



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

HAYNER DE SOUSA ALHADEF

**FERRAMENTAS DE SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS
MULTIAGENTES: Uma Revisão Sistemática da Literatura**

**TUCURUÍ
2024**

HAYNER DE SOUSA ALHADEF

**FERRAMENTAS DE SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS
MULTIAGENTES: Uma Revisão Sistemática da Literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso, em formato de artigo, apresentado a Faculdade de Engenharia da Computação, Campus Universitário de Tucuruí da Universidade Federal do Pará como requisito obrigatório para obtenção do grau de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof. Dr.Otávio Noura Teixeira

TUCURUÍ

2024

HAYNER DE SOUSA ALHADEF

**FERRAMENTAS DE SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS
MULTIAGENTES: Uma Revisão Sistemática da Literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso, em formato de artigo, apresentado a Faculdade de Engenharia da Computação, Campus Universitário de Tucuruí da Universidade Federal do Pará como requisito obrigatório para obtenção do grau de Engenheiro da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Otávio Noura Teixeira

Aprovado em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Otávio Noura Teixeira

Orientador

**Prof. Dra. Viviane Almeida
Dos Santos**

Membro Interna

Profº. Ms. Ingrid Nery Mendes

Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos os que contribuíram para a realização do meu TCC. Agradeço em especial aos meus familiares, orientadores, colegas de trabalho e amigos, que dedicaram seu tempo e conhecimento para me ajudar nessa jornada. Se não fosse pelo apoio e suporte de vocês, eu não teria conseguido concluir esse trabalho com sucesso. Muito obrigado a todos que me incentivaram e acreditaram em mim. Este é um marco importante em minha vida acadêmica e não teria sido possível sem a presença de cada um de vocês. A todos, meu sincero agradecimento.

“É ótimo celebrar o sucesso, mas mais importante ainda é assimilar as lições trazidas pelos erros que cometemos”. Bill Gates

FERRAMENTAS DE SOFTWARE PARA CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Hayner de Sousa Alhadef¹

RESUMO

O estudo sistemático sobre Ferramentas de Software para Construção de Sistemas Multiagentes é de extrema importância para o avanço da tecnologia e desenvolvimento de sistemas complexos. É fundamental compreender as características e funcionalidades das ferramentas disponíveis, bem como identificar as abordagens e paradigmas utilizados no desenvolvimento destes sistemas. Em face a esta realidade este artigo objetiva-se a compreender as características e funcionalidades fundamentais das ferramentas, identificando as diferentes abordagens e paradigmas utilizados em sua criação, e tem como objetivos específicos: Compreender as principais características e funcionalidades das ferramentas de software disponíveis para construção de sistemas multiagentes. Identificar as diferentes abordagens e paradigmas utilizados no desenvolvimento de ferramentas de software para sistemas multiagentes; Avaliar a eficácia e a usabilidade das ferramentas de software existentes na construção de sistemas multiagentes, considerando critérios como facilidade de uso, desempenho e escalabilidade. No campo metodológico utilizou-se a técnica de revisão sistemática da literatura que teve abordagem prioritariamente qualitativa. Em última análise, ao avaliar a eficácia e usabilidade das ferramentas existentes, é possível observar que dentre as principais características e funcionalidades das ferramentas de software mais utilizadas na construção de sistemas multiagentes, podemos destacar a capacidade de modelagem de agentes e ambientes, a linguagem de programação específica para agentes, a integração com plataformas de simulação e o suporte para protocolos de comunicação entre agentes. Exemplos de ferramentas populares nesse contexto são JADE (Java Agent DEvelopment Framework), o AnyLogic e o NetLogo. No que diz respeito aos diferentes paradigmas e abordagens de desenvolvimento adotados pelas ferramentas de software para sistemas multiagentes, é possível identificar abordagens baseadas em lógica, em aprendizado de máquina, em sistemas multiagentes distribuídos e em agentes baseados em regras. Espera-se que o estudo possa fornecer informações valiosas para apoiar desenvolvedores e pesquisadores na seleção e utilização das melhores soluções disponíveis, contribuindo para o avanço do campo de sistemas multiagentes e o desenvolvimento de aplicações cada vez mais eficientes e escaláveis.

Palavras-chaves: Sistemas multiagentes. Matemática. Revisão Sistemática. Tendências Emergentes. Ferramentas de software

¹ Discente do curso de Engenharia da Computação – UFPA

ABSTRACT

The systematic study of Software Tools for Building Multiagent Systems is extremely important for the advancement of technology and the development of complex systems. It is essential to understand the characteristics and functionalities of the available tools, as well as to identify the approaches and paradigms used in the development of these systems. In view of this reality, this article aims to understand the fundamental characteristics and functionalities of the tools, identifying the different approaches and paradigms used in their creation, and has the following specific objectives: To understand the main characteristics and functionalities of the software tools available for building multiagent systems; To identify the different approaches and paradigms used in the development of software tools for multiagent systems; To evaluate the effectiveness and usability of existing software tools in the construction of multiagent systems, considering criteria such as ease of use, performance and scalability. In the methodological field, the systematic literature review technique was used, with a primarily qualitative approach. Ultimately, when evaluating the effectiveness and usability of existing tools, it is possible to observe that among the main characteristics and functionalities of the software tools most used in the construction of multi-agent systems, we can highlight the capacity to model agents and environments, the specific programming language for agents, the integration with simulation platforms and the support for communication protocols between agents. Examples of popular tools in this context are JADE (Java Agent Development Framework), AnyLogic and NetLogo. Regarding the different paradigms and development approaches adopted by software tools for multi-agent systems, it is possible to identify approaches based on logic, machine learning, distributed multi-agent systems and rule-based agents. It is expected that the study can provide valuable information to support developers and researchers in the selection and use of the best available solutions, contributing to the advancement of the field of multi-agent systems and the development of increasingly efficient and scalable applications.

Multi-agent systems. Mathematics. Systematic review. Emerging trends. Software tools

Lista de Quadros

Quadro 01- Perguntas de pesquisa.....	22
Quadro 02- Critérios e descrição.....	23
Quadro 03- Termos de busca.....	23
Quadro 04- String Genérica de busca.....	25
Quadro 05- String termos de busca.....	26
Quadro 06- Critérios de inclusão.....	27
Quadro 07- Critérios de exclusão.....	27
Quadro 08- Critérios de qualidade.....	28
Quadro 09- Campos de critérios de qualidade.....	28
Quadro 10- Campos de critérios de exclusão.....	29
Quadro 11- Artigos selecionados.....	33
Quadro 11- Avaliação da Qualidade dos Estudos.....	33

Lista de Gráficos

Grafico 01- Fluxograma.....	31
Gráfico 02 – Publicações.....	35

Lista de tabelas

Tabela 01 – Comparativo de Plataformas de pesquisa Científica	23
Tabela 02-Artigos selecionados por área de pesquisa.....	32
Tabela 03-Artigos Selecionados.....	36
Tabela 04-Artigos Selecionados-Conclusão.....	36

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
2 OBEJTIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Especificos.....	13
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 PROBLEMÁTICA.....	14
5 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
5.1 Inteligencia Artificial.....	15
5.1.2 Agentes de IA e Sistemas Multiagentes.....	17
5.1.3 Características e Funcionalidades Primárias.....	19
5.1.4 Paradigmas e Métodos de Desenvolvimento.....	19
5.1.5 Comparação das Ferramentas de Software.....	20
5.1.6 Tendências Emergentes.....	20
5.1.7 Orientações para desenvolvimento e Pesquisadores.....	21
6 METODÓLOGIA DA PESQUISA.....	21
6.1 String de Busca.....	23
6.1.2 Método de busca de bases.....	24
6.1.3 Condução.....	24
6.2 Seleção dos Estudos.....	26
6.2.1 Critérios de Inclusão e Exclusão.....	26
6.2.2 Definição de tipos de Estudos.....	27
6.2.3 Critérios de Qualidade de Campo do formulário de Qualidade.....	28
6.2.4 Extração de Informação.....	29

6.2.5 Processo de Seleção das Publicações	29
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFENCIAL BIBLIOGRAFICO	39

1. INTRODUÇÃO

A construção de sistemas multiagentes (SMA) tem se tornado uma área de crescente interesse na ciência da computação, especialmente devido à sua capacidade de modelar e resolver problemas complexos em diversos domínios. Este trabalho visa realizar uma revisão sistemática da literatura sobre as ferramentas de software mais utilizadas na elaboração de sistemas multiagentes, abordando suas características, paradigmas de desenvolvimento, comparações de desempenho e tendências emergentes.

A área de estudo dos sistemas multiagente dentro da inteligência artificial consiste no desenvolvimento de sistemas compostos por múltiplos agentes autônomos, que interagem entre si com o objetivo de alcançar metas em comum. De acordo com os autores Hajduk; Sukop & Haun (2019), os Agentes de Software se destacam por sua autonomia, capacidade social, reatividade e pró-atividade.

A autonomia refere-se à capacidade do agente de atuar de forma independente, sem intervenção direta de seres humanos. A capacidade social permite a interação entre agentes e, potencialmente, com os usuários do sistema, utilizando uma linguagem específica. A reatividade está associada à capacidade do agente de perceber o ambiente e responder rapidamente às mudanças que ocorrem. Por fim, a pró-atividade diz respeito à capacidade do agente de agir com um objetivo específico, tomando iniciativa sem depender de ordens (HAJDUK; SUKOP & HAUN, 2019).

Esses sistemas são utilizados para lidar com problemas complexos ou que não podem ser resolvidos por um único sistema ou agente isolado (VIRUEL, 2011 *apud* BOTTI et al., 2019). Além disso, os sistemas multiagente oferecem maior flexibilidade e adaptabilidade, pois os agentes podem reagir autonomamente às mudanças no ambiente, buscando sempre as melhores soluções para os problemas em questão sendo cada vez mais utilizados em áreas críticas como medicina, veículos autônomos, justiça criminal e mercados financeiros (CALVARESI et al., 2019).

Na área da tecnologia, os sistemas multiagente surgem como uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de soluções inovadoras e eficazes, impulsionando a otimização de processos, o aprimoramento da eficiência e a

abertura de novas oportunidades de negócio. Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo geral; compreender as características e funcionalidades fundamentais das ferramentas, identificando as diferentes abordagens e paradigmas utilizados em sua criação.

O presente estudo justifica-se devido a sua relevância para a área da tecnologia.

A indagação norteadora que guia esta pesquisa é: Quais orientações podem ser oferecidas a desenvolvedores e pesquisadores ao escolher e empregar ferramentas de software para a efetiva construção de sistemas multiagentes, com base em uma análise crítica da literatura existente?

Em suma, as questões levantadas neste estudo são essenciais para garantir o sucesso na construção de sistemas multiagentes, destacando a importância da escolha adequada das ferramentas de software e da constante atualização e aprimoramento das práticas de desenvolvimento nesta área em constante evolução.

Neste contexto, é relevante destacar que esse mapeamento está inserido em um protocolo bem detalhado e conta com uma equipe interdisciplinar com o intuito de examinar diversas categorias de ferramentas, tais como plataformas de desenvolvimento, *frameworks*, bibliotecas e ambientes de programação dedicados a sistemas multiagentes.

No que tange a estrutura organizacional, o trabalho está dividido, seguindo a ordem: introdução, objetivos, justificativa, problemática, referencial teórico, metodologia de pesquisa, resultados e discussões e conclusão. Na introdução apresenta-se uma contextualização do tema, o problema de pesquisa.

Em seguida são apresentados os objetivos do estudo, Justificativa, indagações norteadoras e o desenvolvimento do referencial teórico que se concentrou em apresentar temas interligados ao estudo.

A classificação da pesquisa, bem como as etapas de realização e a metodologia de categorização e análise dos dados, foram abordadas no capítulo dedicado à abordagem. Os achados e conclusões são então apresentados e debatidos e, por fim, são feitas as considerações finais e as referências utilizadas para elaboração do artigo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Compreender as características e funcionalidades fundamentais das ferramentas, identificando as diferentes abordagens e paradigmas utilizados em sua criação.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender as principais características e funcionalidades das ferramentas de software disponíveis para construção de sistemas multiagentes.
- Identificar as diferentes abordagens e paradigmas utilizados no desenvolvimento de ferramentas de software para sistemas multiagentes.
- Avaliar a eficácia e a usabilidade das ferramentas de software existentes na construção de sistemas multiagentes, considerando critérios como facilidade de uso, desempenho e escalabilidade.

3 JUSTIFICATIVA

A escolha deste tema justifica-se pela grande demanda atual que ele tem na sociedade. Atualmente, se fala em sustentabilidade em todos os meios de comunicação, nas universidades, nas escolas e nas empresas. Por isso, fica caracterizada a necessidade de compreender melhor tal fenômeno. Além disso, parte-se também de motivações pessoais, de afinidade e interesse pelo assunto. A união dos dois fatores, demanda social e interesse pessoal explicam de forma satisfatória as razões pelas quais inicia-se este estudo. Tem sua relevância para a área da tecnologia.

Em um contexto em que a inteligência artificial desempenha um papel

crucial, é fundamental estar atualizado e conhecer as melhores práticas e ferramentas disponíveis para a construção de sistemas multiagentes eficazes. Com isso, o presente estudo pretende fornecer insights valiosos para desenvolvedores e pesquisadores na escolha e utilização de ferramentas de software, visando otimizar o processo de desenvolvimento e maximizar a qualidade dos sistemas resultantes.

4 PROBLEMATICA

Quais orientações podem ser oferecidas a desenvolvedores e pesquisadores ao escolher e empregar ferramentas de software para a efetiva construção de sistemas multiagentes, com base em uma análise crítica da literatura existente?

As indagações que guiam esta pesquisa são:

a) Quais são as características e funcionalidades primordiais das ferramentas de software mais empregadas na elaboração de sistemas multiagentes?

b) Quais paradigmas e métodos de desenvolvimento são adotados pelas ferramentas de software para sistemas multiagentes, e como influenciam o processo de desenvolvimento e o desempenho dos sistemas resultantes?

c) Como se comparam as ferramentas de software disponíveis para sistemas multiagentes em termos de facilidade de uso, desempenho e escalabilidade?

d) Quais são as tendências emergentes no desenvolvimento de ferramentas de software para sistemas multiagentes, e de que forma estão moldando a evolução desse campo?

5.REFERÊNCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta os conceitos utilizados para desenvolver esse trabalho. Na Seção 5.1 abordaremos a Inteligência Artificial (AI), os tipos e características. Na seção 5.2 discorre-se sobre os Agentes de AI e o Sistema Multiagente.

5.1 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial consiste na capacidade de as máquinas realizarem tarefas que, normalmente, exigiriam inteligência humana. Isso é possível graças aos algoritmos e ao aprendizado de máquina, que permitem que os sistemas aprendam com os dados e sejam capazes de tomar decisões de forma autônoma (BARBOSA & PORTES, 2023).

No campo da educação, por exemplo, a inteligência artificial tem sido empregue para desenvolver soluções inovadoras, como a personalização do ensino, adaptação de conteúdos de acordo com o perfil do aluno e a criação de ambientes virtuais de aprendizagem mais interativos e eficientes (JÚNIOR et al., 2023).

Cogita-se que a área de estudo da Inteligência Artificial teve início após a Segunda Guerra Mundial, com a publicação do artigo "Computing Machinery and Intelligence" pelo matemático inglês Alan Turing, e o termo em si foi criado em 1956. Herbert Simon, Allen Newell, John McCarthy, Warren McCulloch, Walter Pitts e Marvin Minsky foram os principais idealizadores dessa área (SICHMAN, 2021).

Foi somente com o advento do computador moderno que a Inteligência Artificial ganhou os meios necessários para se tornar uma área de estudo completa, com suas próprias questões e metodologias (REIS.; DE MIRANDA & DAMY, 2019).

Segundo o autor De Castro (2020) ao longo do tempo, o desenvolvimento da IA foi além dos programas clássicos de xadrez e conversão, abrangendo campos como visão computacional, análise de voz, lógica difusa, redes neurais artificiais e outros. Inicialmente, os modelos de IA buscavam replicar o pensamento humano, mas posteriormente passaram a focar em reproduzir habilidades como criatividade, autoaperfeiçoamento e uso da linguagem.

Há três principais tipos de inteligência artificial, a Inteligência Artificial Limitada (ANI), Inteligência Artificial Geral (AGI) e Superinteligência (ASI). A inteligência artificial forte, também conhecida como inteligência artificial geral (AGI) ou IA geral, é um conceito teórico utilizado para descrever um aspecto do desenvolvimento da inteligência artificial. Se os pesquisadores conseguirem criar uma IA forte, a máquina teria uma inteligência equivalente à humana, seria consciente de si mesma e capaz de resolver problemas, fazer descobertas e planejar para o futuro (SASTRY, et al., 2024).

Na perspectiva de Sastry et al., (2024) o objetivo da IA forte é desenvolver

máquinas inteligentes que não se diferenciem da mente humana. No entanto, assim como uma criança, a máquina de IA precisaria aprender através de entradas e experiências, evoluindo continuamente e aprimorando suas habilidades ao longo do tempo.

Corroboram com a ideia a autora Kaufman (2020) ao ressaltar que enquanto alguns, como Marvin Minsky, são otimistas sobre as possibilidades futuras da IA, outros acreditam que os sistemas de IA forte podem nunca ser desenvolvidos até que métricas claras de sucesso, como inteligência e compreensão, sejam estabelecidas. Por enquanto, o teste de Turing é utilizado como referência para avaliar a inteligência de um sistema de IA (DE TONI et al., 2022).

Já a inteligência artificial fraca, também conhecida como IA restrita, concentra-se em executar uma tarefa específica, como responder a perguntas com base nas entradas dos usuários ou jogar xadrez. Ela é capaz de realizar um único tipo de tarefa, ao contrário da inteligência artificial forte, que pode desempenhar várias funções e até mesmo aprender a resolver novos problemas por conta própria (CAMPOS, 2020).

A tecnologia de inteligência artificial fraca requer a interação humana para estabelecer os parâmetros dos seus algoritmos de aprendizagem e disponibilizar dados de treinamento necessários para assegurar sua eficácia. Exemplos de IA fraca incluem carros autônomos e assistentes virtuais como a Siri (QUARESMA, 2021).

Com relação a ASI a autora Boden (2016) enfatiza que a IA atualmente apresenta limitações significativas, focando principalmente na racionalidade intelectual em detrimento da inteligência social/emocional. Além disso, o alto investimento financeiro necessário para desenvolver uma ASI e a incerteza em relação aos avanços computacionais futuros também são fatores a serem considerados em seu desenvolvimento.

Logo, enquanto a inteligência artificial forte luta contra o persistente e intratável problema da consciência, prometendo, mas nunca entregando a capacidade cognitiva igual ou superior à humana, a inteligência artificial geral, por sua vez, avança rapidamente, desenvolvendo sistemas especialistas cada vez mais sofisticados a cada dia.

5.3 Agentes de IA e Sistemas Multiagentes

Agentes de inteligência artificial são entidades projetadas para perceber seu ambiente e tomar medidas para atingir metas específicas. Podem ser entidades físicas ou baseadas em software, geralmente construídas com técnicas de inteligência artificial. Eles percebem o ambiente por meio de sensores, processam informações com algoritmos ou modelos e agem usando atuadores ou outros meios (LIMA.; NETTO & DE MENEZES).

Para o autor Sichman (2021) esses agentes variam de sistemas simples que seguem regras predefinidas a entidades complexas e autônomas que aprendem e se adaptam com base em suas experiências. São utilizados em diferentes áreas, como robótica, jogos, assistentes virtuais e veículos autônomos. Podem ser reativos (respondem diretamente a estímulos), deliberativos (planejam e tomam decisões) ou ter capacidades de aprendizagem (adaptam seu comportamento com base em dados e experiências).

Um exemplo de aplicação é a criação de programas de agentes racionais com processamento de linguagem natural. A Programação Neurolingüística (PNL) é um campo da inteligência artificial que se concentra na interação entre humanos e computadores por meio de linguagem natural. Envolve o desenvolvimento de algoritmos e modelos para que os computadores possam compreender, interpretar e gerar linguagem humana (LEITE & RIBEIRO, 2023).

De acordo com os autores Monard & Baranauskas (2003), a Processamento Natural de Linguagem (PNL) é fundamental para diversas aplicações de Inteligência Artificial, tais como chatbots, tradução de idiomas, análise de sentimentos e resumo de textos.

Os modelos de aprendizado de máquina, incluindo a aprendizagem profunda, desempenham um papel crucial na PNL, sendo capazes de identificar padrões e relações nos dados linguísticos. Isso permite aos agentes de IA generalizar e atribuir significado a uma linguagem nova e única.

Esses modelos são treinados em conjuntos de dados textuais extensos, o que os capacita a compreender e gerar linguagem com fluência e precisão comparáveis à capacidade humana (MONARD & BARANAUSKAS, 2003).

Ao analisarmos a diversidade de agentes de inteligência artificial e seu impacto na sociedade percebemos que os agentes reflexos simples, por exemplo,

são mais indicados para tarefas com baixa complexidade, uma vez que reagem apenas à percepção atual e não consideram o histórico de experiências anteriores (VICENTE, 2021).

Por outro lado, os agentes reflexivos baseados em modelos possuem uma abordagem mais avançada, e são capazes de lidar com tarefas mais complexas, pois mantêm um modelo interno do ambiente e tomam decisões com base nesse modelo (LORENZ & FRANZATO, 2018).

Já os agentes baseados na utilidade são ideais para situações em que é necessário pesar diferentes opções e selecionar aquela que tem a maior utilidade esperada. Por sua vez, os agentes de aprendizagem são projetados para operar em ambientes desconhecidos, aprendendo com suas experiências e adaptando suas ações ao longo do tempo (SILVEIRA.; VICARI & GOMES, 2003).

Os agentes de crença-desejo-intenção têm a capacidade de modelar o comportamento humano, mantendo crenças sobre o ambiente, desejos e intenções. Isso os torna adequados para lidar com sistemas complexos (WEISS, 1999). Por fim, os agentes baseados na lógica utilizam o raciocínio dedutivo para tomar decisões, com base em regras lógicas, sendo adequados para tarefas que exigem um raciocínio lógico complexo (DOS SANTOS & NOVO, 2024).

Os Sistemas Multiagentes conforme exposto anteriormente são sistemas compostos por múltiplos agentes autônomos e inteligentes que interagem entre si para cumprir um objetivo em comum. Esses agentes possuem a capacidade de perceber o ambiente, tomar decisões e agir de forma independente, mas também colaborativa (CALVARESI et al., 2019).

Existem diferentes tipos de sistemas baseados em agentes, como os sistemas reativos, que respondem a estímulos do ambiente, os sistemas cognitivos, que possuem capacidade de aprendizado e adaptação, e os sistemas sociais, que se baseiam em interações sociais para alcançar seus objetivos (CARDOSO & FERRANDO, 2021).

Na Engenharia de Software, os Sistemas Multiagentes são utilizados para desenvolver soluções complexas e distribuídas, que exigem cooperação e coordenação entre diferentes partes do sistema. Eles permitem a modelagem de sistemas que se assemelham mais à forma como os seres humanos interagem, o que torna sua implementação mais eficiente e eficaz (JULIAN & BOTTI, 2019).

Diversas plataformas de desenvolvimento de Sistemas Multiagentes estão

disponíveis no mercado, oferecendo diferentes funcionalidades e ferramentas para facilitar a criação e manutenção desses sistemas.

Algumas das mais conhecidas são a JACK Intelligent Agents, a JADE (Java Agent DEvelopment Framework), que permitem a criação de ambientes de simulação e experimentação para testar e validar os sistemas desenvolvidos (CARDOSO & FERRANDO, 2021).

Para o autor Drew (2021) essas plataformas auxiliam os desenvolvedores a projetar e implementar sistemas multiagentes de forma mais rápida e eficiente, aumentando a qualidade e a robustez das soluções produzidas.

5.3 Características e Funcionalidades Primordiais

As ferramentas de software para construção de sistemas multiagentes apresentam uma variedade de características e funcionalidades que são essenciais para o desenvolvimento eficaz desses sistemas. Entre as principais características, destacam-se:

Interface de Desenvolvimento: Ambientes de desenvolvimento integrados (IDEs) que facilitam a criação e a visualização de agentes.

Suporte a Protocolos de Comunicação: Implementação de protocolos que permitem a interação entre agentes, como FIPA e KQML.

Modelagem e Simulação: Ferramentas que permitem a modelagem de comportamentos e a simulação de interações entre agentes.

Escalabilidade: Capacidade de suportar um número crescente de agentes sem perda significativa de desempenho.

5.4 Paradigmas e Métodos de Desenvolvimento

As ferramentas de software para sistemas multiagentes adotam diferentes paradigmas e métodos de desenvolvimento, que influenciam diretamente o processo de criação e o desempenho dos sistemas resultantes. Os principais paradigmas incluem:

Paradigma Orientado a Objetos: Facilita a modelagem de agentes como objetos que encapsulam estado e comportamento.

Paradigma Baseado em Conhecimento: Utiliza representações de conhecimento para guiar a tomada de decisão dos agentes.

Métodos Ágeis: Promovem iterações rápidas e feedback contínuo, permitindo adaptações durante o desenvolvimento.

Esses paradigmas impactam a flexibilidade, a manutenibilidade e a eficiência dos sistemas multiagentes.

5.5 Comparação das Ferramentas de Software.

A comparação das ferramentas de software disponíveis para sistemas multiagentes pode ser realizada em termos de:

Facilidade de Uso: Avaliação da curva de aprendizado e da intuitividade da interface.

Desempenho: Medidas de eficiência em termos de tempo de resposta e uso de recursos.

Escalabilidade: Capacidade de suportar um aumento no número de agentes sem degradação do desempenho.

Ferramentas como JADE, NetLogo e AnyLogic são frequentemente analisadas sob esses critérios, apresentando vantagens e desvantagens que devem ser consideradas na escolha da ferramenta adequada.

5.6 Tendências Emergentes

As tendências emergentes no desenvolvimento de ferramentas de software para sistemas multiagentes incluem:

Integração com Inteligência Artificial: A incorporação de técnicas de aprendizado de máquina para melhorar a autonomia e a adaptabilidade dos agentes.

Desenvolvimento Colaborativo: Ferramentas que permitem a colaboração entre múltiplos desenvolvedores em tempo real.

Ambientes de Simulação em Tempo Real: Adoção de plataformas que possibilitam a simulação de interações em tempo real, aumentando a relevância dos resultados obtidos.

Essas tendências estão moldando a evolução do campo, promovendo inovações que ampliam as capacidades dos sistemas multiagentes.

5.7 Orientações para Desenvolvedores e Pesquisadores

Com base na análise crítica da literatura existente, algumas orientações podem ser oferecidas a desenvolvedores e pesquisadores ao escolher e empregar ferramentas de software para a construção de sistemas multiagentes:

Avaliar as Necessidades do Projeto: Compreender os requisitos específicos do sistema a ser desenvolvido antes de escolher a ferramenta.

Considerar a Comunidade e o Suporte: Optar por ferramentas que possuam uma comunidade ativa e suporte técnico disponível.

Realizar Testes Práticos: Implementar protótipos utilizando diferentes ferramentas para avaliar a adequação em um contexto real.

6. METODOLOGIA DA PESQUISA

Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura, sobre ferramentas de software para construção de sistemas multiagentes para compreender as características, funcionalidades e eficácia das ferramentas disponíveis, bem como identificar tendências e lacunas na literatura existente relacionada a este tema.

A metodologia empregada na construção da pesquisa buscou contribuir para que a análise sobre a utilização **ferramentas de software para construção de sistemas multiagentes**. De acordo com Vergara (2011, p. 43), “pesquisa bibliográfica é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral.”

A metodologia da pesquisa envolve a aplicação de uma revisão sistemática da literatura para identificar, analisar e sintetizar as informações relevantes disponíveis sobre o tema. Segundo Okoli et al., (2019) este tipo de abordagem metodológica é fundamental para garantir a confiabilidade e validade das conclusões obtidas, além de oferecer uma visão panorâmica e abrangente do estado da arte neste campo de estudo.

A pesquisa também possa por uma abordagem qualitativa e quantitativa, uma vez que analisou elementos não mensuráveis, como artigos, monografias sobre o tema, e quantitativa devido à tabulação que possibilitaram transformar em tabelas as informações coletadas.

Esta pesquisa pode ser classificada quanto aos fins, como exploratória, pois tem como objetivos desencadear uma maior familiaridade com o problema, tornando-o mais conhecido e aprimorar ideias, além de descobrir intuições (GIL, 2002). Também como descritiva, pois descreve a característica de determinado fenômeno e pode estabelecer relações entre variáveis (GIL, 2002). Portanto, visou-se registrar algumas variáveis, verificando e correlacionando-as, para um exame mais completo e preciso, para ter uma maior compreensão do tema em estudo. Quanto aos meios técnicos, para fundamentar o estudo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, por meio de livros, artigos e materiais digitais.

Diante desta realidade, as perguntas que nortearam o estudo estão apresentadas no Quadro 1.

Pergunta	Descrição da Pergunta
P1	Quais são as principais características e funcionalidades das ferramentas de software mais utilizadas na construção de sistemas multiagentes?
P2	Como as ferramentas de software existentes para sistemas multiagentes se comparam em termos de facilidade de uso?
P3	Como as ferramentas de software existentes para sistemas multiagentes se comparam em termos de desempenho e escalabilidade?

Quadro 1: Perguntas de Pesquisa

A pergunta de pesquisa desta Revisão Sistemática de Literatura (RSL) é baseada na definição dos componentes da estratégia PICO. Essa estratégia pode ser utilizada para formular perguntas de pesquisa em várias áreas, a fim de identificar de maneira adequada as informações essenciais para a resolução do problema em questão. Os critérios a serem considerados são apresentados no

Quadro 2.

Cr�terios	Descri�o
Popula�o	Produ�oes cient�ficas sobre o uso de ferramentas de software em sistemas multiagentes.
Interven�o	Avalia�o das caracter�sticas e funcionalidades das ferramentas de software para sistemas multiagentes.
Controle	Estudos que abordam a compara�o entre diferentes ferramentas de software para sistemas multiagentes.
Resultado	Utiliza�o das ferramentas de software no desenvolvimento de sistemas multiagentes.

Quadro 2: Criterios e Descri o

6.1 String de busca

Após a formula o da questão de pesquisa, o próximo passo   iniciar a busca bibliográfica de evidências. Primeiramente, foram selecionadas as bases de dados eletrônicas que são relevantes para a área de pesquisa da revisão, seguido a escolha de termos, descritores ou palavras-chaves para a busca. Nessa revisão, optou-se que a palavra-chave e seus sinônimos seriam:

Termos	Sin�nimos
Ferramentas de software; Sistemas multiagentes; Desenvolvimento de sistemas multiagentes; Plataformas de desenvolvimento multiagente; Ambientes de simula�o multiagente; Sistemas multiagente distribu�dos; Agentes aut�nomos; Intelig�ncia artificial distribu�da.	Ambientes de agentes; Frameworks de agentes; Plataformas de simula�o distribu�da; Sistemas baseados em agentes; Modelagem multiagente; Arquitetura de agentes; Sistemas de coordena�o de agentes; Sistemas multiagente adaptativos; T�cnicas de programa�o de agentes; Linguagens de programa�o multiagente; Sistemas de negocia�o multiagente; Sistemas multiagente de aprendizado de m�quina; Modelos de intera�o entre agentes.

Quadro 3: Termos de Busca

Ressalta-se a importancia de bases de dados confiáveis e atualizadas para a realiza o de uma Revisão Sistemática da Literatura de qualidade. Para a pesquisa

selecionou-se artigos relevantes no idioma português e inglês. Descritos na tabela 01.

Plataforma	Link de acesso	Cobertura	Acesso
Scielo	. http://scielo.org	Ciências da saúde, ciências sociais e humanas, ciências exatas e da terra, agricultura e tecnologia.	Gratuito
Scopus	- https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus	Multidisciplinar.	Pago
Springer	- https://link.springer.com/	Multidisciplinar.	Pago
IEEE	- https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp	Engenharia, tecnologia da informação, computação, eletrônica.	Pago
ACM	- https://dl.acm.org/	Computação, ciência da informação, tecnologia da informação.	Pago
PubMed	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/	Ciências da saúde.	Gratuito
Web of Science	- https://clarivate.com	Multidisciplinar.	Pago

Tabela 1: Comparativo de plataformas de pesquisa científica

As plataformas mencionadas oferecem um vasto acervo de artigos científicos para uma busca mais eficiente e abrangente. O Scielo reúne revistas de países de língua portuguesa e espanhola, facilitando o acesso a estudos nessas línguas. O Scopus é uma das maiores bases de dados do mundo, cobrindo várias áreas de conhecimento.

A Springer e a IEEE também são importantes bases de dados, enquanto a ACM é específica para a Ciência da Computação. O PubMed e o Web of Science possuem grande credibilidade no meio acadêmico. A diversidade e amplitude dessas plataformas contribuem significativamente para a produção de conhecimento científico de alta qualidade.

6.1.2 Método de buscas de bases

Utilizar-se-á métodos de pesquisa de fontes para identificar, coletar e avaliar informações relevantes provenientes de diversas fontes de dados. O objetivo é garantir a abrangência e confiabilidade dos dados a serem utilizados na revisão sistemática da literatura sobre ferramentas de software para sistemas multiagentes.

Para a identificação de fontes, realizar-se-á um levantamento abrangente em bases de dados acadêmicas, repositórios institucionais, bibliotecas digitais e

periódicos científicos especializados. A diversidade dessas fontes visa proporcionar uma visão completa sobre as ferramentas de software para sistemas multiagentes.

Na seleção de estudos e documentos relevantes, serão estabelecidos critérios claros de inclusão e exclusão para selecionar estudos que abordem diretamente as características, funcionalidades e comparações entre diferentes ferramentas de software. Além disso, serão considerados artigos científicos, relatórios técnicos e outros documentos pertinentes que ofereçam insights sobre o uso dessas ferramentas.

Revisões sistemáticas anteriores foram utilizadas como fonte adicional de referências para contextualizar as características e funcionalidades das ferramentas de software para sistemas multiagentes. Incluiu-se a busca em fontes não convencionais, como fóruns de discussão, comunidades online e websites de desenvolvedores, para identificar perspectivas menos exploradas sobre o tema.

Foram aplicados critérios rigorosos para validar a qualidade e relevância das fontes identificadas, incluindo a reputação dos autores, a validade metodológica dos estudos e a consistência das descobertas.

Esses métodos têm como objetivo fornecer uma base sólida para a revisão sistemática da literatura sobre o tema, permitindo uma compreensão aprofundada do estado da arte no campo das ferramentas de software para sistemas multiagentes.

6.1.3 Condução

A string genérica de busca a princípio era da seguinte forma:

<p><i>("sistemas multiagentes" OR multi-agent systems") AND ("Plataformas" OR "Platforms") AND ("inteligência artificial" OR "artificial intelligence")</i></p>

Quadro 4: String Genérica de Busca

Ao constatar um erro na definição das palavras-chave por meio de um resultado errôneo encontrado, o processo descrito no Quadro 4 foi reiniciado e a string utilizada foi definida da seguinte maneira Quadro 5.

Base de dados	String
PubMed	((<i>“Development of multi-agent systems”</i> OR <i>“Desenvolvimento de sistemas multiagentes”</i>) AND (<i>“Multi-Agent Development Platforms”</i> OR <i>“Plataformas de desenvolvimento multiagentes”</i> AND (<i>“technology”</i> OR <i>“tecnologia”</i>)))
Scielo	
Scopus	
Springer	
IEEE	
ACM	

Quadro 5: String Termos de Busca.

6.2 Seleção dos estudos

6.2.1 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os Critérios de Inclusão dos estudos recuperados são apresentados no Quadro 6.

Critério	Descrição do Critério de Inclusão
C11	Estudos que abordem diretamente o desenvolvimento, características, funcionalidades ou comparações entre diferentes ferramentas de software para sistemas multiagentes.
C12	Artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, relatórios técnicos, dissertações, teses ou trabalhos de conclusão de curso relevantes.
C13	Estudos publicados nos últimos 10 anos.
C14	Estudos para os quais o texto completo esteja acessível para análise e revisão.

Quadro 6: Critérios de Inclusão

Os Critérios de Exclusão dos estudos recuperados são apresentados no Quadro 7.

Critério	Descrição do Critério de Inclusão
C11	Estudos que abordem diretamente o desenvolvimento, características, funcionalidades ou comparações entre diferentes ferramentas de software para sistemas multiagentes.
C12	Artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares, relatórios técnicos, dissertações, teses ou trabalhos de conclusão de curso relevantes.
C13	Estudos publicados nos últimos 10 anos.
C14	Estudos para os quais o texto completo esteja acessível para análise e revisão.
Critério	Descrição do Critério de Exclusão
CE1	Estudos que não abordem diretamente o desenvolvimento ou análise de ferramentas de software para sistemas multiagentes.
CE2	Estudos duplicados ou redundantes já incluídos na análise.
CE3	Estudos com métodos inadequadamente descritos ou com problemas

	metodológicos significativos que comprometam a confiabilidade dos resultados.
CE4	Resumos de conferências sem acesso ao texto completo, relatórios não técnicos ou de divulgação, trabalhos não revisados por pares, como não avaliados.

Quadro 7: Critérios de Exclusão

6.2.2 Definição de tipos de estudos

Neste levantamento sistemático sobre ferramentas de software para sistemas multiagentes, será adotada uma abordagem ampla na definição dos tipos de estudos a serem incluídos na análise. A seleção dos estudos seguirá os seguintes critérios:

- **Artigos Científicos:** Artigos publicados em periódicos revisados por pares serão considerados uma fonte crucial de evidências, devido ao processo rigoroso de revisão por especialistas que garantem a qualidade e credibilidade das informações apresentadas.
- **Relatórios Técnicos:** Relatórios técnicos de instituições de pesquisa, organizações governamentais ou empresas da indústria serão incluídos para fornecer insights adicionais sobre o desenvolvimento e aplicação prática das ferramentas de software para sistemas multiagentes, contendo informações detalhadas sobre metodologias, implementações e resultados de pesquisas relevantes.
- **Dissertações, Teses e Trabalhos de Conclusão de Curso:** Trabalhos acadêmicos relacionados ao tema serão considerados para ampliar a diversidade de perspectivas e abordagens abordadas na revisão, proporcionando insights valiosos oriundos de pesquisas originais conduzidas por estudantes de pós-graduação.
- **Estudos de Caso e Projetos Práticos:** Experiências reais de desenvolvimento e aplicação de ferramentas de software para sistemas multiagentes serão incluídas para enriquecer a compreensão prática do

tema, fornecendo informações sobre desafios, soluções e melhores práticas encontradas na implementação de tais sistemas.

Desta forma, a inclusão desses tipos de estudo permitirá uma análise abrangente e multifacetada das ferramentas de software para sistemas multiagentes, abarcando tanto a pesquisa acadêmica quanto a aplicação prática dessas tecnologias em diversos contextos.

6.2.3 Critérios de Qualidade e Campos do formulário de qualidade

Os Critérios de Qualidade dos estudos recuperados são apresentados no quadro 8:

Critério	Descrição do Critério de Qualidade
CQ1	Coerência do texto.
CQ2	Coesão textual.
CQ3	Forma objetiva de uso dos métodos de coleta.
CQ4	Métodos de coleta foram citados no texto.
CQ5	Detalhamento da aplicação prática dos Métodos de coleta.

Quadro 8: Critérios de Qualidade

O campo de formulário de qualidade em questão visa avaliar a qualidade de um texto, com foco em cinco aspectos específicos:

Critério	Descrição do Critério de Qualidade
CQ1	Coerência do texto.
CQ2	Coesão textual.
CQ3	Forma objetiva de uso dos métodos de coleta.
CQ4	Métodos de coleta foram citados no texto.
CQ5	Detalhamento da aplicação prática dos Métodos de coleta.
Campo	Lista para escolha
Coerência do texto	Sim, Não
Coesão textual	Sim, Não
Forma Objetiva de uso dos MC	Sim, Não
MC Foram citados	Sim, Não
Detalhamento aplicação prática	Sim, Não

Quadro 9: Campos de critérios de qualidade

6.2.4 Extração de informações

Nesta seção, abordamos o processo de coleta de dados específicos dos estudos selecionados durante a revisão sistemática de literatura (RSL). Durante esta etapa, os pesquisadores extraem informações relevantes e essenciais dos estudos incluídos, assegurando que as descobertas sejam documentadas de forma sistemática e organizada.

Os critérios de extração delineiam as características particulares que os pesquisadores procurarão em cada estudo para reunir seis informações significativas. A seguir, examinaremos alguns dos campos apresentados no Quadro 10:

Campo	Tipo	Conteúdo
Usou os MCs como ferramenta de avaliação	Pick on list	{Sim, Não}
Abordagem de aprendizagem	Pick on list	{Significativa, Construtivista, Ambas}
Estratégias de Aprendizagem	Pick on Many	[Aprendizagem mecânica, Aprendizagem Passiva, Memorização, Recuperação de dados]
Metodologia	Text	
Usou alguma métrica de Avaliação	Pick on list	{Sim, Não}
Houve coleta de dados	Pick on list	{Sim, Não}
Houve análise de dados	Pick on list	{Sim, Não}
Software de análise de dados	Text	
Usado no ensino	Pick on Many	[Básico, Fundamental, Superior]

Quadro 10: Campos de critérios de extração

6.3.5 Processo de Seleção das Publicações

O processo de seleção dos artigos para esta revisão sistemática sobre ferramentas de software para sistemas multiagentes seguirá critérios específicos, com o objetivo de identificar estudos que possam contribuir de forma relevante para

responder à pergunta de pesquisa proposta. As etapas do processo incluem a Busca Inicial, será realizada uma busca abrangente em bases de dados acadêmicas, utilizando termos e sinônimos previamente definidos.

A busca focar-se-á em estudos que abordem as características, funcionalidades e comparações entre diferentes ferramentas de software para sistemas multiagentes. Posteriormente os resultados da busca serão submetidos a uma triagem inicial com base em critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Os estudos serão avaliados quanto à relevância temática, tipo de estudo, ano de publicação, idioma e disponibilidade do texto completo, sendo excluídos aqueles que não atenderem a esses critérios.

Os títulos e resumos dos estudos selecionados na triagem inicial serão revisados para verificar sua relevância potencial para a revisão. Estudos não relacionados ao desenvolvimento ou análise de ferramentas de software para sistemas multiagentes serão descartados, enquanto os pertinentes serão selecionados para análise completa. Os estudos selecionados serão submetidos a uma leitura completa para avaliar sua adequação e contribuição para a revisão, aplicando critérios de inclusão e exclusão de forma detalhada em relação à pergunta de pesquisa proposta.

Cada etapa do processo será documentada detalhadamente, incluindo critérios aplicados, motivos para inclusão ou exclusão de estudos específicos e possíveis discrepâncias entre revisores, garantindo transparência e replicabilidade do processo.

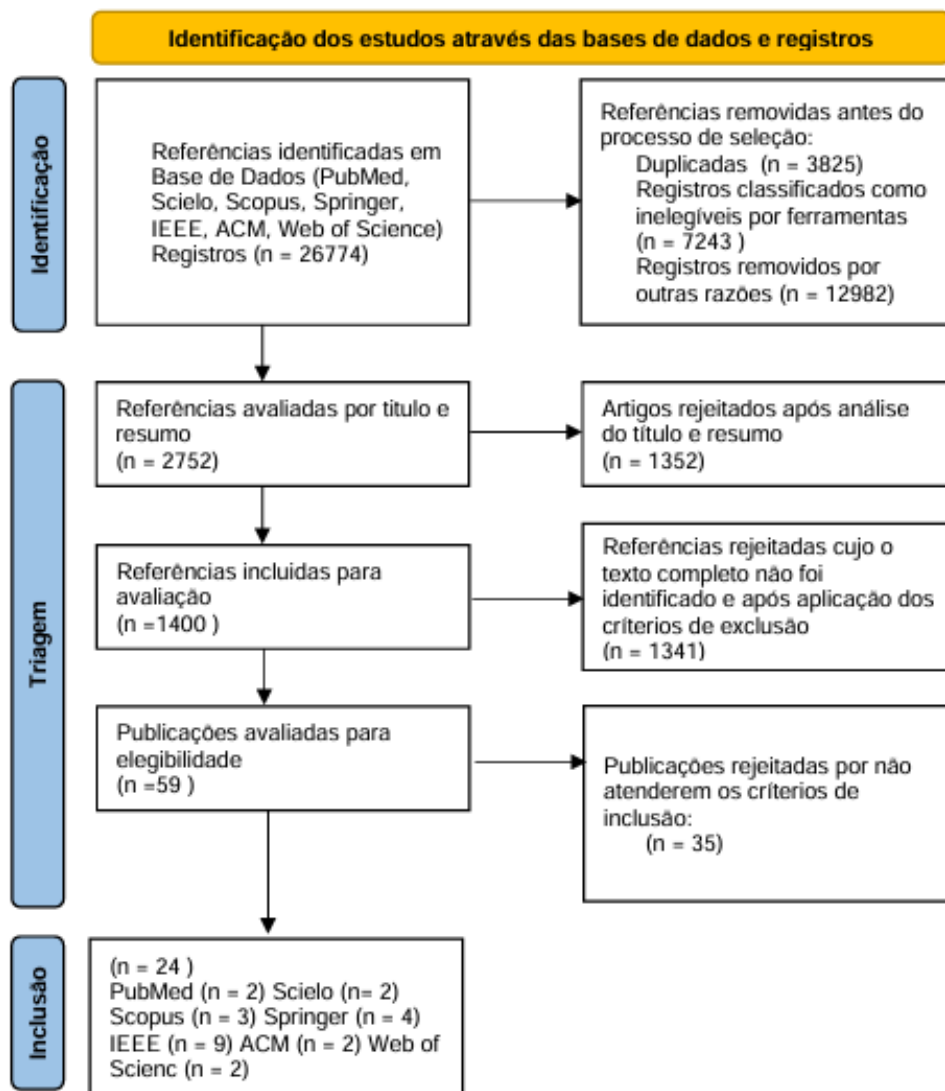
Em caso de divergências entre revisores, as discrepâncias serão discutidas e resolvidas por consenso, podendo contar com a consulta de um terceiro revisor, se necessário. Ao final do processo, espera-se identificar estudos relevantes que ofereçam insights significativos sobre as características, funcionalidades e comparações entre ferramentas de software para sistemas multiagentes, contribuindo para uma revisão sistemática abrangente e informativa.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A busca nos bancos de dados selecionados resultou em um total de 26.774 artigos. No entanto, após a aplicação de critérios de inclusão, 3.825 publicações foram excluídas, restando um total de 2.724 artigos para análise mais

detalhada. Dentre esses artigos, 24 foram selecionados para leitura e análise completa, distribuídos em diferentes bases de dados, como PubMed, Scielo, Scopus, Springer, IEEE, ACM e Web of Science.

Esses estudos foram escolhidos com um processo de busca e seleção detalhado e transparente, seguindo o Fluxograma 1 para a apresentação do processo de seleção de estudos.



Fluxograma 1: Adaptado de PRISMA (2020)

Os 24 artigos escolhidos para a extração de dados foram listados no Quadro 11, com as colunas, autor, ano, título e objetivo. Esses artigos serão usados nas análises discutidas na seção discussão.

Autor	Ano	Título	Objetivo
Interiano - Valverde et al.	2020	A communication protocol design aimed at a multiagent system framework for miniaturized satellite systems.	Projetar um protocolo de comunicação para um sistema multiagente para minissatélites.
Chan-Zheng, Carvajal-Godinez	2019	A Multi-Agent System Framework for Miniaturized Satellite.	Propor um framework multiagente para minissatélites.
Pandey et al.	2023	Predefined Time Synchronization of Multi-Agent Systems: A Passivity Based Analysis.	Analisar a sincronização de tempo predefinida em sistemas multiagentes.
Zhang et al.	2022	Formation deployment control of multi-agent systems modeled with PDE.	Controlar o posicionamento de formação de sistemas multiagentes modelados com EDPs.
Mponela et al.	2023	MASSAI: Multi-agent system for simulating sustainable agricultural intensification of smallholder farms in Africa.	Simular a intensificação agrícola sustentável de pequenas propriedades na África usando um sistema multiagente.
Dovrat, Bruckstein	2021	AntAlate-A Multi-Agent Autonomy Framework.	Introduzir o framework multiagente AntAlate.
Martin et al.	2018	A Generic Multi-Layer Architecture Based on ROS-JADE Integration for Autonomous Transport Vehicles.	Propor uma arquitetura multicamadas para veículos autônomos usando integração ROS-JADE.
Kalton et al.	2016	Multi-Agent-Based Simulation of a Complex Ecosystem of Mental Health Care.	Simular um ecossistema complexo de cuidados de saúde mental usando um sistema multiagente.
Wang et al.	2022	A New Topology-Switching Strategy for Fault Diagnosis of Multi-Agent Systems Based on Belief Rule Base.	Propor uma estratégia de troca de topologia para diagnóstico de falhas em sistemas multiagentes.
Oliveira et al.	2022	Multi-Agent Interaction to Assist Visually-Impaired and Elderly People.	Auxiliar pessoas com deficiência visual e idosos através da interação multiagente.
Alruwaili	2020	Artificial intelligence and multi agent based distributed ledger system for better privacy and security of electronic healthcare records.	Aprimorar a privacidade e segurança de prontuários eletrônicos de saúde usando inteligência artificial e sistema de razão distribuída baseado em multiagentes.
Barriuso et al.	2018	Combination of Multi-Agent Systems and Wireless Sensor Networks for the Monitoring of Cattle.	Monitorar gado usando a combinação de sistemas multiagentes e redes de sensores sem fio.
Zheng et al.	2020	A quality-oriented digital twin modelling method for manufacturing processes based on a multi-agent architecture.	Propor um método orientado à qualidade para modelagem digital de processos de manufatura baseado em arquitetura multiagente.
Wrona et al.	2023	Overview of Software Agent Platforms Available in 2023.	Fornecer uma visão geral das plataformas de agentes de software disponíveis em 2023.
Sanz, Urquía	2023	Combining PDEVs and Modelica for describing agent-based models.	Combinar PDEVs e Modelica para descrever modelos baseados em agentes.
Calegari et al.	2021	Logic-based technologies for multi-agent systems: a systematic literature review.	Revisar sistematicamente tecnologias baseadas em lógica para sistemas multiagentes.
Quadro 11: Artigos selecionados (continua)			

Xie, Xu	2023	Design and Implementation of Physical Education Teaching Management System Based on Multi-agent Model.	Projetar e implementar um sistema de gestão de ensino de educação física baseado em modelo multiagente.
Yin et al.	2024	Distributed Deep Reinforcement Learning: A Survey and a Multi-player Multi-agent Learning Toolbox.	Pesquisar aprendizado por reforço profundo distribuído e apresentar uma caixa de ferramentas para aprendizado multijogador multiagente.
Palanca et al.	2020	Spade 3: Supporting the new generation of multi-agent systems.	Apresentar o Spade 3, uma plataforma para sistemas multiagentes.
Fan et al.	2021	Multi-agent modeling and simulation in the AI age.	Discutir modelagem e simulação multiagente na era da IA.
Chen et al.	2024	Learning Agent-based Modeling with LLM Companions: Experiences of Novices and Experts Using ChatGPT & NetLogo Chat.	Avaliar o aprendizado de modelagem baseada em agentes usando companhias LLM (Large Language Models).
Calvaresi et al.	2019	Social network chatbots for smoking cessation: agent and multi-agent frameworks.	Aplicar chatbots de redes sociais para cessação do tabagismo usando frameworks de agentes e multiagentes.
Ibrahim et al.	2024	The Multi-Agent System in Web Services.	Analisar o uso de sistemas multiagentes em serviços web.
Sako et al.	2024	ESARS: A Situation-Aware Multi-Agent System for Real-Time Emergency Response Management.	Introduzir o ESARS, um sistema multiagente para gerenciamento de emergências em tempo real com reconhecimento situacional.

Quadro 11: Artigos selecionados (conclusão)

Além disso, os artigos foram submetidos a uma avaliação da qualidade dos estudos, de acordo com o quadro 12.

Avaliação da qualidade dos estudos	
CQ5 Detalhamento da aplicação Prática dos métodos	6
CQ4 Métodos de coletas foram citados no texto	5
CQ3 Forma Objetiva de uso dos métodos de coleta	4
CQ2 Coesão textual	6
CQ1 Coerência do texto	3

Quadro 12: Avaliação da qualidade dos estudos

De acordo com o gráfico acima, os critérios CQ5, CQ4 e CQ2 são os que apresentaram o maior índice de 6 artigos cada um. A partir da análise dos dados apresentados no Quadro 11, podemos identificar algumas das principais áreas de pesquisa que estão em destaque nas publicações científicas estudadas (Tabela 2).

	Publicação	Área
1	INTERIANO-VALVERDE, Samantha et al. (2020)	Engenharia aeroespacial
2	CHAN-ZHENG, Carmen; CARVAJAL-GODINEZ, Johan (2019)	Engenharia aeroespacial

3	Pandey V, et al. (2023)	Engenharia de controle e sistemas
4	Zhang S, et al. (2022)	Biomatemática
5	Mponela P, et al. (2023)	Ciência da computação
6	Dovrat D, Bruckstein AM (2021)	Robótica
7	Martin J, et al. (2018)	Engenharia de controle e sistemas
8	Kalton A, et al. (2016)	Saúde pública
9	Wang Z, et al. (2022)	Ciência da computação
10	Oliveira JD, et al. (2022)	Saúde pública
11	Alruwaili FF (2020)	Ciência da computação
12	Barriuso AL, et al. (2018)	Engenharia de controle e sistemas
13	ZHENG, Xiaochen et al. (2020)	Engenharia de produção
14	WRONA, Z. et al. (2023)	Ciência da computação
15	SANZ, Victorino; URQUIA, Alfonso (2023)	Ciência da computação
16	CALEGARI, Roberta et al. (2021)	Ciência da computação
17	Xie, S., Xu, J. (2023)	Inteligência artificial
18	YIN, Qiyue et al. (2024)	Inteligência artificial
19	PALANCA, Javier et al. (2020)	Ciência da computação
20	Fan, W., et al. (2021)	Inteligência artificial
21	CHEN, John et al. (2024)	Ciência da computação
22	CALVARESI, Davide et al. (2019)	Ciência da computação
23	IBRAHIM, Najhan M.; HASSAN, Mohd Fadzil; NASRUL, Muhammad Amrullah DRS (2024)	Ciência da computação
24	SAKO, Dumnamene Jolley Sunday et al. (2024)	Ciência da computação

Tabela 2: Artigos selecionados e áreas de pesquisa

Ao analisarmos o percentual de publicação percebeu-se que a área de ciência da computação abrange cerca de 41 % dos estudos analisados, seguido por engenharia aeroespacial, engenharia de controle e sistemas e inteligência artificial (Gráfico 2).

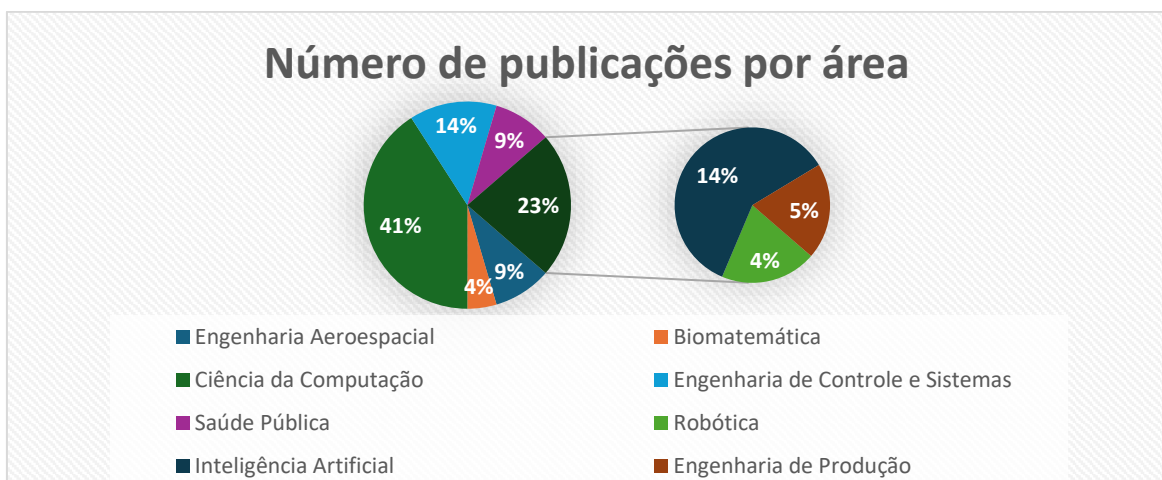


Gráfico 2: Quantidade de publicações por área

Após examinar minuciosamente todos os documentos, realizou-se uma busca para abordar as questões da pesquisa, que foram organizadas na Tabela 4, contendo uma lista das principais ferramentas de software utilizadas em sistemas multiagentes.

	P1 Quais são as principais características e funcionalidades das ferramentas de software mais utilizadas na construção de sistemas multiagentes?	P2 Como as ferramentas de software existentes para sistemas multiagentes se comparam em termos de facilidade de uso?	P3 Como as ferramentas de software existentes para sistemas multiagentes se comparam em termos de desempenho e escalabilidade?	
Ferramenta	Características e Funcionalidades	Facilidade de Uso	Desempenho	Escalabilidade
JADE (Java Agent Development Environment)	* Ambiente de desenvolvimento integrado para sistemas multiagentes baseados em Java. * Suporte para programação orientada a agentes (Bdi) e programação lógica. * Ferramentas de depuração e monitoramento integradas.	Alta: Interface gráfica intuitiva, documentação extensa e comunidade ativa.	Médio a Alto: Adequado para sistemas multiagentes complexos, mas pode ter impacto no desempenho em ambientes com restrições de recursos.	Alta: Suporta a construção de sistemas multiagentes em grande escala.
AgentSpeak	* Linguagem de programação específica para sistemas multiagentes. * Baseado em lógica de crenças e desejos (Bdi). * Permitir a modelagem de comportamentos e interações complexas entre agentes.	Baixa: Curva de aprendizado mais íngreme devido à natureza específica da linguagem.	Alto: Ideal para sistemas multiagentes que exigem raciocínio complexo e tomada de decisão autônoma.	Média: Suporta a construção de sistemas multiagentes de tamanho moderado.
NetLogo	* Ambiente de modelagem e simulação baseado em agentes. * Interface gráfica intuitiva com ferramentas de arrastar e soltar. * Adequado para prototipagem rápida e ensino de conceitos de sistemas multiagentes.	Alta: Fácil de aprender e usar, ideal para iniciantes e não programadores.	Baixo: Não recomendado para sistemas multiagentes complexos que exigem alto desempenho.	Baixa: Limita o tamanho e a complexidade dos sistemas multiagentes que podem ser construídos.
GAMA (Generic Agent Model Architecture)	* Plataforma de software de código aberto para desenvolvimento de sistemas multiagentes. * Suporta diversos paradigmas de programação, incluindo Bdi e programação lógica. * Ferramentas de modelagem, simulação e	Média: Curva de aprendizado moderada devido à variedade de opções de programação.	Médio: Adequado para sistemas multiagentes de tamanho moderado a grande, mas o desempenho pode variar dependendo da escolha da	Média: Suporta a construção de sistemas multiagentes escaláveis até certo ponto.

	análise integradas.		linguagem de programação.	
MASON (Multi-Agent Simulation Open Network)	* Biblioteca Python para simulação de sistemas multiagentes em larga escala. * Permite a modelagem de sistemas complexos com milhões de agentes. * Suporta diversos modelos de interação e comportamento de agentes.	Baixa: Requer conhecimento de programação em Python e conceitos de simulação em larga escala.	Alto: Ideal para simular sistemas multiagentes complexos com milhões de agentes.	Alta: Altamente escalável para sistemas multiagentes de grande porte.

Tabela 4: Artigos selecionados

As recentes pesquisas dos autores De Calvaresi et al. (2019), Ibrahim et al. (2024), Devi et al. (2024) e Sako et al. (2024) realçam as diversas aplicações dos sistemas multiagentes e os benefícios que podem trazer para a sociedade. O estudo de Calvaresi et al. (2019) sobre chatbots em redes sociais para auxílio na cessação do tabagismo ilustra como os sistemas multiagentes podem ser utilizados para desenvolver chatbots que oferecem suporte e orientação a indivíduos que desejam parar de fumar.

Este exemplo não só evidencia o potencial dos sistemas multiagentes para promover estilos de vida mais saudáveis, mas também sublinha a importância de aproveitar as plataformas existentes para alcançar um público mais vasto.

Os artigos fornecidos não exploram diretamente a funcionalidade de ferramentas de software para sistemas multiagentes. Em vez disso, centram-se na aplicação de sistemas multiagentes em diversos domínios, como satélites miniaturizados (Interiano-Valverde et al., 2020; Chan-Zheng & Carvajal-Godinez, 2019) e simulação (Mponela et al., 2023; Kalton et al., 2016). No entanto, o artigo de Wrona et al. (2023) fornece uma "Visão geral das plataformas de agentes de software disponíveis em 2023.

Da mesma forma, o estudo conduzido por Ibrahim et al. (2024) sobre o Sistema Multiagente em Serviços Web demonstra como a utilização de sistemas multiagentes pode aprimorar a funcionalidade e eficiência dos serviços web.

A implementação de agentes inteligentes para automatizar tarefas, alocar recursos de forma otimizada e melhorar os processos de tomada de decisão permite que os serviços web ofereçam experiências mais rápidas e personalizadas aos usuários. Além disso, a revisão feita por Devi et al. (2024) sobre a robótica em enxame revela como os sistemas multiagentes podem ser utilizados para coordenar

grupos de robôs que colaboram entre si.

O artigo de Sharma et al. (2020) discute a utilização da tecnologia de sistemas multi-agentes no combate à pandemia de COVID-19. Os autores ressaltam a capacidade desses sistemas em monitorar, prevenir e controlar a disseminação do coronavírus, simulando diversos cenários da pandemia e otimizando estratégias de isolamento social.

O estudo realizado por Sako et al. (2024) sobre o ESARS, um sistema multiagente consciente da situação para gerenciamento de resposta a emergências em tempo real, confirma a eficácia dos sistemas multiagentes na otimização das estratégias de resposta a emergências, levando em consideração a consciência situacional.

Por meio da coleta de dados em tempo real, coordenação de recursos e tomada rápida de decisões, esses sistemas podem melhorar a eficiência das operações de resposta a emergências e potencialmente salvar vidas em momentos críticos (SAKO et al., 2024).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha da ferramenta de software para a construção de sistemas multiagentes é uma decisão crítica que pode impactar significativamente o sucesso do projeto. A revisão sistemática da literatura apresentada neste trabalho fornece uma base sólida para que desenvolvedores e pesquisadores tomem decisões informadas, considerando as características, paradigmas, comparações e tendências emergentes no campo dos sistemas multiagentes.

Em conclusão, o estudo sistemático sobre ferramentas de software para construção de sistemas multiagentes é de fundamental importância para o avanço tecnológico e o desenvolvimento de sistemas complexos. Através da Revisão Sistemática da Literatura realizada neste trabalho, compreendeu-se as características e funcionalidades das ferramentas disponíveis, e assim identificar abordagens e paradigmas utilizados, avaliar a eficácia e facilidade de uso das soluções existentes, examinar tendências e inovações recentes, e oferecer diretrizes para desenvolvedores e pesquisadores na escolha e utilização dessas ferramentas.

Destacandoas principais características e funcionalidades das

ferramentas de software para construção de sistemas multiagentes incluem a capacidade de modelagem de agentes e ambientes, linguagem de programação específica, integração com plataformas de simulação e suporte para protocolos de comunicação entre agentes. Exemplos populares de ferramentas nesta área são o JADE, o AnyLogic e o NetLogo.

Quanto aos paradigmas e abordagens adotados, foram identificadas estratégias baseadas em lógica, aprendizado de máquina, sistemas distribuídos e agentes baseados em regras. Diante disso, espera-se que as informações fornecidas por este estudo possam auxiliar na seleção e utilização das melhores soluções disponíveis para o desenvolvimento de sistemas multiagentes, contribuindo para o avanço e aprimoramento deste campo de pesquisa.

É essencial que os desenvolvedores e pesquisadores estejam atentos às tendências e inovações, buscando sempre otimizar o processo de desenvolvimento e aumentar a qualidade dos sistemas resultantes. Em suma, a pesquisa realizada neste trabalho proporciona uma base sólida para a continuidade dos estudos e aprimoramento das ferramentas de software para sistemas multiagentes, visando o desenvolvimento de aplicações cada vez mais eficientes e escaláveis.

Para estudos futuros pretende-se a implementação de um Sistema Multiagente para Automatizar o Gerenciamento de Estoque. Esse sistema será criado utilizando a programação de agentes em Jason e Java, conectados através da infraestrutura de rede Jade. O objetivo deste projeto é testar os conhecimentos já adquiridos e auxiliar empresas de pequeno e grande porte na automatização de seus estoques, contribuindo assim para o desenvolvimento econômico, sustentável e educacional.

REFERÊNCIAS

ALRUWAILI F.F. **Artificial intelligence and multi agent based distributed ledger system for better privacy and security of electronic healthcare records**. PeerJ Comput Sci. 2020 Nov 30;6:e323.

BARBOSA, L.M.; PORTES, L. A. F. **Inteligência artificial**. *Revista Tecnologia Educacional*, Rio de Janeiro, 2023, 236: 16-27.

BARRIUSO AL, VILLARRUBIA GONZÁLEZ G, DE PAZ JF, LOZANO Á, BAJO J. **Combination of Multi-Agent Systems and Wireless Sensor Networks for the Monitoring of Cattle**. *Sensors* (Basel). 2018 Jan 2;18(1):108.

BOTTI, V. et al. **Multi-agent systems**. MDPI-Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019.

BODEN, M. **AI: Its nature and future**. London: Oxford University Press, 2016.208p.

CALEGARI, R. et al. **Logic-based technologies for multi-agent systems: a systematic literature review**. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, v. 35, n. 1, p. 1, 2021.

CALVARESI, D., MUALLA, Y., NAJJAR, A., GALLAND, S., & SCHUMACHER, M. **Explainable multi-agent systems through blockchain technology**. In **Explainable, Transparent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems: First International Workshop**, EXTRAAMAS 2019, Montreal, QC, Canada, May 13–14, 2019, Revised Selected Papers 1 (pp. 41-58). Springer International Publishing, 2019.

CALVARESI, D. et al. Social network chatbots for smoking cessation: agent and multi-agent frameworks. In: **IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence**. 2019. p. 286-292.

CAMPOS, R. S. **Desmistificando a inteligência artificial: Uma breve introdução conceitual ao aprendizado de máquina**. *Aoristo-International Journal of Phenomenology, Hermeneutics and Metaphysics*, 2020, 3.1: 106-123

CHAN-ZHENG, C.; CARVAJAL-GODINEZ, J. **A Multi-Agent System Framework for Miniaturized Satellite**. *Tecnología en Marcha*, Cartago, v. 32, n. 1, p. 54-67, Mar. 2019

CARDOSO, R. C.; FERRANDO, A. **A review of agent-based programming for multi-agent systems**. *Computers*, v. 10, n. 2, p. 16, 2021.

CHEN, J. et al. **Learning Agent-based Modeling with LLM Companions: Experiences of Novices and Experts Using ChatGPT & NetLogo Chat**. *arXiv preprint arXiv:2401.17163*, 2024.

- DE CASTRO, X. B. **Breve introdução à história da Inteligência Artificial.** *Jamaxi*, 2020, 4.1.
- DREW, D.S. **Multi-agent systems for search and rescue applications.** *Current Robotics Reports*, v. 2, p. 189-200, 2021.
- DE TONI, T. A. et al. **O Teste de Turing.** *ANAIS DA MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CESUCA-ISSN 2317-5915*, 2022, 16: 44-45.
- DEVI, K.V.R. et al. **A review: Swarm robotics: Cooperative control in multi-agent systems.** In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2024. p. 03013.
- DOS SANTOS, I.B.S.; NOVO, H.F. **Engenharia do Conhecimento e Ciência da Informação aplicadas a Objetos Digitais Imagéticos na Era de Dados.** *Múltiplos Olhares em Ciência da Informação*, v. 14, p. e051378-e051378, 2024.
- DOVRAT D, BRUCKSTEIN A.M. **AntAlate-A Multi-Agent Autonomy Framework.** *Front Robot AI*. 2021 Aug 20;8:719496.
- FAN, W., CHEN, P., SHI, D., GUO, X., & KOU, L. **Multi-agent modeling and simulation in the AI age.** *Tsinghua Science and Technology*, 26(5), 608-624. 2021
- HAJDUK, M.; SUKOP, M.; HAUN, M. **Cognitive multi-agent systems.** USA: Springer International Publishing, 2019.
- INTERIANO-VALVERDE, S. et al. **A communication protocol design aimed at a multiagent system framework for miniaturized satellite systems.** *Tecnología en Marcha*, Cartago , v. 33, n. 4, p. 62-76, Dec. 2020
- IBRAHIM, N. M.; HASSAN, M.F.; NASRUL, M.A. DRS. **The Multi-Agent System in Web Services.** *International Journal on Perceptive and Cognitive Computing*, v. 10, n. 1, p. 40-50, 2024.
- JÚNIOR, J.F.C et al. **A inteligência artificial como ferramenta de apoio no ensino superior.** *Rebena-Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem*, 2023, 6: 246-269
- JULIAN, V.; BOTTI, V. **Multi-agent systems.** *Applied Sciences*, v. 9, n. 7, p. 1402, 2019
- KAUFMAN, D. **Inteligência artificial: repensando a mediação.** *Brazilian Journal of Development*, 2020, 6.9: 67621-67639.

KALTON A, FALCONER E, DOCHERTY J, ALEVRAS D, BRANN D, JOHNSON K. **Multi-Agent-Based Simulation of a Complex Ecosystem of Mental Health Care.** J Med Syst. 2016 Feb;40(2):39.

LEITE, E.H.; RIBEIRO, D, F. **O Papel Transformador da Inteligência Artificial na Segurança.** Revista Interface Tecnológica, v. 20, n. 1, p. 181-190, 2023.

LIMA, D.; NETTO, J.F; DE MENEZES, C. **Agentes Inteligentes e Sistemas Multiagente: Um Mapeamento Sistemático Focado nas Iniciativas Brasileiras.** In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2017. p. 41.

LORENZ, B.A.; FRANZATO, C. **A inteligência artificial e o novo papel do designer na sociedade em rede.** Revista de Design, Tecnologia e Sociedade, v. 5, n. 1, p. 16-33, 2018.

MARTIN J, CASQUERO O, FORTES B, MARCOS M. **A Generic Multi-Layer Architecture Based on ROS-JADE Integration for Autonomous Transport Vehicles.** Sensors (Basel). 2018 Dec 25;19(1):69.

MPONELA P, L.B, SNAPP S, VILLAMOR GB, TAMENE L, BORGEMEISTER C. **MASSAI: Multi-agent system for simulating sustainable agricultural intensification of smallholder farms in Africa.** MethodsX. 2023 Oct 30; 11:102467.

MONARD, M.C.; BARANAUSKAS, J.A. **Conceitos sobre aprendizado de máquina.** Sistemas inteligentes-Fundamentos e aplicações, v. 1, n. 1, p. 32, 2003,

OKOLI, C. et al. **Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura.** EAD em Foco, v. 9, n. 1, 2019.

OLIVEIRA JD, ENGELMANN DC, KNIEST D, VIEIRA R, BORDINI RH. **Multi-Agent Interaction to Assist Visually-Impaired and Elderly People.** Int J Environ Res Public Health. 2022 Jul 22;19(15):8945.

PALANCA, J. et al. Spade 3: **Supporting the new generation of multi-agent systems.** IEEE Access, v. 8, p. 182537-182549, 2020.

PANDEY V, TASLIMA E, SINGH B, KAMAL S, DINH TN. **Predefined Time Synchronization of Multi-Agent Systems: A Passivity Based Analysis.** Sensors (Basel). 2023 Apr 10;23(8):3865.

PEREIRA, L.P. **Inteligência artificial: sua natureza e futuro**. Cadernos CERU, v. 31, n. 2, p. 271-275, 2020.

QUARESMA, A. **Inteligência artificial fraca e força bruta computacional**. TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review/Revista Internacional De Tecnología, Ciencia Y Sociedad, 2021, 10.1: 67-78.

REIS, H.M.G.; DE MIRANDA, L.F.P.; DAMY, A.S.A. **A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL-IA**. Revista do Curso de Direito do Centro Universitário Brazcubas, 2019, 3.1.

SAKO, D.J.S. et al. **ESARS: A Situation-Aware Multi-Agent System for Real-Time Emergency Response Management**. European Journal of Information Technologies and Computer Science, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2024.

SANZ, V.; URQUIA, A. **Combining PDEVS and Modelica for describing agent-based models**. Simulation, v. 99, n. 5, p. 455-474, 2023.

SHARMA, A. et al. **Multi-agent system applications to fight COVID-19 pandemic**. Apollo Medicine, v. 17, n. Suppl 1, p. S41-S43, 2020.

SASTRY, G., et al. **Computing Power and the Governance of Artificial Intelligence**. arXiv preprint arXiv:2402.08797, 2024.

SICHMAN, J; S. **Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos**. Estudos Avançados, v. 35, p. 37-50, 2021.

SILVEIRA, R.A; VICARI, R.; GOMES, E.R. **Modelagem de ambientes de aprendizagem baseado na utilização de agentes FIPA**. In: Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE). 2003. p. 475-484.

TINTI, D.S; BARBOSA, G.C.; LOPES, C.E. **O software IRAMUTEQ e a Análise de Narrativas (Auto) biográficas no Campo da Educação Matemática**. Bolema: Boletim de Educação Matemática, 2021, 35: 479-496.

VICENTE, M. **Uma etnografia da inteligência artificial no laboratório DSPCom da Unicamp: Agentes e processos**. Revista Textos Graduados, v. 7, n. 2, p. 107-124, 2021.

VIRUEL, M. L. R. **Requirements modeling for multi-agent systems.** In: **Multi-Agent Systems - Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications.** Asunción, Paraguay: InTech, 2011. cap. 1, p. 3–22.

WANG Z, LI S, HE W, YANG R, FENG Z, SUN G. **A New Topology-Switching Strategy for Fault Diagnosis of Multi-Agent Systems Based on Belief Rule Base.** Entropy (Basel). 2022 Nov 2;24(11):1591.

WRONA, Z. et al. **Overview of Software Agent Platforms Available in 2023.** Information 2023, 14, 348. 2023.

WEISS, G. (Ed.). **Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence.** MIT press, 1999.

ZHANG S, TANG L, LIU YJ. **Formation deployment control of multi-agent systems modeled with PDE.** Math Biosci Eng. 2022 Sep 15;19(12):13541-13559

ZHENG, X. et al. **A quality-oriented digital twin modelling method for manufacturing processes based on a multi-agent architecture.** Procedia Manufacturing, v. 51, p. 309-315, 2020.

XIE, S., XU, J. **Design and Implementation of Physical Education Teaching Management System Based on Multi-agent Model.** Int J Comput Intell Syst 16, 172 (2023).

YIN, Q. et al. **Distributed Deep Reinforcement Learning: A Survey and a Multi-player Multi-agent Learning Toolbox.** Machine Intelligence Research, p. 1-20, 2024.