

Autômatos celulares aplicados na geração procedural de conteúdo em jogos

Lucas Diniz da Costa¹¹

Igor de Oliveira Knop¹²

Resumo

A criação de um jogo envolve fornecer conteúdo ao jogador na forma de roteiros, mapas, ilustrações, animações e progresso de personagens, exigindo profissionais das mais diversas áreas. Para auxiliar na criação deste conteúdo, explora-se o conceito de geração procedural, que consiste em utilizar algoritmos especializados para prover um conteúdo inicial para refinamento por profissionais ou mesmo uso direto no jogo. Este trabalho utiliza autômatos celulares para a criação automática de cavernas em um jogo de exploração de masmorras. Um laboratório de métodos de geração e um protótipo de jogo foram desenvolvidos e, a partir de comportamentos simples, salões são gerados, avaliados e automaticamente conectados como cenário para a exploração pelos jogadores.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Jogos; Geração Procedural de Conteúdo; Autômatos Celulares

Introdução

O mercado de jogos vem se expandindo a cada ano e em 2019 a estimativa é de 2 bilhões e meio de pessoas movimentaram 152 bilhões de dólares em jogos (WIJMAN, 2019). Os primeiros jogos digitais são datados da década de 1970 com objetivo de servir como outro ramo do entretenimento. No início, devido a limitações de processamento e armazenagem, os jogos possuíam mecanismos e comportamentos definidos, com conteúdo e progressão limitados. Entretanto, com o passar dos anos e a evolução da tecnologia, os jogos foram se tornando cada vez mais audaciosos, saindo de equipes formadas basicamente por programadores para grandes times envolvendo diretores criativos, roteiristas, animadores, dubladores, compositores de sons e música, testadores e muitas outras categorias, explorando a dinâmica, a mecânica e a estética para impactar na experiência do jogador.

¹¹ Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil - lucasdinizcosta@ice.ufjf.br

¹² Universidade Federal de Juiz de Fora- igorknop@ice.ufjf.br

Dentro do projeto de um jogo, os profissionais trabalham na criação de conteúdo como desenho de níveis de jogo, recursos gráficos, roteiro e animação de personagens. O projeto de níveis de jogo (em uma tradução livre do inglês, *level design*) é a tarefa para a criação do cenário no qual o personagem controlado pelo jogador se movimenta, estruturação do ambiente, dificuldade do cenário, aplicação das músicas e efeitos sonoros, além dos critérios de exploração e progresso. O roteiro é a elaboração da história, personagens, diálogos e como ela será apresentada ao jogador. A animação atua sobre as ilustrações e modelos de jogo que representam os personagens do roteiro para gerar poses de movimentação e ações que serão realizadas durante o jogo.

A Geração Procedural de Conteúdo (GPC) é a criação de conteúdos de maneira algorítmica com pouca ou nenhuma interferência do usuário (TOGELIUS et al., 2011). No contexto de um jogo digital, seria a utilização de rotinas para acelerar e diversificar o desenvolvimento de ambientes, música, roteiro, personagens, dificuldade e vários outros elementos do jogo. Seu uso busca aumentar a variedade, qualidade e diminuir os custos e tamanho das equipes de criação. As técnicas e algoritmos para GPC mais populares são: autômatos celulares, gramáticas gerativas, algoritmos genéticos e métodos baseados em restrições (LINDEN et al., 2014; SMITH, 2014).

A GPC é explorada para as mais diversas aplicações em jogos digitais. Em Johnson et al. (2010), os autores utilizaram os autômatos celulares para a geração em tempo real de cavernas infinitas em um jogo digital. As gramáticas gerativas buscam criar frases a partir de uma seleção finita de uma lista de regras recursivas, incluindo palavras e símbolos terminais de acordo com Linden et al. (2014). Em Hartsook et al. (2011), foi proposta a utilização de algoritmos genéticos com enfoque na parte de geração de histórias e desenvolvimento dos mapas, podendo tanto ser feita por humanos quanto de maneira computacional e algorítmica. Nesta abordagem é utilizada uma lista de pontos de roteiro que se referem a lugares onde a ação irá ocorrer.

Analisar o comportamento da geração procedural e seu impacto na experiência final do jogador é um problema difícil porque normalmente é feita *ad hoc*. Dessa forma, a questão

“Como a geração procedural afeta na experiência do usuário final?”, apesar de interessante, seria uma questão inatingível inicialmente devido ao grande número de estilos e temas de jogo. Neste trabalho será restringido o estilo de jogo *dungeon crawl*, no qual os jogadores são aventureiros explorando masmorras enquanto aumentam o nível de atributos, habilidades e equipamento. Portanto, a questão que motiva e direciona este trabalho será redigida na forma “Como a geração procedural de mapas em um jogo *dungeon crawl* afeta na experiência final para o jogador?”. Ao investigar esta questão, espera-se que as ferramentas, técnicas e resultados encontrados possam fornecer um caminho inicial para futuramente responder à questão mais geral.

Este trabalho, ainda em andamento, busca um método para a análise de algoritmos de geração de conteúdo para mapas de jogos no estilo *dungeon crawl*. Para tanto, um protótipo é projetado e desenvolvido como um laboratório de métodos de geração de masmorras para *dungeon crawl*, com código fonte aberto, em uma linguagem acessível, no qual o método de geração pode ser selecionado livremente. Nesse ambiente, será implementado inicialmente o método de geração de conteúdo por autômatos celulares para futuramente se definir métricas e ferramentas para coleta de dados de uso para avaliar a experiência do usuário final. Em paralelo, um jogo digital utilizará os mapas gerados para permitir ao jogador explorar o conteúdo criado.

Método

O estado atual deste trabalho consiste de dois artefatos principais: um laboratório de geração digital de mapas¹³ e um jogo digital de exploração¹⁴. Os dois protótipos foram criados como aplicações web em JavaScript que permitem explorar os métodos de criação de cavernas diretamente em um navegador e sua futura evolução em uma linguagem acessível e em franca expansão.

O modelo básico explorado é criado em uma grade discreta em duas dimensões, com células regulares quadradas para a definição dos níveis do jogo. O laboratório é utilizado

¹³ Projeto disponível em: <https://github.com/lucasDinizCosta/dg-ac>

¹⁴ Projeto disponível em: <https://github.com/lucasDinizCosta/automatoCelularGeracaoProcedural>

para definição estudo do método de geração e posteriormente o mesmo código é utilizado em um jogo de exploração de cavernas. O jogo, ainda em estágio bem inicial, exige apenas que o jogador se mova pelas salas colhendo um determinado número de moedas. Quando todas as moedas são coletadas, uma porta para um próximo nível é aberta. Como ponto de tensão, uma quantidade de tempo decrescente é estabelecida para a morte do jogador. Ao coletar as moedas essa quantidade é aumentada.

O laboratório foi implementado com um conjunto inicial de algoritmos de autômatos celulares. Os autômatos celulares, conforme analisado por Castro e Castro (2015), são estruturas comumente utilizadas na matemática, elas representam modelos de expansão encontrados na natureza que foram transpostos para o universo matemático e computacional. Eles se utilizam de uma matriz ou grade de células em que cada célula possui um estado e a ideia é que o estado de uma célula é modificado com base nos seus vizinhos. Inicialmente o algoritmo do *Jogo da vida*, que é um dos comportamentos mais clássicos do assunto, foi implementado com o objetivo de melhor conhecer e verificar na prática a sua aplicação; no entanto, na versão em curso do projeto ele não foi utilizado.

O próximo método foi o proposto por Johnson et al. (2010), que utiliza uma sequência de uso de dois autômatos diferentes. Os autômatos celulares utilizados trabalham com 3 estados diferentes: “piso”, “rocha” e “muro”. Inicialmente, os estados são sorteados aleatoriamente, respeitando uma proporção de cada espaço: foi utilizado que 50% do mapa estará no estado “rocha” e o restante será do tipo “piso” após realizar o posicionamento aleatórios da células do tipo “rocha” serão executados os autômatos celulares.

O primeiro autômato é executado duas vezes de modo que a célula em análise será classificada como “rocha” se o total células vizinhas “rocha” ao redor, com base na vizinhança de Moore (WEISSTEIN, 2005) valendo 1, for maior ou igual a 4 células. A vizinhança de Moore (WEISSTEIN, 2005) busca observar todas as direções ao redor de uma célula central, ou seja, além das direções Norte, Sul, Leste e Oeste, este ainda verifica os campos Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste.

O segundo autômato é executado na tentativa de fechar as salas das cavernas, ou seja, posicionar as células do tipo “muro” no mapa. A regra base seria transformar as células do tipo “rocha” em “muro” caso o número de vizinhos do tipo “piso” seja pelo menos 1, com base na vizinhança de Moore valendo 1.

Após a execução dos autômatos, o mapa começa a se caracterizar melhor como um sistema de cavernas. Entretanto, um novo autômato é executado para retirar o excesso de células “muro” desnecessárias. As únicas células “muro” mantidas são as vizinhas de uma célula “rocha”. Isso dá um melhor aspecto ao mapa final.

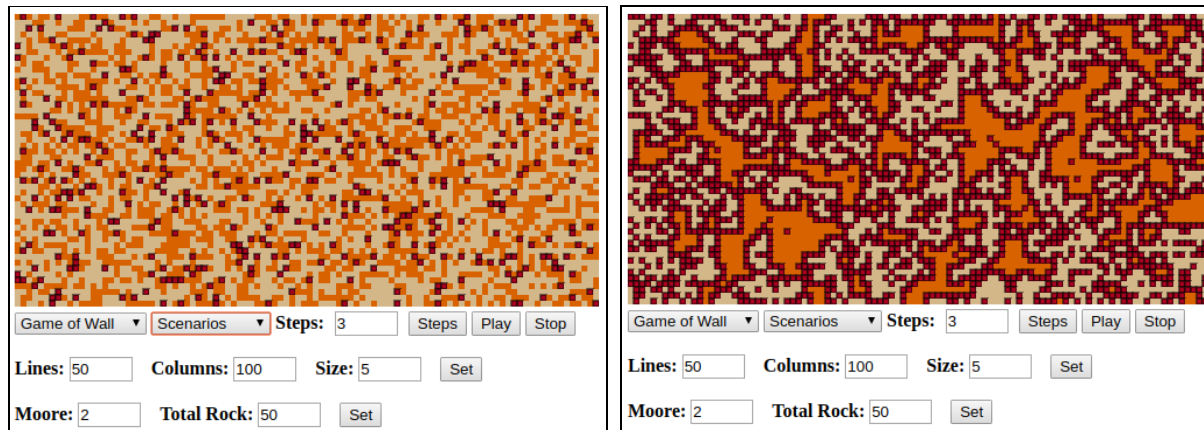
Para a realização do mapeamento e determinar o que seria e quais blocos pertencem a um salão, foi utilizada uma adaptação do algoritmo denominado “flood-fill” (NOSAL, 2008). Esse algoritmo é utilizado para busca de regiões e padrões de cores em imagens, porém neste projeto foi utilizado para determinar que células de modo a identificar os salões. Caso não encontre mais blocos disponíveis, ele incrementa o índice de salas e um novo salão é identificado. Depois da identificação dos salões, há um descarte de salões abaixo de um limiar de blocos, pois aos salões muito pequenos seria difícil atribuir jogabilidade.

Cada salão teve dois blocos sorteados para servirem como teletransportes entre as salas, que denominaremos A e B. Para cada salão, seu teletransporte A é ligado ao teletransporte B de um outro salão não selecionado. Ao percorrer todos os salões, eles se ligam de forma circular para garantir a conexão entre todos os salões. Adicionalmente um bloco de entrada e um de saída do nível são sorteados entre os salões para definir o ponto de entrada do jogador e o ponto de saída para o próximo nível.

Resultados

A implementação do método de geração permitiu criar um conjunto ilimitado de cavernas para a utilização em um jogo digital. A Figura 1 apresenta o protótipo do laboratório com a geração por autômatos, mas sem a aplicação do autômato que remove o excesso de “muro” e realiza o descarte de salões menores. A Figura 2 apresenta o protótipo do jogo

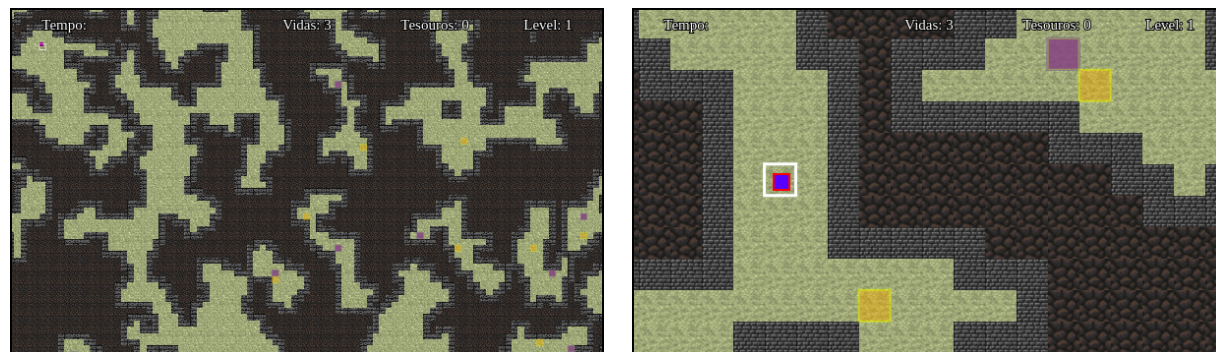
de exploração com um diagrama para a conexão dos teletransportadores e a visão do jogador.



(a)

(b)

Figura 1: Laboratório de métodos de geração: a) mapa gerado aleatoriamente; b) mapa gerado após a execução dos autômatos.



(a)

(b)

Figura 2: Protótipo do jogo: a) mapa gerado pelo método de autômatos, com tele-transportadores conectados para exemplificar a conexão em modo de depuração; b) visão do jogador ao explorar.

O protótipo do jogo ainda não apresenta grandes desafios, mas espera-se incluir inimigos e recompensas. Essa distribuição também será realizada proceduralmente e avaliada em função da experiência do jogador. Contudo, o protótipo já apresenta o posicionamento de salas e geração de cavernas de maneira satisfatória em relação a critérios de jogabilidade.

As propostas futuras envolvem a criação de elementos desafiadores, como inimigos, e recursos interessantes à experiência do jogador, como o fato de coletar moedas e artefatos do ambiente. O que tornará o jogo mais dinâmico é a necessidade de explorar um ambiente

para coletar os elementos e o mesmo ser diferenciado a cada nova partida em decorrência da geração procedural dos mapas.

Discussão

A geração procedural de conteúdo é uma técnica que busca remover, diminuir ou complementar a mão de obra humana na geração de recursos, roteiro e níveis em jogos. Desta forma eleva a quantidade, qualidade de conteúdo para o jogador e diminui o custo de produção do jogo. Este trabalho em andamento apresentou o início de uma busca por um método de avaliação de qualidade da geração de conteúdo com base na jogabilidade e experiência final do jogador.

Um laboratório para experimentação de métodos de geração foi construído e um método de geração de cavernas por autômatos celulares foi implementado e avaliado em um jogo digital de exploração de cavernas. Apesar de a jogabilidade do protótipo ainda se encontrar em estágio inicial, foi possível ter uma primeira impressão de se deslocar pelos salões. A geração de paredes irregulares deu um aspecto coerente com o que se espera de cavernas naturais. Como limitações, temos que as conexões entre os salões são realizadas por “teletransportadores” que são aceitáveis dentro de uma temática fantástica. Esses teleportes são conectados por sorteio em um anel para garantir a conectividade, não sendo necessária a proximidade. Isso aumenta a sensação de exploração, pois acrescenta um dificultador na identificação de posição no mundo de jogo por parte do jogador.

Acrescentar um número maior de conexões entre as salas irá aumentar ainda mais a navegabilidade e melhorar a experiência final de jogo. Outro ponto limitante, definido para ser realizado como próximo passo, é a ligação por corredores físicos entre salões. Esperamos encontrar as células mais próximas entre salões vizinhos e escavar a rocha para criar as conexões. Isso permitirá explorar melhor o progresso espacial do jogador.

Os resultados iniciais motivam a continuidade da investigação, pois novas abordagens de geração podem ser inseridas no protótipo. Ao obter dados suficientes para a definição do

método de avaliação da geração, acredita-se que será uma importante contribuição para a criação de conteúdo para jogos digitais, de mesa e representação.

Referências

- CASTRO, M. L. A.; CASTRO, R. de O. Autômatos celulares: implementações de von Neumann, Conway e Wolfram. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 3, n. 3, p. 89–106, 2015.
- HARTSOOK, K. et al. Toward supporting stories with procedurally generated game worlds. In: IEEE 2011. **IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11)**. [S.l.], 2011. p. 297–304.
- JOHNSON, L.; YANNAKAKIS, G. N.; TOGELIUS, J. Cellular automata for real-time generation of infinite cave levels. In: ACM. **Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games**. [S.l.], 2010. p. 10.
- LINDEN, R. V. D.; LOPES, R.; BIDARRA, R. Procedural generation of dungeons. **IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games**, IEEE, v. 6, n. 1, p. 78–89, 2014.
- NOSAL, E.-M. Flood-fill algorithms used for passive acoustic detection and tracking. In: IEEE 2008. **New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems**. [S.l.], 2008. p. 1–5.
- SMITH, G. The future of procedural content generation in games. In: **Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference**. [S.l.: s.n.], 2014.
- TOGELIUS, J. et al. What is procedural content generation?: Mario on the border-line. In: ACM. **Proceedings of the 2nd international workshop on procedural content generation in games**. [S.l.], 2011. p. 3.
- WEISSTEIN, E. W. **Moore neighborhood**. From MathWorld—A Wolfram Web Resource, 2005. Disponível em: mathworld.wolfram.com/MooreNeighborhood.html.
- WIJMAN, T. **The Global Games Market Will Generate \$152.1 Billion in 2019 as the U.S. Overtakes China as the Biggest Market**. NewZoo, 2019. Disponível em: <https://newzoo.com/insights/articles/the-global-games-market-will-generate-152i>