

Ensino de Requisitos para Sistemas de IA Responsável: Estratégias Educacionais para Sistemas Inteligentes

Bruna Santos
Universidade Federal do Amazonas
Manaus, AM, Brasil
bruna.santos@icom.ufam.edu.br

Márcia Lima
Universidade Estadual do Amazonas
Manaus, AM, Brasil
msllima@uea.edu.br

Tayana Conte
Universidade Federal do Amazonas
Manaus, AM, Brasil
tayana@icom.ufam.edu.br

Resumo

A Engenharia de Requisitos para sistemas baseados em Inteligência Artificial (RE4AI) envolve a compreensão de conceitos que vão além dos requisitos tradicionais. Os estudantes devem considerar fatores como qualidade dos dados, comportamento do modelo, explicabilidade, confiança e controle do usuário. No entanto, o ensino de RE4AI na formação em Engenharia de Software ainda é pouco explorado, tornando desafiador para os estudantes relacionarem conceitos específicos de IA às tarefas de elicitação e especificação de requisitos. Este artigo apresenta uma trajetória integrada de pesquisa voltada a investigar estratégias educacionais para o ensino de RE4AI. A pesquisa baseou-se no *framework* RE4HCAI, envolvendo a adaptação de suas diretrizes em materiais educacionais, cenários de sistemas e um *checklist* para implementação em sala de aula. Esses materiais foram avaliados em estudos com estudantes, indicando potencial para apoiar a compreensão de requisitos centrados no ser humano em sistemas baseados em IA, mas também revelando dificuldades com diretrizes mais técnicas e abstratas. A partir desses resultados, a pesquisa avançou para uma abordagem educacional estruturada, incorporando *User Stories* como artefatos para apoiar a especificação de requisitos alinhados às diretrizes do *framework* RE4HCAI. Por fim, a pesquisa contribuiu com um estudo focado na diretriz *Model Needs*, utilizando Realidade Aumentada para apoiar a compreensão de conceitos relacionados ao comportamento dos modelos. De modo geral, os resultados sugerem que o ensino de RE4AI pode se beneficiar de diretrizes estruturadas, materiais educacionais adaptados, atividades práticas de especificação e recursos interativos que auxiliem os estudantes a transformar preocupações relacionadas à IA em requisitos concretos.

Palavras-chave

Engenharia de Requisitos; Inteligência Artificial; Educação em Engenharia de Software

1 Problema De Pesquisa, Motivação e Objetivo

Sistemas baseados em Inteligência Artificial (IA) têm ampliado os desafios da Engenharia de *Software*, especialmente por apresentarem dependência de dados, modelos probabilísticos, comportamento não determinístico e necessidade de evolução contínua [10]. Na Engenharia de Requisitos (ER), essas características tornam insuficiente tratar o sistema apenas a partir de funcionalidades previamente definidas, pois decisões relacionadas a dados, modelos e contexto de uso passam a influenciar diretamente o comportamento esperado do *software* [9]. Além disso, sistemas baseados em IA exigem atenção a requisitos ligados à explicabilidade, confiança, justiça, controle do usuário, *feedback*, erros, falhas e atualização do sistema [11]. Assim, a Engenharia de Requisitos para sistemas baseados em

IA (RE4AI) demanda abordagens capazes de articular dimensões técnicas, humanas e sociais desde as fases iniciais do desenvolvimento [2].

No contexto educacional, esse desafio se torna ainda mais relevante, pois a formação em ER precisa preparar estudantes para lidar com problemas próximos aos encontrados no desenvolvimento de *software* [7]. No Brasil, o ensino de requisitos ainda enfrenta desafios relacionados às práticas docentes, aos recursos utilizados e à aproximação entre teoria e prática em sala de aula [8]. Quando o foco passa a ser RE4AI, essa dificuldade aumenta, pois estudantes precisam compreender como dados, modelos e decisões automatizadas afetam a elicitação, a especificação e a validação de requisitos [5]. Apesar dos avanços na literatura sobre RE4AI, ainda existem poucas abordagens educacionais voltadas a apoiar estudantes na compreensão e aplicação desses conceitos em atividades práticas de requisitos [5].

Diante desse cenário, o problema investigado nesta pesquisa está na necessidade de apoiar o ensino de RE4AI, considerando que esse tipo de sistema envolve requisitos que vão além das práticas tradicionalmente ensinadas em ER. O objetivo desta pesquisa é investigar estratégias educacionais para apoiar estudantes na compreensão e especificação de requisitos para sistemas baseados em IA. Para isso, a pesquisa utiliza o *framework* RE4HCAI [1] como base conceitual centrada no ser humano para operacionalizar preocupações associadas à IA responsável na construção de materiais didáticos, atividades práticas e estudos experimentais voltados ao ensino de RE4AI.

2 Contexto e Trabalhos Relacionados

Esta seção sintetiza os conceitos que fundamentam a pesquisa: desafios da ER para sistemas baseados em IA, abordagens para RE4AI, com destaque ao RE4HCAI, e ensino de ER/RE4AI.

2.1 Engenharia De Requisitos Para Sistemas Baseados em IA

Sistemas baseados em Inteligência Artificial apresentam características que modificam a forma como requisitos são compreendidos, especificados e avaliados [10]. Diferentemente de sistemas tradicionais, cujo comportamento tende a ser definido de maneira mais determinística, sistemas com IA dependem fortemente de dados, modelos, treinamento e atualização contínua [10]. Essa dependência torna o comportamento do sistema mais incerto e sujeito a variações ao longo do tempo, especialmente quando novos dados são incorporados ou quando o contexto de uso se modifica [9].

Nesse cenário, a Engenharia de Requisitos para sistemas baseados em IA (RE4AI) precisa considerar preocupações que vão além dos requisitos tradicionalmente tratados no desenvolvimento de

software [9]. Entre essas preocupações estão a qualidade e a representatividade dos dados, os limites do modelo, a explicabilidade das decisões, a confiança do usuário, a justiça algorítmica, os mecanismos de *feedback*, o controle humano, o tratamento de erros e falhas e a evolução contínua dos requisitos [11]. Esses aspectos evidenciam que requisitos em sistemas baseados em IA envolvem dimensões técnicas, humanas e sociais que precisam ser consideradas desde as fases iniciais do desenvolvimento [2].

A elicitación de requisitos nesse contexto torna-se mais complexa porque decisões sobre dados e modelos passam a influenciar diretamente o comportamento percebido do sistema e a experiência dos usuários [2]. A escolha dos dados utilizados no treinamento pode afetar a qualidade das recomendações, a ocorrência de vieses e a capacidade do sistema de atender diferentes perfis de usuários [11]. De modo semelhante, a opacidade de alguns modelos pode dificultar a compreensão das decisões automatizadas e exigir requisitos voltados à explicabilidade, transparência e comunicação de incertezas [2].

Dessa forma, as práticas tradicionais de ER continuam relevantes, mas precisam ser complementadas para lidar com as particularidades dos sistemas baseados em IA [9]. A literatura aponta que ainda existem desafios na operacionalização de requisitos relacionados a dados, modelos e aspectos humanos [11]. Essa dificuldade torna-se ainda mais evidente quando princípios como confiança, explicabilidade, justiça e responsabilidade precisam ser transformados em requisitos claros, verificáveis e aplicáveis ao desenvolvimento de *software* [9].

2.2 Frameworks e Abordagens Para RE4AI

Diante dos desafios associados à RE4AI, a literatura tem proposto catálogos, *frameworks* e modelos para apoiar a identificação e organização de requisitos nesse contexto [9]. Essas propostas buscam oferecer apoio para lidar com preocupações relacionadas a dados, modelos, interação com usuários, transparência, confiança e riscos associados ao comportamento dos sistemas de IA [11].

Entre essas propostas, Villamizar et al. [14] apresentam um catálogo de preocupações para apoiar a especificação de sistemas habilitados por aprendizado de máquina. Esse tipo de catálogo contribui para tornar explícitos aspectos que podem ser negligenciados durante a especificação, especialmente quando o comportamento do sistema depende de dados e modelos [14]. Já Baldassarre et al. [4] propõem o *framework* POLARIS voltado ao desenvolvimento de sistemas de IA confiáveis, destacando a necessidade de orientar decisões relacionadas à confiabilidade ao longo do desenvolvimento [4]. Essas iniciativas evidenciam que a RE4AI vem sendo tratada por meio de abordagens que procuram sistematizar preocupações específicas de sistemas baseados em IA [9].

Outra contribuição relevante é o estudo experimental de Ahmad et al. [3] sobre elicitación e modelagem de requisitos para sistemas de IA. Esse trabalho reforça a necessidade de apoiar a identificação de requisitos que envolvem aspectos técnicos e humanos, especialmente em sistemas nos quais decisões automatizadas afetam usuários e contextos de uso [3]. Nesse cenário, o *framework* RE4HCAI se destaca por organizar requisitos para sistemas de IA centrados no ser humano em seis diretrizes: *User Needs*, *Model Needs*,

Data Needs, *Feedback & User Control*, *Explainability & Trust* e *Errors & Failure* [1].

O *framework* RE4HCAI foi escolhido como base conceitual desta pesquisa por operacionalizar, sob uma perspectiva centrada no ser humano, preocupações associadas à IA responsável em dimensões técnicas, humanas e sociais [1]. Além das diretrizes, o *framework* apresenta um catálogo de requisitos e um modelo conceitual, que apoiam a elicitación e a representação de requisitos nesse tipo de sistema [1]. Além disso, sua construção articula evidências da literatura sobre RE4AI, diretrizes práticas de empresas como Microsoft¹, Google PAIR² e Apple³, e avaliação com especialistas da indústria e da academia [1], o que reforça sua relevância como referência para investigar o ensino de RE4AI [1]. Assim, nesta pesquisa, o RE4HCAI foi utilizado como base para organizar materiais educacionais e atividades voltadas à compreensão, elicitación e especificação de requisitos em sistemas baseados em IA.

2.3 Ensino de RE4AI

O ensino de ER é um tema relevante na formação em Engenharia de *software*, pois envolve competências relacionadas à elicitación, análise, especificação, validação e gerenciamento de requisitos [7]. Apesar dessa relevância, o ensino de ER ainda enfrenta desafios relacionados à aproximação entre teoria e prática, à escolha de estratégias pedagógicas e ao uso de exemplos capazes de representar situações próximas ao desenvolvimento de *software* [7]. No contexto brasileiro, estudos recentes também indicam a necessidade de compreender melhor como requisitos de *software* são ensinados, considerando práticas docentes, dificuldades enfrentadas e recursos utilizados em sala de aula [8].

Esses desafios tornam-se mais evidentes quando o foco passa a ser o ensino de RE4AI. Enquanto a ER tradicional costuma ser ensinada com exemplos de sistemas convencionais, sistemas com IA exigem que os estudantes compreendam como dados, modelos e decisões automatizadas influenciam os requisitos do sistema [13]. Essa mudança amplia a complexidade do ensino, pois os estudantes precisam relacionar conceitos de requisitos com aspectos como comportamento do modelo, explicabilidade, confiança, qualidade dos dados e implicações humanas das decisões automatizadas [13].

Uma iniciativa voltada especificamente ao ensino de RE4AI é o trabalho de Batista et al. [5], que investigou uma abordagem baseada em Engenharia de Requisitos Orientada a Objetivos (GORE) para apoiar a elicitación de requisitos em sistemas de IA. Embora essa proposta contribua para aproximar os estudantes dos desafios de RE4AI, os resultados também evidenciam dificuldades relacionadas ao refinamento de requisitos, à complexidade dos modelos e à compreensão dos artefatos utilizados [5]. Esses achados indicam que o ensino de RE4AI ainda demanda abordagens educacionais que apoiem os estudantes na passagem entre a compreensão conceitual e a especificação de requisitos [5].

Dessa forma, embora existam avanços no ensino de ER e iniciativas iniciais voltadas à RE4AI, ainda há espaço para propostas educacionais que ajudem estudantes a compreender e aplicar conceitos próprios de sistemas baseados em IA [7]. Essa lacuna reforça

¹<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/guidelines-for-human-ai-interaction/>

²<https://pair.withgoogle.com/guidebook/>

³<https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/machine-learning>

a necessidade de materiais, atividades e instrumentos que apoiem a identificação e a especificação de requisitos relacionados a dados, modelos, explicabilidade, confiança, controle do usuário e falhas. É nesse contexto que esta pesquisa se insere, investigando estratégias educacionais para apoiar o ensino de RE4AI a partir de diretrizes estruturadas e atividades práticas de especificação de requisitos.

3 Método de Pesquisa

Esta pesquisa foi conduzida por meio de uma trajetória de estudos e atividades experimentais [15] que investigaram estratégias educacionais para o ensino de RE4AI. O método combinou estudo da literatura, adaptação de materiais educacionais, aplicação de atividades em sala de aula e análise dos dados obtidos. Para apresentar esse processo de forma organizada, esta seção descreve os principais momentos da pesquisa, sintetizados na Figura 1.

O primeiro momento consistiu no estudo da literatura sobre RE4AI, com o objetivo de compreender como os sistemas baseados em IA impactam a ER. Esse estudo permitiu identificar que sistemas baseados em IA ampliam desafios já presentes em sistemas tradicionais, e também introduzem novas preocupações relacionadas a dados, modelos, comportamento não determinístico, explicabilidade, confiança, controle do usuário e tratamento de falhas. Também foram analisadas propostas existentes para apoiar a eliciação de requisitos nesse contexto, como *frameworks* voltados a sistemas baseados em IA. A partir desse levantamento, observou-se que, embora a literatura apresente avanços na discussão sobre RE4AI, o ensino desse tema ainda recebe pouca atenção. Essa lacuna direcionou a pesquisa para o contexto educacional e motivou a escolha do *framework* RE4HCAI como base conceitual.

O segundo momento envolveu a adaptação dos componentes do *framework* RE4HCAI para uso em sala de aula, como detalhado pela Figura 2. Como o *framework* apresenta conceitos e artefatos

voltados à aplicação em ambiente profissional, foi necessário adequar sua linguagem e seus instrumentos para estudantes. Para isso, foram desenvolvidos materiais didáticos, incluindo slides, enunciados de sistemas baseados em IA e um *checklist* adaptado a partir do catálogo de requisitos do *framework* RE4HCAI. O *checklist* original foi simplificado e reescrito de forma mais acessível para estudantes, buscando priorizar clareza, aplicabilidade em atividades de ensino e alinhamento com os conceitos centrais de cada diretriz. Esse processo ocorreu por meio de ciclos de adaptação, revisão e refinamento dos materiais, conduzidos pela pesquisadora e pelas orientadoras antes de sua aplicação em sala de aula. As decisões de adaptação buscaram reduzir a complexidade dos itens originais, tornar os conceitos mais acessíveis e favorecer a compreensão gradual das diretrizes.



Figura 2: Adaptação do *framework* RE4HCAI para uso em sala de aula.

O terceiro momento correspondeu à primeira aplicação dos materiais adaptados em sala de aula. Nesse primeiro estudo, os estudantes tiveram contato com as diretrizes do RE4HCAI por meio de

Metodologia da Pesquisa em RE4AI

Ensino de Engenharia de Requisitos para sistemas baseados em IA



Figura 1: Visão geral da metodologia da pesquisa em RE4AI.

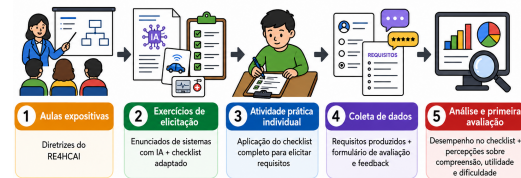
aulas expositivas e exercícios de eliciação baseados em enunciados de sistemas baseados em IA, utilizando o *checklist* adaptado como instrumento de apoio. Ao final das aulas, os estudantes realizaram individualmente uma atividade prática, na qual aplicaram o *checklist* completo para elicitar requisitos do cenário proposto. Nessa atividade, foram coletados os requisitos produzidos pelos estudantes, bem como suas percepções por meio de um formulário de avaliação e *feedback*. A análise considerou tanto o desempenho dos estudantes na aplicação do *checklist* quanto suas percepções sobre compreensão, utilidade e dificuldade das diretrizes. Esse estudo foi a primeira avaliação da adaptação educacional proposta, indicando o potencial do *checklist* como apoio ao ensino de RE4AI, mas também evidenciando dificuldades na aplicação de algumas diretrizes, especialmente aquelas associadas a conceitos mais técnicos ou abstratos. Esse estudo está publicado nos anais do Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS 2025) [13].

A partir dos aprendizados obtidos nessa primeira aplicação, o quarto momento da pesquisa buscou organizar a proposta em uma abordagem educacional mais estruturada. Nesse estudo, a atividade passou a ser organizada em três momentos: fundamentação teórica, aplicação prática e reflexão sobre a aprendizagem. Além dos materiais didáticos e do *checklist*, foram incorporadas *User Stories* como artefato de saída da atividade. Essa decisão surgiu da necessidade de apoiar os estudantes na especificação mais detalhada de requisitos a partir das diretrizes do *framework* RE4HCAI. Dessa forma, o *checklist* passou a orientar, além da análise do sistema, a produção de especificações em um formato mais familiar à prática de ER, composto por ator, ação, benefício e critérios de aceitação. A aplicação da abordagem permitiu observar tanto a percepção dos estudantes quanto a qualidade e a aderência das *User Stories* produzidas em relação às diretrizes do *framework* RE4HCAI. A descrição detalhada dessa abordagem, do planejamento do estudo e dos resultados obtidos encontram-se em um artigo aceito para publicação na *Conference on Software Engineering Education and Training* (CSE&T 2026) [12].

O quinto momento ocorreu em uma colaboração voltada ao ensino da diretriz *Model Needs* com apoio de Realidade Aumentada. Essa colaboração foi motivada por uma dificuldade recorrente no ensino de RE4AI: a compreensão de conceitos ligados ao comportamento dos modelos de IA. A diretriz *Model Needs* envolve aspectos como tipo de aprendizado, treinamento, adaptação do modelo, uso de *feedback*, atualização, impacto de novas entradas e comportamento não determinístico. Por envolver conceitos técnicos e, muitas vezes, abstratos para estudantes, essa diretriz foi explorada em uma abordagem educacional com Realidade Aumentada. Nesse estudo, a participação esteve relacionada principalmente ao apoio às aulas sobre diretrizes de do *framework* RE4HCAI e o uso do material didático sobre *Model Needs* para a aplicação de Realidade Aumentada. A proposta avaliou o uso do aplicativo RE4AI-AR em comparação com uma atividade equivalente em papel, buscando investigar se uma experiência mais interativa e contextualizada poderia apoiar a compreensão dessa diretriz. Este quinto momento está descrito no artigo aceito para publicação na Trilha de Educação do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2026) [6]. A Tabela 1 sintetiza participantes, instrumentos, procedimentos de análise e principais evidências dos estudos, enquanto a Figura 3 apresenta visualmente as etapas de execução de cada estudo.

Tabela 1: Síntese dos estudos realizados.

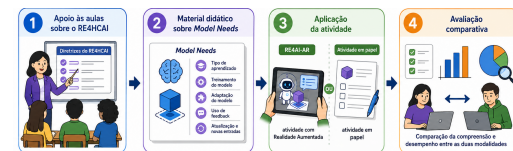
Estudo	Execução, instrumentos e análise	Principais evidências
Primeira aplicação [13]	86 estudantes de Computação; materiais derivados da literatura do RE4HCAI; <i>checklist</i> adaptado por simplificação de linguagem, alinhamento às diretrizes e aplicabilidade em sala; aulas, exercícios de eliciação, atividade individual e formulário de percepção; requisitos avaliados por completude/correção.	96,9% indicaram que o <i>checklist</i> ajudou a identificar requisitos esquecidos; mais de 50% avaliaram o aprendizado como alto ou muito alto; melhores índices em <i>Model Needs</i> , <i>Errors & Failure</i> e <i>Feedback & User Control</i> .
Abordagem estruturada [12]	29 estudantes de Computação; atividade em três momentos: fundamentação, prática e reflexão; uso de slides, <i>checklist</i> , questionários, <i>feedback</i> e <i>User Stories</i> ; análise mista, com frequências, respostas abertas e avaliação das <i>User Stories</i> por estrutura e aderência às diretrizes.	Conforto evoluiu de 58,8% não confortáveis antes da atividade para 67,7% confortáveis ou muito confortáveis depois; 66,7% das <i>User Stories</i> foram aderentes e 16,7% parcialmente aderentes; 75,9% relataram influência do <i>checklist</i> .
Model Needs + RA [6]	48 estudantes de Computação; experimento controlado sobre <i>Model Needs</i> , com grupo experimental usando o aplicativo RE4AI-AR e grupo controle em papel; instrumentos de desempenho e percepção; desempenho medido por acurácia e percepções analisadas com base na Teoria da Carga Cognitiva.	O grupo com Realidade Aumentada obteve acurácia média superior ao grupo em papel, com diferença de 10,83 pontos percentuais e resultado estatisticamente significativo.



(a) Primeira Aplicação



(b) Estudo da Abordagem Estruturada



(c) Estudo de Model Needs + RA

Figura 3: Estudos realizados.

4 Resultados Obtidos

Os resultados desta pesquisa podem ser organizados em dois conjuntos. O primeiro refere-se aos artefatos educacionais produzidos e adaptados ao longo dos estudos, que podem ser utilizados por professores interessados em ensinar RE4AI. O segundo apresenta os principais resultados obtidos nos estudos experimentais realizados, considerando tanto a avaliação dos materiais pelos estudantes quanto os resultados das atividades práticas aplicadas.

4.1 Artefatos Educacionais Produzidos

Ao longo da pesquisa, foram desenvolvidos e adaptados diferentes artefatos educacionais para apoiar o ensino de requisitos em sistemas baseados em IA, organizados a partir das diretrizes do *framework* RE4HCAI e refinados progressivamente a cada estudo.

Na **Primeira Avaliação**, o principal artefato foi um conjunto de materiais educacionais para introduzir as diretrizes do RE4HCAI em sala de aula. O *checklist* adaptado teve papel central, pois transformou as diretrizes em perguntas mais acessíveis aos estudantes, utilizáveis durante atividades práticas de elicitação. Também foram elaborados enunciados de sistemas baseados em IA para contextualizar a aplicação das diretrizes em situações próximas ao desenvolvimento de *software*.

No estudo sobre a **Adaptação Estruturada**, os artefatos foram reorganizados em uma abordagem educacional mais estruturada, composta por três momentos: fundamentação teórica, aplicação prática e reflexão sobre a aprendizagem. As *User Stories*, com critérios de aceitação, foram incorporadas como artefato de saída, aproximando a análise orientada pelas diretrizes da especificação de requisitos em um formato mais concreto e familiar à Engenharia de Requisitos.

No estudo sobre **Model Needs + RA**, a contribuição consistiu no material didático sobre a diretriz *Model Needs* e no apoio à aplicação de uma atividade com Realidade Aumentada, voltada à compreensão de conceitos como treinamento, adaptação, *feedback*, atualização e comportamento não determinístico dos modelos de IA. Vale destacar que o aplicativo de Realidade Aumentada não foi desenvolvido nesta pesquisa, mas em trabalho conduzido por outra pessoa pesquisadora; a contribuição aqui foi o suporte conceitual sobre *Model Needs* e o uso do material didático para apoiar a atividade.

4.2 Resultados dos Estudos Realizados

Além dos artefatos educacionais produzidos, os estudos permitiram avaliar o uso dos materiais em sala de aula e analisar os resultados das atividades práticas realizadas pelos estudantes. A seguir, sintetizam-se os principais resultados obtidos em cada estudo, considerando percepção, desempenho e aderência dos requisitos produzidos.

Primeira Avaliação: Os estudantes avaliaram positivamente o *checklist* adaptado e perceberam-no como instrumento útil para orientar a identificação de requisitos negligenciados em abordagens tradicionais.

- **Materiais:** 96,9% concordaram que o *checklist* ajudou a identificar requisitos que poderiam ser esquecidos, e mais de 50% avaliaram seu aprendizado como alto ou muito alto.
- **Prática:** bons índices de elicitação correta em diferentes diretrizes, com destaque para *Model Needs*, *Errors & Failure* e *Feedback & User Control*; já *Explainability & Trust* e *Data Needs* concentraram mais itens não respondidos.

Adaptação Estruturada: A organização da atividade em uma abordagem educacional estruturada favoreceu a compreensão sobre o processo de elicitação e especificação de requisitos.

- **Materiais:** a confiança dos estudantes aumentou de 58,8% que não se sentiam confortáveis antes da atividade para 67,7% confortáveis ou muito confortáveis depois.

- **Prática:** entre as *User Stories* associadas a alguma diretriz, 66,7% foram aderentes e 16,7% parcialmente aderentes; 75,9% relataram forte influência do *checklist* na escrita dos requisitos.

Model Needs + RA: Os resultados reforçaram a importância de estratégias específicas para apoiar diretrizes mais técnicas, como *Model Needs*.

- **Materiais:** a Realidade Aumentada foi percebida como estratégia mais interativa e contextualizada para apoiar a compreensão da diretriz, ainda que com limitações de interface e navegação.
- **Prática:** o grupo que utilizou o aplicativo RE4AI-AR apresentou acurácia média superior à do grupo em papel, com diferença de aproximadamente 10,83 pontos percentuais e resultado estatisticamente significativo.

De forma geral, os resultados mostram uma evolução na forma de apoiar o ensino de RE4AI. Inicialmente, o *checklist* adaptado contribuiu para ampliar a compreensão dos estudantes sobre requisitos em sistemas baseados em IA. Em seguida, o uso de *User Stories* ajudou a aproximar as diretrizes da especificação de requisitos. Por fim, a exploração de Realidade Aumentada para *Model Needs* indicou caminhos para apoiar diretrizes que exigem maior orientação pedagógica. Esses achados reforçam que o ensino de RE4AI pode se beneficiar da combinação entre materiais didáticos, instrumentos estruturados, atividades práticas e recursos educacionais mais interativos.

5 Contribuições

A contribuição central desta pesquisa é uma trajetória integrada para o ensino de RE4AI, baseada no RE4HCAI e refinada por estudos sucessivos. A seguir, as contribuições são organizadas por categoria:

• Contribuições científicas:

- (1) Caracterização da lacuna educacional em RE4AI, evidenciando a necessidade de abordagens que apoiem estudantes na compreensão e especificação de requisitos para sistemas baseados em IA.
- (2) Evidências experimentais sobre o uso do *framework* RE4HCAI como apoio ao ensino de RE4AI, incluindo a análise da utilidade do *checklist* adaptado, das dificuldades de aplicação das diretrizes e das percepções dos estudantes.
- (3) Proposição e avaliação de uma abordagem educacional estruturada para RE4AI, organizada em momentos de fundamentação teórica, aplicação prática e reflexão, incorporando *User Stories* como artefato para apoiar a especificação de requisitos.
- (4) Evidências iniciais sobre o ensino da diretriz *Model Needs* com apoio de Realidade Aumentada, contribuindo para a investigação de estratégias educacionais voltadas a conceitos mais técnicos e abstratos de RE4AI.

• Contribuições para o Ensino:

- i) Desenvolvimento de materiais didáticos para o ensino de RE4AI, incluindo slides, exemplos, enunciados e *checklist* adaptado a partir do *framework* RE4HCAI.

- ii) Disponibilização de artefatos educacionais e instrumentos de coleta que podem apoiar docentes e pesquisadores interessados em replicar ou adaptar as atividades em disciplinas de Engenharia de Software e ER.

- **Publicações vinculadas à pesquisa:**

- (1) *Teaching Requirements Engineering for Human-Centered AI: A Classroom Experience with the RE4HCAI Framework*, publicado no XXIV Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS 2025).
- (2) *Teaching Requirements Engineering for AI-Based Systems: A Structured Educational Approach*, aceito no 38th IEEE Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T 2026).
- (3) *An Empirical Study on the Use of Augmented Reality to Support the Teaching of Model Needs in Requirements Engineering for AI Systems*, aceito no Education Track do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2026), no CBSOFT 2026.

- **Contribuições para a Ciência Aberta:** Todos os artefatos estão disponíveis nos repositórios listados na seção de Disponibilidade de Artefatos.

6 Considerações Finais

Esta pesquisa investigou uma trajetória integrada de estratégias educacionais para apoiar o ensino de RE4AI. A partir da lacuna identificada no ensino do tema, foram desenvolvidos e avaliados materiais didáticos baseados no *framework* RE4HCAI, com o objetivo de aproximar estudantes dos desafios relacionados à elicitación e especificação de requisitos em sistemas de IA.

Os estudos realizados indicam que o uso de diretrizes estruturadas, *checklists* e atividades práticas pode apoiar a compreensão de conceitos de RE4AI. Ao mesmo tempo, os resultados evidenciam que algumas diretrizes continuam desafiadoras para os estudantes, especialmente aquelas associadas a aspectos mais técnicos ou abstratos, como dados, explicabilidade, confiança e comportamento dos modelos.

Como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a avaliação da abordagem em outras turmas e contextos de ensino, refinar os materiais didáticos produzidos e explorar novas estratégias para apoiar diretrizes específicas do RE4HCAI. Também se considera a possibilidade de expandir o uso de tecnologias educacionais para outras dimensões da RE4AI, contribuindo para a formação de estudantes mais preparados para lidar com os desafios técnicos, humanos e sociais envolvidos no desenvolvimento de sistemas baseados em IA.

Disponibilidade De Artefatos

Os artefatos completos utilizados nos estudos desta pesquisa estão disponíveis publicamente nos seguintes repositórios: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.29661263>; <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.31402800> e <https://figshare.com/s/a020d1b14311fa886180>.

Agradecimentos

Esta pesquisa contou com o apoio da CAPES – PROEX (Código de Financiamento 001), do CNPq (processos nº 314797/2023-8, 443934/2023-1 e 445029/2024-2), da UEA, por meio do Programa (01.02.011304.026472/2023-87) e da Fundação de Amparo à Pesquisa

do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio dos projetos PDPG-CAPES e POSGRAD 2025-2026 e POSGRAD 2026-2027. Os autores também reconhecem o uso do ChatGPT da OpenAI, baseado no modelo GPT-5.5 Thinking, como ferramenta de auxílio à redação para refinamento linguístico e geração de imagens neste manuscrito. Todo o conteúdo gerado passou por revisão crítica dos autores, que assumem total responsabilidade pela originalidade, precisão e integridade do texto final, em conformidade com a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq (Portaria nº 2.664/2026).

Referências

- [1] Khlood Ahmad, Mohamed Abdelrazek, Chetan Arora, Arbind Agrahari Baniya, Muneera Bano, and John Grundy. 2023. Requirements engineering framework for human-centered artificial intelligence software systems. *Applied Soft Computing* 143 (2023), 110455.
- [2] Khlood Ahmad, Mohamed Abdelrazek, Chetan Arora, Muneera Bano, and John Grundy. 2023. Requirements practices and gaps when engineering human-centered Artificial Intelligence systems. *Applied Soft Computing* 143 (2023), 110421.
- [3] Khlood Ahmad, Mohamed Abdelrazek, Chetan Arora, John Grundy, and Muneera Bano. 2023. Requirements Elicitation and Modelling of Artificial Intelligence Systems: An Empirical Study. In *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering - ENASE, INSTICC, SciTePress*, 126–137. doi:10.5220/0011842300003464
- [4] Maria Teresa Baldassarre, Domenico Gigante, Marcos Kalinowski, and Azzurra Ragone. 2024. POLARIS: A framework to guide the development of Trustworthy AI systems. In *Proceedings of the IEEE/ACM 3rd International Conference on AI Engineering-Software Engineering for AI*. 200–210.
- [5] Beatriz Braga Batista, Márcia Sampaio Lima, and Tayana Uchôa Conte. 2024. Teaching Requirements Engineering for AI: A Goal-Oriented Approach in Software Engineering Courses. In *Proceedings of the XXIII Brazilian Symposium on Software Quality*. 613–623.
- [6] Giovanna Bonilha, Bruna Santos, Ayumi Aoki Santana, Bianca Trinkenreich, Fabiann Matthaues Barbosa, and Tayana Conte. 2026. An Empirical Study on the Use of Augmented Reality to Support the Teaching of Model Needs in Requirements Engineering for AI Systems. In *Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES)*. SBC.
- [7] Marian Daun, Alicia M Grubb, Viktoria Stenkova, and Bastian Tenbergen. 2023. A systematic literature review of requirements engineering education. *Requirements Engineering* 28, 2 (2023), 145–175.
- [8] Maria Alice de Souza Macedo, Carla Bezerra, and Emanuel Coutinho. 2024. Uma Pesquisa Qualitativa do Contexto de Ensino em Requisitos de Software no Brasil. In *Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*. SBC, 669–679.
- [9] Umm-e Habiba, Markus Haug, Justus Bogner, and Stefan Wagner. 2024. How mature is requirements engineering for AI-based systems? A systematic mapping study on practices, challenges, and future research directions. *Requirements Engineering* 29, 4 (2024), 567–600.
- [10] Silverio Martínez-Fernández, Justus Bogner, Xavier Franch, Marc Oriol, Julien Siebert, Adam Trendowicz, Anna Maria Vollmer, and Stefan Wagner. 2022. Software engineering for AI-based systems: a survey. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM)* 31, 2 (2022), 1–59.
- [11] Mariana Crisostomo Martins, Livia Mancine C Campos, João Lucas R Soares, Taciana Novo Kudo, and Renato F Bulcão-Neto. 2025. Requirements engineering for machine learning-based ai systems: A tertiary study. *Journal of Software Engineering Research and Development* 13, 2 (2025), 13–129.
- [12] Bruna Santos, Márcia Lima, Ana Oran, and Tayana Conte. 2026. Teaching Requirements Engineering for AI-Based Systems: A Structured Educational Approach. In *Proceedings of the 38th IEEE International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*. IEEE.
- [13] Bruna Santos, Márcia Lima, Márcio Ribeiro, and Tayana Conte. 2025. Teaching Requirements Engineering for Human-Centered AI: A Classroom Experience with the RE4HCAI Framework. In *Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS)*. Sociedade Brasileira de Computação, São José dos Campos, SP, Brazil, 540–550. doi:10.5753/sbqs.2025.15264
- [14] Hugo Villamizar, Marcos Kalinowski, et al. 2022. A catalogue of concerns for specifying machine learning-enabled systems. *arXiv preprint arXiv:2204.07662* (2022).
- [15] Claes Wohlin, Per Runeson, Martin Höst, Magnus C Ohlsson, Björn Regnell, Anders Wesslén, et al. 2012. *Experimentation in software engineering*. Vol. 236. Springer.