

Sistemas Tutores Inteligentes na Aprendizagem por Competências: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Cláudia S. da Silva¹, Treice O. Moreira¹, Isabel Fernandes²,
Cláudio Passos³, Julio Cesar Duarte¹, Ronaldo R. Goldschmidt¹

¹Instituto Militar de Engenharia (IME) - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

²Universidade Federal da Integração Latino-Americana - Foz do Iguaçu - PR - Brasil

³Colégio Pedro II - Rio de Janeiro- RJ - Brasil

{rodel.claudia,treice.moreira}@ime.eb.br, ifsouza@yahoo.com.br

cpassos.cp2@gmail.com, {duarte,ronaldo.rgold}@ime.eb.br

Abstract. *Competency-based learning is considered as of the major revolutions of contemporary education. To promote it, resumes seek to mobilize skills and attitudes with students, going beyond the simple goal of getting students to know specific contents. Given this scenario, this paper presents a review systematic literature in order to identify studies that employ intelligent tutoring systems for the development of skills in students. This review was based on the PICO strategy and was based on 426 studies, with 29 selected. The results show the relevance of such systems, as well as evidence of potentialization of student learning.*

Keywords: *Education, Skills, Ontology, Intelligent Tutoring Systems, Adaptive Tests.*

Resumo. *A aprendizagem baseada em competências é considerada uma das principais revoluções da educação contemporânea. Para promovê-la, currículos buscam mobilizar habilidades e atitudes junto aos discentes, indo além do simples objetivo de levar os estudantes a conhecer conteúdos específicos. Diante desse cenário, este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura visando à identificação de estudos que empregam sistemas tutores inteligentes para o desenvolvimento de competências nos discentes. Tal revisão foi baseada na estratégia PICO e partiu de 426 estudos, com 29 selecionados. Os resultados mostram a relevância de tais sistemas, assim como evidências de potencialização do aprendizado dos discentes.*

Palavras-chave: *Educação, Competências, Ontologia, Sistemas Tutores Inteligentes, Testes Adaptativos.*

1. Introdução

A aprendizagem baseada em competências (AC) é um modelo educacional disruptivo, focado no aprendiz, que se utiliza de situações-problemas do cotidiano para mobilizar conhecimento, habilidade e atitude de maneira que haja, nesse tripé, o autorreconhecimento da aptidão ou competência, para o desenvolvimento de soluções. A AC é considerada uma revolução na educação por permitir autonomia do estudante (atitude) para aplicar/escolher criativamente o “como” fazer (habilidade) e

por reconhecer a efetividade do resultado (competência). Nessa abordagem, o aluno é ativo no seu processo da aprendizagem e no reconhecimento do nível de sua aptidão [Belluzzo and Dudziak 2009, Belluzzo 2005].

Por envolver o desenvolvimento do conjunto das dimensões relacionadas aos conhecimentos, as habilidades e as atitudes, a *AC* encontra-se, na literatura, frequentemente associada ao acrônimo CHA, no qual as letras correspondem às iniciais dessas dimensões [Zabala and Arnau 2015]. Atualmente, o desenvolvimento de competências no contexto da Educação se faz presente nos documentos normativos governamentais brasileiros, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [MEC 2017] e as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) [MEC 2019] para cursos superiores, e, estão alinhados a esse modelo de aprendizagem.

Em geral, a *AC* pode ser apoiada por meio da utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) [Rissoli et al. 2006]. Destacam-se como exemplos, os sistemas tutores inteligentes (STI) e os testes adaptativos (TA). Conforme [Gavidia and de Andrade 2003], os STI são softwares com uma inteligência artificial embutida, que atuam como mediadores educacionais e proporcionam ao aluno um ensino particularizado e individualizado, atendendo às necessidades específicas dos discentes em relação ao conhecimento do domínio de estudo¹ (e.g., matemática, ciências, história, etc.) Semelhantemente, os TA selecionam questões a serem apresentadas como desafios aos alunos, adequados aos níveis de competência dos aprendizes [Navarro et al. 2018, Marinissen et al. 2010].

Mesmo existindo diversas revisões de literatura relatando aplicações de STI, em diversos cenários educacionais [Bastiani et al. 2020, Neto and de Lima 2016, Costa and de Sousa 2020, Han et al. 2019, Reis et al. 2018], até onde foi possível observar, há uma carência das revisões que investiguem a utilização dos STI na *AC*. Assim, o presente trabalho visa realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) a fim de buscar tanto por estudos que empreguem os STI no aprimoramento das competências dos discentes, quanto por evidências que indiquem melhoria no processo da *AC*, a partir do uso desses sistemas. Para tanto, foram pesquisados trabalhos publicados no período de 2008 a 2022, em oito bases de pesquisa, das áreas de Engenharia e Educação, em conjunto com um recuperador de manuscritos. A RSL foi baseada na metodologia proposta em [Kitchenham et al. 2007] e na estratégia PICO² para definição da *string* de busca. Foram selecionados 29 trabalhos, a partir de 426 estudos encontrados. Os resultados apontam para a relevância dos STI nesse contexto, assim como para evidências de potencialização do aprendizado e de estímulo ao raciocínio dos discentes.

Este trabalho encontra-se organizado em mais três seções. A Seção 2 aborda a metodologia empregada na pesquisa, detalhando o protocolo adotado. A seguir, na Seção 3, são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada. As

¹O conhecimento sobre o tema de estudo abordado pelos STI fica geralmente armazenado no componente do tutor denominado *Modelo de Domínio*.

²Segundo [Liberati et al. 2009], tal estratégia consiste em decompor a questão norteadora de uma pesquisa em quatro itens, conforme indicado pelas letras que compõem a sigla PICO (P - população; I - intervenção; C - comparação/controle; O - *outcome*/resultado) a fim de identificar os elementos que devem compor a *string* a ser utilizada no processo de busca.

considerações finais são, por último, relatadas na Seção 4.

2. Metodologia

A presente RSL foi realizada segundo a metodologia proposta em [Kitchenham et al. 2007] e compreendeu, basicamente, as seguintes etapas: definição das questões de pesquisa, seleção das bases de pesquisa, construção de uma *string* de busca contendo palavras-chave relacionadas ao tema de interesse, e definição dos critérios de inclusão e de exclusão dos trabalhos encontrados. Subseções de 2.1 a 2.4 apresentam tais etapas. Na sequência, a Subseção 2.5 sumariza a condução da RSL, indicando o quantitativo de trabalhos encontrados ao longo do processo.

2.1. Definição das Questões de Pesquisa

Nessa fase, a questão de pesquisa principal (QPP), motivadora desta RSL, foi enunciada nos seguintes termos: *Quais as evidências do quanto a utilização dos STI pode contribuir para o aprimoramento de competências dos discentes e para a melhoria do processo de AC?* A partir da QPP, as questões de pesquisa específicas (QPE) indicadas abaixo, foram formuladas. Tais questões foram levantadas para identificar e para detalhar o que já foi investigado acerca da aplicação dos STI na AC.

- *QPE1: quais dimensões de competências foram estimuladas pelos STI nas pesquisas?* A resposta a essa questão deve indicar o que referente ao conjunto CHA foi explorado com maior frequência pelos estudos envolvendo STI. Tal resposta, inclusive, deve permitir, analisar o alinhamento entre as competências almejadas no mercado de trabalho, e as estimuladas pelos STI.
- *QPE2: se os STI tiveram as suas efetividades comprovadas, quais foram os instrumentos empregados para tal comprovação?* Para realizar essa comprovação, no contexto da AC, os trabalhos devem apresentar evidências que mostrem que os tutores contribuíram para a melhoria da aprendizagem dos discentes, podendo mencionar, inclusive, as estratégias pedagógicas empregadas³. Nesses casos comprovados, é possível conhecer exemplos de métodos e de métricas utilizadas no levantamento das evidências. Além disso, conhecer as formas de avaliação dos STI auxilia na percepção, se os tutores conseguiram atender a todos os usuários, cada um no seu grau de aprendizagem, e, se eles proporcionaram experiências benéficas para todos os alunos.
- *QPE3: quais os domínios de estudo estão sendo explorados pelos STI na AC?* Permite compor um panorama acerca de quais conhecimentos e de quais conteúdos são explorados pelos STI.
- *QPE4: como as pesquisas estão distribuídas ao longo do tempo?* A resposta a essa questão permite observar como vem sendo o interesse da comunidade científica pelo tema, incluindo a análise de tendências.
- *QPE5: quais tecnologias são empregadas na implementação dos STI?* Essa questão visa entender como os STI têm sido construídos. Tal levantamento tecnológico pode auxiliar na análise de aspectos relevantes, por exemplo, interoperabilidade, reuso, e escalabilidade dos STI, entre outros.

³Normalmente as estratégias pedagógicas ficam armazenadas em um componente do tutor, denominado *Modelo Pedagógico*.

- *QPE6: quais são as formas de representação de conhecimento utilizadas na modelagem dos domínios de estudo abordados pelos STI?* Conhecer tais formas de representação de conhecimento possibilita entender como as informações e os dados são armazenados, estruturados e manipulados pelos tutores. As formas de representação de conhecimento permitem aos STI mapear tanto o conhecimento do domínio de estudo quanto o conhecimento assimilado pelo aluno, além das dificuldades apresentadas pelo discente⁴ com relação ao conteúdo em estudo.
- *QPE7: as pesquisas estão direcionadas para quais níveis de escolaridade?* Ao responder tal questão, é possível visualizar quais os níveis em que há maior interesse no uso do tutor, assim como novos espaços para sua aplicação.

2.2. Seleção das Bases de Pesquisa

Foram escolhidas 8 bases de pesquisa que contêm trabalhos em Educação e Engenharia, áreas de interesse desta RSL: *ACM Digital Library*, Portal de Periódicos da CAPES, ERIC, *IEEE Xplore*, EBSCO, *Scopus*, *Science Direct*, *Wiley*; e o recuperador de manuscritos *Google Scholar*⁵.

2.3. Construção da *String* de Busca

A elaboração da *string* de busca foi feita a partir da identificação dos elementos da estratégia PICO [Liberati et al. 2009] indicados na Tabela 1, de modo a possibilitar o retorno do maior número de artigos que auxiliem em possíveis respostas para a QPP e as para as QPE. Descrita no Quadro 1, a *string* de busca elaborada possui o formato de uma expressão lógica que emprega o operador lógico *AND* para conjugar os termos em inglês que representam os elementos identificados na PICO, e o operador lógico *OR* para fornecer sinônimos a cada um dos referidos termos. Nesse contexto, foram considerados sinônimos do termo *competency*, as expressões *teaching by competence* e *teaching by competency*. Além disso, considerou-se como sinônimo de *competency based education* a expressão *competency learning*.

Por fim, incluiu-se, ainda na *string* de busca, a expressão *adaptive test*, a fim de recuperar pesquisas relacionadas aos TA. Tal inclusão se deve ao fato de que, em geral, os testes adaptativos buscam avaliar cada estudante em função dos níveis de habilidade identificados e apresentados pelo discente, demonstrando, portanto, um alinhamento com a *AC*.

Tabela 1. Estratégia PICO

Sigla	Elemento	Descrição
P	<i>Population</i>	População: Discentes
I	<i>Intervention</i>	Intervenção: <i>AC</i> com o apoio de STI
C	<i>Comparison</i>	Comparação: <i>AC</i> sem o apoio de STI
O	<i>Outcome</i>	Resultado: Desempenho do discente na <i>AC</i>

⁴Em geral, a literatura sobre STI refere-se ao *Modelo do Aluno* como o componente do tutor responsável por conter as informações sobre o conhecimento e o perfil de cada discente.

⁵Ferramenta digital de recuperação de manuscritos acadêmicos disponíveis em distintas bases.

(“student”) AND
 (“competency” OR “teaching by competence” OR “teaching by competency”
 OR “competency-based education” OR “competency learning”) AND
 ((“intelligent tutor systems” OR “intelligent tutoring systems”) OR
 (“adaptative test” OR “adaptative tests”)) AND
 (“performance” OR “learning performance”)

Quadro 1: *String* de Busca Elaborada

2.4. Definição dos Critérios de Inclusão e de Exclusão

Os critérios utilizados para incluir ou para excluir os estudos durante o processo de RSL encontram-se indicados na Tabela 2. A escolha por selecionar pesquisas a partir de 2008 teve, como objetivo, construir uma visão longitudinal que refletisse o grau de interesse pelo assunto ao longo do tempo. Além disso, deve permitir avaliar como a pesquisa da temática vem sendo realizada por mais de uma década, além de proporcionar uma leitura quanto a tendências que possam sugerir espaços para novos estudos. Para mais, optou-se por selecionar, tanto trabalhos que utilizam STI, quanto os que empregam TA na AC, uma vez que, semelhantemente, todos envolvem, em alguma medida, estímulos a habilidades dos discentes.

Tabela 2. Critérios de Seleção dos Estudos

Tipo	ID	Descrição
Exclusão	E ₁	Estudos duplicados
	E ₂	Estudos não disponíveis para acesso
	E ₃	Estudos não publicados na versão completa
	E ₄	Estudos não relevantes baseados em resumos e <i>abstracts</i>
	E ₅	Estudos realizados antes de 2008
	E ₆	Idiomas diferentes de português e de inglês
Inclusão	I ₁	Estudos empregando STI na AC
	I ₂	Estudos empregando TA na AC
	I ₃	Estudos realizados a partir de 2008
	I ₄	Estudos publicados nos idiomas português ou inglês

2.5. Condução da RSL

Foram realizadas buscas nas bases de pesquisa e na ferramenta digital, indicadas na Subseção 2.2, empregando-se a *string* de busca descrita no Quadro 1 (Subseção 2.3), e, como retorno, foram obtidos 426 estudos.

Em seguida, foram aplicados aos estudos recuperados, os critérios descritos na Tabela 2 (Subseção 2.4). O conjunto dos 426 trabalhos foi examinado, sendo removidos: 32 estudos duplicados, 32 estudos indisponíveis para *download*, 66 estudos anteriores ao ano de 2008, 03 estudos não publicados na versão completa, e, 01 estudo com idioma diferente de português e de inglês. Dos 292 estudos remanescentes, cada trabalho foi avaliado quanto ao resumo, ao *abstract* e a palavras-chave, resultando em 29 estudos. Por fim, ao realizar a leitura completa, permaneceram os 29 estudos.

A Figura 1 apresenta uma ilustração gráfica do processo de seleção dos trabalhos, informando os quantitativos de trabalhos retornados pelas bases de pesquisa e pela ferramenta digital, assim como os totais resultantes, da aplicação de cada um dos critérios de inclusão e de exclusão.

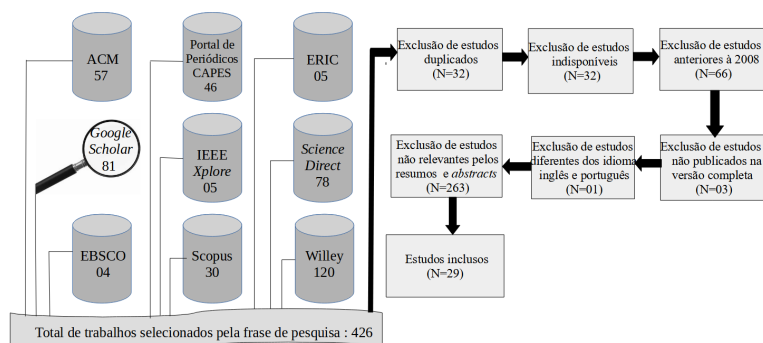


Figura 1. Processo de RSL. Adaptado de: [Bóbó et al. 2019].

A partir da leitura dos 29 estudos, esses foram classificados em dois grupos, de acordo com duas abordagens: a primeira enfocando os STI, no estímulo das AC, e a outra consistindo no uso dos TA, sintonizado com o mesmo objetivo. Ambas as abordagens mostraram-se conectadas à temática da AC, por enfatizarem a importância do estímulo da aquisição de conhecimentos alinhados às habilidades e atuando de forma personalizada. Tanto os STI quanto os TA, apresentam tais características, podendo, inclusive, os TA serem integrados aos STI [Badaracco et al. 2013].

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir dos estudos selecionados na presente RSL, que foram avaliados, para responder às questões de pesquisa especificadas na Subseção 2.1.

Como resposta à QPE1, foram identificadas habilidades e atitudes, estimuladas pelos STI nos estudos analisados. De maneira geral, destacaram-se: a aprendizagem autorregulada, a responsabilidade, a colaboração, o trabalho em equipe, a resolução de problemas e a motivação. A Tabela 3 indica tais dimensões de competências, em conjunto com as respectivas referências. Ao compará-las com as requisitadas pelo mercado de trabalho [Parra et al. 2014, Lima 2007], observaram a congruência e o alinhamento entre algumas dimensões demandadas profissionalmente e as desenvolvidas pelos STI. Entretanto, dimensões esperadas pelo mercado, tais como: habilidades multidisciplinares, receptividade, iniciativa e determinação, até onde se pode observar, não são cobertas pelos tutores. Dessa forma, indicam possibilidades de pesquisas de aplicações dos STI nessas dimensões.

A comprovação da efetividade dos STI junto aos alunos, relacionada à AC, é alvo de resposta da QPE2. Sobre tal questão, verificou-se que a maioria das pesquisas realizou estudos de caso para validar os resultados dos tutores. O gráfico constante, na Figura 2, resume as estratégias adotadas para verificar essa efetividade. Na maioria dos estudos, foram realizados pré-testes, intervenção com o tutor e pós-testes. Contudo, em alguns trabalhos [Leyzberg et al. 2018, de Carvalho et al. 2020,

Tabela 3. Competências estimuladas nos estudos

Referência	Dimensões de Competência
[Li et al. 2015]	Engajamento
[Azevedo et al. 2022] [Payne et al. 2009] [Kautzmann and Jaques 2016] [Roll et al. 2011]	Aprendizagem Autorregulada e Responsabilidade
[Leyzberg et al. 2018]	Interesse, Confiança e Motivação
[de Carvalho et al. 2020]	Motivação e Atenção
[Wambsganss et al. 2021]	Argumentação
[Sharma 2018] [Solé-Beteta et al. 2021] [Nunes 2021]	Colaboração, Responsabilidade, Trabalho em Equipe e Resolução de Problemas
[Tran 2021]	Autoconfiança
[Yang 2009]	Reflexão

Wambsganss et al. 2021, Kautzmann and Jaques 2016], houve a divisão em dois grupos, sendo um deles acompanhado pelo tutor e o outro não, durante um período específico. Ao término de tal período, foram aplicados testes a fim de identificar o grupo com o melhor desempenho. Em ambas as estratégias adotadas, foi comprovado que os estudantes assistidos pelos STI, obtiveram os melhores resultados.

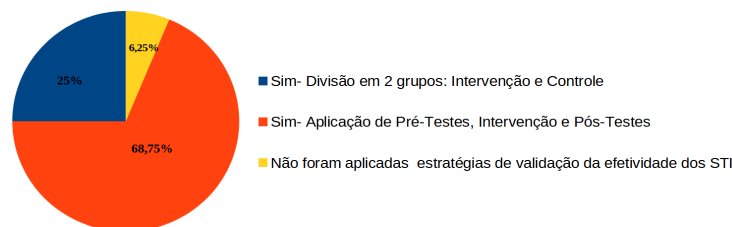


Figura 2. Estratégias para avaliação da efetividade dos STI. Fonte: Autoria Própria.

O interesse pelos domínios de estudo abordados pelas pesquisas é en-
focado pela QPE3. Observou-se o emprego dos STI nas áreas de saúde,
de exatas e de humanas, ao ensinar: dermatopatologia [Payne et al. 2009],
big data [Solé-Beteta et al. 2021], engenharia de *software* [Nunes 2021], con-
tabilidade [Adenowo 2012], escrita persuasiva [Allen et al. 2015], idioma japo-
nês [Tran 2021], linguagens SQL [Azevedo et al. 2022] e C [Yang 2009] , idi-
omas inglês [Leyzberg et al. 2018] e francês [Luccioni et al. 2016], matemática
[Kautzmann and Jaques 2016] e leitura [Roll et al. 2011].

A constatação do interesse da comunidade científica pela investigação do
emprego dos STI na AC, ao longo do tempo, é abordada ao se responder à QPE4.
Conforme ilustrado no gráfico apresentado na Figura 3, observou-se que as publicações
foram realizadas em continuidade, revelando que o assunto é promissor, cabendo o
desenvolvimento de novas pesquisas. Entretanto, verificou-se também que, mesmo

com a importância da AC, a exploração da aplicação dos STI nesse contexto ainda é um pouco incipiente, no que se refere ao estímulo do conjunto CHA como um todo.

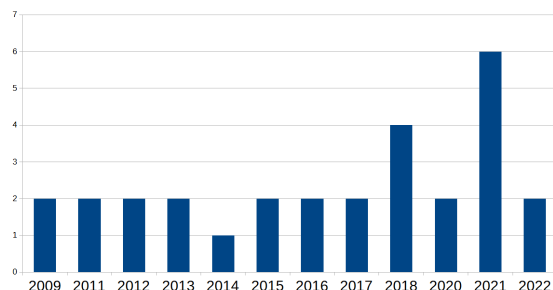


Figura 3. Distribuição das pesquisas de STI na AC ao longo de mais de uma década.
Fonte: Autoria Própria.

A QPE5 visou identificar as tecnologias empregadas na construção dos STI. A Tabela 4 relaciona as tecnologias identificadas nos trabalhos. Algumas pesquisas utilizaram as chamadas ferramentas de autoria de STI⁶, a partir das quais foram identificadas as seguintes ferramentas: *Cognitive Tutor Authoring Tools* [Luccioni et al. 2016], *Generalized Intelligent Framework for Tutoring* [Sottolare et al. 2017] e *Intelligent Learning Activity Builder System* [Adenowo 2012]. Outros trabalhos relatam ter construído STI utilizando linguagens de programação tradicionais como *Java* e *Python*, assim como, conhecidos sistemas de gerenciamento de bancos de dados tais quais o *PostgreSQL* e o *MySQL*.

Tabela 4. Exemplos de tecnologias empregadas e explicitadas nas pesquisas.

Referência	Tecnologia
[Payne et al. 2009] [Kautzmann and Jaques 2016]	<i>Java</i>
[de Carvalho et al. 2020]	<i>PostgreSQL, Javascript e Xen</i>
[Adenowo 2012]	<i>Intelligent Learning Activity Builder Sistem</i>
[Wambsganss et al. 2021]	PLN, <i>framework ICAP</i> e BERT
[Luccioni et al. 2016]	<i>Cognitive Tutor Authoring Tools, Open-edX e Python</i>
[Yang 2009]	<i>Java, Struts, Tomcat, web server e MySQL</i>
[Sottolare et al. 2017]	<i>Generalized Intelligent Framework for Tutoring</i>
[Nunes 2021]	<i>Java, Eclipse, MySQL, Git e GitLab</i>

Indo mais além, observa-se que os tutores implementados nos estudos de [Luccioni et al. 2016, de Carvalho et al. 2020, Sottolare et al. 2017, Kautzmann and Jaques 2016] foram associados às tecnologias *Web*, e a utilização dos STI era realizada por meio de plataformas de treinamento ou de aprendizagem, proporcionando aos tutores, assistirem a mais alunos. Esse tipo de implementação

⁶Programas que auxiliam na criação dos STI.

tem como característica a escalabilidade. Por fim, identificou-se em alguns estudos, o emprego do Processamento de Linguagem Natural (PLN), destacando o BERT⁷ e o *framework* ICAP⁸, a fim de tornar os STI amigáveis e próximos ao estudante [Wambsganss et al. 2021, Allen et al. 2015], buscando a construção de um ambiente que proporcione uma sensação de ensino mais personalizado.

O entendimento sobre quais formas de representação e de modelagem de conhecimento têm sido utilizadas pelos STI é focado pela QPE6. Variadas formas de representação e de modelagem foram investigadas pelas pesquisas, entretanto, até o momento, a maioria dos trabalhos optou por empregar recursos de ontologias [Payne et al. 2009, Adenowo 2012, Luccioni et al. 2016, Sottolare et al. 2017] e de regras simbólicas [Wambsganss et al. 2021, Kautzmann and Jaques 2016, Roll et al. 2011, Solé-Beteta et al. 2021, Allen et al. 2015] para modelar os conhecimentos envolvidos nos domínios de estudo dos STI. É oportuno ressaltar que as ontologias favorecem o reuso e o compartilhamento dos conhecimentos modelados. Outras formas de representação também adotadas pelos STI foram: redes semânticas [Badaracco and Martínez 2011, Azevedo et al. 2022, Graesser et al. 2005] e redes bayesianas [Yang 2009, Leyzberg et al. 2018]. Embora esse tipo de representação seja ininteligível pelo ser humano, alguns estudos utilizaram redes neurais⁹ [de Carvalho et al. 2020]. Além disso, em vários trabalhos, o conhecimento representado foi armazenado em banco de dados [Sharma 2018, Tran 2021, Nunes 2021]. O gráfico da Figura 4(a) ilustra as formas de representação do conhecimento adotadas e explicitadas nos trabalhos avaliados.

A resposta referente à QPE7 sinaliza que os STI têm sido mais empregados no ensino superior [Payne et al. 2009, Solé-Beteta et al. 2021, Nunes 2021, Adenowo 2012, Allen et al. 2015, Tran 2021, Azevedo et al. 2022, Yang 2009], conforme ilustrado no gráfico da Figura 4(b). Dessa forma, a resposta à QPE7 permite perceber que os níveis de ensino médio e fundamental são espaços promissores para novas pesquisas envolvendo aplicações de STI.

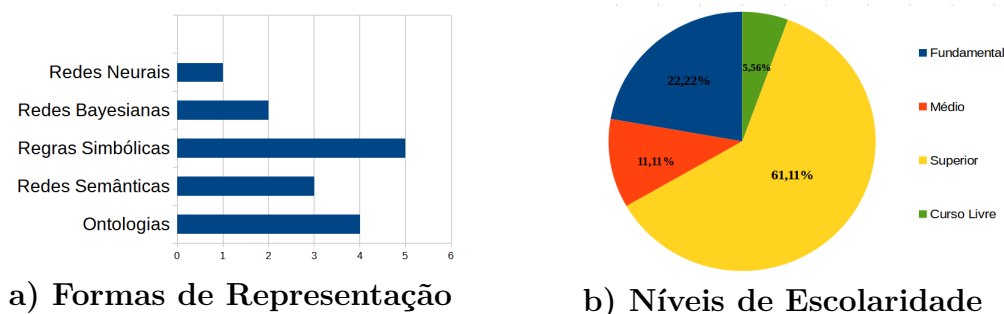


Figura 4. Respostas às (a) QPE 6 e (b) QPE 7. Fonte: Autoria Própria.

⁷*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*, é um modelo de IA para representação de textos em linguagem natural.

⁸*Interactive, Constructive, Active, and Passive*, é uma estrutura que postula 4 modos de engajamento cognitivo: interativo, construtivo, ativo e passivo.

⁹O conhecimento fica armazenado, podendo ser processado.

4. Considerações Finais

Até onde foi possível observar, percebeu-se uma carência de revisões sistemáticas da literatura que investiguem o uso dos STI na AC. Diante disso, este artigo apresentou uma RSL, como principal contribuição para suprir tal lacuna. Para tanto, estabeleceu-se a questão de pesquisa principal (QPP) motivadora do estudo, assim como, as questões de pesquisa específicas (QPE), norteadoras quanto à identificação e ao emprego dos STI na AC. A *string* de busca, construída a partir da QPP, foi executada em 8 bases de pesquisa, relacionadas aos domínios da engenharia e da educação, e, em 1 recuperador de manuscritos. Foram identificados 426 estudos, e, após a aplicação dos critérios de inclusão e de exclusão, foram selecionados 29 estudos.

Pela análise realizada na presente RSL, percebeu-se que o uso dos STI pode contribuir para a aprendizagem por competências. Portanto, o objetivo deste trabalho foi alcançado ao serem obtidas evidências documentais que relataram a colaboração de STI para a melhoria do processo de AC. Observou-se, durante o processo de revisão, que várias pesquisas realizaram estudos de caso para avaliar a efetividade do STI e, comprovaram a obtenção de melhores resultados, pelos alunos que tiveram a assistência dos tutores. Esta RSL, além de apresentar uma visão longitudinal e atual do tema, indica novas alternativas de pesquisas referentes ao emprego do STI na AC, uma vez que tal assunto é de interesse da comunidade acadêmica.

Para trabalhos futuros, sugere-se aprofundar as pesquisas em relação à dimensão atitude, com a mensuração dos atributos das áreas comportamentais pelo tutor. Dessa forma, espera-se realizar uma avaliação, com o conjunto CHA completo. Além disso, pretende-se verificar, a cobertura pelo tutor, de competências esperadas pelo mercado de trabalho, porém não abordadas pelas pesquisas até o momento. Outro ponto a ser melhorado consiste em aprimorar a RSL desta pesquisa de forma a incorporar opiniões de outros pesquisadores quanto às análises de inclusão/exclusão de artigos no estudo e às classificações realizadas a partir dos trabalhos recuperados. Nesse aprimoramento, os resultados da RSL deverão ser enriquecidos, apresentando indicadores de concordância (e.g. coeficiente *Kappa*) entre as opiniões e os pontos de vista dos pesquisadores envolvidos no estudo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (bolsa de mestrado - proc. 88887.765311/2022-00) e por meio do proc. PROCAD-DEFESA-DRI - 88881.853129/2023-01 (bolsa de professor visitante no exterior). Este material é baseado no trabalho apoiado pelo Escritório de Pesquisa Científica da Força Aérea (AFOSR) sob o número FA9550-22-1-0475. Finalmente, este trabalho foi parcialmente financiado por fundos nacionais através da FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos, e FAPEB, Fundação de Apoio à Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação do Exército Brasileiro, no âmbito do projeto “Sistema de Sistemas de Comando e Controle” com referência nº 2904/20 sob o contrato nº 01.20.0272.00.

Referências

- Adenowo, A. (2012). *Augmented Conversation and Cognitive Apprenticeship Metamodel Based Intelligent Learning Activity Builder System*. PhD thesis, De Montfort University.
- Allen, L. K., Snow, E. L., and McNamara, D. S. (2015). Are you reading my mind? modeling students' reading comprehension skills with natural language processing techniques. In *Proceedings of the fifth international conference on learning analytics and knowledge*, pages 246–254.
- Azevedo, R., Bouchet, F., Duffy, M., Harley, J., Taub, M., Trevors, G., Cloude, E., Dever, D., Wiedbusch, M., Wortha, F., et al. (2022). Lessons learned and future directions of metatutor: leveraging multichannel data to scaffold self-regulated learning with an intelligent tutoring system. *Frontiers in Psychology*, 13.
- Badaracco, M., Liu, J., and Martinez, L. (2013). A mobile app for adaptive test in intelligent tutoring system based on competences. In *Workshop Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Environments*, pages 419–430. IOS Press.
- Badaracco, M. and Martínez, L. (2011). An intelligent tutoring system architecture for competency-based learning. In *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pages 124–133. Springer.
- Bastiani, E., Mazzuco, A. E. d. R., and Reategui, E. B. (2020). Sistemas tutores inteligentes voltados ao apoio da escrita acadêmica: uma revisão sistemática. *Informática na educação: teoria & prática [recurso eletrônico]*. Porto Alegre: UFRGS, Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologia na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação. Vol. 23, n. 3 (2020), p. 85-99.
- Belluzzo, R. C. B. (2005). Competências na era digital: desafios tangíveis para bibliotecários e educadores. *ETD: Educação Temática Digital*, 6(2):30–50.
- Belluzzo, R. C. B. and Dudziak, E. A. (2009). Educação, informação e tecnologia na sociedade contemporânea: diferenciais à inovação? *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, 4(2):44–51.
- Bóbó, M., Campos, F., Stroele, V., Braga, R., and David, J. (2019). Análise de sentimento na educação: Um mapeamento sistemático da literatura. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, page 249.
- Costa, R. R. and de Sousa, R. R. (2020). O uso de tutores de programação inteligentes na produção de feedback para estudantes em tarefas de programação: Uma revisão sistemática da literatura. *Brazilian Journal of Development*, 6(5):29481–29496.
- de Carvalho, S. D., de Melo, F. R., Flôres, E. L., Pires, S. R., and Loja, L. F. B. (2020). Intelligent tutoring system using expert knowledge and kohonen maps with automated training. *Neural Computing and Applications*, 32(17):13577–13589.
- Gavidia, J. J. Z. and de Andrade, L. C. V. (2003). Sistemas tutores inteligentes.

- Graesser, A. C., Hu, X., and McNamara, D. S. (2005). Computerized learning environments that incorporate research in discourse psychology, cognitive science, and computational linguistics. *Experimental cognitive psychology and its applications*.
- Han, J., Zhao, W., Jiang, Q., Oubibi, M., and Hu, X. (2019). Intelligent tutoring system trends 2006-2018: A literature review. In *2019 eighth international conference on educational innovation through technology (EITT)*, pages 153–159. IEEE.
- Kautzmann, T. R. and Jaques, P. A. (2016). Treinamento da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento em sistemas tutores. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 24(02):22.
- Kitchenham, B., Charters, S., et al. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- Leyzberg, D., Ramachandran, A., and Scassellati, B. (2018). The effect of personalization in longer-term robot tutoring. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 7(3):1–19.
- Li, H., Cheng, Q., Yu, Q., and Graesser, A. C. (2015). The role of peer agent’s learning competency in triologue-based reading intelligent systems. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, pages 694–697. Springer.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., Clarke, M., Devereaux, P., Kleijnen, J., and Moher, D. (2009). The prisma statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10):e1–e34.
- Lima, L. d. J. (2007). O perfil do profissional da informação demandado pelo mercado de trabalho nas regiões sul e sudeste do brasil.
- Luccioni, A., Nkambou, R., Massardi, J., Bourdeau, J., and Coulombe, C. (2016). Sti-dico: a web-based system for intelligent tutoring of dictionary skills. In *Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web*, pages 923–928.
- Marinissen, E. J., Singh, A., Glotter, D., Esposito, M., Carulli, J. M., Nahar, A., Butler, K. M., Appello, D., and Portelli, C. (2010). Adapting to adaptive testing. In *2010 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE 2010)*, pages 556–561. IEEE.
- MEC (2017). Base nacional comum curricular. <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acessado em 21/03/2023.
- MEC (2019). Diretrizes curriculares nacionais do ensino superior. <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12991>. Acessado em 21/03/2023.
- Navarro, J.-J., Mourgues-Codern, C., Guzmán, E., Rodríguez-Ortiz, I. R., Conejo, R., Sánchez-Gutiérrez, C., De la Fuente, J., Martella, D., and Saracostti, M. (2018). Integrating curriculum-based dynamic assessment in computerized adaptive testing: Development and predictive validity of the edpl-bai battery on reading competence. *Frontiers in Psychology*, 9:1492.

- Neto, R. N. B. and de Lima, R. W. (2016). Sistemas computacionais de tutoria inteligente: Uma revisão sistemática da literatura. In *Congresso Regional sobre Tecnologias na Educação*.
- Nunes, C. F. D. (2021). Sistema de apoio ao mapeamento de algumas competências em estudantes de graduação.
- Parra, R. I. C. et al. (2014). *Competências de empregabilidade: exploração do mercado de trabalho português*. PhD thesis, Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais.
- Payne, V. L., Medvedeva, O., Legowski, E., Castine, M., Tseytlin, E., Jukic, D., and Crowley, R. S. (2009). Effect of a limited-enforcement intelligent tutoring system in dermatopathology on student errors, goals and solution paths. *Artificial Intelligence in Medicine*, 47(3):175–197.
- Reis, H. M., Isotani, S., and Jaques, P. A. (2018). Sistemas tutores inteligentes que detectam as emoções dos estudantes: um mapeamento sistemático. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 26(3).
- Rissoli, V. R. V., Giraffa, L. M. M., and de Paula Martins, J. (2006). Sistema tutor inteligente baseado na teoria da aprendizagem significativa com acompanhamento fuzzy. *Informática na educação: teoria & prática*, 9(2).
- Roll, I., Aleven, V., McLaren, B. M., and Koedinger, K. R. (2011). Improving students’ help-seeking skills using metacognitive feedback in an intelligent tutoring system. *Learning and instruction*, 21(2):267–280.
- Sharma, A. (2018). Regulating collaborative learning in sql-tutor. In *Proceedings of the 26th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, pages 341–344.
- Solé-Beteta, X., Navarro, J., Vernet, D., Zaballos, A., Torres-Kompen, R., Fonseca, D., and Briones, A. (2021). Automatic tutoring system to support cross-disciplinary training in big data. *The Journal of Supercomputing*, 77(2):1818–1852.
- Sottolare, R. A., Brawner, K. W., Sinatra, A. M., and Johnston, J. H. (2017). An updated concept for a generalized intelligent framework for tutoring (gift). *GIFTtutoring.org*, pages 1–19.
- Tran, L. (2021). *Developing a competency-based training tool to introduce word reading drills to novice learners*. PhD thesis, Harvard University.
- Wambsganss, T., Kueng, T., Soellner, M., and Leimeister, J. M. (2021). Arguetutor: An adaptive dialog-based learning system for argumentation skills. In *Proceedings of the 2021 CHI conference on human factors in computing systems*, pages 1–13.
- Yang, C. (2009). *An intelligent tutoring system based on personalized learning*. Faculty of Graduate Studies and Research, University of Regina.
- Zabala, A. and Arnau, L. (2015). *Como aprender e ensinar competências*. Penso Editora.