

# Manna QuantumFlip: um jogo desplugado sobre computação quântica para alunos do ensino básico ao superior

Rodrigo dos S. Miranda<sup>1,3</sup>, Anna Luisa F. Costa<sup>1,3</sup>,  
Estela M. Batista<sup>1,3</sup>, João Marcos A. M. Ramos<sup>1,3</sup>,  
Thais Regina de M. B. Silva<sup>1,3</sup>, Fabrício A. Silva<sup>1,3</sup>  
e Linnyer B. Ruiz Aylon<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Federal de Viçosa (UFV)  
Campus Florestal – Florestal – MG – Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Maringá – PR – Brasil

<sup>3</sup>Manna Team

{rodrigo.d.miranda, anna.l.costa, estela.batista, joao.m.ramos}@ufv.br

{thais.braga, fabricio.asilva}@ufv.br

lbruiz@uem.br

**Abstract.** *This paper presents the game Manna QuantumFlip, developed to introduce quantum computing in an accessible and playful way. The proposal uses a card-based approach to explain complex concepts in a simplified manner, without mathematical formalism, aiming to reduce learning barriers. The game was applied in four events, involving 130 students from different educational levels. An evaluation was conducted through a structured questionnaire, analyzing aspects such as enjoyment, difficulty, perceived learning, and interest in the field. The results showed that 85.5% of the participants considered the game enjoyable, with students up to 18 years old demonstrating greater interest in the subject after the experience.*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o jogo Manna QuantumFlip, desenvolvido para apresentar a computação quântica de forma acessível e lúdica. A proposta utiliza um jogo de cartas para explicar conceitos complexos, abordando-os de forma simplificada e sem formalismo matemático com o objetivo de reduzir barreiras. O jogo foi aplicado em quatro eventos, abrangendo 130 alunos de variados níveis de ensino. Uma avaliação por questionário estruturado foi realizada, a qual analisou aspectos como diversão, dificuldade, percepção de aprendizado e interesse na área. Os resultados mostraram que 85,5% dos alunos consideraram o jogo divertido, com jovens até 18 anos indicando maior interesse pelo assunto após a experiência.*

## 1. Introdução

Ao propor um novo modelo para solucionar problemas complexos que demandariam longos períodos de execução na computação clássica, *Richard Feynman* tornou-se um dos principais precursores da segunda revolução quântica, com o advento da Computação Quântica (CQ) [Feynman 1982]. Esse paradigma baseia-se em princípios da Mecânica

Quântica (MQ), cujo ensino é historicamente desafiador devido à predominância de formalismo matemático, frequentemente priorizando a resolução de equações em detrimento da compreensão conceitual [Souza et al. 2021]. Tal abordagem pode resultar em aprendizagem superficial, dificultando a transição do pensamento clássico determinista para a natureza probabilística quântica. Neste cenário, muitas pessoas e, especialmente os mais jovens, podem nem mesmo se interessar em conhecer a área ou aprender seus conceitos. Considerando o recente avanço da CQ e a importância que a mesma terá nos postos de trabalho do futuro, a falta de interessados poderá se configurar como um problema na falta de talentos e mão de obra qualificada.

O caráter complexo e matematicamente rígido da MQ, e a necessidade de despertar um maior número de pessoas para o aprendizado da CQ, impulsionaram o crescimento de pesquisas sobre aprendizagem e métodos educacionais nessa área [Bitzenbauer 2021]. Apesar disso, ainda há carência de estudos empíricos voltados a estratégias motivacionais e didáticas para introdução desses conceitos [Frare et al. 2024].

Com o intuito de introduzir novas práticas educativas para abordar conceitos presentes na CQ, propostas que se desviam das metodologias tradicionais, sob a ótica pedagógica, passam a ser consideradas alternativas promissoras. Nesse contexto, os jogos são reconhecidos como ferramentas eficazes por permitirem a construção do conhecimento por meio da experimentação e do engajamento intrínseco [Romero et al. 2012]. Fundamentando-se em autores como [Meira and Blikstein 2020], entende-se que o ambiente lúdico facilita a adaptação de conteúdos complexos às estruturas cognitivas dos jovens, promovendo o pensamento crítico e o entendimento de temas elaborados. Portanto, a utilização de jogos para o ensino de CQ introduz uma nova perspectiva para a educação científica, possibilitando que conceitos complexos, como superposição e emaranhamento, sejam ensinados de forma mais intuitiva e prática [Frare et al. 2024].

Levando em consideração esse cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar o *Manna QuantumFlip*<sup>1</sup>, um jogo para estudantes que apresenta os principais tópicos da CQ, como portas lógicas quânticas e o bit quântico, de forma lúdica e imersiva, por meio de um sistema baseado em cartas físicas. As aplicações práticas do jogo para um total de 130 estudantes de diferentes níveis de ensino, em eventos do tipo mostra de profissões, minicursos e aulas temáticas revelaram uma recepção positiva por parte dos jogadores, destacando-se, principalmente, o nível de diversão, que alcançou 85,5% de aprovação. Além disso, 75,6% dos participantes relataram facilidade em adaptar-se às mecânicas do jogo, indicando também um impacto favorável na compreensão de princípios contraintuitivos e reforçando o potencial da ferramenta. Em relação ao aprendizado, 67,7% dos participantes indicaram ter compreendido os conceitos abordados pelo jogo, o que reforça sua efetividade como ferramenta pedagógica para a introdução de temas de CQ.

As seções restantes deste trabalho organizam-se da seguinte maneira: a Seção 2 discute os trabalhos relacionados encontrados; a Seção 3 detalha os fundamentos teóricos da CQ utilizados no *Manna QuantumFlip*, apresentando também a descrição do jogo; a seção 4 descreve os Relatos de Experiência, detalhando as aplicações realizadas; e, por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões acerca dos resultados coletados.

---

<sup>1</sup><https://github.com/rodrigodossantos/QuantumFlip>

## 2. Trabalhos Relacionados

Os jogos destacam-se como ferramentas de ensino eficazes, capazes de criar contextos de aprendizagem colaborativa e facilitar a assimilação de conteúdos complexos. Estudos anteriores justificam esse caráter ao relatar experiências bem-sucedidas na aplicação de métodos gamificados para o ensino de Inteligência Artificial (IA), como o jogo *Dilema IA* [Martins et al. 2023]. Essa abordagem baseia-se em uma dinâmica de cartas físicas e competitiva, adaptada para o contexto brasileiro, que visa ensinar ética em Inteligência Artificial para estudantes da educação básica. A aplicação desse instrumento demonstrou resultados positivos em termos de experiência do usuário, com destaque para a interação social e a diversão.

No que diz respeito à utilização de jogos para o ensino de CQ, a literatura apresenta diferentes propostas baseadas em simulações digitais interativas, bem como materiais instrucionais e ferramentas lúdicas educacionais. Dentre os métodos de gamificação, destaca-se principalmente o *Q-Matrix* [Malta 2024], um jogo de tabuleiro físico baseado em dinâmica de *quiz*, que incorpora principalmente conteúdos de álgebra linear para estudantes do Ensino Médio. Segundo o autor, o jogo demonstrou ser uma ferramenta eficaz e engajadora, capaz de transmitir conceitos técnicos complexos de forma acessível. De maneira semelhante, *Qubit: The Game* [Escanez-Exposito et al. 2023] e *Entanglion* [Weisz et al. 2018] destacam-se por apresentarem abordagens mais próximas das concepções propostas para o *Manna QuantumFlip*. O primeiro baseia-se em um jogo de cartas com foco na motivação e na compreensão de tópicos essenciais da Computação Quântica. O segundo, por sua vez, adota um formato de tabuleiro cujo objetivo é introduzir conceitos fundamentais da área por meio de um sistema quântico de dois qubits.

Diferentemente desses dois jogos, o *Manna QuantumFlip* apresenta um conjunto ampliado de portas lógicas e prioriza uma abordagem conceitualmente mais simplificada. Os conceitos são representados de forma visual, sem o uso de formalismo matemático, utilizando estados binários para representar *qubits* e associando as portas lógicas a ações diretas e intuitivas sobre as cartas, o que permite reduzir a complexidade conceitual.

## 3. Manna QuantumFlip

### 3.1. Conceitos Abordados

O jogo *Manna QuantumFlip* baseia-se em propriedades e fenômenos fundamentais existentes na CQ: qubits, portas lógicas quânticas, emaranhamento, superposição e decoerência. Tais conceitos possuem descrições complexas e são pouco explorados em áreas da computação clássica. Por esse motivo, esta seção será reservada para detalhar e descrever os fundamentos citados.

Os computadores clássicos descrevem o *bit* como a menor unidade básica de informação, que assume valores lógicos “0” ou “1”. De maneira análoga, a CQ utiliza o *qubit*, também denominado *bit quântico*, como sua unidade básica de informação. Diferentemente do bit, o qubit possui três estados possíveis, sendo eles  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , e também pode estar em superposição, formando uma combinação linear desses estados, descrita pelo princípio da superposição [Nielsen and Chuang 2000]. A superposição quântica permite que os *qubit* assumam uma combinação linear entre os estados  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$  [Combarro and González-Castillo 2023]. Em outras palavras, antes de ser medido, o

qubit em estado de superposição não possui um valor bem definido, mas sim uma distribuição de probabilidades associada aos estados  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , permitindo uma forma mais complexa de codificação da informação em comparação com a computação clássica, na qual os bits assumem apenas os valores “0” ou “1”.

Como dito anteriormente, um qubit armazena informações em seus estados associados e é, fundamentalmente, um sistema quântico. Dessa forma, para manipular esses estados a fim de realizar operações computacionais, é necessária a aplicação de portas lógicas quânticas [Combarro and González-Castillo 2023]. Diferentemente das portas lógicas clássicas, essas portas são descritas por operações unitárias e reversíveis, preservando a informação quântica.

O fenômeno do emaranhamento não possui análogos na computação clássica. Contudo, é possível explicá-lo por meio de dois ou mais qubits que são descritos por um único estado quântico em conjunto [Rigolin 2005]. Ou seja, pode-se dizer que eles estão correlacionados de alguma maneira, de modo que as medições realizadas em um deles estão fortemente relacionadas aos resultados das medições dos demais, independentemente da distância entre eles.

A decoerência é o processo pelo qual um sistema quântico perde suas propriedades quânticas devido a interferências externas como ruído térmico e campos magnéticos. Esse fenômeno faz com que a superposição seja destruída levando, assim, o sistema a se comportar de forma clássica.

### 3.2. Componentes e Regras

O *Manna QuantumFlip* foi desenvolvido especificamente para apresentar conceitos complexos da computação quântica de maneira lúdica e divertida para alunos de todos os níveis educacionais. O jogo consiste em três tipos de cartas. O primeiro tipo corresponde às cartas qubit, contendo 24 unidades, cada uma com dois lados: a face frontal representa o estado 0 e o verso representa o estado 1. O segundo tipo é formado por 10 cartas de sequência, que representam sequências binárias compostas por seis dígitos. Por fim, o jogo possui 50 cartas de Portas Lógicas Quânticas, responsáveis por simular operações quânticas sobre os qubits, sendo subdivididas em cinco categorias: Identidade, Hadamard, CNOT, NOT e Decoerência. O design de cada carta está presente na Figura 1.



Figura 1. Design das cartas

Antes de iniciar uma partida do jogo com um grupo, é importante realizar uma breve apresentação dos conceitos de computação quântica, com o objetivo de familiarizar os participantes com o tema. Como a grande maioria destes não possui conhecimento prévio sobre CQ ou física quântica, essa etapa também é essencial para que os jogadores entendam como funcionam as cartas do jogo e consigam compreender os conceitos.

Após essa introdução, em grupos de dois a quatro participantes, a dinâmica se inicia e cada jogador terá à sua frente uma sequência de 6 cartas qubit com o valor 0 para cima. No centro da mesa estarão embaralhadas todas as cartas portas lógicas quânticas com a face virada para baixo de modo que os jogadores não consigam identificar qual a sub categoria de cada carta. Ao lado haverá uma pilha com todas as cartas de sequência. A Figura 2 mostra a organização da mesa.



Figura 2. Organização da mesa

Para ilustrar a dinâmica do jogo, considere uma partida com quatro jogadores. Inicialmente, cada participante recebe uma carta sequência e seis cartas qubit com o valor inicial 0 voltado para cima (conforme Figura 2). O objetivo consiste em transformar os estados dos qubits de modo a reproduzir a sequência binária obtida. Para isso, os jogadores, em turnos alternados, compram cartas de portas lógicas quânticas e as aplicam sobre seus qubits, modificando seus estados conforme as regras de cada operação. Por exemplo, ao obter uma porta NOT, o jogador pode utilizá-la para inverter o valor de um qubit específico. É importante ressaltar que ao obter uma carta porta lógica, o jogador deverá utilizá-la, podendo aplicá-la em qualquer um dos seus qubits. Uma única carta porta lógica possui particularidades, sendo ela a carta Decoerência. Esta carta pode ser deixada para ser utilizada em rodadas futuras. Além disso, seu uso deve se dar nos qubits dos adversários e não nos do próprio jogador, com o objetivo de atrapalhá-los na formação de suas sequências. A partida prossegue até que um dos jogadores consiga reproduzir completamente sua sequência-alvo, ganhando assim um ponto e iniciando outra rodada, na qual cada participante recebe uma nova carta sequência. O jogo prossegue até atingir o número de rodadas estipulado pelos participantes, sendo declarado vencedor o jogador com maior número de pontos. As habilidades correspondentes a cada uma das cartas de portas lógicas quânticas estão descritas na Tabela 1.

## 4. Relatos de Experiência

### 4.1. Aplicação do Jogo

O jogo *Manna QuantumFlip* foi aplicado em quatro ocasiões, contando com a participação de alunos do ensino fundamental ao superior, mas com predomínio de alunos do ensino médio, público-alvo principal do jogo. A Figura 3 apresenta imagens de alguns momentos da aplicação do jogo.

A primeira aplicação ocorreu durante a Mostra de Profissões 2025 organizada pela UFV – Campus Florestal, um evento anual focado em estudantes do ensino médio e do Ensino Fundamental. Nesse contexto, foi montado um estande com o jogo, permitindo

**Tabela 1. Descrição das cartas do jogo quântico**

Carta	Descrição
Hadamard	Coloca o qubit em superposição, representando simultaneamente os estados 0 e 1. A superposição permanece até que um adversário utilize a carta Decoerência.
Identidade	Não altera o estado do qubit. Na prática, equivale a uma rodada perdida, pois o jogador não pode modificar nenhuma de suas cartas qubit na rodada.
NOT	Inverte o estado do qubit: 0 torna-se 1 e 1 torna-se 0. O jogador escolhe uma de suas cartas qubit para aplicar a inversão.
CNOT (Emaranhamento)	Representa o emaranhamento quântico, conectando dois qubits. O jogador deve obrigatoriamente modificar duas cartas qubit, que passam a estar correlacionadas.
Decoerência	Representa o colapso da superposição (decoerência quântica). Pode ser usada em um qubit adversário que esteja em superposição, removendo a carta Hadamard e fixando o estado em 0 ou 1. Pode ser usada imediatamente ou guardada para uso estratégico.

que os alunos interessados participassem da atividade. Nessa ocasião, participaram 47 estudantes, sendo 28 do ensino médio e 19 do ensino fundamental.

A segunda aplicação ocorreu para 18 alunos durante a primeira edição do minicurso "Do Bit ao Qubit", voltado a apresentar a história e os conceitos básicos da CQ para alunos do ensino médio. O minicurso integrou a Semana da Computação Jr. 2025 oferecida pelo Técnico em Informática da Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (CEDAF), vinculada à UFV - Campus Florestal.

A terceira aplicação se deu durante o evento *Manna Quantum Experience*, destinado a apresentar os conceitos e as tecnologias quânticas prioritariamente para alunos dos cursos de graduação da UFV - campus Florestal, mas aberto para toda comunidade acadêmica. Um total de 28 alunos participaram desta aplicação.

A quarta e última aplicação ocorreu durante um *bootcamp* realizado para reaplicar e adaptar o minicurso "Do Bit ao Qubit", para o contexto de sala de aula. Esse *bootcamp* foi aplicado em uma turma de 38 alunos do primeiro ano do ensino técnico em informática da CEDAF.

Em todos os eventos foram distribuídos questionários aos participantes após a aplicação do jogo, os quais foram estruturados para respostas rápidas, devido ao tempo limitado disponível. As perguntas utilizadas estão apresentadas na Tabela 2. Cada formulário continha três perguntas no formato Likert de cinco pontos (Q1, Q2 e Q3), sendo 1 a resposta mais negativa e 5 a mais positiva, e uma pergunta aberta (Q6), com exceção da primeira aplicação, na qual foram incluídas duas questões adicionais, uma Likert e uma aberta (Q4 e Q5, respectivamente). Dados básicos, como idade, nome da escola e gênero dos participantes também foram coletados, preservando o anonimato dos participantes.



Figura 3. Aplicação do *Manna QuantumFlip* em diferentes eventos.

Tabela 2. Perguntas dos questionários aplicados nos eventos

ID	Pergunta	Formato	Evento	Obrigatória
Q1	Achei o jogo divertido.	Likert (1–5)	Todos	Sim
Q2	Achei o jogo fácil de aprender.	Likert (1–5)	Todos	Sim
Q3	Acredito que entendi os conceitos abordados pelo jogo.	Likert (1–5)	Todos	Sim
Q4	Me interessei por computação quântica depois de jogar o jogo.	Likert (1–5)	Mostra de Profissões	Sim
Q5	O que você mais gostou no jogo?	Aberta	Mostra de Profissões	Não
Q6	O que você acha que pode melhorar?	Aberta	Todos	Não

## 4.2. Resultados e Discussão

No total, considerando todas as aplicações realizadas, participaram 130 estudantes, abrangendo diferentes faixas etárias e níveis de escolaridade, incluindo ensino fundamental, médio e superior. Essa diversidade de participantes possibilitou a realização de análises comparativas tanto em relação ao formato dos eventos quanto às diferenças etárias.

A coleta de feedback tem como objetivo avaliar a percepção dos participantes sobre três aspectos centrais da experiência proporcionada pelo jogo *Manna QuantumFlip*: o nível de diversão, a dificuldade de uso e o percepção de aprendizado dos alunos proporcionado pela experiência. Com base nesses dados, foram analisadas três questões principais: (i) qual foi a percepção geral dos participantes em relação ao jogo? (ii) a idade dos participantes influencia a percepção desses aspectos da experiência? (iii) houve diferenças nas avaliações em função do formato do evento no qual o jogo foi aplicado? Para a realização das análises, utilizou-se a média aritmética das respostas como medida de tendência central para comparação entre grupos e eventos.

#### 4.2.1. Percepção Geral

Em uma análise geral, apresentada na Figura 4, observa-se uma avaliação predominantemente positiva em relação ao jogo *Manna QuantumFlip*. Observou-se predominância nas categorias de concordância (jogadores que responderam concordo e concordo fortemente) em todas as perguntas realizadas. O nível de diversão (Q1) foi a questão que apresentou maior porcentagem de concordância (85,5%), evidenciando forte aceitação dos participantes à proposta lúdica do jogo.

O nível de dificuldade (Q2) também apresentou um percentual elevado de concordância (75,6%), mostrando que a maioria dos participantes teve facilidade de adaptação às mecânicas propostas. A percepção de aprendizado (Q3) e o interesse na área (Q4), embora apresentem percentuais de concordância predominantemente positivos, registraram as menores taxas entre as questões, com 67,7% e 67,3%, respectivamente.

Em relação às questões Q5 e Q6, como não eram obrigatórias, foi obtido um número reduzido de respostas. Ainda assim, observa-se que a maioria das respostas foi positiva em relação ao jogo, sendo a principal sugestão de melhoria a adição de novas cartas.

De modo geral, os resultados indicam que o jogo foi bem avaliado nos aspectos analisados, com destaque para o engajamento proporcionado pela experiência, representado pela diversão e facilidade percebidos pelos jogadores.

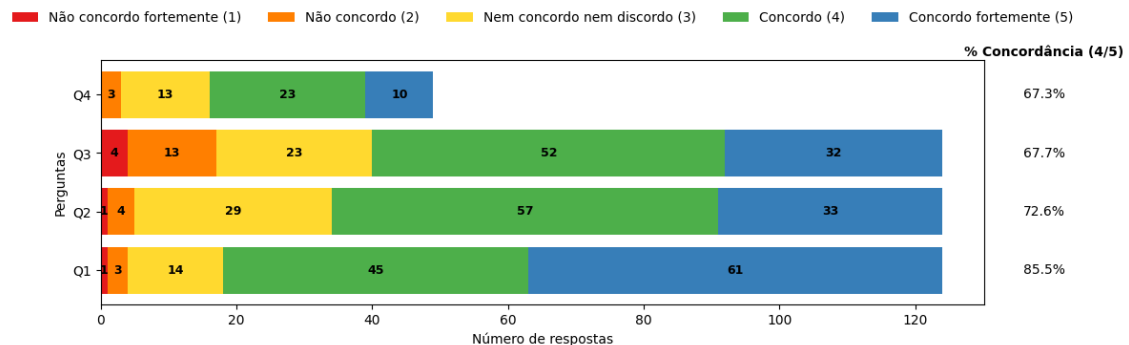


Figura 4. Avaliação do jogo

#### 4.2.2. Análise Por Faixa Etária

As respostas obtidas foram separadas pelas faixas etárias correspondentes aos níveis de ensino: 0-14 (fundamental), 15-18 (médio) e 18+ (superior). A análise das médias, apresentada na Figura 5, indica variação moderada nos diferentes aspectos sobre o jogo.

Em relação ao nível de diversão (Q1), observa-se que a faixa de 0-14 tem a maior média (4,44). No que se refere a dificuldade (Q2), os participantes 18+ tiveram a maior média (4,30), o que pode indicar uma percepção mais crítica em relação à complexidade do jogo, possivelmente associada ao maior repertório prévio desses indivíduos. As faixas etárias com 15-18 (3,92) e com 0-14 (3,78) tiveram uma média bem próxima, indicando uma percepção de dificuldade mais homogênea entre os participantes mais jovens.

Quanto à percepção de aprendizado (Q3), as médias das faixas de 0–14 (3,81) e 15–18 anos (3,84) foram semelhantes, enquanto o grupo 18+ apresentou média inferior (3,44). Já em relação ao interesse na área (Q4), observa-se que as faixas de 0–14 (3,79) e 15–18 anos (3,87) registraram médias superiores à faixa de 18+ (3,00), que apresentou a menor avaliação nesse aspecto. Esse resultado sugere que o jogo possui maior capacidade de despertar interesse entre participantes mais jovens, possivelmente por se tratar de um primeiro contato destes com a temática.

De modo geral, as diferenças entre as faixas etárias não são estatisticamente expressivas, mas sugerem que participantes mais jovens demonstraram maior engajamento e interesse.

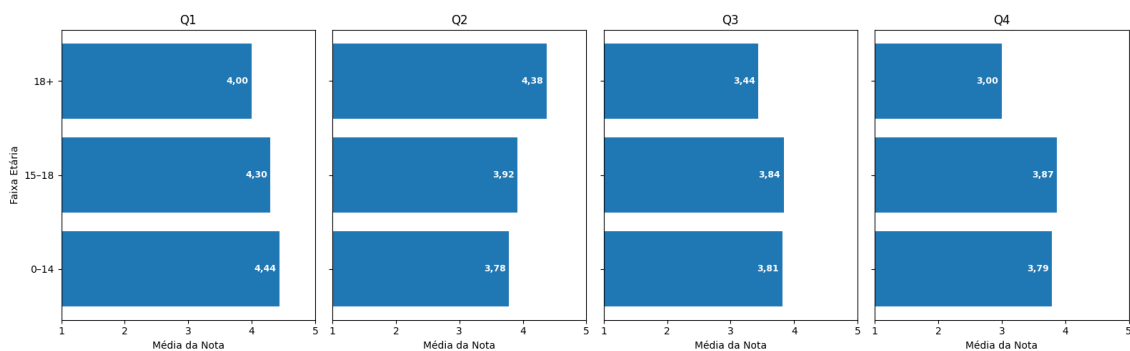


Figura 5. Média das avaliações por faixa etária

### 4.2.3. Análise Por Evento

Ao analisar as médias das avaliações separadamente por evento, conforme apresentado no Figura 6, é possível identificar diferenças em alguns aspectos abordados. A questão Q4 foi excluída desta análise, uma vez que foi aplicada em apenas um dos eventos, o que inviabiliza comparações entre os diferentes contextos.

Em relação ao nível de diversão (Q1) e percepção de aprendizado (Q3), nota-se uma proximidade entre as notas dadas para a Mostra de Profissões (4,78 e 4,24) e o Mini-curso (4,53 e 4,13), ambas com médias elevadas, o que sugere que ambientes mais direcionados ao público-alvo favorecem o engajamento dos participantes. O *Manna Quantum Experience* apresentou médias menores (4,19 e 3,52), possivelmente em função do perfil do público, composto majoritariamente por alunos do ensino superior, que não constituem o público-alvo principal do jogo. Já o *Bootcamp* apresentou uma nota relativamente menor (3,61 e 3,09) em relação aos outros eventos.

Em relação ao nível de dificuldade (Q2), as médias foram relativamente próximas entre os eventos, indicando que a percepção de complexidade do jogo se manteve estável independentemente do contexto de aplicação.

De modo geral, os resultados indicam que o formato do evento pode estar associado a diferenças no engajamento e na percepção de aprendizado, embora análises adicionais sejam necessárias para confirmar essa relação.

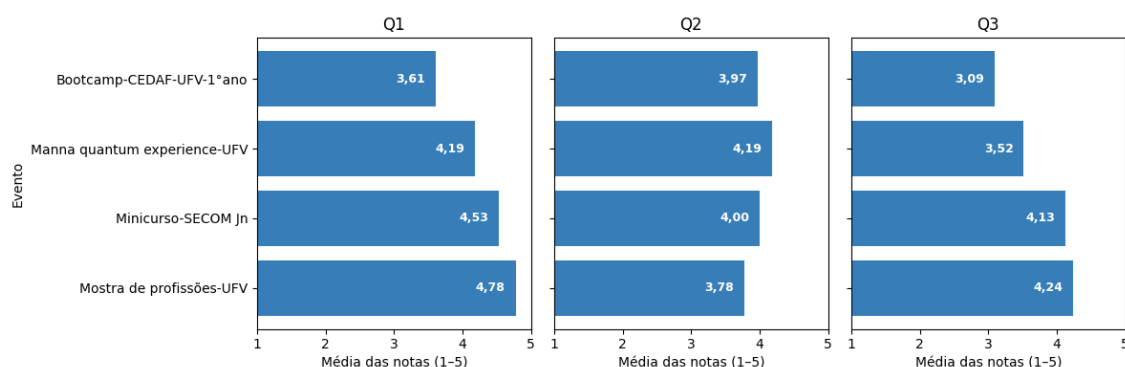


Figura 6. Média das avaliações por evento

## 5. Considerações Finais

O trabalho apresentou o jogo *Manna QuantumFlip*, um jogo de cartas que tem como objetivo introduzir conceitos fundamentais da CQ, como qubit, portas lógicas quânticas, superposição e emaranhamento, entre outros, de forma acessível e lúdica. Essa estratégia mostra-se importante em um contexto em que a CQ se apresenta como uma área estratégica e em expansão, mas onde ainda há muito receio por parte dos estudantes, que a consideram abstrata e difícil.

A avaliação realizada com 130 estudantes de diferentes níveis de ensino destacou o potencial do jogo como estratégia simultaneamente divertida e educativa. Os resultados indicam que 85,5% dos estudantes consideraram o jogo divertido e 67,7% afirmaram ter compreendido os conceitos abordados. Além disso, a maioria dos estudantes considerou o jogo simples de aprender, reforçando sua acessibilidade. Destaca-se, ainda, que o público-alvo, alunos de 15 a 18 anos, apresentou avaliações consistentemente positivas para todos os aspectos analisados no formulário, o que reforça a efetividade da proposta enquanto ferramenta introdutória para o ensino de CQ.

Como trabalhos futuros, sugere-se que novas avaliações do jogo sejam realizadas, com o objetivo de expandir e diversificar o conjunto de estudantes ao qual o jogo será exposto. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de uma versão digital do jogo, visando ampliar sua escalabilidade e possibilitar aplicações em contextos de ensino remoto. Também se sugere a expansão dos conteúdos abordados, incorporando conceitos mais avançados de computação quântica, bem como a realização de estudos longitudinais para avaliar a retenção do conhecimento ao longo do tempo.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), da Equipe Manna, da Fundação Araucária, da Softex, do CNPq (número do projeto 421548/2022-3), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da CAPES.

## Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Em concordância com o Código de Conduta da SBC, declara-se a utilização de ferramentas como plataformas de Inteligência Artificial generativa ao longo da elaboração deste

trabalho. Para a revisão gramatical, aprimoramento da redação, auxílio na criação das tabelas e auxílio na criação dos gráficos, empregou-se o uso do ChatGPT (OpenAI). A ferramenta Gemini (Google), por sua vez, foi utilizada para apoio na identificação preliminar de referências bibliográficas.

## Referências

- Bitzenbauer, P. (2021). Quantum physics education research over the last two decades: A bibliometric analysis. *Education Sciences*, 11(11):699.
- Combarro, E. F. and González-Castillo, S. (2023). *A Practical Guide to Quantum Machine Learning and Quantum Optimization: Hands-on Approach to Modern Quantum Algorithms*. Packt Publishing, Birmingham, UK. Foreword by Alberto Di Meglio. ISBN 978-1-80461-383-2.
- Escanez-Exposito, D., Correa-Marichal, J., and Caballero-Gil, P. (2023). Qubit: The game: Teaching quantum computing through a game-based approach. In *Computational Science – ICCS 2023*. Springer Nature Switzerland, Cham.
- Feynman, R. P. (1982). Simulating physics with computers. *International Journal of Theoretical Physics*, 21(6):467–488.
- Frare, V. L. F., Araujo, I. S., and Veit, E. A. (2024). Uma revisão sistemática da literatura sobre o ensino de computação quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46:e20240253.
- Malta, C. A. O. (2024). Q-matrix: um jogo de tabuleiro integrado a uma unidade de ensino potencialmente significativa para uma abordagem de conceitos de computação quântica no ensino médio. Dissertação (mestrado profissional em ensino de física), Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Salvador - BA.
- Martins, R. M., Arndt, D. M., von Wangenheim, C. G., von Wangenheim, L., Rauber, M. F., and Hauck, J. C. R. (2023). Ensinando Ética em ia com um jogo de cartas para estudantes do ensino fundamental e médio de um contexto de vulnerabilidade social. In *Anais do Workshop de Informática na Escola (WIE)*, pages 1–10, São José, SC. Sociedade Brasileira de Computação (SBC).
- Meira, L. and Blikstein, P. (2020). Jogo pedagógico, jogo digital e gamificação: Iguais ou diferentes? In *Ludicidade, Jogos Digitais e Gamificação na Aprendizagem*. Grupo A, Selo Penso, Porto Alegre, RS.
- Nielsen, M. A. and Chuang, I. L. (2000). *Quantum Information and Quantum Computation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rigolin, G. G. (2005). *Estados Quânticos Emaranhados*. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Física Gleb Wataghin.
- Romero, M., Usart, M., Ott, M., Earp, J., de Freitas, S., and Arnab, S. (2012). Learning through playing for or against each other? promoting collaborative learning in digital game-based learning. In *Proceedings of the 20th European Conference on Information Systems (ECIS 2012)*, Barcelona, Spain. Association for Information Systems (AIS).

- Souza, R. d. S., Greca, I. M., Silva, I., and Teixeira, E. S. (2021). Reflexões sobre o ensino de mecânica quântica nos cursos de graduação em física a partir de revisão sistemática. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20:1363–1391.
- Weisz, J. D., Ashoori, M., and Ashktorab, Z. (2018). Entanglion: A board game for teaching the principles of quantum computing. In *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY '18)*, Melbourne, VIC, Australia. ACM.