

Uma Arquitetura para Ajuste Dinâmico de Dificuldade em Jogos Single Player Baseada no Loop MAPE-K

Carlos H. R. Souza^{1,2}, Luciana O. Berretta², Sérgio T. Carvalho²

¹Instituto de Inovação em Gestão – Universidade Federal de Goiás (UFG)

²Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)

{carlosrorato,luciana.berretta,sergiocarvalho}@ufg.br

Resumo. O Ajuste Dinâmico de Dificuldade (DDA) busca ajustar o desafio em jogos digitais de forma personalizada. Entretanto, a maioria das abordagens existentes é restrita a gêneros específicos ou se apoia em estratégias singulares, dificultando a generalização das soluções desenvolvidas, seja em termos de jogos, gêneros e/ou mecânicas diferentes. Este trabalho apresenta o DDA-MAPEKit, uma arquitetura e framework (Unity Engine) baseada no ciclo MAPE-K para mecanismos de DDA modulares e extensíveis. Ao modularizar a dificuldade por grupos de mecânicas e combinar técnicas baseadas em regras, dados e Inteligência Artificial, o DDA-MAPEKit fornece uma espinha dorsal adaptativa. Experimentos com jogadores simulados em quatro jogos (CicloExergame, Endless SpaceShooter, Kailius e Match3) evidenciaram melhorias na regulação do desempenho e redução de variabilidade. Esses resultados foram complementados por avaliação com pacientes no CicloExergame e por estudo com desenvolvedores/game designers, oferecendo múltiplas perspectivas de evidência sobre a proposta.

Palavras-Chave Jogos Digitais, Ajuste Dinâmico de Dificuldade, Sistemas Autoadaptativos.

Abstract. Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) aims to tailor challenge levels in digital games to individual players. However, most existing approaches are limited to specific genres or rely on single strategies, hindering the generalization of solutions across different games, genres, and mechanics. This work presents DDA-MAPEKit, an architecture and framework (implemented in the Unity Engine) based on the MAPE-K loop for modular and extensible DDA mechanisms. By modularizing difficulty through groups of mechanics and combining rule-based, data-driven, and Artificial Intelligence techniques, DDA-MAPEKit provides an adaptive backbone for dynamic game balancing. Experiments with simulated players across four games (CicloExergame, Endless SpaceShooter, Kailius, and Match3) showed improvements in performance regulation and reduced variability. These findings were further complemented by an evaluation with patients in CicloExergame and by a study with developers/game designers, providing multiple sources of evidence for assessing the proposed approach.

Keywords Jogos Digitais, Ajuste Dinâmico de Dificuldade, Sistemas Autoadaptativos.

1. Introdução

O equilíbrio entre desafio e habilidade é um fator crítico para retenção e satisfação em jogos digitais [Fisher and Kulshreshth 2024]. A percepção de dificuldade do jogador influencia diretamente o engajamento e a diversão, e desequilíbrios podem levar à frustração

ou tédio [Rahimi et al. 2023]. Estratégias de Ajuste Dinâmico de Dificuldade (DDA) tentam adaptar jogos em tempo real para manter esse equilíbrio [Fisher and Kulshreshth 2024, Segundo et al. 2019], mas muitos mecanismos propostos são *ad hoc*, pouco moduláveis ou focados em gêneros específicos. Observa-se na literatura uma carência de soluções generalizáveis, capazes de combinar diferentes estratégias de adaptação e de abranger múltiplas mecânicas de jogo [Seyderhelm and Blackmore 2021, Mortazavi et al. 2024].

Pesquisas recentes evidenciam que a área continua evoluindo com a incorporação de técnicas de Inteligência Artificial e incorporação de diversas fontes de dados [Seyderhelm and Blackmore 2021, Mortazavi et al. 2024], apontando, porém, para a necessidade de abordagens híbridas, para ampliar as vantagens e a generalização das soluções propostas [Seyderhelm and Blackmore 2021, Mortazavi et al. 2024]. Esses estudos recentes, portanto, motivam a necessidade de arquiteturas modulares que permitam incorporar diferentes algoritmos e fontes de dados de forma unificada.

Esta pesquisa parte da hipótese de que arquiteturas híbridas de DDA, estruturadas como sistemas autoadaptativos, podem superar limitações de soluções monolíticas. Inspirada nos paradigmas de sistemas autoadaptativos, a arquitetura proposta utiliza o ciclo MAPE-K (Monitoramento, Análise, Planejamento, Execução e Conhecimento) como espinha dorsal, permitindo a construção de múltiplos *loops* de adaptação para diferentes aspectos da jogabilidade.

1.1. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é investigar os impactos da integração de abordagens de ajuste dinâmico de dificuldade, por meio de uma arquitetura modular fundamentada no *loop* MAPE-K e nos princípios de sistemas autoadaptativos, na construção de mecanismos de DDA generalizáveis.

A partir desse objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Explorar os conceitos fundamentais relacionados ao ajuste dinâmico de dificuldade e aos sistemas autoadaptativos, com ênfase em sua relevância para mecanismos adaptativos em jogos.
- Identificar e analisar o estado da arte das propostas atuais para implementação de DDA em jogos digitais.
- Propor uma arquitetura para integração de múltiplos métodos ou estratégias de DDA, utilizando um design modular e autoadaptativo baseado no *loop* MAPE-K.
- Avaliar a viabilidade técnica e prática da abordagem proposta.
- Avaliar a abordagem proposta como uma solução eficaz e generalizável de DDA em diferentes mecânicas, jogos e gêneros.
- Analisar, sob a perspectiva do desenvolvimento de jogos, o grau de generalização percebida, as implicações da adoção do *loop* MAPE-K e a aplicabilidade prática da abordagem proposta.

1.2. Metodologia

O método desta pesquisa foi conduzido como um processo iterativo e orientado a evidências, caracterizado principalmente como *design research*, apoiado por diferentes abordagens complementares. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica ampla, seguida de uma revisão sistemática para mapear o estado da arte em ajuste dinâmico de dificuldade (DDA), além da análise de sua convergência com o *loop* MAPE-K. Com base nesse arcabouço, foi proposta a arquitetura DDA-MAPEKit, desenvolvida incrementalmente a partir do modelo

canônico, implementada como um framework na Unity Engine¹ e refinada por ciclos sucessivos de experimentação.

A arquitetura evoluiu desde uma estrutura básica (com módulos de monitoramento, análise, planejamento e execução) até a incorporação de modelagem de jogadores, testes em diferentes gêneros e técnicas baseadas em dados e Inteligência Artificial, incluindo Large Language Models. A validação ocorreu por meio de experimentos com jogadores simulados e usuários, avaliação de desempenho computacional e estudos envolvendo múltiplos jogos e desenvolvedores.

2. Arquitetura DDA-MAPEKit

O *loop* MAPE-K constitui a base arquitetural do sistema, organizando seus componentes segundo papéis canônicos e apoiando-se em padrões de sistemas autoadaptativos, como SAS Monitor, Analyzer, Plan e Execute [Abuseta and Swesi 2015, Krupitzer et al. 2020]. A comunicação entre esses elementos é mediada pelo padrão *Observer*, permitindo a propagação dinâmica de eventos: o Monitor recebe dados dos Sensors, aciona o Analyzer em caso de anomalias, que por sua vez notifica o Planner, responsável por gerar planos executados pelo Executor via Effectors. O funcionamento do *loop* envolve a coleta de dados (ContextElements), verificação de Thresholds, identificação de Symptoms e geração de AdaptationRequest, culminando na definição de ações por meio de regras associadas a políticas adaptativas.

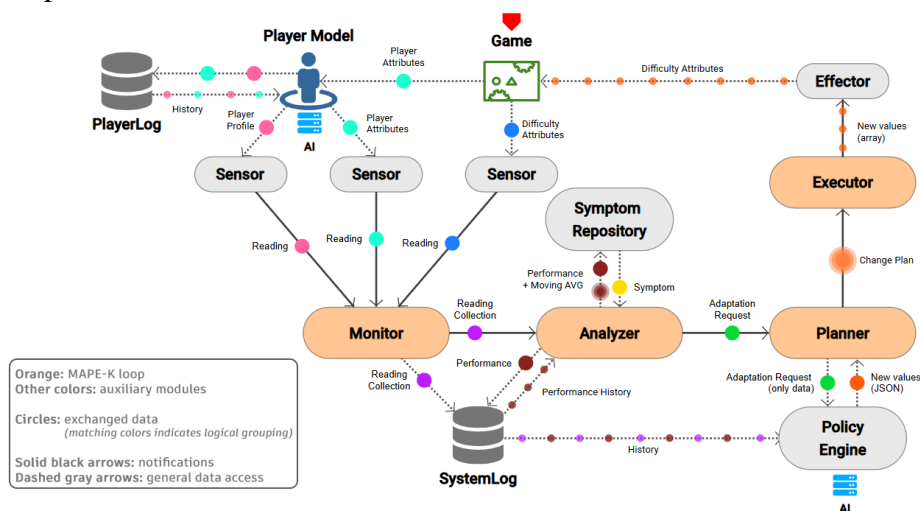


Figura 1. Arquitetura DDA-MAPEKit.

Na arquitetura proposta (Figura 1), os Sensors capturam dados do jogo e do jogador, estruturados em um PlayerModel que pode incorporar IA, como LLMs, para inferência dinâmica de perfis. O Analyzer avalia o desempenho com base em dados atuais e históricos, identificando sintomas relevantes. O Planner, apoiado por um PolicyEngine baseado em IA, gera respostas adaptativas dinâmicas em JSON, considerando o contexto corrente e histórico. Essas ações são organizadas em um ChangePlan, executadas pelo Executor e aplicadas pelos Effectors no jogo. Essa abordagem favorece adaptabilidade, extensibilidade e suporte a estratégias híbridas de adaptação.

3. Jogos e Configurações Experimentais

Para avaliar a abordagem, foram conduzidos estudos em quatro títulos:

¹<https://unity.com>

- **CicloExergame**: exergame para telereabilitação baseado em bicicleta ergométrica; a mecânica principal de pontuação envolve coleta de moedas/bonificações e desvio de obstáculos. O jogo foi usado em experimentos com jogadores simulados e em avaliação complementar com dez pacientes reais.
- **Endless SpaceShooter**: jogo 2D em que o jogador controla uma nave; experimentos simulados ajustaram números de inimigos, asteroides e itens especiais via DDA.
- **Kailius**: protótipo *hack-and-slash* com combate corpo-a-corpo e coleta de recursos; o DDA ajustou taxas de surgimento de inimigos e recompensas.
- **Match3**: jogo de quebra-cabeça estilo *match-3*; o DDA modificou tempos de queda de peças e distribuição de cores para equilibrar dificuldade.

Ao longo da tese, foram realizadas rodadas de experimentos preliminares (com partidas simuladas, pacientes em contexto de reabilitação – no caso do CicloExergame –, experimentos envolvendo desempenho computacional em termos de CPU e RAM, avaliação de perfilagem e modelagem de jogador), que permearam o processo de desenvolvimento da arquitetura proposta. Após a terceira iteração, foram conduzidos experimentos finais, já com a arquitetura totalmente desenvolvida e implementada na Unity Engine.

Na validação final, para cada jogo foram executadas partidas com e sem DDA, registrando-se métricas de pontuação, tempo de sessão, sobrevivência, conclusão de objetivos e variabilidade, conforme a natureza de cada jogo. Além dos experimentos com jogadores simulados, o CicloExergame foi avaliado com pacientes reais em contexto de telereabilitação, e a arquitetura também foi avaliada por desenvolvedores quanto à sua aplicabilidade prática.²

4. Resultados Obtidos

4.1. Equilíbrio de Desempenho e Variabilidade

No **CicloExergame**, a validação final com jogadores simulados mostrou que o DDA-MAPEKit aumentou a pontuação média final de 70,5 para 125,5 pontos (+78%), reduziu a variabilidade média de 37,4 para 8,6 (-76%) e elevou a taxa de alcance do objetivo de 16% para 35% (+19 p.p.). As curvas de pontuação tornaram-se mais progressivas e homogêneas, indicando melhor regulação do desempenho sem eliminar o desafio, uma vez que a conquista do objetivo continuou ocorrendo predominantemente próximo ao final das partidas.

No **Endless SpaceShooter**, a validação final indicou aumento da pontuação média de 752 para 1310 pontos (+74%) e redução do desvio-padrão de 230 para 180 pontos (-22%). O tempo médio de sobrevivência aumentou de 230s para 600s (+161%), e a proporção de jogadores que sobreviveram por pelo menos 400s passou de 18% para 93%. Esses resultados indicam maior estabilidade e consistência na progressão de jogo, sem inflar artificialmente a pontuação.

Para **Kailius** e **Match3**, o DDA-MAPEKit igualmente reduziu a variabilidade de desempenho, aumentou a taxa de conclusão de objetivos e mostrou aplicabilidade transversal entre gêneros.

4.2. Avaliação com Pacientes

Os dez pacientes que utilizaram o **CicloExergame** tinham entre 30 e 80 anos, majoritariamente sem experiência em computadores. Questionários revelaram total desacordo com

²Os estudos com participantes humanos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFG (CAAE 35651120.6.0000.5083 e 76019223.7.0000.5083).

afirmações de frustração, irritação ou tédio. Todos concordaram que o jogo era divertido e compreensível, e 90% sentiram o nível de dificuldade apropriado às suas habilidades. Quanto à motivação, 90% concordaram que a atividade foi estimulante; nenhum paciente percebeu o jogo como demasiado fácil ou difícil. Observou-se necessidade de período de familiarização, mas o mecanismo de adaptação contribuiu para engajamento e motivação no contexto de reabilitação.

4.3. Impacto no Desempenho Computacional

O experimento de desempenho demonstrou que a inclusão de *loops* DDA gera decréscimo gradual no FPS médio (queda de 16% com três *loops*), mas mesmo assim os valores mantiveram-se muito acima dos 60 FPS considerados ideais. O *frame time* médio aumentou ligeiramente (0,0068 s para 0,0081 s) e o desvio-padrão permaneceu dentro de limites aceitáveis. Não foram observadas mudanças significativas no consumo de CPU e RAM. Projeções preliminares apontaram que mais de dez *loops* simultâneos poderiam degradar a taxa de quadros para níveis indesejados, sugerindo prudência na quantidade de mecanismos ativos.

4.4. Modelagem de Jogador e Mecanismo de Políticas

Ao incorporar perfis de jogador, o **Player Model** capturou atributos como vidas, média de pontuação por tempo e precisão de ataques, permitindo diferenciar estratégias de adaptação para perfis *Achiever*, *Explorer* e *Killer*. Na comparação entre abordagem baseada em regras e abordagem com **modelo de linguagem** para o *policy engine*, observou-se que o modelo de linguagem sugeriu ajustes semelhantes aos definidos manualmente, porém com maior granularidade em situações fora dos cenários previstos pelo projetista. Isso indica potencial de IA generativa para apoiar designers na criação de políticas adaptativas complexas.

5. Contribuições e Perspectivas

Diversas contribuições emergiram desta pesquisa. As mais relevantes concentram-se na arquitetura desenvolvida e avaliada (bem como no *framework*, construído na Unity Engine), que responde às demandas relacionadas ao ajuste dinâmico de dificuldade. Há também contribuições secundárias decorrentes da publicação de estudos que abordam diferentes aspectos surgidos durante a concepção do *framework* [Souza et al. 2025b, Souza et al. 2025c, Souza et al. 2025a]. Além disso, destaca-se como contribuição a forma como concebeu-se a dificuldade do jogo: de maneira modularizada e multifatorial, e não monolítica. Defende-se ainda que os avanços podem ser compreendidos a partir do entendimento de que um jogo com DDA constitui um sistema autoadaptativo (o que possibilita a incorporação de conhecimentos de outras áreas) e do uso do *loop* MAPE-K (um recurso consolidado nesse domínio) da maneira como foi empregado: como espinha dorsal, integrando múltiplas abordagens para compor a solução final.

Limitações incluem a avaliação com amostras pequenas de jogadores e agentes, a dependência de parâmetros empíricos para algumas métricas de performance e a ausência de integração nativa com motores além da Unity Engine. Futuras investigações podem explorar a aplicação do DDA-MAPEKit em contextos multijogador, incorporar algoritmos de aprendizado por reforço para descoberta automática de políticas, expandir a integração com modelos de linguagem para geração de conteúdo dinâmico e adaptar a arquitetura a outros motores (Godot, Unreal). Acredita-se que essa linha de pesquisa possa influenciar o design de jogos industriais e acadêmicos, contribuindo para experiências mais inclusivas e motivadoras.

Referências

- Abuseta, Y. and Swesi, K. (2015). Design patterns for self adaptive systems engineering. *International Journal of Software Engineering & Applications*, 6(4):11–28.
- Fisher, N. and Kulshreshth, A. K. (2024). Exploring dynamic difficulty adjustment methods for video games. *Virtual Worlds*, 3(2):230–255.
- Krupitzer, C., Temizer, T., Prantl, T., and Raibulet, C. (2020). An overview of design patterns for self-adaptive systems in the context of the internet of things. *IEEE Access*, 8:187384–187399.
- Mortazavi, F., Moradi, H., and Vahabie, A.-H. (2024). Dynamic difficulty adjustment approaches in video games: a systematic literature review. *Multimedia Tools and Applications*, 83(35):83227–83274.
- Rahimi, M., Moradi, H., Vahabie, A.-H., and Kebriaei, H. (2023). Continuous reinforcement learning-based dynamic difficulty adjustment in a visual working memory game. *arXiv preprint*.
- Segundo, M. C. et al. (2019). Difficulty adjustment in exergames for rehabilitation. *IEEE Transactions on Games*.
- Seyderhelm, A. J. A. and Blackmore, K. (2021). Systematic review of dynamic difficulty adaption for serious games: The importance of diverse approaches. *SSRN Electronic Journal*, 1(1):1–45.
- Souza, C., Berretta, L., and Carvalho, S. (2025a). Player modeling and large language models: An interaction-based approach. In *Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 630–641, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, S. S., Berretta, L. O., and Carvalho, S. T. (2025b). Extending a MAPE-K loop-based framework for dynamic difficulty adjustment in single-player games. *Entertainment Computing*, 52:100842.
- Souza, C. H. R., Nascimento, D. F., Berretta, L. O., and Carvalho, S. T. (2025c). Solutions for dynamic difficulty adjustment in digital games: A systematic literature review. *Entertainment Computing*, 55:101041.