventura. O modo história serve então para fazer a ligação entre os vários modos e para dar uma continuidade à trama, mantendo um fluxo de jogo bastante fluido. O jogo inclui ainda um sistema de pontuação que têm o intuito de motivar os jogadores a melhorarem a sua pontuação de cada vez que jogam e introduzir uma possível forma de

competição saudável entre colegas.

Uma das características educacionais mais relevantes do jogo é o sistema de correcções durante o modo de aprendizagem. Sempre que um aluno responde erradamente a uma das perguntas, o jogo explica-lhe por intermédio de texto e áudio, a forma correcta de resolver o problema. Esta característica é muito importante, uma vez que promove a aprendizagem ao não dar as respostas certas ao aluno, mas sim ajudando-o a raciocinar acerca do problema.

Por se tratar de um jogo acessível a cegos e amblíopes, tiveram-se diversos cuidados com o *feedback* sonoro e com o ambiente gráfico. A nível sonoro toda a história do jogo, bem como as perguntas e correcções utilizadas nos desafios matemáticos foram gravadas com voz para que os cegos as pudessem acompanhar. No modo aprendizagem também foi utilizado o áudio para dar *feedback* dos caracteres introduzidos pelo jogador. Desta forma os alunos cegos podem saber quais os caracteres que estão a escrever, uma vez que esse carácter lhes é indicado por voz enquanto escrevem as respostas. Nos momentos de aventura, são utilizados efeitos sonoros localizáveis em 2D para guiar os jogadores.

Na interface gráfica, utilizaram-se gráficos simples e com poucos pormenores capazes de causar confusão aos alunos amblíopes. As cores utilizadas são vivas, produzindo um contraste elevado e a dimensão das personagens, ligeiramente maior em relação ao resto dos elementos dos cenários também ajuda a que estas se destaquem nos diversos cenários do jogo, sejam eles exteriores ou interiores. Os cenários a 2D são também construídos de forma minimalista e com poucos objectos, numa perspectiva *top-down* com poucas sobreposições entre os objectos.

Também foram implementadas diversas ajudas que permitem aos alunos progredir mais rapidamente na história ou ouvirem novamente uma pergunta, correcção ou diálogo que não tenham percebido. Como discutido nas secções 4.3, 4.4 e 4.5 os tipos de ajuda variam consoante o modo em que o jogador se encontra. Estas podem ir desde o saltar por completo um diálogo no modo história ou realizar um trajecto pelo mapa do modo aventura de forma automática, até ao simples repetir de uma pergunta que não se percebeu no modo aprendizagem.

Para validar a usabilidade do jogo pelos alunos cegos e verificar a sua eficácia como ferramenta educacional, disponibilizou-se o jogo aos alunos de duas escolas de referência para o ensino inclusivo. O estudo foi realizado com duas turmas que integram alunos cegos e amblíopes com alunos normovisuais. Este estudo decorreu ao longo do 2º período do ano lectivo, pelo que os alunos tiveram de articular o tempo que poderiam dedicar ao jogo, com as aulas, trabalhos e testes das diversas disciplinas do 9º ano. Este facto levou a que alguns alunos não tivessem a possibilidade de jogar durante o período de quatro semanas do estudo. No entanto, e apesar de poucos alunos terem experimentado o jogo, os resultados obtidos após terem jogado “O Código Pitágoras” sugerem que o uso de jogos educativos como complemento às aulas pode ser uma grande mais valia na educação, em especial para alunos com necessidades especiais. Os alunos cegos e amblíopes apresentaram, em média, uma melhoria de mais 2,5 respostas certas entre a

primeira e a segunda ficha de formação após jogarem o jogo.

Das diversas vezes que conversámos com as professoras do ensino especial, estas sempre elogiaram o jogo, quer em relação aos gráficos coloridos, quer no uso do som para ajudar os alunos cegos e amblíopes. No entanto facilmente se percebeu que a falta de disponibilidade para utilizarem o jogo com os alunos, devido aos horários das aulas, trabalhos da escola e testes, iria ser sempre um dos grandes entraves a um uso mais intensivo durante o período de aulas. Não obstante, o jogo foi concebido de forma a que pudesse ser autonomamente utilizado em casa, esta característica foi fundamental para que alguns dos alunos o pudessem jogar.

Para os alunos cegos e amblíopes o jogo foi uma agradável surpresa, e apesar de alguns já estarem acostumados a jogar outros jogos no computador, este seria o primeiro jogo de aventura que poderiam jogar sozinhos. Os alunos amblíopes afirmaram ainda, que era bastante fácil aprender a jogar e que os gráficos apesar de simples conferiam uma motivação extra ao jogar. Os estudantes cegos gostaram muito de ouvir as vozes das personagens e referiram que os efeitos sonoros ajudavam bastante para poderem jogar sozinhos, criticando apenas o facto dos obstáculos não serem facilmente identificáveis. Os alunos também afirmam que o sistema de correcções introduzido no jogo e o *feedback* proporcionado aquando das respostas erradas é muito importante e útil para aprenderem. Verificou-se que mesmo alunos que não gostam de matemática, jogaram até ao final, passando pelos três modos do jogo. Isto mostra que o fluxo de jogo proposto, intercalando os modos de aprendizagem e aventura com o modo história, confere aos alunos a motivação necessária para realizarem os exercícios propostos no modo aprendizagem sem perderem o interesse no jogo educativo.

Em relação aos alunos normovisuais a questão inverte-se, uma vez que estes têm ao seu dispor uma infinidade de jogos de diversos estilos. Assim muitas das suas críticas vão no sentido inverso ao elogiado pelas professoras: grafismo demasiado simples, o facto de o ambiente ser em 2D e em alguns casos a ausência de violência. Por se tratar de um jogo educativo a inclusão de elementos que possam incentivar à violência está fora de questão, no entanto é bastante preocupante que jovens ainda menores de idade demonstrem já um elevado gosto pela violência, nomeadamente nos vídeo jogos.

Existem no entanto algumas funcionalidades que se poderiam adicionar num trabalho futuro de forma a enriquecer ainda mais o jogo. Uma das melhorias que poderá ser bem acolhida pelos professores, seria eles próprios poderem modificar as perguntas utilizadas nos desafios do jogo, através de um editor que lhes permitisse adicionar as diversas informações necessárias (pergunta, resposta aceite, áudio da pergunta, etc.). Isto traria uma maior longevidade ao jogo, bem como a possibilidade de ser facilmente adaptável a qualquer alteração no plano curricular de matemática. Outra característica útil para os professores seria ter uma forma mais simples de interpretar os resultados das sessões de jogo dos alunos, sem terem que ler o ficheiro XML dos "*save games*". Para tal a criação de relatórios de jogo simplificados ou de uma aplicação capaz de interpretar o XML e mostrar a informação estatística sob a forma de gráficos seria muito interessante para um

uso mais intensivo por parte dos professores.

Outra das melhorias que se poderiam realizar, seria recorrer a um sintetizador de voz em Português com qualidade suficiente para se utilizar na leitura das perguntas, *input* das respostas e correcções no modo aprendizagem. Esta característica iria permitir que as perguntas deixassem de depender da gravação de voz para serem reproduzidas durante o jogo, aumentando ainda mais a extensibilidade do jogo aos planos curriculares de outras disciplinas ou até de outros anos lectivos.

Também a possibilidade de tornar a dificuldade das perguntas adaptável em função dos tempos e validade das respostas do aluno seria uma melhoria interessante. O facto de apenas se ter um nível de dificuldade poderá retirar alguma motivação aos melhores alunos, ou criar frustração nos alunos com muitas dificuldades. A maioria dos alunos que jogou, afirmou que teve muitas dificuldades nas perguntas de funções, pelo que a adaptação nestes casos poderia levar a um aumento de motivação e da aprendizagem efectiva. Este facto vai ao encontro do que foi observado no capítulo 6, onde os alunos cegos e amblíopes obtiveram um ligeiro aumento da média de respostas certas na matéria de funções e os alunos normovisuais diminuíram. Ao adaptar a dificuldade das perguntas ao nível do aluno poder-se-ia evitar este aspecto menos positivo num jogo educacional.

No jogo a função de *panning* é calculada utilizando a distância vectorial desde a localização da personagem até à origem da fonte sonora, independentemente do caminho que seja necessário tomar para lá chegar e dos obstáculos que se possam encontrar nesse caminho. Uma possibilidade interessante para melhorar a navegação dos alunos cegos era utilizar a direcção que o jogador deve seguir a cada momento (utilizando para isso a mesma *layer* que é utilizada no cálculo do melhor percurso), quase como se a localização da fonte sonora se deslocasse à medida que o jogador movimenta a personagem principal.

Finalmente uma última alteração a realizar seria a adaptação do jogo a um ambiente virtual tridimensional. Tal facto daria uma maior motivação aos alunos normovisuais e permitiria um uso diferente do som posicional 3D que não foi possível realizar num ambiente 2D.

Bibliografia

- [AAO09] A. Alsumait e A. Al-Osaimi. "Usability Heuristics Evaluation for Child E-learning Applications". Em: *Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. Kuala Lumpur, Malásia, dez. de 2009, pp. 425–430.
- [AB00] D. Archambault e D. Burger. "TIM (Tactile Interactive Multimedia): Development and adaptation of computer games for young blind children". Em: *Proceedings of the Workshop on Interactive Learning Environments for Children*. Atenas, Grécia, mar. de 2000, pp. 83–88.
- [Ber99] S. Bertoldi. "Avaliação de Software Educacional". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática). Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- [BDP10] G. Bologna, B. Deville e T. Pun. "Sonification of Colour and Depth in a Mobility Aid for Blind People". Em: *Proceedings of the 16th International Conference on Auditory Display*. Washington DC, Estados Unidos da América, jun. de 2010, pp. 9–17.
- [Bor96] J. A. Borges. "DOSVOX - um novo acesso dos cegos à cultura e ao trabalho". Em: *Revista Benjamim Constant* 3 (mai. de 1996), pp. 24–29.
- [CGDC12] J. Carvalho, T. Guerreiro, L. Duarte e L. Carriço. "Audio-based puzzle gaming for blind people". Em: *2nd Mobile Accessibility Workshop at MobileHCI 2012*. São Francisco, Estados Unidos da América, set. de 2012, pp. 1–8.
- [CHMCM13] S. Cavaco, J. T. Henriques, M. Mengucci, N. Correia e F. Medeiros. "Color Sonification for the Visually Impaired". Em: *Procedia Technology* 9 (jan. de 2013), pp. 1048–1057.
- [DH04] D. Datteri e J. Howard. "The Sound of Color". Em: *Proceedings of the 8th International Conference on Music Perception & Cognition*. Evanston, Estados Unidos da América, ago. de 2004, pp. 767–771.

- [FPBMSL13] R. Fartaria, F. Pereira, V. Bonifácio, P. Mata, J. Aires-de Sousa e A. Lobo. "NavMol 2.0 - A Molecular Structure Navigator /Editor for Blind and Visually Impaired Users". Em: *European Journal of Organic Chemistry* 2013.8 (mar. de 2013), pp. 1415–1419.
- [FC14] F. Ferreira e S. Cavaco. "Mathematics for all: a Game-Based Learning Environment for Visually Impaired Students". A aparecer em: *Proceedings of the IEEE Annual Frontiers in Education Conference (FIE)*. Madrid, Espanha, out. de 2014.
- [FSR11] B. Frey, C. Southern e M. Romero. "Brailletouch: Mobile Texting for the Visually Impaired". Em: *Proceedings of the 6th International Conference on Universal Access in Human-computer Interaction: Context Diversity - Volume Part III*. Orlando, Estados Unidos da América, jul. de 2011, pp. 19–25.
- [Ket03] H. Ketamo. "An adaptive geometry game for handheld devices". Em: *Educational Technology & Society* 6.1 (jan. de 2003), pp. 83–95.
- [Lav09] R. M. de Lavor. "Metodologia utilizada no desenvolvimento de games". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Informática em Gestão de Negócios). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009.
- [MSM11] A. Marques, B. D. Silva e N. Marques. "A Influência dos Videojogos no Rendimento Escolar dos Alunos: Uma Experiência no 2º e 3º Ciclo do Ensino Básico". Em: *Educação, Formação & Tecnologias* 4.1 (mai. de 2011), pp. 17–27.
- [MMNMR08] A. Mendonça, C. Miguel, G. Neves, M. Micaelo e V. Reino. *Alunos cegos e com baixa visão – Orientações curriculares*. Direcção de Serviços da Educação Especial e do Apoio Sócio-Educativo, 2008.
- [MN90] R. Molich e J. Nielsen. "Improving a human-computer dialogue". Em: *Communications of the ACM* 33.3 (mar. de 1990), pp. 338–348.
- [Mou12] M. Moutinho. *A Mensagem Secreta de Lisboa*. 1ª ed. Dom Quixote, 2012.
- [Nie94] J. Nielsen. "Usability Inspection Methods". Em: *Proceedings of the CHI '94 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. Boston, Estados Unidos da América, nov. de 1994, pp. 413–414.
- [PMH07] D. Payling, S. Mills e T. Howle. "Hue Music - Creating Timbral Soundscapes from Coloured Pictures". Em: *Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display*. Montréal, Canadá, jun. de 2007, pp. 91–97.
- [Per06] G. A. Pereira. "Projeto e Desenvolvimento de Jogos Computacionais". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação). Universidade do Estado de Santa Catarina, 2006.
- [PBBC07] A. Perucia, A. de Berthém, G. Bertschinger e R. Castro. *Desenvolvimento de Jogos Eletrônicos: teoria e prática*. 2ª ed. Novatec, 2007.

- [PWSG09] D. Pinelle, N. Wong, T. Stach e C. A. Gutwin. "Usability Heuristics for Networked Multiplayer Games". Em: *Proceedings of the ACM 2009 international conference on Supporting group work*. Sanibel Island, Estados Unidos da América, mai. de 2009, pp. 169–178.
- [RJNJ02] A. Reis Jr., B. Nassu e M. A. Jonack. "Um Estudo Sobre os Processos de Desenvolvimento de Jogos Eletrônicos". Texto Acadêmico-Científico (Tópicos em Engenharia de Software, Ciência da Computação). Universidade Federal do Paraná, 2002.
- [RPAP00] P. Roth, L. S. Petrucci, A. Assimacopoulos e T. Pun. "Audio-Haptic Internet Browser And Associated Tools For Blind And Visually Impaired Computer Users". Em: *Proceedings of the International COST 254 Workshop on Friendly Exchanging Through the Net*. Bordeaux, França, mar. de 2000, pp. 57–62.
- [SGA12] R. Santos, V. Góes e L. Almeida. "Metodologia OriGame: um processo de desenvolvimento de jogos". Em: *Proceedings of 11th Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. Brasília, Brasil, nov. de 2012, pp. 125–131.
- [SSPWIS13] A. Andrade da Silva, A. da Silva, V. Pontes, E. Watanabe, M. Ito e V. de Santana. "Estudo sobre o uso de tablets como ferramenta de suporte à interação de pessoas cegas com painéis digitais". Em: *Proceedings of the 12th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. Manaus, Brasil, out. de 2013, pp. 268–271.
- [SSG09] J. Sánchez, M. Sáenz e J. M. Garrido. "Usability of a multimodal video-game to improve navigation skills for blind children". Em: *Proceeding of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. Pittsburgh, Estados Unidos da América, out. de 2009, pp. 35–42.
- [VKM05] M. Virvou, G. Katsionis e K. Manos. "Combining Software Games with Education: Evaluation of its Educational Effectiveness". Em: *Journal of Educational Technology & Society* 8.2 (abr. de 2005), pp. 54–65.
- [Wes04] T. Westin. "Game accessibility case study: Terraformers – a real-time 3D graphic game". Em: *Proceedings of the 5th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*. Oxford, Reino Unido, set. de 2004, pp. 95–100.
- [WW13] M. Wolf e U. Wiese. "A comparative transformation model for process changes using Serious Games". Em: *Proceedings of the 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health*. Vilamoura, Portugal, mai. de 2013, pp. 64–70.



Heurísticas de Usabilidade

As tabelas seguintes são retiradas do trabalho de Alsumait e colega [AAO09] e explicam os três níveis de heurísticas por eles propostos para a avaliação de *software* educativo interativo.

Tabela A.1: Tabela de heurísticas de usabilidade de Nielsen

Heurística	Explicação
Visibility of System Status	<ul style="list-style-type: none">- The e-learning program keeps the child informed about what is happening through appropriate feedback within a reasonable time;- The child gets frequent, clear feedback that encourages him/her to carry on;- The child should always be able to identify his score/status and goal in the program;- The child understands all terminology used in the program;
Match Between System and the Real World	<ul style="list-style-type: none">- The e-learning program interface employs simple words, phrases and concepts familiar to the child and makes information appear in a natural and logical order;- All learning objects and images should be recognizable and understandable to the child, and speak to their function;- The e-learning program holds to good principles of child information processing;
User Control and Freedom	<ul style="list-style-type: none">- The e-learning program allows the child to recover from his input errors. It distinguishes between input errors and cognitive errors, allowing easy recovery from the former always, and from the latter when it is pedagogically appropriate;- Exit signs are visible. The child may leave an unwanted state without having to go through an extended dialogue;- Navigation objects and tools are kept in particular and clearly defined positions;- The child can easily turn the application on and off, and can save his user profile in different states;
Consistency and Standards	<ul style="list-style-type: none">- The child experiences the user interface as consistent (in control, color, typography, and dialog design);- Control keys are intuitive, convenient, consistent, and follow standard conventions;- The e-learning program is consistent in its use of different words, situations, or actions, and it follows the general software and platform standards;
Error Prevention	<ul style="list-style-type: none">- The e-learning program is carefully designed to prevent common problems from occurring in the first place;- The e-learning program does not allow the child to make irreversible errors;- The e-learning program is designed to provide a second chance when unexpected input is received;

Tabela A.1: Tabela de heurísticas de usabilidade de Nielsen (continuação)

Heurística	Explicação
Recognition Rather than Recall	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program makes objects, actions, and options visible so that the child does not have to remember information from one part of the program to another; - Instructions for the use of the program are visible or easily retrievable, so that the child does not have to memorize unnecessary things. Icons and other screen elements are intuitive and self-explanatory;
Flexibility and Efficiency of Use	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program is designed to speed up interactions for the expert child, but also to cater to the needs of the inexperienced child; - Learning objectives should be balanced with multiple ways to learn;
Aesthetic and Minimalist Design	<ul style="list-style-type: none"> - The screen interface does not contain information that is irrelevant or rarely needed in the e-learning program;
Help Users Recognize, Diagnose, and Recover from Errors	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program expresses error messages in simple language that does not include programmer code, indicates the problem, and suggests a solution that a child can handle;
Help and Documentation	<ul style="list-style-type: none"> - The child should be given help while using the program. Help should be easy to search. Any help provided is focused on the child's task, and lists simple concrete steps to be carried out; - The e-learning program includes interesting tutorials or flashes that mimic lessons in the program; - The child does not need to use a manual to use the application;

Tabela A.2: Tabela de heurísticas de usabilidade de aplicações para crianças

Heurística	Explicação
Multimedia Representations	<ul style="list-style-type: none"> - Multimedia representations assist the e-learning process. Application should react in a consistent, challenging, and exciting way to the child's actions (e.g., appropriate video clips with the music); - The e-learning program includes sound and visual effects. These effects should provide meaningful feedback, hints, or stir particular emotions; - The e-learning program includes surprises, humor and interesting representations for the child and avoids unnecessary multimedia representations as they can confuse children that have just started to work with the program;
Design Attractive Screen layout	<ul style="list-style-type: none"> - The screen layout is efficient and visually pleasing. It should appear simple, i.e., uncluttered, readable, and memorable; - The font choice, colors and sizes are consistent with good child screen design;
Use Appropriate Hardware Devices	<ul style="list-style-type: none"> - Input/output devices are used for their own purposes and are suitable for the specific age group of the child; - Potential e-learner children have all the necessary computer skills to use the application. There should be a consistency between the motor effort and skills required by the hardware and the developmental stage of the children audience; - All input devices/buttons that have no functionality are disabled to prevent user input errors;
Challenge the Child	<ul style="list-style-type: none"> - The child should have enough information to start to use the program when he turns it on; - The e-learning program is easy to learn, but hard to master. The application is paced to apply pressure but not frustrate the child. The difficulty level varies so that the child has greater challenges as he develops mastery; - The child's fatigue is minimized by varying activities and difficulties during learning sessions;
Evoke Child Mental Imagery	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program allows the child to use his imagination, which enhances his comprehension; - The e-learning program appeals to the imagination and encourages recognition to create a child's unique interpretations of the characters or contexts; - The child is interested in the e-learning program characters because (1) they are like the child; (2) they are interesting to him, (3) they are drawn from the child's own culture;
Support Child Curiosity	<ul style="list-style-type: none"> - The program supports the child's cognitive curiosity through surprises, paradoxes, humor, and dealing with topics that already interest the child; - Learning information is provided in layers or on different levels, in contrast to the linear approach more common to e-learning. However, a maximum of two layers or levels must not be exceeded according to Nielsen's 70 usability;

Tabela A.3: Tabela de heurísticas de usabilidade de aplicações de *e-learning*

Heurística	Explicação
Learning Content Design	<ul style="list-style-type: none"> - The vocabulary and terminology used are appropriate for the learners; - Abstract concepts (principles, formulas, rules, etc.) are illustrated with concrete, specific examples; - The organization of the content pieces and learning objects is suitable to achieve the primary goals of the e-learning program; - Similar learning objects are organized in a similar style;
Assessment	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program includes self-assessments that advance child achievement; - The e-learning program provides sufficient feedback (audio, video) to the child to provide corrective directions; - The e-learning program provides the instructor with child evaluation and tracking reports;
Motivação para Aprender	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program incorporates novel characteristics; - The e-learning program stimulates further inquiry in different ways; - The e-learning program is enjoyable and interesting. It uses e-stories, games, simulations, role playing, and activities to gain the attention and maintain the motivation of learners; - The application provides the learner with frequent and varied learning activities that increase learning success; - The child's actions are rewarded by audio, video, text, or animations and the rewards are meaningful;
Interactivity	<ul style="list-style-type: none"> - The child becomes engaged with the e-learning program through activities that challenge the child; - The child should be able to respond to the program at his leisure. The program, on the other hand, needs to respond immediately to the child; - The child has confidence that the e-learning program is interacting and operating the way it was designed to interact and operate;
Accessibility	<ul style="list-style-type: none"> - The e-learning program may be used on a variety of equipment and platforms such as laptops, PDA;



História do jogo “O Código Pitágoras”

A história que foi utilizada como enredo para o jogo é baseada no livro “A Mensagem Secreta de Lisboa” [Mou12]. Este livro insere-se na colecção juvenil “Os Primos” da editora Dom Quixote. É uma história de aventura e mistério da autoria da escritora Mafalda Moutinho que autorizou a sua adaptação para este jogo. Seguidamente estão ilustradas as diversas personagens, bem como o *storyboard* do jogo. Apesar de se tratar de uma adaptação, algumas partes deste *storyboard* podem ser iguais ao livro que o inspirou.

Personagens Jogáveis:



Rodrigo Costa (15 anos – primo da Cecília)

Personagens Não-Jogáveis:



Cecília Martins (14 anos – prima do Rodrigo)



Diogo Fonseca (15 anos – amigo do Rodrigo e da Cecília)



Laura Neves (53 anos – guia turística do Museu da Água)



Paula Machado (47 anos – funcionária do Palácio de Mafra)



Carlos Fonseca (23 anos – irmão do Diogo)

Tabela B.1: *Storyboard* do jogo “O Código Pitágoras”

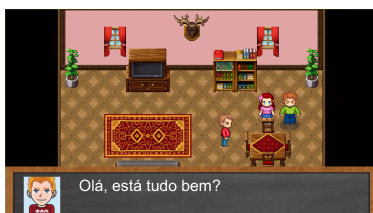


Modo História

Diogo liga ao Rodrigo dizendo que encontrou um estranho baú no sótão de casa e pede-lhe que venha até à casa dele para o abrirem juntos. Rodrigo concorda e liga à sua prima Cecília para que também o acompanhe. Cecília aceita e dirige-se de imediato até à casa do primo!

Modo Aventura (ouve-se o motor do autocarro ao longe...)

Os dois primos encontram-se à porta de casa do Rodrigo e decidem ir até à paragem apanhar o autocarro para a casa do Diogo em Alfama.



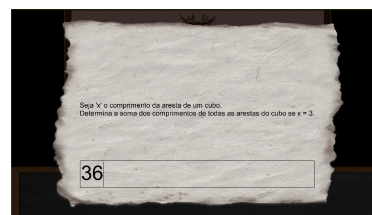
Modo História

Após algum esforço os dois amigos abrem o misterioso baú. Dentro dele encontram uma carta e documentos de António Fonseca, mestre-de-obras do rei D. João V e arquitecto de diversos monumentos em Lisboa. A carta refere que há um enorme tesouro escondido num desses monumentos! Empolgados os três amigos vasculham os documentos à procura de pistas.

Modo Aprendizagem

Após algum tempo, Diogo descobre num dos documentos o que parecem ser exercícios de funções. Tanto ele como o Rodrigo adoram matemática e depressa começam a fazer os cálculos.

(são colocadas ao jogador uma série de problemas sobre funções, até este atingir 4 respostas certas)

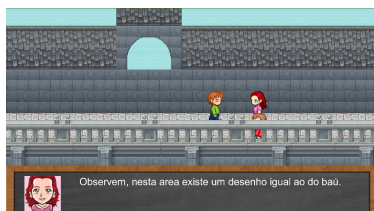
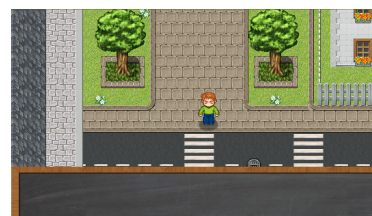


Modo História

Ao desenhar os gráficos das funções, Diogo apercebe-se que todas formam arcos. Cecília então reconhece os arcos num dos projectos do arquitecto, o Aqueduto das Águas Livres! Os amigos decidem então visitar o aqueduto em busca de pistas. Assim agendam uma visita ao aqueduto, através do Museu da Água.

Modo Aventura (ouve-se o barulho de água a correr...)

No dia da visita os 3 amigos terão que ir até ao ponto de encontro definido pelo Museu. Para isso apanham um autocarro até à Rua 10 em Campolide, de onde seguem a pé até à entrada do Aqueduto das Águas Livres.



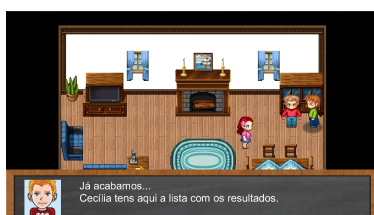
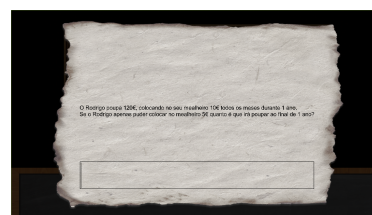
Modo História

Ao longo do percurso os três jovens vão atentos a tudo o que possa indicar uma pista. Ao passarem pelo arco maior, Cecília repara que numa das pedras existe um desenho de uma coroa, igual aos do baú. Rodrigo apercebe-se que a pedra é oca e com o canivete do Diogo consegue soltar a pedra. No seu interior há um papel com exercícios de proporcionalidade!

Modo Aprendizagem

Já em casa do Rodrigo, os três amigos olham para o papel e começam a resolver os vários exercícios.

(neste momento o jogador terá que resolver uma série de exercícios de proporcionalidade, até conseguir 4 respostas certas)



Modo História

Ao vasculharem os documentos de António Fonseca, Cecília depara-se com uma tabela, que faz corresponder um número a uma letra do alfabeto. Usando a tabela como chave, os resultados revelam as letras da palavra chafariz. Imediatamente verificam nos documentos que o próximo monumento a visitar será o Chafariz das Necessidades.

Modo Aventura (ouve-se o chilrear de pássaros...)

Os três amigos juntam-se à porta da casa de Rodrigo, na Rua do Prior e juntos seguem a pé para o Chafariz das Necessidades.

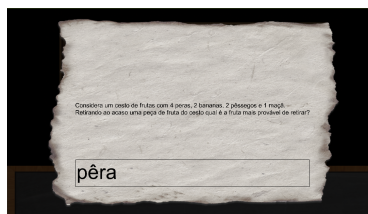


Modo História

Numa das carrancas, Diogo descobre o desenho da coroa e ao tocar-lhe, Rodrigo descobre uma saliência lateral. Mas ao empurrar nada acontece! Diogo repara que também uma outra carranca possui a saliência. Empurra-a e novamente nada acontece. Só quando empurram a última das quatro saliências é que no pilar central do chafariz descobrem um pequeno compartimento, contendo um pequeno papel.

Modo Aprendizagem

Reunidos em casa do Rodrigo, os 3 amigos olham com atenção para o papel que encontraram no chafariz. Tem uma série de exercícios sobre probabilidades e logo decidem que, para descobrirem qual é o próximo monumento a visitar, tem de resolver esses exercícios primeiro. (neste momento o jogador terá que resolver uma série de exercícios de probabilidades, até conseguir 4 respostas certas)



Modo História

Após resolverem todos os exercícios, o Diogo pega numa das plantas de um dos monumentos e repara que algumas das medidas são iguais aos resultados dos exercícios. Os amigos voltam-se todos para a planta do monumento e constataam tratar-se da planta da Igreja de São Roque em Lisboa. E as medidas coincidem com as medidas da Capela de São João Baptista. Assim descobrem que o próximo monumento a visitar é a Igreja de São Roque e que a próxima pista deverá encontrar-se na Capela de São João Baptista.

Modo Aventura (ouvem-se os sinos de uma igreja...)

Os 3 amigos encontram-se num café nos Armazéns do Chiado, de onde partem para a Igreja de São Roque no Largo Trindade Coelho.



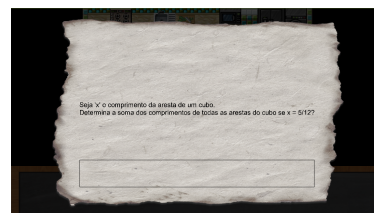


Modo História

Já na capela, Diogo tira algumas fotografias, e repara que um dos pilares têm o desenho da coroa. Ao tocar na base desse pilar, Rodrigo apercebe-se que esta está solta. Os rapazes verificam os restantes pilares, mas só 2 se movem. Rodam os pilares e logo ouvem um ruído e de dentro da boca de uma das estatuetas cai um pequeno papel.

Modo Aprendizagem

Em casa do Rodrigo, ao abrirem o papel os 3 amigos deparam-se com mais funções, percebem de imediato que as soluções dessas funções constituem a pista que precisam, para saberem qual o próximo monumento a visitar. (neste momento o jogador terá que resolver uma série de exercícios de funções, até conseguir 4 respostas certas)



Modo História

Vasculhando novamente os documentos, Cecília e Diogo encontram um papel quase transparente com os resultados dos problemas, dispostos na forma de um retângulo. Ao sobrepor esse papel às várias plantas, encontram a correspondência perfeita com a planta do Palácio Nacional de Maфра! Verificam que encaixa perfeitamente naquela que é a área da Biblioteca do Palácio. Instintivamente combinam uma visita ao Palácio.

Modo Aventura (ouvem-se o som de passos em soalho de madeira...)

Os 3 amigos chegam ao Palácio Nacional de Maфра compram os bilhetes e conhecem a senhora Paula Machado, uma funcionária do Palácio. A senhora voluntaria-se para lhes servir de guia até à Biblioteca, uma vez que há pouco movimento nesse dia.



Modo História

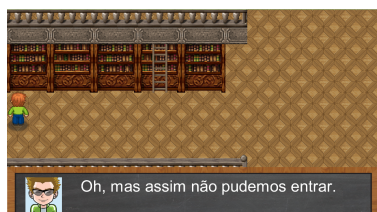
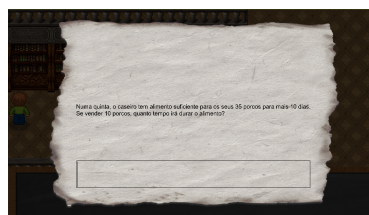
Já na biblioteca, quando sobem ao varandim, Diogo nota no habitual desenho junto a uma das estantes. Reparam que por baixo do desenho está a frase “*Mens agitat molem*”. A senhora Paula indica-lhes que é da Eneida de Virgílio e que significa “A mente move a matéria”. Cecília procura no livro, até encontrar a frase no capítulo IV, mas só quando Rodrigo lhe pega é que nota que a folha é dupla e forma um envelope. Dentro do estranho envelope retiram outra folha de papel com exercícios.



Modo Aprendizagem

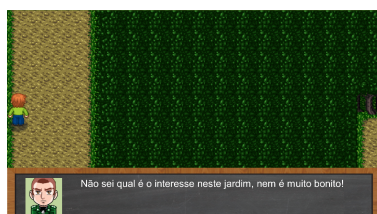
Os três amigos retiraram-se para um sítio sossegado, onde puderam examinar o papel que encontraram. Dentro do papel encontravam-se novamente diversos problemas relacionados com proporcionalidade.

(neste momento o jogador terá que resolver uma série de exercícios de proporcionalidade, até conseguir 4 respostas certas)



Modo História

Diogo retirou da mochila os documentos de António Fonseca. Depressa reconhecem os resultados dos problemas numa outra planta do palácio. Diogo afirma que a pista seguinte está no jardim do Buxo, que é interdito ao público e só têm acesso pela Escola Prática de Infância.

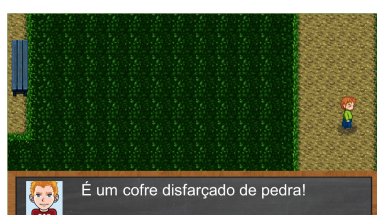


Modo História

Diogo conta-lhes que o seu irmão Carlos frequenta a escola e que talvez possa ajudá-los! Difícil de convencer, Carlos acede ao pedido do irmão e leva-os até ao jardim. Observando atentamente reparam que na parede assinalada nas plantas está o desenho da coroa e directamente abaixo se encontra uma cavidade que o Rodrigo afirma ser uma fechadura. Carlos confuso indica outro desenho na parede oposta.

Modo Aventura (automático...)

Diogo foi o primeiro a atravessar o jardim e rapidamente encontrou o desenho que o irmão indicara. Quando o resto do grupo se juntou a ele, Diogo já tinha percebido que tal como no Aqueduto das Águas Livres havia uma pequena pedra solta no fundo da parede!



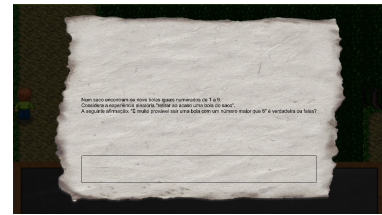
Modo História

Com grande esforço os quatro companheiros puxam a pedra. Espantados retiram de dentro dela um pequeno cofre metálico. Cecília abre o cofre e lá encontra uma carta escrita em português arcaico, juntamente com um criptógrafo cilíndrico. No entanto Cecília reconheceu nas costas da carta diversos exercícios de probabilidades!

Modo Aprendizagem

Concordaram então em resolver os problemas, pois estes teriam que estar relacionados com o estranho dispositivo cilíndrico.

(neste momento o jogador terá que resolver uma série de exercícios de probabilidades, até conseguir 4 respostas certas)



Modo História

Resolvidos os exercícios, começam a aperceber-se da relação entre os valores e os números inscritos nos anéis do dispositivo. Rodam cada anel e após ouvirem um *click*, o dispositivo abre-se e revela uma pequena chave triangular. Rodrigo refere que encaixaria perfeitamente na cavidade da primeira parede. Sem demora colocam a chave e após a rodarem 3 vezes, a parede desloca-se e denuncia uma escadaria que os encaminha para uma enorme sala com paredes de ouro e arcas com diamantes!



Ficheiro de gravação do jogo “O Código Pitágoras”

Listagem C.1: Excerto de um ficheiro de gravação do jogo “O Código Pitágoras”

```
<CodigoPitagorasSaveData>
  <!-- Informações relativas ao cenário actual, posição e direcção da personagem
principal -->
  <MapData>
    <ContentName>Maps\Mapa10</ContentName>
    <CharacterPosition>
      <TilePosition>
        <X>109</X>
        <Y>89</Y>
      </TilePosition>
      <TileOffset>
        <X>0</X>
        <Y>0</Y>
      </TileOffset>
      <Direction>West</Direction>
    </CharacterPosition>
  </MapData>
  <!-- Informações relativas ao progresso da caça ao tesouro -->
  <QuestData>
    <!-- Indica que o modo actual é o modo aventura -->
    <QuestType>AdventureQuest</QuestType>
    <!-- Informações sobre o modo de jogo actual -->
    <AdventureQuest>
      <Name>Go to the church</Name>
      <Stage>InProgress</Stage>
      <Priority>2</Priority>
      <UserInput>true</UserInput>
      <MusicCueName>ChurchBell</MusicCueName>
    </AdventureQuest>
  </QuestData>
</CodigoPitagorasSaveData>
```

```

<NextMap>Mapa11</NextMap>
<!-- Indica as posições até onde o jogador deve chegar para completar este modo
aventura -->
<Locations>
  <LocationEntry>
    <MapLocation>
      <X>21</X>
      <Y>9</Y>
    </MapLocation>
  </LocationEntry>
  <LocationEntry>
    <MapLocation>
      <X>22</X>
      <Y>9</Y>
    </MapLocation>
  </LocationEntry>
  <LocationEntry>
    <MapLocation>
      <X>23</X>
      <Y>9</Y>
    </MapLocation>
  </LocationEntry>
</Locations>
<EmitterLocation>
  <X>22</X>
  <Y>9</Y>
</EmitterLocation>
<AutoMovement>>false</AutoMovement>
</AdventureQuest>
<Stage>InProgress</Stage>
<QuestListCount>1</QuestListCount>
<!-- Lista de modos que existem no mapa actual -->
<QuestsList>
  <QuestType>AdventureQuest</QuestType>
  <AdventureQuest>
    <Name>Go to the church</Name>
  </AdventureQuest>
  <Stage>InProgress</Stage>
</QuestsList>
</QuestData>
<!-- Informações sobre as perguntas do jogo -->
<LearningData>
  <!-- Lista de perguntas que já foram respondidas e respectivas informações -->
  <AnsweredProblems>
    <Type>Probabilities</Type>
    <ProbabilitiesCount>5</ProbabilitiesCount>
    <Probabilities>
      <!-- Informações do problema: pergunta, resposta, correcção, etc. -->
      <Problem>
        <Name>Probabilidades_16</Name>
        <Question>Num saco estão 12 bolas numeradas. Uma tem o número 4, duas têm o número 3, duas o número 2 e as restantes o número 1. Completa a seguinte frase: "Ao tirar uma bola do saco, sair 4 é um acontecimento..." usando as palavras: "pouco provável", "muito provável", "certo" ou "impossível".</Question>
        <QuestionAudio>Probabilities16q</QuestionAudio>
        <Answer>pouco provável</Answer>
        <Correction>Dentro do saco apenas uma das 12 bolas têm o número 4, pelo que tirar uma bola com o número 4 é um acontecimento pouco provável.</Correction>
      </Problem>
    </Probabilities>
  </AnsweredProblems>
</LearningData>

```

```

    <CorrectionAudio>Probabilities16c</CorrectionAudio>
    <Points>20</Points>
    <State>Answered</State>
    <AnsweredCorrectly>>true</AnsweredCorrectly>
  </Problem>
</Problem>
  <Name>Probabilidades_58</Name>
  <Question>Considera um cesto de frutas com 4 peras, 2 bananas, 2 pêssegos e 1
maçã. Retirando ao acaso uma peça de fruta do cesto qual é a fruta mais provável de
retirar?</Question>
  <QuestionAudio>Probabilities58q</QuestionAudio>
  <Answer>pera</Answer>
  <Correction>Como a fruta com mais peças dentro do cesto é a pera, então a pera
é a fruta mais provável de se retirar.</Correction>
  <CorrectionAudio>Probabilities58c</CorrectionAudio>
  <Points>20</Points>
  <State>Answered</State>
  <AnsweredCorrectly>>false</AnsweredCorrectly>
</Problem>
<!-- continua... -->
</Probabilities>
<Type>Proportionality</Type>
<ProportionalityCount>5</ProportionalityCount>
<Proportionality>
  <Problem>
    <Name>Proporcionalidade_10</Name>
    <Question>Considera a seguinte função:  $y = 4x$ . Esta função representa uma
situação de proporcionalidade "direta" ou "inversa"?</Question>
    <QuestionAudio>Proportionality10q</QuestionAudio>
    <Answer>direta</Answer>
    <Correction>Duas variáveis são diretamente proporcionais se a razão entre elas
for constante. Assim, fazendo a razão entre as variáveis "y" e "x" temos que  $y/x =$ 
4, logo a proporcionalidade entre as duas variáveis é direta.</Correction>
    <CorrectionAudio>Proportionality10c</CorrectionAudio>
    <Points>20</Points>
    <State>Answered</State>
    <AnsweredCorrectly>>false</AnsweredCorrectly>
  </Problem>
  <!-- continua... -->
</Proportionality>
<Type>Functions</Type>
<FunctionsCount>5</FunctionsCount>
<Functions>
  <Problem>
    <Name>Funcoes_11</Name>
    <Question>Na função  $y = -x^2 + 10x - 14$ , qual é o valor da coordenada y do
ponto onde o gráfico da parábola intersecta o eixo das ordenadas?</Question>
    <QuestionAudio>Functions11q</QuestionAudio>
    <Answer>-14</Answer>
    <Correction>O gráfico da parábola intersecta o eixo das ordenadas (eixo dos "y
") num ponto cuja coordenada x é 0. Substituindo na função dada x por 0, obtemos
 $-0^2 + 10 * 0 - 14$ . Resolvendo obtemos y igual a -14.</Correction>
    <CorrectionAudio>Functions11c</CorrectionAudio>
    <Points>20</Points>
    <State>Answered</State>
    <AnsweredCorrectly>>true</AnsweredCorrectly>
  </Problem>
  <!-- continua... -->

```

```

</Functions>
</AnsweredProblems>
<!-- Lista de perguntas que ainda não foram respondidas e respectivas informações
-->
<AvailableProblems>
  <Type>Probabilities</Type>
  <ProbabilitiesCount>75</ProbabilitiesCount>
  <Probabilities>
    <Problem>
      <Name>Probabilidades_01</Name>
      <Question>Num dado viciado, numerado de 1 a 6, as frequências relativas de saída de um número são: número 1 - 1/21; número 2 - 4/21; número 3 - 6/21; número 4 - 3/21; número 5 - 5/21; número 6 - x/21. Qual é o valor de x?</Question>
      <QuestionAudio>Probabilities1q</QuestionAudio>
      <Answer>2</Answer>
      <Correction>A soma de todas as frequências deverá ser 1. Assim resolvendo  $1/21 + 4/21 + 6/21 + 3/21 + 5/21 + x/21 = 1$  temos  $x = 2$ .</Correction>
      <CorrectionAudio>Probabilities1c</CorrectionAudio>
      <Points>20</Points>
      <State>NotAnswered</State>
      <AnsweredCorrectly>>false</AnsweredCorrectly>
    </Problem>
    <!-- continua... -->
  </Probabilities>
  <Type>Proportionality</Type>
  <ProportionalityCount>75</ProportionalityCount>
  <Proportionality>
    <Problem>
      <Name>Proporcionalidade_01</Name>
      <Question>Na construção de um prédio, todos os operários trabalham o mesmo número de horas. O prédio necessita de 1500h de trabalho para ser finalizado. Se 15 operários trabalharem na construção do prédio, quantas horas terá que trabalhar cada um para a obra ficar concluída?</Question>
      <QuestionAudio>Proportionality1q</QuestionAudio>
      <Answer>100</Answer>
      <Correction>O número total de horas necessárias é de 1500h. Como dispomos de 15 operários, então cada um terá que trabalhar o equivalente a 1500/15 horas. Temos assim um total de 100 horas de trabalho para cada operário.</Correction>
      <CorrectionAudio>Proportionality1c</CorrectionAudio>
      <Points>20</Points>
      <State>NotAnswered</State>
      <AnsweredCorrectly>>false</AnsweredCorrectly>
    </Problem>
    <!-- continua... -->
  </Proportionality>
  <Type>Functions</Type>
  <FunctionsCount>75</FunctionsCount>
  <Functions>
    <Problem>
      <Name>Funcoes_01</Name>
      <Question>O valor monetário de um computador diminui à medida que o tempo passa. Admite que o valor "v" em euros, "t" anos após a sua compra é dado por:  $v = -300t + 2100$ . Determina em euros, o valor do computador, 2 anos após a sua compra.</Question>
      <QuestionAudio>Functions1q</QuestionAudio>
      <Answer>1500</Answer>
      <Correction>Para obter o valor do computador, basta substituir "t" por 2 na função dada, obtendo assim  $-300 * 2 + 2100$ . Resolvendo temos 1500€.</Correction>

```



```
<CorrectionAudio>Functions1c</CorrectionAudio>
<Points>20</Points>
<State>NotAnswered</State>
<AnsweredCorrectly>>false</AnsweredCorrectly>
</Problem>
<!-- continua... -->
</Functions>
</AvailableProblems>
</LearningData>
<!-- Informações do jogador: pontos, número de respostas certas e erradas, etc. -->
<PartyData>
  <Player>Characters\PlayingCharacters\Rodrigo</Player>
  <Points>240</Points>
  <Right>12</Right>
  <Wrong>3</Wrong>
</PartyData>
</CodigoPitagorasSaveData>
```




Ficheiros de Conteúdos do Jogo

Listagem D.1: Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo *mapa*

```
<XnaContent>
  <Asset Type="CodigoPitagorasSupportLib.Map">
    <Name>Mapa 1</Name>
    <MapDimensions>14 11</MapDimensions>
    <TileSize>64 64</TileSize>
    <SpawnMapPosition>12 6</SpawnMapPosition>
    <SpawnMapDirection>West</SpawnMapDirection>
    <TextureName>livingroom01</TextureName>
    <BaseLayer>
      10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
      27 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 28
      11 03 04 04 04 04 04 04 04 04 04 05 09
      11 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 09
      11 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 09
      11 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 09
      11 51 51 51 51 51 51 51 51 51 51 51 09
      11 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 09
      11 51 51 51 51 51 51 51 51 51 51 51 09
      36 01 01 01 01 02 60 60 60 60 60 60 09
      10 10 10 10 10 36 01 01 01 01 01 01 37
    </BaseLayer>
    <FringeLayer>
      -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
      -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
      -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
      -1 -1 -1 -1 25 -1 45 46 47 -1 25 -1 -1 -1
      -1 26 29 30 34 -1 54 55 56 -1 34 31 32 -1
      -1 35 38 39 -1 -1 63 64 65 -1 -1 40 41 -1
      -1 24 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
      -1 42 -1 -1 -1 -1 06 07 08 -1 -1 -1 -1 -1
      -1 -1 43 44 -1 -1 15 16 17 -1 -1 -1 -1 -1
    </FringeLayer>
  </Asset>
</XnaContent>
```

```

-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 66 67 67 68 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
</FringeLayer>
<ObjectLayer>
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 69 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 52 -1 -1 -1 -1 48 49 49 50 -1
-1 -1 -1 -1 61 -1 -1 -1 -1 57 58 58 59 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
</ObjectLayer>
<CollisionLayer>
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
</CollisionLayer>
<PathCostLayer>
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
154 154 154 154 002 003 154 154 154 007 008 154 154 154
154 154 003 002 001 002 003 004 005 006 007 008 009 154
154 154 002 001 000 001 002 003 004 005 006 007 008 154
154 154 154 154 154 002 003 004 005 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 004 005 006 154 154 154 154 154
154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154 154
</PathCostLayer>
<StoryQuestContentName>MysteriousChest</StoryQuestContentName>
<AdventureQuestContentName>AnswerThePhone</AdventureQuestContentName>
<LearningQuestContentName />
</Asset>
</XnaContent>

```

Listagem D.2: Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo *história*

```

<XnaContent>
<Asset Type="CodigoPitagorasSupportLib.StoryQuest">
  <Name>Meeting in the Aqueduct</Name>
  <Priority>1</Priority>
  <UserInput>>false</UserInput>
  <MusicCueName />
  <NextMap />
  <Story>

```

```

<Item>
  <CharacterFace>Diogo</CharacterFace>
  <CharacterText>Bem, agora é só descermos a rua até ao Aqueduto.</CharacterText>
  <CharacterTextCue>Diogo_4.1</CharacterTextCue>
</Item>
<Item>
  <CharacterFace>Cecilia</CharacterFace>
  <CharacterText>Sim. Vamos encontrarmos-nos com a senhora Laura Neves, que vai
ser a nossa guia no Museu da Água.</CharacterText>
  <CharacterTextCue>Cecilia_4.1</CharacterTextCue>
</Item>
<Item>
  <CharacterFace>Rodrigo</CharacterFace>
  <CharacterText>Será que haverá lá mais alguma pista?</CharacterText>
  <CharacterTextCue>Rodrigo_4.1</CharacterTextCue>
</Item>
<Item>
  <CharacterFace>Diogo</CharacterFace>
  <CharacterText>Espero bem que sim.</CharacterText>
  <CharacterTextCue>Diogo_4.2</CharacterTextCue>
</Item>
</Story>
</Asset>
</XnaContent>

```

Listagem D.3: Excerto de um ficheiro de conteúdos do tipo *problemas*

```

<XnaContent>
  <Asset Type="CodigoPitagorasSupportLib.Problems">
    <ProblemsType>0</ProblemsType>
    <ProblemsList>
      <!-- continua -->
      <Item>
        <Name>Probabilidades_70</Name>
        <Question>A experiência "deixar de regar uma flor e ver o que acontece" é: "
determinista" ou "aleatória"?</Question>
        <QuestionAudio>Probabilities70_question</QuestionAudio>
        <Answer>determinista</Answer>
        <Correction>Sabe-se que ao não se regar uma flor esta irá acabar por secar e
morrer, pelo que esta experiência é determinista.</Correction>
        <CorrectionAudio>Probabilities70_correction</CorrectionAudio>
        <Points>20</Points>
      </Item>
      <Item>
        <Name>Probabilidades_71</Name>
        <Question>A experiência "lançar um dado não viciado e verificar o número de
pintas obtidas" é: "determinista" ou "aleatória"?</Question>
        <QuestionAudio>Probabilities71_question</QuestionAudio>
        <Answer>aleatória</Answer>
        <Correction>Num dado não viciado todas as faces tem igual probabilidade de sair
(probabilidade de 1/6), pelo que a experiência é aleatória.</Correction>
        <CorrectionAudio>Probabilities71_correction</CorrectionAudio>
        <Points>20</Points>
      </Item>
      <Item>
        <Name>Probabilidades_72</Name>
        <Question>A experiência "deixar uma rolha de cortiça num balde com água e
verificar se flutua" é: "determinista" ou "aleatória"?</Question>

```

```
<QuestionAudio>Probabilities72_question</QuestionAudio>
<Answer>determinista</Answer>
<Correction>Como a cortiça é um material que flutua na água, logo esta experiê
ncia é determinista.</Correction>
<CorrectionAudio>Probabilities72_correction</CorrectionAudio>
<Points>20</Points>
</Item>
<Item>
<Name>Probabilidades_73</Name>
<Question>A experiência "numa turma escolher um aluno ao acaso e este ser do
Benfica" é: "determinista" ou "aleatória"?</Question>
<QuestionAudio>Probabilities73_question</QuestionAudio>
<Answer>aleatória</Answer>
<Correction>Como não se sabe qual é o clube preferido dos alunos, esta experiê
ncia é aleatória.</Correction>
<CorrectionAudio>Probabilities73_correction</CorrectionAudio>
<Points>20</Points>
</Item>
<Item>
<Name>Probabilidades_74</Name>
<Question>A experiência "numa turma escolher um aluno ao acaso e este ser do
Sporting" é: "determinista" ou "aleatória"?</Question>
<QuestionAudio>Probabilities74_question</QuestionAudio>
<Answer>aleatória</Answer>
<Correction>Como não se sabe qual é o clube preferido dos alunos, esta experiê
ncia é aleatória.</Correction>
<CorrectionAudio>Probabilities74_correction</CorrectionAudio>
<Points>20</Points>
</Item>
<!-- continua -->
</ProblemsList>
</Asset>
</XnaContent>
```