

Adaptação de Questões Avaliativas para Estudantes Neurodivergentes: Uma Arquitetura Computacional Fundamentada em Inteligência Artificial Generativa

Júlio César da Costa Silva¹, Hiran Nonato M. Ferreira¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) - Campus Passos
Passos – MG – Brasil

Abstract. *This article describes the development of an architecture called Mind Bridge for adapting assessment questions for neurodivergent students using Generative Artificial Intelligence resources. Mind Bridge makes the questions more accessible and understandable, contributing to inclusion and equity of opportunities. The architecture was designed with three modules: Input Module, Logical Module, and Generative Module. An experiment was conducted with education professionals to evaluate the architecture. The results demonstrated the effectiveness of the architecture in adapting questions from various fields of knowledge, highlighting its ability to facilitate the understanding of technical and complex questions.*

Resumo. *Este artigo descreve o desenvolvimento de uma arquitetura, denominada Mind Bridge, para adaptar questões de avaliação para estudantes neurodivergentes, utilizando recursos de Inteligência Artificial Generativa. A Mind Bridge torna as questões mais acessíveis e compreensíveis, contribuindo para a inclusão e a equidade de oportunidades. A arquitetura foi projetada com três módulos: Módulo de Entrada, Módulo Lógico e Módulo Generativo. Um experimento foi conduzido com profissionais da educação para avaliar a arquitetura. Os resultados demonstraram a eficácia da arquitetura na adaptação de questões de diversas áreas do conhecimento, evidenciando sua habilidade em facilitar o entendimento de questões técnicas e complexas.*

1. Introdução

A inclusão de estudantes com necessidades específicas é um desafio constante na educação, exigindo práticas inclusivas que assegurem o pleno desenvolvimento de cada indivíduo [Manalili 2021]. Nesse contexto, a adaptação de materiais didáticos, como questões de avaliação, é uma prática crucial para garantir que todos os alunos possam participar ativamente do processo de aprendizagem [Chrysochoou et al. 2021]. Assim, é fundamental que as adaptações considerem não apenas as necessidades específicas dos alunos, mas também as orientações pedagógicas e políticas inclusivas para garantir sua efetividade [Jigyel et al. 2020].

A preparação dos professores para a implementação dessas práticas inclusivas também desempenha um papel essencial. Estudos ressaltam que a formação docente é uma etapa vital para a adaptação eficaz de materiais didáticos, permitindo que os professores estejam aptos a atender às diferentes necessidades de seus alunos [Nishihira and Sarkis 2023].

Dentre as várias necessidades específicas, a neurodiversidade se destaca como um campo importante a ser considerado. O termo “*neurodivergente*” refere-se a indivíduos cujo funcionamento neurológico difere do padrão considerado típico, abrangendo condições como estilos de aprendizagem não convencionais e processamento sensorial atípico [Hamilton and Petty 2023]. Esses alunos muitas vezes enfrentam desafios significativos ao lidar com questões que não são adaptadas às suas necessidades cognitivas e sensoriais [Shmulsky et al. 2022].

Nesse cenário, a tecnologia, especialmente a computação, tem se mostrado uma ferramenta poderosa para promover a inclusão educacional. Ambientes de aprendizagem mais acessíveis podem ser criados com o auxílio da tecnologia [Martins et al. 2022], e a Inteligência Artificial Generativa (IA generativa) surge como uma solução promissora nesse contexto. Pesquisas indicam que a IA generativa pode ser usada para adaptar questões de exames, tornando-as mais acessíveis e compreensíveis para estudantes com necessidades específicas [de Oliveira et al. 2023b]. Além disso, essa tecnologia pode personalizar conteúdos educacionais, promovendo uma aprendizagem mais inclusiva e eficaz [Bahroun et al. 2023].

Este trabalho propõe uma arquitetura computacional voltada para a adaptação de questões de avaliação para estudantes neurodivergentes, utilizando IA generativa. A proposta visa não apenas adequar o conteúdo das questões, mas também torná-las mais acessíveis e compreensíveis, contribuindo para uma educação mais inclusiva e equitativa. Experimentos foram conduzidos para avaliar a efetividade da arquitetura, com a participação de profissionais da educação especializada, como pedagogos, professores de Atendimento Educacional Especializado (AEE) e docentes de diversos níveis de ensino.

2. Tecnologias na Educação Inclusiva

A integração da tecnologia na educação tem sido amplamente discutida na literatura. De acordo com Haleem [Haleem et al. 2022], a tecnologia pode promover uma aprendizagem ativa e colaborativa, permitindo que os alunos participem de forma mais interativa no processo educacional. Além disso, seu uso pode contribuir significativamente para a inclusão e a equidade, ao adaptar-se às necessidades de alunos com deficiência, proporcionando-lhes acesso mais eficaz aos recursos educacionais [de Oliveira et al. 2023a].

Essa adaptação é crucial no contexto de avaliação de alunos neurodivergentes. A neurodiversidade representa a variação natural no funcionamento do cérebro, resultando em diferentes estilos de aprendizagem e processamento de informações [Pellicano and Stears 2011]. Adaptar as questões de avaliação para esses alunos permite uma avaliação mais justa e inclusiva, assegurando que possam demonstrar seu verdadeiro potencial. Essa prática também reforça o compromisso dos educadores com a diversidade e a equidade.

A Inteligência Artificial Generativa (IA Generativa) ilustra o impacto dos avanços tecnológicos em áreas como educação e computação. Baseada em redes neurais, como os modelos GPT, a IA Generativa pode criar novos conteúdos de maneira automatizada [Marchi et al. 2023]. Contudo, sua aplicação exige cautela, visto que ela levanta questões éticas, como a criação de conteúdo enganoso, tornando fundamental o desenvolvimento de abordagens responsáveis.

3. Arquitetura Proposta

O avanço de tecnologias voltadas para a educação é crucial para a inclusão de estudantes neurodivergentes. A adaptação de materiais didáticos desempenha um papel vital em garantir que esses alunos participem de forma eficaz no ambiente educacional.

A arquitetura proposta, denominada *Mind Bridge*, foi desenvolvida com base nos princípios de inclusão educacional, visando facilitar o aprendizado de alunos com necessidades especiais. A *Mind Bridge* oferece um perfil de usuário específico para professores, permitindo-lhes: (i) estruturar questões avaliativas de maneira sistemática e organizada; (ii) converter imagens em texto para uma compreensão mais acessível; e (iii) reformular e adaptar textos conforme as necessidades específicas de cada aluno.

A arquitetura da *Mind Bridge* é composta, essencialmente, por três módulos principais: Módulo de Entrada, Módulo Lógico e Módulo Generativo. Uma visualização simplificada da arquitetura pode ser vista na Figura 1. No Módulo de Entrada (Figura 1-A), o professor inicia o processo de adaptação ao fornecer entradas em formato de texto ou imagem. Essas entradas são enviadas ao Módulo Lógico por meio de requisições HTTP (Figura 1-B).

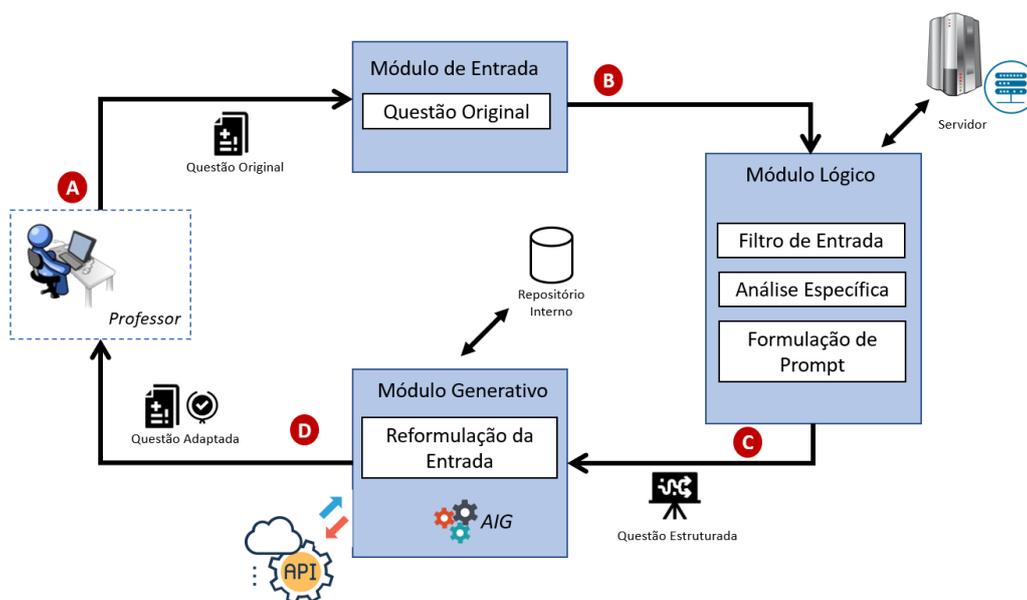


Figura 1. Arquitetura da *Mind Bridge*

No Módulo Lógico, as entradas são processadas em um servidor. Esse servidor aplica uma série de filtros para garantir a integridade dos dados e identificar as adaptações necessárias para tornar as questões acessíveis aos alunos. O primeiro filtro, conhecido como filtro de entrada, utiliza recursos de Inteligência Artificial para detectar e classificar spam, garantindo que apenas entradas válidas sejam processadas. Em seguida, a entrada é analisada pelo filtro de análise específica, que determina as necessidades especiais do aluno e avalia como a questão deve ser adaptada. Por fim, a entrada passa pelo filtro de formulação de *prompt*, onde um *prompt* padronizado é selecionado com base nas características, e a estrutura do texto é ajustada conforme as necessidades do aluno.

No Módulo Generativo (Figura 1-C), após a etapa de padronização, a entrada estruturada passa por um mecanismo de Inteligência Artificial (IA), que é suportado por um repositório interno. Esse repositório garante a continuidade do processo e facilita a recuperação de informações. A IA reformula a entrada com base nas análises prévias, adaptando a questão para atender às necessidades específicas do aluno. Esse processo acontece através de mecanismos para processamento de requisições a partir de APIs dedicadas. Por fim, a questão adaptada é encaminhada ao professor (conforme mostrado na Figura 1-D) para revisão e, se necessário, ajustes, antes de ser aplicada ao aluno.

A integração dos módulos de Entrada, Lógico e Generativo na *Mind Bridge* não só facilita como também otimiza o funcionamento da arquitetura. Essa abordagem modular permite que a *Mind Bridge* ofereça uma solução robusta e eficiente para a adaptação de materiais educacionais. Além de facilitar a inclusão de alunos neurodivergentes, essa abordagem oferece aos professores um recurso poderoso para garantir que todos os alunos tenham acesso ao mesmo nível de qualidade educacional, independentemente de suas habilidades individuais.

4. Experimento e Resultados

Essa pesquisa foi desenvolvida seguindo uma abordagem exploratória, na qual arquiteturas e protótipos reais são desenvolvidos com o intuito de permitir a utilização, testes e validação da proposta. Além disso, com o objetivo de analisar a efetividade da proposta foi conduzido um experimento qualitativo para avaliar a eficiência da arquitetura *Mind Bridge* na adaptação de questões para alunos com neurodivergência. Este método tem sido confirmado e muito explorado na literatura [da Silva and Schorr 2023].

4.1. Método proposto

O processo metodológico desta pesquisa foi conduzido em cinco etapas (Figura 2). Primeiro, elaboraram-se cinco questões de diferentes áreas do conhecimento. Na segunda etapa, essas questões foram submetidas à plataforma *Mind Bridge* para análise. Na terceira, a plataforma gerou duas versões adaptadas de cada questão. Na quarta, profissionais da educação avaliaram as versões originais e adaptadas, fornecendo feedback sobre as adaptações. Finalmente, na quinta etapa, as avaliações e comentários dos educadores foram documentados para análise.

4.2. Questionário e Participantes

No questionário de avaliação buscou-se incluir questões que permitissem uma análise específica sobre a qualidade das adaptações realizadas pela plataforma. Foram incluídas as cinco questões citadas na subseção de Método proposto (Subseção 4.1 - Etapa 1), juntamente com as duas adaptações distintas realizadas pelo *Mind Bridge* (Etapa 3). A primeira adaptação tinha o intuito de transformar a questão em uma linguagem mais objetiva e a segunda adaptação tinha como foco tornar a questão mais detalhada e explicativa. Para cada uma destas adaptações foram realizadas rotinas específicas de análise, síntese e processamento linguístico/computacional.

Em relação às questões propostas no questionário, foram elaboradas quatro perguntas do tipo Likert de cinco pontos, destinadas a avaliar características específicas das adaptações realizadas. Para concluir o questionário, foram criadas perguntas subjetivas,

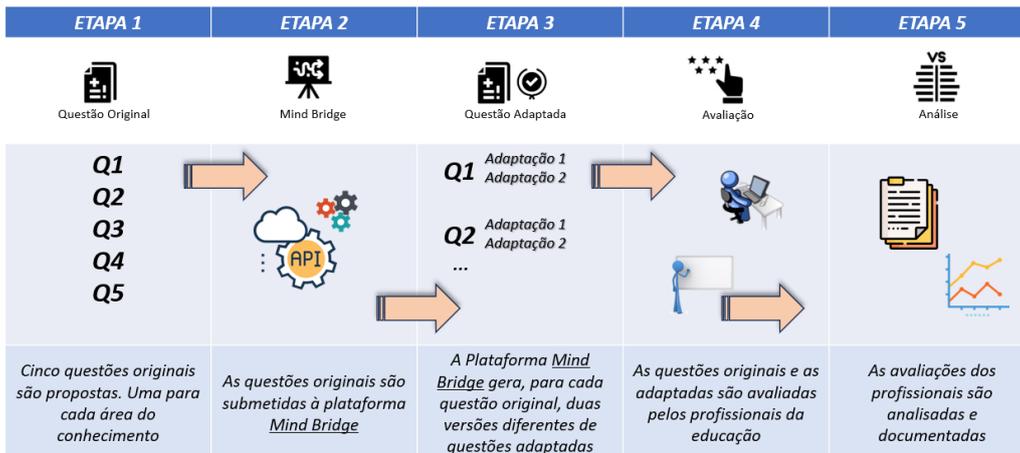


Figura 2. Processo Metodológico

permitindo que os profissionais da educação expressassem suas opiniões de forma mais detalhada. Essas perguntas subjetivas possibilitaram que os educadores compartilhassem seu ponto de vista, sugestões e críticas em relação à proposta apresentada.

O questionário foi aplicado a sete profissionais da educação, incluindo dois professores de ensino superior e técnico, dois professores de ensino fundamental e médio, dois professores AEE (Atendimento Educacional Especializado) e um pedagogo. Esse grupo diversificado de educadores foi selecionado para fornecer uma ampla gama de perspectivas sobre as adaptações propostas.

4.3. Resultados e Discussão

O objetivo principal deste experimento foi avaliar a eficácia da arquitetura proposta na adaptação de questões, a utilidade percebida pelos professores e o impacto potencial no auxílio a estudantes neurodivergentes ao utilizarem o recurso educacional. Devido à inclusão de questões descritivas no experimento, foi necessária uma avaliação qualitativa para uma melhor interpretação dos resultados. Dessa forma, foi possível identificar que em relação a avaliação das adaptações realizadas houve uma maior concentração nos níveis de concordância (Figura 3-A).

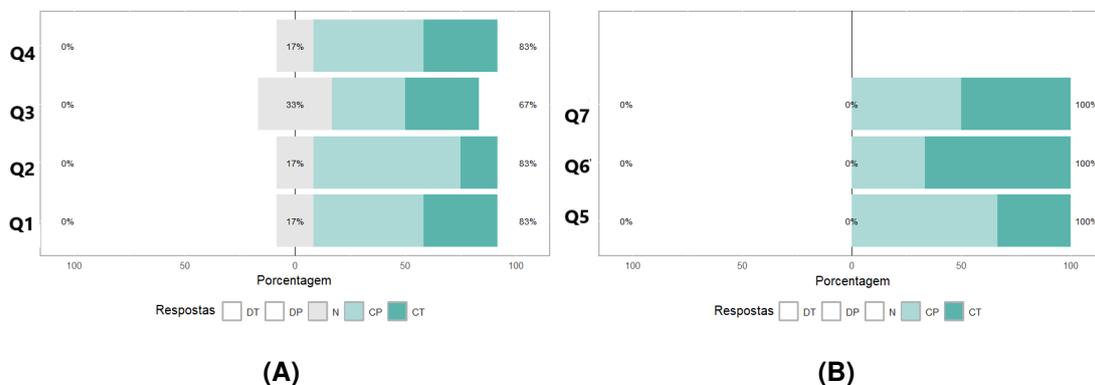


Figura 3. Escala de Concordância

Na questão 1 (Q1), 83% dos profissionais da educação concordaram que a primeira adaptação tornou a questão mais objetiva, enquanto os demais ficaram neutros.

Na questão 2 (Q2), 83% consideraram a segunda adaptação mais detalhada e 17% foram neutros. Na questão 3 (Q3), 67% concordaram que o significado da questão original foi mantido, com o restante em posição neutra. Na questão 4 (Q4), 83% acharam que as adaptações facilitaram o entendimento, e 13% foram neutros, sem respostas de discordância em nenhuma das análises.

Além de considerar as características das adaptações, o experimento também buscou avaliar a percepção dos professores sobre a utilidade da proposta na adaptação das questões, tanto para os alunos quanto para os professores. Foi possível observar, de forma clara, uma maior concentração de respostas nos valores positivos (Figura 3-B).

Foi possível observar que 100% dos profissionais acreditam que o sistema se mostrou eficiente em adaptar as questões (questão 6 - Q6). Também foi constatado na questão 7 (Q7) que os profissionais concordam em 100% que a arquitetura proposta pode ser útil quando utilizado de forma a auxiliar os professores. Além disso, os profissionais concordam em 100% que esse sistema pode ser um grande auxílio ao considerar a utilização do mesmo na aprendizagem de alunos neurodivergentes (questão 8 - Q8).

Além das questões objetivas, o questionário incluiu também perguntas subjetivas, como opiniões sobre o sistema, sugestões de melhorias e críticas gerais. A maioria das respostas foi positiva, e algumas delas estão apresentadas a seguir:

[Professor AEE] - *“A proposta de adaptar questões para os estudantes neurodivergentes é essencial e muito positiva.”*

[Pedagogo] - *“Gostei das adaptações que foram feitas pela Inteligência artificial generativa. O uso do grifo ou color coding é muito utilizada para frisar conceitos e palavras importantes. Gostei tb que nas questões explicativas, a maioria vem com alguma pergunta disparadora. É importante a pergunta disparadora que funcionará como um gancho para a introdução do conteúdo.”*

[Professor de Ensino Médio e Fundamental] - *“Em meio a tanta tecnologia, a ferramenta seria bem utilizada no processo de ensino-aprendizagem.”*

Como pode ser observado, o professor AEE destaca a importância da adaptação de questões para estudantes neurodivergentes, enquanto o professor de ensino médio e fundamental ressalta a relevância da ferramenta no processo educacional. O pedagogo elogia as adaptações feitas pela inteligência artificial, como o uso de grifo, *color coding* e perguntas disparadoras, percebendo esses recursos de forma positiva.

A credibilidade das respostas objetivas do questionário foi analisada por meio do teste de alfa de Cronbach¹. Este teste avalia a consistência interna das respostas com base na correlação entre diferentes itens de uma mesma escala. No experimento, as questões foram agrupadas em duas categorias: CAT1 para as questões sobre as características das adaptações e CAT2 para a análise do sistema em geral. A Tabela 1 registra os valores de Alfa de Cronbach obtidos.

¹Para a interpretação dos valores do Alfa de Cronbach, utilizaram-se os adjetivos propostos por [Landis and Koch 1977], que definem os seguintes intervalos: $\alpha > 0.80$ = consistência interna quase perfeita; $0.61 < \alpha < 0.80$ = consistência interna substancial; $0.41 < \alpha < 0.60$ = consistência interna moderada; $0.21 < \alpha < 0.40$ = consistência interna razoável; $\alpha < 0.21$ = consistência interna pequena.

Tabela 1. Alfa de Cronbach para as respostas ao questionário.

Categoria	Questão	Mediana	Moda	Erro desvio	α^1
CAT1	Q1	4.00	4	0.717	0.850
	Q2	4.00	4		
	Q3	4.00	3		
	Q4	4.00	4		
CAT2	Q5	4.00	4	0.740	0.900
	Q6	5.00	5		
	Q7	4.50	4		

¹Consistência interna medida pelo Alfa de Cronbach.

Para a categoria CAT1, o coeficiente alfa é de 0.85, indicando uma consistência interna substancial. Isso sugere que as questões da CAT1 estão correlacionadas de forma consistente, o que aumenta a confiabilidade das respostas nessa categoria como um todo. Para a categoria CAT2, o coeficiente alfa é de 0.90, indicando uma consistência interna quase perfeita. Isso sugere que as questões da CAT2 estão altamente correlacionadas, o que aumenta ainda mais a confiabilidade das respostas nessa categoria como um todo.

5. Considerações Finais

O desenvolvimento da arquitetura *Mind Bridge* avança a educação inclusiva ao adaptar questões de avaliação para estudantes neurodivergentes, promovendo um ambiente de aprendizagem mais acessível. O estudo demonstra sua eficácia, beneficiando alunos e professores e incentivando novas pesquisas e iniciativas na área.

Trabalhos futuros podem incluir a adaptação de questões por meio de transcrição de áudio ou imagem e a implementação de um sistema de feedback contínuo. Outras pesquisas poderiam focar na personalização das adaptações e na expansão para diferentes disciplinas. Colaborações com especialistas em educação especial também ajudarão a garantir a evolução da arquitetura conforme as melhores práticas e avanços científicos.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de pesquisa e instituições CNPq, FAPEMIG e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS pelo apoio concedido a este trabalho.

Referências

- Bahroun, Z., Anane, C., Ahmed, V., and Zacca, A. (2023). Transforming education: A comprehensive review of generative artificial intelligence in educational settings through bibliometric and content analysis. *Sustainability*, 15(17):12983.
- Chrysochoou, M., Zaghi, A. E., Syharat, C. M., Motaref, S., Jang, S., Bagtzoglou, A., and Wakeman, C. A. (2021). Redesigning engineering education for neurodiversity: New standards for inclusive courses. In *2021 ASEE VIRTUAL ANNUAL CONFERENCE CONTENT ACCESS*.

- da Silva, V. L. and Schorr, M. C. (2023). Sabido: Uma plataforma que auxilia no processo de alfabetização nos anos iniciais do ensino fundamental. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 299–310. SBC.
- de Oliveira, I. C. F., Vasconcelos, F. H. L., and de Barros Filho, E. M. (2023a). Tecnologias para o desenvolvimento de competências sob a perspectiva da educação inclusiva no Brasil: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista Docentes*, 8(21):19–29.
- de Oliveira, L. A., dos Santos, A. M., Martins, R. C. G., and de Oliveira, E. L. (2023b). Inteligência artificial na educação: uma revisão integrativa da literatura. *Peer Review*, 5(24):248–268.
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., and Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education. *Sustainable Operations and Computers*, 3:275–285.
- Hamilton, L. G. and Petty, S. (2023). Compassionate pedagogy for neurodiversity in higher education: A conceptual analysis. *Frontiers in psychology*, 14:1093290.
- Jigyel, K., Miller, J. A., Mavropoulou, S., and Berman, J. (2020). Benefits and concerns: parents' perceptions of inclusive schooling for children with special educational needs (sen) in bhutan. *International Journal of Inclusive Education*, 24(10):1064–1080.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, pages 363–374.
- Manalili, M. A. R. (2021). Ableist ideologies stifle neurodiversity and hinder inclusive education. *Ought: The Journal of Autistic Culture*, 3(1):6.
- Marchi, C. F. et al. (2023). O cérebro eletrônico que me dá socorro: os impactos da inteligência artificial generativa e os usos do chatgpt na educação. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- Martins, J. F., Mourão, A. B., Nascimento, G. R., de Souza Fernandes, L. C., and da Silva Vieira, N. A. (2022). Pcedu: Uma plataforma colaborativa educacional para gerenciar atividades utilizando as estratégias do pensamento computacional e a educação inclusiva. In *Anais do I Workshop de Pensamento Computacional e Inclusão (CBIE 2022)*, pages 127–138. SBC.
- Nishihira, J. A. P. and Sarkis, L. C. (2023). Análise do uso de técnicas centradas no usuário como apoio à elicitação de requisitos de acessibilidade para usuários neurodivergentes. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*, pages 209–213. SBC.
- Pellicano, E. and Stears, M. (2011). Bridging autism, science and society: Moving toward an ethically informed approach to autism research. *Autism research*, 4(4):271–282.
- Shmulsky, S., Gobbo, K., and Vitt, S. (2022). Culturally relevant pedagogy for neurodiversity. *Community College Journal of Research and Practice*, 46(9):681–685.