ANÁLISE DA ARQUITETURA DE HARDWARE DO NES

Rafaela Dias Mori Cruz [1], Claus Cornelio dos Santos Filho [2], Giovanna Oliveira de Jesus [3], Guilherme Gomes Ribeiro [4], Guilhermy Santana Bernardo da Silva [5], Julia Martins Pereira [6], Nathan Ferreira Neves [7]. Orientador: Prof. Dr. Fernando Trevisan Saez Parra. [1]6-ENGCOMP-00349802,[2]6-ENGCOMP-00350915,[3]6-ENGCOMP-00349647,[4]6-ENGELE-00349318,[5]6-ENGELE-00360326,[6]6-ENGCOMP-00349371, [7] 6-ENGCOMP-00350327.

RESUMO

O projeto analisa a arquitetura do console *Nintendo Entertainment System* (NES) por meio do desenvolvimento de um jogo autoral em *Assembly* 6502. O estudo, realizado em parceria com a empresa Flipper Games, tem como objetivo compreender como os recursos limitados do hardware influenciam o design e o desempenho dos sistemas de 8 bits. Para isso, utiliza-se o processador Ricoh 2A03 e a interação entre a CPU e a PPU (*Picture Processing Unit*), elementos fundamentais para a geração de gráficos e controle da execução do jogo. O código foi desenvolvido, compilado e testado em ambiente de emulação, permitindo observar na prática os desafios de otimização e temporização característicos da programação de baixo nível. Os resultados parciais demonstram que a eficiência e a criatividade são determinantes para superar as restrições impostas pelo *hardware*. O estudo reforça a importância de compreender a base dos sistemas computacionais clássicos para aprimorar o raciocínio técnico e desenvolver soluções mais otimizadas em projetos modernos.

Palavras-chave: NES; Assembly 6502; Ricoh 2A03; FCEUX.

1. Introdução

Hoje em dia, criar jogos ficou muito mais fácil e acessível graças à engines modernas que permitem até mesmo quem não tem formação técnica desenvolver jogos 2D ou 3D. Mas, apesar de toda essa facilidade, acredita-se que entender como funcionavam os sistemas mais antigos, aqueles que realmente moldaram a indústria, ainda é fundamental para quem quer dominar os conceitos reais por trás da arquitetura de computadores.

O *Family Computer* (*Famicom*) foi lançado oficialmente apenas no Japão em 1983, sendo o console que revolucionou todo o mercado de jogos, se tornando o videogame mais vendido do país em 1984. A *Nintendo* vendo o sucesso que estavam fazendo, decidiu mirar no mercado ocidental, especificamente nos EUA, mas havia um problema, pois nessa época os Estados Unidos estavam passando por uma crise na indústria de videogames domésticos, o público havia perdido o interesse, o que levou muitas empresas à falência. Eles reformularam o *Famicom* e em 1985 o *Nintendo Entertainment System* (NES) foi lançado, e vendido para os varejistas como um sistema de entretenimento e não um videogame. [1]

No centro de todo o avanço que houve com o NES está o processador 6502, uma CPU simples e de baixo custo, aliada à necessidade de programar em *Assembly*, uma linguagem altamente otimizada. Aprender o funcionamento de sistemas computacionais clássicos, é uma ótima forma de aprofundar conhecimento na arquitetura de um sistema, porém, criar um jogo utilizando o *Assembly* pode ser um grande desafio, pois esse tipo de linguagem exige estudos profundos sobre o *Hardware* e as instruções do processador. [10]

Por isso, este trabalho analisa a arquitetura do NES, desenvolvendo um jogo próprio em *Assembly* 6502. O projeto está sendo realizado em parceria com a empresa Flipper Games, que atua como cliente neste estudo e apoia a aplicação prática dos conceitos explorados.O jogo, na verdade, serve como uma espécie de “laboratório”: ao tentar fazer algo funcionar dentro das limitações reais do console, como memória reduzida, controle da PPU (*Picture Processing Unit*) e uso de *mappers*, entender na prática como o sistema realmente opera. Ao longo do semestre, será aprofundado esses componentes e, no final, entregar não só um jogo funcional, mas também uma reflexão técnica sobre como a arquitetura do NES influencia (e limita) o que é possível criar nele, tudo isso mantendo a essência do entretenimento que fez essa plataforma se tornar lendária.

2. Metodologia

O processo inicia-se com a escrita do código-fonte no editor *Visual Studio Code* (*VS Code*), escolhido por sua leveza e suporte à sintaxe personalizada, nesse ambiente o programa é desenvolvido em *Assembly* 6502. Este trabalho adota uma abordagem prática e experimental para a análise da arquitetura do (NES), com base no desenvolvimento de um programa funcional em linguagem *Assembly*.

A metodologia empregada combina o uso de ferramentas de desenvolvimento acessíveis, documentação técnica especializada e testes em ambiente de emulação, permitindo uma compreensão direta do funcionamento interno do console. Uma das particularidades da arquitetura do NES é a capacidade de organização das seções de código, dados e vetores de interrupção.

Após a redação ou modificação do código, o arquivo é salvo com o nome coresandam2.asm na pasta contendo o compilador NESASM, um assembler específico para o NES, extraído do pacote nesasm.zip previamente baixado. Esse compilador é responsável por converter o código *Assembly* em uma ROM no formato .nes, compatível com emuladores e com o hardware original do console. [3]

Para gerar a ROM, utiliza-se o comando contido no arquivo compilar.txt: nesasm.exe ou coresandam3.asm (pode ser qualquer nome). Esse comando é copiado e executado no *Prompt* de Comando dentro da mesma pasta do NESASM. A execução gera automaticamente o arquivo coresandam2.nes, que corresponde à ROM pronta para testes.

Em seguida, a ROM é carregada no emulador FCEUX, ferramenta amplamente utilizada pela comunidade de desenvolvedores de *homebrew* para o NES. Além de executar o programa, o FCEUX oferece recursos avançados de depuração, como visualização da memória, inspeção dos registradores da CPU e monitoramento do estado da PPU, permitindo uma análise detalhada do comportamento do código em tempo de execução.

O programa desenvolvido exibe quatro quadrados coloridos na tela (azul, amarelo, roxo, vermelho e verde). Ao pressionar as teclas de direção do teclado, que simulam o D-pad do controle do NES, os quadrados se movem. Embora aparentemente simples, essa funcionalidade exige manipulação direta da PPU, uso correto das tabelas de *tiles*, definição de paletas de cores e configuração da tabela de atributos, tudo implementado manualmente em *Assembly* 6502, sem abstrações de alto nível.

A escrita do código no *VS Code*, compilação com NESASM e teste no FCEUX, é repetido a cada interação do desenvolvimento, permitindo ajustes rápidos e uma compreensão progressiva das limitações e características do *hardware* do NES, como os 2 KB de RAM disponíveis, a frequência de *clock* de 1,79 MHz e o conjunto restrito de instruções do processador Ricoh 2A03 (baseado na arquitetura MOS 6502).

Além das ferramentas práticas, a pesquisa também se apoia em documentação técnica especializada, incluindo *datasheets* do chip Ricoh 2A03 (Figura 1) e o *NesDev Wiki*, referência consolidada na comunidade de desenvolvedores. Esses materiais auxiliam na validação das decisões de implementação e no aprofundamento teórico sobre o funcionamento do sistema. [5]

Dessa forma, a metodologia empregada integra experimentação prática, análise técnica e referencial teórico, com o objetivo claro de investigar a arquitetura do NES por meio da programação em *Assembly* 6502.

Figura 1 - Processador que está sendo emulado é o Ricoh 2A03.
[Fonte: love80s.ru]

3. Desenvolvimento

O trabalho está sendo construído na prática: o código foi escrito em *Assembly* 6502 no *VS Code*, o mesmo foi transformado em uma ROM do NES usando o NESASM e, em seguida, testado tudo no emulador FCEUX. Parece

simples, mas é justamente essa simplicidade que permite uma conexão direta com o *hardware*. Cada linha escrita vira algo visível na tela, e isso faz toda a diferença na hora de entender como o NES realmente funciona.

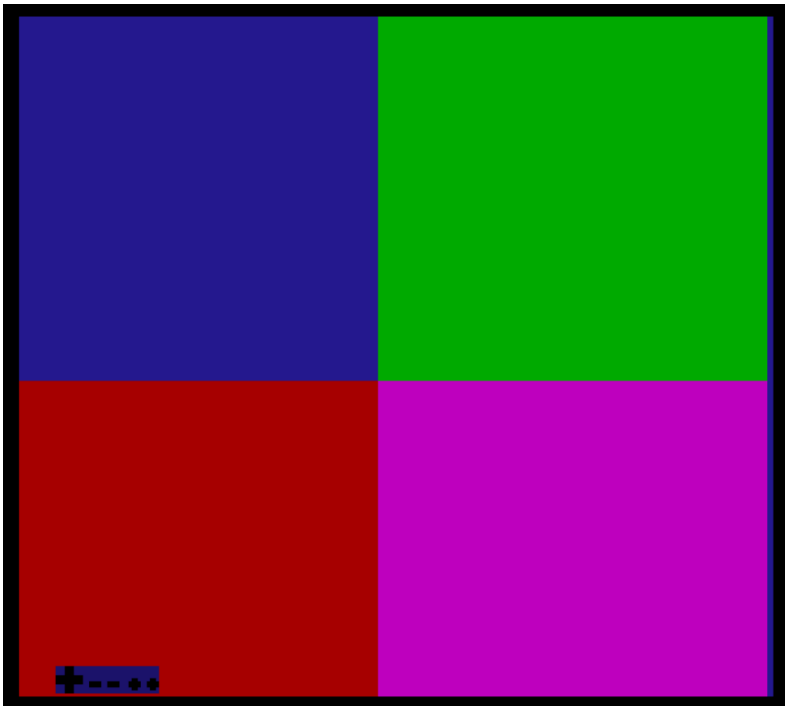
A tela inteira é montada a partir de pequenos blocos chamados *tiles*, quadrados de 8×8 *pixels* que funcionam como peças de um quebra-cabeça. Para que os quadrados apareçam na posição certa, esses *tiles* precisam ser colocados exatamente nos endereços corretos da memória de vídeo. As cores não são livres: o NES trabalha com paletas limitadas, e para definir qual cor vai onde, usamos uma estrutura chamada tabela de atributos (Figura 2). Parece complicado no papel, mas só faz sentido mesmo quando se vê o resultado na tela.

Esse tipo de experiência mostra que programar para o NES não é só sobre lógica, é sobre entender a máquina. E é essa conversa direta entre código e *hardware* que torna o aprendizado tão concreto. [6]. Além disso, tudo tem que acontecer na hora certa. A PPU (a parte do NES que gera a imagem) só aceita mudanças na memória durante um intervalo chamado *vblank*, um breve momento em que o sinal de vídeo “dá uma pausa” entre um quadro e outro. Se escrever fora desse período, a imagem treme, some ou vira um borrão. Por isso, o programa inclui uma rotina que espera justamente por esse instante antes de atualizar qualquer coisa na tela. Era assim que os jogos antigos funcionavam.

Depois de pronto, o código vira uma ROM (um arquivo .nes) com um único comando no NESASM. Em segundos, essa ROM está pronta para rodar no FCEUX. Lá, além de ver os quadrados, dá para interagir: ao apertar as setas do teclado (que simulam o controle do NES), as cores mudam. Isso envolve ler os botões pressionados e atualizar a paleta em tempo real, sempre respeitando, de novo, o ciclo do *vblank.*

A parte de escrever, compilar, testar e ajustar tem sido essencial para entender como os desenvolvedores da época faziam tanto com tão pouco: 2 KB de memória, um processador lento e zero recursos extras. Estes testes permitiram validar o funcionamento do jogo proposto e compreender na prática as limitações do *hardware* do NES e o que os tornava especiais era o domínio absoluto sobre cada detalhe. [4]

Figura 2 - Exemplo de execução do emulador FCEUX 2.6.6, ferramenta utilizada para análise e programação de cores e debug de jogos do NES. [Fonte: Próprio Autor/Arquivo Pessoal



O projeto de análise e desenvolvimento de um *hardware* do NES não se trata apenas de desenvolver um modelo novo com uma fórmula antiga, mas o entendimento da arquitetura de um console que revolucionou a indústria de *videogames*, e assim poder criar um produto no qual foi possível formar uma parceria com a Flipper Games, uma empresa diretamente ligada ao mundo dos jogos e em tecnologia retrô. Essa colaboração não só valida a aplicação prática do produto como também estabelece um elo crucial entre a pesquisa acadêmica e o mercado especializado de *games* antigos, alinhando o desenvolvimento de forma direta com o interesse da comunidade de entusiastas e colecionadores.

4. Considerações Finais

O estudo da arquitetura do NES e da linguagem *Assembly* 6502 mostra como a criatividade e o domínio técnico foram essenciais para superar as limitações da época mesmo com poucos recursos, desenvolvedores conseguiram criar jogos que marcaram gerações, provando que inovação não depende apenas de poder de processamento, mas de engenhosidade e dedicação.

Mais do que entender o funcionamento de um console antigo, esse estudo mostra o quanto conhecer as bases da computação faz diferença. Trabalhar com o *hardware* e lidar com o sistema de 8 bits traz uma visão mais clara de como os jogos funcionam, algo que muitas vezes se perde com as facilidades das ferramentas modernas.

Revisitar essa tecnologia também é uma forma de valorizar o que muitas vezes passa despercebido, o esforço, a criatividade e a paixão de quem trabalha com recursos limitados. O NES se tornou especial não apenas pela tecnologia que trouxe na época, mas principalmente pelo papel fundamental que desempenhou na história dos *videogames*, abrindo caminho para uma das maiores formas de entretenimento.

5. Referências

[1] NES documentation [Internet]. NESDev Archive; c2004 [acesso em 2025 set 10]. Disponível em: https://archive.nesdev.org/NESDoc.pdf

[2] Darlison J. An introduction to 6502 assembly and low level programming [Internet]. Codeburst; 2018 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://codeburst.io/an-introduction-to-6502-assembly-and-low-level-programming-7c11fa6b9cb9

[3] Visual Basic Forums. NES 6502 Programming Tutorial – Part 1: Getting Started [Internet]. VBForums; 2019 [acesso em 2025 set 29]. Disponível em: https://www.vbforums.com/showthread.php?858389-NES-6502-Programming-Tutorial-Part-1-Getting-Started

[4] Copetti R. *NES Architecture: More Than a 6502 Machine* [Internet]. 1st ed. Rodrigo Copetti; 2019 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://www.copetti.org/writings/consoles/nes

[5] Patater. NESASM Assembler for the NES [Internet]. Patater.com; 2003 [acesso em 2025 set 26]. Disponível em: https://www.patater.com/gbaguy/nesasm.htm

[6] Copetti J. NES Architecture Notes [Internet]. Copetti.org; c2023 [citado em 15 out. 2025]. Disponível em: https://www.copetti.org/writings/consoles/nes/

[7] Hughson M. How to start making NES games [Internet]. 2021 [acesso em 2025 out 2]. Disponível em: https://www.matthughson.com/2021/11/17/how-to-start-making-nes-games/

[8] Leventhal L. How to program the 6502 [Internet]. Google Books; [acesso em 2025 out 5]. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=oxuvDwAAQBAJ

[9] Zaks R. Programming the 6502 [Internet]. Google Books; [acesso em 2025 out 8]. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=cwcOEQAAQBAJ

[10] Universidade de Alicante. Programming in Assembly Language [Internet]. RUA Repositório Institucional; [acesso em 2025 out 12]. Disponível em: https://rua.ua.es/entities/publication/e6063e1f-28ec-4a44-bf98-56d2d5cbd670

[11] Terra. Por que o NES se chamava Famicom no Japão? [Internet]. Terra GameOn; 2023 [acesso em 2025 out 21]. Disponível em: https://www.terra.com.br/gameon/plataformas-e-consoles/por-que-o-nes-se-chamava-famicom-no-japao,53f63e434e6b08f1006236323ebd0183fj10h19g.html

[12] Leventhal LA. *6502 Assembly Language Programming*. 2nd ed. Berkeley (CA): Osborne/McGraw-Hill; 1986. ISBN: 0-07-881216-X. [acesso em 2025 set 25].