

Jogo para auxílio ao aprendizado de operações matemáticas utilizando ábaco e Visão Computacional

Caio Roberto Schossland Gripp¹, Elisa Maria da Silva¹, João Vitor Lopes Ávila¹,
Maria Luísa da Costa Bornhausen¹, Valdomiro Botelho Junior¹,
Vitor Gabriel Aléssio Nogara¹, Benjamin Grando Moreira¹, Lucas Leandro Nesi¹

¹Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
R. Dona Francisca, 8300, CEP 89219-600 - Joinville, Santa Catarina, Brasil

{caio.roberto.schossland.gripp, elisa.s, joao.lopes}@grad.ufsc.br

{m.l.bornhausen, valdomiro.junior, vitor.nogara}@grad.ufsc.br

{benjamin.grando, lucas.nesi}@ufsc.br

Abstract. *Logical reasoning, critical thinking, and problem-solving are some of the skills developed through the study of mathematics. Despite its advantages, learning this subject often proves to be un motivating in schools, especially for children. Therefore, this article presents the Enchanted Abacus game: an interactive way to teach these skills using a physical interface. The premise of the game is to integrate a physical abacus with computer vision, allowing the user to progress in the game as they solve presented mathematical operations. Experiments have shown the technical feasibility of the Ábaco Encantado, and aspects of the prototype are presented.*

Resumo. *Raciocínio lógico, pensamento crítico e resolução de problemas são algumas das habilidades desenvolvidas com o estudo de matemática. Apesar das suas vantagens, o aprendizado dessa disciplina constantemente se mostra pouco motivador nas escolas, em especial para crianças. Desta maneira, este artigo apresenta o jogo Ábaco Encantado: uma forma interativa a partir de uma interface física para ensinar essas competências. A premissa do jogo é integrar um ábaco físico com Visão Computacional, para o usuário poder avançar no jogo conforme acerta operações matemáticas apresentadas. Experimentos mostraram a viabilidade técnica do Ábaco Encantado e aspectos do protótipo são apresentados.*

1. Introdução

Nas salas de aula, crianças e adolescentes enfrentam o obstáculo de assimilar conteúdos apresentados de forma pouco envolvente, o que pode provocar um desinteresse no aprendizado. A ideia da criação de jogos educacionais surgiu da possibilidade de combinar aprendizado com interatividade e diversão, tornando-se um aprendizado ativo [Japiassu and Rached 2020].

Entre as disciplinas abordadas nas escolas, a matemática constantemente é vista como a mais temida. Seja aprendendo somas, subtrações ou operações mais complexas, os estudantes frequentemente sentem dificuldades, principalmente quando não possuem uma base sólida [Miyake and de Medeiros 2022]. Por conta disso, o jogo apresentado

neste trabalho, intitulado *Ábaco Encantado*, é proposto para unir o ensino da matemática com a tecnologia da Visão Computacional, visando crianças de 8 a 12 anos.

A proposta surgiu após a percepção de que os jogos educacionais disponíveis abordam o tema da seguinte maneira: quem joga resolve algumas contas sem incentivo lúdico e apenas recebe a confirmação do acerto ou erro [Zorzal et al. 2008, Savi and Ulbricht 2008, Shimabokuro 2005]. Além disso, o jogador recebe o problema que precisa solucionar e fornece a resposta de modo similar ao que faz uma prova escolar, seja em um papel ou em uma tela. Dessa forma, é difícil manter o engajamento da criança.

No *Ábaco Encantado*, além da necessidade de resolver o problema numérico, o jogador interage ativamente e fisicamente com um ábaco. Ao ter que raciocinar como a solução será apresentada no instrumento, o raciocínio lógico é trabalhado de forma mais intensa, que prende a atenção. Ademais, o jogo conta com uma parte lúdica, com um enredo que envolve salvar uma princesa de um dragão.

Estudos indicam que o manuseio de objetos físicos pode estimular o raciocínio lógico e abstrato, ajudando a formar conexões mais fortes entre conceitos matemáticos [Siegler 2009, Nosek and Goldman 2023]. Espera-se neste trabalho que o uso físico do ábaco force o aluno a visualizar o processo de contagem e operações matemáticas de maneira mais concreta. Incorporar um ábaco físico pode aumentar a imersão no jogo, conectando o jogador ao mundo real. Isso pode tornar o aprendizado mais lúdico e interativo, pois o jogador se envolve ativamente com o material em vez de apenas assistir a uma tela. Essa interação física pode fazer o jogo parecer mais autêntico e envolvente.

Desta forma, este artigo apresenta um jogo educacional executado em um computador e que utiliza um ábaco físico como interface para apresentação das respostas de perguntas envolvendo matemática. Na tela do computador, um problema matemático é apresentado (por exemplo, $2+3$) e o jogador deve movimentar as peças no ábaco físico em até 60 segundos para apresentar uma solução para a pergunta. Quando o usuário finaliza a montagem ou o tempo se esgota, o resultado é verificado através de Visão Computacional.

As contribuições específicas do trabalho são as seguintes: (i) A apresentação do jogo e seu funcionamento; (ii) A elaboração de um protótipo para validação funcional; e (iii) Experimentos para verificar a viabilidade da mecânica de Visão Computacional e guiar os próximos passos.

2. Apresentação do Jogo e Mecânicas

A mecânica principal do jogo é a resolução de contas matemáticas utilizando uma interface física, um ábaco, para informar a resposta. A Figura 1 mostra o um modelo de ábaco físico (a esquerda), e a versão final do protótipo (a direita). Primeiramente, o jogador pode selecionar (com o auxílio do mouse) para assistir a um tutorial de como jogar ou selecionar algum dos níveis de dificuldade, que são: (1) Fácil: com contas simples de adição e subtração; (2) Médio: com inclusão de divisão e multiplicação; e (3) Difícil: com as mesmas operações, mas com problemas mais complexos que os anteriores, envolvendo o uso de parênteses, colchetes e chaves.

Após selecionar o nível desejado, inicia-se o jogo. O enredo consiste de uma versão baseada em contos de fada, no qual existe uma princesa presa em uma torre isolada por um riacho, vivendo sob a ameaça de um dragão feroz que deseja derrubar toda a



Figura 1. Comparação das versões impressas do ábaco

estrutura. Para a sua salvação se aproxima um cavaleiro, que tem como objetivo espantar o dragão e salvar a princesa da torre. Cada conta que o jogador responde corretamente, o cavaleiro se aproxima do seu objetivo e espanta gradativamente o dragão. Caso a resposta esteja errada, o contrário acontece e o cavaleiro perde uma vida. Ao perder todas as vidas, a ponte sobre o riacho até a torre da princesa é derrubada e o jogo termina. Em todos os níveis o jogador possui três vidas.

O ábaco possui quatro hastes verticais e cada uma delas representa um algarismo significativo (unidade, dezena, centena e milhar), além de trinta e seis peças que poderão ser colocadas nelas para representar os algarismos. Essas peças possuem quatro variantes diferentes, sendo cada uma de uma cor diferente (verde, vermelho, roxo e amarelo) e cada variante possui nove unidades, totalizando trinta e seis.

O jogador tem sessenta segundos para montar a resposta certa no ábaco. Se esse tempo chegar ao fim, uma foto é tirada e o sistema de Visão Computacional (VC) verifica a resposta. O jogador também tem a opção de indicar quando terminou sua resposta para tirar a foto imediatamente e ele não precisar ficar esperando o tempo acabar. O sistema não tem restrição de onde colocar as peças de cada cor, inspecionando apenas a quantidade de peças em cada uma das hastes do ábaco e calculando o resultado obtido a partir do ábaco.

3. Técnicas de Visão Computacional

A biblioteca YOLO (You Only Look Once) [Jiang et al. 2022] é uma implementação de um dos algoritmos mais populares para detecção de objetos em tempo real. A principal característica do YOLO é que ele trata a detecção de objetos como um problema de regressão único em vez de abordar a detecção como uma série de tarefas de classificação, tornando-o extremamente rápido e eficiente.

As principais vantagens são as seguintes: (1) Detecção em Tempo Real: YOLO é conhecido por sua capacidade de realizar detecções em tempo real, processando imagens a uma alta taxa de quadros por segundo (FPS); (2) Abordagem de Regressão: Diferente de outros métodos que examinam a imagem várias vezes (como R-CNN), YOLO examina a imagem uma única vez, dividindo-a em uma grade e fazendo previsões diretas sobre as

caixas delimitadoras e as probabilidades de classe; e (3) Precisão e Eficiência: Apesar de ser rápido, o YOLO mantém uma precisão competitiva, especialmente nas versões mais avançadas e treinadas do modelo.

4. Desenvolvimento do jogo

No desenvolvimento do jogo foram considerados diversos aspectos técnicos e pedagógicos para garantir que a experiência de aprendizado fosse não apenas eficaz, mas também envolvente para as crianças. A integração de um ábaco físico com tecnologias de VC exigiu um planejamento cuidadoso, desde a concepção do protótipo até a implementação dos algoritmos de detecção e reconhecimento de objetos. Este capítulo detalha o processo de criação do jogo, abordando tanto o design e fabricação do ábaco quanto a interface do jogo e a validação das respostas dos usuários. A seguir, são descritos os principais componentes e etapas do desenvolvimento, começando pelo projeto do ábaco.

4.1. Projeto do Ábaco

Durante o desenvolvimento do projeto, foram realizados testes com a câmera para determinar um tamanho viável para o ábaco. A partir dessas medições, foi projetado o protótipo inicial com auxílio de um software CAD. O protótipo foi impresso em impressora 3D. No entanto, a baixa integridade estrutural das hastes do ábaco se mostrou frágil e as hastes propensas a quebrar. Uma nova versão do ábaco foi produzida, alterando as dimensões das hastes de forma que se tornem mais robustas e ergonômicas, garantindo uma melhor usabilidade e durabilidade do projeto.

4.2. Interface do jogo

Conforme descrito anteriormente, no enredo o jogo o jogador assume o papel de um cavaleiro cujo objetivo é salvar uma princesa presa em uma torre, protegida por um dragão. Cálculos matemáticos são apresentados ao jogador e cada resposta correta aproxima o cavaleiro de seu objetivo, enquanto respostas erradas fazem com que ele perca vidas. A Figura 2 apresenta um momento no jogo, na qual é solicitado ao jogador o resultado da operação de soma de dois números.

4.3. Verificação das respostas no ábaco

Para validar uma resolução feita pelo usuário no ábaco, o jogo captura uma imagem da webcam apontada para o ábaco e salva no computador. Esta imagem é então processada pela VC.

Para treinar o reconhecimento do resultado apresentado no ábaco foram capturadas diversas fotos do ábaco em várias configurações (peças/discos posicionados nas hastes do ábaco). As imagens para o treinamento foram retiradas em diferentes locais, priorizando locais com fundo uniforme com uma tendência de utilização de cores claras para que fosse possível destacar a borda dos objetos de interesse (discos). Foram realizados 8 treinamentos para avaliação das imagens em tempo real, o último treinamento foi realizado com as configurações padrões do modelo da biblioteca, com um número de épocas de treinamento igual a 100, com 84 imagens de treinamento com fundo branco e com fundo ambiente (espaço aberto) e 45 imagens de validação. A Figura 3 apresenta os resultados do treinamento, os quais consideraram as seguintes métricas:



Figura 2. Interface do jogo desenvolvido

1. **train/box_loss:** Mostra a perda de bounding box (caixa delimitadora) durante o treinamento. A perda de bounding box mede a diferença entre as caixas preditas pelo modelo e as caixas reais. A diminuição contínua da perda indica que o modelo está melhorando sua capacidade de prever as posições corretas das caixas delimitadoras.
2. **train/cls_loss:** Mostra a perda de classificação durante o treinamento. A perda de classificação mede a precisão com que o modelo está identificando as classes dos objetos dentro das caixas delimitadoras. Uma perda de classificação decrescente sugere que o modelo está ficando melhor em classificar corretamente os objetos detectados.
3. **train/df_l_loss:** Mostra a perda de DFL (Distillation for Localization) durante o treinamento. A perda DFL é uma técnica que ajuda o modelo a aprender a prever a localização exata dos objetos com mais precisão. A diminuição dessa perda indica uma melhora na precisão da localização dos objetos.
4. **metrics/precision(B):** Este gráfico mostra a precisão do modelo durante o treinamento. A precisão é a proporção de detecções corretas (verdadeiros positivos) em relação ao número total de detecções. Uma alta precisão indica que o modelo tem poucos falsos positivos.
5. **metrics/recall(B):** Mostra o recall (sensibilidade) do modelo durante o treinamento. O recall é a proporção de detecções corretas (verdadeiros positivos) em relação ao número total de objetos reais. Um recall alto indica que o modelo está detectando a maioria dos objetos reais, com poucos falsos negativos.
6. **val/box_loss:** Mostra a perda de bounding box durante a validação. A validação é um processo de teste do modelo com dados que não foram usados durante o treinamento. A perda de bounding box na validação ajuda a verificar se o modelo está generalizando bem para novos dados. A diminuição da perda indica uma boa generalização.
7. **val/cls_loss:** Mostra a perda de classificação durante a validação. Assim como a perda de classificação no treinamento, ela mede a precisão da classificação do modelo, mas com dados de validação. Uma perda decrescente sugere uma boa

capacidade de classificação com novos dados.

8. **val/df_l_loss**: Mostra a perda de DFL durante a validação. A diminuição dessa perda sugere que o modelo está aprendendo bem a localização precisa dos objetos também nos dados de validação.
9. **metrics/mAP50(B)**: Mostra o Mean Average Precision (mAP) no limiar de 50% durante o treinamento. O mAP é uma métrica que combina precisão e recall em diferentes limiares de IoU (Intersection over Union). Um mAP alto indica que o modelo tem um bom desempenho geral na detecção de objetos.
10. **metrics/mAP50-95(B)**: Mostra o mAP em vários limiares (de 50% a 95%) durante o treinamento. Isso fornece uma visão mais completa do desempenho do modelo, pois avalia a precisão em múltiplos níveis de sobreposição entre as caixas preditas e as caixas reais.

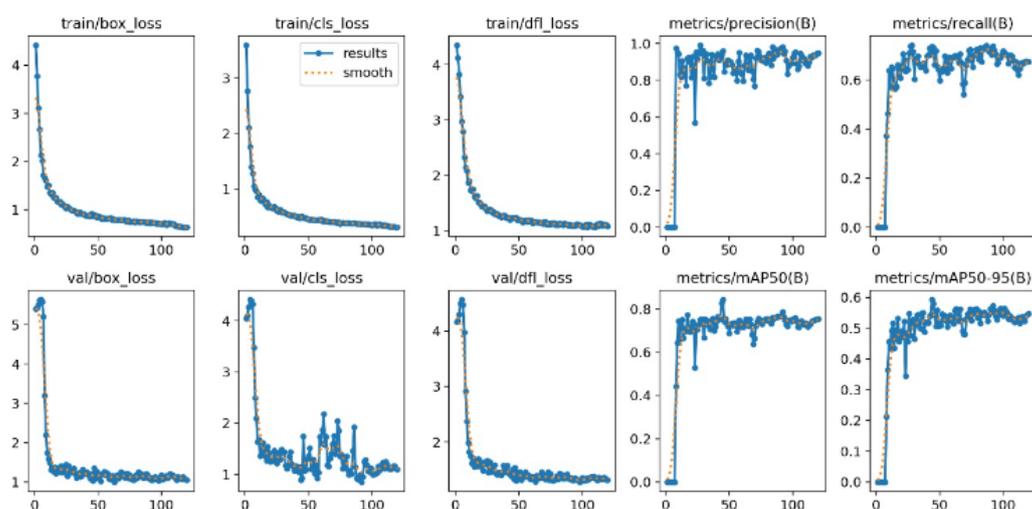


Figura 3. Métricas de aprendizado do treinamento realizado

Esses gráficos combinados permitem avaliar se o modelo está aprendendo adequadamente e se está generalizando bem para novos dados, garantindo que ele não esteja apenas memorizando os dados de treinamento. De forma geral, **Perdas (losses)**: Reduções nas perdas indicam melhoria no treinamento do modelo. **Precisão e Recall**: Valores altos indicam que o modelo está detectando e classificando os objetos corretamente. **mAP**: Altos valores de mAP indicam um bom desempenho geral na detecção de objetos.

Foram realizados também testes em tempo real com um thresholding (um limiar de confiança e aplicado para descartar detecções com baixa probabilidade de precisão) de 0.8. Assim, alcançou-se uma taxa de acerto de 94,55% para todas as posições possíveis de montagem das peças no jogo, o que demanda uma correção nos treinamentos e novas aquisições de imagem (já feitas).

5. Análise dos Resultados

Os experimentos realizados no desenvolvimento do Ábaco Encantado foram fundamentais para avaliar e aprimorar o funcionamento do jogo e a precisão do sistema de VC. Inicialmente, foram aplicados testes para avaliar a eficácia do modelo de detecção de objetos e a experiência do usuário com o jogo. A aquisição de imagens foi uma etapa crucial,

onde foram capturadas aproximadamente 300 fotos do ábaco em diversas configurações e condições de iluminação. Isso garantiu que o conjunto de dados fosse diversificado o suficiente para treinar o modelo de VC e assegurar sua robustez.

Os testes de funcionalidade envolveram a verificação da precisão do sistema de VC em identificar as peças do ábaco sob diferentes condições. O ábaco foi configurado em diversos ambientes, variando a iluminação e os ângulos de captura. A cada teste, foram tiradas fotos do ábaco montado, sempre verificando se o modelo de VC conseguia identificar corretamente a configuração das peças. A taxa de acerto alcançada foi de 94,55%, indicando que o sistema é preciso na maioria das situações testadas.

Com base nos resultados dos experimentos, foram feitas duas mudanças no escopo do projeto. Inicialmente o plano era que a cor das peças em cada haste tivesse importância para a resposta correta. No entanto, essa complexidade adicional não acrescentava valor significativo à experiência do usuário e também fazia com que o sistema de VC se tornasse mais complexo. Sendo assim, a opção escolhida foi fazer apenas com que a posição das peças fosse relevante para a resposta correta.

Outra mudança importante foi a inclusão de uma luminária para melhorar o reconhecimento das peças pelo sistema de VC. Durante os testes de funcionalidade, a variação na iluminação afetava a precisão do modelo. Ao adicionar uma fonte de luz constante, foi possível uniformizar as condições de iluminação, melhorando significativamente a acurácia do sistema.

6. Próximos passos

O protótipo do jogo e sua interface a partir do ábaco e VC se mostrou funcional e viável como proposta de um jogo educacional. Foram delineados alguns passos para o aprimoramento e expansão do projeto. Inicialmente, é importante destacar a necessidade de uma análise pedagógica.

Para avaliar a eficácia do jogo como ferramenta educacional, é proposta a consulta de especialistas em educação e ensino de matemática em séries iniciais. A colaboração com pedagogos e profissionais em ensino para avaliar os níveis de dificuldade, clareza das instruções e o potencial do jogo para melhorar o entendimento dos conceitos matemáticos é fundamental. Além disso, é preciso realizar estudos comparativos em salas de aula, medindo não só a usabilidade e a adesão dos alunos ao ábaco, mas também o desempenho dos alunos que utilizam o jogo em comparação com métodos tradicionais de ensino.

Por fim, ainda é necessário melhorar o design do ábaco físico, para garantir sua durabilidade e funcionalidade, levando em conta os desafios enfrentados durante os testes.

7. Conclusões

O presente artigo descreve o desenvolvimento e os resultados do projeto Ábaco Encantado, um jogo infantil interativo projetado para ensinar conceitos matemáticos básicos de forma lúdica. O desenvolvimento do Ábaco Encantado representa um esforço inovador para transformar a aprendizagem da matemática em uma experiência divertida e interativa para crianças. A utilização do ábaco, um instrumento milenar, integrada a um sistema moderno de detecção de objetos, exemplifica a união bem sucedida de tradição e inovação para promover a educação.

O processo de desenvolvimento envolveu várias etapas, desde o projeto do ábaco e a criação da interface do jogo, até a implementação do modelo de VC com a biblioteca YOLOv3. Com uma alta taxa de acerto, o sistema de VC demonstrou alta precisão em identificar as configurações do ábaco, garantindo uma experiência de jogo fluida e confiável para os usuários.

Referências

- Japiassu, R. B. and Rached, C. D. A. (2020). A gamificação no processo de ensino-aprendizagem: uma revisão integrativa. *Revista Educação em Foco*, 12(1):49–60.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., and Ma, B. (2022). A review of yolo algorithm developments. *Procedia computer science*, 199:1066–1073.
- Miyake, M. F. and de Medeiros, D. H. (2022). O ensino da matemática no 3º ano do ensino fundamental: uma experiência na formação de professores: Teaching mathematics in the 3rd year of elementary school: an experience in teacher training. *Brazilian Journal of Development*, 8(8):58167–58183.
- Nosek, S. and Goldman, B. (2023). Exploring the benefits of arts-based kinesthetic activities in the college classroom. *College Teaching*, 71(2):135–141.
- Savi, R. and Ulbricht, V. R. (2008). Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 6(1).
- Shimabokuro, E. Y. T. (2005). Ábaco virtual: ferramenta didática para o ensino da matemática. *Monografia (Bacharel em Ciências da Educação) - Centro Universitário Eurípedes de Marília*.
- Siegler, R. (2009). Implications of cognitive science research for mathematics education. *Colección Digital Eudoxus*, (8).
- Zorzal, E. R., de Oliveira, M. R. F., Silva, L. F., Cardoso, A., Kirner, C., and Lamounier Jr, E. (2008). Aplicação de jogos educacionais com realidade aumentada. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 6(2).