

Sistemas Complexos com Apoio do ChatGPT na Interpretação de Gráficos para Estudantes com Deficiência Visual

Jefferson Ribeiro Lima, Ricardo Daniel Prestes Jacaúna, Miriam Garcia Müller, Crediné Silva de Menezes

Departamento de Informática na Educação
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre, RS – Brasil

jlima@ifes.edu.br, riccardojacauna@gmail.com,
miriam.muller@canoasedu.rs.gov.br, credine@gmail.com

Abstract. *This article presents an account of experience in the development and application of a multi-agent simulation environment, based on NetLogo and supported by ChatGPT, to promote accessibility and inclusion of students with visual impairments (VI) in the learning of complex systems. The results obtained have highlighted the accessibility provided by the prototype, which offers textual resources within the NetLogo simulator. This approach facilitates the understanding of complex systems, and the adapted resources assist visually impaired students in interpreting graphs, thus promoting equal educational opportunities.*

Resumo. *Este artigo apresenta um relato de experiência no desenvolvimento e aplicação de um ambiente de simulação multiagente, baseado no Netlogo e com suporte do ChatGPT, para promover a acessibilidade e inclusão de estudantes com deficiência visual (DV) nas aprendizagens de sistemas complexos. Os resultados obtidos, evidenciaram a acessibilidade, proporcionada pelo protótipo, que oferece recursos textuais no simulador Netlogo. Essa abordagem facilita a compreensão dos sistemas complexos, bem como, os recursos adaptados auxiliam na interpretação dos gráficos por estudantes com DV, promovendo a igualdade de oportunidades educacionais.*

1. Introdução

No atual contexto educacional, os modelos de simulação têm se mostrado ferramentas valiosas para criar ambientes de aprendizagem que possibilitam a exploração de hipóteses e a resolução de problemas [JOHNSON, 2018]. Esses modelos permitem uma análise mais específica de sistemas complexos, nos quais programas podem simular o comportamento de sistemas reais em um contexto artificial [BANERJEE & MURALIDHARAN, 2019]. Uma abordagem notável nesse campo é a modelagem baseada em agentes, que possibilita a interação de múltiplos agentes sem coordenação centralizada, permitindo a observação dos comportamentos resultantes dessas interações [MACAL & NORTH, 2010].

Embora a modelagem baseada em equações clássicas tenha sido tradicionalmente utilizada, a abordagem utilizando agentes apresenta vantagens significativas, permitindo que os estudantes desenvolvam hipóteses e criem modelos multiagentes para observar os resultados obtidos [WILENSKY & RAND, 2015]. No entanto, apesar do potencial dessas abordagens inovadoras, o sistema escolar ainda tende a priorizar práticas de ensino

tradicionais, que enfatizam a memorização e a classificação, limitando a compreensão dos fenômenos naturais e sociais [BRAGA, 2016]

Isso representa um desafio para a inclusão de estudantes com Deficiências Visuais (DV), uma vez que eles podem enfrentar dificuldades em participar de aulas práticas ou utilizar ambientes virtuais e simuladores de aprendizagem devido à falta de acesso a recursos visuais, como gráficos e diagramas, que fornecem informações importantes sobre as interações nos sistemas complexos.

A promoção da igualdade de oportunidades na educação é um princípio Constitucional [Brasil, 1988] essencial que visa garantir a inclusão de todos os estudantes, independentemente de suas capacidades e características individuais. No contexto da educação de pessoas com deficiência visual, é fundamental buscar abordagens e recursos que possibilitem uma participação plena e efetiva desses educandos no processo de aprendizagem.

Compreender modelos matemáticos e abstrações pode ser desafiador em formatos não visuais, tornando o acesso a informações escritas e digitais um desafio para estudantes com deficiência visual, que dependem de recursos específicos, como materiais em Braille e tecnologia de leitura de tela. Nesse sentido, é essencial buscar abordagens que promovam a igualdade de oportunidades educacionais e garantam a participação plena desses estudantes no processo de aprendizagem [MÜLLER & MENEZES, 2021].

Considerando o desafiador cenário, este artigo relata a experiência sobre o estudo de sistemas complexos e do desenvolvimento de um modelo de simulação multiagente, construído no Netlogo (versão desktop) com suporte de uma aplicação Web para interpretação dos dados gráficos com apoio do ChatGPT. Embora o Netlogo seja um ambiente poderoso de simulação, é importante mencionar que nem todos os recursos oferecidos desta ferramenta são acessíveis por meio de programas leitores de tela, essenciais para uso por usuários com DV. Os leitores de tela são programas que convertem o texto exibido na tela em uma saída de áudio, permitindo que o DV possa utilizar e interagir com os softwares em geral.

Com o propósito de oferecer oportunidades iguais para aprendizagem dos fenômenos que ocorrem na execução dos modelos de simulação dos sistemas multiagentes, apresentamos o relato de experiência ocorrido em uma disciplina do curso de doutorado sobre o desenvolvimento de um protótipo Web para tornar as ocorrências visuais oferecidas pela aplicação de simulação Netlogo acessíveis por um estudante do grupo com DV, promovendo assim, acessibilidade e inclusão de todos os estudantes envolvidos no processo de aprendizagem.

Para atingir esse objetivo, o artigo está organizado da seguinte maneira: a próxima seção apresenta a fundamentação teórica sobre o estudo de sistemas complexos e a abordagem utilizada para representá-los na modelagem computacional, com o suporte da Inteligência Artificial. Em seguida, descrevem-se os procedimentos metodológicos adotados para a geração dos dados. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos. Por fim, são discutidas considerações sobre os impactos e as possibilidades futuras dessa abordagem na educação inclusiva e acessível.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção de fundamentação teórica, exploraremos os conceitos e fundamentos da aprendizagem de sistemas complexos, destacando a simulação baseada em agentes como uma abordagem relevante. Em seguida, discutiremos o Netlogo como uma ferramenta poderosa para a criação de simulações, seguido pela aplicação da inteligência artificial na simulação de sistemas complexos. Por fim, abordaremos o uso do ChatGPT como um recurso para fornecer suporte e interação textual durante o processo de aprendizagem.

2.1 Sistemas Complexos

Os sistemas complexos são constituídos por diversos componentes interconectados e exibem comportamentos emergentes imprevisíveis a partir do comportamento de cada componente individual. Eles estão presentes em diversas áreas do conhecimento, como física, biologia, ecologia, economia e ciência da computação. Caracterizados por interações entre seus componentes, esses sistemas podem apresentar padrões de comportamento imprevisíveis e desafiadores de serem analisados pelos métodos convencionais [HOLLAND, 1999].

Além disso, os sistemas complexos são adaptáveis e resilientes, o que significa que podem se ajustar a mudanças no ambiente e se recuperar de perturbações externas graças à presença de mecanismos de retroalimentação [NUSSENZVEIG, 1999]. Compreender os sistemas complexos é de extrema importância, pois muitos dos desafios sociais atuais, como mudanças climáticas, pandemias e crises econômicas, podem ser vistos como sistemas complexos que exigem uma compreensão e uma gestão adequadas [YOON, GOH, & PARK, 2018].

Ao estudar os padrões emergentes e os processos de interação que levam a esses padrões, os pesquisadores podem obter uma compreensão mais aprofundada de como os sistemas complexos se adaptam, se auto-organizam, flutuam e mantêm o equilíbrio diante de perturbações. No entanto, resolver esses problemas é um desafio devido à natureza não linear, estocástica, aleatória e descentralizada dos sistemas complexos [BAR-YAM, 2016]. Uma estratégia amplamente utilizada para o estudo desses sistemas é a simulação multiagente, que permite explorar e compreender o comportamento dos sistemas complexos por meio da criação de modelos computacionais baseados na interação entre múltiplos agentes.

2.2 Simulação Baseada em Agentes (SBA)

A simulação baseada em agentes é um método que permite a criação de modelos nos quais múltiplos agentes interagem de forma descentralizada. Esses modelos podem abranger uma ampla variedade de agentes, desde entidades simples até entidades mais complexas [BORDINI, VIEIRA & MOREIRA, 2001].

A ideia central por trás dos modelos de simulação baseados em agentes é que os agentes exibem comportamentos definidos por suas instruções internas, ou seja, suas regras de comportamento. Ao representar indivíduos como agentes, é possível simular um mundo artificial onde esses agentes interagem como programas. Essa simulação permite a exploração de hipóteses e a repetição de experimentos, de forma similar a um laboratório real, porém mais fácil e livre de riscos [FERBER, 1999].

Cada indivíduo na simulação é representado por um agente, cujo comportamento é programado por meio de regras. Essa abordagem permite modelar situações em que os

indivíduos exibem comportamentos complexos e distintos, levando em consideração as propriedades quantitativas e qualitativas do sistema representado no modelo.

A simulação baseada em agentes utiliza a simulação computacional como uma ferramenta para descobrir propriedades do modelo e obter compreensão dos processos dinâmicos. Esse método é especialmente útil para modelar sistemas complexos, permitindo que qualquer pessoa possa desenvolver modelos do mundo real, partindo do simples para o complexo [WILENSKY & RAND, 2015].

2.3 Netlogo

O NetLogo é um ambiente de programação e modelagem projetado para estudar o comportamento de sistemas complexos descentralizados. De acordo com Wilensky et al. (2015), o NetLogo é especialmente adequado para a modelagem de sistemas que evoluem ao longo do tempo. Ele oferece uma abordagem fácil para a criação de modelos baseados em agentes, mesmo para aqueles sem habilidades avançadas em programação e matemática.

O ambiente do NetLogo é composto por três tipos de agentes: tartarugas, patches e observadores. Os modeladores podem fornecer instruções para centenas ou até milhares de agentes independentes simultaneamente, permitindo explorar as conexões entre os comportamentos em nível micro e os modelos em nível macro que emergem das interações entre esses indivíduos. O NetLogo utiliza uma linguagem de modelagem própria, derivada da linguagem de programação “Logo”, desenvolvida pelo Media Lab do MIT. Além disso, o NetLogo é uma ferramenta gratuita e de código aberto, o que facilita seu acesso e uso em contextos acadêmicos e educacionais.

2.4 Inteligência Artificial e ChatGPT

Segundo Baker et al. (2019), a Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como a capacidade de computadores executarem tarefas que simulam processos cognitivos humanos na busca por soluções de problemas. Essa definição abrange diversas técnicas, como aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural, mineração de dados e redes neurais.

Dentre os modelos e estruturas criados para a implementação da IA, destaca-se o modelo generativo. A Inteligência Artificial Generativa é uma forma de rede neural capaz de aprender a criar dados realistas, como imagens, sons e textos, com base em exemplos fornecidos. Um exemplo recente de IA generativa é o sistema ChatGPT, desenvolvido pela OpenAI. Esse sistema funciona por meio de um robô conversacional, um chatbot, que interage em linguagem natural, compreendendo perguntas e solicitações para fornecer respostas e soluções.

Uma das ferramentas que permite a integração e utilização do ChatGPT é a API (Application Programming Interface). Uma API é um conjunto de regras e ferramentas que possibilita a comunicação organizada entre diferentes softwares. A API do ChatGPT, conforme Catalano e Lorenzi (2023), define uma especificação das funcionalidades disponíveis para acessar e utilizar o modelo de linguagem natural da OpenAI. Por meio dessa interface, os desenvolvedores podem integrar esse chat inteligente em seus próprios sistemas, permitindo o uso das funcionalidades desta interface de IA para prover o serviço de interação.

3. Metodologia

Este artigo descreve um relato de experiência de uma atividade realizada, no ano de 2023, em uma disciplina do doutorado em Informática na Educação, com o objetivo de desenvolver um ambiente de simulação multiagentes acessíveis para a aprendizagem de sistemas complexos, incluindo os estudantes com deficiência visual. O processo metodológico adotado foi dividido em quatro etapas principais, conforme descritas a seguir:

Etapa 1: Apresentação do Modelo "Lobo Ovelha" - Inicialmente, o professor apresentou aos estudantes a simulação de multiagentes do modelo "Lobo Ovelha". Essa simulação computacional foi criada para estudar a dinâmica populacional entre lobos e ovelhas em uma área limitada. O objetivo dessa etapa foi fornecer uma base conceitual e prática para a compreensão dos sistemas complexos e da simulação baseada em agentes.

Etapa 2: Alteração de Parâmetros e Registro de Percepções - Os três estudantes, incluindo um com deficiência visual, foram convidados a realizar alterações nos parâmetros da simulação original do modelo "Lobo Ovelha". Eles foram incentivados a registrar e relatar verbalmente suas percepções sobre os dados resultantes após as alterações. O objetivo dessa etapa foi promover a participação ativa dos estudantes na experimentação e observação dos efeitos das mudanças nos parâmetros.

Etapa 3: Desafio de Elaboração de um Novo Modelo - Nesta etapa, o professor propôs um desafio aos estudantes para que eles elaborassem um novo modelo inspirado nas modificações realizadas na simulação "Lobo Ovelha". Os estudantes foram organizados em grupos e orientados a projetar um sistema de simulação capaz de representar o ciclo de reprodução, nascimento e mortalidade entre "Carneiros Ovelhas". O objetivo dessa etapa foi promover a criatividade, a colaboração e o desenvolvimento de habilidades de modelagem e programação dos estudantes.

Etapa 4: Desenvolvimento do Protótipo - Para o desenvolvimento do modelo do sistema multiagentes "Carneiro Ovelhas", utilizou-se o ambiente de simulação do NetLogo. Os estudantes escreveram o código do sistema e implementaram a interface do protótipo, que incluiu botões "setup" para iniciar a simulação e "go" para executá-la, além de um gráfico para acompanhar a evolução do modelo da simulação. Os dados gerados pela simulação foram armazenados em um arquivo texto, fornecendo informações sobre o total de ciclos, o número de carneiros e ovelhas (machos e fêmeas) e a mortalidade em cada ciclo de tempo. Além disso, foi construído um sistema em PHP com suporte da API do ChatGPT.

A escolha de uso desta API ocorreu em detrimento a simplicidade para realizar a leitura e interpretação dos dados armazenados no arquivo txt a partir da simulação aplicada pelos estudantes. As interações ocorridas com o sistema em PHP foram coletadas e persistidas no banco de dados local com o intuito de evitar acionamentos desnecessários da API, ofertando mais agilidade no processo de resposta. A primeira vez que a pergunta fosse realizada, o sistema aciona a API, forneceria o retorno para o usuário e armazenaria o resultado na base de dados. No caso de repetição da pergunta, o sistema tenta localizar a informação na base local para fornecer o retorno. A Figura 1 ilustra essa etapa.

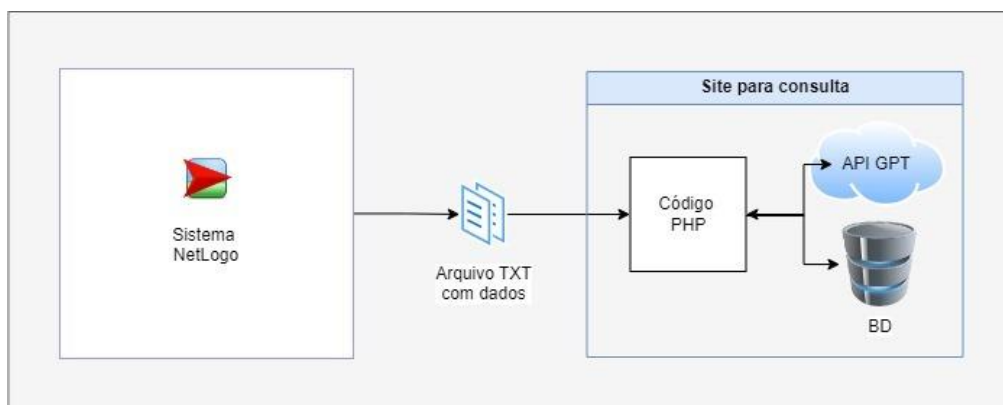


Figura 1¹. Representação do modelo descrito na Etapa 4

A metodologia adotada permitiu a participação ativa dos estudantes no desenvolvimento e exploração de modelos de simulação multiagentes, considerando tanto a inclusão de um estudante com deficiência visual quanto a utilização de recurso acessível, como o leitor de tela. Essa abordagem buscou promover a igualdade de oportunidades e a participação de todos os estudantes no processo de aprendizagem de sistemas complexos.

Diante do exposto, nessa sessão discutimos a metodologia adotada, centrada na participação ativa dos estudantes, no desenvolvimento e exploração de modelos de simulação multiagentes, e na busca pela igualdade de oportunidades e participação de todos no processo de aprendizagem de sistemas complexos, apresentamos agora nossa proposta de abordagem didática.

4. Proposta de Abordagem Didática

Apresentamos uma proposta de abordagem didática para todos os estudantes, incluindo os DV, utilizando o modelo "Carneiro Ovelha" e realizando consultas ao sistema desenvolvido com apoio do ChatGPT:

* **Introdução:** O professor apresenta a simulação do modelo "Carneiro Ovelha" para os estudantes e explica a dinâmica populacional envolvida. Em seguida, ele apresenta o objetivo da atividade, que é explorar os dados gerados pela simulação e fazer consultas a tabela para obter *insights* adicionais.

* **Acessibilidade:** O professor verifica quais tecnologias assistivas o estudante com DV utiliza para acessar o conteúdo digital e oferece suporte, se necessário. Ele também orienta os estudantes sobre como navegar pela simulação e fazer consultas a tabela utilizando o leitor de tela com sintetizador de voz.

* **Exploração da simulação:** O professor convida os estudantes a explorarem a simulação de forma prática, utilizando ferramentas de acessibilidade e tendo o apoio de um professor ou assistente para tirar dúvidas e fazer observações. Os estudantes podem fazer ajustes nas variáveis da simulação e observar o efeito desses ajustes nas populações de carneiros e ovelhas. O estudante vidente pode utilizar o mouse para alterar as variáveis

¹ Ao longo do texto estão inseridas imagens que se encontram acessíveis aos leitores com deficiência visual através de texto alternativo.

e o estudante com DV poderá utilizar o teclado para informar o valor da quantidade de cada agente através do terminal do Netlogo.

* Consultas: Os estudantes utilizam a API da simulação para enviar os dados da tabela e fazer perguntas sobre os resultados. O professor orienta-os a formular perguntas relevantes, como "Qual é a média de mortalidade nas últimas 10 interações?" ou "Qual é a relação entre a quantidade de carneiros e a de ovelhas?".

* Discussão em grupo: Os estudantes registram e compartilham suas observações e ideias em um editor de texto on-line, e trabalham em conjunto para identificar padrões e tendências nos dados da simulação. O professor incentiva a participação de todos, destacando a importância da colaboração e da observação atenta.

* Síntese: Ao final da atividade, o professor faz uma síntese dos principais resultados obtidos pelos estudantes, enfatizando as aprendizagens mais importantes. Ele também avalia o desempenho, levando em consideração a participação, a compreensão dos conceitos e a capacidade de utilizar as ferramentas e a tecnologia assistiva e fazer consultas aos dados.

4.1 Abordagem pedagógica e sistema de apoio

Para o desenvolvimento do modelo de sistema complexo, foi utilizada a ferramenta de apoio NetLogo. O processo de aprendizagem aplicado apoiou a instrução no experimento, permitindo que os estudantes explorassem novas propostas de soluções baseadas em sistemas complexos. Além disso, a abordagem pedagógica adotada incentivou os estudantes a aprimorarem suas percepções sobre o tema de estudo. Em um segundo momento, foi proposto um desafio no qual os estudantes deveriam elaborar uma solução tecnológica baseada em sistemas complexos que permitisse realizar interações acessíveis.

A seguir, conforme Figura 2, apresentamos a interface do modelo colaborativo proposto para apoiar a aprendizagem de sistemas complexos. Os resultados obtidos com o experimento após construção do ambiente do sistema multiagente “Carneiros Ovelhas” foram colhidos de modo interativo em aula.

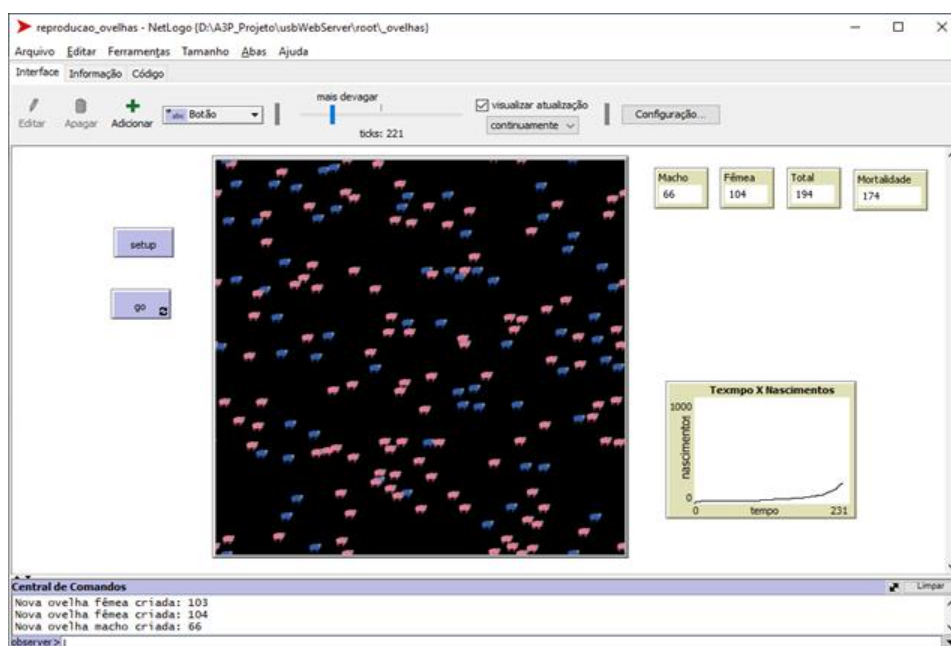


Figura 2. Interface do Netlogo executando a simulação “Carneiro Ovelha”

Durante a execução do ambiente pelos estudantes, houve uma breve interrupção da simulação para realizar atividades de interação por meio de perguntas utilizando o sistema criado em PHP com apoio do componente do ChatGPT. Os estudantes, de modo geral, incluindo o estudante com DV, tiveram a possibilidade de realizar consultas sobre os dados gerados e armazenados até aquele momento. O estudante com DV, pode obter o retorno com auxílio do leitor de tela através de uma caixa texto incluída no sistema acessível elaborado pelo grupo de estudantes, conforme representado na Figura 3.

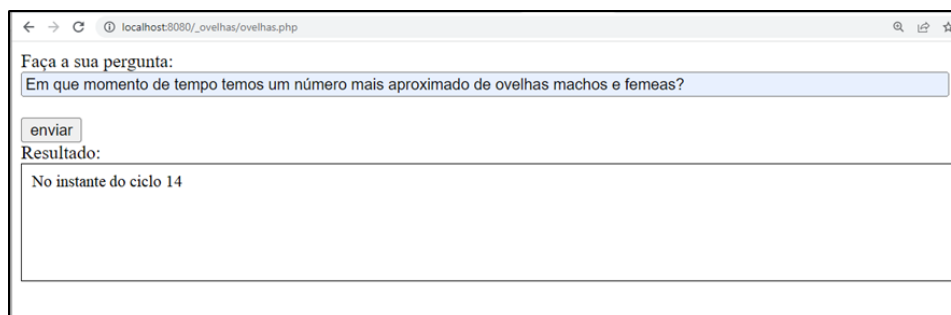


Figura 3. Sistema em PHP com integração da API ChatGPT

Em seguida, os estudantes foram convidados a descrever como o protótipo contribuiu para o processo de aprendizagem de sistemas complexos. Cada estudante expôs suas percepções e, a partir daí, trocaram ideias, sugestões e questionamentos sobre o protótipo desenvolvido e o que poderia ser melhorado. Essa etapa foi focada na cooperação, permitindo que os estudantes repensassem suas estratégias e refletissem sobre a experiência e a prática a partir de diferentes pontos de vista, com o professor atuando como mediador.

Após a conclusão da dinâmica, o professor solicitou a escrita de um relatório em grupo como forma de revisitar as ideias constituídas e fornecer um registro das experiências aplicadas pelos estudantes, possibilitando o acesso compartilhado ao tema por outras pessoas interessadas.

5. Resultados e Discussão

O objetivo deste trabalho foi apresentar um relato de experiência no desenvolvimento e aplicação de um ambiente de simulação multiagente, baseado no Netlogo e com suporte do ChatGPT, para promover a acessibilidade e inclusão de estudantes com Deficiência Visual (DV) nas aprendizagens de sistemas complexos. Durante o semestre foram realizadas algumas aplicações do protótipo, com o objetivo primordial de avaliar a percepção dos participantes e identificar aspectos que necessitavam de aprimoramentos. Essa avaliação considerou não apenas a experiência dos participantes, mas também suas reflexões individuais e os diálogos que emergiram durante o processo. Desta forma, consideramos que os resultados obtidos a partir da realização do experimento com o ambiente do sistema multiagente "Carneiros Ovelhas" foram bastante positivos, alinhados com os objetivos propostos neste estudo. A utilização da ferramenta de apoio NetLogo junto ao sistema acessível construído para realizar a leitura dos dados, permitiu explorar o estudo de sistemas complexos de maneira cooperativa, promovendo uma compreensão mais aprofundada dos conceitos. O processo de aprendizagem aplicado, desempenhou um papel fundamental durante o experimento.

Essa abordagem pedagógica incentivou os estudantes a explorarem novas propostas de soluções baseadas em sistemas complexos, estimulando o aprimoramento de suas percepções sobre o tema de estudo. Além disso, diagnosticamos que esta pesquisa pode auxiliar positivamente o grupo de estudantes na percepção de soluções que abrangem conteúdos interdisciplinares.

Percebe-se que a compreensão de sistemas complexos pode auxiliar na percepção de soluções que apoiem a resolução de problemas do cotidiano por meio de simulações virtuais. A utilização da ferramenta NetLogo, proporcionou a exploração e compreensão dos modelos, permitindo que os estudantes desenvolvessem habilidades de SBA.

Esses resultados evidenciam a importância de abordagens pedagógicas inovadoras e inclusivas para o ensino. Ao permitir que os estudantes explorem, experimentem e colaborem, o processo de aprendizagem se torna mais significativo e enriquecedor. Esperamos que essa estratégia continue a ser utilizada e aprimorada, proporcionando oportunidades de aprendizado valiosas no estudo de sistemas complexos e suas aplicações na resolução de problemas reais.

6. Considerações Finais

A abordagem demonstrou ser eficaz na construção do conhecimento pelos estudantes e pode ser replicada em diferentes contextos de estudo de sistemas complexos. O desenvolvimento da aplicação construída para apoiar o simulador NetLogo tornou os dados acessíveis do modelo "Carneiro Ovelha", proporcionando ao estudante com deficiência visual uma experiência de usabilidade e a oportunidade de aprender sobre o conteúdo de forma igualitária em comparação aos seus colegas com visão, utilizando o mesmo ambiente.

A atividade sobre sistemas complexos, desenvolvida com base em um estudo multidisciplinar, está em conformidade as normativas de inclusão e acessibilidade para pessoas com deficiência, ao proporcionar o desenvolvimento de novos métodos e técnicas pedagógicas, materiais didáticos, equipamentos e recursos de tecnologia assistiva. Em relação à simulação acessível, concluímos que sua utilização, aliada ao chat, pode efetivamente auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, oferecendo possibilidades de interação para promover atividades didáticas inclusivas. O sistema desenvolvido mostrou-se um artefato útil, eficaz e viável para uso em sala de aula, tanto para estudantes com deficiência visual, auditiva ou física, quanto para aqueles sem deficiências.

Para trabalhos futuros, planejamos adaptar e aplicar outros modelos baseados em simulação multiagente, que representem diferentes exemplos de sistemas complexos. Dessa forma, pretendemos demonstrar como o uso de simulações de agentes pode facilitar a compreensão desses sistemas, tornando-os mais tangíveis e acessíveis para os estudantes com deficiência visual. Além disso, visamos destacar a importância da exploração ativa e do aprendizado baseado em investigação para o desenvolvimento de uma compreensão sólida dos princípios dos sistemas complexos, de uma maneira inclusiva.

Referências

Baker, T., Smith, Nandra A., L., Sheehan, K., Ward, K., Waters, A., Berditchevskaya, A., van B., Campbell, N., Candsell, O., Casasbuenas, J., Cinnamon, G. (2019). Educ-AI-tion Rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools.

- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição** da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]
- Banerjee, A., & Muralidharan, S. (2019). *Simulation modeling and analysis: A case study approach*. CRC Press.
- Bar-Yam, Yaneer. From big data to important information. *Complexity*, v. 21, n. S2, p. 73-98, 2016.
- Bordini, R.H., Vieira, R., Moreira, A.F. (2001). JAI - Fundamentos de Sistemas Multiagentes. In: Carlos Eduardo Ferreira. (Org.). *As Tecnologias da informação e a questão social*. Anais do XXI Congresso da SBC. Fortaleza, jul/ago de 2001.
- Braga, Denise Bértoli. *Ambientes digitais: reflexões teóricas e práticas*. Cortez Editora, 2016.
- Catalano, J. V. R., & Lorenzi, B. R. Sem Referências: o ChatGPT sob a perspectiva latouriana e a armadilha do Duplo Clique. *Revista Faz Ciência*, 25(41).
- Ferber, J. (1999) *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Holland, J. (1999) *Sistemas complexos adaptativos e algoritmos genéticos*. In: H.M. Nussenzveig. (Org.) *Complexidade & Caos*. Rio de Janeiro
- Johnson, T. (2018). *Simulating complex systems: The essential basics*. Springer.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151-162.
- Müller, M. G., & de Menezes, C. S. (2021). Tecnologias educacionais acessíveis para apoiar o ensino de matemática: uma revisão sistemática de literatura. *RENOTE*, 19(2), 41-50.
- Nussenzveig, H.M. (1999) *Introdução à complexidade*. In: H.M. Nussenzveig (Org.). *Complexidade & Caos*. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ/COPEA.
- Wilensky and W. Rand *An Introduction to Agent-Based Modeling With NetLogo*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2015.
- Yoon, Susan A.; GOH, Sao-Ee; PARK, Miyoung. Teaching and learning about complex systems in K–12 science education: A review of empirical studies 1995–2015. *Review of Educational Research*, v. 88, n. 2, p. 285-325, 2018.