

Álgebra Linear como Elemento de Jogabilidade através de Ressonância Narrativo-Mecânica e Interfaces Diegéticas

Linear Algebra as a Gameplay Element through Narrative-Mechanical Resonance and Diegetic Interfaces

Douglas Lima¹, Fernando F. Dantas¹, Davi L. Rodrigues¹, Rafael F. Ivo¹

¹Universidade Federal do Ceará (UFC) – Russas, CE – Brasil

{douglaslima29, fernandodantas}@alu.ufc.br,
{davidimarodrigues, rafaelivo}@gmail.com

Abstract. Objective: This paper presents elements that integrate Linear Algebra concepts into a puzzle game in a way that makes this integration natural and less perceptible to the player. **Methodology:** Principles of narrative-mechanical resonance and diegetic interfaces were applied to integrate coordinate system visualization, vector manipulations, geometric transformations, and other related topics into gameplay tools. **Expected Results:** Preliminary validations indicate that this integration reduces the difficulties of complex mathematical themes while increasing player immersion within the game universe.

Keywords Game Design, Diegetic Interface, Linear Algebra, Game Feel, Narrative-Mechanical Resonance.

Resumo. Introdução: A combinação de conteúdo educacional com elementos lúdicos, como jogos, frequentemente enfrenta uma desconexão entre os elementos pedagógicos e as mecânicas de jogo, resultando no efeito "brócolis coberto de chocolate". **Objetivo:** Este artigo apresenta elementos que integram conceitos de Álgebra Linear em um jogo de quebra-cabeça (puzzle) de forma que essa integração seja natural e menos perceptível ao jogador. **Metodologia:** Aplicaram-se princípios de ressonância narrativo-mecânica e interface diegética para integrar visualização de sistemas de coordenadas, manipulações vetoriais, transformações geométricas e outros assuntos relacionados em ferramentas de gameplay. **Resultados Esperados:** Validações preliminares indicam que essa integração reduz as dificuldades de temas matemáticos complexos ao mesmo tempo que aumenta a imersão do jogador no universo do jogo.

Palavras-Chave Design de Jogos, Interface Diegética, Álgebra Linear, Game Feel, Ressonância Narrativo-Mecânica.

1. Introdução

A integração de conteúdos educativos em entretenimento digital enfrenta o desafio de manter o fluxo (*flow*) do jogador [Csikszentmihalyi 1990], evitando o efeito "brócolis coberto de chocolate", onde aprendizado e diversão operam isoladamente. Este trabalho fundamenta-se na operacionalização da Ressonância Narrativo-Mecânica [Hocking 2007, Brice 2011] como framework pedagógico para o ensino de Álgebra Linear, transformando a mecânica na própria linguagem da narrativa. Ao eliminar a barreira entre aprender e

jogar, permite-se que o rigor matemático sirva de alicerce para um mundo ficcional coeso, no qual a lógica de sistemas é indissociável da imersão sensorial.

Vinculado a uma iniciativa de extensão universitária para mitigar o desinteresse em disciplinas de exatas [Lopes et al. 2022], o projeto propõe transpor conceitos de álgebra linear para dentro de um jogo de mistério *sci-fi* com visão isométrica, onde conceitos como vetores e transformações lineares são usados como mecânica para soluções de *puzzles*. Como forma de integrar esse conteúdo na história do jogo, um dispositivo denominado Taranis é utilizado pela protagonista, o que a permite modificar o ambiente para avançar em fases e solucionar uma trama conspiratória. Este trabalho expõe como o *design* diegético e as táticas de imersão convertem o rigor lógico da matemática em experiência lúdica com estética interessante, baseando-se em uma versão preliminar voltada à validação de mecânicas centrais e de uma *pipeline* que integra ensino, pesquisa e prática profissional.

2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

A base deste estudo compreende o jogo como um sistema dual que equilibra o real e o ficcional. Segundo Huizinga (1938), o homem é definido como *Homo Ludens* — o ser que joga — e sua atividade ocorre no "Círculo Mágico", espaço onde leis cotidianas cedem lugar a regras próprias para experimentação sem riscos reais. Videogames, como artefatos *Half-Real* [Juul 2005], integram regras lógicas a mundos ficcionais que lhes conferem significado. No *Projeto V*, essa dualidade eleva a Álgebra Linear a leis físicas da narrativa, tornando o erro matemático um dado técnico de exploração e sobrevivência. A integração eficaz exige simbiose entre ação e percepção visual. A Interface Diegética utiliza elementos do universo narrativo, percebidos como ferramentas reais pelo avatar e pelo jogador [Fagerholt and Lorentzon 2009]. A Ressonância Narrativo-Mecânica ocorre quando interface e mecânicas vibram na frequência da história, eliminando a barreira entre aprender e jogar. Adicionalmente, o *Game Feel* [Swink 2008] provê o polimento sensorial para que a abstração algébrica seja sentida como manipulação física tátil e gratificante.

Trabalhos nacionais indicam que a eficácia pedagógica em exatas advém da transposição de conteúdos passivos para interações ativas. Estudos como os de Silva et al. (2024), sobre transformações geométricas, e Savi and Ulbricht (2008), sobre benefícios da imersão, corroboram que o engajamento cresce quando o rigor acadêmico é legitimado pela funcionalidade no *gameplay*. O diferencial do dispositivo Taranis reside na operacionalização de ciclos de *feedback* e competência [Werbach and Hunter 2012], transformando o domínio de vetores em habilidade essencial do avatar para desvendar a trama narrativa.

3. Integração entre Conteúdo Pedagógico e *Gameplay*

Propõe-se, neste trabalho, a aplicação da Ressonância Narrativo-Mecânica para descrever o estado de simbiose absoluta em que a mecânica *core* de um jogo e sua narrativa ambiental vibram na mesma frequência semântica e lógica. Diferente da harmonia ludonarrativa [Hocking 2007], a ressonância implica que a mecânica educa sobre o mundo, e o mundo exige o domínio da mecânica para ser revelado. No *Projeto V*, a Álgebra Linear é o pincel que soluciona o mistério. Ao usar matrizes de rotação

para alinhar receptores, o jogador restaura a lógica interna de uma instalação científica, tornando a matemática a ponte de comunicação definitiva entre usuário e ambiente virtual [Schell 2008].

Esta ressonância é sustentada por interfaces diegéticas [Fagerholt and Lorentzon 2009]. Ao contrário de *HUDs* (*Heads-Up Display*) tradicionais, que aumentam a carga cognitiva extrínseca [Sweller 1988], o dispositivo Taranis projeta vetores e eixos diretamente sobre o cenário, conforme detalhado na Figura 1. Essa integração canaliza o esforço mental exclusivamente para a resolução de problemas espaciais, promovendo o aprendizado invisível. O jogador opera vetores para investigar anomalias, tornando a retenção pedagógica um subproduto natural da imersão profunda na realidade física do jogo.

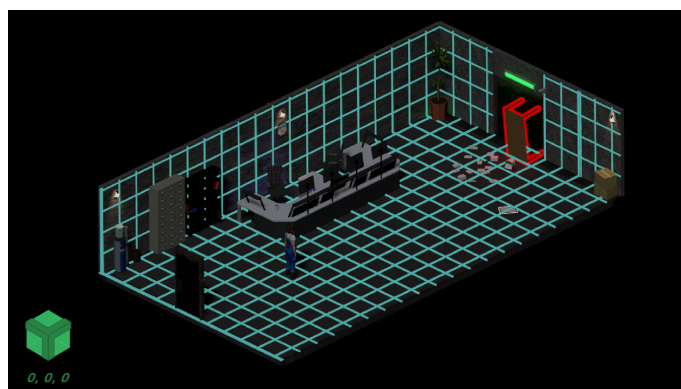


Figura 1. Detalhamento da interface diegética do Taranis. Os vetores de transformação são projetados em tempo real sobre os objetos, permitindo que o jogador visualize a matemática como uma ferramenta de manipulação física do cenário.

4. Imersão e Percepção do Jogador

Um diferencial crítico para a imersão e satisfação em jogos de *puzzle* é a sensação tátil de controle, definida tecnicamente como *Game Feel*. Swink (2008) descreve essa sensação como o resultado de comandos precisos, respostas imediatas e polimento estético (*juice*) que criam uma ilusão física de presença e peso no ambiente virtual. No *Projeto V*, desenvolvido no *Unity*, a aplicação de transformações lineares possui uma resposta sensorial robusta, essencial para a camada de polimento e imersão técnica. A matemática no *Nodo Zeta* não é estática ou puramente textual; ela é vibrante e reativa ao toque do jogador. Ao realizar uma translação vetorial em um objeto de grande massa no cenário, o sistema responde com curvas de aceleração senoidais, distorções cromáticas holográficas e vibrações de baixa frequência que transmitem a inércia do objeto manipulado (Figura 2).

Essa sinergia entre o cálculo lógico e o *feedback* sensorial permite que o jogador deixe de "resolver uma equação" e passe a "sentir o espaço" e suas propriedades métricas. A fenomenologia do controle matemático aqui apresentada argumenta que o aprendizado de disciplinas de exatas é facilitado quando o cérebro recebe confirmações multissensoriais imediatas da lógica aplicada. O *game feel* atua como o elo fenomenológico que converte a abstração algébrica em uma extensão dos sentidos do



Figura 2. Representação da narrativa ambiental no Nodo Zeta. A arquitetura isométrica e a iluminação volumétrica são projetadas para destacar anomalias estruturais que exigem intervenção matemática direta via dispositivo Taranis.

jogador. Através de efeitos de *screenshake* sutil, partículas reativas à magnitude do vetor e *design* de som procedural que varia com a frequência da operação, o Taranis deixa de ser uma interface de *software* para se tornar um instrumento técnico verossímil nas mãos da protagonista, validando a eficácia do *design* emocional sobre o engajamento intelectual.

5. Implementação e Desenvolvimento

O desenvolvimento técnico do projeto foi realizado no motor gráfico *Unity*, utilizando *C#* para a lógica e *Shader Graph* para efeitos diegéticos. A interação ocorre via *mouse*, permitindo a movimentação da personagem e a manipulação precisa de vetores no espaço tridimensional. A implementação da Álgebra Linear estruturou-se em três eixos que ditam a lógica dos quebra-cabeças: (I) Sistemas de Coordenadas e Vetores: modelados como elementos ativos, permitem ao jogador, via dispositivo Taranis, manipular vetores de translação para mover ativos em R^3 , acionando gatilhos como a abertura de portas ou sistemas de contenção. (II) Transformações Geométricas: utiliza matrizes de rotação e escala para o alinhamento de receptores e sensores espaciais, onde o ajuste de ângulos restaura a funcionalidade de setores degradados. (III) Relações Métricas e Projeções: *puzzles* avançados aplicam distância euclidiana e projeções para sincronizar frequências; a precisão métrica determina a estabilidade de anomalias, exigindo o uso de magnitude e direção vetorial para harmonizar o sistema e permitir a progressão narrativa.

6. Resultados Preliminares

A validação da versão preliminar do *Projeto V* fundamentou-se em testes de usabilidade e ergonomia cognitiva sob o ciclo de *Design* Centrado no Usuário (UCD) com a participação de 40 voluntários, visando a verificação de conceitos fundamentais antes da expansão do produto. O processo envolveu demonstrações práticas e testes de estresse em eventos acadêmicos no campus, como a SESCOOP e a Feira das Profissões, onde coletaram-se *feedbacks* qualitativos e quantitativos sobre a intuitividade das mecânicas de manipulação vetorial.

Complementarmente, o projeto foi avaliado por especialistas no CAJU 2025 via relatório técnico e *pitch*. Os dados permitiram identificar melhorias na interface e implementar ajustes diretos na versão, conforme sintetizado na Tabela 1. Os resultados

Tabela 1. Síntese de *Feedbacks* Coletados e Ajustes Implementados na Versão Atual

Categoria	<i>Feedback</i> do Usuário	Resolução Implementada	Técnica
Estética Visual	Fidelidade visual e atmosfera imersiva destacadas positivamente.	Refino de <i>shaders</i> volumétricos e polimento da iluminação dinâmica.	
UX e Interação	Barreira de aprendizado elevada na manipulação inicial do Taranis.	Implementação de <i>gizmos</i> vetoriais e indicadores de direção contextuais.	
Agência Narrativa	Demanda por maior profundidade na exposição da <i>lore</i> e <i>worldbuilding</i> .	Expansão da densidade de itens colecionáveis e registros ambientais.	
Cinestesia (<i>Game Feel</i>)	Percepção satisfatória de inércia e volume espacial nas manipulações.	Recalibração das curvas de aceleração física e resposta de entradas.	
<i>Design</i> de Som	Necessidade de <i>feedback</i> auditivo reativo às transformações matemáticas.	Integração de camadas sonoras procedurais vinculadas à magnitude vetorial.	
Arquitetura de Níveis	Desorientação pontual na navegação isométrica em setores complexos.	Ajuste na composição de cena e uso de iluminação de guiaça (<i>wayfinding</i>).	

indicam que indicadores visuais reduziram a barreira de entrada ao conteúdo STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), enquanto o *feedback* tátil mostrou-se essencial para a percepção de realismo e imersão espacial no ambiente simulado.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

A proposta apresentada demonstra que o uso da Ressonância Narrativo-Mecânica permite transformar o ensino de Álgebra Linear em uma jornada investigativa atraente e memorável. O conceito de Ressonância Narrativo-Mecânica aqui introduzido serve como um *framework* de *design* para futuros desenvolvedores que desejam unir narrativa e pedagogia de forma indissociável, sem comprometer o fluxo de jogo. O *Projeto V* prova que a matemática, quando apresentada através de interfaces diegéticas e um *game feel* satisfatório, deixa de ser um obstáculo pedagógico para se tornar uma linguagem universal de exploração e descoberta científica.

Conclui-se que o *design* de sistemas, quando fundamentado em princípios de imersão fenomenológica, pode ser uma poderosa ferramenta de transformação educacional e social. A integração da Álgebra Linear no *Projeto V* reside na recusa em simplificar o conteúdo matemático, optando por dar a ele um propósito dramático e funcional dentro da trama. A evidência gerada aponta que a estética e a lógica não são campos opostos, mas componentes sinérgicos capazes de elevar o patamar do entretenimento digital educativo, contribuindo para a formação de indivíduos mais criativos e proficientes frente aos desafios contemporâneos da tecnologia. Como trabalhos futuros, planeja-se aplicar o modelo a outros gêneros narrativos e conduzir estudos longitudinais com pré e pós-testes quantitativos para avaliar a retenção do conhecimento matemático.

Referências

- Brice, M. (2011). Ludonarrative resonance. Mattie Brice: Game Critic.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial.
- Fagerholt, E. e Lorentzon, M. (2009). Beyond the HUD: User interfaces for increased player immersion in FPS games. Technical report, Chalmers University of Technology.
- Hocking, C. (2007). Ludonarrative dissonance in bioshock. Click Nothing.
- Huizinga, J. (1938). *Homo Ludens: O Jogo como Elemento da Cultura*. Perspectiva, São Paulo.
- Juul, J. (2005). *Half-Real: Videogames between Real Rules and Fictional Worlds*. MIT Press.
- Lopes, S. M., Silva, A. M., e Fernandes, C. L. (2022). The role of games in engineering education. *Journal of Educational Technology*, 25(1).
- Savi, R. e Ulbricht, V. R. (2008). Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. *Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE)*, 6(1).
- Schell, J. (2008). *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. CRC Press.
- Silva, D., Nipo, D., e Filho, S. (2024). Tessera: Concepção e avaliação de um jogo de tabuleiro sobre transformações geométricas. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, Porto Alegre. SBC.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2):257–285.
- Swink, S. (2008). *Game Feel: A Game Designer's Guide to Virtual Sensation*. Morgan Kaufmann.
- Unity Technologies (2024). Unity real-time development platform. v. 2022.3 lts.
- Werbach, K. e Hunter, D. (2012). *Gamificar: Como a gamificação motiva as pessoas a fazerem coisas extraordinárias*. Elsevier.