

EBTutor: Uma Proposta de Sistema Tutor Inteligente na Aprendizagem Baseada em Competências no Exército Brasileiro

Cláudia S. da Silva¹, Treice O. Moreira¹, Isabel Fernandes²,
Cláudio Passos³, Maria Cláudia R. Cavalcanti¹,
Julio Cesar Duarte¹, Ronaldo R. Goldschmidt¹

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

²Centro Universitário Descomplica Uniamérica – 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,{yoko,duarte,ronaldo.rgold}@ime.eb.br

Abstract. *Competency-based learning (CBL) has been utilized in the military education of the Brazilian Army (BA) since 2012. Although there are studies reporting the successful use of intelligent tutoring systems (ITS) in CBL across various contexts, evidence on the effectiveness of these systems in the military setting, particularly in the BA, is lacking. In an effort to address this research gap, this study aimed to present EBTutor, an ITS based on AI and knowledge graphs, to support CBL in BA courses. The results from using EBTutor in a class of sergeants enrolled in the "Computer Networks" course indicate improved student performance and a positive impression of the ITS by the 17 students who evaluated it.*

Key- Words: *Education, Competency-Based Learning, Intelligent Tutoring Systems.*

Resumo. *A aprendizagem baseada em competências (AC), tem sido utilizada no ensino militar do Exército Brasileiro (EB) desde 2012. Embora existam pesquisas reportando o uso bem sucedido de sistemas tutores inteligentes (STI) na AC em diversos contextos, faltam evidências sobre a eficácia desses sistemas no cenário militar, em especial no EB. Na direção de se buscar suprir tal lacuna de pesquisa, este trabalho teve como objetivo apresentar o EBTutor, um STI baseado em IA e grafos de conhecimento, para apoiar a AC nos cursos do EB. Os resultados do uso do EBTutor em uma turma de sargentos do curso de "Redes de Computadores" indicam melhoria no desempenho discente e uma boa impressão do STI pelos 17 alunos que o avaliaram.*

Palavras-chave: *Educação, Aprendizagem Baseada em Competências, Sistemas Tutores Inteligentes.*

1. Introdução

A aprendizagem baseada em competências¹ é muito mais que simplesmente apoiar os alunos² a dominar conteúdos. Ao integrar conhecimento teórico e prático, a

¹Referenciada, para fins de simplificação, no contexto do presente trabalho, pela sigla AC.

²Os termos *aluno*, *estudante*, *aprendiz* e *discente* serão utilizados como sinônimos.

AC visa auxiliar os estudantes no desenvolvimento de habilidades (o saber fazer) e atitudes (o saber ser) necessárias à prática profissional [Belluzzo 2005, Belluzzo e Dudziak 2009]. Deste modo, os currículos educacionais baseados na *AC* buscam assegurar aos aprendizes a aquisição e a aplicação do conhecimento de maneira competente [BRASIL 2012].

Ao abordar o desenvolvimento do conjunto de *dimensões* relacionadas aos *conhecimentos*, *habilidades* e *atitudes*, a literatura associa a *AC* ao acrônimo *CHA*, onde cada letra corresponde à letra inicial de uma das referidas dimensões [Zabala e Arnau 2015]. A integração das três dimensões é fundamental para garantir uma formação plena dos estudantes [Zabala e Arnau 2020]. No ensino militar, vários cursos do Exército Brasileiro (EB) fazem uso da *AC* a fim de preparar profissionais para as demandas da atuação militar com maior proficiência [BRASIL 2012].

Em geral, o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) pode potencializar a *AC* [Rissoli *et al.* 2006, Moreira *et al.* 2023]. Neste contexto, destacam-se ferramentas como os Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Conforme abordado no trabalho de [Gavidia e de Andrade 2003], os STI são *softwares* que utilizam inteligência artificial para oferecer um ensino personalizado e individualizado, atendendo às necessidades específicas dos alunos em diferentes áreas de conhecimento, ou domínios de estudo, como, por exemplo, Matemática, Ciências e História, entre outras.

Embora existam diversas pesquisas que abordem aplicações de STI na *AC*, como alguns autores argumentam [Lopes e Netto 2023, Cardoso *et al.* 2004, Roll *et al.* 2011, Kautzmann e Jaques 2016, Maldaner *et al.* 2022], dentre outros, até onde foi possível observar, o único trabalho que menciona a aplicação de tutores inteligentes no contexto militar foi o apresentado por [Sottolare *et al.* 2017]. Tal trabalho propõe o *Generalized Intelligent Framework for Tutoring (GIFT)*, uma ferramenta para geração automática de STI, e comenta sobre sua aplicação no Exército Americano (EA). Mesmo com os comentários acerca do uso do STI gerado pelo *GIFT* no EA, o trabalho não reporta nenhum estudo de caso ou experimento que apresente evidências científicas, comprovando a efetividade da ferramenta proposta e do STI gerado por ela no contexto educacional militar.

Diante do exposto, pode-se observar uma lacuna de estudos que investiguem os efeitos da utilização de STI na *AC* com aplicação no contexto militar em geral e, em particular, no contexto do EB. Desta forma, o presente trabalho levanta a seguinte questão de pesquisa: “*Os Sistemas Tutores Inteligentes podem contribuir para a AC no EB?*” A relevância dessa questão é justificada pelo fato do EB empregar a *AC* e precisar de militares bem preparados para atuar face às demandas profissionais que lhes são apresentadas pela instituição e pela Sociedade Brasileira [BRASIL 2012].

Na direção de se obter evidências que respondam positivamente à questão de pesquisa levantada, este trabalho tem como objetivo propor o EBTutor, STI direcionado à *AC* do EB, para ofertar, aos discentes militares, *feedbacks* relacionados aos *conhecimentos* e às *habilidades*, desenvolvidos por esses alunos. O EBTutor foi implementado com base em técnicas de Inteligência Artificial tais como árvores de decisão e grafos de conhecimento, para modelagem de conceitos e relações relevantes no domínio de ensino a ser abordado no curso apoiado pelo STI. Adicionalmente, o tutor ora proposto foi concebido para ser configurável em função do curso a ser

apoiado pelo STI, além de atuar em conjunto com o EBAula, ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do EB, customizado a partir do *software Moodle* [Bognár e Fauszt 2020, Ferraz *et al.* 2015].

A fim de verificar a efetividade do EBTutor quanto ao seu propósito, foi realizado um estudo de caso piloto em que o STI foi utilizado em uma turma de 20 sargentos, durante a primeira fase da componente curricular “Redes de Computadores”, pertencente ao *portifólio* de cursos promovidos pelo EB. Nesta fase, a disciplina é oferecida via EBAula, na modalidade a distância, uma vez que os alunos encontram-se distribuídos pelo território nacional em suas diversas Organizações Militares (OM). Durante o transcurso desse estudo de caso, foram observados os desempenhos dos alunos referentes aos conhecimentos e habilidades adquiridos. Os resultados do estudo indicam tanto uma melhoria no desempenho discente quanto uma boa avaliação do STI pelos alunos.

O presente artigo encontra-se estruturado em mais cinco seções, como indicado a seguir. A Seção 2 aborda os trabalhos relacionados ao tema da pesquisa. A Seção 3 fornece uma visão geral da arquitetura e do funcionamento do EBTutor. Já a metodologia aplicada ao estudo de caso realizado nesta pesquisa está descrita na Seção 4. Os detalhes sobre a aplicação do protótipo desenvolvido, e os resultados da análise realizada são apresentados na Seção 5. Finalmente, na Seção 6 são relatadas as considerações finais, e apontadas iniciativas de trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Com aplicação em diversas áreas de conhecimento, as pesquisas sobre STI vêm sendo desenvolvidas há mais de três décadas [Clancey 1986, Nwana 1990, Fedeli 2012, Alkhatlan e Kalita 2018]. No entanto, aquelas voltadas à concepção de STI para apoiar a *AC* são mais atuais e menos numerosas. Tal fato se justifica devido à recente popularização da utilização da *AC* em projetos educacionais. A Tabela 1 resume alguns dos principais trabalhos que apresentaram STI com aplicação na *AC*.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos sobre STI na AC

Referência	Dimensão			Domínio	Contexto Militar
	C	H	A		
[Payne <i>et al.</i> 2009]	•	•	—	Dermatopalogia	—
[Solé-Beteta <i>et al.</i> 2021]	•	•	—	<i>Big Data</i>	—
[Adenowo 2012]	•	•	—	Contabilidade	—
[Tran 2021]	•	•	•	Idioma japonês	—
[Azevedo <i>et al.</i> 2022]	•	•	—	Biologia	—
[Yang 2009]	•	•	—	Programação	—
[Leyzberg <i>et al.</i> 2018]	•	•	•	Idioma inglês	—
[Luccioni <i>et al.</i> 2016]	•	•	—	Idioma francês	—
[Kautzmann e Jaques 2016, Seffrin <i>et al.</i> 2012, Barbosa e Netto 2023]	•	•	—	Matemática	—
[de Moraes e Jaques 2020]	•	•	•	Matemática	—
[Wambsganss <i>et al.</i> 2021]	•	•	—	Escrita	—
[Maldaner <i>et al.</i> 2022]	•	—	—	Diverso	—
[Moreira <i>et al.</i> 2023]	•	•	—	<i>Fake News</i>	—
[Sottolare <i>et al.</i> 2017]	•	•	—	—	•

Nesta tabela, as colunas *C*, *H* e *A* indicam, respectivamente, se as dimensões *Conhecimentos*, *Habilidades* e *Atitudes* são abordadas pelos STI apresentados nos

respectivos trabalhos. Adicionalmente, enquanto a coluna *Domínio* retrata a área (assunto) na qual o STI descrito provê assistência, a coluna *Contexto Militar* informa se o referido STI foi avaliado no cenário de uma ou mais Forças Armadas, brasileiras ou não. Ainda com relação à tabela em questão, enquanto a presença do símbolo ● indica *característica observada* e a sua ausência denota *característica não observada*.

Ao analisar os trabalhos indicados nesta tabela, é possível agrupá-los em dois conjuntos. O primeiro contém STIs que exploram as dimensões da *AC* em diferentes áreas. São trabalhos que buscam proporcionar o conhecimento em diversos domínios de estudo tais como: dermatopatologia, *big data*, contabilidade, biologia, programação, matemática, escrita, idiomas e reconhecimento de *Fake News*. Além disso, alguns STIs, buscam estimular atitudes e comportamentos, como confiança, motivação e engajamento, no aluno, durante a trajetória de aprendizagem. Entretanto, nenhum dos trabalhos deste conjunto aplicou seus STI no contexto militar.

O segundo conjunto possui apenas um trabalho. Ele descreve o *GIFT*, uma ferramenta geradora de STI que foi aplicada no contexto militar do Exército Americano. Embora o artigo mencione a aplicação no contexto militar, não são reportados quaisquer estudos de caso sobre a efetividade do STI gerado pela ferramenta.

Diante do exposto, observa-se uma lacuna na literatura correlata quanto à presença de pesquisas com estudos de caso e evidências que indiquem se os STI podem contribuir para a *AC* no cenário militar em geral, e, em particular, no EB.

3. EBTutor — Visão Geral da Arquitetura e do Funcionamento

Na direção de se buscar preencher a lacuna de pesquisa quanto à comprovação da efetividade de sistemas tutores inteligentes na *AC* para o ensino militar, o presente trabalho propôs o EBTutor, STI que opera como um *plugin*³ do EBAula, hospedado na intranet do EB (EBNet), implementado em PHP e que tem o *PostgreSQL* como Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). As escolhas pela linguagem de programação e pelo SGBD justificam-se pelo fato destas tecnologias serem as mesmas utilizadas no desenvolvimento do EBAula.

Para fins de simplificação de escopo, assumiu-se que o STI proposto deve estar configurado para atuar no contexto de um curso⁴ d , que pertença ao conjunto de cursos oferecidos pelo EB com o apoio do EBAula. É importante ressaltar ainda que o EBTutor foi concebido para prover *feedbacks* relacionados à *AC* de forma reativa e personalizada, i.e., a partir da demanda explícita de qualquer aluno $t \in T$, onde T é o conjunto de estudantes cadastrados no EBAula e inscritos em d . Visando simplificar o texto, será adotada a expressão $t \in d$ para indicar que $t \in T$.

A arquitetura do EBTutor foi desenvolvida a partir de uma adaptação do modelo típico de um sistema de *feedback* automatizado, proposto por [Deeva *et al.* 2021a]. A opção por tal arquitetura como base para a concepção do EBTutor, deveu-se fundamentalmente a dois fatos: (i) é o resultado de um processo de abstração considerando diversos sistemas de *feedback* automatizados, identificados em uma minuciosa e atualizada revisão sistemática da literatura, realizada a partir de

³Software que adiciona uma funcionalidade específica a um programa ou sistema maior [Fan e Collischonn 2014, Maciel *et al.* 2014].

⁴Embora conceitualmente diferentes no contexto do ensino formal do Brasil, para fins de simplificação e alinhamento com o termo *course* utilizado na língua inglesa para denotar uma disciplina, os termos *curso* e *disciplina* serão utilizados indistintamente no presente trabalho.

aproximadamente 100 artigos selecionados; (ii) prevê a possibilidade de desacoplamento entre o sistema de *feedback* automático e a plataforma de aprendizagem. Tal característica se alinha à necessidade do EBtutor operar de forma integrada, porém com implementação desacoplada do EBAula. Os componentes da arquitetura do EBtutor são apresentados na Figura 1, e descritos a seguir.

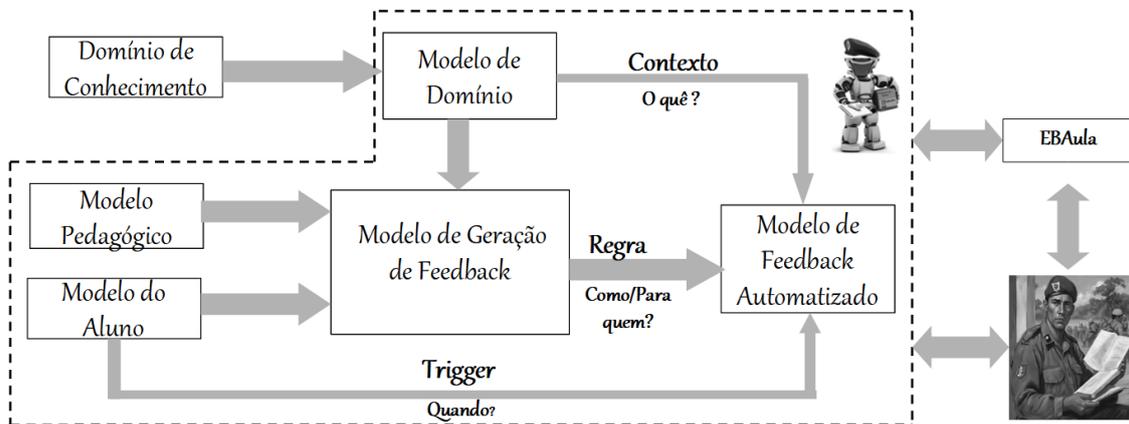


Figura 1. Visão macro funcional da arquitetura do EBtutor. Adaptado de [Deeva et al. 2021b].

O *Modelo de Domínio* é o responsável por conter o conhecimento de um domínio ou área de estudo. Tal modelo possui diversos conjuntos, sendo um deles, o conjunto de assuntos $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{|A|}\}$ ⁵, relativos a d , a ser aprendidos por $t \in d$. São exemplos de assuntos em $d = \text{“Redes de Computadores”}$: $a_1 = \text{“Arquitetura de Protocolos”}$, $a_2 = \text{“Endereçamento IP”}$ e $a_3 = \text{“Camada de Rede”}$, dentre outros.

Para cada assunto $a \in A$, o Modelo de Domínio abrange ainda dois outros conjuntos. Denominado conjunto de objetos de conhecimento associados ao assunto a , o primeiro deles, $OC_a = V_a \cup E_a$, é formado pelos vértices e arestas de um grafo de conhecimento $G_a(V_a, E_a)$ que visa representar os conceitos ($v \in V_a$) e os relacionamentos ($e \in E_a$) entre esses conceitos, abordados em a . Por exemplo, os conceitos *emissor* e *mensagem* e o relacionamento *envia* pertencem ao grafo de conhecimento do assunto $a_1 = \text{“Arquitetura de Protocolos”}$, onde *envia* interliga *emissor* e *mensagem*. A Figura 2 mostra, em detalhes, a modelagem do grafo de conhecimento para o assunto $a = \text{“Arquitetura de Protocolos”}$.

O segundo conjunto $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{|H|}\}$ compreende as habilidades a serem desenvolvidas por t em um assunto $a \in A$. São exemplos de habilidades no contexto do assunto $a_1 = \text{“Arquitetura de Protocolos”}$: $h_1 = \text{“Explicar conceitos da arquitetura de protocolos”}$ e $h_2 = \text{“Explicar o modelo de referência OSI”}$, entre outros.

O *Modelo de Domínio* também engloba um conjunto ordenado de questionários $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_{|Q|}\}$. Cada $q \in Q$, por sua vez, é composto por um conjunto ordenado de itens $I_q = \{i_{q,1}, i_{q,2}, \dots, i_{q,|I_q|}\}$ que avaliam o conhecimento de t sobre os assuntos em d . Cada $i_q \in I_q$ é um item do tipo múltipla-escolha e possui um conjunto arbitrário de alternativas a serem escolhidas por t , $Alt_{i_q} = \{alt_{i_q,1}, alt_{i_q,2}, \dots, alt_{i_q,|Alt_{i_q}|}\}$, sendo apenas uma delas correta. Além disso, i_q possui também um subconjunto de

⁵ Sendo X um conjunto arbitrário, a notação $|X|$ será utilizada para indicar a cardinalidade, i.e., o número de elementos de X .

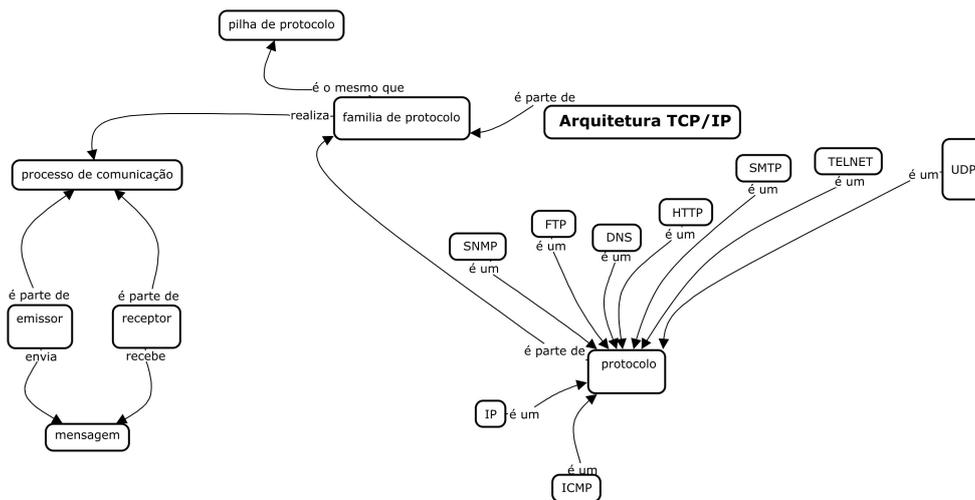


Figura 2. Exemplo de um grafo de conhecimento do assunto a ="Arquitetura de Protocolos" e d ="Redes de Computadores". Fonte: Os autores.

habilidades $H_{i_q} \subseteq H$ que t deve poder executar a fim de responder corretamente a i_q . Por fim, também é importante destacar que associado a cada i_q , o *Modelo de Domínio* mantém todos os objetos de conhecimento $oc \in OC$ que t deve conhecer para responder a i_q com sucesso.

O *Modelo Pedagógico* é o componente do EBTutor que compreende o conhecimento pedagógico, incluindo o conhecimento sobre teorias educacionais, necessário à avaliação e à formulação de *feedbacks* para $t \in d$.

O *Modelo do Aluno* é o componente do STI responsável por registrar, ao longo da jornada de aprendizagem de cada $t \in d$, o histórico L de *evidências de aprendizado* de t . Considera-se evidência de aprendizado de $t \in d$, qualquer informação $l \in L$ fornecida diretamente por t ao EBTutor ou ao EBAula (e.g. uma resposta de t para um item apresentado a t em um questionário, uma postagem de t em um fórum de discussão, entre outras) ou observada a partir das interações de t junto ao EBTutor ou ao EBAula (e.g. frequência de acesso às plataformas, cumprimento de prazo na entrega de tarefas, dentre outras).

O *Modelo de Feedback Automatizado* é o responsável por todas as interações entre t e o EBTutor. Assim, sempre que desejar, t pode solicitar um *feedback* f ao EBTutor por meio deste modelo. Para tanto, t deve indicar sobre qual questionário $q \in Q$, f deve ser fornecido. Nesse momento, o EBTutor interage com o EBAula, obtendo as evidências de aprendizado de t necessárias para formular f . Como o EBAula permite que t realize mais de uma tentativa para cada $q \in Q$, o AVA do EB contém para cada t e cada q , o histórico $C_{t,q} = \{c_1, c_2, \dots, c_{|C_{t,q}|}\}$ de tentativas em que t respondeu aos item de q . Cada tentativa $c \in C_{t,q}$ possui um atributo correspondente ao número da tentativa ($c.ord$) que indica a ordem de ocorrência de c em relação às demais tentativas. Assim, o EBTutor recupera sempre a última tentativa (a tentativa mais recente) disponível em $C_{t,q}$, i.e., $c_{max} = argmax_{c.ord}(C_{t,q})$. Caso já exista um *feedback* f para c_{max} , o modelo reporta o fato, apresentando f . Caso c_{max} não possua *feedback*, o EBTutor solicita ao *Modelo de Geração de Feedback* que emita um *feedback* f para c_{max} . A Figura 3 ilustra uma tela do EBTutor que apresenta um *feedback* fornecido pelo STI sobre a dimensão Conhecimento para o assunto a ="Serviço de Acesso Seguro".

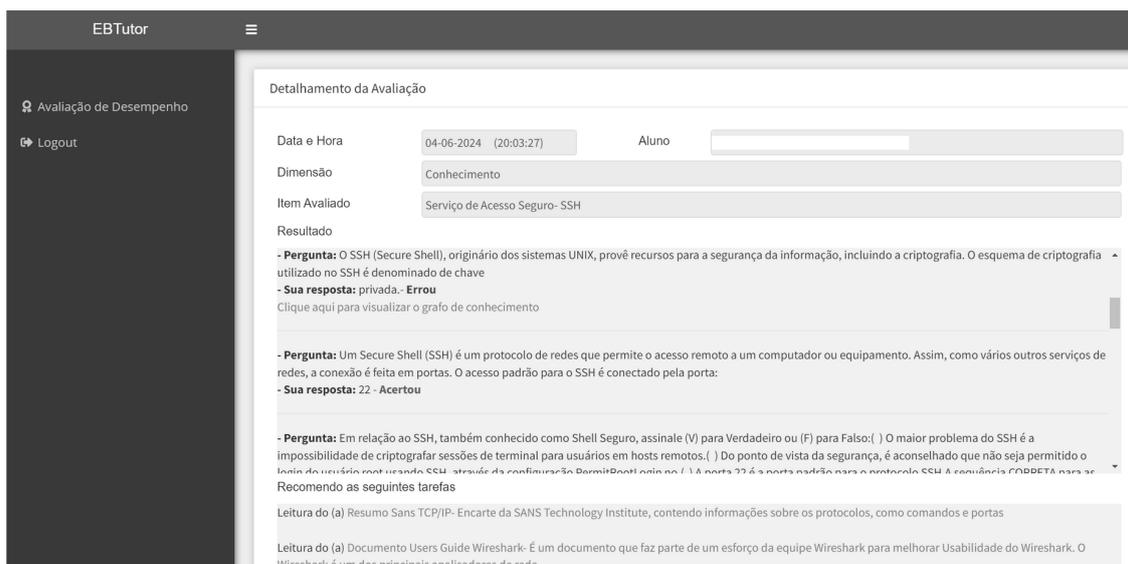


Figura 3. Tela do EB Tutor apresentando um *feedback* sobre a dimensão conhecimento para a = “Serviço de Acesso Seguro”. Fonte: Os autores.

Conforme o próprio nome sugere, o *Modelo de Geração de Feedback* é o responsável por definir o *feedback* f a ser fornecido a t (*para quem?*) a partir da demanda de t (*quando?*) mediante um questionário q (*o quê?*) previamente respondido por t no EBAula (a última tentativa c_{max}). No que se refere aos *conhecimentos* e às *habilidades*, o modelo analisa a resposta fornecida por t a cada item i_q de q , a fim de apurar se t acertou ou errou i_q . No caso de acerto, o modelo inclui em f uma mensagem de felicitação a t pela resposta correta a i_q . Por outro lado, no caso de erro, o modelo recupera o subgrafo de conhecimento $G'(V', E')$ contendo somente os objetos de conhecimento que t deveria conhecer para responder corretamente a i_q . O modelo recupera ainda todas as habilidades $H_{i_q} \subseteq H$ que t deveria dominar para responder com sucesso a i_q . Em seguida, o modelo adiciona em f uma mensagem informando o insucesso na resposta, omitindo qual, dentre as alternativas de i_q é a correta, porém incluindo a relação de habilidades H_{i_q} , o subgrafo recuperado e todos os objetos de aprendizagem associados aos elementos de conhecimento em $V' \cup E'$, como possíveis fonte de consulta para t estudar e procurar suprir lacunas em seu conhecimento. Uma vez formatado o *feedback* f associado a q , este é encaminhado para o *Modelo de Feedback Automatizado*.

4. Metodologia Adotada no Estudo de Caso

Na direção de buscar evidências experimentais que ajudem a responder à questão de pesquisa levantada no presente trabalho (i.e., se STIs podem contribuir para a AC no EB), foi realizado um estudo de caso piloto. Desta forma, esta seção visa descrever a metodologia adotada no referido estudo. Inspirada por [Oliveira Moreira *et al.* 2023], tal metodologia encontra-se reportada a seguir.

Inicialmente, foi escolhido o curso d = “Redes de Computadores” para ser apoiado pelo EB Tutor. Tal curso foi escolhido pois atendeu aos seguintes requisitos: era baseado na AC, pertencia ao contexto da Defesa, área de interesse do EB, e seria ofertado por meio do EBAula. A oferta do curso que foi objeto do estudo de caso ocorreu no período de janeiro a fevereiro de 2024. A turma T desta oferta continha, ao todo, 20 sargentos com perfil de formação tecnológica, estudando para

desempenhar funções relacionadas à área da Tecnologia da Informação do Exército.

Em seguida, foram elaborados os materiais de orientação e de apoio aos alunos do curso quanto à utilização do EBTutor. Em sequência, foram levantados os assuntos e conteúdos a serem ministrados, as habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos e os objetos de aprendizagem utilizados no curso. A partir deste levantamento, os grafos de conhecimento sobre os assuntos foram elaborados em conjunto com os instrutores do curso. Os grafos elaborados encontram-se no repositório <https://github.com/claudiarodel/EBTutor>.

A próxima etapa consistiu em realizar a carga inicial de dados no EBTutor. Para tanto, foram recuperadas da base de dados do EBAula informações relacionadas aos alunos, objetos de aprendizagem, questionários, itens e alternativas. Posteriormente, a equipe docente configurou a área do curso no EBAula com os materiais de orientação e de apoio à utilização do EBTutor. Também, incluiu um *link* de acesso ao EBTutor após o questionário de cada assunto.

Uma vez concluídas as providências indicadas acima, o curso foi iniciado. Conforme as orientações fornecidas, para cada assunto estudado, os alunos deveriam realizar a primeira tentativa do questionário associado ao referido assunto. Em seguida, os discentes que concordaram em participar da pesquisa, deveriam acessar o EBTutor para receber *feedbacks* individualizados sobre o desempenho obtido, possibilidades de melhoria e recomendações sobre objetos de aprendizagem a serem estudados, condizentes com as necessidades de cada aluno. A partir desse retorno, os alunos eram incentivados a resolver novamente o questionário e, posteriormente, realizar novo acesso ao EBTutor para receber novos *feedbacks*.

Ao finalizarem a disciplina, os discentes que participaram da pesquisa avaliaram o EBTutor, por meio de um questionário baseado no modelo de qualidade de [DeLone e McLean 2003], adaptado por [Urbach e Müller 2012], conforme Tabela 2. Tal questionário utilizou uma escala *Likert* de 5 pontos, cujas respostas variavam de “discordo fortemente” a “concordo fortemente”.

Uma vez concluída a etapa de avaliação do EBTutor pelos alunos, prosseguiu-se na apuração dos resultados para avaliar tanto o efeito dos *feedbacks* fornecidos pelo EBTutor quanto às impressões dos discentes sobre o STI.

5. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta e discute os resultados apurados no estudo de caso. Para tanto, os alunos foram separados em dois conjuntos, conforme descritos a seguir.

- $T_{EBTutor}$: conjunto de alunos da turma T de d que optaram por utilizar o EBTutor.
- $T_{EBTutor}^c$: conjunto de alunos da turma T de d que optaram por não utilizar o EBTutor ou que não tenham utilizado o STI conforme as orientações fornecidas.

Adicionalmente, foram considerados os conjuntos T_{ano} , onde $ano \in \{2022, 2023\}$. Tais conjuntos foram compostos pelos alunos de turmas com ofertas de d realizadas nos anos de 2022 e 2023. Considerando os conjuntos descritos, os grupos de controle do estudo de caso (i.e. conjuntos de alunos que não usaram o EBTutor ou que não seguiram as orientações fornecidas) foram, portanto: $T_{EBTutor}^c$, T_{2022} e T_{2023} . Por outro lado, $T_{EBTutor}$ foi o grupo de intervenção (i.e. conjunto de alunos que utilizaram o EBTutor adequadamente).

Tabela 2. Aspectos e exemplo de declarações usadas para avaliar o EBTutor — Adaptada de [Urbach e Müller 2012]

Aspectos	Descrição	Declaração
Empatia	Conquista da atenção do aluno	O EBTutor possui um <i>design</i> atraente
Usabilidade	Interface permitindo interações sem dificuldade	O EBTutor é fácil de usar
Consistência	Uniformidade e previsibilidade das interações dos alunos com o sistema	O EBTutor forneceu <i>feedback</i> adequado para sanar minhas dúvidas
Tempo de Resposta	Intervalo de tempo entre a realização de uma ação pelo usuário e a resposta pelo sistema	O EBTutor forneceu <i>feedback</i> rápido
Integração com Sistemas	Capacidade em se comunicar e interagir com outros sistemas	O EBTutor funcionou adequadamente com o EBAula
Relevância	Capacidade em atender às necessidades dos alunos	O EBTutor contribuiu para o meu aprendizado
Frequência de Uso	Regularidade com que os alunos acessam e utilizam o sistema	Utilizei frequentemente o EBTutor para estudar a disciplina
Utilidade	Capacidade em atender às necessidades dos alunos	O conteúdo do EBTutor foi útil
Satisfação com o Sistema	Nível de contentamento, felicidade e aceitação ao utilizar o Sistema	Fiquei satisfeito com a experiência de usar o EBTutor
Impacto Individual	Efeitos e benefícios que o sistema proporciona ao aluno individualmente	O EBTutor ajudou a me autoaperfeiçoar com os recursos disponíveis no EBAula

Os resultados quanto aos conhecimentos e habilidades desenvolvidos pelos alunos de T encontram-se indicados na Tabela 3. Esta tabela procura mostrar o desempenho dos discentes com e sem a intervenção do EBTutor. Para tanto, encontra-se estruturada em colunas, conforme descrito a seguir. A coluna q_p indica o questionário considerado na apuração de resultados. A coluna *Ano* indica o ano da oferta do curso, podendo assumir os valores 2022, 2023 ou 2024. Na coluna *Intervenção* é atribuído o valor *Sim* para o grupo de intervenção, e o valor *Não* para o grupo de controle. As colunas *Qtd* e *% de Alunos* indicam, respectivamente, os valores absoluto e relativo do número de alunos em cada conjunto. O atributo $\bar{\mu}c_1$ indica a média e o desvio padrão das notas obtidas pelo respectivo conjunto de alunos na primeira tentativa ao responder ao questionário q_p indicado. De forma análoga, o atributo $\bar{\mu}c_{max}$ mostra a média e o desvio padrão das notas na última tentativa realizada pelos alunos ao responder ao q_p . Além disso, a média das diferenças entre as notas obtidas em c_{max} e c_1 pelos alunos do conjunto em questão diante de q_p é calculada e apresentada na coluna $\Delta\bar{\mu}$. Por fim, a coluna $\bar{\mu}$ *Tentativas* reporta o número médio de tentativas empregadas pelos alunos na resolução de q_p . A escolha pela informação de nota obtida pelos alunos em um questionário como métrica de avaliação da efetividade do STI associada às dimensões *Conhecimento* e *Habilidade* se justifica uma vez que o *Modelo de Geração de Feedback do EBTutor* analisa os erros e acertos nos itens dos questionários a fim de gerar *feedbacks*.

Um primeiro ponto importante sobre os resultados a ser observado é que, como todos os discentes de grupo de intervenção optaram por realizar apenas uma

tentativa nos questionários de q_1 a q_4 ($\bar{\mu}$ Tentativas igual a 1), não foi possível realizar a avaliação do efeito do EBTutor para este conjunto de questionários ($\Delta\bar{\mu}$ igual a zero). Outro ponto importante a destacar, está relacionado à participação dos alunos, quanto ao acionamento do EBTutor. Alguns alunos não utilizaram o STI, pois estavam em missões externas ao EB, e assim, não possuíam acesso à EBNet. Entretanto, como o EBAula encontra-se na internet, todos os discentes puderam realizar as aulas *online*. Alguns alunos acionaram o EBTutor após várias tentativas de execução dos questionários. Cabe ressaltar que, conforme orientação fornecida à turma, o STI deveria ser chamado após a primeira tentativa de execução de cada q_p , para fornecer um *feedback* imediato ao aluno sobre o seu desempenho no referido q_p .

Tabela 3. Resultados das turmas quanto à avaliação das dimensões “Conhecimento” e “Habilidades” no contexto da disciplina d = “Redes de Computadores”.

q_p	Ano	Intervençã	Qtd	% de Alunos	$\bar{\mu}_{c_1}$	$\bar{\mu}_{c_{max}}$	$\Delta\bar{\mu}$	$\bar{\mu}$ Tentativas
q_5	2024	Sim	9	45%	9.21±1.26	10.0±0	2.86±0	2.0±0
	2024	Não	11	55%	9.09±1.32	10.0±0	2.38±1.65	2.67±1.15
	2023	Não	28	100%	9.03±1.18	10.0±0	1.86±0.96	2.0±0.87
	2022	Não	21	100%	9.32±1.25	10.0±0	2.29±1.28	2.0±0
q_6	2024	Sim	8	40%	9.0±1.07	10.0±0	2.0±0	2.0±0
	2024	Não	12	60%	8.33±1.67	10.0±0	3.0±1.52	2.25±0.5
	2023	Não	28	100%	8.00±2.24	10.0±0	3.71±1.73	2.42±0.85
	2022	Não	21	100%	7.90±2.23	9.80±0.63	3.80±1.99	2.30±0.48
q_7	2024	Sim	9	45%	7.67±1.01	10.0±0	1.33±0.58	2.0±0
	2024	Não	11	55%	7.27±1.27	9.83±0.41	2.83±1.17	2.33±0.82
	2023	Não	28	100%	7.71±1.44	9.67±0.93	2.79±1.37	2.14±0.61
	2022	Não	21	100%	7.90±1.58	9.92±0.28	2.77±1.48	2.08±0.29
q_8	2024	Sim	6	30%	9.44±1.36	10.0±0	3.3±0	2.0±0
	2024	Não	14	70%	8.98±2.15	10.0±0	3.89±1.36	2.0±0
	2023	Não	28	100%	8.81±1.63	10.0±0	3.33±0	2.25±0.71
	2022	Não	21	100%	8.41±2.01	10.0±0	3.81±1.25	2.43±0.53
q_9	2024	Sim	7	35%	8.93±0.86	10.0±0	1.87±0.88	2.0±0
	2024	Não	13	65%	8.46±1.46	10.0±0	3.12±1.25	3.0±1.15
	2023	Não	28	100%	8.12±1.30	10.0±0	2.43±1.12	2.24±0.61
	2022	Não	21	100%	7.38±1.84	10.0±0	3.19±1.41	2.11±0.35

Ao analisar o conjunto de questionários de q_5 a q_9 , verifica-se que os alunos dos grupos de controle que optaram por realizar várias tentativas dos referidos questionários, em sua maioria, o fizeram, em média, mais de duas vezes, a fim de melhorar seu desempenho. Entretanto, realizar múltiplas tentativas implica em um aumento do tempo dedicado às atividades. Os alunos que receberam a intervenção do EBTutor, também demonstraram melhoria no desempenho. No entanto, necessitaram de apenas duas tentativas para responder a cada questionário e alcançar a nota máxima, acertando todos os itens. São indícios de que o uso do EBTutor pode auxiliar os discentes na otimização do seu tempo de estudo. Importante observar que tais resultados vão ao encontro do propósito dos STI quanto ao apoio e direcionamento de cada aluno para os pontos a serem aprimorados.

Ainda quanto ao desempenho discente nos questionários, cabe destacar que o melhor efeito do EBTutor pode ser percebido no q_7 . Em média, os alunos dos grupos de controle não conseguiram, apesar de realizar q_7 várias vezes, obter a nota máxima neste questionário. Por outro lado, neste questionário, todos os alunos de

$T_{EBTutor}$ conseguiram alcançar a nota máxima na segunda tentativa. Ressalta-se que, tanto os grupos de controle quanto o grupo de intervenção, apresentaram médias bem próximas na primeira tentativa de resposta ao referido questionário. Também é importante mencionar que as médias das primeiras tentativas de resposta a este questionário obtida pelos grupos foram as menores entre todos os questionários. Tal fato parece indicar um maior grau de dificuldade relacionado ao assunto ou aos itens do próprio questionário, o que pode valorizar mais a contribuição do STI junto aos alunos neste questionário. Outro indício de intervenção positiva do STI pode ser percebido no q_5 . Embora os grupos tenham apresentado médias próximas nas notas das primeiras tentativas de resposta ao q_5 , o grupo apoiado pelo EBTutor alcançou uma maior variação média ($\Delta\bar{\mu}=2.86$).

Tendo em vista o efeito positivo do EBTutor constatado no q_7 , optou-se por analisar a evolução dos grupos de controle e intervenção quanto às habilidades relacionadas aos itens deste questionário, da turma com oferta de d realizada no ano de 2024. Para tanto, calculou-se o percentual médio de acertos dos itens na primeira (c_1) e na última tentativa (c_{max}) de resposta ao q_7 , para ambos os grupos. A Tabela 4 consolida esses resultados. Apenas uma habilidade foi identificada junto aos itens de q_7 . Pode-se perceber o bom resultado do grupo apoiado pelo $T_{EBTutor}$, sobretudo ao considerar que todos os discentes em $T_{EBTutor}$ alcançaram nota máxima já na segunda tentativa.

Tabela 4. Percentual médio de acertos nos itens relacionados à habilidade=“Explicar o protocolo HTTP” do q_7 , da turma= T_{2024} .

$T_{EBTutor} c_1$	$T_{EBTutor} c_{max}$	$T_{EBTutor}^c c_1$	$T_{EBTutor}^c c_{max}$
85.71±15.97	100±0	79.22±13.35	97.14±6.39

Ao finalizarem a disciplina, os alunos avaliaram o EBTutor. Dezesete alunos responderam ao questionário de avaliação da ferramenta. Os resultados da avaliação encontram-se indicados na Tabela 5. É possível perceber uma boa aceitação geral do STI, pois os resultados de todos os aspectos avaliados ficaram próximos de quatro pontos (sendo um, o mínimo, e cinco, o máximo). Pode-se evidenciar a valorização do STI como um recurso de suporte ao aprendizado. Além do mais, os desvios baixos indicam uma homogeneidade de opiniões, denotando um bom consenso entre os participantes. Também é possível notar que há espaço para melhoria, sobretudo no aspecto de *Empatia* que, além de ter apresentado a média mais baixa, também mostrou maior divergência de opiniões. Acredita-se que as interfaces do EBTutor possam ser aprimoradas, uma vez que, atualmente, fornecem respostas padronizadas e pouco diversificadas, o que pode ter contribuído para os resultados inferiores nas questões referentes ao aspecto da *Empatia*.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Observa-se uma carência de trabalhos que investiguem o uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) na Aprendizagem Baseada em Competências (AC), no contexto militar. Diante desta lacuna, o presente trabalho propôs o EBTutor, um STI para a AC no Exército Brasileiro (EB). Desenvolvido para operar de forma integrada ao EBAula, Ambiente Virtual de Aprendizagem do EB, o EBTutor utiliza recursos de grafos de conhecimento e árvores de decisão para fornecer *feedbacks* sobre *Conhecimentos* e *Habilidades*, duas importantes dimensões de aprendizagem na AC.

Tabela 5. Médias dos graus de concordância: avaliação do EBTutor pelos alunos

Aspecto Avaliado	$\bar{\mu} \pm \sigma$
Empatia	3.876 \pm 1,113
Usabilidade	4,357 \pm 0,681
Consistência	4.180 \pm 0,681
Tempo de Resposta	4.647 \pm 0,588
Integração com Outros Sistemas	4.529 \pm 0,499
Relevância	4.298 \pm 0,666
Frequência de Uso	4.298 \pm 0,666
Utilidade	4.237 \pm 0,666
Satisfação com o Sistema	4.357 \pm 0,681
Impacto Individual	4.277 \pm 0,537

Este artigo descreve os resultados obtidos com STI proposto em um estudo de caso realizado junto a uma turma com 20 alunos sargentos, na oferta da disciplina de “Redes de Computadores” em 2024. Entre as principais contribuições deste trabalho estão o próprio EBTutor, os grafos de conhecimento elaborados, os dados obtidos e as análises realizadas. Os artefatos do *software* desenvolvido e os dados obtidos, devidamente anonimizados, foram disponibilizados publicamente.

Os resultados obtidos com o EBTutor indicam que a ferramenta pode acelerar a melhoria do desempenho acadêmico dos alunos. Foi possível observar que o STI auxiliou os discentes na obtenção de melhores resultados, diante de um número menor de tentativas na execução dos questionários. Para tanto, foram comparados os desempenhos da turma assistida pelo EBTutor com os de turmas da mesma disciplina em anos anteriores, quando o EBTutor não estava disponível. Observou-se um impacto positivo do EBTutor, especialmente durante a realização do q_7 . O conjunto $T_{EBTutor}$ apresentou melhores resultados que os demais, com otimização do tempo de estudo. Acredita-se que tal resultado seja decorrente de um maior grau de dificuldade do referido questionário, o que valorizaria a utilidade do EBTutor. Os questionários aplicados foram os mesmos em todas as turmas, o que possibilitou uma comparação entre tais desempenhos. A metodologia de ensino utilizada em todas as turmas também foi a mesma.

Entre os trabalhos futuros, está prevista a realização de novos estudos de caso, visando obter um número maior e mais representativo de amostras em busca de evidências estatísticas robustas quanto à utilidade do STI proposto. Adicionalmente, planeja-se aprimorar as orientações e reforçar os incentivos à adesão voluntária dos discentes das turmas dos futuros estudos de caso, para que estes participem da pesquisa e utilizem adequadamente o EBTutor após a realização de cada questionário. Os trabalhos futuros incluem ainda a incorporação da dimensão “Atitude” no STI, de forma a completar a tríade *CHA* da *AC*. Também estão planejados estudos que compreendam a modelagem conceitual bem fundamentada dos conceitos, elementos e relações envolvidos na concepção e na aplicação de STI na *AC*.

Referências

Adenowo, A. (2012). *Augmented Conversation and Cognitive Apprenticeship Metamodel Based Intelligent Learning Activity Builder System*. PhD thesis, De Montfort University.

- Alkhatlan, A. and Kalita, J. (2018). Intelligent tutoring systems: A comprehensive historical survey with recent developments. *arXiv preprint arXiv:1812.09628*.
- 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.
- Barbosa, F. M. and Netto, J. F. d. M. (2023). Sti curumim: Uma ferramenta de aprendizagem de trigonometria baseada na teoria das experiências de aprendizagem mediadas. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 1501–1511. SBC.
- 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.
- Bognár, L. and Fauszt, T. (2020). Different learning predictors and their effects for moodle machine learning models. In *2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pages 000405–000410. IEEE.
- BRASIL (2012). Política nacional de defesa e estratégia nacional de defesa.
- Cardoso, J., Bittencourt, G., Frigo, L. B., Pozzebon, E., and Postal, A. (2004). Mathtutor: a multi-agent intelligent tutoring system. In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*, pages 231–242. Springer.
- Clancey, W. J. (1986). Intelligent tutoring systems: A tutorial survey. Technical report, Stanford Infiversity.
- de Moraes, F. and Jaques, P. A. (2020). Considerando personalidade e transições de emoções na detecção de emoções baseada em mineração de dados. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 28:749–775.
- Deeva, G., Bogdanova, D., Serral, E., Snoeck, M., and De Weerdt, J. (2021a). A review of automated feedback systems for learners: Classification framework, challenges and opportunities. *Computers & Education*, 162:104094.
- Deeva, G., Bogdanova, D., Serral, E., Snoeck, M., and De Weerdt, J. (2021b). A review of automated feedback systems for learners: Classification framework, challenges and opportunities. *Computers & Education*, 162:104094.
- DeLone, W. H. and McLean, E. R. (2003). The delone and mclean model of information systems success: a ten-year update. *Journal of management information systems*, 19(4):9–30.
- Fan, F. M. and Collischonn, W. (2014). Integração do modelo mgb-iph com sistema de informação geográfica. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 19, n. 1 (jan./mar. 2014), p. 243-254*.
- Fedeli, P. G. R. L. (2012). Intelligent tutoring systems: a short history and new challenges. *Intelligent Tutoring Systems: an Overview*, page 13.

- Ferraz, P. F. O., de Oliveira, P. T., and Hornink, G. G. (2015). Desenvolvimento e implementação de indicadores de colaboração e participação no moodle. *Informática na educação: teoria & prática*, 18(1).
- Gavidia, J. J. Z. and de Andrade, L. C. V. (2003). Sistemas tutores inteligentes.
- 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.
- 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.
- Lopes, A. M. M. and Netto, J. F. d. M. (2023). Incorporando uma abordagem para avaliação de habilidades cognitivas em um sistema tutor inteligente. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 21(2):178–187.
- 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.
- Maciel, A. M., Rodrigues, R. L., and Carvalho, E. C. (2014). Desenvolvimento de um assistente virtual integrado ao moodle para suporte a aprendizagem online. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 25, page 382.
- Maldaner, N., Pozzebon, E., and dos Santos, T. N. (2022). Proposta de implementação da computação afetiva no sistema tutor inteligente mazk: conciliando emoções com o processo de aprendizagem. *RENOTE*, 20(2).
- Moreira, T. O., da Silva, C. S., Passos, C., Fernandes, I., and Goldschmidt, R. R. (2023). Tutor inteligente em jogo educacional digital para capacitação na identificação de fake news em português: Experimentos preliminares. In *Anais Estendidos do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 14–20. SBC.
- Nwana, H. S. (1990). Intelligent tutoring systems: an overview. *Artificial Intelligence Review*, 4(4):251–277.
- Oliveira Moreira, T. d., Passos, C. A., Matias da Silva, F. R., Souza Freire, P. M., Fernandes de Souza, I., Bosaipo Sales da Silva, C. R., and Goldschmidt, R. R. (2023). Jedi-a digital educational game to support student training in identifying portuguese-written fake news: Case studies in high school, undergraduate and graduate scenarios. *Education and Information Technologies*, pages 1–31.
- 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.
- 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., Alevan, 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.
- Seffrin, H., Rubi, G., Ghilardi, C., Morais, F., Jaques, P., Isotani, S., and Bittencourt, I. I. (2012). Dicas inteligentes no sistema tutor inteligente pat2math. In *Brazilian symposium on computers in education (simpósio brasileiro de informática na educação-sbie)*, volume 23.
- Solé-Beteta, X., Navarro, J., Vernet, D., Zaballo, 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.
- Urbach, N. and Müller, B. (2012). The updated delone and mclean model of information systems success. *Information Systems Theory: Explaining and Predicting Our Digital Society, Vol. 1*, pages 1–18.
- 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.
- Zabala, A. and Arnau, L. (2020). *Métodos para ensinar competências*. Penso Editora.