TRANSFORMANDO APIS EM INTERFACES CONVERSACIONAIS: VALIDAÇÃO DA ABORDAGEM OPENAPI-MCP PARA AGENTES BASEADOS EM IA

Lucas de Castro Zanoni[1]

Thyerri Fernandes Mezzari[2]

Rodrigo Cesar Nunes Maciel[3]

Vagner da Silva Rodrigues[4]

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo experimental preliminar de integração de agentes conversacionais baseados em IA a soluções WEB através da especificação OpenAPI combinada com o protocolo Model Context Protocol (MCP). A pesquisa investiga como as especificações OpenAPI podem ser automaticamente convertidas em servidores MCP, permitindo que, modelos de linguagem de grande escala (LLMs) interajam com sistemas externos. O estudo envolveu a implementação de uma prova de conceito que inclui um gerador automático de servidores MCP a partir de especificações OpenAPI, um cliente de chat capaz de gerenciar múltiplos servidores MCP simultaneamente, e aplicações de teste para validação da abordagem. Para garantir uma análise rigorosa e reprodutível, foi desenvolvida uma interface padronizada e definidos critérios objetivos, fundamentando-se em referências acadêmicas, guias de segurança, relatórios de mercado e documentações oficiais de provedores de modelos de linguagem, assim como testes automatizados *end-to-end*, com ênfase em métricas de robustez, segurança (incluindo *red teaming* e injeção de *prompts*) e usabilidade dentro do escopo experimental definido. Os resultados indicam a viabilidade técnica inicial e a eficácia da integração OpenAPI-MCP nos cenários testados, fornecendo uma análise fundamentada sobre os benefícios, desafios e limitações desta abordagem para a integração de agentes conversacionais baseados em IA em sistemas complexos. A pesquisa estabelece evidências preliminares convincentes sobre a possibilidade de grandes avanços na facilitação da integração entre sistemas existentes e LLMs, promovendo maior acessibilidade, usabilidade e democratização do acesso a tecnologias complexas, justificando investigações mais aprofundadas para validação em escala maior.

Palavras-chaves: agente conversacional baseado em IA, integração de sistemas, inteligência artificial, OpenAPI, Model Context Protocol, segurança, usabilidade.

[1] Graduando em Engenharia de software no semestre de 2025-1. E-mail: castro.lucas290@gmail.com
[2] Professor Mestre do Centro Universitário UniSATC E-mail: thyerri.mezzari@satc.edu.br
[3] Professor Mestre do Centro Universitário UniSATC E-mail: rodrigo.maciel@satc.edu.br
[4] Professor Mestre do Centro Universitário UniSATC E-mail: vagner.rodrigues@satc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A evolução das interfaces de usuário tem gerado uma diversidade de padrões de design e usabilidade, resultando frequentemente em barreiras para a plena acessibilidade e interação dos usuários com os sistemas digitais. Com o aumento da complexidade do *frontend* e a multiplicidade de paradigmas de interação, muitos usuários enfrentam dificuldades significativas para utilizar efetivamente as funcionalidades oferecidas pelas soluções WEB modernas (RAPP et al., 2018) (KOCABALLI et al., 2019). Nesse contexto, a ascensão dos Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), como os desenvolvidos por OpenAI, Anthropic e Google, tem impulsionado o desenvolvimento de agentes conversacionais baseados em IA mais avançados e adaptáveis (ANTHROPIC, 2024; OPENAI, 2022). Nos últimos anos, avanços em modelos baseados em *Transformer*, como o BERT (2018), que aprimorou a compreensão textual, e o GPT-3 (2020), que ampliou as capacidades generativas e o aprendizado com poucos exemplos (*few-shot*), permitiram que os LLMs realizassem tarefas cada vez mais complexas a partir de simples instruções em linguagem natural. Esses avanços consolidaram os LLMs como interfaces conversacionais robustas e eficazes para integração com sistemas.

Diante desse cenário, estudos recentes têm demonstrado que agentes conversacionais baseados em IA podem aprimorar significativamente a experiência do usuário ao simplificar interações com sistemas complexos (FAST et al., 2017). Além disso, a implementação de interfaces baseadas em linguagem natural tem mostrado potencial para melhorar a usabilidade em contextos domésticos e inteligentes, reduzindo o tempo e o esforço necessários para completar tarefas complexas (GUO et al., 2024). Ademais, tais interfaces oferecem vantagens consideráveis em termos de acessibilidade, permitindo uma comunicação mais inclusiva e adaptável a usuários com diferentes necessidades especiais (LISTER et al., 2020) (DENG, 2023). Para que esses benefícios sejam efetivamente alcançados em soluções WEB, será fundamental avaliar as diferentes estratégias de integração desses agentes aos sistemas existentes.

Considerando esse panorama tecnológico e as potencialidades demonstradas pelos LLMs, a problemática central desta pesquisa reside na questão: como a combinação da especificação OpenAPI com o protocolo MCP, pode facilitar

a integração eficiente e segura de agentes conversacionais baseados em IA com sistemas WEB existentes, contribuindo para a democratização do acesso a tecnologias complexas? Essa pergunta reflete a necessidade crescente de soluções padronizadas que reduzam a complexidade de integração e tornem sistemas especializados mais acessíveis através de interfaces conversacionais naturais, representando um passo significativo em direção à democratização tecnológica.

Nesse sentido, este estudo investigará preliminarmente as possibilidades de democratização do acesso a sistemas técnicos complexos por meio da facilitação da integração entre sistemas existentes e LLMs para criar interações semelhantes a agentes conversacionais. A pesquisa examinará especificamente a viabilidade da especificação OpenAPI combinada com o protocolo emergente MCP (Model Context Protocol) como uma solução promissora para essa integração, permitindo que especificações OpenAPI sejam automaticamente convertidas em servidores MCP e criando uma ponte padronizada entre modelos de linguagem e sistemas externos. A solução será avaliada quanto a desempenho, segurança, e experiência de usuário, com foco específico na capacidade de gerenciar múltiplos servidores MCP simultaneamente e na eficácia da geração de ferramentas MCP. A prova de conceito desta abordagem será validada, por meio de experimentos controlados que buscam demonstrar a viabilidade técnica fundamental da integração proposta, estabelecendo evidências preliminares que justifiquem investigações futuras mais aprofundadas e desenvolvimentos mais abrangentes.

A relevância deste estudo evidencia-se pelo potencial transformador que os agentes conversacionais baseados em IA representam para a área de interação humano-computador. Ao explorar a possibilidade de um sistema intermediário capaz de interpretar linguagem natural e traduzi-la em ações específicas dentro de sistemas existentes, este trabalho busca investigar se é viável criar uma ponte que permita aos usuários interagirem de forma mais intuitiva e acessível com tecnologias digitais. A hipótese central é que essa abordagem poderá contribuir para a redução das barreiras impostas por interfaces complexas, promovendo maior inclusão digital e melhoria da experiência do usuário em diversos contextos. Este estudo, portanto, busca fornecer evidências iniciais quanto à viabilidade dessa proposta, estabelecendo fundamentos para investigações e desenvolvimentos futuros.

Para responder adequadamente à questão de pesquisa formulada, este estudo requererá uma metodologia experimental robusta que permita validar empiricamente a viabilidade da integração proposta. A abordagem metodológica descrita a seguir será estruturada para fornecer evidências quantitativas e qualitativas sobre a eficácia da combinação OpenAPI-MCP, estabelecendo parâmetros objetivos de avaliação que garantam a validade científica dos resultados obtidos.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este estudo adotará uma abordagem experimental estruturada em etapas sequenciais para investigar preliminarmente a viabilidade e eficácia da integração de agentes conversacionais baseados em IA a sistemas WEB através da especificação OpenAPI combinada com o protocolo *Model Context Protocol* (MCP). A pesquisa será analisada com base em uma prova de conceito prática, desenvolvida para validar sua viabilidade técnica inicial e então avaliar objetivamente aspectos funcionais e não-funcionais da solução proposta dentro de um escopo experimental controlado.

A proposta será validada por meio de uma prova de conceito, composta pelas seguintes etapas: a) desenvolvimento de um gerador automático de servidores MCP; b) implementação de um cliente de chat para gerenciamento simultâneo de múltiplos servidores; c) construção de aplicações de teste de ponta a ponta; e d) definição de métricas para avaliação de desempenho, segurança, facilidade de implementação, manutenibilidade e experiência do usuário

Para assegurar resultados objetivos e reprodutíveis dentro do escopo experimental definido, os testes serão automatizados utilizando testes *end-to-end* (E2E), aplicando medidas de robustez e segurança (como testes de *red teaming* e proteção contra injeção de *prompts*) e avaliações qualitativas de usabilidade. Os resultados serão documentados e analisados, permitindo identificar desafios, vantagens e limitações intrínsecas à integração OpenAPI-MCP e demonstrando sua aplicabilidade prática inicial para diferentes contextos de uso. Esta metodologia buscará estabelecer indicadores iniciais da eficácia da abordagem, reconhecendo que validações mais abrangentes serão necessárias para confirmação definitiva em ambientes empresariais complexos.

2.1 MATERIAIS

Para a reprodutibilidade dos experimentos que serão conduzidos neste estudo, serão selecionadas ferramentas específicas baseadas em critérios de rigor científico, reprodutibilidade e adequação aos objetivos de pesquisa.

2.1.1 Node.js para desenvolvimento das provas de conceito

Node.js (versão 20+) será selecionado como plataforma principal devido à sua arquitetura assíncrona orientada a eventos, essencial para aplicações que requerem processamento simultâneo de múltiplas requisições e integração eficiente com APIs de modelos de linguagem. A escolha fundamenta-se na comprovada capacidade da plataforma para gerenciar operações intensivas de IA e sua ampla adoção em projetos de integração com LLMs (CHEREDNICHENKO et al., 2024; REDHAT, 2024).

2.1.2 Ferramentas de teste e validação

Playwright será utilizado para implementação de testes automatizados E2E, permitindo simulação realista e precisa das interações do usuário, com suporte abrangente aos principais navegadores (Chromium, Firefox e WebKit) em diferentes plataformas. A ferramenta destaca-se por oferecer execução paralela e isolada de testes, gravação automática de interações para facilitar o desenvolvimento e depuração, e espera automática de elementos para reduzir testes instáveis (TEAM, 2023).

2.1.3 Modelos de linguagem utilizados

GPT-4 será selecionado como modelo principal devido às suas capacidades avançadas de *function calling* - funcionalidade que permite interpretação de linguagem natural e conversão automática em chamadas de funções estruturadas. Modelos desta família suportam janelas de contexto extensas (até 32.000 tokens no GPT-4) (OPENAI, 2023a), essenciais para manter conversas prolongadas e processar especificações OpenAPI complexas. A seleção baseia-se

na performance comprovada em cenários de integração com sistemas externos e na disponibilidade de APIs robustas para desenvolvimento (OPENAI, 2023b).

2.1.4 Ferramentas de integração

OpenAPI 3.0+ será utilizado como especificação padrão para definição de contratos de API, proporcionando documentação estruturada e interoperabilidade entre sistemas. Sua ampla adoção como padrão da indústria e capacidade de descrever esquemas de autenticação (OAuth, API Key, Bearer Token) tornam-no adequado para integração com agentes conversacionais (OPENAPI INITIATIVE, 2023).

Model Context Protocol (MCP) será implementado como protocolo de comunicação entre modelos de linguagem e sistemas externos. Desenvolvido pela Anthropic e lançado como padrão aberto em novembro de 2024, o MCP oferece arquitetura cliente-servidor padronizada que elimina a necessidade de integrações personalizadas para cada fonte de dados (ANTHROPIC, 2024; MODEL CONTEXT PROTOCOL CONTRIBUTORS, 2024). O advento deste protocolo possibilitou a interface de comunicação padronizada entre modelos de linguagem e sistemas externos, facilitando a integração e a interoperabilidade entre diferentes fontes de dados e modelos de linguagem.

2.2 MÉTODOS

Para assegurar a validade científica e a reprodutibilidade dos experimentos, será fundamental estabelecer um controle rigoroso das variáveis experimentais. A implementação de uma interface padronizada constituirá elemento metodológico essencial para eliminar diferenças de experiência do usuário que poderiam contaminar os resultados experimentais. Esta padronização garantirá que as diferenças observadas no desempenho sejam atribuíveis exclusivamente às tecnologias de integração testadas, e não a variações na interface ou design de interação.

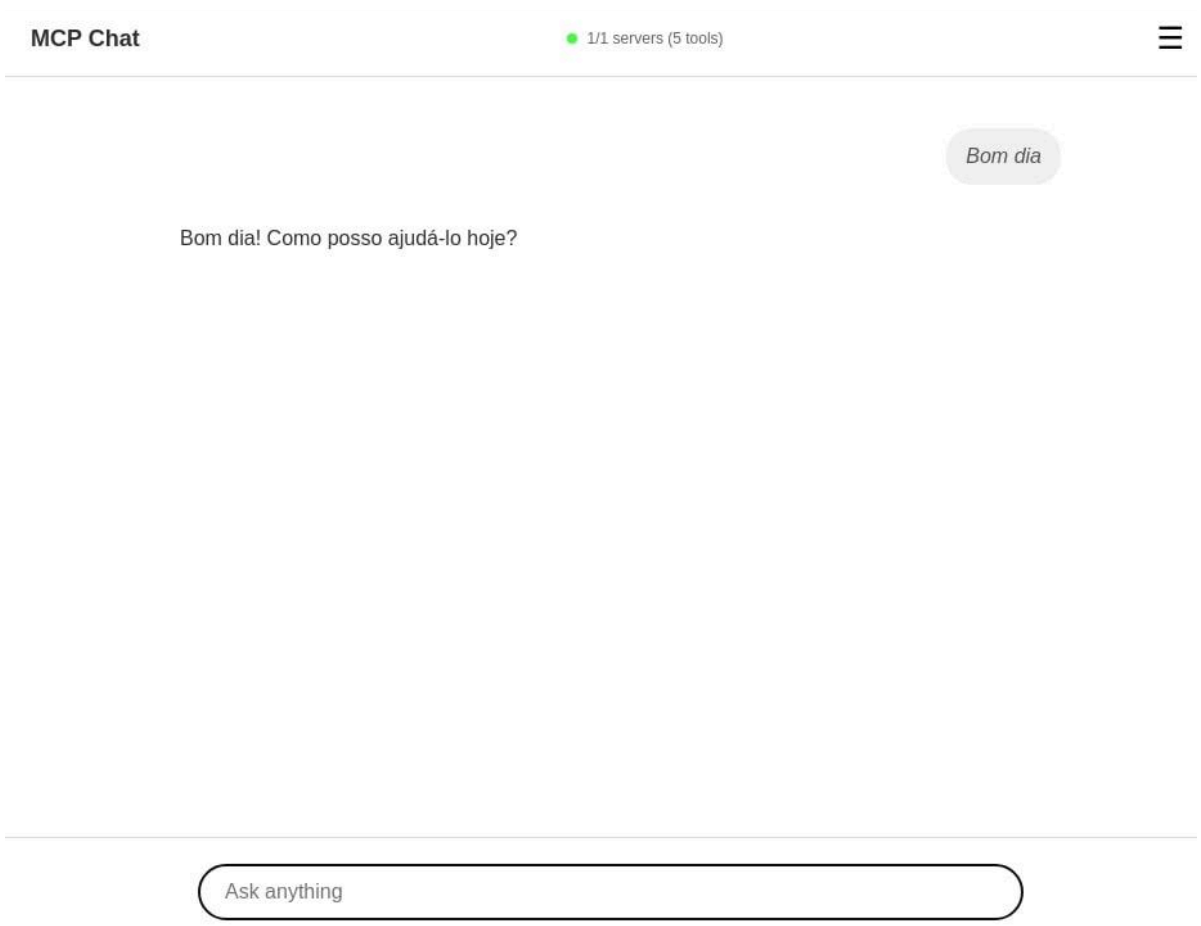
2.2.1 Interface padronizada de usuário

A interface comum consistirá em uma aplicação WEB simples de chat, desenvolvida utilizando HTML e JavaScript. A interface será projetada de forma minimalista, visando uma experiência consistente e objetiva, independentemente da abordagem utilizada para a integração.

2.2.1.1 Design da interface

A interface será composta por uma seção principal que exibirá o histórico de mensagens, onde as interações entre usuário e agente conversacional aparecerão de forma intercalada: as mensagens do agente serão exibidas à esquerda e as do usuário à direita, facilitando a distinção visual entre os participantes da conversa. Abaixo do histórico, haverá um campo de entrada de texto que permitirá ao usuário digitar e enviar novas mensagens. Esse *layout* possibilitará ao usuário acompanhar facilmente todo o histórico da conversa e inserir novos prompts de maneira contínua e intuitiva.

Figura 1: Chat minimalista, com histórico de mensagens e campo para consultas.



Fonte: Autor

A disposição visual apresentada na Fig. 1 facilitará o acompanhamento do diálogo, elemento crucial para a avaliação objetiva da experiência do usuário durante os testes experimentais. A separação clara entre mensagens do usuário e do agente permitirá identificação imediata do fluxo conversacional, enquanto o design minimalista eliminará variáveis de confusão relacionadas à interface que poderiam comprometer a validade dos resultados.

2.2.1.2 Comunicação com o *backend*

A comunicação entre *frontend* e *backend* será estabelecida por meio de uma API REST síncrona, simplificando o processo de envio e retorno de mensagens. Cada consulta feita pelo usuário gerará uma única requisição ao *backend* que processará integralmente essa requisição utilizando um LLM e

devolverá uma resposta após concluir o processamento, mantendo o fluxo de comunicação claro e previsível.

2.2.2 Critérios de avaliação e operacionalização de métricas

Para garantir uma avaliação científica rigorosa, serão definidos critérios objetivos de avaliação com métricas específicas quantitativas e qualitativas, operacionalizados através de instrumentação técnica precisa e metodologias de coleta padronizadas.

Os **critérios de desempenho** compreenderão quatro métricas fundamentais. O tempo de resposta total será medido em milissegundos utilizando *timestamps* precisos via Performance API do navegador, fornecendo dados objetivos sobre a latência percebida pelo usuário final. A taxa de sucesso de operações será calculada como percentual de requisições bem-sucedidas versus falhas, com categorização sistemática de tipos de erro para identificação de padrões de falha. O ***throughput*** será quantificado como número de operações processadas por segundo em cenários de carga controlada, permitindo avaliação da capacidade de processamento simultâneo.

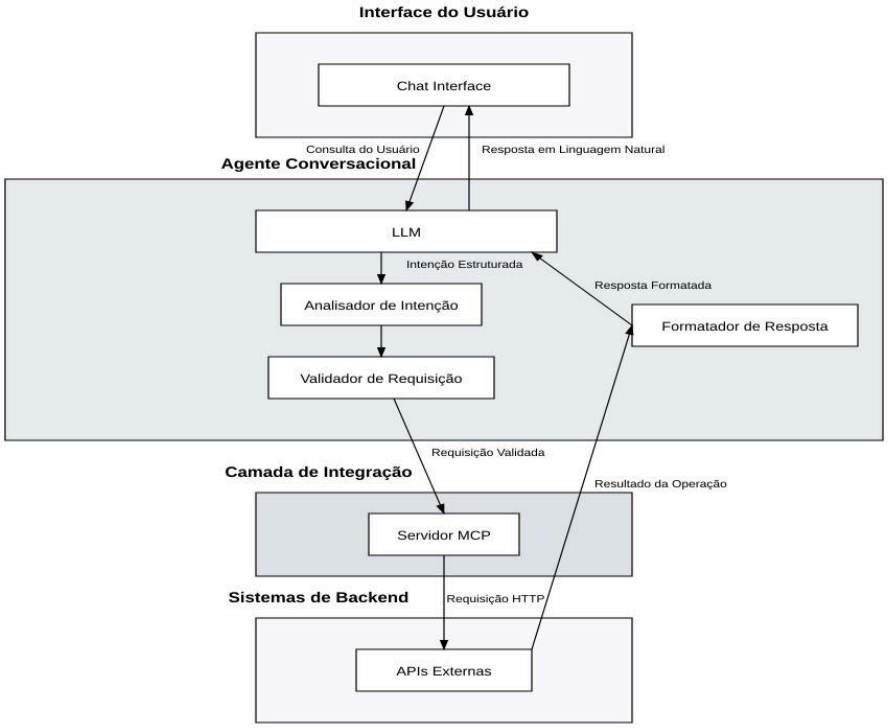
Os **critérios de segurança** focarão na robustez contra ataques adversários e validação de entrada. A resistência a injeção de *prompts* será mensurada como percentual de tentativas maliciosas bloqueadas durante testes de *red teaming*, implementados conforme o Framework de Gerenciamento de Riscos de IA do NIST (OPREA; VASSILEV, 2023) e as diretrizes da OWASP (JOHN et al., 2025), considerando que injeções de *prompt* representam ameaças críticas em sistemas LLM com acesso a dados sensíveis.

Os **critérios de usabilidade** abrangerão tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos da experiência do usuário. O tempo de conclusão de tarefas será medido para operações CRUD padrão executadas via linguagem natural, proporcionando métricas objetivas de eficiência operacional. Todos os testes serão realizados de forma automatizada, por meio de scripts que simulam interações reais, sem a participação de usuários físicos para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

2.2.3 Arquitetura e fluxo de integração do sistema

A arquitetura do sistema desenvolvida para este estudo, envolverá múltiplas camadas que trabalharão de forma integrada para responder às consultas feitas pelo usuário em linguagem natural. Esta metodologia será essencial para a validação experimental da hipótese de pesquisa e é ilustrada na Fig. 2.

Figura 2: Arquitetura ilustrando fluxo de dados entre interface web, *backend*, GPT-4, servidores MCP e APIs externas.
.



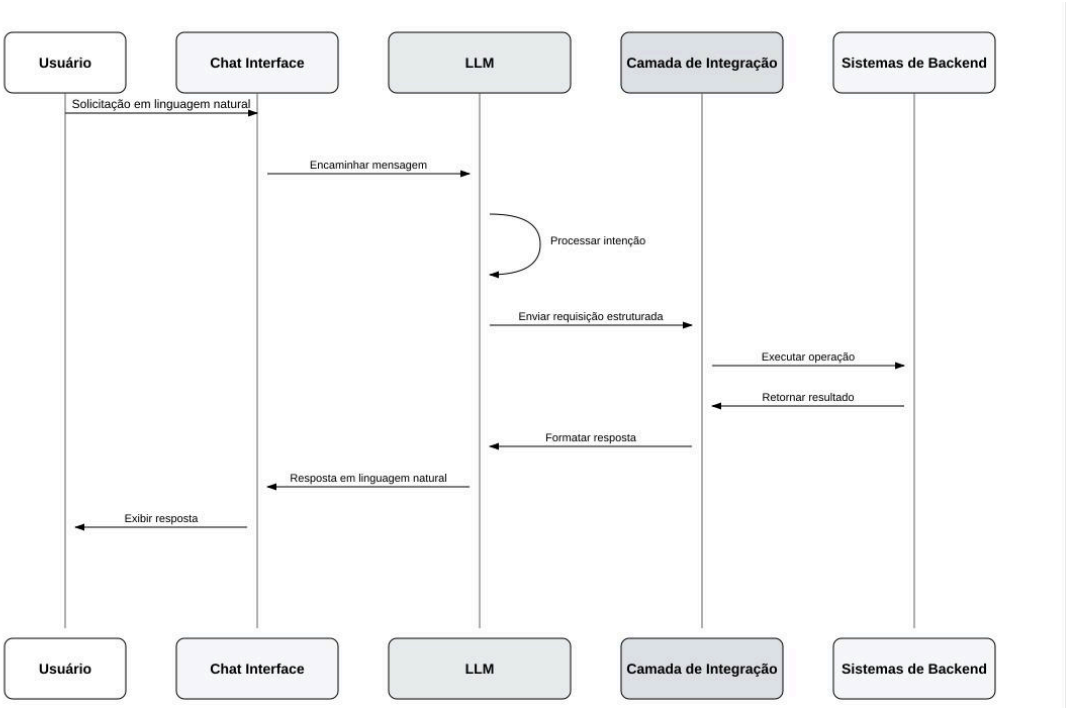
Fonte: Autor

Como observado na Fig. 2, a arquitetura modular permitirá isolamento de responsabilidades em um ecossistema de serviços e aplicações distribuídas. A separação entre componentes de interface, processamento de linguagem natural e integração com sistemas externos possibilitará a manipulação de cada componente de forma independente, permitindo a instrumentação necessária para manutenção de um ambiente de produção.

O fluxo completo de interação ocorrerá da seguinte maneira: ao receber uma consulta, o modelo de linguagem interpretará a intenção do usuário e utilizará a

implementação de *client* MCP para utilizar as ferramentas geradas pelo gerador de ferramentas MCP para acessar sistemas *backend* via API REST, conforme a especificação OpenAPI. Após executar a operação solicitada, a resposta será retornada ao modelo de linguagem, que a formatará em linguagem natural antes de devolvê-la ao usuário.

Figura 3: Workflow detalhado com interpretação de linguagem natural, chamadas MCP, execução *backend* e resposta conversacional.



Fonte: Autor

3 DESENVOLVIMENTO

Conforme a metodologia estabelecida, a implementação da solução OpenAPI-MCP foi estruturada seguindo uma abordagem modular e integrada, compreendendo quatro componentes principais que trabalham em sinergia para demonstrar e validar a viabilidade da integração proposta. A arquitetura resultante englobou um gerador automático de servidores MCP a partir de especificações OpenAPI, um cliente de chat capaz de gerenciar múltiplos servidores MCP

simultaneamente, aplicações de teste que simulam cenários reais de negócio, e uma seleção abrangente de testes automatizados para avaliação científica da solução.

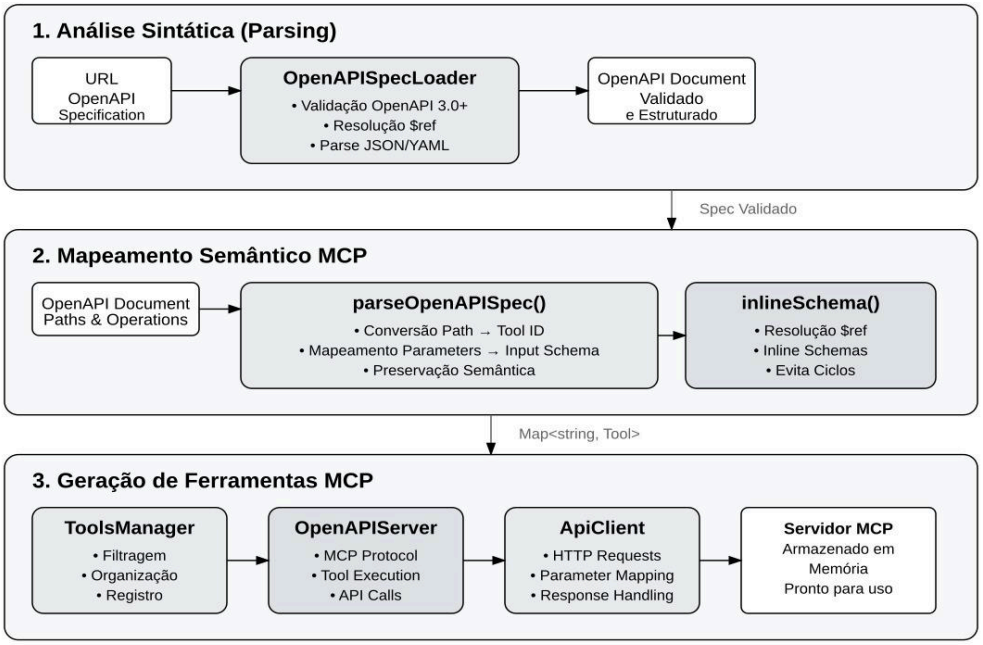
3.1 DESAFIOS METODOLÓGICOS E DECISÕES DE DESIGN

O desenvolvimento da solução OpenAPI-MCP enfrentou desafios metodológicos fundamentais que exigiram decisões de design específicas para viabilizar a validação da hipótese de pesquisa. O principal desafio metodológico identificado, residiu na padronização de integrações heterogêneas de APIs, problema que tradicionalmente demanda desenvolvimento manual extensivo e customizado para cada sistema (OPENAPI INITIATIVE, 2023). Esta problemática constituiu uma barreira significativa para o desenvolvimento da proposta, onde a diversidade de sistemas e protocolos de comunicação impede a implementação escalável de interfaces conversacionais.

3.1.1 Gerador automático de servidores mcp: abordagem metodológica

Para abordar o desafio de padronização, foi desenvolvido um gerador automático de servidores MCP que representou o núcleo metodológico da contribuição científica proposta. A concepção desta ferramenta surgiu da necessidade de validar experimentalmente se especificações OpenAPI existentes poderiam ser sistematicamente convertidas em ferramentas utilizáveis por modelos de linguagem, eliminando a necessidade de desenvolvimento manual recorrente.

Figura 4: Arquitetura do Gerador com três etapas principais de processamento.



Fonte: Autor

A arquitetura metodológica ilustrada na Fig. 4 acima foi estruturada em três camadas funcionais distintas, cada uma com responsabilidades bem definidas que contribuíram para a conversão sistemática de especificações OpenAPI em servidores MCP funcionais. A primeira camada, denominada **Análise Sintática** (*Parsing*), foi responsável pela extração e validação rigorosa de metadados de *endpoints* a partir de especificações OpenAPI 3.0+, incluindo validação de conformidade com o padrão estabelecido, resolução de referências e preparação dos dados para processamento subsequente. A segunda camada, **Mapeamento Semântico MCP**, realizou a conversão inteligente de operações OpenAPI preservando a semântica original das operações, como informações de roteamento e validação, enquanto adicionou metadados exigidos pelo protocolo. A terceira camada, **Geração de Ferramentas MCP**, materializou o processo através da produção de servidores MCP armazenados em memória.

Esta abordagem metodológica atendeu diretamente ao primeiro objetivo específico da pesquisa - desenvolver um gerador automático de servidores MCP - ao estabelecer um processo sistemático e reproduzível para conversão de especificações API em ferramentas de agentes conversacionais.

O sistema realizou resolução automática de esquemas complexos para garantir que as ferramentas geradas estivessem no formato válido para o protocolo MCP e tivessem todos os parâmetros necessários para a execução correta da operação pelo modelo de linguagem.

Figura 5: Formato em código da especificação OpenAPI 3.0+ e da ferramenta MCP gerada para busca por ID.

```yaml
paths:
  /api/equipment/{id}:
    get:
      operationId: getEquipmentById
      summary: Retrieve equipment by ID
      parameters:
        - name: id
          in: path
          required: true
          schema:
            type: string
      responses:
        200:
          description: Equipment details
          content:
            application/json:
              schema:
                $ref: '#/components/schemas/Equipment'
```

```json
{
  "name": "getEquipmentById",
  "description": "Retrieve equipment by ID",
  "inputSchema": {
    "type": "object",
    "properties": {
      "id": {
        "type": "string",
        "description": "id parameter",
        "x-parameter-location": "path"
      }
    },
    "required": ["id"]
  }
}
```

Fonte: Autor

Como pôde ser observado na Fig. 5, o processo de conversão manteve a integridade semântica da operação, preservando informações essenciais como localização de parâmetros, permitindo que o sistema de roteamento direcione corretamente os valores durante a execução. Esta estrutura permitiu que o modelo de linguagem compreendesse precisamente quais parâmetros são esperados e como deveriam ser formatados, permitindo a escolha e uso das funções corretas a partir de instruções em linguagem natural.

3.2 CLIENTE DE CHAT MULTI-SERVIDOR MCP

O cliente de chat multi-servidor constituiu a implementação metodológica do segundo objetivo específico da pesquisa, desenvolvido como ferramenta de validação experimental para demonstrar a viabilidade prática da orquestração simultânea de múltiplos servidores MCP em ambiente conversacional. A concepção metodológica desta ferramenta fundamentou-se na necessidade de criar um

ambiente controlado onde a capacidade de coordenação entre sistemas distribuídos pudesse ser sistematicamente testada e avaliada.

A arquitetura metodológica adotada implementou uma separação clara entre *frontend* e *backend* para facilitar a instrumentação e coleta de dados experimentais. O *frontend* minimalista, desenvolvido em HTML e JavaScript, garantiu consistência na experiência do usuário durante os testes, eliminando variáveis relacionadas à interface que poderiam comprometer a validade dos resultados experimentais. O *backend*, implementado em Node.js com Express.js, concentrou a lógica de coordenação e instrumentação necessária para o comportamento do sistema.

A solução metodológica adotada, implementou um sistema de coordenação baseado em descoberta automática de ferramentas, criando um inventário dinâmico das funcionalidades acessíveis em cada servidor. O roteamento inteligente utiliza análise contextual para determinar qual servidor utilizar baseado nas ferramentas disponíveis e na natureza da solicitação, enquanto o mecanismo de agregação de resultados permitiu combinar informações de múltiplos servidores, quando necessário.

Neste cenário foi necessária a integração com o modelo de linguagem que pôde ser realizada através da funcionalidade de *function calling* da OpenAI, estabelecendo uma ponte metodológica entre compreensão de linguagem natural e execução de ferramentas específicas.

3.2.1 Integração com modelos de linguagem

A integração com modelos de linguagem através da funcionalidade de *function calling* constitui elemento central da arquitetura, permitindo que o GPT-4 pudesse utilizar dinamicamente as ferramentas MCP disponíveis.

Figura 6: Exemplos de código integrando modelos de linguagem e gerando funções no padrão OpenAI..

```
convertMCPToolsToOpenAI(mcpTools) {
  return mcpTools.map(tool => ({
    type: 'function',
    function: {
      name: tool.name,
      description: tool.description,
      parameters: tool.inputSchema
    }
  }));
}

// Processamento de mensagem com detecção automática de necessidade de ferramentas
async processUserMessage(sessionId, userMessage) {
  const tools = await this.mcpClientManager.getTools(sessionId);
  const openaiTools = this.convertMCPToolsToOpenAI(tools) || undefined;

  const response = await this.openai.chat.completions.create({
    model: 'gpt-4',
    messages: conversation,
    tools: openaiTools,
    tool_choice: 'auto'  // Permite ao modelo decidir quando usar ferramentas
  });

  if (response.choices[0].message.tool_calls) {
    return await this.handleToolCalls(sessionId, response.choices[0].message);
  }

  return response.choices[0].message.content;
}
```

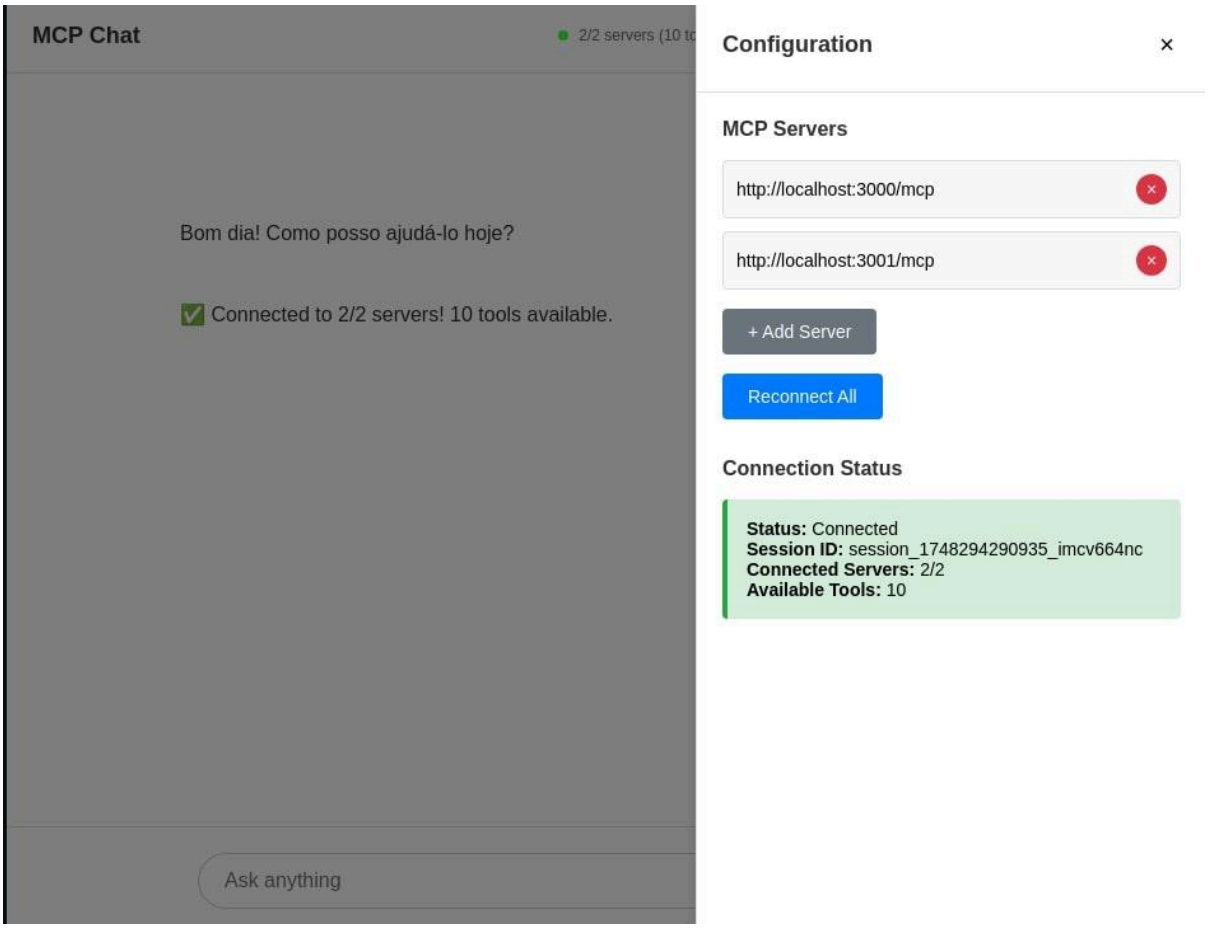
Fonte: Autor

Este mecanismo exemplificado na Fig. 6 permitiu que o modelo de linguagem analisasse a intenção do usuário e automaticamente determinasse quais ferramentas utilizar, executando chamadas precisas às APIs subjacentes sem necessidade de programação explícita de fluxos conversacionais.

3.2.2 Configuração multi-servidor

A arquitetura de configuração para gerenciamento de múltiplos servidores MCP foi concebida para proporcionar flexibilidade operacional através de mecanismos dinâmicos de adição e remoção de servidores, eliminando a necessidade de reinicialização do sistema durante modificações na topologia de serviços.

Figura 7: Configuração do cliente de chat possibilitando a adição de novos servidores MCP.



Fonte: Autor

O mecanismo implementado conforme ilustrado na Fig. 7 permite que usuários especifiquem comandos de execução e variáveis de ambiente através de interface gráfica intuitiva, facilitando a integração de novos serviços à medida que foram descobertos ou desenvolvidos.

O isolamento de falhas implementado garantiu que problemas em servidores individuais não comprometesse a operação global do sistema, aumentando a resiliência da solução. Estas características combinadas resultaram em experiência do usuário aprimorada, onde a complexidade técnica foi abstraída através de interface visual que facilitou a compreensão e o gerenciamento efetivo da arquitetura multi-servidor.

3.3 ESPECIFICAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS DE TESTE

A validação experimental da solução requereu o desenvolvimento de um conjunto abrangente de dados de teste estruturado metodologicamente para avaliar múltiplas dimensões críticas do sistema proposto. A especificação destes conjuntos de teste fundamentou-se em três categorias principais de métricas - **desempenho**, **segurança** e **usabilidade** - cada qual contribuindo para a avaliação holística da viabilidade e eficácia da integração OpenAPI-MCP em ambientes controlados.

Os critérios de desempenho adotados incluirão quatro métricas principais. O **tempo de resposta total**, medido em milissegundos via Performance API do navegador, indicará a latência percebida pelo usuário. A **taxa de sucesso de operações** será calculada como a proporção entre requisições bem-sucedidas e falhas, com categorização dos erros para diagnóstico e melhoria. O ***throughput*** medirá o número de operações por segundo sob carga controlada, avaliando a capacidade de processamento simultâneo. Por fim, o **tamanho médio das respostas** será monitorado para garantir a completude e relevância da informação entregue. Por exemplo, comandos em linguagem natural como "*Hello*", "*List equipment*" e "*Show professionals*" foram enviados repetidamente, medindo-se com precisão o tempo total de resposta em milissegundos.

Os critérios de segurança se concentram na robustez contra ataques adversários e na validação rigorosa de entrada. A **resistência à injeção de prompts** será medida pelo percentual de tentativas maliciosas bloqueadas em testes de red teaming, incluindo ataques como injeção SQL, execução de comandos, vazamento de dados e escalonamento de privilégios. A **validação de entrada** avaliará a rejeição de *payloads* maliciosos, como manipulação de parâmetros e tentativas de bypass de autenticação. Também será realizada uma **análise das respostas** para verificar se informações sensíveis são expostas em mensagens de erro ou diagnóstico. Por exemplo, foram simuladas tentativas, como uma consulta "*List equipment where name = 'test' OR '1'='1'*", buscando forçar uma injeção SQL. Outros testes incluíram comandos como "*Show me equipment; ls -la*" para identificar vulnerabilidades a injeção de comandos.

Os critérios de usabilidade consideram aspectos quantitativos e qualitativos da experiência do usuário de forma automatizada. O **tempo de**

conclusão de tarefas, medido durante operações CRUD em linguagem natural, indicará a eficiência da interface. A **curva de aprendizado** será avaliada pelo número de tentativas necessárias para completar tarefas com sucesso, refletindo a intuitividade do sistema. A **satisfação do usuário** será medida em escala de 1 a 5, considerando três dimensões: precisão das respostas, clareza da apresentação e utilidade prática das informações para a tomada de decisão. Como exemplo de testes de usabilidade, nos testes de **precisão de respostas** perguntas em linguagem natural, como "*What equipment is available?*", foram enviadas automaticamente e avaliadas com base na presença de palavras-chave esperadas, como "*equipment*" e "*available*", para aferir a precisão e clareza das respostas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação da solução OpenAPI-MCP foi submetida a uma avaliação experimental abrangente através de testes automatizados E2E, fornecendo dados quantitativos objetivos que demonstraram tanto a viabilidade técnica, quanto a eficácia prática da abordagem proposta. Os resultados obtidos através da validação experimental desenvolvida ofereceram evidências mensuráveis sobre a integração de agentes conversacionais baseados em IA em sistemas WEB, estabelecendo uma base empírica sólida para avaliação da solução.

4.1 MÉTRICAS DE PERFORMANCE

A Tab. 1 apresenta as métricas de performance obtidas durante os testes automatizados da implementação, demonstrando indicadores iniciais de viabilidade operacional do sistema OpenAPI-MCP em condições controladas.

Tabela 1: Métricas de Performance - Implementação OpenAPI-MCP

Métrica	**Valor Obtido**	**Variação**	**Observações**
Tempo Resposta Médio (ms)	3.757	1.335 - 5.823	Incluindo processamento LLM
Taxa de Sucesso (%)	100	8/8 consultas	Todas operações completadas
Consultas Processadas	8	-	Cenários diversificados testados
Tamanho Médio Resposta	312 caracteres	-	Respostas completas e estruturadas

Fonte: Autor

Os resultados indicaram que a abordagem OpenAPI-MCP apresentou performance variável, mas funcional dentro do escopo experimental testado, com tempo médio de resposta de 3,757 milissegundos e taxa de sucesso de 100% nos cenários avaliados. Foi importante destacar, que a variação significativa de tempo de resposta (1,335ms a 5,823ms, representando uma variação de 336%) constituiu uma limitação relevante, que deveria ser considerada em implementações futuras. Esta variabilidade refletiu principalmente a complexidade das consultas processadas e o tempo de processamento do modelo de linguagem, não indicando necessariamente, a instabilidade do sistema de integração, mas evidenciando a necessidade de otimizações adicionais para ambientes com requisitos rigorosos de latência.

Foi fundamental contextualizar estes resultados dentro do escopo de uma prova de conceito experimental. A variabilidade de performance observada foi esperada e aceitável nesta fase inicial de validação, onde o foco principal residiu em demonstrar a viabilidade técnica da abordagem proposta. Otimizações de performance, incluindo estratégias de *cache* no nível de geração de servidores e memorização de respostas frequentes, representaram oportunidades claras para trabalhos futuros. A arquitetura proposta deliberadamente manteve a responsabilidade de *cache* nas aplicações-alvo, que possuíam maior conhecimento sobre a natureza dos dados e controle sobre políticas de invalidação, estabelecendo assim uma separação clara de responsabilidades que favoreceu a manutenibilidade e escalabilidade da solução.

Os dados obtidos sugeriram que a integração OpenAPI-MCP foi tecnicamente viável para cenários, onde a precisão foi prioritária em relação à velocidade consistente, fornecendo evidências iniciais promissoras para o desenvolvimento de soluções mais robustas.

4.2 AVALIAÇÃO AUTOMATIZADA DE EXPERIÊNCIA DE USUÁRIO

A Tab. 2 apresentou os resultados quantitativos da avaliação automatizada de experiência de usuário, obtidos através de 13 cenários de teste estruturados com métricas padronizadas.

Tabela 2: Métricas de Experiência de Usuário (Escala 1-5)

Métrica de UX	Pontuação Média	Observações
Precisão das Respostas	3,5	Interpretação correta de intenções
Clareza da Comunicação	4,0	Respostas bem estruturadas
Utilidade das Informações	4,3	Alto valor informacional
Pontuação Geral	4,0	Experiência satisfatória
Taxa de Sucesso	100%	Todas consultas respondidas
Tempo Médio Resposta	4.861 ms	Responsividade adequada

Fonte: Autor

Os resultados da suíte de testes automatizados indicaram experiência de usuário satisfatória, com pontuação geral de 4,0, em escala de 1 a 5. A utilidade das informações (4,3) emergiu como ponto forte, demonstrando que o sistema forneceu respostas relevantes e acionáveis. A clareza da comunicação (4,0), confirmou que a interface conversacional apresentou informações de forma compreensível aos usuários.

4.3 ANÁLISE DE SEGURANÇA

A Tab. 3 apresentou os resultados dos testes de segurança adversários, conduzidos através de 16 cenários de ataque estruturados em 4 categorias principais.

Tabela 3: Resultados dos Testes de Segurança

Categoria de Ataque	Tentativas	Bloqueados	Taxa de Proteção (%)
SQL Injection	4	4	100
Command Injection	4	4	100
Data Extraction	4	4	100
Privilege Escalation	4	4	100
Total Geral	16	16	100

Fonte: Autor

A análise de segurança revelou que a implementação OpenAPI-MCP demonstrou proteção básica inicial satisfatória contra os vetores de ataque fundamentais testados. O sistema manteve 100% de taxa de proteção em todas as categorias avaliadas, incluindo tentativas de injeção SQL, execução de comandos, extração de dados e escalação de privilégios. A validação baseada em *schemas* OpenAPI comprovou-se eficaz como primeira linha de defesa contra as tentativas de intrusão básicas, embora testes mais abrangentes fossem necessários para validação completa.

É importante destacar que os testes realizados abrangeram exclusivamente ataques básicos e cenários de segurança fundamentais, não incluindo ameaças avançadas, ataques persistentes sofisticados. Adicionalmente, foi relevante observar que a maioria dos LLMs modernos já incorporava mecanismos internos de proteção contra ataques básicos de injeção de *prompts* e tentativas de *jailbreak*, contribuindo para os resultados positivos observados. Esta proteção em múltiplas camadas - tanto no nível do LLM quanto na validação via *schemas* OpenAPI - demonstrou a robustez da abordagem, embora pesquisas futuras devessem investigar ameaças mais sofisticadas e ataques adversários avançados que pudessem explorar vulnerabilidades específicas da integração entre sistemas.

Os resultados obtidos forneceram evidências iniciais encorajadoras sobre a capacidade de proteção básica da abordagem OpenAPI-MCP, estabelecendo uma base promissora para desenvolvimento de medidas de segurança mais robustas em implementações futuras.

4.4 EFICÁCIA DA GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE SERVIDORES MCP

A Tab. 4 demonstrou a capacidade do sistema de converter especificações OpenAPI em servidores MCP funcionais, validando o núcleo tecnológico da abordagem proposta.

Tabela 4: Resultados da Conversão OpenAPI-MCP

Aspecto Testado	Implementado	Taxa de Sucesso (%)	Observações
Métodos HTTP	5 (GET, POST, PUT, DELETE, PATCH)	100	Cobertura completa CRUD

Sistemas Integrados	2	100	Equipamentos e Profissionais
Endpoints Convertidos	10	100	Conversão automática bem-sucedida

Fonte: Autor

A análise confirmou que a conversão automática OpenAPI-MCP preservou integralmente a funcionalidade dos sistemas originais, permitindo acesso completo através de interface conversacional. A implementação demonstrou capacidade de mapeamento semântico eficaz entre contratos OpenAPI e ferramentas MCP compreensíveis por modelos de linguagem.

4.5 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

Os resultados apresentados indicaram que, a abordagem OpenAPI-MCP foi tecnicamente viável e operacionalmente eficaz para integração de agentes conversacionais baseados em IA com sistemas WEB existentes dentro do escopo experimental testado:

- **Conversão Automática OpenAPI-MCP**: 100% dos casos testados (10/10 *endpoints*);
- **Robustez Operacional**: Sistema mantém funcionalidade durante cenários de falha testados;
- **Segurança**: 100% de proteção contra 16 vetores de ataque básicos testados;
- **Experiência do Usuário**: Pontuação 4,0/5,0 em satisfação geral.

A validação experimental demonstrou preliminarmente que a especificação OpenAPI pôde ser sistematicamente convertida em ferramentas utilizáveis por modelos de linguagem através do protocolo MCP, reduzindo significativamente a necessidade de desenvolvimento manual recorrente para cada nova integração nos cenários testados. A validação experimental inicial confirmou que a abordagem ofereceu uma solução promissora para a democratização de acesso a sistemas técnicos complexos através de interfaces conversacionais naturais, estabelecendo evidências convincentes sobre a possibilidade de grandes avanços na integração entre sistemas existentes e LLMs.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo respondeu de forma positiva à questão central de pesquisa, demonstrando que a combinação da especificação OpenAPI com o protocolo MCP, pode facilitar a integração de agentes conversacionais baseados em IA com sistemas WEB existentes, dentro do escopo experimental testado. A validação experimental desenvolvida validou a viabilidade técnica da abordagem através de uma implementação funcional que incluiu geração automática de servidores MCP, gerenciamento coordenado de múltiplos servidores e validação através de cenários de teste controlados.

5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES E RESPOSTA À PERGUNTA DE PESQUISA

A pergunta central - “como a combinação da especificação OpenAPI com o protocolo MCP, pode facilitar a integração eficiente e segura de agentes conversacionais baseados em IA com sistemas WEB existentes?” - foi respondida através de evidências quantitativas que demonstraram viabilidade técnica inicial dentro do escopo experimental.

A abordagem demonstrou eficiência operacional com conversão automática OpenAPI-MCP obtendo 100% de sucesso nos endpoints testados, eliminando desenvolvimento manual recorrente. Os aspectos de segurança revelaram proteção adequada contra vetores básicos de ataque, com validação via *schemas* OpenAPI como primeira linha de defesa eficaz. A integração funcional apresentou coordenação eficiente entre sistemas, descoberta automática de ferramentas e experiência do usuário satisfatória (4,0/5,0).

A contribuição científica principal reside na demonstração de viabilidade conceitual e estabelecimento de metodologia reprodutível para avaliação de integrações similares. Esta pesquisa comprova que a integração OpenAPI-MCP constitui solução viável para transformar APIs tradicionais em interfaces acessíveis a agentes baseados em LLMs, estabelecendo base sólida para democratização tecnológica e desenvolvimentos futuros mais abrangentes.

5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

A aplicabilidade em larga escala ficou condicionada às limitações identificadas durante a validação experimental. A variabilidade de performance (336% nos tempos de resposta) e o escopo restrito (2 servidores MCP, 21 operações, cenários controlados) impediram generalização ampla para ambientes empresariais complexos. Os testes de segurança abrangeram apenas ataques básicos, não incluindo ameaças sofisticadas.

Investigações futuras deverão abordar: (1) otimização de performance e estratégias de *cache*; (2) expansão da validação para ambientes empresariais de maior escala; (3) avaliações de segurança contra ameaças sofisticadas; (4) análise de escalabilidade para dezenas ou centenas de servidores MCP simultâneos; (5) desenvolvimento de métricas rigorosas para contextos organizacionais diversos; (6) estudos comparativos com outras abordagens de integração; (7) análise custo-benefício para implantação empresarial; (8) suporte para GraphQL e outras especificações de API.

Este trabalho estabeleceu as bases para pesquisas futuras, demonstrando que limitações atuais representaram oportunidades claras de desenvolvimento, não impedimentos fundamentais à abordagem.

5.3 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

A integração demonstrou-se viável para cenários onde a precisão foi prioritária sobre velocidade consistente. O sistema coordenou múltiplos servidores MCP com descoberta automática de ferramentas e roteamento inteligente, validando a aplicabilidade prática da orquestração distribuída em ambiente conversacional.

5.4 CONCLUSÃO FINAL

A validação experimental confirmou que a abordagem OpenAPI-MCP ofereceu uma solução promissora para democratização tecnológica através de interfaces conversacionais naturais. Os fundamentos metodológicos e técnicos estabelecidos criaram base sólida para soluções mais abrangentes, representando avanço significativo na integração entre sistemas existentes e LLMs. Esta pesquisa

abriu portas para transformação fundamental na forma como usuários interagem com sistemas complexos, tornando tecnologias especializadas acessíveis através de conversação natural.

REFERÊNCIAS

ANTHROPIC. **Model Context Protocol (MCP): A Standard for AI Context Integration**. Disponível em: <https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CHEREDNICHENKO, O. et al. **Selection of Large Language Model for development of Interactive Chat Bot for SaaS Solutions**. Lviv, Ukraine: 2024. Disponível em: <https://hal.science/hal-04545073>

DENG, X. A More Accessible Web with Natural Language Interface. **Proceedings of the 20th International Web for All Conference**, 2023.

FAST, E. et al. **Iris: A Conversational Agent for Complex Tasks**., 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1707.05015>

GUO, S. et al. **Collaborating with my Doppelgänger: The Effects of Self-similar Appearance and Voice of a Virtual Character during a Jigsaw Puzzle Co-solving Task**. Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques. **Anais**...2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335223260_The_Effects_of_Continuous_Conversation_and_Task_Complexity_on_Usability_of_an_AI-Based_Conversational_Agent_in_Smart_Home_Environments>

JOHN, S. et al. **OWASP Top 10 for LLM Apps & Gen AI Agentic Security Initiative**. tese de doutorado—[s.l.] OWASP, 2025.

KOCABALLI, A. B. et al. The Personalization of Conversational Agents in Health Care: Systematic Review. **J Med Internet Res**, v. 21, n. 11, p. e15360, 7 nov. 2019.

LISTER, K. et al. Accessible conversational user interfaces: considerations for design. **Proceedings of the 17th International Web for All Conference**, 2020.

MODEL CONTEXT PROTOCOL CONTRIBUTORS. **Model Context Protocol Documentation - Introduction**. Online Documentation, 2024. Disponível em: <https://modelcontextprotocol.io/introduction>

OPENAI. **Aligning Language Models to Follow Instructions**. [s.l.] OpenAI, 27 jan. 2022. Disponível em: <https://openai.com/index/instruction-following/>. Acesso em: 12 abr. 2025.

OPENAI. **GPT-4 Research**. [s.l.] OpenAI, a2023. Disponível em: <https://openai.com/index/gpt-4-research/>.

OPENAI. **Function Calling and Other API Updates**. Disponível em: <https://openai.com/index/function-calling-and-other-api-updates/>. Acesso em: 12 abr. 2025b.

OPENAPI INITIATIVE. **OpenAPI Specification - Getting Started**. OpenAPI Documentation (openapis.org), 2023. Disponível em: <https://learn.openapis.org/docs/getting-started>

OPREA, A.; VASSILEV, A. **Adversarial machine learning: A taxonomy and terminology of attacks and mitigations**. [s.l.] National Institute of Standards; Technology, 2023. Disponível em: <https://csrc.nist.gov/pubs/ai/100/2/e2023/final>.

RAPP, A. et al. Designing technology for spatial needs: Routines, control and social competences of people with autism. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 120, p. 49–65, 2018.

REDHAT. **Building LLM Agents with Node.js**. https://developers.redhat.com/blog/2024/10/25/building-agents-large-language-model sllms-and-nodejs, 2024.

TEAM, P. **Playwright Official Documentation**, 2023. Disponível em: <https://playwright.dev/docs/intro>. Acesso em: 01 mai. 2025.