

# N-Craft: Ferramenta Virtual e Imersiva Baseada em Minecraft para suporte no Ensino de Arquitetura e Organização de Computadores

Enzo Weder Moreira Amorim<sup>1</sup>, Maria Eduarda Teixeira Mendes<sup>1</sup>,  
Diego Nunes Molinos<sup>1</sup>, Fernanda Maria da Cunha Santos<sup>1</sup>, Rafael Dias Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Computação (FACOM) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
Uberlândia, MG - Brasil

{enzoweder, duda\_mendes, diego.molinos, fmcsantos, rafael.araujo}@ufu.br

**Abstract.** *This work describes the design of a virtual learning tool based on the Minecraft platform to assist Computer Architecture and Organization classes. By incorporating gamification concepts and leveraging Minecraft's immersive nature, students can engage with virtual processor components, which helps them learn complex concepts more effectively. Initial results suggest that the tool is effective in supporting the teaching of AOC, covering topics ranging from basic processor structures to instruction execution flow.*

**Resumo.** *Este estudo descreve o desenvolvimento de uma ferramenta virtual inovadora baseada na plataforma Minecraft, concebida para facilitar a aprendizagem em Arquitetura e Organização de Computadores. Empregando conceitos de gamificação e imersão proporcionados pelo Minecraft, a ferramenta possibilita que os alunos explorem e interajam com elementos virtuais do processador, promovendo um aprendizado mais lúdico e prático. Os resultados iniciais sugerem que a ferramenta é viável para apoiar a aprendizagem, abrangendo desde as estruturas básicas do processador até a execução de instruções.*

## 1. Introdução

A metodologia tradicional de ensino superior, contemplada por aulas expositivas, tem sido (re)inventada para atender as necessidades atuais e futuras do processo de aprendizagem. Neste contexto, a gamificação tem contribuído para um aprendizado de forma lúdica, permitindo aos alunos vivenciarem, dentro de um ambiente simulado e controlado, uma experiência única e engajada [Busarello 2016, McDowell and Sambell 1999].

No que tange a gamificação, a plataforma Minecraft oferece diversos recursos para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem, permitindo que os alunos se tornem criadores e jogadores, podendo criar e (re)criar o mundo virtual a partir de sua criatividade, envolvendo-se em uma experiência imersiva [Rodrigues and Batista 2023].

Neste contexto, vários estudos estão sendo conduzidos para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem no ensino superior de computação. [da Silva et al. 2018], [Omuna and Goulart 2023], [dos Santos et al. 2023], [Andrade 2021] e [de França Tonhão et al. 2023]. Embora sejam estudos distintos, estes trabalhos possuem direcionamentos similares, ora examinando a percepção dos alunos sobre os elementos de gamificação e este novo método de aprendizagem, ora

equacionando a capacidade de aprendizado obtido através das ferramentas de estudo baseadas em jogos.

Sob a óptica da aprendizagem na formação superior em computação, a disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) é tida como um desafio para os alunos, pois trata de conteúdos de baixo nível de abstração em relação à outras disciplinas [da Silva et al. 2018]. Por essa razão, uma forma de equilibrar o processo de aprendizagem é através do uso de ferramentas inovadoras para auxiliar o ensino [Junior et al. 2020].

Neste contexto, a literatura destaca o uso de simuladores digitais para mitigar os desafios no processo de aprendizagem em AOC [da Silva et al. 2018], fato é que, essas ferramentas exercitam, de maneira satisfatória, apenas o fluxo de dados do processamento. Embora sejam constantemente atualizadas, essas ferramentas proporcionam uma experiência de imersão limitada e pouco interativa para o aluno.

Diante deste contexto, é essencial uma ferramenta complementar de estudo que incentive um maior engajamento do aluno no processo de aprendizagem. As ferramentas que utilizam conceitos de gamificação são destacadas na literatura e favorecem um aprendizado mais natural e participativo por parte do aluno.

Ante o exposto, a proposta central deste trabalho é a criação de uma ferramenta virtual e imersiva, utilizando recursos de realidade virtual, para apoiar o estudo da disciplina de AOC. Esta ferramenta virtual é pautada nos conceitos de gamificação e na plataforma Minecraft, permitindo ao aluno navegar pelas estruturas que materializam o estilo arquitetônico do processador, compreendendo em profundidade o funcionamento dos elementos básicos da arquitetura. Os resultados preliminares indicam a viabilidade da ferramenta para apoiar o ensino de AOC.

## 2. Referencial Teórico e Trabalhos Relacionados

Ao discutir a inovação no contexto educacional, [SOUZA 2017] enfatiza a necessidade de avançar os métodos de ensino tradicionais, e propõe uma gestão participativa e uma reestruturação do conhecimento, reformulando a relação entre teoria e prática. A gamificação provoca uma ruptura no formato convencional de ensino, transformando o estudante em protagonista do seu aprendizado [SOUZA 2017]. A gamificação vem sendo explorada na literatura [da Silva et al. 2018, Omuna and Goulart 2023, dos Santos et al. 2023, Andrade 2021, de França Tonhão et al. 2023] como ferramenta auxiliar para resolver problemas práticos, estimular o engajamento de público, desenvolver o pensamento construcionista e estimular o processo de auto-aprendizagem no contexto educacional.

Ferramentas de apoio ao ensino vêm sendo desenvolvidas para dar suporte ao ensino superior que, naturalmente é dotado de conteúdos complexos. De acordo com [da Luz Brum et al. 2017], a disciplina de AOC, presente em cursos de computação, exige um grande esforço por parte de alunos e professores, pois aborda conceitos difíceis de absorver através de métodos clássicos de aprendizagem que compreendem estudar circuitos digitais, componentes de *hardware* e linguagem de máquina.

O trabalho de [da Luz Brum et al. 2017] destaca a ferramenta *Flash Augmented Reality Authoring System (FLARAS)*, utilizada para representar o processador Neander [Weber 2000]. Neste trabalho o objetivo principal foi oferecer ao aluno uma visão tri-

dimensional das estruturas internas do processador. Segundo os autores, os alunos que testaram o trabalho revelaram que os conceitos teóricos se tornaram mais claros, o estudo mais interessante e as ferramentas 3D pluralizaram a motivação para aprender.

O trabalho de [da Silva et al. 2018] propôs um simulador que usa realidade aumentada como uma abordagem de gamificação para o ensino dos conceitos de AOC. A proposta do simulador, denominado ARtEMIS (*Augmented REality MIPS Simulator*), foi desenvolvido utilizando *Stack Unity 2017.2.0*, *Vuforia SDK*, *ThinkerCad* e linguagem C#. Os testes do simulador ARtEMIS foram direcionados à usabilidade e utilidade da ferramenta, e os resultados mostraram uma evolução em torno de 60% no processo de aprendizagem dos alunos, como mostrado em [Silva 2019].

Embora o trabalho de [Rodrigues and Batista 2023] não esteja direcionado ao aprendizado em AOC, foi utilizada a plataforma Minecraft para a gamificação do Ciclo de Shewart (Planejar, Executar, Verificar e Agir), o qual busca melhorias em processos no ambiente corporativo. O estudo monitorou e mensurou os resultados alcançados no processo de aprendizagem e retenção de conhecimento em relação aos conceitos teóricos. Os resultados indicaram uma receptividade positiva na atuação da plataforma Minecraft.

Desse modo, os trabalhos citados mostram o quão significativo a gamificação aliada com ambientes virtuais, como o Minecraft, são ferramentas eficientes no processo de ensino. Assim, este projeto apresenta uma inovação no contexto do aprendizado da disciplina de AOC em comparação com trabalhos similares. A ferramenta N-Craft se destaca por oferecer uma visão tridimensional e imersiva do processador, materializando fluxos de dados e controle, bem como instruções. Além disso, N-Craft proporciona aos alunos a possibilidade de navegar livremente pela estrutura e criar novos componentes no ambiente, explorando a jogabilidade do Minecraft.

### **3. Metodologia**

Dado que o objetivo deste trabalho é a criação de uma ferramenta virtual e imersiva utilizando a plataforma Minecraft para auxílio na aprendizagem da disciplina de AOC, o método contemplou as etapas de percepção da adversidade, especificação, desenvolvimento e validação da ferramenta proposta através de um estudo de caso.

#### **3.1. Percepção da Problemática**

É fato que os alunos têm dificuldades em entender lógica de baixo nível e conectar conceitos estudados em AOC à sua experiência. Isso ocorre pois a maioria das disciplinas de computação no ensino superior foca em lógica de alto nível e linguagens de programação correspondentes.

Na revisão bibliográfica foram observadas diversas inovações no ensino de AOC, ora propondo modernizar os métodos existentes de ensino, ora propondo ferramentas inovadoras que exploram a gamificação no contexto de aprendizagem. Esta etapa foi importante para contribuir com o levantamento de requisitos funcionais da ferramenta N-Craft que será detalhado na seção 4.1.

#### **3.2. Especificação e Desenvolvimento**

A etapa de especificação visou atender os requisitos e os objetivos estabelecidos na etapa 3.1. Nesta etapa foi efetuado as definições essenciais para a instituição da fer-

ramenta virtual, que são: (a) o formato de interação com o aluno, (b) os potenciais componentes no contexto de AOC e, (c) os limites e profundidades destes componentes. Com relação ao desenvolvimento da ferramenta virtual, foi utilizado a plataforma Minecraft licenciada para a materialização do projeto arquitetônico do processador Neander [Borges and Silva 2006].

### **3.3. Validação da Ferramenta N-Craft Através de Estudo de Caso**

A verificação da integridade dos componentes desenhados dentro da ferramenta Minecraft, a construção dos fluxos de dados e de controle e a materialização das instruções de máquinas já se configuram como um etapa de validação funcional da ferramenta proposta. Este trabalho ainda contará com um estudo de caso envolvendo os alunos do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação na Universidade Federal de Uberlândia. Será abordado o método de entrevista semiestruturada com sessões individuais de duração entre 20 e 30 minutos. Os participantes serão instruídos a utilizar o método *Think-Aloud*, ou seja, irem narrando em voz alta a experiência imersiva na ferramenta virtual. Serão utilizados formulários para registrar a experiência do usuário, sendo estes aplicados antes, durante e depois o experimento. Após a realização do experimento, os dados coletados serão cuidadosamente analisados e apresentados na forma de resultados conclusivos. Este método de validação permitirá aprofundar sobre o tema de estudo e evoluir a ferramenta N-Craft.

## **4. Modelagem e Desenvolvimento da Ferramenta Virtual**

Esta etapa compreendeu toda a modelagem, desenho do projeto arquitetônico dentro da plataforma Minecraft e desenvolvimento da ferramenta virtual proposta.

### **4.1. Requisitos da Ferramenta Virtual**

Nesta etapa foram estabelecidas metas para a elaboração dos requisitos funcionais da ferramenta virtual, as quais compreendem: (a) Entender os principais desafios identificados na literatura em relação ao processo de aprendizagem na disciplina de AOC; (b) Levantar os principais tópicos AOC presentes nos trabalhos correlatos e, (c) Analisar o grau de imersão e virtualização das propostas estudadas.

Ante o exposto, os principais requisitos para a ferramenta virtual são os seguintes: (a) O ambiente virtual deve incorporar os elementos fundamentais do design do processador, tais como Unidade Lógica e Aritmética (ULA), Unidade de Controle (UC), Registradores, Barramentos de dados, Barramentos de controle, Memória de dados e Memória de instruções; (b) O ambiente virtual deve representar adequadamente o fluxo de dados e o fluxo de controle da arquitetura; (c) O ambiente virtual deve oferecer uma interface virtual e imersiva que permita ao aluno observar com precisão os componentes do processador; (d) O ambiente virtual deve permitir ao aluno navegar pelas estruturas e observar o fluxo de execução das instruções de máquina.

### **4.2. Especificação e Modelagem da Ferramenta Virtual**

O projeto arquitetônico do processador hipotético Neander foi utilizado para materializar as estruturas básicas de um processador na plataforma Minecraft. A escolha do Neander foi baseada na simplicidade da sua arquitetura e na sua ampla utilização nas disciplinas de AOC. A Figura 1 ilustra a pseudo-máquina do processador Neander.

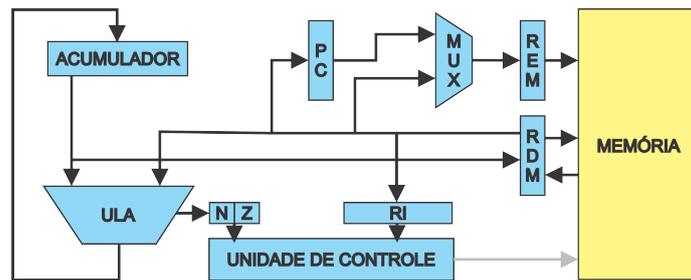


Figura 1. Pseudo-máquina do processador Neander.

Figura adaptada de [Kastensmidt 2006, p. 1]

O processador Neander trata-se de um processador de tamanho de palavra de 8 bits, ou seja, os barramentos de endereço e dados possuem largura de 8 bits. Um registrador para controle de fluxo de execução, *Program Counter* (PC) de 8 bits, um registrador acumulador (AC) também de 8 bits e dois registradores de estado para representar os resultados negativos (N) e zero (Z) da ULA. A memória prevê o armazenamento de dados e instruções na mesma estrutura, contudo, existem os registradores de endereço (REM) e dados (RDM) para controlar o fluxo de escrita e leitura de dados/instruções na memória. No que tange o conjunto de instruções, o processador Neander possui 15 instruções.

Para modelar o processador Neander no Minecraft, foi essencial materializar as estruturas fundamentais da arquitetura. Este processo envolveu o uso de *sandbox*, que são estruturas lúdicas que permitem aos jogadores construir e explorar universos virtuais compostos por blocos. Inicialmente foram modeladas as estruturas básicas, tais como barramentos, elementos binários, chaves e componentes síncronos. De acordo com a Figura 2a, os blocos superiores indicam um bit “1”, que podem ser configurados através dos elementos *tocha de redstone*, uma alavanca ou um botão. Na Figura 2b, observa-se o cenário inverso, os blocos indicam um bit “0”, que podem ser configurados através dos mesmos elementos sob a lógica invertida.

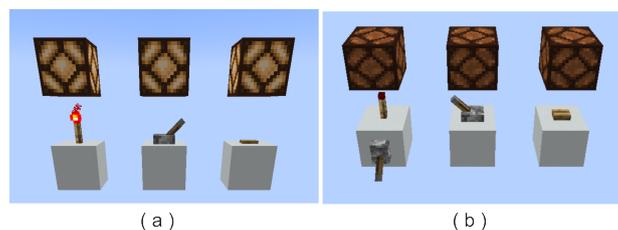
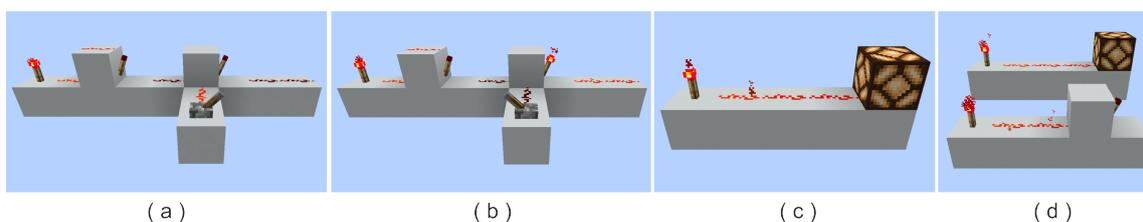


Figura 2. Blocos representando um bit em nível alto e nível baixo.

A Figura 3a e 3b representam o comportamento de um porta inversora (*not*). É possível observar uma *tocha de redstone* conectada a outras duas de forma que, apenas uma alavanca pode controlar a saída do circuito. Caso a alavanca esteja acionada o resultado é o inverso da entrada, condição ilustrada pela Figura 3a. Caso a alavanca não esteja acionada, Figura 3b, que representa uma dupla negação, mantém a saída igual ao valor de entrada, representando uma não inversão da entrada.

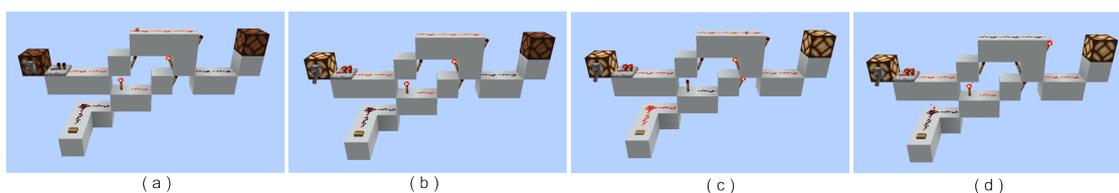
Ainda na Figura 3c e 3d é possível visualizar a permeação do sinal gerado por uma *tocha de redstone* até atingir um bloco, configurando uma estrutura de barramento



**Figura 3. Circuito inversor e barramentos modelados no ambiente Minecraft.**

de sinal. Na Figura 3d o sinal é permeado através do barramento até atingir um bloco onde uma segunda *tocha de redstone*, acoplada ao bloco que está sendo alimentado, acaba por ser desativada, gerando uma saída de nível baixo caracterizando um circuito completo inversor (*NOT*).

A Figura 4 ilustra o componente registrador síncrono construído a partir de blocos e elementos do ambiente Minecraft. Foram utilizados blocos, barramentos, alavancas e *tochas de redstone* para materializar a lógica desse componente.



**Figura 4. Registrador síncrono modelado no ambiente Minecraft.**

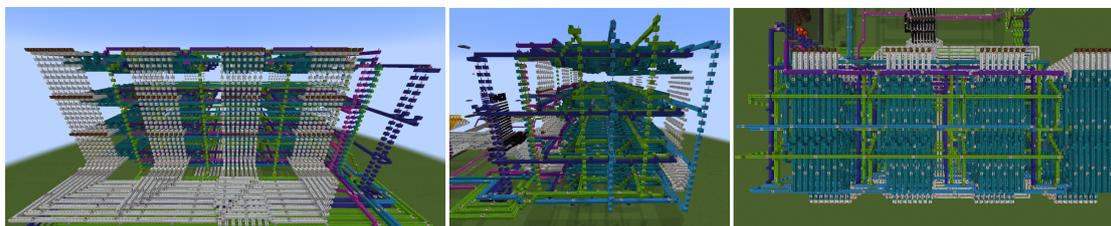
Na Figura 4a observa-se o componente desligado. Na Figura 4b é possível observar o registrador com uma entrada em nível alto (bit 1), contudo, a entrada não está sendo permeada para a saída devido ao sinal de clock não estar ativo, neste caso a saída permanece no estado atual, nível baixo (bit 0). Na Figura 4c é possível visualizar o comportamento esperado do circuito, um entrada de nível alto, sinal de clock ativo e a saída recebendo o valor de entrada. Na Figura 4d ilustra-se a capacidade do registrador armazenar o estado atual, ou seja, mesmo que o sinal clock esteja desativado, o valor da saída permanece o mesmo do estado anterior. Após a modelagem dos elementos essenciais dos circuitos digitais, deu-se início ao desenvolvimento dos componentes da arquitetura Neander no Minecraft.

### 4.3. Desenvolvimento da Ferramenta Virtual

No processo de construção dos componentes, a prioridade inicial foi dada às estruturas complexas, seguida pelas interfaces de dados e controle.

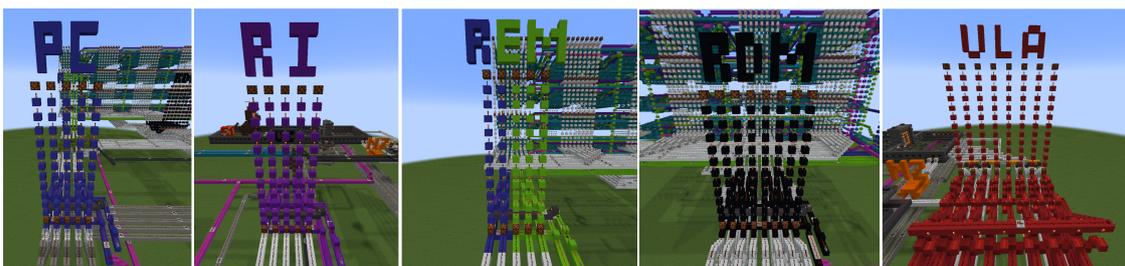
A Figura 5 ilustra a materialização de um componente de memória com tamanho de 32 bytes (32 registradores de 8 bits). A memória foi estruturada em 2 partições (frente e atrás) com 4 andares e 4 colunas, similar a uma matriz tridimensional. Devido ao fato de possuir 32 registradores, foram necessário 5 bits para endereçamento, e.g. 0b00000. O endereçamento foi definido por: (i) os dois primeiros bits (MSB) indicam a posição vertical (Eixo Y), ou seja, e.g. “00” indica que o endereço desejado encontra-se na primeira linha de memória (baixo para cima); (ii) os dois bits seguintes indicam a posição horizontal (Eixo X), e.g. “00” indica que o endereço desejado encontra-se na primeira

coluna (direta para esquerda) e; (iii) o último bit indica a profundidade, “0” na frente e “1” no fundo.



**Figura 5. Memória de dados e instruções do processador.**

Importante ressaltar que, a pseudo-máquina Neander prevê sinais de controle para acesso a memória, *write\_enable* e *read\_enable*, que controlam respectivamente as ações de escrita e leitura na estrutura de memória. Ambos os sinais de controle foram implementados no ambiente virtual. A Figura 6 ilustra o contador de programa (PC), registrador de instrução (RI), registrador de endereço de memória (REM), registrador de dados de memória (RDM) e unidade lógica e aritmética da ferramenta virtual.



**Figura 6. Componentes da arquitetura.**

Estes componentes são previstos na pseudo-máquina do processador Neander (Figura 1). Devido a memória possuir 32 bytes de tamanho, são necessário 5 bits para endereçar toda a estrutura de memória. Esta coerência foi exteriorizada para os registradores PC, RI e REM em função da usabilidade e redução de componentes no ambiente virtual. Importante ressaltar que, esta alteração não impacta o fluxo de execução de instruções da arquitetura. Por outro lado, o registrador RDM e a ULA, mantiveram a coerência com o tamanho de palavra prevista no processador Neander, que são 8 bits.

Na Figura 7 é possível observar todos os componentes da pseudo-máquina Neander implementados no Minecraft juntamente com os barramentos de dados e controle através de uma visão oblíqua e uma visão vertical do ambiente virtual. Ainda de acordo com a Figura 7, os barramentos de dados da arquitetura estão demarcados na cor cinza claro, os barramentos de controle estão distribuídos em cores mais acentuadas, tais como: marrom, preto, azul, verde e lilás.

## 5. Resultados Preliminares

Dado que o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta virtual e imersiva baseada em Minecraft para apoiar o estudo da disciplina de AOC, a especificação, levantamento de requisitos, modelagem e desenho dos componentes no ambiente Minecraft já representam um significativo resultado parcial deste trabalho.



**Figura 7. Arquitetura Neander implementada no ambiente do Minecraft.**

Além de validar o funcionamento adequado dos componentes da arquitetura, estabeleceu-se um conjunto de instruções na ferramenta proposta. Implementou-se uma sequência de três instruções, sendo elas: (a) Carregamento de dados da memória (LDA), (b) Soma (ADD) e, (c) Armazenamento de dados na memória (STA). Estas instruções foram concretizadas exatamente conforme o fluxo de execução utilizado pelo processador Neander. Os resultados preliminares podem ser visualizados no vídeo da ferramenta N-Craft, disponibilizado na seção "Disponibilidade de Artefatos" deste trabalho.

Neste momento, encontra-se em andamento o desenvolvimento da etapa 3.3 previsto no método. Destaca-se que todo o processo correspondente ao estudo de caso, que inclui entrevistas e coleta de dados dos alunos, já foi apresentado para apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia, por meio da plataforma Brasil.

## **6. Considerações Finais e Perspectivas Futuras**

Até o momento, a ferramenta N-Craft viabiliza o aprendizado de forma lúdica dos conteúdos de AOC. A imersão proporcionada pela ferramenta instituem uma proposta interativa e envolvente para auxiliar o aluno no processo de aprendizagem. Este método pode ser ainda mais enriquecido com o uso de óculos de realidade virtual e a oportunidade dos alunos desenvolverem novas funcionalidades, potencializando a integração e o interesse pelo conteúdo. A próxima etapa deste trabalho envolve realizar um estudo de caso para coletar métricas do N-Craft, incluindo usabilidade, melhorias no aprendizado, adoção como ferramenta de estudo complementar e avaliação do conteúdo absorvido através da ferramenta.

É importante destacar que a ferramenta N-Craft foi desenvolvida utilizando a versão licenciada da plataforma Minecraft. Embora haja uma versão de demonstração disponível da plataforma Minecraft, ela é insuficiente para explorar todo o potencial da ferramenta N-Craft, devido à limitações no tempo de uso. Pretende-se futuramente disponibilizar a ferramenta N-Craft para uso geral, contudo, existe a necessidade do usuário possuir uma versão licenciada para utilização.

Para trabalhos futuros, planeja-se explorar a gamificação na ferramenta N-Craft de maneira mais aprofundada. Isso envolve introduzir a habilidade do aluno(a) criar novos elementos dentro da arquitetura, além de estabelecer um sistema de recompensas com base nas metas e objetivos alcançados.

## Disponibilidade de Artefatos

O artefato disponibilizado destaca a imersividade e a profundidade da ferramenta N-Craft no que tange os conceitos básicos de um processador. Nesse mesmo artefato, é possível visualizar a apresentação da ferramenta e também acompanhar a materialização de um fluxo de execução, composto pelas instruções LDA, ADD e STA.

*Link do Artefato:* <https://youtu.be/OwdRuwz3E4Y>.

Vídeo disponibilizado na plataforma Youtube no formato *unlisted*.

## Referências

- Andrade, A. F. M. (2021). Uma abordagem baseada em gamificação para estimativa de esforço em desenvolvimento ágil de software. Mestrado em ciência da computação, Centro de Engenharia Elétrica e Informática - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Borges, J. A. S. and Silva, G. P. (2006). Neanderwin-um simulador didático para uma arquitetura do tipo acumulador. In *workshop sobre educação em arquitetura de computadores*.
- Busarello, R. I. (2016). *Gamification: princípios e estratégias*. Pimenta Cultural.
- da Luz Brum, L. M., de Pinho, L. B., and da Silva Camargo, S. (2017). Avaliação do uso de realidade aumentada no ensino de arquitetura e organização de computadores. *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, 6(1):10–17.
- da Silva, G. C., Oliveira, L. C., and Fernandes, S. R. (2018). Proposta de ensino de arquitetura de computadores com gamificação e realidade aumentada. *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, 7(1):39–47.
- de França Tonhão, S., Shigenaga, M. Y., Silva, W., Colanzi, T. E., and Steinmacher, I. F. (2023). Um estudo sobre o uso de worked examples e gamificação para apoiar o ensino de engenharia de software. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 548–559. SBC.
- dos Santos, E. F., Brito, J. A., Oliveira, F. C. S., da Silva, J. A. L., and Martins, D. J. S. (2023). O uso do construtivismo no ensino do pensamento computacional para crianças: um relato de experiência. In *Jornada de Iniciação Científica e Extensão*, volume 18.
- Junior, C. R. B., Macedo, C. A., Alencar, V. H. S., Junior, R. M. S., and Züge, A. P. (2020). Abordagem metodológica para o ensino de arquitetura de computadores em ambientes não formais. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 28.
- Kastensmidt, F. L. (2006). O processador hipotético neander. [https://www.inf.ufrgs.br/~fglima/neander\\_portas.pdf](https://www.inf.ufrgs.br/~fglima/neander_portas.pdf). Acessado em: 04 de agosto de 2024.
- McDowell, L. and Sambell, K. (1999). The experience of innovative assessment: student perspectives. *Assessment matters in higher education: Choosing and using diverse approaches*, pages 71–82.

- Omuna, A. M. and Goulart, T. C. K. (2023). A gamificação como alternativa na aprendizagem de programação. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, 39(76):e2875–e2875.
- Rodrigues, J. Z. and Batista, E. J. S. (2023). Ensino do ciclo pdca com o minecraft education nos cursos de aprendizagem profissional. In *Anais do XXIX Workshop de Informática na Escola*, pages 562–572. SBC.
- Silva, G. C. d. (2019). Artemis: realidade aumenta e gamificação para ensino de arquitetura de computadores com mips. Master's thesis, Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- SOUZA, C. V. d. (2017). Gamificação na educação superior: experimentações na docência. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco.
- Weber, R. F. (2000). *Fundamentos de arquitetura de computadores*. Sagra Luzzatto.