

**Balanceamento Dinâmico de Dificuldade
em Jogos Eletrônicos**

um subtítulo

Henrique Cerquinho

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRA EM CIÊNCIAS

Programa: Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marco Dimas Gubitoso

São Paulo

10 de agosto de 2017

**Balanceamento Dinâmico de Dificuldade
em Jogos Eletrônicos**

um subtítulo

Henrique Cerquinho

Esta é a versão original da dissertação
elaborada pela candidata Henrique Cerquinho,
tal como submetida à Comissão Julgadora.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

*Esta seção é opcional e fica numa página separada;
ela pode ser usada para uma dedicatória ou epígrafe.*

[illegible]

Resumo

Henrique Cerquinho. **Balanceamento Dinâmico de Dificuldade em Jogos Eletrônicos: *um subtítulo***. Dissertação (Mestrado). Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

O objetivo deste trabalho foi estudar e implementar o balanceamento dinâmico de dificuldade em jogos eletrônicos. Foi desenvolvido um protótipo de um jogo no estilo bullet-hell. Dada a infame e elevada dificuldade encontrada neste estilo de jogo, o foco principal do estudo foi de torná-lo acessível a todos os públicos, independente da habilidade do jogador. Foram adotadas funções matemáticas que levam em consideração diversas variáveis do jogo e definem uma métrica de dificuldade a ser usada no balanceamento de inimigos e recursos em tempo real. Foi enfim criado um ciclo de jogabilidade capaz de se adaptar às ações do jogador e dirigir o nível de dificuldade do jogo, procurando otimizar o entretenimento proposto.

Palavras-chave: Dificuldade. Balanceamento dinâmico. Lógica matemática. Jogos eletrônicos.

Abstract

Henrique Cerquinho. **Dynamic Difficulty Balancing in Video Games: *a subtitle***.
Thesis (Masters). Institute of Mathematics and Statistics, University of São Paulo, São
Paulo, 2017.

The main goal of this thesis was to study and implement the dynamic balancing of difficulty in video games. With that purpose in mind, a bullet-hell style game prototype was developed. Given the infamous high difficulty in this game genre, the main focus of the study was to make it as accessible to all publics as possible, regardless of the players ability. Mathematical functions were used to consider many game variables and define a difficulty metric to be later used in the balancing of enemy difficulty and resource abundance, all in gameplay time. Thus, a full cycle of playability was developed, capable of adapting to the player's actions and steer the level of difficulty of the game, aiming to optimize the enjoyment.

Keywords: Difficulty. Dynamic balancing. Mathematical logic. Video games.

Lista de Figuras

3.1	Funções comumente usadas em interpolações de valores (Imagem retirada do artigo de LOVATO, 2015)	10
4.1	Tela de criação de <i>novo nó</i> , dentro da <i>Godot</i>	15
4.2	Árvore de nós da cena principal do jogo	15

Lista de Tabelas

Lista de Programas

4.1	Game Loop	13
A.1	Máximo divisor comum (arquivo importado).	17
A.2	Máximo divisor comum (em português).	17

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	1
2	Dificuldade e Gêneros de Jogos	3
2.1	Arcades e Consoles	3
2.2	Cenário Atual	4
2.3	Gênero Escolhido	5
3	Decisões de <i>Design</i>	7
3.1	Ideias Iniciais	7
3.2	<i>Design</i> do Protótipo	8
3.2.1	Estrutura Geral	8
3.2.2	Progressão e Ondas	8
3.2.3	Poderes Especiais	9
3.2.4	Visuais e Sons	10
4	Plataforma de Desenvolvimento	13
4.1	Estrutura Básica	13
4.2	Sobre a Godot Engine	14
4.2.1	Nós	14
4.2.2	Cenas	15

Apêndices

A	Código-Fonte e Pseudocódigo	17
----------	------------------------------------	-----------

Anexos

A Perguntas Frequentes sobre o Modelo	19
--	-----------

Referências	21
--------------------	-----------

Índice Remissivo	23
-------------------------	-----------

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A dificuldade em um jogo tende a ser um elemento extremamente visível e importante para o seu aproveitamento. Jogos mais desafiadores são conhecidos por serem mais frustrantes, e os menos desafiadores, mais relaxantes. Porém, esse pensamento pode levar à falsa ideia de impossibilitação do aproveitamento por parte da dificuldade elevada. No artigo de Jesper JUUL (2009) é discutido o verdadeiro papel da dificuldade em jogos, de forma enxuta e didática. Quando apresentamos o conceito de vitória em um jogo, não faria sentido termos este sem o conceito de derrota. A derrota entra na experiência do jogo de forma a induzir os jogadores a reajustarem sua perspectiva perante ao jogo, como visto no estudo de Juul, levando o jogador a sempre pensar em novas estratégias e, consequentemente, adicionando conteúdo ao jogo.

O nível de dificuldade de um jogo pode ser visto como o responsável pelo desenvolvimento nas habilidades do jogador em experimentos como o de APONTE *et al.* (2011), porém, neste mesmo experimento, vemos ela também influenciando fortemente o aproveitamento geral do jogo, e podendo prejudicá-lo se não definida apropriadamente. Segundo CRANDALL e SIDAK (2020), jogos são uma das formas de entretenimento mais consumidas atualmente, totalizando uma receita de 159.3 bilhões de dólares no mundo inteiro em 2020. Portanto é natural associarmos jogos a entretenimento e, consequentemente, imaginarmos que um dado jogo é divertido, porém adequar a dificuldade de um jogo à experiência desejada prova-se um trabalho difícil.

1.2 Objetivos

Considerando a tese apresentada, é necessário manter em mente que um jogador pode se sentir "violado" pelo jogo se este sofre mudanças drásticas em sua dificuldade durante ou entre as sessões jogadas (HUNICKE, 2005). Com isso, foi almejado um sistema onde ocorrem ajustes dinâmicos de dificuldade em um jogo, porém de forma a se adaptar ao nível da habilidade do jogador. Isso é, se o jogador se adapta bem à dificuldade atual do jogo, esta tende a aumentar, propondo um desafio adequado à habilidade do jogador. Em

contrapartida, se o jogador é muito prejudicado pela dificuldade atual do jogo, esta tende a diminuir, com o fim de manter o jogador em um estado mais favorável à sua habilidade, mas que também o força a adaptar suas estratégias e seu estilo de jogo, permitindo-o "avançar" na dificuldade de jogo.

Dar uma tunada na introdução ainda

"aspa" Escrever bem é uma arte que exige muita técnica e dedicação e, consequentemente, há vários bons livros sobre como escrever uma boa dissertação ou tese. Um dos trabalhos pioneiros e mais conhecidos nesse sentido é o livro de

Capítulo 2

Dificuldade e Gêneros de Jogos

2.1 Arcades e Consoles

Arcades, mais comumente conhecidos como *Fliperamas*, foram introduzidas na década de 1930, com jogos mecânicos ainda hoje famosos, como *Pinball*. As máquinas eram projetadas com uma entrada de moeda, que quando inserida permitia que fossem jogados determinado número de vezes ("rounds" ou "vidas"). Não se afastando desse sistema, os jogos eletrônicos em gabinetes foram introduzidos apenas na década de 60 às *Arcades*. Como relatado por GREEN (2017), jogos como *Pac-Man*, *Donkey Kong*, *Space Invaders*, *Asteroids* e diversos outros títulos dominavam as *Arcades* no mundo inteiro.

A partir desse ponto, foram apenas introduzidas novas tecnologias aos jogos de *Arcade*. *Duck Hunt* foi considerado revolucionário por usar um controle no formato de um revólver, usado para mirar diretamente na tela, simulando um tiro-ao-alvo. Alguns anos depois, jogos de corrida como *Grand Prix* levaram desenvolvedores à ideia de um controle no formato de um volante e um pedal, simulando, similarmente ao *Duck Hunt*, um cenário de pilotagem mais próximo da realidade.

Por mais atraentes que os jogos de *Arcade* estavam se tornando, sua dificuldade tendia a surpreender mais ainda o jogador. Até este momento, o papel principal da dificuldade era de se aproveitar ao máximo do sistema de moedas do jogo. Quanto mais difícil o jogo, mais moedas seriam gastas para completá-lo, e poucos desenvolvedores deixavam de ver essa vantagem.

Com a entrada dos *consoles*¹, principalmente do *Nintendo Entertainment System*, também conhecido como *NES* e *Nintendinho*, jogos começaram a ser reestruturados, deixando de ter apenas uma fase e seu objetivo de arrecadar o maior número de pontos possível, e adquirindo uma estrutura mais linear, com diversas fases e, conseqüentemente, tendo seu objetivo principal deslocado para terminar todas as fases, ou derrotar o último chefe. Com isso, o papel da dificuldade sofreu uma leve mudança, deixando de buscar as moedas do jogador, e passando a ser a sustentação principal do tempo de jogo. Quanto mais difícil,

¹Aparelho dedicado a rodar um determinado grupo de jogos, com hardwares de interface (ex.: Playstation 2, Nintendo GameBoy, Xbox360).

mais tempo o jogador levaria para terminar o jogo, portanto maior aproveitamento seria tirado. Ideologias como essa moldaram a grande maioria dos jogos de *NES* como jogos extremamente difíceis de se completar.

2.2 Cenário Atual

Após uma onda de jogos notoriamente difíceis, desenvolvedores começaram a explorar a ideia de dificuldades selecionáveis em jogos, em busca de poderem atender públicos mais abrangentes com seus projetos. Estava então emergindo a mecânica de, ao começar um novo jogo, era apresentada a opção de dificuldade, normalmente variando entre *fácil*, *médio* e *difícil*, mas não se limitando a essas opções.

Variáveis do jogo como quantidade de pontos de vida do jogador e dos inimigos oscilavam de acordo com a dificuldade escolhida. Os primeiros grandes jogos de sucesso a explorar mais a fundo a mecânica de diversos níveis de dificuldade, como *Halo*, *Call of Duty*, saga *The Elder Scrolls*, saga *Final Fantasy*, entre outros, moldaram esse padrão para uma grande parcela dos jogos futuros, porém não a perfeccionando instantaneamente. Picos na dificuldade eram comumente encontrados em níveis mais altos no jogo. As últimas dificuldades, normalmente rotuladas como *Impossível* ou termos do gênero, costumavam inflar exageradamente variáveis do jogo como pontos de vida dos inimigos, muitas vezes tornando o jogo praticamente impossível e distanciando o jogador do cenário de entretenimento que os desenvolvedores se propunham a oferecer.

Em paralelo, é possível observar certas estruturas de jogos que permitem ao jogador explorar suas mecânicas de modo a afetar a dificuldade. Por exemplo, jogos no estilo *Online Multiplayer*², jogadores frequentemente participam de partidas e deliberadamente evitam usar certos itens do jogo, de modo a propor um desafio maior a si mesmos, se exibir ou até mesmo estabelecer recordes. Neste último cenário, também vemos a grande presença das *Speedruns* em jogos *Singleplayer*. Estas consistem em o jogador tentar completar determinado jogo no período de tempo mais curto possível. Para isso, o jogo é estudado profundamente e suas estratégias são otimizadas, procurando pular fases, explorar pontos fracos de inimigos ou até mesmo *bugs* nos jogos. Essa cultura é popularmente conhecida por propor tarefas de dificuldade significativamente mais elevadas que o jogo "base", consequentemente demandando muito da habilidade do jogador, ao mesmo tempo que adiciona conteúdo ao jogo.

Com o decorrer das décadas de 2000 e 2010, desenvolvedores começaram a aprofundar a complexidade do balanceamento da dificuldade de seus jogos (BYTE, 1981). A introdução de *checkpoints*³ tornou jogos extensos muito mais acessíveis (MORAN, 2010), por impedir que a derrota levasse o jogador de volta para o primeiro nível do jogo, e reduzindo o quanto do jogo teria que ser jogado. Jogos mais datados são conhecidos por praticamente não possuírem checkpoints, o que contribuía fortemente para sua dificuldade elevada. É importante, porém, manter em mente que um uso excessivo de *checkpoints* pode trivializar

²Em contrapartida ao *Singleplayer*, é um estilo de jogo onde diversas pessoas jogam uma partida juntas, em tempo real, através de seus respectivos aparelhos ou *consoles* e uma conexão à *internet*.

³Quando encontrado, garante que o jogador possa voltar a este ponto do jogo após ser derrotado. Funciona normalmente como uma "volta no tempo" para não punir tão severamente o jogador.

as conquistas do jogador, uma vez que este não será apropriadamente punido por seus erros.

Neste mesmo período, com o avanço das Inteligências Artificiais (IAs), jogos *Single-player*⁴ introduziram novas dinâmicas, não apenas de dificuldade, mas de jogabilidade no geral. Um dos gêneros que mais se beneficiou desse avanço foi o de jogos de luta. Originados da geração dos *arcades*, jogos de luta eram projetados no estilo *versus* para dois ou mais jogadores invariavelmente. Porém, com a entrada das IAs, foi possibilitado o modo de jogo para um único jogador, onde este enfrentaria um ou mais personagens controlados pelo próprio jogo, e, em muitos casos, com níveis de dificuldade selecionáveis. Com isso, uma grande gama de habilidades poderia ser atendida pelo jogo, ao mesmo tempo que era reduzida a necessidade da presença de outro jogador para que o jogo pudesse ser aproveitado ao máximo.

O recém-lançado *Risk of Rain 2*, desenvolvido pela *Hopoo Games*, tornou-se uma referência interessante para os estudos de dificuldade de jogos eletrônicos. Trata-se de um *Rogue-Like*⁵ onde a dificuldade é aumentada com o decorrer do tempo, independente das ações do jogador, que por sua vez fica encarregado de "acompanhar" a dificuldade do jogo conforme esta avança. A progressão da dificuldade é baseada em valores como tempo de jogo, quantidade de jogadores, fase atual do jogador, entre outros valores, cuja fórmula será aprofundada em um capítulo mais adiante.

2.3 Gênero Escolhido

Com os avanços não apenas na tecnologia disponível para desenvolvimento de jogos, mas também na criatividade dos desenvolvedores, jogos eletrônicos começaram a tomar uma complexidade que tornou inevitável uma segmentação destes em gêneros. Atualmente, o gênero de um jogo não necessariamente definirá seu nível de dificuldade. Em grande parte dos gêneros de jogos podemos encontrar tanto jogos difíceis como fáceis. Porém, existe um gênero que se destaca entre os outros por englobar alguns dos jogos mais difíceis conhecidos, portanto o protótipo de jogo desenvolvido neste estudo seguiu este modelo de jogo.

O *Bullet Hell*, também conhecido como *Shoot 'em Up*, ou apenas *Shmup*, é um subgênero de jogos eletrônicos de tiro em 2D⁶, onde o jogador controla um único personagem, normalmente uma espaçonave ou avião, este disparando projéteis em diversos inimigos, em uma única direção, enquanto foca paralelamente em desviar de uma quantidade demasiada de projéteis vindos de tais inimigos (DAVIES, 2008). Em grande parte dos títulos neste gênero, o jogador, uma vez que acertado por um tiro, perde qualquer poder que tenha acumulado ao longo da fase, e uma vida. Quando o seu número de vidas chega em 0, ele perde o jogo totalmente.

⁴Estilo de jogo projetado para ser jogado por uma única pessoa simultaneamente.

⁵Gênero de jogo onde os mapas são, normalmente, gerados aleatória ou proceduralmente. A derrota do jogador o força a recomeçar o jogo desde o primeiro mapa, porém permitindo que sejam desbloqueados elementos novos para o jogo neste processo.

⁶Em um jogo 2D, o jogador controla a posição do personagem em apenas duas dimensões. No caso dos *Shmups*, o personagem se move apenas para cima, para baixo, esquerda e direita em um plano.

Uma das definições populares para um shmup, como discutido por [NEXIC \(2006\)](#), engloba o conceito de não permitir que o jogador mate muitos inimigos sem precisar se preocupar com desviar de seus tiros. Grande parte da experiência de um *Shmup* se encontra na necessidade de concentração para desviar de todos os projéteis que apresentam perigo ao jogador. Isso é, trata-se de jogos onde o usuário dificilmente se sentirá superior aos inimigos, constantemente adaptando suas estratégias para superar os grandes desafios proporcionados. Nexic também menciona que, se este conforto for dado ao jogador, este estará mais propício a se frustrar quando for atingido por uma "bala perdida".

O gênero teve sua origem com o famoso *Space Invaders* em 1978 e seus sucessores *Galaxian* e *Defender*, em 1980, mas sua emergência foi com a série *Radiant Silvergun* em 1998 ([PICARD, 2013](#)). Possibilitado pelo avanço na capacidade computacional tanto de computadores pessoais como de *consoles*, novas mecânicas e visuais foram introduzidos ao gênero rapidamente. Apesar de jogos no subgênero de *Shmups* terem sido e ainda serem classificados como jogos de nicho, a trajetória de seu avanço os tornou significativamente únicos e realçados dentro do gênero de jogos de tiro.

Os jogos que serviram como a maior inspiração para este estudo foram os da série *Touhou Project*, esta contendo mais de 20 jogos, desenvolvida unicamente por Jun'ya Ota, mais conhecido como ZUN ([LOXELY, 2013](#)). Apesar de alguns jogos da série seguirem o gênero de jogos de luta, a grande maioria não apenas se enquadra no gênero de *Shmup* como também serve de referência até os dias de hoje. A enorme variedade de inimigos, personagens jogáveis, fases completas e percursos de treinamento encontrada na série foi o fator determinante para a escolha deste gênero para o estudo, uma vez que a criatividade define o limite de qualquer mecânica que venha a ser implementada. Poderes especiais dos personagens, padrões de projéteis de inimigos, padrões de movimentação de inimigos, interações dinâmicas de elementos ([RODRIGUEZ, 2003](#)), entre outras, são características que influenciam fortemente a dificuldade do jogo, de acordo com o modo como são implementadas. Este estudo procura atuar principalmente sobre esses aspectos do jogo para atingir seu objetivo de adaptação dinâmica de dificuldade.

Capítulo 3

Decisões de *Design*

3.1 Ideias Iniciais

Inicialmente, foram avaliadas diversas possibilidades de gêneros para o jogo. O Artigo de HUNICKE (2005) mostra as vantagens de uma abordagem baseada em colocar o jogador em uma situação onde enfrenta diversos inimigos, em oposição a um jogo de luta, onde ele poderia enfrentar apenas um, ou jogos de quebra-cabeça, onde normalmente não existem inimigos. Para isso, foi desenvolvido um pequeno protótipo no estilo *top-down*¹, onde o personagem principal podia atirar em qualquer direção usando uma gama de armas selecionáveis, em uma *arena*. Isso é, ele se encontrava em uma fase fechada, com apenas algumas portas localizadas nos cantos, de onde os inimigos surgiam em ondas. Os inimigos então se direcionavam ao personagem, causando dano caso entrassem em contato com ele. Inimigos de tipos diferentes também foram desenvolvidos, como um personagem que se aproximava do jogador, e quando dentro de uma certa distância dele, atirava projéteis em sua direção.

Conforme estes tipos diferentes ameaças eram introduzidas, a ideia para o cálculo da métrica de dificuldade apresentou-se cada vez mais como um desafio. Não apenas as ameaças, mas o nível de liberdade que o jogador possuía para se movimentar pela fase, atirar em qualquer direção e se aproveitar da arquitetura das arenas inseriu muitas variáveis a serem consideradas na parametrização da dificuldade, tanto para leitura, avaliação dos movimentos do jogador e seu desempenho, quanto para aplicação de balanceamento, alteração de variáveis dos inimigos e até mesmo do personagem principal.

Com isso, a exploração de outro gênero tornou-se um caminho mais apropriado para os objetivos deste estudo. A simplicidade dos *Shmups*, quando comparados aos jogos de *Arena* em qualquer estilo, provou facilitar consideravelmente esta interpretação de ações do jogador para formação da métrica de dificuldade. Não se limitando a isso, porém, foi possível também generalizar o modelo dos inimigos de forma que, lendo essa métrica gerada, entre outras variáveis, o nível do inimigo se adapta em tempo real, tanto quando a dificuldade é aumentada, quanto diminuída.

¹Jogos definidos pelo ângulo de visão do jogo, vendo o personagem por cima, em oposição à visão pelos lados, usada em jogos como *Super Mario Bros*.

3.2 Design do Protótipo

Em um cenário de desenvolvimento de jogos, é necessário definir firmemente os conceitos fundamentais do jogo, não apenas de um ponto de vista de *design*, pensando nos objetivos do jogo, quais mecânicas serão implementadas, mas também de um ponto de vista técnico, dessa vez pensando em que ferramentas utilizar e tipos de arquitetura de jogos para usar como base. Esta seção será dedicada a essas especificações funcionais e técnicas do jogo.

3.2.1 Estrutura Geral

Para entendimento da estrutura geral do jogo, utiliza-se a metodologia de *cenas*. Uma cena pode ser interpretada de formas diferentes dentro do jogo. Uma boa maneira de se visualizá-las é pensando em um "estado de jogo". Por exemplo, o *menu* principal do jogo terá uma cena dedicada apenas a ele, assim como o local onde o jogo se passa, neste caso, no espaço, também está separado em uma cena específica. Os tipos diferentes de cenas e suas funcionalidades serão aprofundadas em um capítulo mais adiante.

O menu principal do jogo possui as opções de *Novo Jogo*, iniciando assim um jogo no modo padrão, logo após uma tela de seleção de personagens; *Tutorial*, colocando o jogador em uma fase guiada por instruções de como jogar, quais botões utilizar e explicando todas as mecânicas implementadas que o jogador precisa saber; *Demo*, levando-o a uma demonstração de que tipos de padrões de tiros os inimigos podem gerar, o qual será aprofundado em um capítulo futuro também; e por fim, *Sair*, que fecha o jogo.

falar mais aqui talvez?

3.2.2 Progressão e Ondas

Ao iniciar um *Novo Jogo*, o jogador depara-se com a tela de seleção de personagens (naves) mencionada anteriormente. Ao escolher entre uma das naves, uma tela contendo apenas a nave escolhida, o fundo temático do espaço sideral e indicadores da quantidade de vidas e de bombas do jogador é apresentada na sequência. O jogador pode se mover livremente dentro das delimitações laterais da tela e atirar sem se preocupar com sua munição. Após alguns segundos, os primeiros inimigos aparecerão pelo canto superior da tela. Estes fazem parte da primeira onda de inimigos. Os inimigos então começarão a disparar projéteis, em direção à nave principal ou não, de maneiras pré programadas. Cada inimigo permanece um tempo determinado na tela antes de ser arrastado para sua lateral mais próxima e *despawnando*², caso não seja derrotado pelo jogador antes. Quando todos os inimigos de uma *onda* são derrotados ou *despawnados*, é iniciada a onda seguinte de inimigos, podendo conter inimigos mais fortes, mais fracos, em maior ou menor quantidade, parâmetro a ser definido no banco de dados do jogo.

Ao chegar na última onda de inimigos, o jogador é apresentado ao chefe principal da fase. O chefe possui uma quantidade considerável a mais de pontos de vida, tornando

²Em oposição ao *spawn*, que significa o *inserir* de uma entidade no estado atual do jogo, o *despawn* é quando uma entidade é liberada e deletada da cena atual do jogo.

mais difícil de matar, assim como ataques bastante distintos dos de inimigos comuns, e também em maior variedade. O chefe também pode se movimentar uniformemente pelo topo da fase, de forma a forçar o deslocamento do jogador caso este esteja focando seu posicionamento em um único ponto. Podem também haver *sub-chefes* ou *mini-chefes* antes da onda final da fase, estes proporcionando uma batalha similar à com o chefe final, porém em uma dificuldade levemente inferior. Ao derrotar o chefe final, a fase atual acaba e o jogador vence o jogo após ser parabenizado.

3.2.3 Poderes Especiais

Ao entrar na fase, o jogador terá em seu arsenal dois principais meios de combate aos inimigos. O mais usado será o seu tiro primário. Como mencionado anteriormente, este não custará munição, portanto poderá ser usado a vontade. Ao derrotar um inimigo, este depositará na fase uma quantidade determinada de *drops*³ de cristais, que quando coletados pelo jogador, somarão um número aleatório, em um intervalo específico, de pontos para o jogador. Ao juntar uma quantidade de pontos, terá o *nível* de seu tiro primário aumentado, tornando-o mais forte, com alcance maior e, assim, mais versátil e ameaçador. O jogo também apresenta uma mecânica de *auto-pickup-zone*. Se houverem *drops* na tela, o jogador pode, alternativamente a se aproximar dos drops, entrar na zona no topo da tela denominada *auto-pickup-zone*, fazendo assim com que todos os *drops* vivos se direcionem instantaneamente ao jogador, recompensando-o por entrar na zona mais perigosa da tela, onde os inimigos se encontram.

O estilo do tiro primário varia de acordo com a escolha de nave, isso é, tanto o primeiro nível do tiro quanto os demais serão diferente para cada nave implementada. Isso disponibiliza diversas opções de jogabilidade, ao mesmo tempo que não causa um impacto severo na dificuldade do jogo nem na sua complexidade, permitindo também que as mecânicas de balanceamento se mantenham estabilizadas.

O outro método de ataque disponível é a bomba. Esta, por sua vez, não será tão abundante quanto o tiro primário. Como notável pelo jogador assim que a fase é iniciada, há um contador de bombas disponíveis junto ao número de vidas. Quando uma bomba é usada, esse contador é decrementado uma unidade, e se não houverem bombas disponíveis, o jogador terá que continuar derrotando inimigos utilizando apenas seu tiro primário como ataque antes de poder usá-las novamente. Similarmente à progressão de níveis do tiro primário, ao coletar um determinado número de cristais de inimigos, o jogador ganhará uma bomba. Quando usada, a bomba causa uma explosão visível, causando dano massivo a todos os inimigos instantaneamente, e também limpando quaisquer projéteis inimigos que estiverem na tela. Com isso, a bomba se torna um recurso valioso que deve ser usado estrategicamente, possivelmente sendo guardada para o encontro com o chefe da fase.

Por último, foi implementada uma habilidade muito comumente encontrada em *Shmups*, conhecida como *Strafe*, ou *Focus*, assim chamada em *Touhou Project*. Enquanto o botão designado ao *Strafe* estiver pressionado, a nave do jogador terá sua velocidade reduzida, e um pequeno indicador da *hitbox*⁴ da nave se tornará aparente. Ao soltar o botão, a

³Em jogos, quando um inimigo deixa para trás algum item ao morrer, este item é denominado *drop*.

⁴Nome dado à zona de colisão de um objeto com outros em jogos. Isso vale tanto para a nave principal

velocidade da nave volta ao normal e o indicador da *hitbox* desaparece. Isso se prova útil não apenas para desviar de uma leva densa de balas com mais precisão, mas também para tornar evidente a verdadeira distância de perigo das balas, uma vez que, em grande parte dos *Shmups*, a *hitbox* da nave principal é consideravelmente menor do que a sua *sprite*⁵, dificultando a tarefa de desviar das balas inimigas quando este indicador não está visível.

3.2.4 Visuais e Sons

Indicadores visuais e/ou sonoros provam-se convenientes ao permitir que o jogo expresse eventos que, de outra forma, não seriam notados pelo jogador. O artigo de [LOVATO \(2015\)](#) apresenta boa parte dos conceitos básicos de *expressão* em jogos e como o uso de certas técnicas consegue separar um simples protótipo de um jogo completo. A mais importante delas, o *tweening*, ou *inbetweening*, é uma técnica de interpolação de valores utilizada constantemente em jogos. Quando se trata de animar movimentos, usar uma interpolação não linear pode ser a chave para um resultado natural, uma vez que praticamente nada no mundo real se move ou se comporta de forma totalmente linear, como citado por [LOVATO, 2015](#).

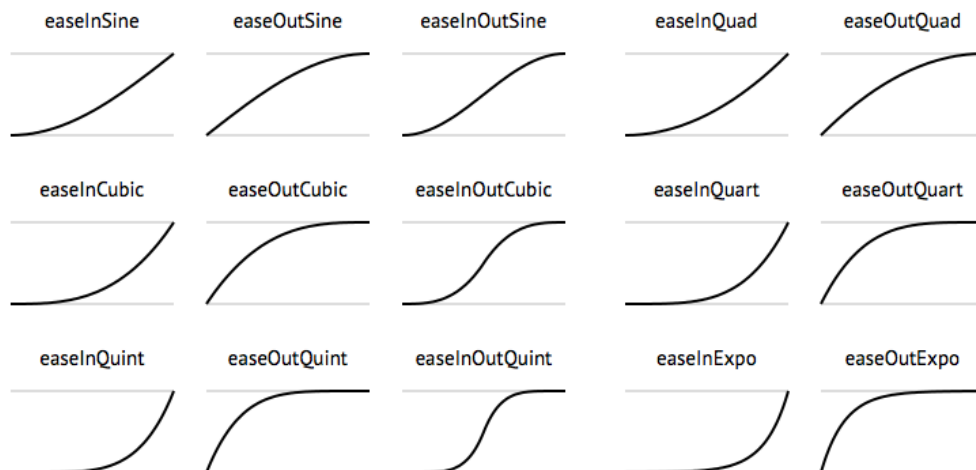


Figura 3.1: Funções comumente usadas em interpolações de valores (Imagem retirada do artigo de [LOVATO, 2015](#))

O uso de *tweens* se torna extremamente aparente quando utilizamos funções quadráticas, cúbicas, senoidais ou até mesmo elásticas para realizarmos a interpolação. Este efeito pode ser visto, por exemplo, no uso da bomba. Quando uma bomba é utilizada, uma circunferência (efeito da explosão) envolvendo a nave é rapidamente desenhada, tendo seu raio aumentado através de um *tween* baseado em uma função cúbica. Após algumas frações de segundos, o raio da circunferência passa a ser aumentado em uma taxa consideravelmente menor, até finalmente parar e desaparecer, passando assim a imagem de uma explosão para o jogador.

quanto para os inimigos. Quando um projétil entra na *hitbox* do jogador ou de um inimigo, este levará o dano no tiro.

⁵Imagem do objeto desenhada na tela. No caso do personagem principal, é o desenho de sua nave.

Já não dependendo tanto dos *tweens*, alguns dos *sprites* de balas utilizados no jogos possuem um formato similar a de um losango achatado, com o intuito de clareza quanto à direção em que a bala se move. Balas circulares, por outro lado, podem deixar o entendimento de sua direção mais difícil para o jogador, e por conta disso são utilizadas mais frequentemente por chefes e sub-chefes.

Não se limitando aos visuais, a expressividade do jogo depende também de como os efeitos sonoros são utilizados. Eventos como *ganhar uma vida* e *ganhar uma bomba* são convenientemente demonstrados através de um efeito sonoro curto, distintos entre si, podendo também ser acompanhados de um pequeno indicador visual acima da nave. Neste caso, o *tweening* também se mostra conveniente para suavizar a animação do texto (algo como *Life up!* ou *Bomb get!*) para cima e tornar o evento menos engessado.

Capítulo 4

Plataforma de Desenvolvimento

4.1 Estrutura Básica

Quando se trata de desenvolvimento de jogos, o conceito de programação não pode se limitar aos tipos de programa "*batch mode*", isso é, programas que são executados em apenas duas etapas: o programador executa o programa; o programa devolve um resultado (MENDONÇA, 2018). Esse modelo é frequentemente usado, ainda mesmo nos dias atuais, para processamento de grandes volumes de dados, suportar reprodutibilidade, flexibilidade em termos de momento de execução, e geração de logs detalhados, entre outros cenários (FSF, 2007).

Os programas interativos, por sua vez, compõem a estrutura dos jogos digitais como conhecidos atualmente. Este modelo, por sua vez, se resume ao pequeno bloco de código a seguir.

Programa 4.1 Game Loop

```
1  while (True) {  
2      processInput()  
3      update()  
4      render()  
5  }
```

Essa estrutura é conhecida como *Game Loop* (NYSTROM, 2014). O jogo primeiramente processa o input recebido pelo usuário, atualiza as variáveis do jogo de acordo e, finalmente, desenha os resultados na tela. Este pequeno trecho de código é projetado para ser executado, idealmente, um total de 60 vezes por segundo, em intervalos de tempos iguais, gerando a denominada *frame*¹. Com isso, cada *frame* do jogo será apresentada apenas durante aproximadamente 0.016 segundos até ser substituída pela próxima pelo código do *Game Loop*.

¹Um "quadro" do jogo. A rápida sequência de quadros gerados pelo *game loop* resulta na animação geral do jogo.

Por uma questão de simplicidade e para eliminar a necessidade de recriar essa estrutura para qualquer programa interativo, *frameworks* dedicadas para o desenvolvimento desse tipo de programa tornaram-se disponíveis, mais especificamente para o cenário de desenvolvimento de jogos, as *Game Engines*². Também conhecidas como *Motor de Jogo*, essas auxiliam fortemente no desenvolvimento tanto jogos 2D quanto 3D, além de uso de gráficos, áudio, bancos de dados, físicas, ou até mesmo uso de outras *frameworks* para, por exemplo, comunicação entre redes. A *engine* utilizada para desenvolver o protótipo neste estudo foi a *Godot Engine*.

4.2 Sobre a Godot Engine

A *Godot Engine* é uma *engine* totalmente gratuita e *open-source* sob a licença MIT, dedicada para o desenvolvimento de aplicativos 2D ou 3D, principalmente jogos eletrônicos, e tem sua manutenção feita atualmente pela comunidade de forma independente. A versão da *engine* utilizada neste estudo foi a 3.2.3, parte da versão 3.0 da *Godot*, lançada em 2018. Para entendimento do protótipo desenvolvido e do estudo feito, esta seção será dedicada a explicar os elementos básicos da *engine*, assim como algumas funcionalidades adicionais.

Falar esse finalzinho? numsei

4.2.1 Nós

Também conhecidos como *Nodes*, quando separados, representam pequenos elementos do jogo. Quando juntos, compoem a estrutura geral do jogo, como blocos de construção. Na *Godot*, existem diversos tipos diferentes de nós, cada um com uma função específica, e possivelmente herdando funcionalidades de outros tipos de nós. Por outro lado, os nós por padrão terão as seguintes utilidades:

- Possuem um nome
- Possuem atributos (variáveis)
- Podem possuir ou não um trecho de código que é chamado toda *frame* do jogo, definido em um *script*
- Podem possuir ou não métodos customizados, definidos no *script* mencionado
- Podem herdar funcionalidades de outros nós ou scripts criados
- Podem ser inseridos como *filhos* de outros nós, compondo uma *cena*

Usufruindo de todas essas funções, o desenvolvimento do jogo é focado quase totalmente no uso dos nós.

²Alguns exemplos de *engines* famosas hoje em dia: Unity; Unreal Engine; CryEngine; GameMaker Studio; RPG Maker; Godot.

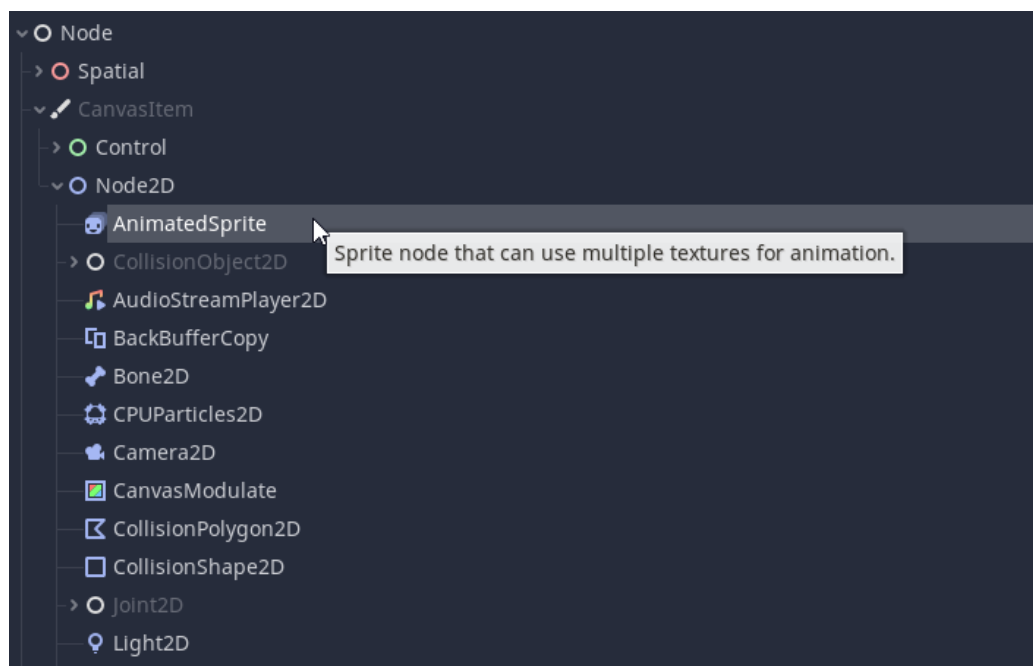


Figura 4.1: Tela de criação de novo nó, dentro da Godot

4.2.2 Cenas

Como mencionado anteriormente em 3.2.1, uma cena pode representar não apenas um estado específico do jogo, como um determinado "objeto", por exemplo, o personagem principal ou um inimigo. Cenas são sempre compostas por um ou mais nós em uma estrutura de árvore.

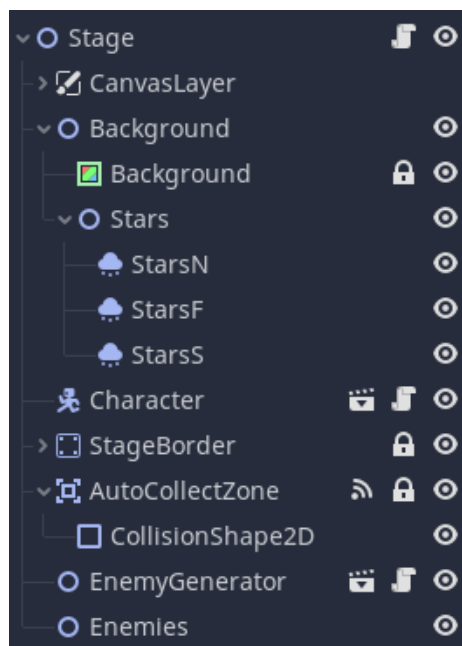


Figura 4.2: Árvore de nós da cena principal do jogo

Apêndice A

Código-Fonte e Pseudocódigo

Com a *package listings*, programas podem ser inseridos diretamente no arquivo, como feito no caso do Programa ??, ou importados de um arquivo externo com o comando `\lstinputlisting`, como no caso do Programa A.1.

Programa A.1 Máximo divisor comum (arquivo importado).

```

1  FUNCTION euclid(a, b) ▷ The g.c.d. of a and b
2      r ← a mod b
3      while r ≠ 0 ▷ We have the answer if r is 0
4          a ← b
5          b ← r
6          r ← a mod b
7      end
8      return b ▷ The g.c.d. is b
9  end
```

Trechos de código curtos (menores que uma página) podem ou não ser incluídos como *floats*; trechos longos necessariamente incluem quebras de página e, portanto, não podem ser *floats*. Com *floats*, a legenda e as linhas separadoras são colocadas pelo comando `\begin{program}`; sem eles, utilize o ambiente `programruledcaption` (atenção para a colocação do comando `\label{}`, dentro da legenda), como no Programa A.2¹:

Programa A.2 Máximo divisor comum (em português).

```

1  FUNCAO euclides(a, b) ▷ O máximo divisor comum de a e b
2      r ← a mod b
3  enquanto r ≠ 0 ▷ Atingimos a resposta se r é zero
4      a ← b
5      b ← r
```

cont →

¹listings oferece alguns recursos próprios para a definição de *floats* e legendas, mas neste modelo não os utilizamos.

```

→ cont
6       $r \leftarrow a \bmod b$ 
7      fim
8  devolva  $b$  ▷ O máximo divisor comum é  $b$ 
9  fim

```

Além do suporte às várias linguagens incluídas em listings, este modelo traz uma extensão para permitir o uso de pseudocódigo, útil para a descrição de algoritmos em alto nível. Ela oferece diversos recursos:

- Comentários seguem o padrão de C++ (`//` e `/* ... */`), mas o delimitador é impresso como “▷”.
- “:=”, “<>”, “<=”, “>=” e “!=” são substituídos pelo símbolo matemático adequado.
- É possível acrescentar palavras-chave além de “if”, “and” etc. com a opção “`morekeywords={pchave1,pchave2}`” (para um trecho de código específico) ou com o comando `\lstset{morekeywords={pchave1,pchave2}}` (como comando de configuração geral).
- É possível usar pequenos trechos de código, como nomes de variáveis, dentro de um parágrafo normal com `\lstinline{blah}`.
- “`$....$`” ativa o modo matemático em qualquer lugar.
- Outros comandos LaTeX funcionam apenas em comentários; fora, a linguagem simula alguns pré-definidos (`\textit{}`, `\texttt{}` etc.).
- O comando `\label` também funciona em comentários; a referência correspondente (`\ref`) indica o número da linha de código. Se quiser usá-lo numa linha sem comentários, use `/// \label{blah}`; “`///`” funciona como `//`, permitindo a inserção de comandos LaTeX, mas não imprime o delimitador (▷).
- Para suspender a formatação automática, use `\noparse{blah}`.
- Para forçar a formatação de um texto como função, identificador, palavra-chave ou comentário, use `\func{blah}`, `\id{blah}`, `\kw{blah}` ou `\comment{blah}`.
- Palavras-chave dentro de comentários não são formatadas automaticamente; se necessário, use `\func{}`, `\id{}` etc. ou comandos LaTeX padrão.
- As palavras “Program”, “Procedure” e “Function” têm formatação especial e fazem a palavra seguinte ser formatada como função. Funções em outros lugares *não* são detectadas automaticamente; use `\func{}`, a opção “`functions={func1,func2}`” ou o comando “`\lstset{functions={func1,func2}}`” para que elas sejam detectadas.
- Além de funções, palavras-chave, strings, comentários e identificadores, há “`specialidentifiers`”. Você pode usá-los com `\specialid{blah}`, com a opção “`specialidentifiers={id1,id2}`” ou com o comando “`\lstset{specialidentifiers={id1,id2}}`”.

Anexo A

Perguntas Frequentes sobre o Modelo²

- **Não consigo decorar tantos comandos!**

Use a colinha que é distribuída juntamente com este modelo (gitlab.com/ccsl-usp/modelo-latex/raw/master/pre-compilados/colinha.pdf?inline=false).

- **Por que tantos arquivos?**

O preâmbulo \LaTeX deste modelo é muito longo; as partes que normalmente não precisam ser modificadas foram colocadas no diretório `extras`, juntamente com alguns arquivos acessórios. Já os arquivos de conteúdo (capítulos, anexos etc.) foram divididos de maneira que seja fácil para você atualizar o modelo (copiando os novos arquivos ou com um sistema de controle de versões) sem que alterações no conteúdo de exemplo (este texto que você está lendo) causem conflitos com o seu próprio texto.

- **As figuras e tabelas são colocadas em lugares ruins.**

Veja a discussão a respeito na Seção ??.

- **Estou tendo problemas com caracteres acentuados.**

Veja a discussão a respeito na Seção ??.

- **Existe algo específico para citações de páginas web?**

Biblatex define o tipo “online”, que deve ser usado para materiais com título, autor etc., como uma postagem ou comentário em um blog, um gráfico ou mesmo uma mensagem de email para uma lista de discussão. Bibtex, por padrão, não tem um tipo específico para isso; com ele, normalmente usa-se o campo “howpublished” para especificar que se trata de um recurso *online*. Se o que você está citando não é algo determinado com título, autor etc. mas sim um sítio (como uma empresa ou um produto), pode ser mais adequado colocar a referência apenas como nota de rodapé e não na lista de referências; nesses casos, algumas pessoas acrescentam uma segunda lista de referências especificamente para recursos *online* (biblatex permite criar múltiplas bibliografias). Já artigos disponíveis *online* mas que fazem parte de uma publicação de formato

²Esta seção não é de fato um anexo, mas sim um apêndice; ela foi definida desta forma apenas para servir como exemplo de anexo.

tradicional (mesmo que apenas *online*), como os anais de um congresso, devem ser citados por seu tipo verdadeiro e apenas incluir o campo “url” (não é nem necessário usar o comando `\url{}`), aceito por todos os tipos de documento do bibtex/biblatex.

- **Aparece uma folha em branco entre os capítulos.**

Essa característica foi colocada propositalmente, dado que todo capítulo deve (ou deveria) começar em uma página de numeração ímpar (lado direito do documento). Se quiser mudar esse comportamento, acrescente “openany” como opção da classe, i.e., `\documentclass[openany,...]{book}`.

- **É possível resumir o nome das seções/capítulos que aparece no topo das páginas e no sumário?**

Sim, usando a sintaxe `\section[mini-titulo]{titulo enorme}`. Isso é especialmente útil nas legendas (*captions*) das figuras e tabelas, que muitas vezes são demasiadamente longas para a lista de figuras/tabelas.

- **Existe algum programa para gerenciar referências em formato bibtex?**

Sim, há vários. Uma opção bem comum é o JabRef; outra é usar Zotero ou Mendeley e exportar os dados deles no formato .bib.

- **Posso usar pacotes L^AT_EX adicionais aos sugeridos?**

Com certeza! Você pode modificar os arquivos o quanto desejar, o modelo serve só como uma ajuda inicial para o seu trabalho.

- **Como faço para usar o Makefile (comando make) no Windows?**

Lembre-se que a ferramenta recomendada para compilação do documento é o latexmk, então você não precisa do make. Mas, se quiser usá-lo, você pode instalar o MSYS2 (www.msys2.org) ou o Windows Subsystem for Linux (procure as versões de Linux disponíveis na Microsoft Store). Se você pretende usar algum dos editores sugeridos, é possível deixar a compilação a cargo deles, também dispensando o make.

- **Como eu faço para...**

Leia os comentários dos arquivos “tese.tex” e outros que compõem este modelo, além do tutorial (Capítulo ??) e dos exemplos do Capítulo ??; é provável que haja uma dica neles ou, pelo menos, a indicação da *package* relacionada ao que você precisa.

Referências

- [APONTE *et al.* 2011] Maria-Virginia APONTE, Guillaume LEVIEUX e Stéphane NATKIN. “Difficulty in video games : an experimental validation of a formal definition”. Em: (2011), pg. 19 (citado na pg. 1).
- [BYTE 1981] BYTE. *“Zork, The Great Underground Empire.”* 1ª ed. Perspectiva, 1981, pgs. 262–264 (citado na pg. 4).
- [CRANDALL e SIDAK 2020] Robert W. CRANDALL e J. Gregory SIDAK. “Video games: serious business for america’s economy”. Em: (2020), pg. 48 (citado na pg. 1).
- [DAVIES 2008] Jonti DAVIES. “The shooting never stops”. Em: (2008) (citado na pg. 5).
- [GREEN 2017] Katie GREEN. “A short history on arcade gaming”. Em: (2017) (citado na pg. 3).
- [HUNICKE 2005] Robin HUNICKE. “The case for dynamic difficulty adjustment in games”. Em: (2005), pg. 6 (citado nas pgs. 1, 7).
- [JUUL 2009] Jesper JUUL. “Fear of failing? the many meanings of difficulty in video games”. Em: (2009), pg. 13. URL: <https://www.jesperjuul.net/text/fearoffailing/> (citado na pg. 1).
- [FSF 2007] Archna KHUBCHANDANI. *Interactive Mode vs. Batch Mode in R Programming.* 2007. URL: <https://study.com/academy/lesson/interactive-mode-vs-batch-mode-in-r-programming.html> (acesso em 25/11/2020) (citado na pg. 13).
- [LOVATO 2015] Nathan LOVATO. “Squeezing more juice out of your game design!” Em: (2015). URL: <https://gameanalytics.com/blog/squeezing-more-juice-out-of-your-game-design/> (citado na pg. 10).
- [LOXELY 2013] Morgan LOXELY. “‘touhou project’ offers tough levels, hours of fun”. Em: (2013). URL: <https://www.eghsguardian.com/2010/entertainment/touhou-project-offers-tough-levels-hours-of-fun/> (citado na pg. 6).
- [MENDONÇA 2018] Victor Domiciano MENDONÇA. “Inteligência artificial em um jogo procedural do gênero tower defense”. Em: (2018), pg. 57. URL: <https://bcc.ime.usp.br/tccs/2018/vidm/monografia.pdf> (citado na pg. 13).

- [MORAN 2010] Chuk MORAN. “Playing with game time: auto-saves and undoing despite the ‘magic circle’”. Em: (2010). URL: <http://sixteen.fibrejournal.org/playing-with-game-time-auto-saves-and-undoing-despite-the-magic-circle/> (citado na pg. 4).
- [NEXIC 2006] NEXIC. *Do's and don'ts of a good shmup*. 2006. URL: <https://shmups.system11.org/viewtopic.php?t=7874> (citado na pg. 6).
- [NYSTROM 2014] Robert NYSTROM. *Game Programming Patterns*. 1ª ed. Genever Benning, 2014, pgs. 123–139 (citado na pg. 13).
- [PICARD 2013] Martin PICARD. “The foundation of geemu: a brief history of early japanese video games”. Em: (2013). URL: <http://www.gamestudies.org/1302/articles/picard> (citado na pg. 6).
- [RODRIGUEZ 2003] Tyrone RODRIGUEZ. “Ikaruga”. Em: (2003), pg. 2. URL: <https://web.archive.org/web/20160502211507/http://www.ign.com/articles/2003/04/09/ikaruga-3> (citado na pg. 6).

Índice Remissivo

B

biblatex, [19](#)

bibtex, [19](#)

C

Captions, *veja* Legendas

Código-fonte, *veja* Floats

E

Equações, *veja* Modo Matemático

F

Figuras, *veja* Floats

Floats

Algoritmo, *veja* Floats, Ordem

Fórmulas, *veja* Modo Matemático

I

Inglês, *veja* Língua estrangeira

L

Legendas, [20](#)

M

Mendeley, [20](#)

P

Palavras estrangeiras, *veja* Língua estrangeira

R

Rodapé, notas, *veja* Notas de rodapé

S

Subcaptions, *veja* Subfiguras

Sublegendas, *veja* Subfiguras

T

Tabelas, *veja* Floats

V

Versão corrigida, *veja* Tese/Dissertação, versões

Versão original, *veja* Tese/Dissertação, versões

Z

Zotero, [20](#)