

PARA PENSAR O OBJETO DA DIDÁTICA EM SALA DE AULA: O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM A PARTIR DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

TO THINK THE OBJECT OF DIDACTICS IN THE CLASSROOM: THE TEACHING-LEARNING PROCESS THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Paulo Vitor Teodoro

ORCID 0000-0003-0939-984X

Universidade Federal de Uberlândia, UFU.
Ituiutaba, Brasil

paulovitorteodoro@ufu.br

Paulo Salles

ORCID 0000-0003-3089-399X

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços, MDIC.
Universidade de Brasília, UnB
Brasília, Brasil

pssales@gmail.com

Ricardo Gauche

ORCID 0000-0001-9310-0489

Universidade de Brasília, UnB
Brasília, Brasil

ricardogauchel@gmail.com

Resumo. Neste estudo, apresentamos os resultados de uma pesquisa que demonstrou que estudantes do ensino médio podem compreender fenômenos naturais por meio da exploração de modelos qualitativos de simulação como recurso didático. Utilizamos a abordagem *Learning by Modelling* (LbM), na qual os próprios estudantes constroem modelos usando técnicas de Inteligência Artificial (IA) baseadas em Raciocínio Qualitativo (RQ). A plataforma *DynaLearn* foi empregada como ferramenta de modelagem, permitindo a representação diagramática das relações causais entre os componentes de um sistema, além de funções matemáticas sem a necessidade de dados numéricos. Para a coleta de dados, nos apropriamos de questionários com questões fechadas, baseadas na escala Likert, e perguntas abertas. A pesquisa envolveu 39 estudantes da 1.ª série do ensino médio de uma escola pública em Goiás, Brasil. Os resultados indicam que a modelagem qualitativa fundamentada em IA é uma ferramenta potente para colaborar com os estudantes na compreensão da estrutura e do funcionamento de sistemas naturais. Além disso, os estudantes foram capazes de prever e explicar o comportamento dos fenômenos modelados em *DynaLearn*. Os dados encontrados sugerem que a construção e a manipulação de modelos qualitativos de simulação contribuíram para a compreensão de fenômenos no ensino de ciências.

Palavras-chave: ensino de ciências; raciocínio qualitativo; modelos de simulação; práticas pedagógicas.

Abstract. In this study, we present the results of research demonstrating that high school students can understand natural phenomena through the exploration of qualitative simulation models in the teaching-learning process. We used the Learning by Modelling (LbM) approach, where students themselves build models using Artificial Intelligence (AI) techniques based on Qualitative Reasoning (QR). The DynaLearn platform was employed as a modeling tool, allowing for the diagrammatic representation of causal relationships between system components, as well as mathematical functions without the need for numerical data. For data collection, we used questionnaires with closed questions based on the Likert scale and open-ended questions. The research involved 39 students from the 1st year of high school at a public school in Goiás, Brazil. The results indicate that qualitative modeling grounded in AI is a powerful tool for assisting students in understanding the structure and functioning of natural systems. Additionally, the students were able to predict and explain the behavior of phenomena modeled in DynaLearn. The data suggest that the construction and manipulation of qualitative simulation models contributed to the understanding of phenomena in science education.

Keywords: science education; qualitative reasoning; simulation models; pedagogical practices.

1. INTRODUÇÃO

Investigar a didática, bem como sua multidimensionalidade nos processos de ensinar e aprender, é um desafio contínuo em pesquisas do campo Educacional (Cruz & André, 2014). De fato, a didática passou a ser significativamente confrontada após a década de 1970,



especialmente devido às críticas ao ensino tecnicista. O foco era fortalecer a necessidade de repensar a didática e considerá-la como prática social (Candau, 1988). Assim, estudos e pesquisas na área da Educação promoveram uma reavaliação da didática, considerando gradativamente mudanças nessas discussões. A interlocução entre diferentes campos (como, por exemplo, social, econômico, técnico, político, humano e cultural) viabiliza a multidimensionalidade do principal objeto da didática: o processo de ensino-aprendizagem.

Libâneo (2011) mostrou que a didática se refere à mediação da aprendizagem realizada pelo professor, a qual requer a devida atenção no contexto da sala de aula. A didática exige que se pense em ‘o que’, ‘como’ e ‘por quê’ ensinar. Esses elementos devem compor, como condição *sine qua non* para todo professor, sua prática pedagógica em sala de aula. A sala de aula é um ambiente dinâmico de aprendizagem que transcende a mera exposição de informações pelo professor.

Desse modo, é essencial pensarmos na didática a partir de materiais de ensino e ferramentas adequadas para apoiar as complexas atividades da docência. O processo da didática, que tenha intrinsecamente eficientes materiais pedagógicos, pode desenvolver nos estudantes habilidade de refletir continuamente na compreensão epistemológica de um mundo em mudança. Para isso, é necessário torná-los capazes de descobrir e sistematizar conhecimentos de forma crítica, nas diversas dimensões: científica, social, política, econômica, cultural, entre outras. Para tanto, é imprescindível que o professor (re)pense nas melhores possibilidades de práticas didático-pedagógicas para problematizar e orientar os estudantes durante a sua formação.

Podemos encontrar, na literatura, diversas produções que ilustram experiências do uso de diversos materiais de ensino na Educação. Entretanto, geralmente eles possuem o objetivo de revisitar assuntos específicos, promover a socialização e motivar os estudantes (Silva, Cordeiro, & Kill, 2015; Oliveira *et al.*, 2018). A reflexão que se faz, neste momento, é: esses materiais promovem a criticidade dos estudantes? Certamente, faz-se necessário reconhecer que todos esses pontos são importantíssimos para o processo educacional; porém, ainda são limitados quando pensamos em estratégias pedagógicas que, de fato, promovam a criticidade, a autonomia e o protagonismo dos estudantes para a tomada de decisões.

Desse modo, uma possível estratégia para construir na didática do professor, seria adotar ferramentas que o próprio docente, junto com os estudantes, tenha autonomia de elaborar e repensar os seus materiais. Um possível caminho, seria a partir da construção de modelos de simulação (Kragten *et al.*, 2021), os quais permitam que os aprendizes possam, por meio da representação de conhecimentos, ser inseridos como protagonistas no processo de aprendizagem, desenvolvendo a sua própria criticidade. Os modelos possibilitam representações abstratas dos sistemas físicos e naturais, mostrando as relações de causalidade e previsão de possíveis resultados (Bredeweg *et al.*, 2013). E, com efeito, Kragten *et al.* (2021) afirmam que a modelagem pode ser incorporada na didática do professor, auxiliando a compreensão científica, por parte dos estudantes.

Essas características permitem que os modelos sejam, além de uma forma de representar conhecimentos, um recurso para ser utilizado como material didático adequado para compreensão de sistemas complexos (Borkulo, 2009). Entretanto, são poucos os exemplos do uso de modelos de simulação no ambiente da educação básica, segundo a revisão sistemática realizada por Teodoro *et al.* (2023). Um dos fatores que contribuem para limitar o uso dessa abordagem é que simulações são quase sempre dependentes de dados numéricos, tecnologias avançadas e funções matemáticas complexas, geralmente inacessíveis, tanto para os estudantes desse nível educacional quanto para os professores (Souza, 2019).

Uma solução interessante para superar essas limitações são os modelos qualitativos de simulação, desenvolvidos por pesquisadores (por exemplo, Bredeweg & Forbus, 2003) de uma área da Inteligência Artificial (IA), conhecida por Raciocínio Qualitativo (RQ), que se dedica

a descrição de propriedades contínuas do mundo, a partir de um sistema discreto de símbolos, para dar suporte ao raciocínio automatizado.

A partir de técnicas de modelagem, e com auxílio de ferramentas da IA, é possível utilizar conhecimentos qualitativos para dar respostas a questões sobre sistemas de grande complexidade, mesmo quando informações ou dados quantitativos estão ausentes ou são incompletos. As bases matemáticas dos elementos de modelagem em RQ e a representação explícita das relações de causalidade possibilitam a predição e a explicação do comportamento do sistema em modelos qualitativos, favorecendo também a aplicação no campo educacional (Bredeweg & Salles, 2009).

Com os modelos qualitativos, é possível identificar informações centrais e periféricas, contextualizar, interpretar, inter-relacionar diferentes áreas do conhecimento, problematizar, fazer inferências, explicar mecanismos com base no funcionamento das partes do sistema, planejar, analisar soluções encontradas, e ainda prever os possíveis resultados. Por meio dos modelos qualitativos é possível adquirir conhecimentos conceituais de forma qualitativa e, a partir disso, prever soluções e conclusões relevantes (Bredeweg *et al.*, 2004). Mioduser *et al.* (2012) discutem que as pesquisas realizadas com estudantes de vários países da Europa, América do Norte e Ásia, têm mostrado que o RQ tem potencial na representação de uma dinâmica qualitativa dos sistemas, e que pode auxiliar, inclusive, no desenvolvimento científico dos estudantes.

Nesse contexto, foi desenvolvido o projeto, intitulado *Engaging and informed tools for learning conceptual system*, por esforços de pesquisadores europeus, em colaboração com outros países, inclusive o Brasil (Salles *et al.*, 2010). Com o referido projeto, foi desenvolvido o software *DynaLearn*, o qual possibilita conclusões semelhantes àquelas geradas em modelos matemáticos; porém, sem o uso de dados numéricos. O referido software é uma plataforma de modelagem que utiliza técnicas do RQ e mostra, diagramaticamente, possíveis relações causais entre os assuntos trabalhados e a previsão de resultados de simulações. O *DynaLearn* possibilita adquirir conhecimentos conceituais por meio da construção de modelos qualitativos e simulação de como os sistemas se comportam (Bredeweg *et al.*, 2013).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo de apresentar os resultados de uma pesquisa que buscou demonstrar que estudantes do ensino médio, no contexto brasileiro, são capazes de compreender a estrutura e o funcionamento de sistemas complexos a partir da construção de modelos de simulação, baseados em Raciocínio Qualitativo, elaborados em *DynaLearn*.

2. METODOLOGIA

Este trabalho parte de uma pesquisa maior, que busca refletir sobre a didática em sala de aula. Assim, optamos em fazer um recorte, dessa pesquisa maior, trazendo, neste texto, o embasamento ancorado na abordagem *Learning by Modelling* (LbM) (Borkulo, 2009). Nessa abordagem, investigamos o uso da modelagem qualitativa como recurso didático para que estudantes do Ensino Médio reconheçam a estrutura e o funcionamento de fenômenos naturais. Para tanto, desenvolvemos uma intervenção pedagógica em duas turmas (Turma A e Turma B) da primeira série do Ensino Médio, de uma instituição pública federal, localizada no Estado de Goiás, Brasil. A participação dos estudantes, no projeto, aconteceu por adesão, no contraturno das atividades regulares da escola.

Desenvolvemos um conjunto de atividades de modelagem no contraturno das aulas regulares, totalizando 54 aulas (cada aula foi de 50 minutos). Na pesquisa, participaram 25 estudantes da Turma A e 23 da Turma B. Desses, 22 da turma A (88%) e 17 da turma B (74%) concluíram as atividades de modelagem oferecida, na escola.

Durante as ações didáticas, foi utilizado a Teoria Qualitativa dos Processos (TQP), proposta por Forbus (1984). Nessa teoria, o mundo é modelado por objetos e toda mudança no sistema deve-se à ação de um processo. Nesse sentido, um processo caracteriza as mudanças nos



objetos ao longo do tempo. Forbus (1984) mostra que o mundo é modelado por objetos, cujas propriedades são descritas por quantidades. Assim, a junção de objetos, suas propriedades, as relações entre elas, bem como os processos que ocorrem é definido como sistema.

Os processos podem afetar os objetos de diferentes formas e, muitos desses efeitos, podem ser modelados pelas mudanças em algumas propriedades dos objetos. Como tais propriedades são representadas por quantidades, as mudanças que os objetos sofrem pela ação de processos são modeladas com influências diretas (representadas por I+ ou I-), e correspondem a mudanças nos valores das quantidades (Forbus, 1984). Nesse sentido, as mudanças provocam alterações nos valores de várias quantidades e essas alterações se propagam para outras partes do sistema, por intermédio de influências indiretas (ou também chamadas de proporcionalidades qualitativas – P+ ou P-).

Depois de computadas todas as mudanças, um novo estado terá se caracterizado. A simulação, que começará com a descrição de um cenário inicial, apresenta agora um novo estado do sistema. Da mesma forma, a simulação permite que as condições para que algum mecanismo de mudança (processo) se torne ativo e, portanto, inicia as possíveis mudanças possíveis. Isso vai gerar um novo estado, e assim sucessivamente, até que nenhuma mudança seja mais possível e a simulação termine.

Dessa forma, Salles *et al.* (2012) mostram os conceitos, por meio da TQP, para direcionar as atividades de modelagem, e que são passíveis de serem utilizados para representar sistemas complexos: processos, taxas, variáveis de estado, influências diretas, proporcionalidades qualitativas e mecanismos de retroalimentação.

Por meio da plataforma *DynaLearn*, os estudantes elaboraram modelos em níveis crescentes de complexidade, ampliando sua visão sobre o comportamento de sistemas. Nossa intenção foi garantir que os estudantes tivessem participações ativas na representação de sistemas dinâmicos por meio da construção de modelos, no processo de ensino-aprendizagem. Por esse motivo, a abordagem LbM (Borkulo, 2009; Mioduser *et al.*, 2012) foi utilizada como estratégia didática para a representação de sistemas dinâmicos no contexto do Ensino Médio. Com isso, desde o primeiro encontro, os estudantes já iniciaram a exploração da plataforma *DynaLearn*, com a construção de modelos mais simples, por exemplo, na representação de mapas conceituais (LS1, em *DynaLearn*). A partir disso foram construídos modelos gradativamente mais complexos (LS2, LS3), até chegarmos a conceitos mais específicos da Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics* – SD, em inglês), como a noção de processos, mecanismos de retroalimentação, em LS4. No total, foram construídos e explorados 55 modelos, dos quais a grande maioria, 32, foi elaborada em LS4 (principal nível para a abordagem de sistemas complexos). Durante a intervenção, utilizamos diagramas, livros didáticos, vídeos e noticiários para fundamentar a elaboração dos modelos e abordar os conceitos da SD.

Para a coleta de dados, adotamos questionários e entrevistas. Para o questionário, utilizamos questões fechadas, seguindo bases teóricas propostas por Likert (1932), com o padrão de cinco categorias, com um ponto neutro em cada ítem, e questões abertas. As questões presentes no questionário estão disponíveis no Quadro 1, abaixo:

Quadro 1. Questionário utilizado nas aulas de modelagem qualitativa.

Avalie as afirmações abaixo e assinale a opção que demonstra o nível concordância com a sua opinião	Concordo totalmente	Concordo	Neutro	Discordo	Discordo totalmente
1) A modelagem me fez pensar sobre os sistemas de uma forma diferente					

2) Ser capaz de simular os modelos me ajudou a desenvolver minha compreensão do comportamento dos sistemas					
3) A modelagem qualitativa pouco contribuiu para o meu entendimento de como se comporta um sistema					
4) As simulações tornam mais difíceis o reconhecimento das relações de causa e efeito que operam no sistema					
Avalie as afirmações abaixo e assinale a opção que demonstra a sua opinião sobre o nível de dificuldade					
	Muito fácil	Fácil	Neutro	Difícil	
5) Trabalhar com sistemas a partir de simulações foi					
6) Posso classificar as diferenças entre entidades e quantidades na construção de um modelo como					
7) Representar um sistema em um modelo com diferenciação causal (LS4) foi					
8) Posso classificar as diferenças entre influências diretas e proporcionalidades como					
Questões abertas:					
1- O que você entende por Influência Direta?					
2- Quais são as diferenças entre Taxas e Estoque?					

Fonte: os autores (2024)

É importante mencionar que, para garantir o anonimato dos estudantes, participantes da pesquisa, utilizamos códigos fictícios com a seguinte expressão: E1A (Estudante 1 da Turma A), ..., E22A (Estudante 22 da turma A); E1B (Estudante 1 da Turma B), ... E17B (Estudante da Turma B); e assim por diante.

3. RESULTADOS

A partir do conjunto de práticas pedagógicas, desenvolvidas na escola, e o questionário respondido pelos participantes, neste estudo, verificamos que os estudantes concordam ou concordam plenamente que a modelagem contribuiu para que eles pensassem em sistemas, conforme mostra o Gráfico 1. Assim como, 100% da turma A concorda ou concorda plenamente que as simulações colaboram para desenvolver a compreensão do comportamento dos sistemas, conforme o Gráfico 2. Na turma B, 30% dos estudantes indicaram 'neutro' para esta afirmação. Os demais concordam ou concordam plenamente.

As afirmações 3 e 4 são antagônicas às afirmações 1 e 2. Quando afirmado que a modelagem qualitativa pouco contribuiu para o meu entendimento de como se comporta um sistema (afirmação 3), e as simulações tornam mais difíceis o reconhecimento das relações de causa e efeito que opera no sistema (afirmação 4), 100% dos estudantes discordaram ou discordaram totalmente das referidas afirmações, conforme mostram os Gráficos 3 e 4.

Na grande maioria dos estudantes é considerado 'fácil' trabalhar com sistemas a partir de simulações, conforme o Gráfico 5. Apenas 20% da turma B e 6,67% da turma A assinalaram ser 'difícil'.



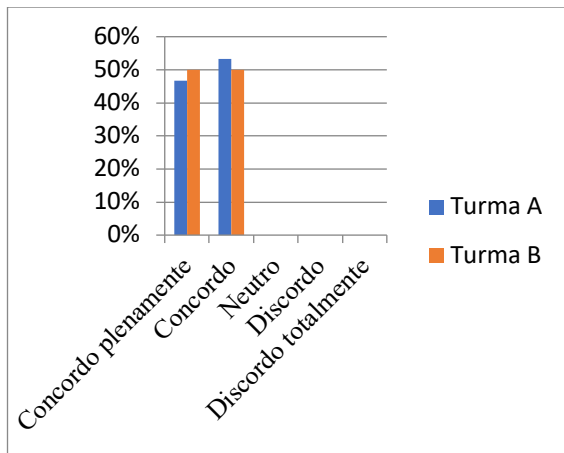


Gráfico 1. Modelagem contribui para pensar em sistemas.

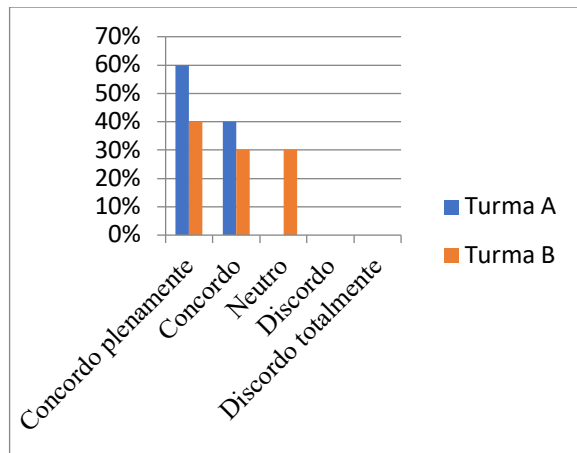


Gráfico 2. Simulações contribuem na compreensão de sistemas.

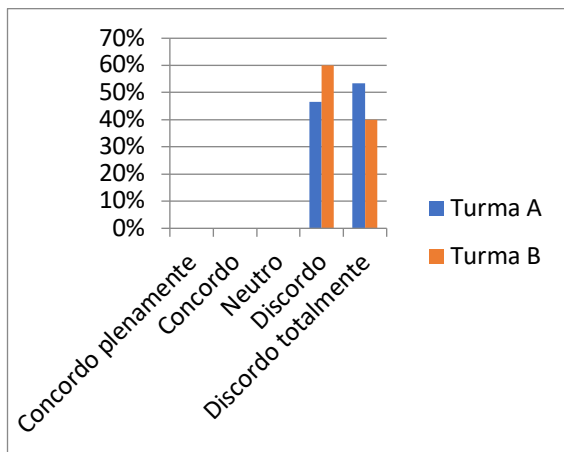


Gráfico 3. Modelagem pouco contribui para o entendimento de sistemas.

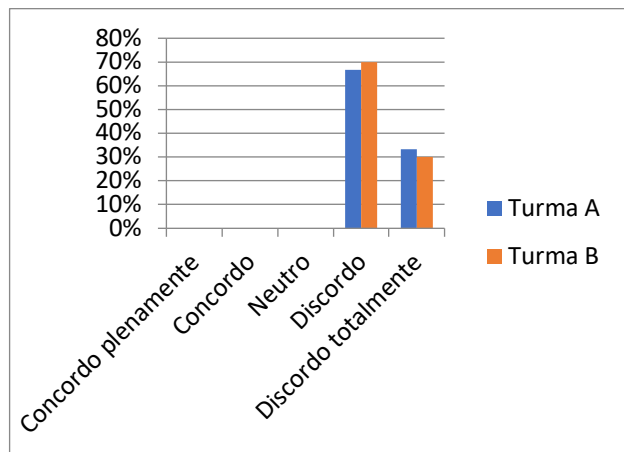


Gráfico 4. Simulações tornam difíceis as relações causais em um sistema.

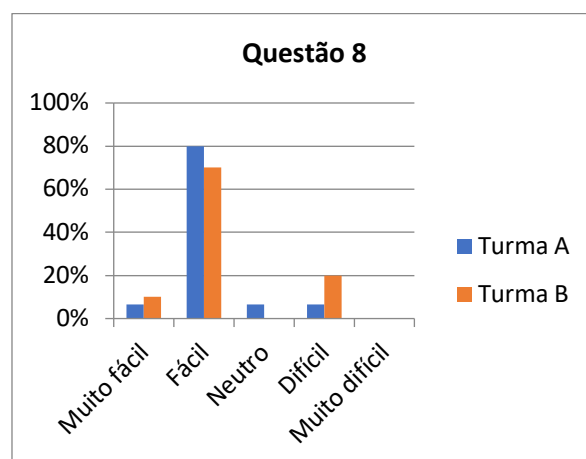


Gráfico 5. Atividades envolvendo simulações.

No que se refere a estrutura do sistema, em relação aos objetos e as suas propriedades, notadamente representados pelas Entidades e Quantidades, respectivamente, praticamente

todos os estudantes (com exceção de um aluno da turma B que não opinou), concordam ser 'fácil' ou 'muito fácil' (Gráfico 6). Por outro lado, a diferença entre influências diretas (Is) e proporcionalidades qualitativas (Ps) foi considerada 'difícil' pela maioria dos participantes, conforme o Gráfico 7.

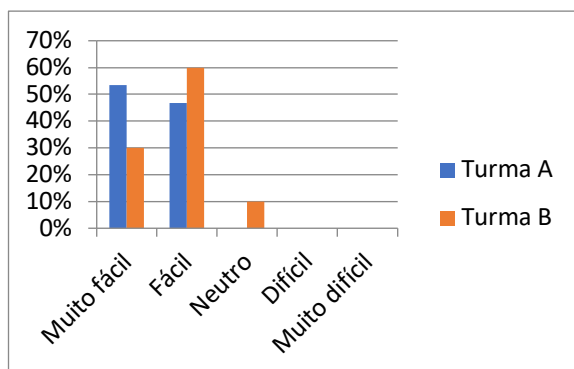


Gráfico 6. Diferença entre Entidades e Quantidades.

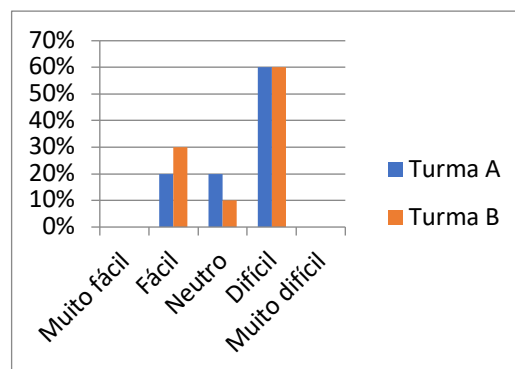


Gráfico 7. Diferença entre Is e Ps.

No que se refere as questões abertas, percebemos que os estudantes tiveram mais autonomia para escreverem o que entenderam sobre os conceitos trabalhados na intervenção. Com efeito, o entendimento dos conceitos relacionados às influências diretas é fundamental para a compreensão dos aspectos dinâmicos do sistema. E com a primeira questão aberta do questionário (*O que você entende por Influência Direta?*) foi possível captar informações sobre a compreensão dos estudantes sobre este assunto. A partir dos dados coletados, estabelecemos três grupos de respostas encontradas para se referir as Influências diretas: a- representam processos; b- influenciam a variável de estado; c- adicionam ou retiram valor do estoque. A referência quantitativa de respostas pode ser visualizada no Gráfico 8.

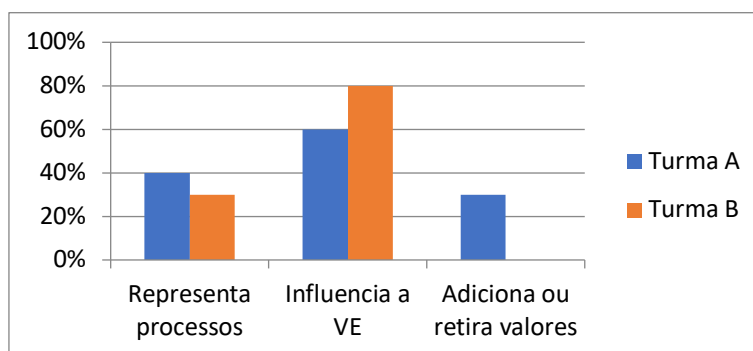


Gráfico 8: Conceito de Influências diretas, na concepção dos estudantes.

As influências diretas representam os efeitos dos processos por meio de taxas e variáveis de estado. As taxas retratam os fluxos, e sempre estão relacionadas a um período de tempo. Já as variáveis de estado podem ser entendidas como a representação de um Estoque, que pode aumentar ou diminuir, dependendo do tipo de influência proveniente da Taxa. Então podemos perceber que as respostas dos estudantes tangenciaram o significado correto sobre as influências diretas. No entanto, as respostas foram mais curtas e, na maioria delas, abrangeram apenas uma das categorias demonstradas no gráfico 8.

De fato, na turma B, apenas um estudante mencionou duas das categorias citadas: "É o I+ e o I- utilizado para representar processos. Quando uma taxa influencia diretamente uma variável de estado" (E3B, turma B). Nesse caso, a estudante mencionou as influências como

representação de processos (primeira coluna do Gráfico) e, ainda, que essa representação acontece pelas taxas que influenciam as variáveis de estado.

Os demais estudantes da turma B, apontaram sempre apenas uma das categorias citadas. A maioria das repostas, assim como na turma A, relacionaram as influências diretas como a representação das taxas influenciando as variáveis de estado (Estoques, na linguagem dos estudantes), por exemplo: "Que apenas influenciam estoques" (E1B, turma B); ou "É o que influencia o estoque diretamente" (E14B, turma B).

Na turma A, também tivemos concepções que abrangeram mais de uma categoria, daquelas mencionadas no gráfico. Por exemplo: "Existem dois tipos: I+ que significa somar durante certo tempo e I- que significa diminuir durante um certo tempo. Eles representam os processos do sistema." (E16A, turma A). Nessa situação, a resposta foi contabilizada para as categorias 'Representa processos' e 'Adiciona ou retira valores'. Além disso, somente na turma A foi mencionada em relação as influências diretas ser utilizadas para somar ou retirar valores da variável de estado. Por exemplo: "Que a influência direta tem como proposto adicionar ou retirar valores em seu estoque". E com efeito, as influências podem ser positivas ou negativas (I+ ou I-), sendo que o I+ significa que valores são adicionados na variável de estado (estoque); e o I- implica em dedução de valores da variável de estado. Então, a variável de estado é a responsável por descrever o estado do sistema.

A partir das respostas dos estudantes, em relação às diferenças entre Taxa e Estoque (segunda questão aberta, do questionário), foi possível elaborar quatro grupos distintos: a) Unidades diferentes; b) Influência sobre a Variável de Estado; c) Espaços quantitativos; d) outros. Considerando que alguns estudantes mencionaram mais de um desses grupos, o valor numérico da porcentagem ultrapassou 100%, conforme podemos visualizar no Gráfico 9.

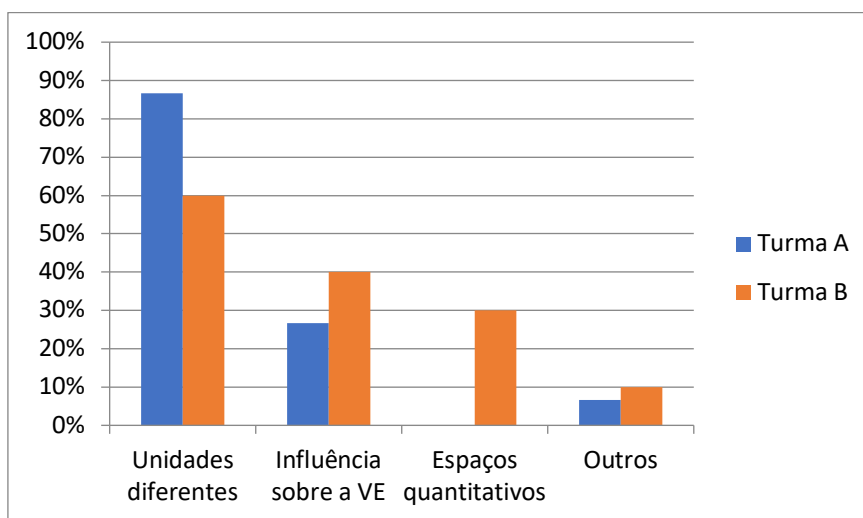


Gráfico 9. Respostas das diferenças entre taxas e variável de estado.

Como é possível notar pelo Gráfico acima, a maior parte dos estudantes, nas duas turmas, menciona a diferença entre taxa e variável de estado em relação às Unidades. Nessa categoria, os estudantes apresentam respostas mais diretas, por exemplos, "*As unidades são diferentes*" (E1A, turma A), ou ainda: "*A diferença está nas unidades*" (E7B, turma B). Mas outros estudantes relacionam a diferença de unidades pelo fato da taxa ser relacionada ao tempo, e o estoque não. A título de ilustração, podemos mostrar: "*A taxa adiciona algo em função do tempo e o estoque recebe o que foi adicionado, sempre por um período de tempo.*" (E2A, turma A), ou também: "*Taxa é um valor por unidade de tempo. Já o estoque ou variável de estado possui a mesma unidade de medida, porém sem o tempo.*" (E16A, turma A).

Na turma B também houve respostas relacionadas aos Espaços Quantitativos. A aluna aponta que "*Taxa se usa o espaço quantidade de magnitude Zero e Plus. Estoque se usa o espaço quantitativo de magnitude grande, médio e pequeno.*" (E5B, turma B). Outras duas estudantes também mencionam: "*Taxa se usa no espaço quantitativo de magnitude zero e plus. Estoque se usa em outros espaços quantitativos.*" (E12B, turma B), ou de forma mais sintética, "*Espaço Quantitativo*" (E8B, turma B).

Finalmente, criamos um último grupo de respostas, o qual intitulamos 'Outros'. Nesse caso tivemos um estudante de cada turma que mencionaram respostas que não se encaixaram em um dos três grupos, por exemplo: "*Taxa é o processo que está sendo executado com determinada frequência e que vai inserir ou retirar valores do estoque. O estoque é o resultado dos processos das taxas.*" (E10A, turma A). A estudante mostra uma resposta confusa, e que faltou, talvez, repensar para se expressar melhor esses conceitos. Por exemplo, a estudante fala que "*Taxa é o processo [...]*", enquanto que, na verdade, a taxa representa um processo. A estudante utiliza a palavra frequência, possivelmente relacionando ao tempo. E ainda, evidencia que "*O estoque é o resultado dos processos das taxas*", e na verdade, o estoque é o resultado dos fluxos por unidade de tempo. É na turma B, uma estudante menciona "*Não sei a diferença*" (E1B, turma B), o que mostra, nitidamente, que não reconhece a diferença entre taxa e variável de estado.

Em relação aos três grupos de respostas mencionados (Unidades diferentes, Influências sobre a variável de estado, espaços quantitativos), consideramos coerente e corretas as respostas, o que indica que, por meio dos questionários, foi possível perceber que a maioria dos estudantes reconhecem as diferenças entre as taxas e variáveis de estado, ainda que seja em um dos três grupos. Apenas 6,67% da turma A e 10% da turma B não soube responder ou respondeu de forma confusa.

4. CONCLUSÃO

Este estudo buscou demonstrar que, nas ações didáticas, estudantes do ensino médio são capazes de compreender a estrutura e o funcionamento de sistemas complexos, a partir da construção de modelos qualitativos de simulação, construídos em *DynaLearn*. Durante as atividades na escola, os estudantes construíram modelos, valorizando a abordagem escolhida neste estudo: LbM. Essa abordagem enfatiza o protagonismo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem, uma vez que eles constroem modelos, fazem adaptações e analisam os sistemas e os resultados das simulações (Borkulo, 2009).

Um conjunto de ações didáticas, baseados em conceitos da SD, foi importante para possibilitar que os estudantes utilizassem a linguagem de modelagem para representar fenômenos em níveis crescentes de complexidade, e tivessem solidez na representação do conhecimento por meio de sistemas, reconhecendo, inclusive, que no mundo as 'coisas' estão interconectadas (Kragten *et al.*, 2021). Isso foi viabilizado, no contexto em que desenvolvemos a pesquisa, a partir do instrumento adotado na metodologia deste trabalho: a modelagem qualitativa, por meio do *DynaLearn*. Conforme mencionado anteriormente, estudos no cenário internacional, corroboram com o potencial de *DynaLearn* na área de Educação (Bredeweg *et al.*, 2021).

Os resultados encontrados no questionário nos deram evidências de que a didática, por meio da modelagem em IA, promove a compreensão da estrutura e do funcionamento de sistemas, desde os mais simples aos mais complexos. Os estudantes demonstraram que reconhecem a linguagem de modelagem e os conceitos estabelecidos pela SD para representação de fenômenos do mundo real em modelos qualitativos. Além disso, os estudantes também se expressam mostrando que houve mudanças de comportamento em relação à visão de mundo deles. Com efeito, as ações foram desenvolvidas para que os participantes enxergassem os sistemas superando a visão linear e unidirecional.

Este texto sinaliza caminhos enriquecedores para uma educação mais ampla, em que os estudantes são capazes de visualizar e interpretar as relações operantes, fenômenos de interesse educacional e científico. Nesse contexto, a modelagem qualitativa, no viés da SD, amplia a visão de mundo dos estudantes, contextualiza os temas escolas e possibilita o protagonismo estudantil no processo de aprendizagem, na resolução de problemas complexos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) e à Universidade de Brasília (UnB) pelo incentivo aos nossos estudos e pesquisas, que buscam colaborar com o processo de ensino-aprendizagem por meio da modelagem, do Raciocínio Qualitativo e da Inteligência Artificial.

We would like to express our sincere gratitude to Professor Dr. Bert Bredeweg from the University of Amsterdam for providing student access to the DynaLearn web platform. We sincerely appreciate your support and dedication to advancing education.

REFERÊNCIAS

- Borkulo, S. P. (2009). *The assessment of learning outcomes of computer modeling in secondary science education* (Doctoral thesis). University of Twente, The Netherlands.
- Bredeweg, B., & Forbus, K. (2003). Qualitative modelling in education. *AI Magazine*, 24(4), 35-46.
- Bredeweg, B., & Salles, P. (2009). Mediating conceptual knowledge using qualitative reasoning. In S. E. Jorgensen, T. C. Chon, & F. Recknagel (Eds.), *Handbook of Ecological Modelling and Informatics* (pp. 351-398). Southampton, UK: WIT Press.
- Bredeweg, B., Liem, J., Beek, W., Linnebank, F., Gracia, J., Lozano, E., Wißner, M., Bühling, R., Salles, P., Noble, R., Zitek, A., Borisova, P., & Mioduser, D. (2013). DynaLearn – An intelligent learning environment for learning conceptual knowledge. *AI Magazine*, 34(4), 46-65.
- Bredeweg, B., Salles, P., & Neumann, M. (2004). Ecological applications of qualitative reasoning. In F. Recknagel (Ed.), *Ecological Informatics: Understanding Ecology by Biologically-Inspired Computational Methods* (pp. 353-368). Springer.
- Bredeweg, B., Kragten, M., & Spitz, L. (2021). Qualitative representations for systems thinking in secondary education. In *Proceedings of the 34th International Workshop on Qualitative Reasoning*. Montreal: IJCAI.
- Candau, V. (1988). *Rumo a uma nova didática*. Rio de Janeiro: Vozes..
- Cruz, G. B., & André, M. E. D. A. (2014). Ensino de didática: Um estudo sobre concepções e práticas de professores formadores. *Educação em Revista*, 30(4), 181-203.
- Forbus, K. D. (1984). Qualitative process theory. *Artificial Intelligence*, 24(1), 85-168.
- Kragten, M., Spitz, L., & Bredeweg, B. (2021). Learning domain knowledge and systems thinking using qualitative representations in secondary education (grade 9-10). In *Proceedings of the 34th International Workshop on Qualitative Reasoning*. Montreal: IJCAI.
- Libâneo, J. C. (2011). Panorama do ensino da Didática, das metodologias específicas e das disciplinas conexas nos cursos de Pedagogia: Repercussões na qualidade da formação profissional. In A. M. Longarezi & R. V. Puentes (Orgs.), *Panorama da Didática: Ensino, prática e pesquisa* (pp. 11-50). São Paulo: Papirus.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 44-53.
- Mioduser, D., et al. (2012). *Final report on DynaLearn evaluation studies*. DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526, Deliverable D7.4.



Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133.

Salles, P., et al. (2010). *FUB evaluation of DynaLearn prototype*. DynaLearn, EC FP7 STREP project 231526, Deliverable D7.2.1.

Salles, P., Souza, A., Noble, R., Zitek, A., Borisova, P., Leiba, M., & Bredeweg, B. (2012). *DynaLearn curriculum for environmental science*. DynaLearn Project, EC FP7 STREP project 231526, Deliverable D6.5.

Souza, P. V. T. (2019). *Modelos de simulação qualitativos como estratégia para o ensino de Ciências* (Tese de Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília/DF.

Teodoro, P. V., Gomes, D. C. M., & Silva, L. R. R. (2023). A inteligência artificial a partir do raciocínio qualitativo: Panorama de materiais didáticos no ensino de ciências naturais. *Boletim de Conjuntura*, 16, 378-390.

