



Avaliação do Fluxo da Experiência do Jogador na Geração Procedural por Autômatos Celulares

Gabriel Martins Santana

JUIZ DE FORA
SETEMBRO, 2021

Avaliação do Fluxo da Experiência do Jogador na Geração Procedural por Autômatos Celulares

GABRIEL MARTINS SANTANA

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Igor de Oliveira Knop

JUIZ DE FORA
SETEMBRO, 2021

AVALIAÇÃO DO FLUXO DA EXPERIÊNCIA DO JOGADOR NA GERAÇÃO PROCEDURAL POR AUTÔMATOS CELULARES

Gabriel Martins Santana

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

Igor de Oliveira Knop
D.Sc. Modelagem Computacional

Marcelo Caniato Renhe
D.Sc. Engenharia de Sistemas e Computação

Luciana Conceição Dias Campos
D.Sc. Engenharia Elétrica

JUIZ DE FORA
03 DE SETEMBRO, 2021

Ao meu irmão e meus amigos.

Aos meus pais, pelo apoio e sustento.

Resumo

Os jogos digitais se tornaram uma indústria bilionária, elevando uma atividade cultural a um produto lucrativo e com amplo aceite na sociedade. Um jogo fornece conteúdo na forma de roteiros, mapas, ilustrações, efeitos sonoros, progresso de personagens e envolve profissionais das mais diversas áreas como artistas, programadores, analistas de sistemas, engenheiros, matemáticos, roteiristas, psicólogos, e outros. Devido a sua limitação de recursos, os pequenos estúdios exploram o conceito de geração procedural fazendo uso de algoritmos especializados como resultado direto para o jogador. Além disso, uma outra possível finalidade é para que profissionais refinem posteriormente. O presente trabalho explora o uso de autômatos celulares e mapas de influência como técnica de geração procedural para uma topologia e posicionamento de elementos de jogo e faz uma análise dos resultados com a ótica do jogador, utilizando caminhos. Um ambiente de experimentação de código livre é adaptado, e observações são realizadas e discutidas acerca do resultado da geração.

Palavras-chave: desenvolvimento de jogos; geração procedural de conteúdo; fluxo da experiência do jogador.

Abstract

Digital games have become a billionaire industry, elevating a cultural activity to a profitable product with wide acceptance in society. A game provides content in the form of scripts, maps, illustrations, sound effects, character progress and involves professionals from different areas such as artists, programmers, systems analysts, engineers, mathematicians, screenwriters, psychologists, and others. Due to their limited resources, small studios explore the concept of procedural generation by using specialized algorithms as a direct result for the player. In addition, another possible purpose is to be refined by professionals later. This work explores the use of cellular automata and influence maps as a procedural generation technique for topology and positioning of game elements and analyzes the results from the player's perspective, using paths. An open-source experimentation environment is adapted, and observations are made and discussed about the generation result.

Keywords: game development; procedural content generation, player experience flow.

Agradecimentos

A Deus por ter guiado meus passos no decorrer de toda a graduação, mesmo quando não fui capaz de compreender. Pelo seu infinito amor, bondade, misericórdia, fidelidade e por ter me alcançado com sua irresistível graça.

Aos meus pais Felipe e Michele, pelo incentivo, conselhos, correções, sustento e sacrifícios pessoais que me abriram o caminho até aqui. Ao meu irmão Daniel, pelo companheirismo e carinho.

Ao professor Igor Knop pela orientação, dedicação, ensinamentos, amizade e paciência, sem as quais este trabalho não se realizaria.

A toda equipe do NRC pelo acolhimento e ensinamentos nos anos em que lá estive como bolsista. Em especial ao professor Eduardo Pagani pelas muitas oportunidades concedidas.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos e companheiros de curso pela amizade, ajudas, incentivo e conhecimentos compartilhados durante a graduação. Ao meu amigo Mateus Gonçalo, em especial, pelas muitas lutas que perdemos e vencemos juntos ao longo desses anos.

Aos meus muitos irmãos e irmãs na fé pelo incentivo, preocupação e orações. Em especial a Madu Braga, Thimóteo Vieira, Amanda Castro e Elisabeth Bracher pelo apoio emocional e espiritual reforçado em todo o desenvolver deste trabalho de conclusão. A Daniel Guedes pela disponibilidade, entusiasmo e participação nos testes que resultaram na validação da avaliação deste trabalho.

Se eu citasse cada um dos nomes pelos quais sou grato, excederia até mesmo o número de páginas que este trabalho possui. Aos que não pude mencionar, deixo o meu mais sincero agradecimento.

“Mas Deus prova seu próprio amor para conosco pelo fato de ter Cristo morrido por nós, sendo nós ainda pecadores.”

(Bíblia Sagrada - Romanos 5:8)

Conteúdo

Lista de Figuras	8
1 Introdução	12
1.1 Objetivos	14
1.2 Organização do Trabalho	15
2 Fundamentação Teórica	16
2.1 Jogos: definições e mercado	16
2.2 Gêneros de jogos	17
2.3 <i>Dungeon Crawlers</i>	18
2.4 Teoria dos Fluxos	18
2.5 Mapas de Influência	19
2.6 Algoritmos de Busca	21
2.7 Geração Procedural de Conteúdo	23
2.8 O <i>Procedural Content Generation Lab</i> (PCGLab)	24
3 Método	30
4 Desenvolvimento	32
4.1 Evolução do PCGLab	32
4.2 Caminhos de observação e mapas de influência	32
4.2.1 Caminho Entrada-Saída	33
4.2.2 Caminho Entrada-Tesouros-Saída	34
4.2.3 Caminho Livre	35
4.2.4 Semente de números aleatórios no mapa	36
4.2.5 Identificação de perfis de sala pelo tamanho	37
4.3 Salas de referência	39
4.3.1 Sala Pequena	39
4.3.2 Sala Média	39
4.3.3 Sala Grande	40
4.3.4 Salas Trivial e Gigante	42
4.4 Avaliação prévia dos Caminhos	43
4.4.1 Análise da Sala Pequena	45
4.4.2 Análise da Sala Média	48
4.4.3 Análise da Sala Grande	51
4.4.4 Análise das Salas Trivial e Gigante	55
4.4.5 Conclusão da Avaliação Prévia	56
4.5 Validação da avaliação	58
4.5.1 Validação da Análise da Sala Pequena	59
4.5.2 Validação da Análise da Sala Média	60
4.5.3 Validação da Análise da Sala Grande	61
4.5.4 Validação da Análise da Sala Gigante	61
4.5.5 Conclusão da Validação da Avaliação	66

5	Considerações Finais	72
5.1	Limitações e Trabalhos Futuros	73
	Bibliografia	75

Lista de Figuras

2.1	Gráfico do fluxo e das demais experiências observáveis. Fonte: Adaptado de Csikszentmihalyi et al. (2002).	20
2.2	Mapa de influência do posicionamento de um inimigo no PCGLab, formalizado na Seção 2.8. Fonte: captura de tela, do autor.	21
2.3	Caminho apresentado como solução para o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em um grafo com 18 vértices. Fonte: retirado de Pardini (2015).	23
2.4	Conteúdos de jogos que podem ser gerados proceduralmente. Fonte: adaptado de Hendrikx et al. (2011).	24
2.5	Geração de biomas, terrenos e corpos de água em <i>Minecraft</i> . Fonte: retirado de MinecraftWiki (2021).	25
2.6	Diagrama de classes do estado inicial do PCGLab. Fonte: adaptado diretamente do código-fonte original, do autor.	26
2.7	Os três tipos de blocos que compõem o mapa gerado pelo autômato celular. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	26
2.8	Geração do mapa e ligação dos teletransportes. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	27
2.9	Distribuição dos elementos do jogo em uma sala. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	28
2.10	Barra de tempo do jogo. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	28
4.1	Diagrama de classes do PCGLab após acréscimo do Path. Fonte: adaptado diretamente do código fonte original, do autor.	33
4.2	Caminho entrada-saída em uma sala gerada. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	34
4.3	Mapa de influência de tesouros em uma sala do jogo.	35
4.4	Caminho Entrada-Tesouros-Saída em uma sala do jogo.	36
4.5	Caminho livre percorrido pelo jogador em uma sala gerada. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	37
4.6	Elementos da caixa de colisão do personagem e Resultado de uma Diagonal Perfeita no caminho livre. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	38
4.7	Mapas de influência da sala pequena. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	40
4.8	Mapas de influência da sala média. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	41
4.9	Mapas de influência da sala grande. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	42
4.10	Sala Trivial gerada no mapa.	43
4.11	Sala Gigante do mapa com sua área interna destacada na cor verde.	44
4.12	Caminho entrada-saída na sala pequena e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	46

4.13	Caminho entrada-tesouros-saída na sala pequena e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	47
4.14	Caminho entrada-saída na sala média e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	49
4.15	Caminho entrada-tesouros-saída na sala média e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	50
4.16	Caminho entrada-saída na sala grande e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	52
4.17	Caminho entrada-tesouros-saída na sala grande e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	54
4.18	Gráfico Passo x Distância para o caminho Entrada-Saída da sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	56
4.19	Gráfico Passo x Distância para o caminho Entrada-Tesouros-Saída da sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	57
4.20	Caminho livre do jogador na sala Pequena, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	60
4.21	Caminho livre do jogador na sala Média, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	62
4.22	Caminho livre do jogador na sala Grande, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	63
4.23	Gráfico Passo x Distância para o caminho livre percorrido pelo jogador na sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	64
4.24	Trecho do Caminho livre do jogador na sala gigante, mapa de influência de inimigos e disposição inicial dos elementos na Região Morta percorrida. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	65
4.25	Trecho do Caminho livre do jogador na sala gigante, mapa de influência de inimigos e disposição inicial dos elementos na Região Carregada percorrida. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	67

4.26	Trecho do Caminho livre do jogador na sala gigante, mapa de influência de inimigos e disposição inicial dos elementos na Região Inativa observada. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	70
4.27	Jogador ignora Firezone no decorrer do percurso para evitar inimigo. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.	71

Siglas

BFS *Breadth First Search*. 22, 32, 33

DC *Dungeon Crawler*. 18, 23, 24

GPC *Geração Procedural de Conteúdo*. 13, 23, 24, 72

PCGLab *Procedural Content Generation Lab*. 6, 8–10, 24–30, 32–34, 36–42, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 56–60, 62–65, 67, 69–73

PCV *Problema do Caixeiro Viajante*. 8, 22, 23, 34, 51

RPG *Role-Playing Game*. 16, 18

1 Introdução

O mercado de jogos digitais tem apresentado um amplo crescimento nas últimas décadas. A cada ano, esse mercado se expande ainda mais, e tornou-se um negócio extremamente rentável em diversos países do mundo, gerando faturamentos anuais na casa dos bilhões. De acordo com dados fornecidos pela Newzoo (2021), a indústria dos jogos digitais gerou uma receita total de U\$177,8 bilhões em 2020 pelo mundo. Segundo a pesquisa, China, Estados Unidos e Japão lideram o ranking de países com maior faturamento e maior quantidade de consumidores de jogos.

No Brasil não tem sido diferente: segundo a mesma fonte, em 2020 58,1% da população online no país, cerca de 89,6 milhões de pessoas, consumiu algum tipo de conteúdo gerado por essa indústria. A receita gerada em nosso país, no ano da pesquisa, estava na faixa dos U\$2,18 bilhões com estimativa de crescimento de 5,1% para o próximo ano. Além disso, espera-se que o número de pessoas fazendo consumo de jogos no país chegue a 94,7 milhões em 2021 (NEWZOO, 2021).

Para atender a esse crescente mercado que constantemente se reinventa, mais e mais jogos, com as mais variadas temáticas e estilos são desenvolvidos e tanto as grandes empresas do ramo quanto as pequenas disputam um bem extremamente valioso e rentável: a atenção do jogador.

Visando alcançar e reter esse bem, é de suma importância que os jogos proporcionem experiências significativas e divertidas para seus jogadores. As experiências não são manipuláveis diretamente, por isso os desenvolvedores devem construir o jogo de forma estratégica e criativa para que através dele, o jogador seja conduzido a boas experiências (SCHELL, 2008).

Assim sendo, o processo de desenvolvimento de jogos tem demandado uma equipe cada vez mais especializada e interdisciplinar, com profissionais de áreas como programação, ilustração, animação, narrativa, áudio, modelagem matemática, gerenciamento de projetos, psicologia, dublagem, dentre outras. Essa equipe desenvolve para um jogo sua identidade visual, cenários, personagens, níveis, desafios, dificuldades, efei-

tos sonoros, narrativas, e também há aqueles que sejam capazes de codificar todos esses componentes de modo a proporcionar uma experiência agradável ao jogador.

As grandes empresas que dominam boa parte deste mercado são capazes de arcar com os custos de uma equipe tão ampla para a produção de seus jogos. Contudo, empresas menores e desenvolvedores independentes frequentemente precisam acumular diversas dessas funções em poucas pessoas (ou até mesmo em uma só pessoa) devido à dificuldade de custear uma equipe maior.

Uma alternativa a manter uma grande equipe interdisciplinar é delegar a criação de certos elementos do conteúdo a métodos de geração procedural, proporcionando uma vasta gama de resultados e dando aos jogos um tom de aleatoriedade guiada, que vem sendo apreciada em muitos jogos nos últimos tempos. De acordo com Togelius et al. (2011), a esse processo se dá o nome de Geração Procedural de Conteúdo (GPC) em jogos e refere-se à criação de conteúdo do jogo automaticamente através do uso de algoritmos. Dessa forma, o desenvolvedor interfere minimamente no processo de construção de certos componentes do jogo, podendo produzir uma maior quantidade de conteúdo em um menor intervalo de tempo.

O conteúdo gerado dessa forma tende a apresentar resultados únicos extremamente diversificados, sendo capaz de fornecer conclusões satisfatórias que muitas vezes surpreendem até mesmo as expectativas de seus desenvolvedores. Em contrapartida, conteúdos gerados proceduralmente tendem a ser, inicialmente, menos detalhados do que aqueles produzidos por uma equipe dedicada a cada um dos elementos do jogo (SHORT; ADAMS, 2017).

Tal cenário motiva este trabalho na investigação acerca da geração procedural de conteúdo. Mais especificamente, deseja-se responder às seguintes questões: como a geração procedural de conteúdo afeta a experiência do jogador? Seria possível antecipar e modelar essa experiência previamente? Responder a estes questionamentos, de uma forma ampla, é bem complexo, tendo em vista a variedade de métodos e aplicações da GPC. Portanto, este trabalho foca na geração de cenários, em especial os em duas dimensões, a qual gerou gêneros de jogos e popularizou a técnica.

As técnicas de geração procedural são normalmente avaliadas a cada caso, e

não há um método e ferramentas para desenvolvimento, experimentação e testes integrada. Uma abordagem integrada, com suporte de software para execução e avaliação dos métodos, pode auxiliar o estudo na área e na criação de novas ferramentas educacionais. Este trabalho busca fornecer esse ambiente no qual os métodos possam ser implementados e avaliados de uma forma geral no âmbito acadêmico.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é criar um método no qual técnicas de geração possam ser implementadas e a experiência do jogador possa ser avaliada, com base em conceitos como pontos de interesse, desafios e recompensas, de forma que posteriormente se possa analisar a progressão do jogador pelo cenário com outras teorias, como a Teoria dos Fluxos (CSIKSZENTMIHALYI et al., 2002). Para tal, os objetivos específicos devem ser atingidos:

- Desenvolver um laboratório para experimentação capaz de permitir diversos métodos de geração de conteúdo e que o resultado seja jogável;
- Selecionar principais conceitos desejados em uma geração procedural;
- Definir um arcabouço de modelo da experiência de jogador;
- Definir métricas e realizar a avaliação do resultado da geração com base no modelo;
- Validar o modelo com base na experiência de jogadores reais.

Com um modelo e métricas geradas antecipadamente, espera-se avaliar a hipótese central deste trabalho, de que é possível capturar e avaliar a experiência do jogador previamente.

Um esforço inicial já foi feito nessa direção (COSTA; KNOP, 2020) e este trabalho é uma continuação direta, contribuindo com a refatoração de parte do software criado previamente, além da adição de uma camada extra de avaliação da experiência do jogador, fechando o ciclo necessário para continuar na busca pelo objetivo geral, de modo que tenhamos um ambiente com o qual várias técnicas de geração procedural possam ser implementadas e comparadas.

1.2 Organização do Trabalho

A presente monografia se encontra dividida em cinco capítulos. Este Capítulo 1 apresentou a introdução do trabalho com o seu problema, sua justificativa e os objetivos geral e específicos. O Capítulo 2 traz a revisão dos conceitos que são utilizados, e o Capítulo 3 contém a descrição do método que foi experimentado para avaliar a hipótese levantada. O Capítulo 4 detalha os passos para o desenvolvimento da camada de avaliação e, por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, limitações, expectativas e possibilidades de trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica dos termos utilizados neste trabalho.

2.1 Jogos: definições e mercado

Existem diversas tentativas de se definir o que de fato é um jogo. A partir de uma ampla análise, Schell (2008) conclui que “um jogo é uma atividade na qual se resolve problemas com uma atitude divertida”. Já Suits (1978) define um jogo como sendo “uma tentativa voluntária de superar um obstáculo desnecessário”. Já Huizinga (2000), por sua vez, ao final da década de 30, postulou que o jogo é uma atividade voluntária que evade à vida real, tendo seus próprios limites de tempo e espaço, sendo regido por um conjunto de regras absolutas e inquestionáveis, promovendo a formação de grupos sociais e retendo a atenção dos jogadores.

Sintetizando as definições supracitadas, podemos tentar definir um jogo como sendo uma atividade lúdica ou brincadeira, com foco amplamente voltado para o entretenimento e o divertimento, contendo um conjunto de regras e diretrizes que visam o desenrolar de uma experiência justa, interessante e proveitosa para todos os jogadores envolvidos.

Nos dias atuais, temos acesso a uma infinidade de jogos, dos mais diversos tipos. Como alguns exemplos dessa variedade temos os jogos de mesa (de tabuleiro clássicos e modernos e jogos de personificação, os *Role-Playing Games* (RPGs)), os jogos digitais, hoje presentes nos consoles, computadores e dispositivos móveis, além dos jogos que podemos criar fazendo o uso de objetos e regras estabelecidas livremente pelos jogadores.

Os jogos digitais, principal enfoque deste trabalho, vêm evoluindo a cada ano. As inovações conceituais, as evoluções tecnológicas e desenvolvimento técnico e artístico conduziram os jogos digitais por um processo rápido de aumento de complexidade, com o surgimento de diversos formatos, variações e gêneros (REIS; CAVICHIOLLI, 2014).

Vemos hoje em dia jogos cada vez mais bem trabalhados e desenvolvidos, com conjuntos de regras e elementos complexos, proporcionando uma gama de jogos extremamente diversificada, agradando a jogadores de todos os gostos, idades e culturas. Além disso, a representação gráfica associada aos jogos evolui cada vez mais, de modo que alguns apresentam um realismo extremamente convincente (MORRIS; HARTAS, 2004).

2.2 Gêneros de jogos

De acordo com Elverdam e Arseth (2007), existem duas formas muito comuns de se definir jogos: os comparando uns com os outros, ou se referindo a eles por gêneros. No primeiro caso corremos o risco de fazermos comparações pouco proveitosas se tomarmos em nosso escopo jogos cujas naturezas tenham pouco ou nada em comum. Já no segundo caso, os jogos são classificados de acordo com suas variadas características em diferentes gêneros, permitindo um melhor levantamento de suas similaridades e diferenças em relação a outros.

Categorizar os jogos em gêneros não é uma tarefa simples, dado o grande número de características a serem comparadas. Arsenault (2009) apresenta em seu trabalho diferentes listagens de gêneros, definidos em várias categorias e estilos distintos, em muitos casos arbitrários, mostrando assim a dificuldade de se encontrar um padrão de classificação por gêneros. Algumas classificações populares enquadram os jogos em gêneros tais como ação, aventura, luta, corrida, tiro, etc. Já outras os classificam quanto a temáticas, atributos, perspectivas, dentre outras categorias.

O trabalho de Arseth, Smedstad e Sunnana (2003), por sua vez, aponta para a negligenciação do estudo de gêneros de jogos, atrelada à dificuldade de se identificar aquilo que eles possuem em comum, e apresenta uma tipologia multidimensional para classificá-los. Assim sendo, ele propõe uma classificação dos jogos baseadas em quinze categorias distintas, que podem ser agrupadas em outras cinco: Espaço (ou representação espacial), subdividido em perspectiva, topografia e ambiente; Tempo, subdividido em ritmo, representação e teleologia; Estrutura do Jogador, quanto a quantidade de jogadores e times; Controle, subdividido em mutabilidade, salvabilidade (armazenamento do estado do jogo) e determinismo; e Regras, sendo elas topológicas, baseadas em tempo ou baseadas

em objetivos.

2.3 *Dungeon Crawlers*

Conforme Valtchanov e Brown (2012) bem definem, *Dungeon Crawlers* (DCs) é um estilo de jogo no qual os jogadores se aventuram na exploração de vastas masmorras (do inglês, *dungeons*) compostas de diversas salas e andares diferentes. A exploração se dá muitas vezes com muita dificuldade, mas sistematicamente rastejando (em uma tradução livre do inglês *crawling*) em busca de riquezas e melhorias para o seu personagem, seja em seus atributos, equipamentos ou habilidades.

As masmorras desses jogos contam com armadilhas, inimigos, labirintos e até mesmo quebra-cabeças a serem resolvidos para que o jogador possa avançar. Geralmente, existe algum objetivo específico ou recompensa que leva o jogador a progredir mais e mais no interior das masmorras do jogo. Esse objetivo pode estar ligado a uma narrativa do jogo, levando o jogador a terminar uma história, ou mesmo pode estar ligado a outras motivações de jogador como conquistar poder, itens raros e colecionáveis, mesmo que isso leve o jogador a se desgastar na busca por um tempo (QUANTICFOUNDRY, 2021).

Este estilo de jogo teve início com a série *Rogue* (AI DESIGN, 1980) e é comum em RPGs digitais como *Rogue*, *Legend of Zelda: Breath of the Wild* (NINTENDO, 2017), *Diablo* (BLIZZARD, 1996) e *Ultima* (ORIGIN SYSTEMS, 1980), RPGs de mesa como *Dungeons and Dragons* (WIZARDS OF THE COAST, 1974) e *Pathfinder* (PAIZO PUBLISHING, 2009), jogos de tabuleiro como *Descent: Journeys in the Dark* (FANTASY FLIGHT GAMES, 2005) e *Chronicles of Drunnagor* (CREATIVE GAMES STUDIO, 2019). Jogos híbridos, combinando um jogo de tabuleiro com uso de aplicativos para dispositivos móveis como em *Descent: Legends into the Dark* (FANTASY FLIGHT GAMES, 2021) e implementações digitais de jogos de mesa também são comuns.

2.4 Teoria dos Fluxos

A pesquisa e a teoria dos fluxos tiveram sua origem no desejo de compreender o fenômeno da atividade intrinsecamente motivada, ou autotélica, isto é, atividade recompensadora

por si mesma, independentemente do seu produto final ou de qualquer bem extrínseco que possa resultar da atividade (CSIKSZENTMIHALYI et al., 2002).

Assim sendo, tal teoria visa compreender e explicar quais recompensas e interesses levam as pessoas a participarem e a continuarem exercendo as mais diversas atividades. O que as faz manterem a concentração, a autoestima e o desejo de permanecer fazendo o que estão fazendo, enquanto se divertem na execução da atividade.

Em seu trabalho, Csikszentmihalyi et al. (2002) apresenta que “estar no fluxo” é a resposta que alguns entrevistados deram ao serem perguntados sobre o que os motivava a se envolverem com os desafios das atividades que desempenhavam. A ocorrência deste estado de fluxo condiciona-se à necessidade de que os desafios e ações percebidas estejam em um nível de dificuldade adequado às habilidades e capacidades de quem os desempenha, e de que os objetivos próximos sejam claros e o *feedback* sobre o que está sendo feito seja imediato.

Como resultado do cumprimento das condições apresentadas, o estado de fluxo é uma experiência que se desdobra com perfeição a cada momento, gerando características como concentração intensa e focada, fusão de ação e consciência, sensação de que é possível controlar as ações de modo a responder tudo o que ocorrerá a seguir, distorção da experiência temporal e a experimentação do processo da atividade como algo de fato prazeroso, sendo que seu objetivo final se torna apenas uma desculpa para sua execução.

Fora do estado de fluxo, a atividade pode causar sensações como preocupação ou ansiedade caso as habilidades estejam aquém do desafio proposto, ou sensações como o tédio caso as habilidades estejam além dos desafios. O gráfico na Figura 2.1 apresenta os possíveis estados e sentimentos gerados na relação entre habilidades e desafios.

2.5 Mapas de Influência

Os mapas de influência são comumente utilizados para auxiliar na tomada de decisão estratégica em combate e movimentação individual ou em pequenos grupos de agentes autônomos. Eles por si só não apresentam instruções, e sim informações que serão usadas pela estrutura de tomada de decisões dos agentes (MARK, 2016).

Quando o valor ou peso de uma das posições do mapa é alterada, as posições

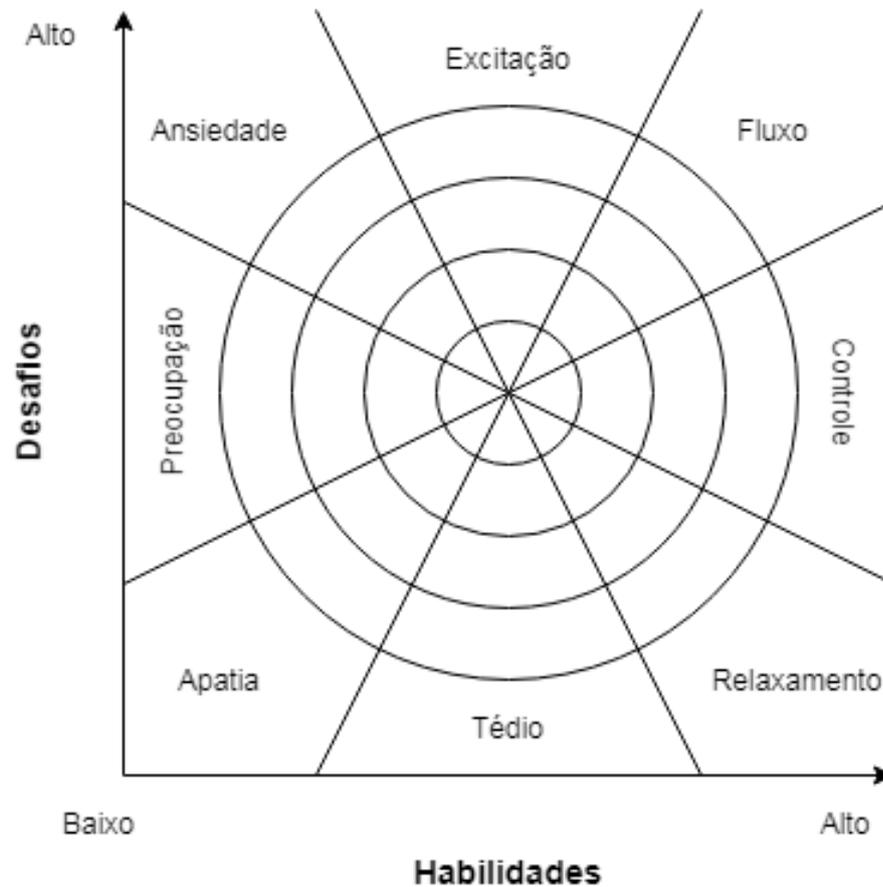


Figura 2.1: Gráfico do fluxo e das demais experiências observáveis. Fonte: Adaptado de Csikszentmihalyi et al. (2002).

vizinhas são notificadas e têm seus valores também alterados, reproduzindo assim informações adaptadas para cada ponto geográfico do mapa.

Em um jogo, tais mapas são úteis para responder perguntas estratégicas sobre distâncias até pontos de interesse, raios de ataque, zonas seguras ou arriscadas, caminhos de maior e menor dificuldade, dentre outras. Na Figura 2.2 vemos um exemplo de mapa de influência, onde as células recebem seus valores de acordo com a distância que se encontram de um inimigo. No trabalho de Costa e Knop (2020), que será melhor descrito na Seção 2.8, diversos mapas de influência são utilizados para gerar uma série de informações sobre posicionamento de elementos de jogo.



Figura 2.2: Mapa de influência do posicionamento de um inimigo no PCGLab, formalizado na Seção 2.8. Fonte: captura de tela, do autor.

2.6 Algoritmos de Busca

Um algoritmo de busca é aquele que recebe um conjunto de elementos com valores e identificações distintas e uma chave de busca que será procurada dentre esses elementos, informando ao fim se o alvo da busca foi encontrado ou não (DIAS, 2020).

Um dos problemas solucionáveis por algoritmos dessa natureza é a busca de caminhos que ligam dois ou mais pontos. Podem estar sujeitos a restrições e otimizações como menor (ou maior) distância percorrida, ou a uma função de custo arbitrada de acordo com a aplicação. Situações relacionadas à busca de caminhos ocorrem com bastante frequência em jogos digitais, pois simulam um comportamento inteligente de agentes, registram as ações dos jogadores e ajudam a compor uma narrativa que o próprio ato de jogar vai construindo durante o desenrolar de uma partida.

Um caminho é uma lista de células, pontos ou nós que um agente deve percorrer para ir de uma posição inicial a uma posição de objetivo. Na maioria das situações, um grande número de caminhos diferentes pode ser seguido para atingir a meta (RABIN,

2010). Assim sendo, a busca de um caminho geralmente se dá através da representação de um grafo.

De acordo com Patel (2014), existem diversos algoritmos para percorrimento e busca em grafos, como o *Breadth First Search* (BFS), traduzido para o português como busca em largura, que explora o grafo em todas as direções; o Algoritmo de Dijkstra, que prioriza os caminhos de menor custo, podendo encontrar rotas para qualquer destino no grafo; e o Algoritmo A*, que se trata de uma modificação do Algoritmo de Dijkstra, sendo otimizado para encontrar o melhor caminho para um único destino através da priorização das rotas que aparentem se aproximar mais do objetivo, descartando as que se afastam.

Ainda no escopo dos algoritmos de busca, existe um problema específico que será de interesse neste trabalho que é o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). De acordo com Cunha, Bonasser e Abrahao (2002), este problema é definido pela busca do roteiro de menor distância ou menor custo, passando por um conjunto de cidades, sendo que cada uma dessas cidades é visitada exatamente uma vez.

O PCV possui ordem de complexidade exponencial, e é portanto classificado como um problema NP-Difícil. Assim sendo, quanto maior o conjunto de cidades, ou pontos a serem visitados, maior será o esforço computacional para resolvê-lo. Portanto nem sempre a resolução ótima de problemas desta categoria é viável, justamente por conta desse esforço, contudo é possível encontrar boas soluções através do uso de heurísticas.

Cunha, Bonasser e Abrahao (2002) listam algumas estratégias de soluções heurísticas para o PCV. A grande maioria parte do método do vizinho mais próximo como solução inicial. Este método baseia-se em avançar a busca sempre em direção ao nó mais próximo não visitado no grafo de busca. Um segundo método realiza procedimentos de busca alternativos começando em nós distintos e comparando a solução mais curta. Há também o método de troca de arcos, que remove algumas ligações entre nós nos caminhos gerados pelo método do vizinho mais próximo e substitui por outras ligações entre outros nós, conectando novamente o grafo e comparando os resultados para selecionar o menos custoso.

A Figura 2.3 apresenta destacado em verde o caminho que parte do vértice 1 e retorna para este em um grafo de 18 vértices, seguindo o método do vizinho mais

próximo.

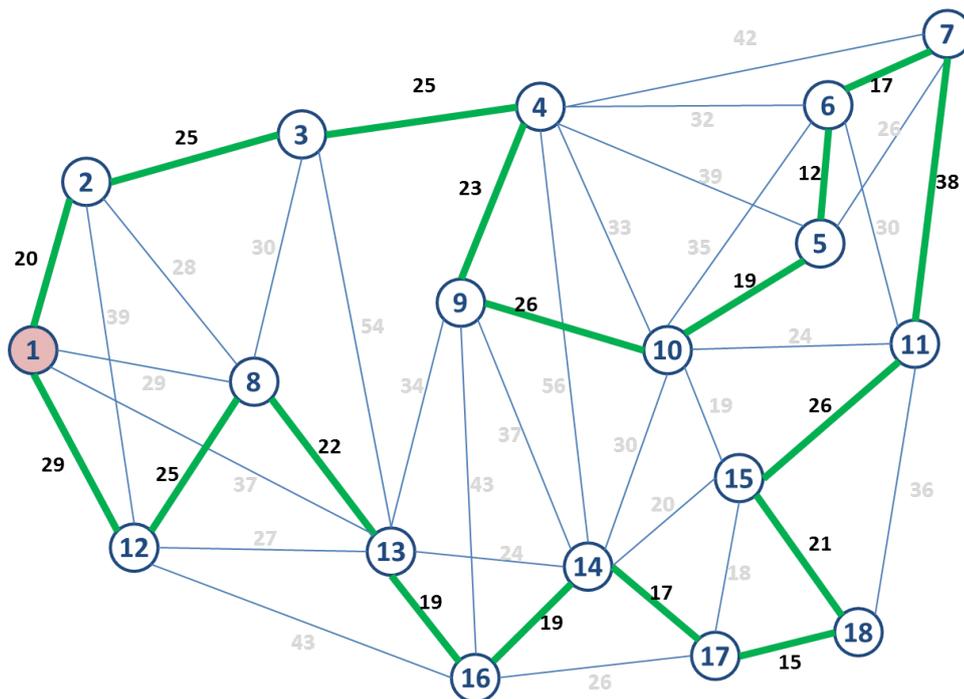


Figura 2.3: Caminho apresentado como solução para o PCV em um grafo com 18 vértices. Fonte: retirado de Pardini (2015).

Este trabalho aborda o PCV nas buscas por caminhos mínimos que passem por alguns pontos de interesse antes de chegarem ao destino final.

2.7 Geração Procedural de Conteúdo

De acordo com Yannakakis e Togelius (2015), GPC “refere-se à criação do conteúdo de um jogo automaticamente (ou semi-automaticamente) através de meios algorítmicos”. Ou seja, é uma técnica através da qual um software realiza a construção dos elementos componentes de um jogo. Desta forma, o esforço humano no processo criativo é altamente reduzido no desenvolvimento, economizando recursos e tempo.

Existem diversos métodos de geração procedural, sendo alguns deles de grande interesse para jogos DC. Dentre estes métodos podemos citar os algoritmos de particionamento espacial, que divide o espaço disponível recursivamente e conecta suas partes para formar o cenário; os métodos baseados em agentes que formam o mapa através da escavação de uma região primitiva; os autômatos celulares que são um método simples

de geração de cavernas representadas em uma grade n-dimensional cujas células assumem diferentes estados; e gramáticas generativas, originalmente desenvolvidas para descrever estruturas formalizadas em linguagem natural. (SHAKER; TOGELIUS; NELSON, 2016)

Existe uma gama bem ampla e variada de conteúdos de jogos que podem ser gerados proceduralmente. A Figura 2.4 é uma adaptação da pirâmide de classificação destes conteúdos apresentada por Hendrikx et al. (2011), onde as classes mais ao topo da pirâmide podem ser construídas com elementos das classes mais próximas da base.

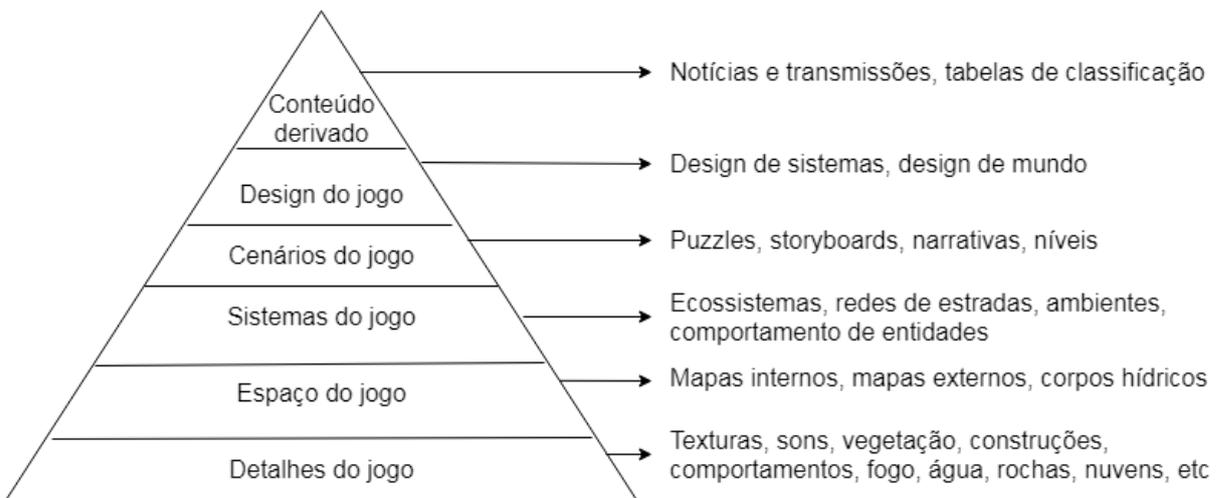


Figura 2.4: Conteúdos de jogos que podem ser gerados proceduralmente. Fonte: adaptado de Hendrikx et al. (2011).

Como exemplos de jogos que geram conteúdos de forma procedural, podemos citar *Borderlands* (GEARBOX SOFTWARE, 2009), *Spore* (ELETRONIC ARTS, 2008) e *No Man's Sky* (HELLO GAMES, 2016) na geração de “pedacinhos” do jogo como texturas, armas e entidades; *Minecraft* (MOJANG STUDIOS, 2009), *Terraria* (RE-LOGIC, 2011) e *Spelunky* (MOSSMOUTH, 2009) gerando mapas, estruturas e biomas; e *Dwarf Fortress* (BAY 12 GAMES, 2006) gerando não só cenários e terrenos, mas também personagens, histórias, monstros, dentre outras coisas. A Figura 2.5 apresenta uma visão do jogo Minecraft.

2.8 O PCGLab

O PCGLab, trabalho de Costa e Knop (2020), é um esforço inicial na busca por uma resposta para como a GPC aplicada à criação de mapas de um jogo estilo DC afeta no fluxo



Figura 2.5: Geração de biomas, terrenos e corpos de água em *Minecraft*. Fonte: retirado de MinecraftWiki (2021).

da experiência final do jogador. Para isso, os autores desenvolvem um protótipo de geração de masmorras através do método de geração de conteúdo por autômatos celulares, para, a partir disso, investigar a distribuição espacial dos elementos gerados automaticamente no jogo e de que modo essa geração influencia na experiência do jogador. O PCGLab apresenta um ambiente jogável, mesmo que com uma série de restrições como progresso linear e sistemas de controle e combate muito limitados. Mas isso permite que o resultado da geração seja experimentada de imediato sob a ótica de um jogador.

Nele temos um nível (*Level*), composto por um mapa (*Map*) matricial dividido em células (*Cell*) individuais. Sobre o nível, são geradas salas (*Room*) de maneira procedural, numa quantidade que varia de acordo com o espaço ainda disponível no mapa. O jogador (*Player*) percorre as diversas salas do nível que são conectadas umas às outras por teletransportes (*Teleporte*), com o objetivo de coletar os tesouros (*Treasure*) espalhados por elas, evitando ou combatendo os inimigos (*Enemy*) e alcançando fogueiras (*Firezone*) que recarregam o tempo que decresce conforme o jogo está em andamento. O diagrama na Figura 2.6 mostra a modelagem inicial dos conceitos aplicados no jogo.

O mapa é gerado proceduralmente a partir de autômatos celulares com três estados e duas heurísticas para compor a estrutura da caverna com chão, rocha e muro, conforme consta na Figura 2.7, separando as diferentes salas umas das outras e abrindo espaço interno para que o jogador possa percorrer. Os estados das células são definidos

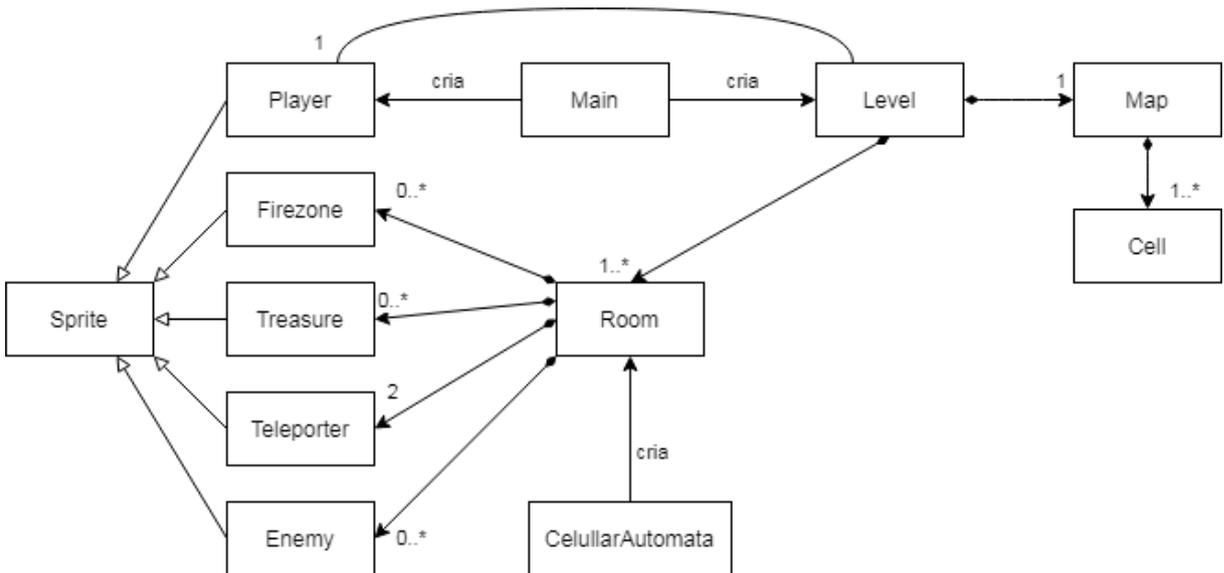


Figura 2.6: Diagrama de classes do estado inicial do PCGLab. Fonte: adaptado diretamente do código-fonte original, do autor.

de acordo com suas células vizinhas, fazendo-se uso das heurísticas definidas previamente. Usa-se também um algoritmo adaptado de inundação (*flood-fill*) que localiza e remove as salas com menos de 25 blocos (*Cells*) internos.



(a) Chão.



(b) Rocha.



(c) Muro.

Figura 2.7: Os três tipos de blocos que compõem o mapa gerado pelo autômato celular. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

O algoritmo de autômatos celulares recebe uma semente para fazer a geração. A semente é um valor numérico inteiro, utilizado para a geração procedural do mapa e também para a identificação do mesmo.

Cada semente gera um mapa diferente dos demais. A diferença entre eles se dá na quantidade e no formato das salas geradas internamente, por onde o jogador irá percorrer. Além disso, a quantidade e o posicionamento de tesouros, teletransportes, inimigos e pontos de interesse também diferem a cada mapa gerado.

Como mencionado anteriormente, as salas são conectadas por uma rede de teletransportes, sendo que em cada uma delas há um teletransporte de entrada e um de saída, além de que uma delas recebe um teletransporte de entrada do nível, e outra, o de saída do nível. Assim sendo, a ligação entre as salas gera um ciclo fechado. A Figura 2.8

ilustra essa ligação (linhas brancas). Nela podemos observar também a geração do mapa com os três tipos de blocos que a compõem.

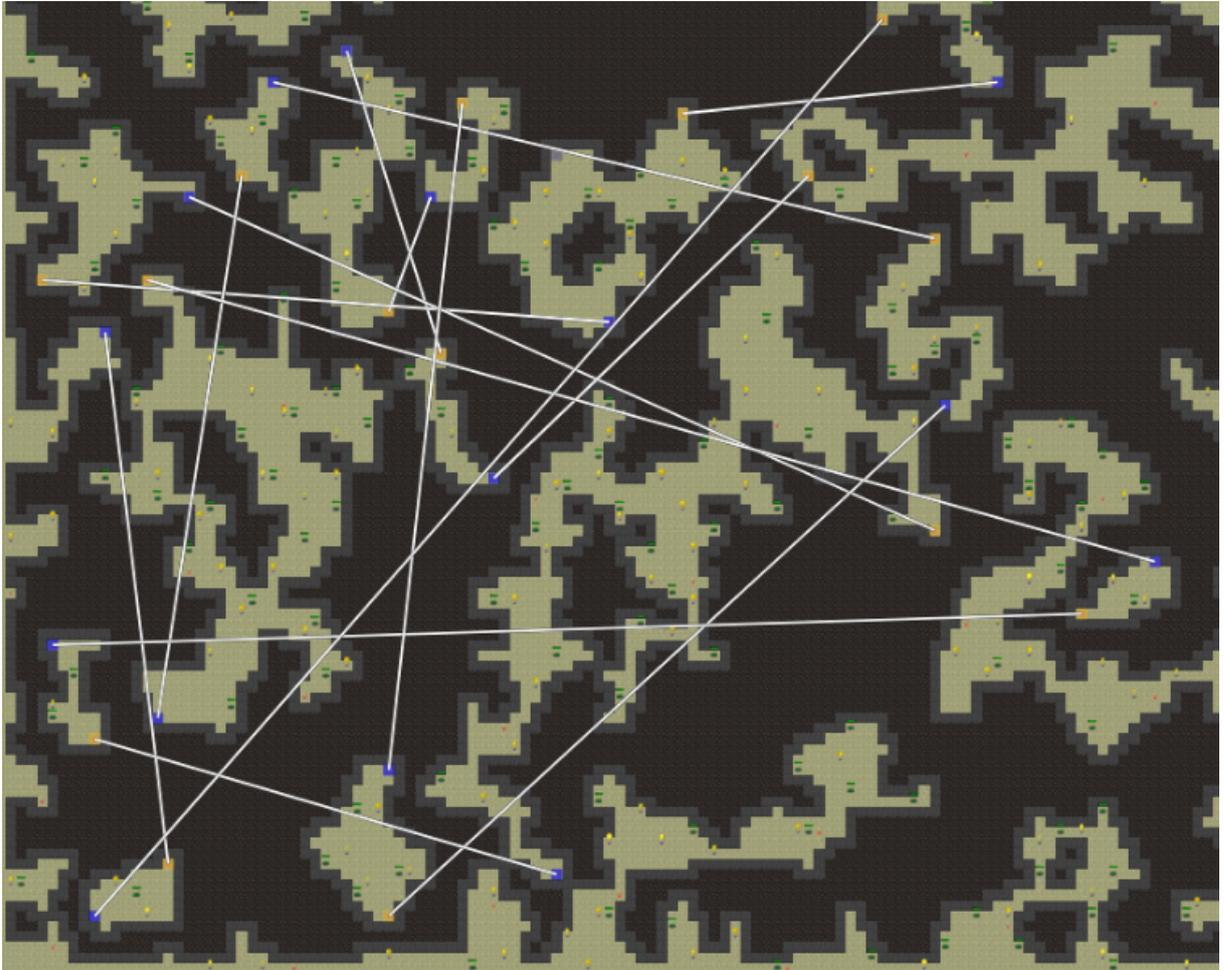


Figura 2.8: Geração do mapa e ligação dos teletransportes. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

Os inimigos, tesouros e pontos de interesse são dispostos aleatoriamente pelas salas geradas, respeitando seus limites de tamanho. Na Figura 2.9 podemos observar mais claramente o jogador, os inimigos, os tesouros, o teletransporte de entrada da sala (em azul), o teletransporte de saída da sala (em amarelo) e o teletransporte de entrada do nível (em verde), que também funciona juntamente com os demais teletransportes como ponto de interesse para recarga do tempo. Podemos ver ainda acima dos inimigos uma barra horizontal verde que representa a quantidade de vida de cada um deles.

Uma barra no canto superior esquerdo da tela informa quanto tempo ainda resta para o jogador. A Figura 2.10 mostra este elemento da interface do jogo. O tempo é reduzido conforme o jogador permanece fora de um teletransporte ou fogueira e é total-

incrementado. Este trabalho faz uma série de contribuições para seu avanço, conforme é apresentado no Capítulo 4.

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica dos conceitos que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho. O capítulo seguinte formaliza o método utilizado nos experimentos.

3 Método

Este capítulo formaliza o método que foi utilizado para realizar as observações e avaliações no presente trabalho de pesquisa exploratória. O objetivo geral visa encontrar e avaliar, qualitativamente, uma possível relação entre o resultado da geração de conteúdo e a experiência do usuário sob a ótica da teoria dos fluxos de Csikszentmihalyi et al. (2002).

Para esse fim, o PCGLab foi utilizado devido ao fato de já ter implementado grande parte das funcionalidades necessárias para este experimento. Contudo, apesar desta escolha, o método proposto neste trabalho não é restrito ao PCGLab, podendo ser reimplementado e testado em outras ferramentas e ambientes que apresentem recursos semelhantes e suficientes para isso.

As observações se baseiam em acompanhar a influência dos elementos de jogo - tais como tesouros, teletransportes, inimigos e demais pontos de interesse - nos possíveis caminhos que o jogador percorre dentro das salas do mapa, começando pelo teletransporte de entrada e terminando no teletransporte de saída de cada uma delas. Assim sendo, o método do presente trabalho se resume nos seguintes passos:

1. Implementação das estruturas de dados para caminhos no PCGLab;
2. Implementação dos algoritmos de percorrimento do caminho;
3. Desenvolvimento da análise dos dados levantados nos caminhos nas salas geradas;
4. Desenvolvimento da coleta e análise de dados dos caminhos percorridos por jogadores reais;
5. Comparação das informações dos caminhos de jogadores reais com informações dos caminhos gerados pelos algoritmos.

Serão observados os seguintes caminhos de interesse e suas respectivas informações dentro das salas para o experimento: (i) caminho entrada-saída, que irá observar apenas a rota traçada do começo ao fim da sala, ignorando quaisquer outros elementos;

(ii) caminho entrada-tesouros-saída, observando como os tesouros dispostos pela sala influenciam na rota do jogador; (iii) e o caminho livre, que é capturado pelo ato de jogar, registrando, assim, a trilha percorrida pelo jogador.

Para cada uma das salas, espera-se observar um perfil em cada um dos caminhos que permitirá discutir como o conteúdo gerado apresenta os desafios, pontos de interesse e recompensas para o jogador. Dessa forma, busca-se prover subsídios que permitam discutir a experiência gerada com base na teoria dos fluxos.

Este capítulo fez a formalização do método do trabalho. O capítulo seguinte detalha a implementação e a execução dos experimentos propostos.

4 Desenvolvimento

Este capítulo descreve a implementação, coleta de dados e discussão das observações do conteúdo gerado no ambiente de experimentação proposto no presente trabalho.

4.1 Evolução do PCGLab

Em um primeiro esforço foi realizada uma refatoração no código do PCGLab com o intuito de adequá-lo para um projeto *open source*. O código original utiliza um sistema de herança por protótipo, tradicional do JavaScript que necessita de ferramentas externas para realizar a componentização. O código inteiro foi refatorado para utilizar módulos ECMAScript², o que exigiu alterações em todo o uso de escopo ao longo das classes. Apesar de não ter sido realizada a migração para o uso de classes JavaScript, o código agora está com manutenção facilitada, o que permite a criação de testes automatizados em uma próxima iteração.

Por fim, foi implementado um novo módulo cuja função é prover a estrutura de armazenamento na memória e desenhar na interface do PCGLab os caminhos previamente calculados no interior das salas do jogo. Este módulo é identificado pelo nome *Path* e está representado em azul na Figura 4.1.

4.2 Caminhos de observação e mapas de influência

Com o intuito de se observar os impactos da geração procedural do mapa do jogo na experiência do jogador, foram observados alguns dos possíveis caminhos que este percorre dentro das salas das masmorras geradas no mapa.

Dentro do PCGLab foram implementados mecanismos para o cálculo e desenho destes caminhos de interesse. Em todos os cenários foi utilizado como base o algoritmo BFS de busca em largura. Nele, dado um bloco (posição) de partida, o BFS calcula a

²<https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-262/>



Figura 4.3: Mapa de influência de tesouros em uma sala do jogo.

invés de regressar ao ponto de origem, o caminho termina no ponto mais afastado, que é o teletransporte de saída, além de permitir que em alguns momentos, passos do caminho possam ser revisitados se necessário.

A Figura 4.4 mostra o desenho do caminho entrada-tesouros-saída na sala apresentada na Figura 4.3. Nela é possível observar em azul o caminho traçado, com início no teletransporte de entrada, passando pelos dois tesouros presentes na sala e terminando no teletransporte de saída.

4.2.3 Caminho Livre

Por fim, o caminho livre é aquele que registra a trilha percorrida pelo jogador enquanto dentro de uma sala.

Sua construção ocorre durante o ato de jogar, registrando assim cada um dos passos do jogador, de modo que o caminho é exibido posteriormente. Quanto mais vezes o jogador percorre um bloco da sala, mais este será reforçado, de modo que a exibição deste caminho se assemelha a um mapa de calor. A Figura 4.5 mostra este caminho destacado em um tom de vermelho. A captura desta imagem foi realizada no modo de *debug*, que por sua vez pausa todos os elementos do jogo, permitindo que apenas o personagem do jogador

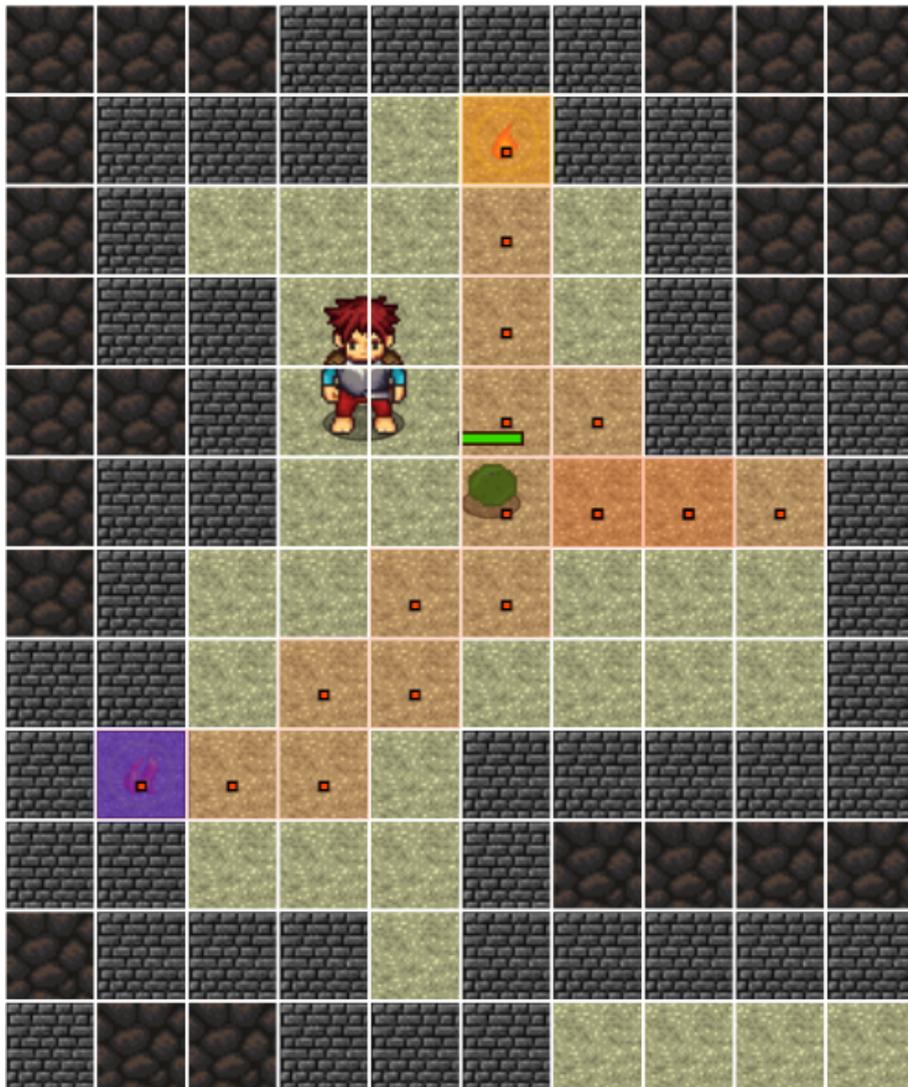


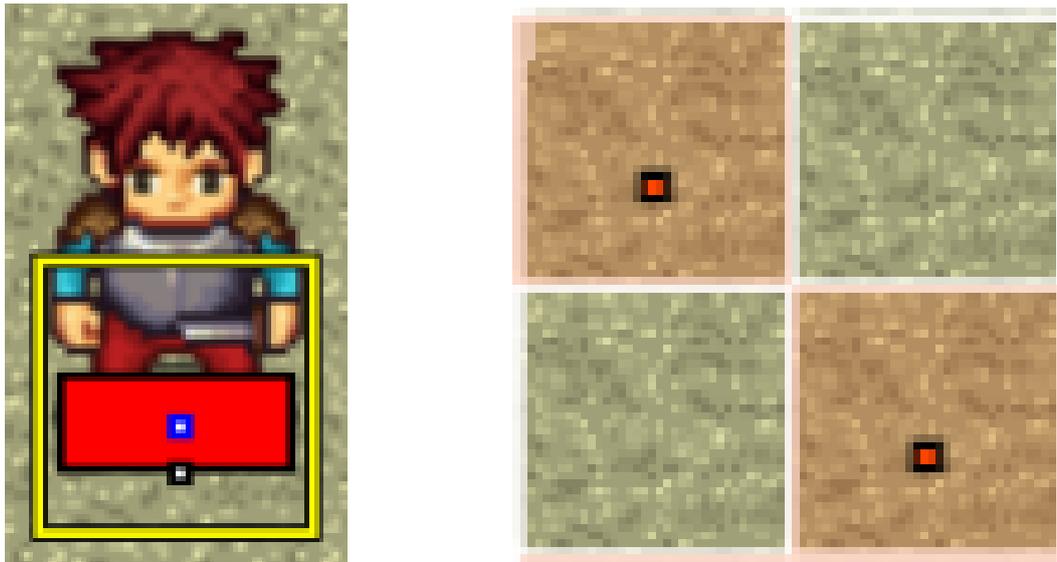
Figura 4.5: Caminho livre percorrido pelo jogador em uma sala gerada. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

deu por experimentação do autor, observando qual geraria uma grande variedade de salas dentro do mapa, e esta gerou um total de 22 salas dentro do tamanho total de 120 por 120 blocos.

4.2.5 Identificação de perfis de sala pelo tamanho

Dentro do mapa gerado, foi possível classificar as salas geradas de acordo com seus tamanhos e, principalmente, quanto à quantidade de elementos distribuídos no seu interior. Dessa forma, este trabalho usará a seguinte classificação das salas: muito pequenas/triviais; pequenas; médias; grandes; e gigantes.

As salas muito pequenas/triviais são aquelas que não apresentam elementos



(a) Caixa de colisão do personagem.

(b) Diagonal Perfeita

Figura 4.6: Elementos da caixa de colisão do personagem e Resultado de uma Diagonal Perfeita no caminho livre. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

além de teletransportes no seu interior. Geralmente possuem um espaço interno diminuto e não oferecem nem dificuldades e nem recompensas ao jogador. No mapa gerado pela semente escolhida apenas uma sala deste tipo foi gerada.

Já as salas pequenas são aquelas que, assim como as salas triviais, possuem pouco espaço interno, contudo nestas existem elementos como tesouros e inimigos, numa quantidade total entre 1 a 4. Apresentam portanto algum desafio e/ou alguma recompensa ao jogador. No mapa em análise, foram geradas oito salas deste tipo.

As salas médias são as que já apresentam um espaço interno maior, além de mais inimigos e tesouros, propondo desafios e recompensas um pouco maiores. Algumas chegam a apresentar em seu interior pontos de interesse para recarga do tempo. Contém entre 5 a 10 elementos. No mapa escolhido, existem oito salas deste tipo.

As salas grandes são as geradas com uma quantidade de elementos internos superior à observada nas salas médias, normalmente entre 11 a 30. Seu espaço interno também é um pouco maior do que estas. Podem apresentar pontos de recarga de tempo no seu interior. Propõem uma dificuldade e recompensas ainda maiores para o jogador. No mapa escolhido existem quatro salas deste tipo.

Por fim, as salas gigantes são um caso particular, e se fazem presentes em todos os mapas gerados, incluindo o da semente escolhida. Ela é a primeira sala numerada em

função do algoritmo de identificação de salas do PCGLab, e somente ela recebe uma dimensão que pode ser classificada desta forma. Sua área geralmente cobre as regiões mais próximas ao perímetro do mapa, nas bordas, e no seu interior se encontra uma quantidade vasta de inimigos, tesouros e pontos de interesse. Elas são geradas, em função do algoritmo do comportamento dos autômatos, na borda do mapa.

Cada um dos perfis de sala serão exemplificados e discutidos nas seções a seguir.

4.3 Salas de referência

A partir do mapa gerado com a semente escolhida, foram escolhidas três salas para análise, uma pequena, uma média e uma grande. Além disso, observou-se também o caso da sala trivial e da sala gigante geradas no mapa, mas que são discutidas apenas ao final da seção.

4.3.1 Sala Pequena

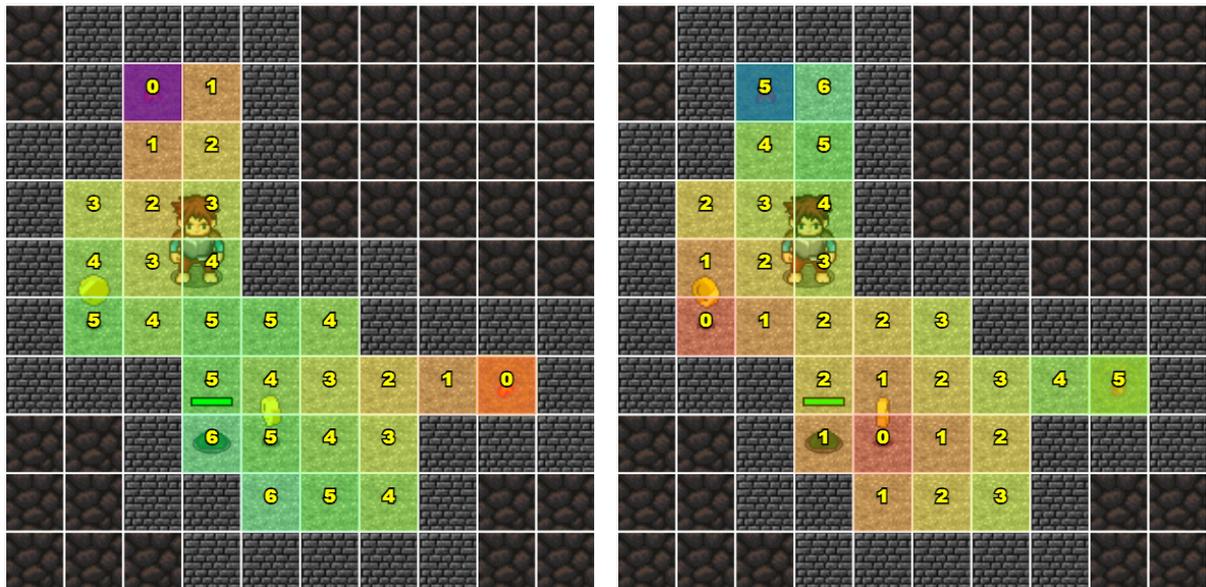
A sala escolhida para representar as do tipo pequeno no mapa gerado foi a de número 7 da semente em questão. Nela foram gerados apenas dois tesouros e um inimigo.

A Figura 4.7a mostra o mapa de influência dos teletransportes desta sala, a Figura 4.7b mostra o mapa de influência de tesouros e a Figura 4.7c mostra o mapa de influência dos inimigos. Em cada uma delas, quanto mais próximo o bloco está do item mapeado, menor o valor exibido e a cor de fundo se aproxima mais do vermelho.

4.3.2 Sala Média

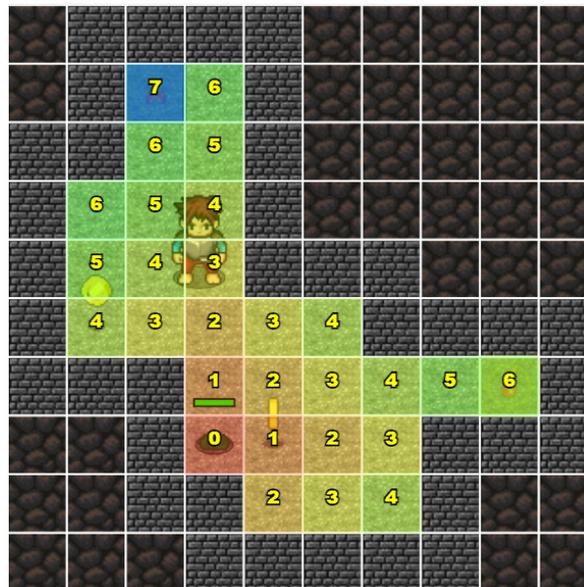
A sala escolhida como representante do tipo médio foi a de número 16 da semente escolhida. Nela é possível observar quatro tesouros e três inimigos.

Na Figura 4.8 podemos observar os mapas de influência de interesse para esta sala, sendo que na Figura 4.8a temos vemos a influência de teletransportes em cada bloco, na 4.8b a dos tesouros e na 4.8c a dos inimigos.



(a) Mapa de Influência de Teletransportes.

(b) Mapa de Influência de Tesouros.



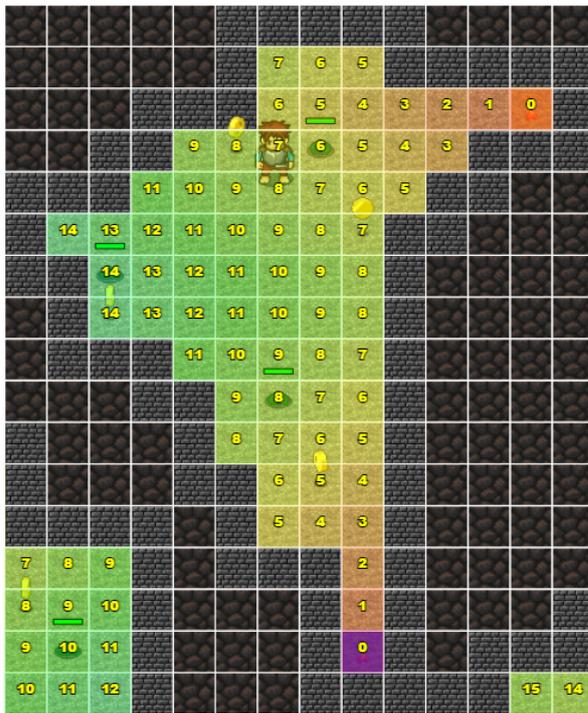
(c) Mapa de Influência de Inimigos.

Figura 4.7: Mapas de influência da sala pequena. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

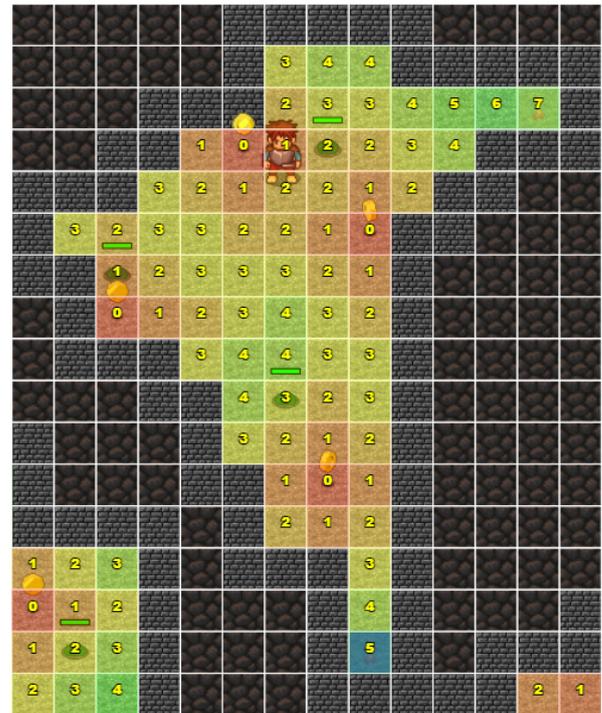
4.3.3 Sala Grande

Para análise de sala grande, foi escolhida a de número 12 na semente escolhida. No seu interior encontramos seis tesouros e seis inimigos.

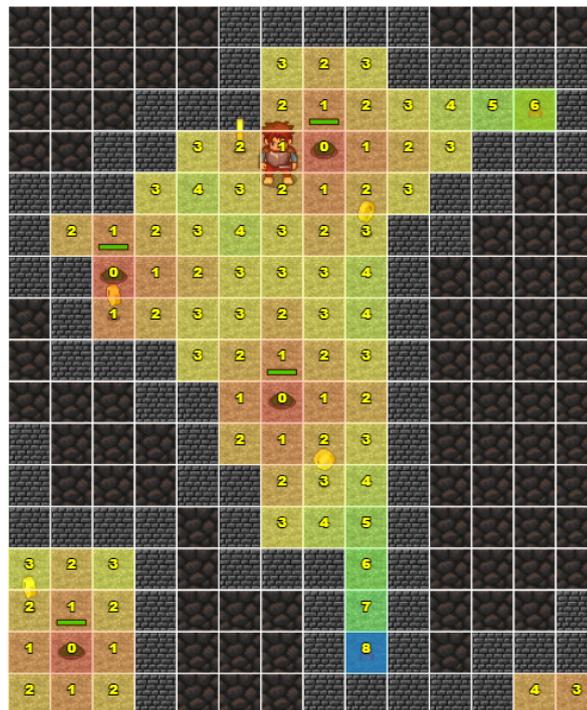
A Figura 4.9 contém as Figuras 4.9a, que mostra o mapa de influência em relação aos teletransportes, 4.9b, que mostra o mapa de influência dos tesouros, e 4.9c, que mostra o mapa de influência dos inimigos. Em cada um dos mapas apresentados nas figuras, quanto mais próximas de vermelho as cores dos blocos estiverem, mais próximos



(a) Mapa de Influência de Teletransportes.



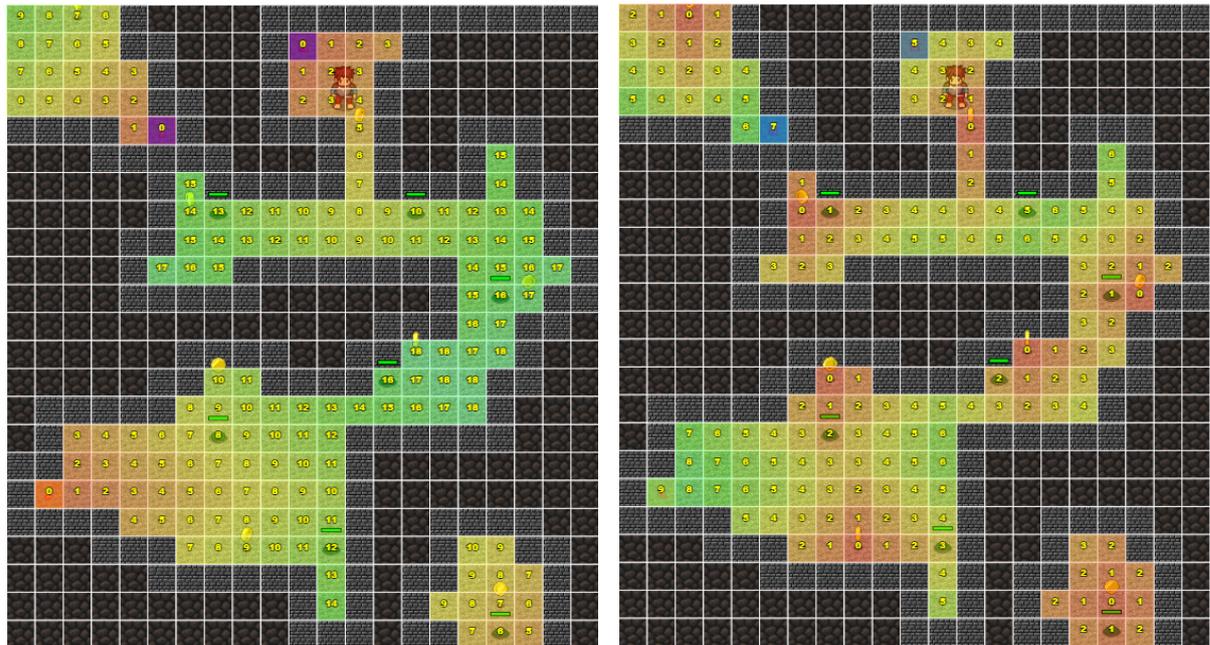
(b) Mapa de Influência de Tesouros.



(c) Mapa de Influência de Inimigos.

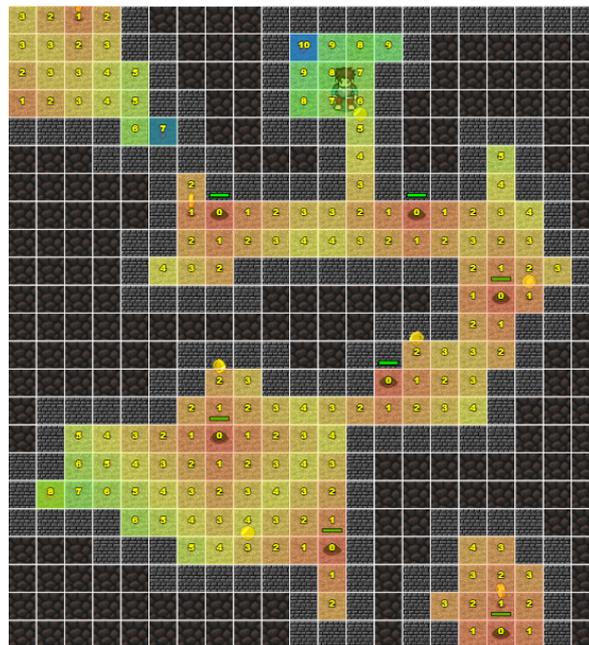
Figura 4.8: Mapas de influência da sala média. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

os elementos de influência estão deles.



(a) Mapa de Influência de Teletransportes.

(b) Mapa de Influência de Tesouros.



(c) Mapa de Influência de Inimigos.

Figura 4.9: Mapas de influência da sala grande. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

4.3.4 Salas Trivial e Gigante

Na semente escolhida foi gerada uma sala classificada como Trivial, sendo esta a de número 17. Em seu interior há apenas os teletransportes de entrada e saída, além de um teletransporte de início do *level*. Ela consta aqui pois é possível fazer algumas análises sobre ela. A Figura 4.10 apresenta a geração desta sala.

Neste tipo de sala, os caminhos entrada-saída e entrada-tesouros-saída coinci-

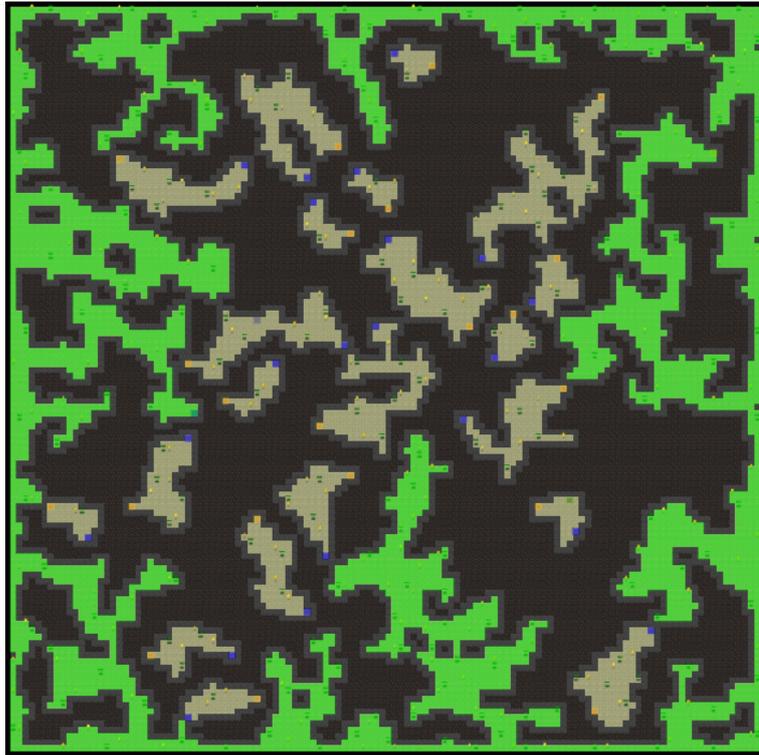


Figura 4.11: Sala Gigante do mapa com sua área interna destacada na cor verde.

os cenários foram gerados gráficos de linha em tempo de execução do jogo registrando como as distâncias de cada tipo de elemento (tesouros, teletransportes e inimigos) variaram a cada passo do caminho.

Nos gráficos que serão apresentados a seguir, a linha amarela representa a variação da distância dos tesouros a cada passo, a linha vermelha representa a variação das distâncias dos inimigos a cada passo e a linha verde representa a variação das distâncias dos teletransportes e fogueiras a cada passo.

Quando uma destas linhas toca o eixo X (Passo) temos a indicação de que, seguindo por aquele caminho, o jogador estaria exatamente em um bloco onde um elemento está presente. Além disso os inimigos do jogo estão programados de tal forma que passam a perseguir o jogador quando este se encontra a dois blocos ou menos de distância, portanto todas as vezes que a linha vermelha no gráfico toca uma distância menor ou igual a 2, podemos saber que um inimigo passaria a perseguir o jogador ao concluir aquele passo.

Nas subseções a seguir, para cada uma das salas selecionadas, serão analisados ambos os tipos de caminho em comparação com seus respectivos gráficos para que algumas conclusões possam ser tiradas.

4.4.1 Análise da Sala Pequena

Primeiramente, analisou-se o caminho entrada-saída desta sala com a finalidade de observar quais desafios e recompensas o jogador iria obter se estivesse focado em apenas percorrer a sala do início ao fim.

Na Figura 4.12 vemos lado a lado o caminho entrada-saída destacado em vermelho (4.12a), bem como o gráfico da variação das distâncias a cada passo percorrido na sala (4.12b).

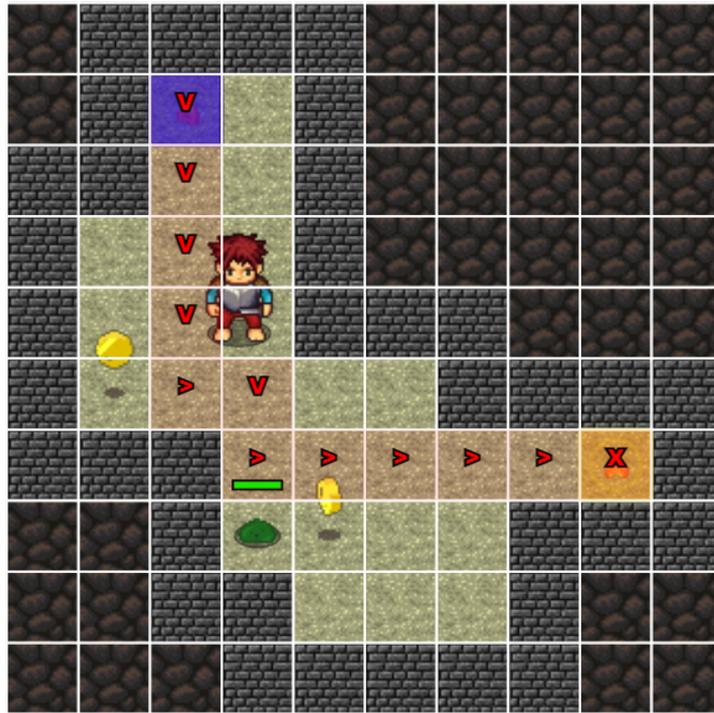
Analisando este caminho, observemos primeiramente a linha verde que indica a distância dos teletransportes. No passo 0 e no passo 11 seu valor é igual a zero. Veremos que este é um comportamento padrão em todas as salas e para todos os caminhos, visto que o jogador entra na sala por um teletransporte e sai por outro, de modo que o primeiro e o último passo são exatamente nestes blocos, portanto a distância para um elemento deste tipo não poderia diferir de zero. Os teletransportes, além de levarem o jogador para outra sala, são importantes pois recarregam a barra de tempo que decai durante o jogo. No caso desta sala, e seguindo este caminho, o jogador não corre risco de ficar sem tempo, pois a sala é pequena com relação ao espaço interno, e apenas os teletransportes que estão nela já são suficientes para abastecer este tempo.

Já ao observarmos o gráfico de tesouros, em amarelo, vemos que este caminho não passa por nenhum tesouro, sendo que a distância mais próxima alcançada é 1.

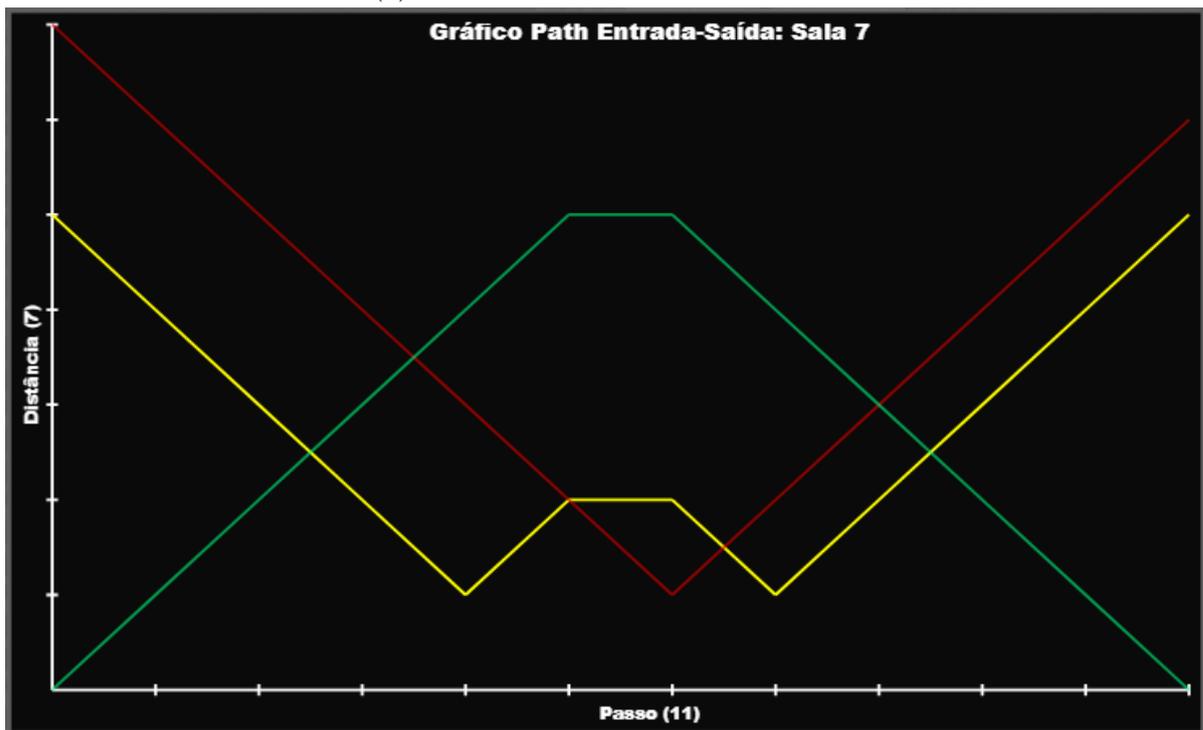
Por fim, olhando o gráfico de inimigos, em vermelho, é possível notar que em momento algum o caminho passa exatamente pela posição de um inimigo. Contudo vemos que nos passos 5, 6 e 7 a distância para um inimigo chega a ser menor ou igual a 2. Nestes momentos, o inimigo que se encontra presente na sala teria sido engajado na perseguição e combate com o jogador, fornecendo-lhe um desafio.

Já na Figura 4.13, vemos lado a lado o caminho entrada-tesouros-saída destacado em azul (4.13a), bem como o gráfico da variação das distâncias a cada passo percorrido por este caminho (4.13b).

Em relação a este caminho, vamos analisar as recompensas e desafios associadas. Começando pelo caminho dos teletransportes, em verde, temos uma análise muito semelhante à do caminho entrada-saída, dado que a sala é pequena e não há grandes com-



(a) Caminho da entrada até a saída.

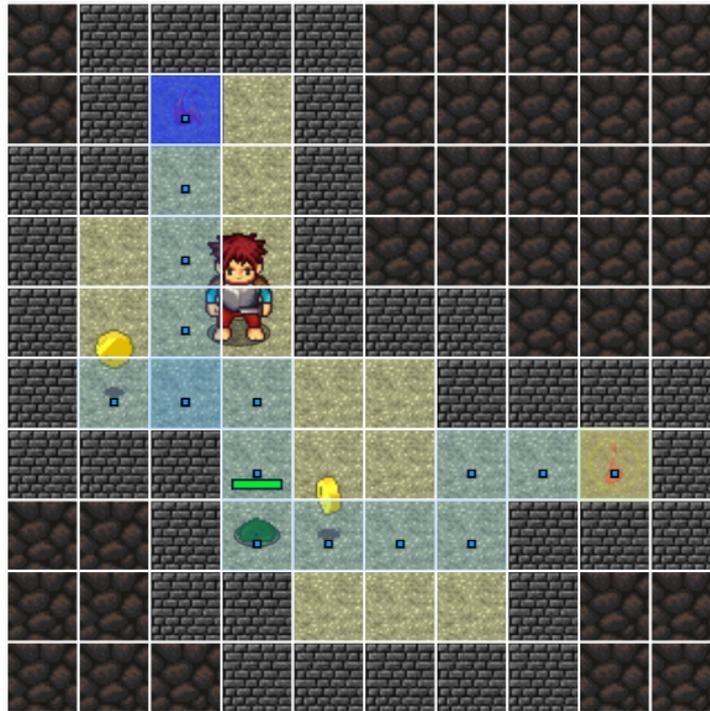


(b) Gráfico Passo x Distância.

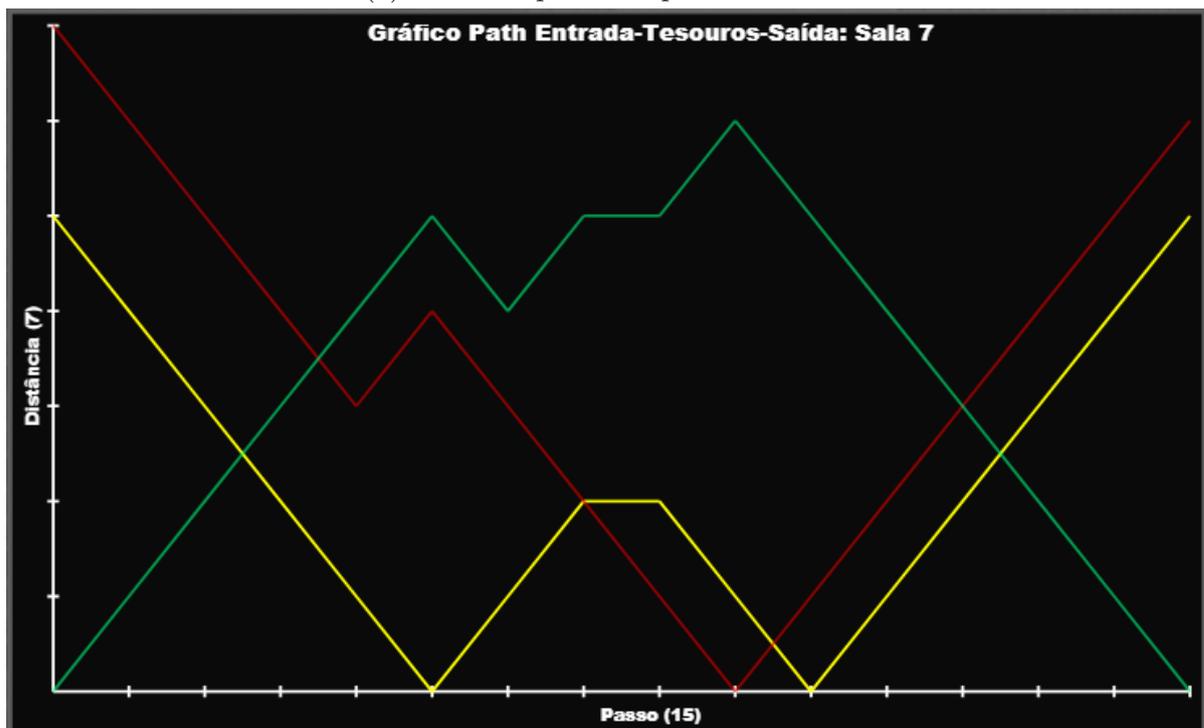
Figura 4.12: Caminho entrada-saída na sala pequena e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

plicações quanto ao tempo, pois os teletransportes estão a apenas 14 blocos de distância um do outro.

Observando porém o gráfico dos tesouros, podemos notar diferenças quanto ao



(a) Caminho passando pelos tesouros.



(b) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.13: Caminho entrada-tesouros-saída na sala pequena e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

caminho entrada-saída. Nos passos 5 e 10 vemos a linha amarela tocar o eixo dos passos, indicando que os dois tesouros presentes na sala são coletados em cada um desses passos.

No tocante ao gráfico dos inimigos, vemos que no passo 9 do caminho o jogador

alcança a posição de origem de um inimigo. Contudo, sabendo que a distância mínima para desencadear uma perseguição é 2, este mesmo inimigo já teria sido acionado antes, no passo 7.

No geral esta sala apresentou uma quantidade de desafio e recompensa proporcional ao seu tamanho. Contudo é importante observar também que os tesouros são alcançados nos passos 5 e 10, enquanto o inimigo começa a perseguir no passo 7. Assim, até este último passo citado, o jogador já teria obtido recompensa sem antes ter passado por um desafio. Desta forma, apenas a segunda recompensa está protegida.

4.4.2 Análise da Sala Média

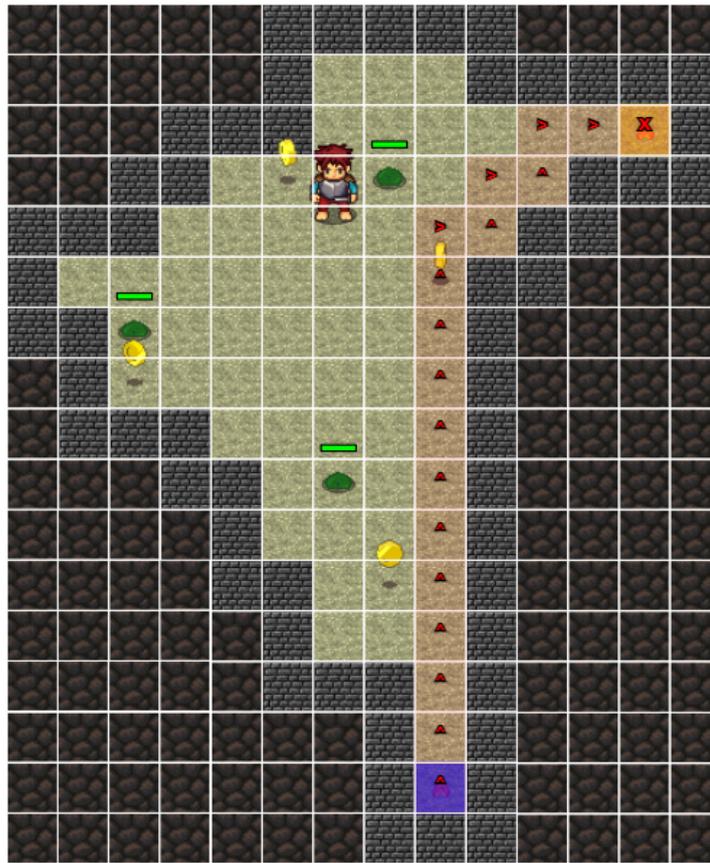
A análise desta sala também partiu inicialmente do caminho entrada-saída. Na Figura 4.14 vemos lado a lado este caminho representado na cor vermelha (4.14a) e o gráfico da variação das distâncias a cada passo percorrido na sala (4.14b).

Observando inicialmente o gráfico de teletransportes, em verde, temos o mesmo padrão observado na sala pequena, tocando o eixo X (Passo) nos pontos 0 e 17. Além disso, a distância mais alta alcançada é 8, o que não representa um grande risco ao tempo do jogo.

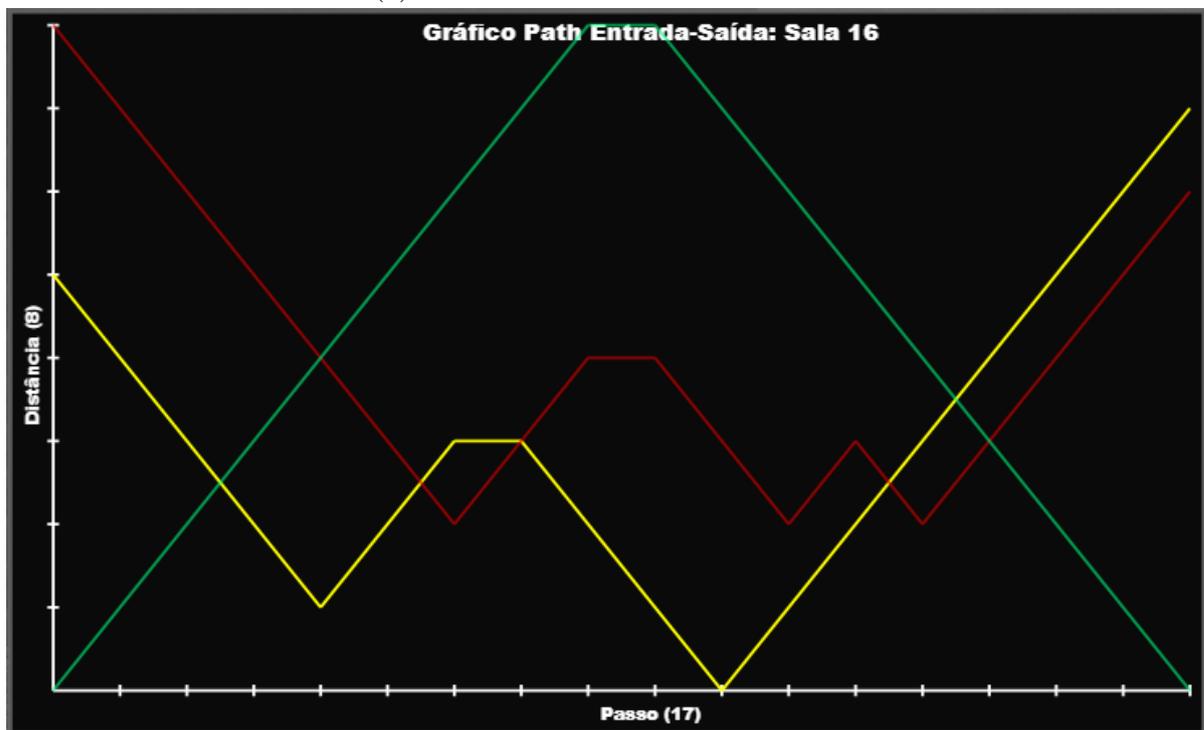
Quanto ao gráfico de tesouros, observamos que este caminho passa por apenas um dos quatro dispostos pela sala, exatamente no passo 10.

Por fim, quanto aos inimigos é notável que nenhum dos passos está exatamente na posição de um deles, porém em três momentos (passos 6, 11 e 13) a distância para os inimigos é igual a 2, o que é suficiente para desencadear perseguição. Em uma primeira análise poderíamos concluir que três inimigos foram despertados, contudo ao observarmos cautelosamente, veremos que foram apenas dois deles. Os passos 11 e 13 estão próximos de um mesmo inimigo, de modo que no passo 11 ele seria despertado para perseguir o jogador enquanto a distância no passo 13 já não teria influência. Assim sendo, dos três inimigos presentes na sala, apenas dois são acionados neste caminho, enquanto um terceiro fica inativo em uma espécie de “zona ignorada”.

Em relação ao caminho entrada-tesouros-saída, vemos na Figura 4.15 sua representação na sala, em azul (4.15a), e o gráfico da variação das distâncias dos elementos



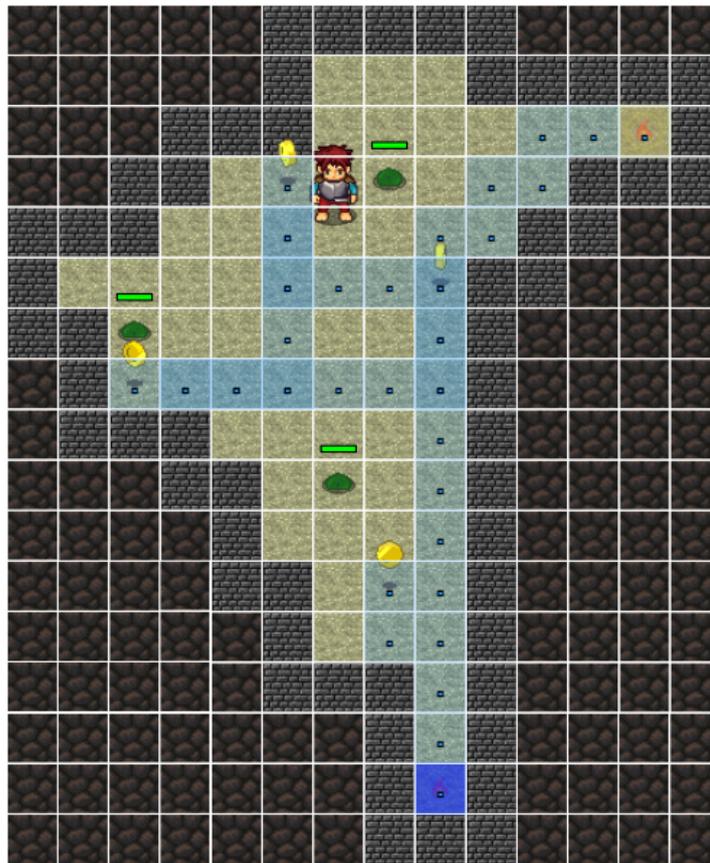
(a) Caminho da entrada até a saída.



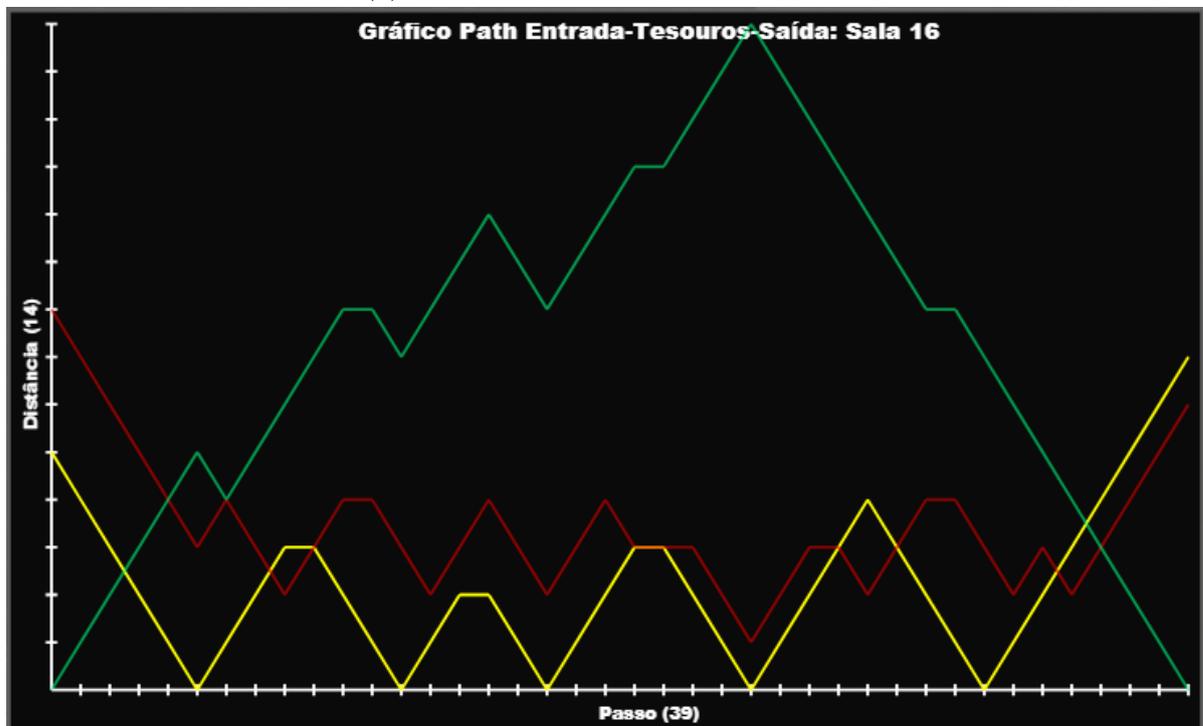
(b) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.14: Caminho entrada-saída na sala média e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

(4.15b).



(a) Caminho passando pelos tesouros.



(b) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.15: Caminho entrada-tesouros-saída na sala média e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

Em relação ao caminho entrada-saída, o caminho entrada-tesouros-saída apresenta uma quantidade consideravelmente maior de passos. Quanto a variação de distâncias dos teletransportes, é observável o mesmo padrão do caminho anterior, com um pico na distância 14, que também não representa grande risco de tempo para o jogador.

Quanto ao gráfico de tesouros vemos que a linha toca o eixo X (Passo) exatamente nos passos 5, 12, 17, 24 e 32. Analisando num primeiro momento poderíamos concluir que cinco tesouros foram coletados, contudo há apenas quatro dispostos por esta sala. Isto ocorreu devido à construção do caminho pelo algoritmo adaptado do PCV que criou uma espécie de movimento circular, de modo que o bloco onde havia um tesouro no passo 12 tornou-se parte do caminho para o teletransporte de saída, sendo revisitado no passo 32.

Já em relação ao gráfico de inimigos, notamos que o caminho não passa diretamente pela posição de nenhum deles, contudo em oito passos diferentes a distância é igual a 2 e em um deles a distância é igual a 1. Estes passos são suficientes para engajar todos os três inimigos presentes na sala contra o jogador, de modo que a “zona ignorada” antes observada no caminho entrada-saída passa a ser ativa.

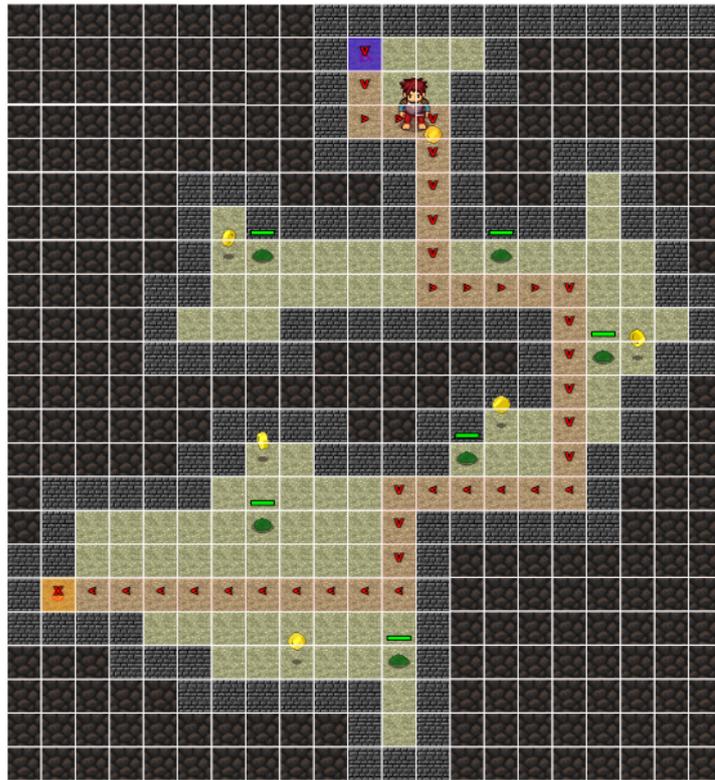
Além disso, é importante notar que todos os três inimigos presentes na sala são atraídos entre os passos 8 e 23. Desta forma 100% do desafio da sala esteve contido em aproximadamente 39% do percurso, o que a torna uma região com muita concentração de inimigos.

Uma última observação a ser feita é que no passo 5 o jogador encontra uma recompensa antes de passar pelo primeiro desafio, que surge apenas no passo 8.

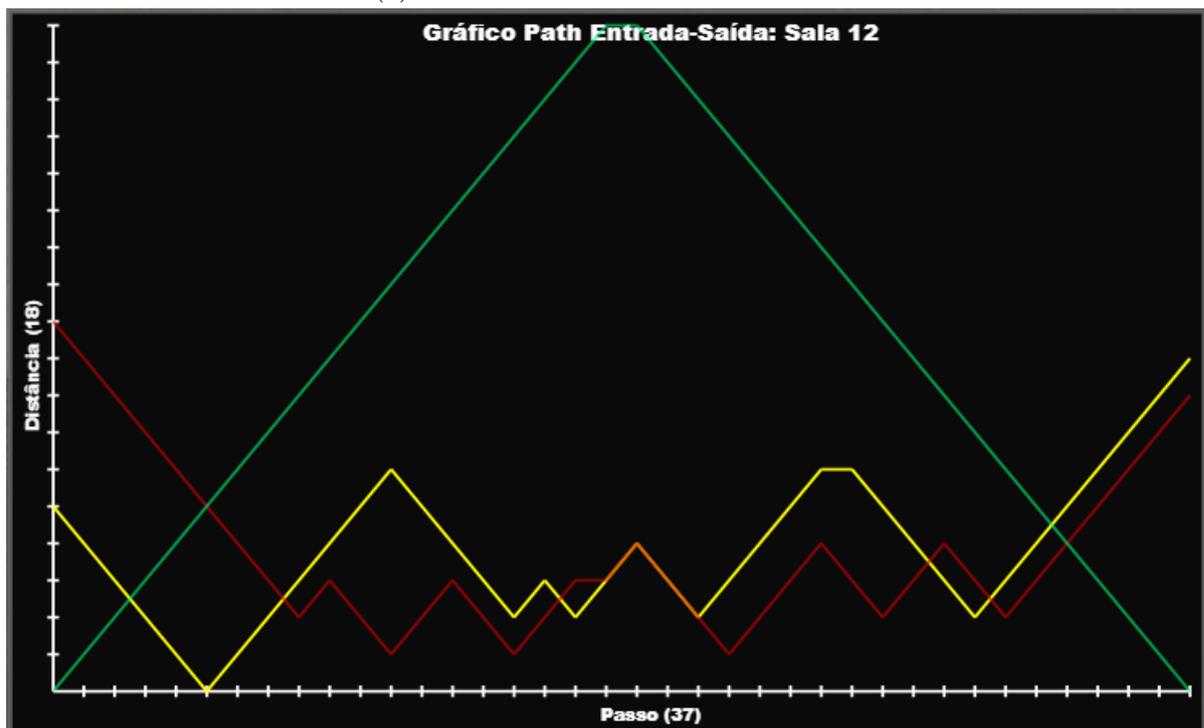
4.4.3 Análise da Sala Grande

Semelhantemente às salas anteriores, a sala grande começou a ser analisada pelo caminho entrada-saída. A Figura 4.16 mostra este caminho, destacado em vermelho (4.16a), e o gráfico da variação das distâncias para cada um dos elementos contidos nela (4.16b).

Quanto ao gráfico de teletransportes, em verde, vemos um comportamento semelhante ao observável neste mesmo tipo de caminho nas salas anteriores, começando numa distância 0 no passo 0, atingindo um pico máximo na distância 18 e novamente



(a) Caminho da entrada até a saída.



(b) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.16: Caminho entrada-saída na sala grande e seu gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

caindo até o 0 no passo 37. Apesar de 18 ser uma distância já um pouco maior, também não apresenta grandes problemas para o tempo do jogador.

Em relação ao gráfico de tesouros, observamos que somente no passo 5 a linha toca o eixo X (Passo), de modo que neste caminho, apenas um tesouro é coletado. Vemos que este tesouro é alcançado antes que o primeiro desafio seja despertado, somente no passo 8.

Por fim, quanto ao gráfico de inimigos vemos vários pontos em que a distância é menor ou igual a 2 entre os passos 8 e 31, sendo os pontos em que cinco dos seis inimigos presentes na sala seriam atraídos ao jogador. Um deles ainda permaneceria em uma “zona inativa” em relação a este caminho. Além disso, no intervalo entre os passos 8 e 15 vemos três inimigos sendo ativados contra o jogador, de modo que 50% do desafio da sala se encontra em aproximadamente 19% do percurso, tendo assim uma espécie de “zona carregada”.

Já em relação ao caminho entrada-tesouros-saída, a Figura 4.17 mostra este caminho, destacado em azul (4.17a), e o gráfico da variação das distâncias pra cada um de seus elementos (4.17b).

O gráfico de teletransportes nos mostra o início e término já esperados tocando o eixo X (Passo) e um pico de distância 18. Apesar da distância máxima e do total de passos no caminho, o percurso não apresenta risco ao tempo do jogador.

Já ao analisarmos o gráfico de tesouros podemos observar a distância chegando a 0 e tocando o eixo X seis vezes, indicando a coleta dos seis tesouros disponíveis.

Por fim, quanto ao gráfico de inimigos vemos um intervalo com várias possíveis ativações entre os passos 13 e 49. Dos passos de número 8 ao 38 vemos o trecho mais carregado, onde a proximidade do jogador desperta quatro dos seis inimigos em um intervalo de 30 passos. É um trecho do percurso que apresenta dois terços do desafio da sala em aproximadamente 50% do caminho.

É importante notarmos que neste caminho um dos seis inimigos também fica preso a uma “zona inativa” que não é alcançada. Além disso, temos que o primeiro tesouro é coletado no passo 5, antes do primeiro desafio que surge apenas no passo 8, e que após o último tesouro ser coletado no passo 52 nenhum inimigo é ativado contra o jogador.

4.4.4 Análise das Salas Trivial e Gigante

A sala trivial não apresenta desafios e nem recompensas ao jogador. É portanto uma sala fortemente candidata a ser tediosa e desinteressante. Não serão mostrados os gráficos e os caminhos gerados para a sala trivial dado que são irrelevantes para as possíveis análises. Contudo este tipo de sala passa a ser interessante em dois momentos.

O primeiro deles é quando o jogo se inicia nesta sala, como no caso da semente escolhida. Assim sendo ela acaba funcionando como uma sala de entrada, preparando o jogador para as próximas salas. O segundo momento é quando esta sala se encontra como sucessora de alguma sala grande ou até mesmo da sala gigante. Desta forma ela funciona como um desafogo, preparando mais uma vez para as próximas salas.

Já a sala gigante é a que contém a maior quantidade de elementos, sendo a mais difícil de se analisar. A Figura 4.18 nos mostra o gráfico do caminho entrada-saída desta sala, enquanto a Figura 4.19 mostra o gráfico do caminho entrada-tesouros-saída. Não serão apresentados os caminhos devido à dificuldade de observação por conta das dimensões da sala.

Ao analisarmos o caminho entrada-saída, com um total de 359 passos, podemos fazer algumas constatações. Em primeiro lugar, quanto ao gráfico de teletransportes, vemos que ele toca o eixo X (Passo) oito vezes, e não apenas duas como no caso das salas anteriores. Isso se dá pelo fato de que em salas maiores são geradas as fogueiras que, assim como os teletransportes, reestabelecem o tempo do jogador. Em uma sala deste tamanho o jogador tende a ter mais problemas em relação ao tempo, porém devido à quantidade de tempo inicialmente disponibilizada, este caminho não gera problemas com o tempo para o jogador.

Quanto a tesouros, vemos que a linha amarela toca o eixo X em 15 passos. Já quanto aos inimigos, temos uma grande concentração de ativações no meio do caminho. É possível notar também que o primeiro tesouro é coletado antes da ativação do primeiro inimigo, e que conforme o caminho vai chegando ao final, a presença de inimigos fica cada vez mais longe, indicando uma possível “zona morta”. Este cenário será melhor analisado pelo caminho livre testado por um jogador real na seção 4.5.

Já ao observarmos o gráfico do caminho entrada-tesouros-saída, com um total

de 2115 passos, é ainda mais difícil tirar alguma conclusão, dada a dificuldade de leitura do mesmo. Contudo, observando as linhas amarela e vermelha, é possível cogitar áreas muito concentradas de inimigos e algumas áreas possivelmente sem desafios. Este cenário também será melhor analisado pelo caminho livre testado por um jogador real.



Figura 4.18: Gráfico Passo x Distância para o caminho Entrada-Saída da sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

4.4.5 Conclusão da Avaliação Prévia

A Tabela 4.1 a seguir contém informações observadas na análise do caminho entrada-saída, enquanto a Tabela 4.2 mostra as informações observadas na análise do caminho entrada-tesouros-saída.

Nelas vemos a quantidade de Passos registrados em cada uma dessas salas, a observância de Região Morta, isto é, regiões que não apresentam desafios para o jogador, Região Carregada, sendo as regiões que contém uma quantidade muito grande de inimigos, Região Inativa, sendo as regiões que apresentam inimigos mas que não foram visitadas no decorrer do caminho, e, por fim, a observância de Bônus antes do desafio nos caminhos trilhados.

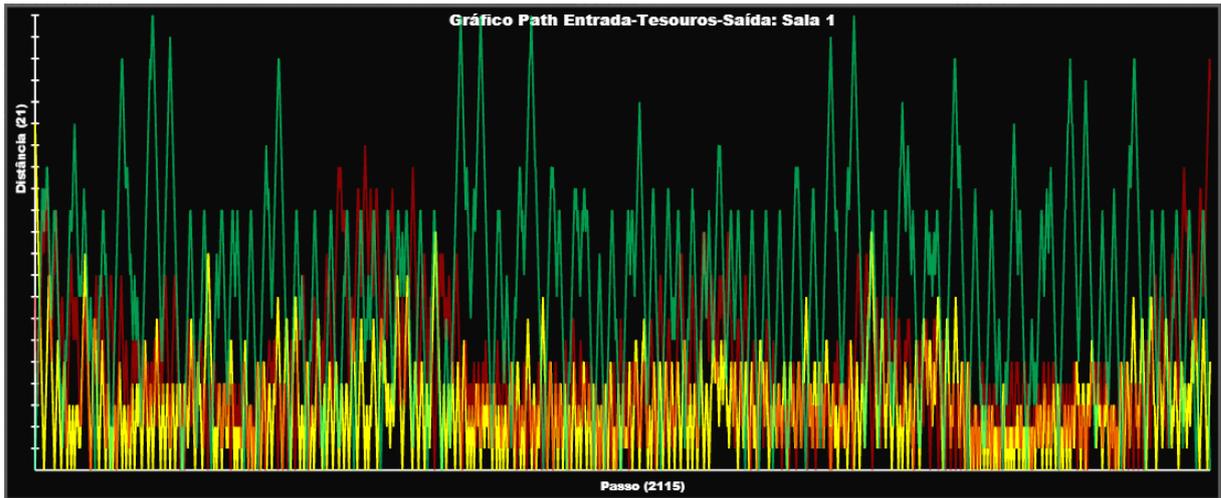


Figura 4.19: Gráfico Passo x Distância para o caminho Entrada-Tesouros-Saída da sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

Caminho Entrada-Saída				
	Sala Pequena	Sala Média	Sala Grande	Sala Gigante
Passos	11	17	37	359
Região Morta	Não	Não	Não	Possível
Região Carregada	Não	Não	Sim	Possível
Região Inativa	Não	Sim	Sim	Possível
Tempo esgotado	Não	Não	Não	Possível
Bônus antes do desafio	Não	Não	Sim	Sim

Tabela 4.1: Tabela com informações derivadas do caminho entrada-saída para cada uma das salas analisadas.

A partir das tabelas podemos concluir que, em primeira avaliação, no que tange ao caminho entrada-saída, que é aquele que ignora quaisquer elementos do jogo e avança em direção à saída, as salas pequena, média e grande não apresentaram regiões mortas, que seriam possivelmente tediosas para o jogador, contudo a sala gigante apontou a possibilidade de haver regiões deste tipo.

Já em relação a regiões carregadas de inimigos, a sala pequena não apresentou regiões deste tipo, enquanto as salas média e grande apresentaram e a sala gigante também apontou esta possibilidade.

Quanto a regiões inativas, somente a sala pequena não apresentou, e a sala gigante, apesar de até então inconclusivo, também apresenta esta possibilidade.

Por fim, quanto a bônus sendo coletados antes do surgimento do primeiro

Caminho Entrada-Tesouros-Saída				
	Sala Pequena	Sala Média	Sala Grande	Sala Gigante
Passos	15	39	61	2115
Região Morta	Não	Não	Não	Possível
Região Carregada	Não	Sim	Sim	Possível
Região Inativa	Não	Não	Sim	Possível
Tempo esgotado	Não	Não	Não	Possível
Bônus antes do desafio	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 4.2: Tabela com informações derivadas do caminho entrada-tesouros-saída para cada uma das salas analisadas.

desafio, somente as salas grande e gigante apresentaram esta situação, enquanto as salas pequena e média, não.

E no que tange ao caminho entrada-tesouros-saída, nenhuma sala apresentou regiões mortas onde não havia desafios, contudo a sala gigante ainda pode apresentar.

Quanto a regiões carregadas e inativas, vemos que a probabilidade de ocorrência aumenta conforme aumenta também a sala. Além disso, todas as salas analisadas apresentaram bonificações antes de proporem desafios aos caminhos.

4.5 Validação da avaliação

Com o intuito de confirmar as conclusões das avaliações na Seção 4.4, além de obter informações mais precisas a respeito das inconclusões relacionadas à sala gigante, procurou-se fazer a validação através da experimentação de um jogador real percorrendo as mesmas salas e registrando seu caminho livre. Assim sendo, esta seção objetiva analisar o caminho livre de um jogador real e comparar seus resultados com a avaliação prévia dos caminhos entrada-saída e entrada-tesouros-saída. Convidou-se uma pessoa que não teve nenhum contato prévio com o PCGLab para assumir o papel do jogador.

Em um primeiro momento, o jogador passou por um processo de experimentação livre do PCGLab em um mapa gerado por uma semente aleatória. Isto foi feito no intuito de permitir uma adaptação aos comandos, cenários, elementos e mecânicas, para que no momento dos testes reais não surgisse nenhuma dúvida que pudesse interferir nos resultados.

Feito isso, o jogador foi inserido no mapa gerado pela semente 4248372, recebendo orientações para percorrer todas as 22 salas disponíveis, chegando pelo teletransporte de entrada e avançando pelo teletransporte de saída, buscando coletar o máximo de tesouros possíveis e evitando o combate com os inimigos. Esta última orientação justificase pelo fato de que o combate do PCGLab não está implementado de modo conclusivo para este trabalho, portanto, ao se deter nesta atividade, o jogador incorreria na possibilidade de gerar informações fora do escopo das avaliações prévias.

Uma vez percorrendo as salas geradas, sempre que o jogador alcançava as salas 1 (gigante), 7 (pequena), 12 (grande) ou 16 (média), que são as salas sob avaliação neste trabalho, era solicitado que apontasse regiões mortas, regiões carregadas, regiões inativas e, por fim, problemas com o tempo.

A avaliação obtida através da atividade do jogador real para as salas pequena, média, grande e gigante é apresentada na sequência.

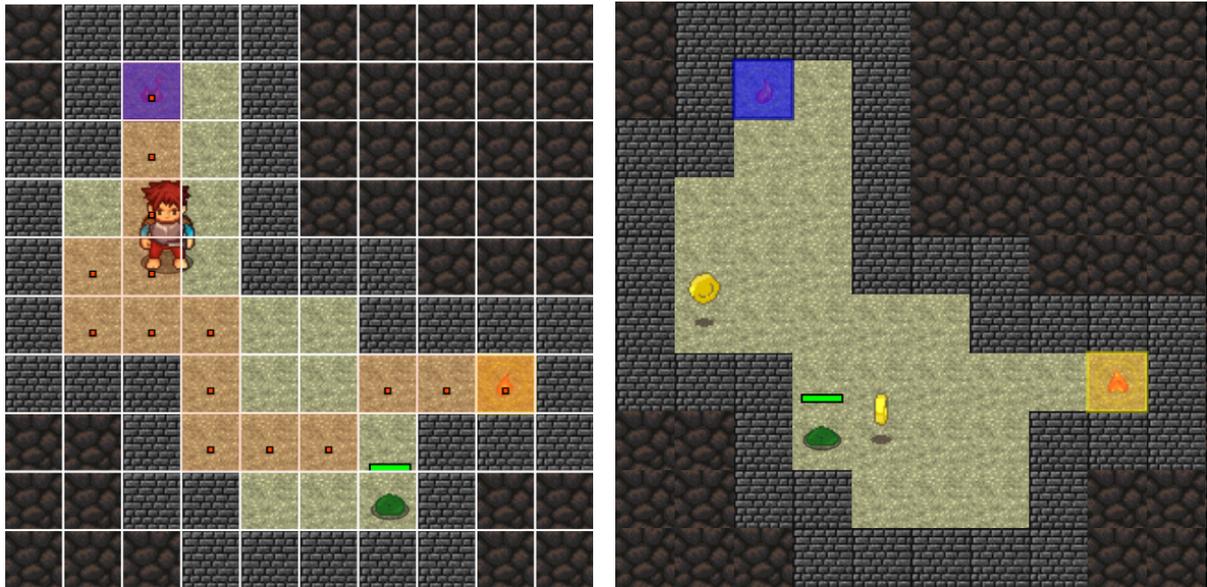
4.5.1 Validação da Análise da Sala Pequena

Em relação à sala pequena, a Figura 4.20 nos mostra o caminho que o jogador percorreu, em vermelho (4.20a), a disposição original da sala (4.20b), e o gráfico da variação das distâncias a cada passo deste caminho (4.20c).

Uma primeira comparação a ser feita é quanto ao número de passos. Enquanto o caminho entrada-saída foi percorrido em 11 passos e o caminho entrada-tesouros-saída em 15, o caminho livre do jogador foi percorrido em 14 passos e não deixou nenhum tesouro para trás. Isto ocorreu devido a um passo economizado em uma diagonal perfeita, registrada no gráfico na passagem do passo 11 para o 12. Não fosse esta situação, o número de passos teria coincidido exatamente com o caminho entrada-tesouros-saída.

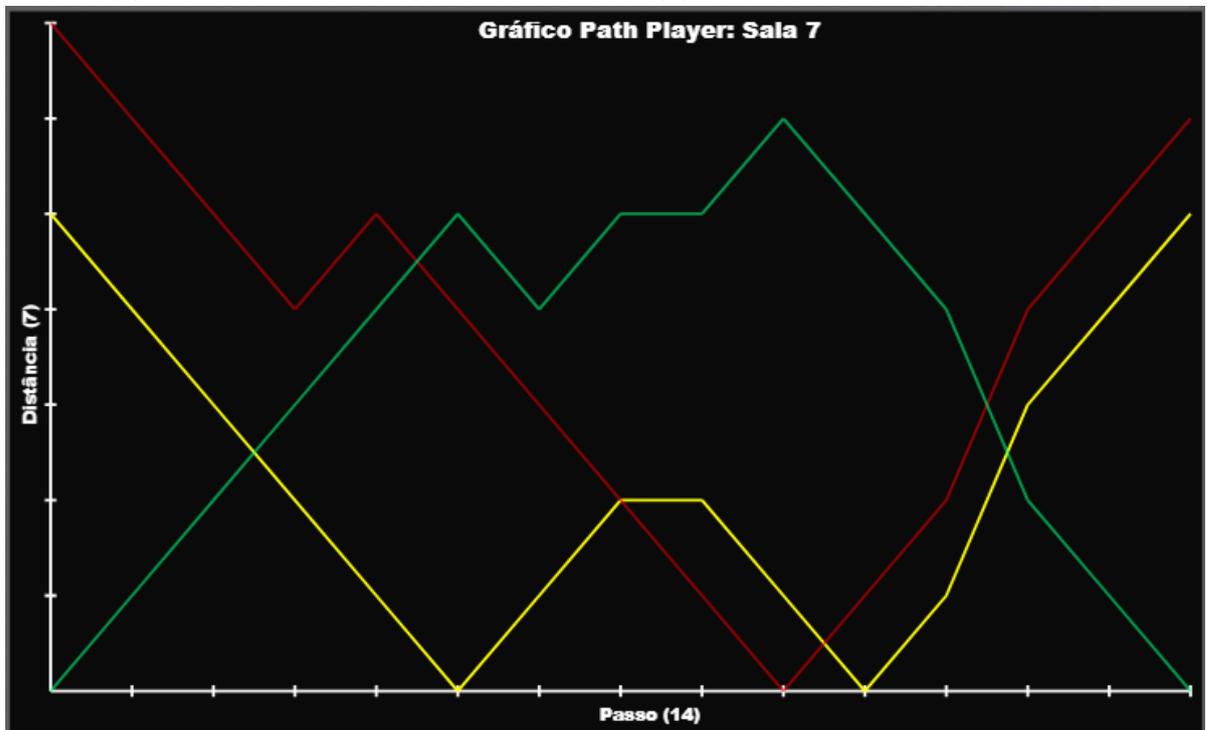
Pelo gráfico observamos também que houve situação de recompensa coletada no passo 5 antes do desafio que ocorreu apenas no passo 7.

Em relação ao relato do jogador não houve, nesta sala, nenhuma região morta, carregada ou inativa. Muito menos foi relatado problema para lidar com o tempo, de modo que nestes aspectos, o resultado foi idêntico ao obtido na avaliação dos caminhos entrada-saída e entrada-tesouros-saída.



(a) Caminho livre do jogador.

(b) Disposição original da sala Pequena.



(c) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.20: Caminho livre do jogador na sala Pequena, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

4.5.2 Validação da Análise da Sala Média

Quanto à sala média, temos na Figura 4.21 o caminho percorrido pelo jogador, em vermelho (4.21a), a disposição original da sala (4.21b), e o gráfico da variação das distâncias (4.21c).

Quanto ao número de passos, o caminho livre coincidiu com o caminho entrada-tesouros-saída, ambos com 39. Contudo, é possível observar pela Figura 4.21a que em dois pontos do percurso, o jogador passou por uma diagonal perfeita, economizando assim dois passos.

Vemos que, também neste caminho, o jogador obteve um tesouro no passo 5 antes de acionar o primeiro inimigo no passo 6.

Já quanto ao relato do jogador, não foram apontadas regiões mortas, regiões inativas ou problemas com a gestão do tempo disponível. Contudo a sala foi considerada como carregada devido à grande concentração de inimigos em um pequeno espaço. Este relato coincide com as conclusões do caminho entrada-tesouros-saída para essa sala.

4.5.3 Validação da Análise da Sala Grande

Em relação à sala grande, a Figura 4.22 apresenta o caminho livre do jogador, em vermelho (4.22a), a disposição original desta sala (4.22b), e o gráfico da variação das distâncias dos elementos (4.22c).

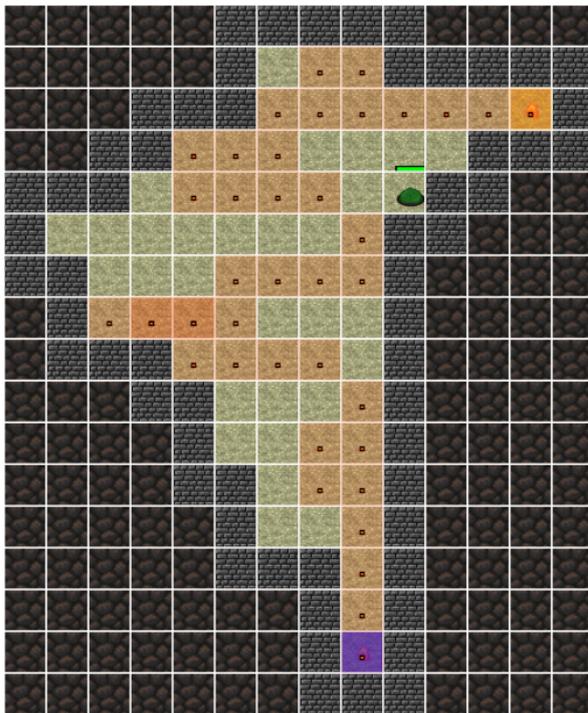
Enquanto o caminho entrada-saída apresentou 37 passos e o caminho entrada-tesouros-saída apresentou 61, o caminho livre percorrido pelo jogador foi composto de 68 passos, sendo portanto o mais longo dos três.

Mais uma vez vemos uma recompensa sendo coletada no passo 5, antes do primeiro desafio no passo 8.

Já no tocante ao relato do jogador, nenhuma região morta foi mencionada, contudo observou-se regiões concentradas de inimigos e também uma região inativa, onde havia um inimigo mas não havia motivação para aproximar-se dele. Não foi registrado problema com tempo. Tais relatórios coincidem com as conclusões das avaliações dos caminhos entrada-saída e entrada-tesouros-saída.

4.5.4 Validação da Análise da Sala Gigante

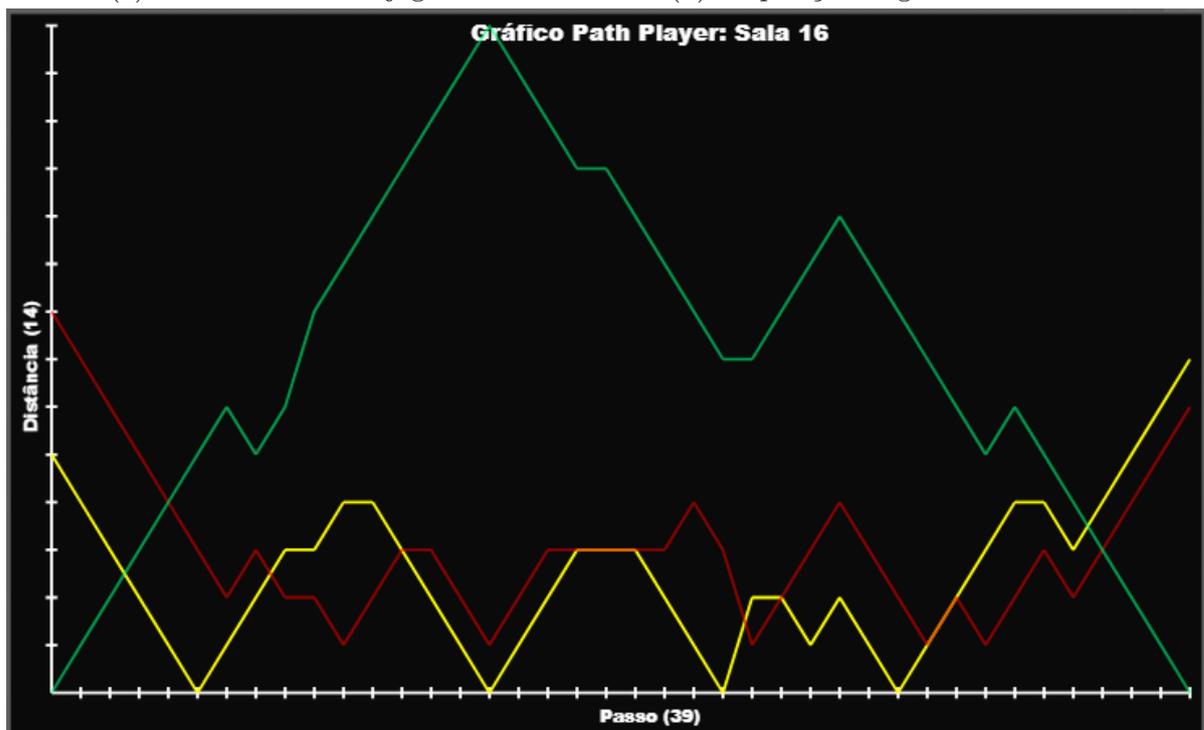
A Figura 4.23 nos mostra o gráfico da variação das distâncias dos elementos da sala em relação aos passos do caminho livre percorrido pelo jogador. Devido ao grande tamanho da sala, o caminho não será mostrado integralmente, porém alguns trechos estarão ilustrados



(a) Caminho livre do jogador.



(b) Disposição original da sala Média.



(c) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.21: Caminho livre do jogador na sala Média, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

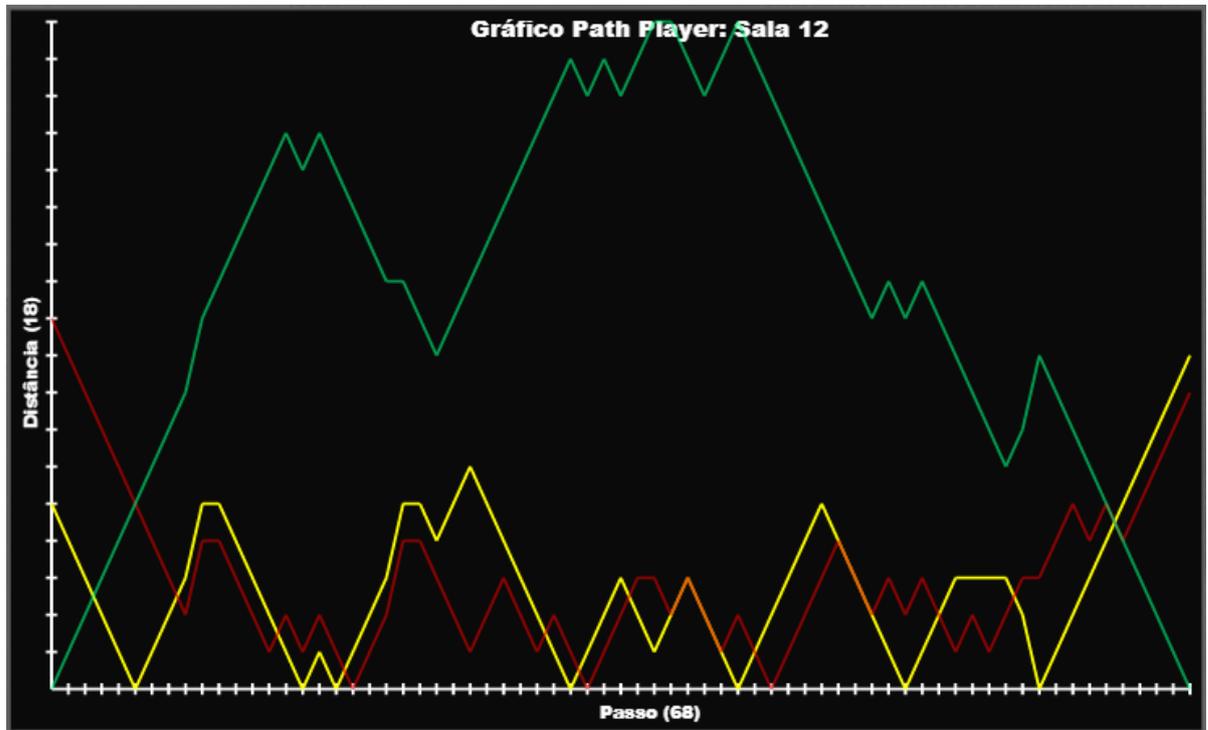
em algumas imagens a seguir.

Em primeira análise, este caminho contou com 733 passos, sendo um meio termo entre os 359 passos do caminho entrada-saída e os 2115 passos do caminho entrada-



(a) Caminho livre do jogador.

(b) Disposição original da sala Grande.



(c) Gráfico Passo x Distância.

Figura 4.22: Caminho livre do jogador na sala Grande, disposição original e gráfico derivado, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

tesouros-saída. Enquanto percorria o caminho, o jogador coletou diversos tesouros, como podemos observar no gráfico os momentos em que a linha amarela toca o eixo X (Passo), totalizando algo em torno de 53. Contudo, ele deixou de explorar muitas regiões da sala gigante, pois encontrou o teletransporte de saída prematuramente no passo 733. Apesar

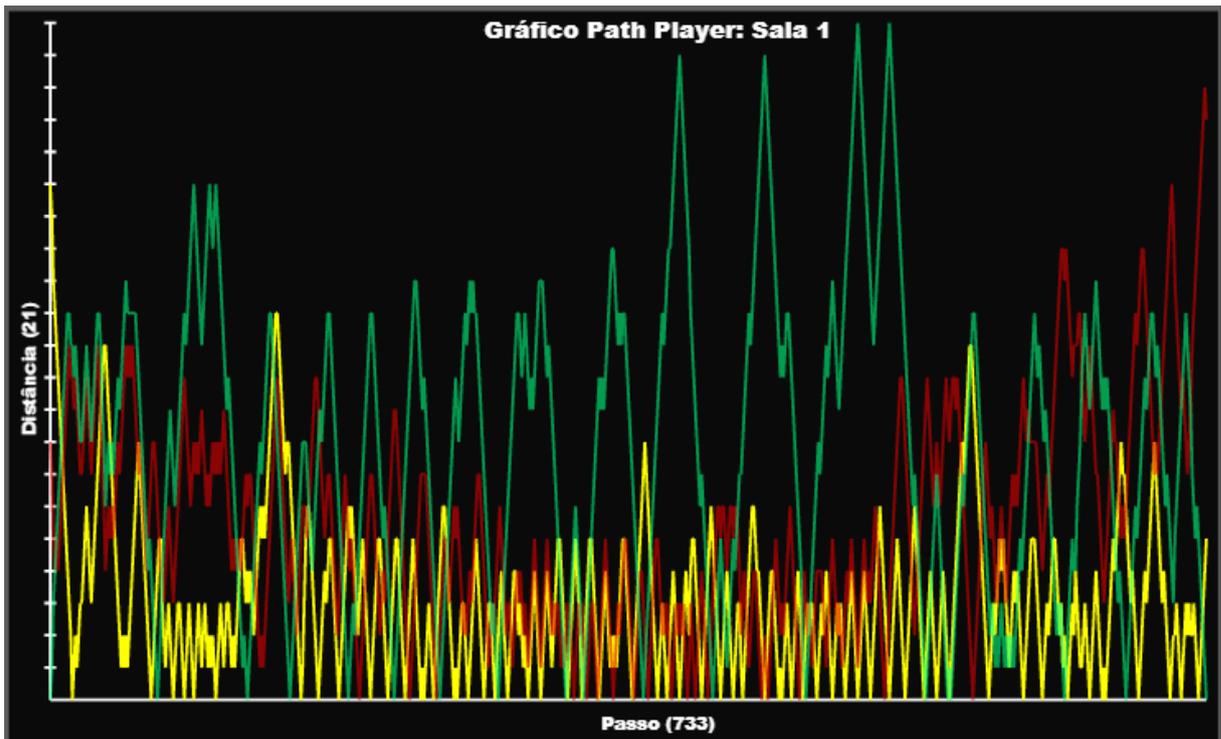


Figura 4.23: Gráfico Passo x Distância para o caminho livre percorrido pelo jogador na sala Gigante, indicando a distância dos inimigos em vermelho, dos tesouros em amarelo e dos teletransportes e fogueiras em verde. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

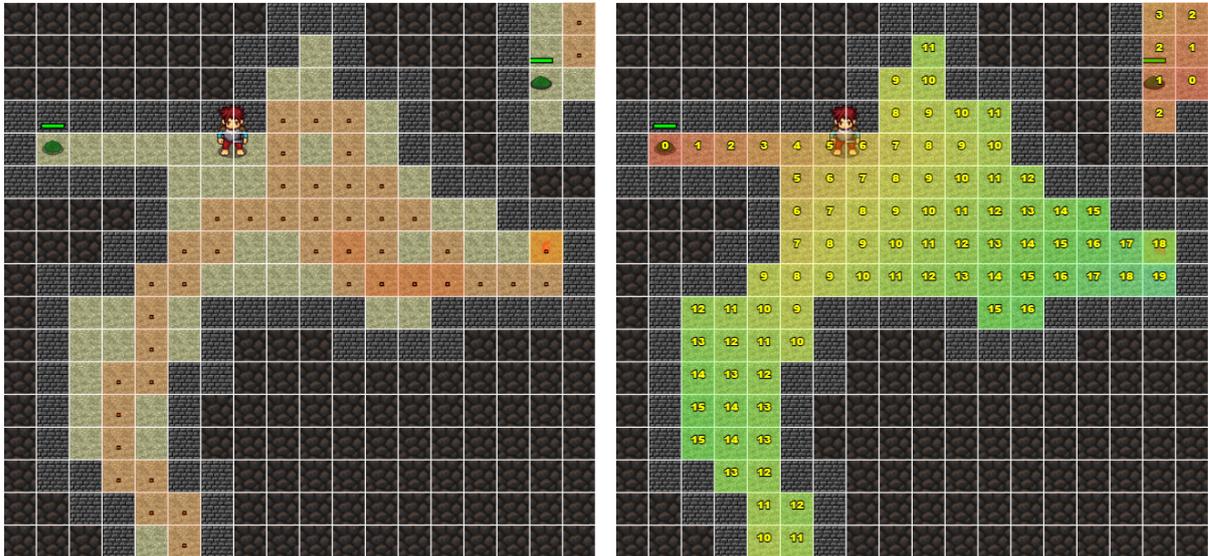
da saída antecipada desta sala, os dados fornecidos pelo jogador foram suficientes para confirmar as conclusões tidas como possíveis nesta sala.

Vemos no gráfico que a linha vermelha, da distância dos inimigos, se aproxima pela primeira vez do valor 2 que desencadeia uma perseguição, apenas depois que a linha amarela passa muitas vezes pelo valor 0. Isso nos permite concluir que o jogador não teve apenas uma recompensa antes do desafio, e sim várias.

Observamos ainda no gráfico que aproximando-se dos passos finais, a linha vermelha se afasta cada vez mais do eixo X (Passo), indicando que o jogador entrou em uma grande região morta, onde ainda foi possível coletar tesouros, mas a disposição dos inimigos pela tela já não representavam ameaça ao seu percurso. A Figura 4.24 nos mostra lado a lado o caminho livre do jogador, destacado em vermelho (4.24a) e o mapa de influência de inimigos desta região percorrida (4.24b). A Figura 4.24c apresenta a organização original da região, antes da ação do jogador, de modo que é possível comparar as modificações que seu caminho gerou na Figura 4.24a.

Como é possível observar, o jogador percorreu tranquilamente um grande

espaço da sala guardado por apenas um inimigo isolado, que nem mesmo foi acionado, de modo que não houve desafio nesta área. Isto confirma a presença de regiões mortas na sala gigante.



(a) Trecho do Caminho livre do jogador.

(b) Mapa de influência de inimigos.



(c) Disposição inicial do trecho de Região Morta.

Figura 4.24: Trecho do Caminho livre do jogador na sala gigante, mapa de influência de inimigos e disposição inicial dos elementos na Região Morta percorrida. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

Na parte mais central do eixo X no gráfico, vemos várias incidências da linha vermelha se aproximando e alcançando o valor 0. Trata-se de regiões carregadas de inimigos, onde o desafio é concentrado e mais intenso do que em outros trechos do caminho. O jogador relatou ter passado por pelo menos uma região deste tipo em seu trajeto. A

Figura 4.25 mostra o caminho que o jogador percorreu e o mapa de influência dos inimigos naquela região.

A Figura 4.25a mostra em vermelho um trecho do caminho do jogador contendo 41 passos. Já a Figura 4.25b mostra o mapa de influência com sete blocos em que a distância para um inimigo era originalmente 0, indicando que ali havia um inimigo. O jogador passou suficientemente próximo destes blocos a ponto de todos os sete inimigos terem sido engajados em sua perseguição. A Figura 4.25c permite a observação desta região antes da ação do jogador, indicando a presença dos sete inimigos. Isto confirma a presença de regiões concentradas de inimigos na sala gigante.

O gráfico não permite a análise de zonas inativas, isto é, aquelas em que há inimigos mas que o jogador não tem motivações para visitar. Contudo, ao percorrer o trajeto, o jogador relatou a existência de regiões deste tipo. A Figura 4.26 mostra um trecho do caminho livre do jogador e o mapa de influência de inimigos.

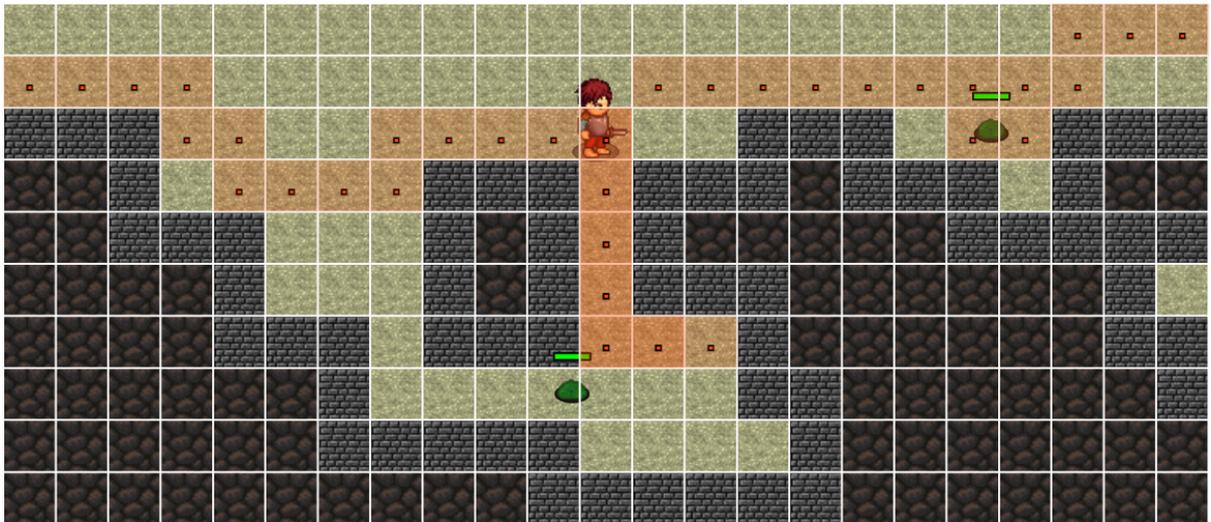
Como a Figura 4.26a permite observar, o jogador passou entre dois inimigos sem que estes tenham sido despertados. A Figura 4.26b mostra que, no mapa de influência, o jogador não passou por nenhum ponto com distância menor ou igual a 2, o que seria necessário para que algum dos inimigos passasse a persegui-lo. Por fim, a Figura 4.26c complementa a análise, apresentando a região antes da presença do jogador, indicando ali a posição inicial dos tesouros.

Ambos os inimigos estavam isolados em suas posições e não guardavam nenhuma recompensa, portanto o jogador não teve motivos para se aproximar deles. Isto comprova a existência de regiões inativas na sala gigante.

Por fim, quanto ao tempo, o jogador não relatou em momento algum a dificuldade de gerenciamento nesta sala, de modo que até mesmo ignorou a presença de fogueiras em partes de trajeto para evitar a presença de inimigos, como mostra a Figura 4.27.

4.5.5 Conclusão da Validação da Avaliação

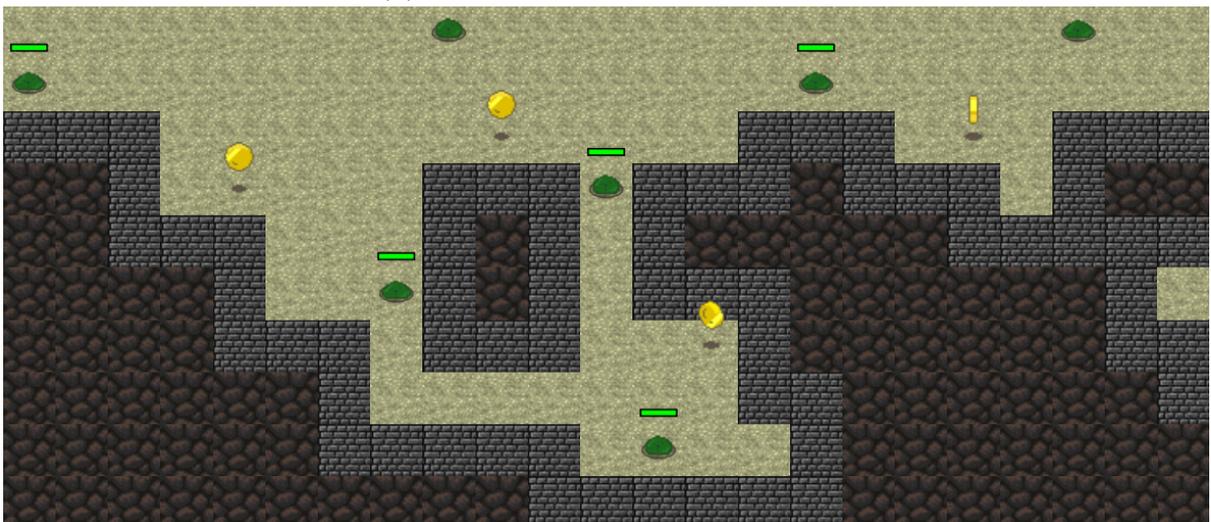
A avaliação do caminho livre percorrido pelo jogador possibilitou confirmar as conclusões obtidas através da avaliação do caminho entrada-saída e do caminho entrada-tesouros-



(a) Trecho do Caminho livre do jogador.



(b) Mapa de influência de inimigos.



(c) Disposição inicial do trecho de Região Carregada.

Figura 4.25: Trecho do Caminho livre do jogador na sala gigante, mapa de influência de inimigos e disposição inicial dos elementos na Região Carregada percorrida. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

saída. No que concerne às salas pequena, média e grande, os resultados foram os mesmos, tanto nesses caminhos quanto naquele. Já quanto à sala gigante, as conclusões tidas como possíveis foram de fato observadas e confirmadas, exceto a relacionada ao esgotamento do tempo.

A Tabela 4.3 resume as conclusões obtidas.

Caminho Livre				
	Sala Pequena	Sala Média	Sala Grande	Sala Gigante
Passos	14	39	68	733
Região Morta	Não	Não	Não	Sim
Região Carregada	Não	Sim	Sim	Sim
Região Inativa	Não	Não	Sim	Sim
Tempo esgotado	Não	Não	Não	Não
Bônus antes do desafio	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 4.3: Tabela com informações derivadas do caminho entrada-tesouros-saída para cada uma das salas analisadas.

No geral, os resultados obtidos permitiram observar que a forma como o mapa e suas salas internas são gerados afetaram na experiência de jogo. O jogador, portanto, se depara com diferentes situações dentro do cenário do jogo, e é levado a experimentar diferentes emoções. Tais experiências foram vistas atreladas a regiões específicas do cenário do jogo que são resultantes da geração do mapa.

Regiões mortas e regiões carregadas, como classificado, não são necessariamente boas e nem mesmo necessariamente ruins. As regiões mortas podem ser um desafio para o jogador após momentos de ação intensa, contudo podem também se tornar pontos de tédio em algumas ocasiões. Já as regiões carregadas podem ser bastante divertidas e fornecerem boas emoções ao jogador, contudo podem se tornar sufocantes e causar pequenas situações de ansiedade em alguns momentos se forem demasiadamente prolongadas.

Já regiões inativas podem ser um problema maior, pois tem um grande potencial de causar desinteresse no jogador. Nessas regiões o jogador não tem nada a ganhar, portanto incorre-se no risco da desmotivação.

Por fim, quanto ao tempo, ficou claro que em momento algum ele se tornou um problema. Desta forma ele passa a ser uma variável também desinteressante em uma

primeira análise.

Este capítulo descreveu a implementação, a coleta dos dados, as avaliações e conclusões obtidas no ambiente de experimentação do PCGLab. O próximo capítulo apresenta as considerações finais, limitações encontradas e possibilidade de trabalhos futuros.

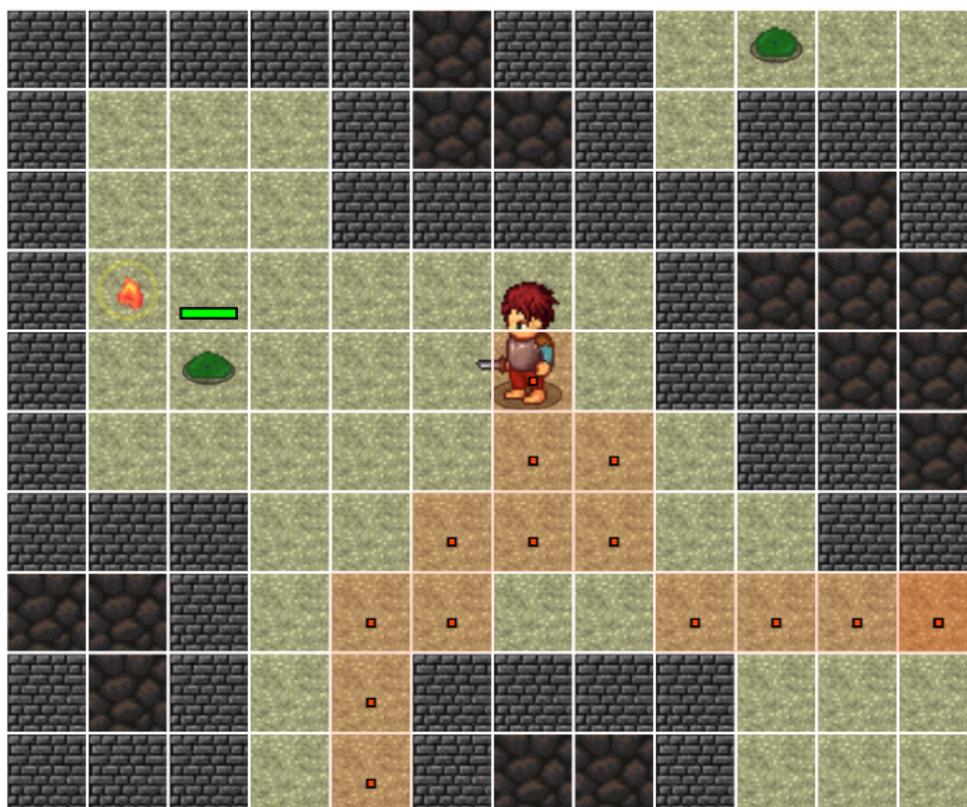


Figura 4.27: Jogador ignora Firezone no decorrer do percurso para evitar inimigo. Fonte: captura de tela do PCGLab, do autor.

5 Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma busca para relacionar a GPC com a experiência do jogador. Um ambiente jogável que integra a GPC com uma avaliação prévia dos caminhos e possíveis experiências dentro do jogo foi criado, de modo que agora se encontra disponível como software livre³.

Uma série de observações foram realizadas usando caminhos, tanto gerados por algoritmos, quanto obtidos através do livre ato de jogar no interior dos mapas do jogo. Além disso, também foram utilizados mapas de influência que auxiliaram nas avaliações e na obtenção de resultados.

Através das observações feitas, tivemos indícios de que é possível identificar que o jogador passa por diferentes experiências diretamente resultantes da geração procedural do mapa de jogo.

Em relação aos objetivos específicos propostos neste trabalho, foi possível desenvolver um laboratório de experimentação que auxilia na avaliação da geração de conteúdo de maneira jogável. A partir disso, foi possível selecionar conceitos e uma técnica de geração para comporem a base da análise deste trabalho. Definiu-se um modelo da experiência do jogador, bem como métricas para a avaliação prévia dos resultados da geração procedural em relação a este modelo. Por fim, o modelo da experiência do jogador e os resultados da avaliação prévia foram testados e validados através da experimentação do ambiente por um jogador real.

O objetivo geral do trabalho ainda não foi alcançado em função de ser necessário realizar mais experimentos e coletas de dados com um maior número de pessoas, mas acreditamos que um passo importante foi dado em sua direção. O método de teste da geração do mapa foi estabelecido de modo que possa ser reutilizado em diferentes técnicas de geração, não apenas na abordada neste trabalho. Além disso, construiu-se um conjunto de ferramentas dentro do ambiente do PCGLab para que modelos de experiência do jogador nestes mapas gerados possam ser avaliados com base em critérios como pontos

³Disponível em <http://github.com/ufjf-gamelab/pcglab>.

de interesse, recompensas, desafios e navegabilidade.

5.1 Limitações e Trabalhos Futuros

Algumas limitações foram impostas no presente trabalho. Uma delas foi o fato de que o PCGLab é um trabalho ainda em andamento e apresenta uma série de restrições como progresso linear, controles e sistemas de combate limitados. Outra limitação diz respeito aos mapas de influência implementados no ambiente, que apesar de terem sido de grande valor na avaliação dos caminhos propostos, não são atualizados conforme o jogador percorre o mapa, coleta recursos e interage com os inimigos. Se a atualização for implementada, permitirá capturar melhor a experiência do jogador de forma dinâmica, seja pelo uso de um jogador humano ou um agente.

As limitações de implementação de controles e combate podem ter causado algumas influências na análise do desafio que os inimigos infringem ao jogador. Na maioria dos casos o jogador passa ileso por grandes áreas carregadas de inimigos sem sofrer dano se apenas continuar andando. Caso o combate fosse mais preciso e crucial no percurso, talvez tivéssemos uma incidência maior de regiões carregadas, além de possivelmente observarmos o jogador tendo problemas para gerenciar o tempo disponível entre explorar as salas e combater os inimigos.

Já as limitações relacionadas a atualização dos mapas de influência, apesar de não terem impedido a análise do caminho livre do jogador, podem ter tornado tal avaliação um pouco menos precisa.

Em trabalhos futuros, é possível implementar um sistema de combate e movimentação mais precisos e refazer as análises apresentadas neste trabalho comparando seus resultados com os de um percurso mais combativo. Além disso, é possível implementar uma forma de atualizar os mapas de influência conforme o jogador interage com os elementos do jogo, de modo que a análise do caminho do jogador possa também ser refeita e seus resultados comparados com os deste trabalho. Além disso, pode ser feita uma análise com os caminhos gerados por diversos jogadores e não só por um, de modo a levar em consideração suas habilidades e escolhas dentro do ambiente do jogo.

Vimos que em todas as salas, na perspectiva do jogador, houve recompensa

antes de haver desafios. Em uma primeira análise isto não representa um problema e nem mesmo algo bom. Cabe portanto a trabalhos futuros analisar o quanto essas ocorrências interferem na experiência do jogador.

Assim como escolheu-se analisar os caminhos entrada-saída, entrada-tesouros-saída e livre para avaliação neste trabalho, trabalhos futuros podem replicar as análises feitas sobre caminhos que evitem ao máximo os inimigos e caminhos que busquem todos os tesouros enquanto gerenciam o tempo e passam também pelos pontos de interesse (fogueiras). Pode-se também implementar a construção dos caminhos por outros algoritmos e heurísticas, como o algoritmo de Dijkstra e o A^* , para assim, comparar seus resultados com os obtidos neste trabalho.

Uma outra proposta para futuros trabalhos é a classificação mais precisa e abrangente das salas como interessantes, tediosas, causadoras de ansiedade, dentre outras possíveis percepções, de acordo com a Teoria dos Fluxos. Além disso pode ser feita uma medição de uma porcentagem satisfatória de regiões mortas, inativas e carregadas dentro das salas de jogo, que auxilie a identificar quando tais regiões passam a afetar negativamente a experiência do jogador.

Por fim, pretende-se futuramente aplicar as observações feitas e seus resultados para o aperfeiçoamento da geração do mapa do jogo, visando a capacidade de antecipar e até mesmo modelar o conjunto de experiências do jogador dentro do ambiente de jogo.

Bibliografia

AI DESIGN. *Rogue*. 1980. [PC].

ARSENAULT, D. Video game genre, evolution and innovation. *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*, v. 3, p. 149–176, 2009.

ARSETH, E.; SMEDSTAD, S. M.; SUNNANA, L. A multi-dimensional typology of games. *Computer Games What's in a game*, p. 48–53, 2003.

BAY 12 GAMES. *Dwarf Fortress*. 2006. [PC].

BLIZZARD. *Diablo*. 1996. [PC CD-ROM].

COSTA, L. D.; KNOP, I. O. Geração procedural de conteúdo através de uma abordagem híbrida entre autômatos celulares e heurísticas. In: *Proceedings of SBGames 2020*. Juiz de Fora, MG, Brasil: SBC, 2020.

CREATIVE GAMES STUDIO. *Chronicles of Drunnagor*. 2019.

CSIKSZENTMIHALYI, M. et al. *The concept of flow*. New York: Harper & Row, 2002.

CUNHA, C. B.; BONASSER, U. O.; ABRAHAO, F. T. M. Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante. *Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Natal, 2002.

DIAS, Z. *Algoritmos de Busca*. 2020. Disponível em: ic.unicamp.br/~mc102/aulas/aula11.pdf.

ELETRONIC ARTS. *Spore*. 2008. [PC].

ELVERDAM, C.; ARSETH, E. Game classification and game design: Construction through critical analysis. In: SAGE PUBLICATIONS. *Games and Culture*. [S.l.], 2007.

FANTASY FLIGHT GAMES. *Descent: Journeys in the Dark*. 2005.

FANTASY FLIGHT GAMES. *Descent: Legends of the Dark*. 2021.

GEARBOX SOFTWARE. *Borderlands*. 2009. [PC, XBOX 360, PS3].

HELLO GAMES. *No Man's Sky*. 2016. [PC, XBOX ONE, PS4].

HENDRIKX, M. et al. Procedural content generation for games: A survey. *ACM Trans*, Holanda, p. 24, 2011.

HUIZINGA, J. *Homo Ludens*. 4. ed. São Paulo, SP, Brasil: Editora Perspectiva S/A, 2000.

MARK, D. Modular tactical influence maps. Australia, 2016.

MINECRAFTWIKI. *Edição Java 1.18 Experimental Snapshot 1*. 2021. Disponível em: [minecraft.fandom.com/pt/wiki/Edi\unhbox\voidb@x\setbox\z@\hbox{c}\accent24c~ao_Java_1.18_Experimental_Snapshot_1](http://minecraft.fandom.com/pt/wiki/Edi%5Cunhbox%5Cvoidb%5Csetbox%5Cz%5Chbox%7C%5Caccent24c%5Cao_Java_1.18_Experimental_Snapshot_1).

- MOJANG STUDIOS. *Minecraft*. 2009. [PC].
- MORRIS, D.; HARTAS, L. *The Art of Game Worlds*. [S.l.]: The Ilex Press Ltd, 2004.
- MOSSMOUTH. *Spelunky*. 2009. [PC, XBOX, PS3].
- NEWZOO. *Newzoo*. 2021. Disponível em: <https://newzoo.com/>.
- NINTENDO. *Legends of Zelda: Breath of the Wild*. 2017. [Wii U, Nintendo Switch].
- ORIGIN SYSTEMS. *Ultima*. 1980. [PC].
- PAIZO PUBLISHING. *Pathfinder*. 2009.
- PARDINI, D. *O Problema do Caixeiro Viajante*. 2015. Disponível em: <https://otimizacaonapratca.com/2015/11/09/o-problema-do-caixeiro-viajante/>.
- PATEL, A. *Introduction to the A* Algorithm*. 2014. Disponível em: <https://www.redblobgames.com/pathfinding/a-star/introduction.html>.
- QUANTICFOUNDRY. *Gamer Motivation Profile*. 2021. Disponível em: <https://apps.quantificfoundry.com/pt-br/profiles/gamerprofile/BTraehMZ4epvE7qjJWFesV/>.
- RABIN, S. *Introduction to Game Development*. Boston, EUA: Course Technology, 2010.
- RE-LOGIC. *Terraria*. 2011. [PC].
- REIS, L. J. A.; CAVICHIOLLI, F. R. Dos single aos multiplayer: A história dos jogos digitais. In: . Curitiba, Brasil: [s.n.], 2014.
- SCHELL, J. *The Art of Game Design: A book of lenses*. Pittsburgh, Pensilvânia, EUA: CRC press, 2008.
- SHAKER, N.; TOGELIUS, J.; NELSON, M. J. *Procedural Content Generation in Games: A Textbook and an Overview of Current Research*. [S.l.]: Springer, 2016.
- SHORT, T.; ADAMS, T. *Procedural Generation in Game Design*. Boca Raton, Flórida, EUA: CRC press, 2017. v. 2.
- SUITS, B. *The Grasshopper: Games, Life and Utopia*. Toronto, Canadá: University of Toronto Press, 1978.
- TOGELIUS, J. et al. What is procedural content generation?: Mario on the borderline. In: *Proceedings of the 2nd international workshop on procedural content generation in games*. Copenhagen, Dinamarca: ACM, 2011.
- VALTCHANOV, V.; BROWN, J. A. Evolving dungeon crawler levels with relative placement. 2012.
- WIZARDS OF THE COAST. *Dungeons & Dragons*. 1974.
- YANNAKAKIS, G. N.; TOGELIUS, J. Experience-driven procedural content generation. *International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, 2015.