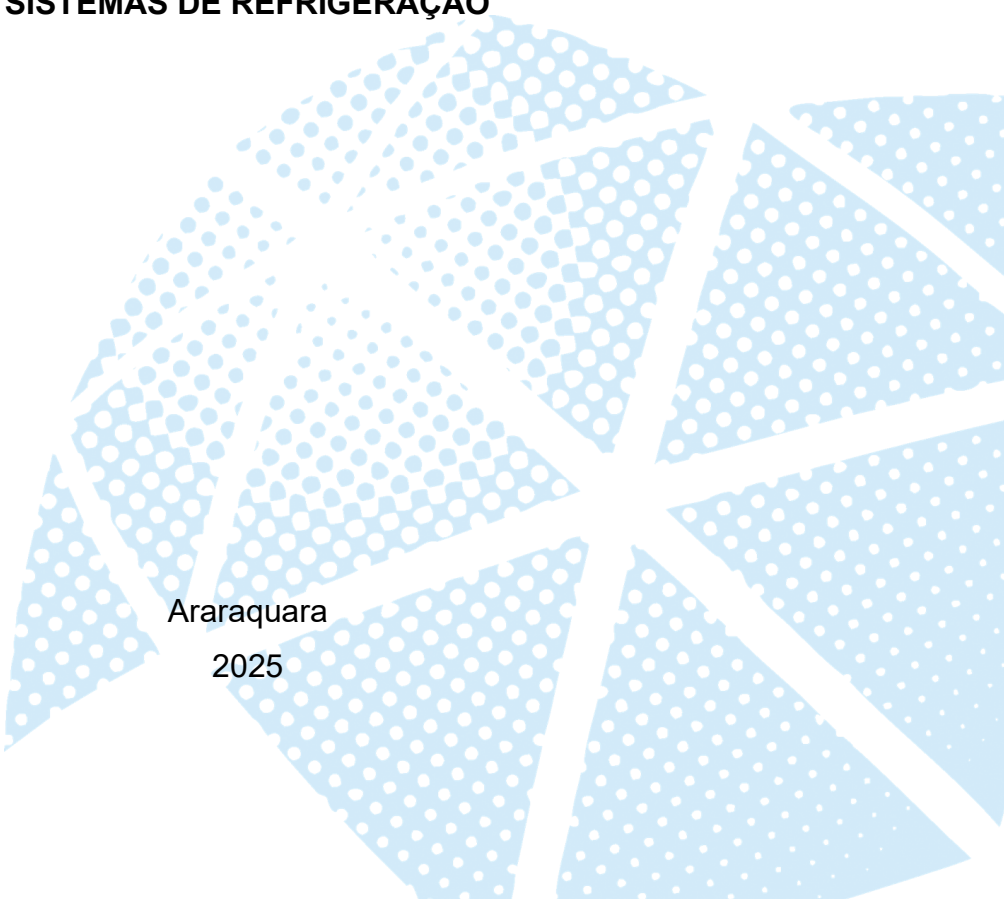


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

IGOR CRUZ LUCIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM CHATBOT PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA EM
SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO**

Araraquara
2025



IGOR CRUZ LUCIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM CHATBOT PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA EM
SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Instituto de Química,
Araraquara, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof. Dr. Kelly Johana
Dussán Medina

Araraquara

2025

L938d Lucio, Igor
Desenvolvimento de um chatbot para análise termodinâmica em sistemas de refrigeração / Igor Lucio. -- Araraquara, 2025
48 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Química) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara
Orientadora: Kelly Johanna Dussan Medina

1. Inteligência artificial. 2. Refrigeração. 3. Engenharia química. 4. Termodinâmica. 5. Tecnologia da informação. I. Título.

IGOR CRUZ LUCIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM CHATBOT PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA EM
SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO:**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP)
Instituto de Química, Araraquara, para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Química.

Data da defesa: 08/12/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Kelly Johana Dussán Medina

Prof. Dr. Elias de Souza Monteiro Filho

Prof^a. Dr^a. Lorena Oliveira Pires

Dedico este trabalho à minha avó, Lourdes Parras Lucio, a quem sempre desejei que me visse como um engenheiro formado. O brilho em seus olhos, ao sentir orgulho de mim, foi, é e sempre será um dos maiores motivadores da minha dedicação e resiliência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Kelly Johana Dussán Medina, por todo o apoio, paciência e dedicação desde as primeiras aulas de Desenho Técnico, passando pelo período de estágio, até o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação foi essencial não apenas para a conclusão deste projeto, mas também para minha formação pessoal e profissional.

À minha noiva Kaliá, por ser meu maior incentivo todos os dias. Sua presença constante, carinho e compreensão me deram força nos momentos mais desafiadores e tornaram esta caminhada muito mais leve. Este trabalho também é fruto do seu apoio e amor incondicional.

Aos meus pais, por todas as oportunidades que me proporcionaram e por terem me permitido estudar em instituições de ensino de excelência, o que me trouxe até a UNESP, uma das melhores universidades da América Latina. Tudo o que conquistei até aqui é resultado do esforço e dedicação que sempre vi em vocês.

Ao meu irmão Erick, por estar ao meu lado desde sempre, me motivando a crescer, acreditando no meu potencial e sendo exemplo de companheirismo e amizade.

Aos meus amigos de sala, que tornaram a graduação muito mais leve e divertida. As conversas, as risadas e as experiências compartilhadas foram fundamentais para tornar essa jornada inesquecível.

Ao Instituto de Química de Araraquara e a todo o corpo docente, pela qualidade do ensino e pela dedicação em formar profissionais comprometidos, críticos e éticos. Cada disciplina e cada professor contribuíram de maneira significativa para minha trajetória acadêmica e para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à banca examinadora, pela disponibilidade e pelo tempo dedicado à leitura e análise deste projeto. As observações, sugestões e contribuições apresentadas durante a defesa foram de grande valor para o aprimoramento deste trabalho e para o meu crescimento como futuro engenheiro.

“Vim, Vi e Venci.” (Júlio César, 47 a.C)

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um *chatbot* baseado em Inteligência Artificial para análise termodinâmica de sistemas de refrigeração, com foco no cálculo automático do Coeficiente de Performance (COP) e na interpretação de resultados sob diferentes condições operacionais. O projeto foi implementado no ambiente Microsoft Copilot Studio, integrado ao ecossistema Microsoft 365, utilizando o modelo GPT-5 como núcleo de processamento. As tabelas termodinâmicas dos fluidos R-12, R-22, R-134a e amônia (R-717) foram incorporadas ao sistema em formato digital, permitindo que o agente realizasse consultas diretas e cálculos sem necessidade de ferramentas externas. O *chatbot* foi configurado para compreender instruções em linguagem natural, acessar dados termodinâmicos armazenados no SharePoint e executar cálculos de forma autônoma e rastreável, garantindo precisão e padronização das unidades utilizadas. Foram simulados três casos reais representando diferentes aplicações: uma câmara frigorífica comercial, uma indústria de processamento de alimentos e um sistema industrial de alta carga térmica. Os resultados obtidos demonstraram coerência com os valores teóricos previstos, com Coeficientes de Performance de aproximadamente 6,4 para o R-22, 3,6 para o R-134a e 1,42 para a amônia, confirmando a consistência dos cálculos realizados. Apesar de pequenas limitações observadas na recuperação de dados e na busca em planilhas, o desempenho geral do sistema foi estável e satisfatório. O estudo evidencia que a integração entre Termodinâmica e Inteligência Artificial é viável e representa um avanço na digitalização de processos de engenharia, contribuindo para maior eficiência, segurança e agilidade na análise de ciclos frigoríficos, além de oferecer potencial didático no ensino de Engenharia Química.

Palavras-chave: coeficiente de performance; fluidos refrigerantes; termodinâmica aplicada; automação de cálculos; modelos generativos; inteligência artificial; Microsoft Copilot Studio; Microsoft 365; engenharia química digital.

ABSTRACT

This work presents the development of an Artificial Intelligence–based chatbot for thermodynamic analysis of refrigeration systems, focusing on the automatic calculation of the Coefficient of Performance (COP) and the interpretation of results under different operating conditions. The project was implemented in the Microsoft Copilot Studio environment, integrated into the Microsoft 365 ecosystem, using the GPT-5 model as its processing core. Thermodynamic tables for refrigerants R-12, R-22, R-134a, and ammonia (R-717) were incorporated into the system in digital format, allowing the agent to perform direct data queries and calculations without external tools. The chatbot was configured to understand natural language instructions, access thermodynamic data stored in SharePoint, and execute calculations autonomously and traceably, ensuring precision and unit consistency. Three real-world cases were simulated to represent different applications: a commercial cold room, a food processing industry, and an industrial high thermal load system. The results obtained were consistent with theoretical expectations, yielding COP values of approximately 6.4 for R-22, 3.6 for R-134a, and 1.42 for ammonia, confirming the accuracy of the calculations performed. Although minor limitations were observed in data retrieval and spreadsheet indexing, the overall system performance proved stable and satisfactory. The study demonstrates that integrating Thermodynamics and Artificial Intelligence is feasible and represents progress in the digitalization of engineering processes, contributing to greater efficiency, safety, and agility in refrigeration cycle analysis while also offering educational potential in Chemical Engineering.

Keywords: coefficient of performance; refrigerants; applied thermodynamics; calculation automation; generative models; artificial intelligence; Microsoft Copilot Studio; Microsoft 365; digital chemical engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Pistão-Cilindro utilizado em motores à combustão.....	4
Figura 2: Esquema do sistema de funcionamento de um ar-condicionado	7
Figura 3: Esboço dos sistemas de aquecimento e resfriamento para o cálculo do COP	9
Figura 4: Modelo de <i>Deep Learning</i>	11
Figura 5: "El Ajedrecista" e seus eletroírmãs.....	13
Figura 6: Arquitetura do Microsoft Copilot	16
Figura 7: Funcionamento do MS Copilot	18
Figura 8: <i>Chatbot</i> desenvolvido com o MS Copilot Studio no MS Teams	20
Figura 9: Fluxograma do processo de configuração do chatbot.....	23
Figura 10: Entrada de dados pelo usuário para o chatbot.....	31
Figura 11: Chatbot funcionando, validando informações e construindo a resposta ..	32
Figura 12: Confirmação de resposta e status final do chatbot.....	32
Figura 13: Resposta do chatbot para o prompt do Caso 1	36
Figura 14: Resposta do chatbot para o prompt do Caso 2.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados utilizados para os cálculos do Caso 1	37
Tabela 2: Dados utilizados para os cálculos manuais do Caso 2.....	40
Tabela 3: Dados utilizados para os cálculos manuais do Caso 3.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	1
1.3 JUSTIFICATIVA	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 TERMODINÂMICA EM ENGENHARIA QUÍMICA	2
2.1.1 Princípios Básicos	3
2.1.1.1 Primeira Lei da Termodinâmica	4
2.1.1.2 Entropia	5
2.1.1.3 Segunda Lei da Termodinâmica	6
2.1.2 Aplicações Práticas	6
2.2 COEFICIENTE DE PERFORMANCE (COP) E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ASSISTENTES VIRTUAIS	9
2.3.1 Conceitos e Definições	10
2.3.1.1 Machine Learning (ML)	10
2.3.1.2 Assistentes Virtuais	11
2.3.2 Histórico e Evolução	12
2.4 MICROSOFT COPILOT	16
2.4.1 Microsoft 365 Copilot Studio	19
3. METODOLOGIA	20
3.1 PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO <i>CHATBOT</i>	20
3.1.1 Ferramentas Utilizadas	20
3.1.2 Estruturação do Projeto	21
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MICROSOFT COPILOT	22
3.2.1 Configuração Inicial	22
3.2.2 Treinamento e Ajustes	24
3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS TERMODINÂMICOS	27
3.3.1 Fontes de Dados e Critérios de Seleção	28
4 DESENVOLVIMENTO DO CHATBOT	29
4.1 ARQUITETURA DO <i>CHATBOT</i>	29
4.2 CONSULTA A TABELAS DE SATURAÇÃO E SUPERAQUECIDO	33

4.3 CÁLCULO DO COP AUTOMÁTICO.....	33
4.4 SUGESTÕES DE OTIMIZAÇÃO PARA O USUÁRIO	34
5 APLICAÇÃO EM CASOS REAIS	35
5.1 CASO 1: PROJETO DE UMA CÂMARA FRIGORÍFICA COMERCIAL	35
5.1.1 Prompt Utilizado	35
5.1.2 Resposta do Chatbot.....	36
5.1.3 Confronto com cálculos manuais	37
5.2 CASO 2: INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS.....	38
5.2.1 Prompt Utilizado	38
5.2.2 Resposta do Chatbot.....	38
5.2.3 Confronto com cálculos manuais	40
5.3 CASO 3: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL COM ALTA CARGA TÉRMICA	40
5.3.1 Prompt Utilizado	40
5.3.2 Resposta do Chatbot.....	41
5.3.3 Confronto com cálculos manuais	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	42
6.2 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO USO DO MICROSOFT COPILOT	44
6.3 IMPACTO NOS PROJETOS DE ENGENHARIA QUÍMICA	45
7 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Problema

Em projetos de Engenharia Química, a Termodinâmica se faz essencial para garantir o bom funcionamento e integridade dos equipamentos, bem como a segurança das pessoas que os operarão.

Ao se tratar de sistemas de refrigeração, a Termodinâmica é um dos pilares para o projeto. Cada um dos possíveis fluidos refrigerantes possui suas especificidades e propriedades termodinâmicas, sendo fundamental levar em conta as diferenças entre eles, tanto para otimizar a eficiência do equipamento, quanto para garantir a viabilidade econômica do projeto.

Entretanto, uma das maiores dificuldades percebidas está na descentralização dessas informações. Encontrar tabelas de líquido e vapor (saturados e/ou superaquecidos) pode se tornar um problema, visto as diversas fontes disponíveis, que podem ser confiáveis ou não. Além disso, o uso de diferentes sistemas de unidades (Sistema Internacional, Imperial etc.) torna o projeto mais lento, o que acarreta custos operacionais em casos de Sistemas de refrigeração que já existem, mas que devem ser otimizados.

1.2 Objetivo do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo agilizar o trabalho do engenheiro químico, centralizando bases de dados confiáveis e verificadas num único ambiente. Além disso, o uso da Inteligência Artificial generativa irá auxiliar o engenheiro com *insights* e conclusões baseadas em conhecimentos prévios alimentados a ela.

Dessa forma, espera-se ter um Agente de IA treinado com informações íntegras, verificadas e com unidades padronizadas para garantir que o engenheiro responsável seja capaz de tomar as melhores decisões para o andamento e resultado do projeto de forma ágil, reduzindo custos e tempo dispendidos.

1.3 Justificativa

O avanço das tecnologias digitais e o crescimento do uso de sistemas baseados em Inteligência Artificial têm proporcionado novas possibilidades para a

Engenharia Química, especialmente em processos que envolvem análise de dados e tomada de decisão. Entretanto, observa-se que a aplicação prática dessas ferramentas ainda é pouco explorada quando se trata de operações termodinâmicas, em especial nos sistemas de refrigeração. Durante o desenvolvimento de projetos, o engenheiro químico lida com uma grande quantidade de informações que, muitas vezes, estão dispersas em diferentes fontes e formatos. As tabelas de propriedades termodinâmicas de fluidos refrigerantes, fundamentais para o cálculo do Coeficiente de *Performance* (COP), costumam estar disponíveis apenas em documentos ou livros isolados, o que torna o processo de consulta e comparação demorado. Essa fragmentação compromete a eficiência do trabalho e pode levar a erros de conversão de unidades ou de interpretação dos dados.

Além disso, o uso de ferramentas tradicionais, como planilhas ou *softwares* especializados, exige conhecimento técnico prévio e tempo considerável para configurar fórmulas e modelos adequados. Dessa forma, um assistente digital capaz de centralizar as informações termodinâmicas e realizar cálculos automáticos se torna uma solução prática, confiável e acessível para o Engenheiro.

A escolha pelo uso do Microsoft Copilot Studio como base para o desenvolvimento do *chatbot* se justifica pela integração nativa com o ecossistema Microsoft 365, amplamente utilizado no ambiente corporativo e acadêmico, além do baixo custo comparado a ferramentas equivalentes. Essa integração garante segurança, escalabilidade e facilidade de acesso, além de permitir a automação de cálculos e análises em tempo real por meio do Power Automate e de dados armazenados no SharePoint.

Portanto, o presente trabalho se justifica pela necessidade de unir a Termodinâmica com a agilidade proporcionada pela Inteligência Artificial, criando uma ferramenta inovadora que simplifica o processo de análise de sistemas de refrigeração e apoia a tomada de decisões técnicas de forma rápida, segura e padronizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termodinâmica em Engenharia Química

O Engenheiro é o profissional que une, criativamente, os princípios da termodinâmica ao desenvolvimento de projetos e processos para o benefício de toda a humanidade [1]. No contexto histórico da Revolução Industrial, a Termodinâmica surge para explicar e descrever os princípios operacionais dos motores à combustão recém-criados [2], dando ao Engenheiro Químico a capacidade de compreender, projetar e controlar equipamentos industriais, responsáveis por atender a grande demanda por bens de consumo criada à época.

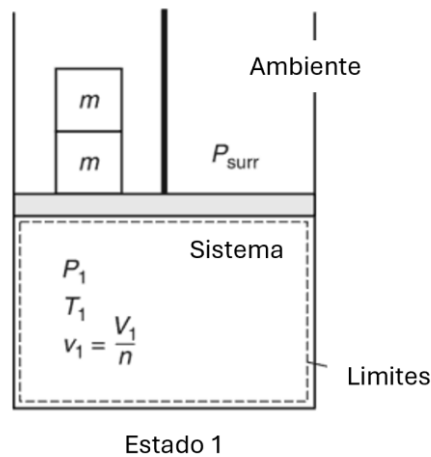
O estudo do funcionamento dos motores e observação da natureza levaram os engenheiros da época a entenderem a ciência que transformava calor em movimento e a postular Leis e princípios fundamentais para a Termodinâmica, que são utilizados até os dias atuais já que as Primeira e Segunda Leis compreendem toda essa ciência de forma implícita e simples, mas com conclusões profundas [2].

2.1.1 Princípios Básicos

O estudo da termodinâmica é baseado, inicialmente, em três definições muito importantes: Universo, Sistema e Ambiente [1]. O Universo representa todo o espaço estudado, mas, para facilitar o entendimento e reduzir esse espaço para algo palpável, o conceito de Sistema se faz fundamental. “Sistema” é a parte do Universo a ser estudada e, geralmente, é aquela que contém a(s) substância(s) de interesse, sem considerar o recipiente que a contém. Todo o resto é considerado como “Ambiente” [1].

Um Sistema Termodinâmico pode ser aberto, quando há fluxo de massa e/ou energia entre o Sistema e o Ambiente, ou fechado, quando não há fluxo através dos limites reais ou imaginários [1]. A Figura 1 mostra, didaticamente, um sistema de pistão-cilindro utilizado em motores de combustão com os conceitos de Universo, Sistema e Ambiente.

Figura 1: Sistema Pistão-Cilindro utilizado em motores à combustão



FONTE: KORETSKI, 2003 [1]

Com essas definições fundamentais, pode-se partir para a análise e compreensão das Leis da Termodinâmica. A Primeira Lei foi baseada nos experimentos de James P. Joule. Aproximadamente na década de 1840, Joule adicionou água, óleo e mercúrio em diferentes recipientes isolados e agitou os sistemas, medindo o trabalho exercido e a variação de temperatura das substâncias. Com isso, Joule foi capaz de demonstrar que, para cada um dos fluidos estudados, era necessária uma quantidade de trabalho exercido por unidade de massa para que a temperatura do fluido fosse alterada em um grau, explicitando a relação entre trabalho e calor [2].

Além disso, J. P. Joule postulou o conceito de "Energia Interna". Após compreender que as moléculas de um fluido possuem energia cinética e potencial, dados o movimento, rotação e vibração das mesmas, bem como a energia das forças intermoleculares ali presentes [2]. Ele também percebeu que a adição de trabalho ao fluido era capaz de aumentar a vibração e movimento das moléculas, o que acarretava um aumento da temperatura, reconhecendo que o calor era uma forma de transferência de energia. Apesar de não ser possível medir a energia interna de uma substância, para a termodinâmica, somente a variação dessa energia é considerada [2].

2.1.1.1 Primeira Lei da Termodinâmica

Basicamente, essa Lei da Termodinâmica postula que a quantidade total de Energia de um sistema é conservada, independente da forma com que é transferida [2]. Dessa forma, pode-se concluir que as variações das Energia do sistema e Energia do ambiente são iguais e, que, portanto, a soma de suas variações deve ser zero, conforme mostra a Equação 1.

$$\Delta E_{Sistema} + \Delta E_{Ambiente} = 0 \quad (1)$$

Como compreendido por Joule, a variação de energia é devida ao calor (Q) e trabalho (W) aplicados sobre a substância e, dessa forma, pode-se concluir que:

$$\Delta E = Q + W \quad (2)$$

Para sistemas fechados, ou seja, quando não há transferência massa para o ambiente, conclui-se que somente a Energia Interna (U) da substância sofre variações. Portanto, a Equação 2 torna-se:

$$\Delta U = Q + W \quad (3)$$

2.1.1.2 Entropia

Para explicar a Segunda Lei da Termodinâmica, a compreensão do conceito de Entropia é essencial. A Entropia é o conceito que descreve o grau de desordem das moléculas de um sistema e, conseqüentemente, a dispersão de sua energia [2]. Além disso, esse conceito diz muito sobre a reversibilidade de processos. A Entropia está relacionada à Segunda Lei assim como a Energia Interna está à Primeira [2], e pode ser representada matematicamente pela Equação 4.

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{rev}}{T} \quad (4)$$

Onde dQ_{rev} é o elemento diferencial da quantidade de calor trocada de forma reversível e T é a temperatura na qual a troca de calor ocorre [2]. Para processos reversíveis e adiabáticos, ou seja, que ocorrem sem troca de calor, pode-se

considerar que esse elemento deve ser zero e que, portanto, a Entropia do sistema seja zero.

Para processos irreversíveis, deve-se aplicar a Equação 4 para um processo reversível escolhido arbitrariamente [2]. Sabendo que a Entropia é uma função de Estado, ou seja, que não depende do caminho da transformação, mas sim do estado final, seu valor para um dado estado em processos reversíveis ou irreversíveis deve ser o mesmo [2].

2.1.1.3 Segunda Lei da Termodinâmica

Entendendo a definição e usabilidade da Entropia, a Segunda Lei da Termodinâmica pode ser explicada. Essa postula que a todo processo ocorre na direção em que a variação total de entropia do sistema é sempre positiva e que, para processos reversíveis, pode se aproximar de zero [2]. Matematicamente, tem-se a Equação 5.

$$\Delta S_{Total} \geq 0 \quad (5)$$

Dessa forma, pode-se concluir que é impossível que um processo ocorra espontaneamente se a Entropia total for negativa. A Segunda Lei também estabelece que nenhuma máquina pode operar com 100% de eficiência na conversão de calor em trabalho. Isso ocorre porque é impossível isolar completamente o sistema e, conseqüentemente, sempre haverá uma troca de calor entre Sistema e Ambiente, resultando em perdas na eficiência do processo.

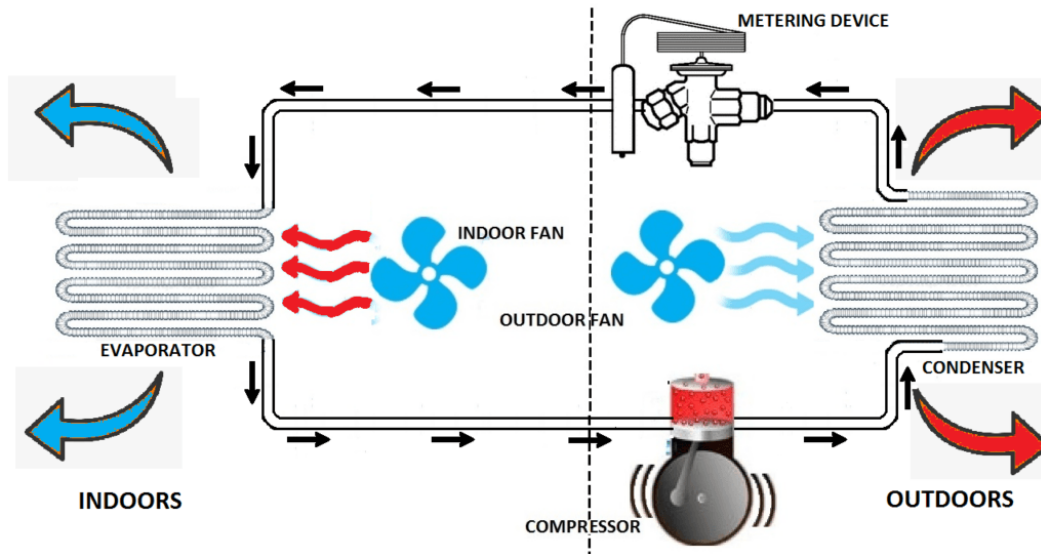
A Segunda Lei tem papel importantíssimo em sistemas de refrigeração, já que é responsável por definir os limites naturais da conversão de calor em trabalho.

2.1.2 Aplicações Práticas

Um bom exemplo prático da aplicação das Leis da Termodinâmica é o funcionamento de um ar-condicionado. A Segunda Lei da Termodinâmica diz que o calor irá fluir sempre de um corpo quente para um corpo frio, respeitando os limites definidos pela Entropia, conforme a Equação 5.

Entretanto, num ar-condicionado, observa-se que o calor é transferido do fluido frio para o fluido quente, graças a aplicação de trabalho. Basicamente, ele remove o calor do ambiente e empurra o ar quente para fora, tornando a temperatura interna mais agradável. A Figura 2 mostra o sistema de funcionamento de um aparelho de ar-condicionado:

Figura 2: Esquema do sistema de funcionamento de um ar-condicionado



Fonte: SANDIUM, 2023 [3]

Inicia-se o processo no compressor, onde o fluido refrigerante chega na forma de vapor, com baixas pressão e temperatura. Nesse equipamento, a pressão e temperatura do fluido são aumentadas, tornando-o um vapor superaquecido [4]. Nessa etapa, utiliza-se energia elétrica para aplicar trabalho sobre o fluido, aumentando sua energia interna.

Em seguida, segue para o condensador, uma serpentina de cobre, onde entrará em contato com o ar frio soprado pelo ventilador. O refrigerante é então condensado, tornando-se um líquido em alta pressão, e o ar que esquenta devido à troca térmica é jogado para fora do sistema [4]. O cobre geralmente é utilizado devido à sua alta capacidade de troca térmica, aumentando a eficiência do processo. Nesta etapa, observa-se que o calor do fluido refrigerante é trocado com o ambiente externo, já que mesmo que o ar externo esteja quente, o refrigerante no condensador ainda está a uma temperatura maior. Dessa forma, a troca de calor ocorre naturalmente, conforme a Segunda Lei da Termodinâmica.

Depois disso, o fluido refrigerante, agora um líquido de alta pressão, passa pela válvula de expansão, onde tem sua pressão reduzida e, conseqüentemente, a temperatura também [4]. Essa etapa respeita a Primeira Lei da Termodinâmica porque a energia total do fluido é conservada, já que com a pressão reduzida, a temperatura também o é, numa transformação isoentálpica.

Ao entrar no evaporador, o líquido frio em baixa pressão absorve o calor do ar soprado, tornando-se, novamente, um vapor em baixas pressão e temperatura. Por fim, o processo é recomeçado no compressor [3].

2.2 Coeficiente de Performance (COP) e Eficiência Energética

O coeficiente de performance (COP ou K) é uma grandeza utilizada para medir a eficiência de máquinas térmicas [4]. Matematicamente, pode ser descrito seguindo a equação 6.

$$K = \frac{Q_x}{W} \quad (6)$$

Onde Q é o calor trocado e W, o trabalho exercido. O subíndice “x” diz respeito aos diferentes processos que podem ser executados: aquecimento ou resfriamento. Para um sistema de aquecimento, Q_x é o calor doado ao ambiente quente e, para um sistema de resfriamento, é o calor retirado do ambiente frio [4]. Dessa forma, tem-se a equação 7.

$$K_H = \frac{Q_H}{W} \quad (7)$$

$$K_C = \frac{Q_C}{W} \quad (8)$$

Pode-se, ainda, manipular a Equação 7 para deixar tudo em função de Q_C . Do balanço de energia, tem-se:

$$Q_H = W + Q_C \quad (9)$$

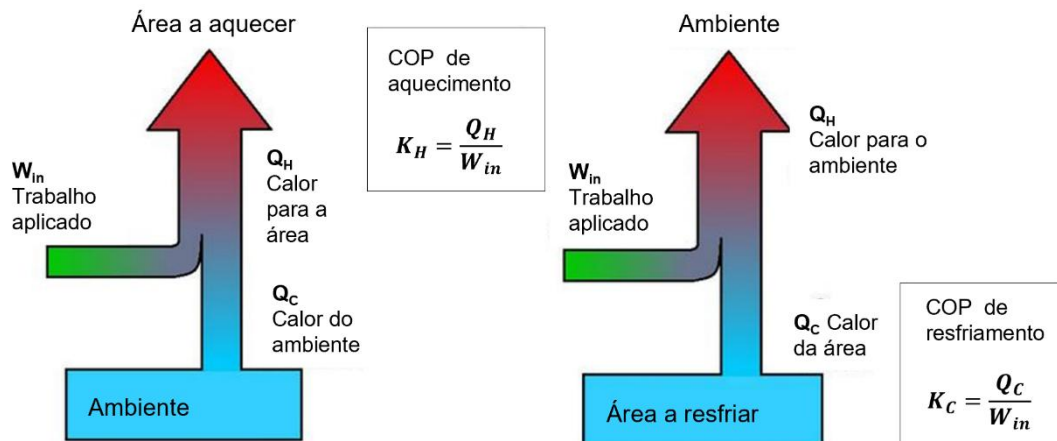
$$K_H = \frac{W + Q_C}{W} \quad (10)$$

Por fim, pode-se relacionar K_C e K_H pela Equação 11:

$$K_H = 1 + K_C \quad (11)$$

A Figura 3 mostra um esboço para cada um dos diferentes sistemas.

Figura 3: Esboço dos sistemas de aquecimento e resfriamento para o cálculo do COP



FONTE: Adaptado de DONEV, 2024 [4]

Da equação, pode-se compreender que quanto menor for o trabalho para trocar uma dada quantidade de calor, maior será o COP e, portanto, mais eficiente energeticamente é aquela máquina [4]. Dessa forma, deve-se buscar sempre sistemas de refrigeração em que o COP é alto.

2.3 Inteligência Artificial e Assistentes Virtuais

Inteligência Artificial (IA) é um dos diversos campos da área de Tecnologia da Informação que consiste no uso de ferramentas digitais para criar programas capazes de entender e responder a interações humanas com uma capacidade cognitiva similar a de um ser humano [5].

Um modelo de IA é capaz de identificar objetos, imagens e palavras, processá-los e tomar conclusões, sugerindo recomendações, respostas e comportamentos adequados às diversas situações apresentadas. Além disso, a depender do tipo de tecnologia utilizada, a IA não precisa da interação humana para funcionar, como é o caso de carros autônomos [5].

Para criar um modelo de IA, é necessário lançar mão de diferentes métodos de treinamento, tornando o programa capaz de dar respostas ao usuário adequadamente. Dentre esses métodos, encontra-se o Machine Learning (ML) [5].

2.3.1 Conceitos e Definições

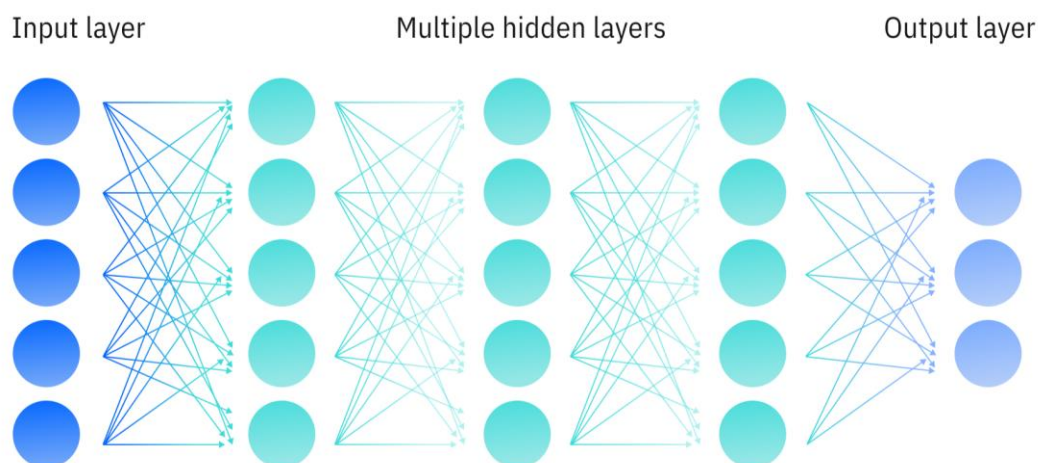
2.3.1.1 *Machine Learning* (ML)

ML é uma área da IA que envolve a criação de modelos através da inserção de informações para que o algoritmo se baseie nelas para propor soluções. Existem diferentes tipos de técnicas para isso, cada uma mais adaptada a diferentes funcionalidades e resultados desejados [5]. O Aprendizado Supervisionado é aquele no qual o programa irá ser treinado com dados rotulados; o Aprendizado Não Supervisionado consiste em treinar o modelo de IA com dados sem rótulos para que o programa seja capaz de identificar padrões; e o Aprendizado por Reforço consiste em um método de tentativa e erro, onde a IA é recompensada por suas respostas corretas [5].

Atualmente, com a ascensão das IAs generativas, o Aprendizado Supervisionado é o mais utilizado, sendo a técnica de Redes Neurais Artificiais amplamente empregada pelos programadores [5]. Essa consiste na reprodução da estrutura do cérebro humano, através de nós interconectados e é capaz de identificar padrões complexos e relacionamentos em grandes volumes de dados [5].

Uma metodologia de ML é o *Deep Learning* (DL), ou Aprendizado Profundo em tradução literal. Esse método é chamado de “Profundo” porque utiliza diversas camadas ocultas em sua rede neural para ensinar ao modelo a hierarquia dos dados fornecidos [5]. A Figura 4 mostra o funcionamento do DL. No início, há a Camada de Entrada, na qual o modelo recebe os dados brutos. As múltiplas camadas ocultas são responsáveis por processar os dados recebidos anteriormente, interpretá-los e obter suas características. São necessárias ao menos três camadas ocultas para que o método seja aplicado de forma eficiente, visto que cada camada envia as informações processadas para a camada seguinte, refinando a informação. Quando ativado, um neurônio decide se irá ou não enviar as informações para o próximo. O processo é repetido até chegar na Camada de Saída, onde a resposta final é gerada e informada ao usuário [5].

Figura 4: Modelo de *Deep Learning*



FONTE: IBM, 2024 [5]

O DL é muito utilizado para IAs treinadas com o Processamento de Linguagem Natural (PLN). Esse método é capaz de fazer com que os modelos reconheçam, entendam e gerem respostas em texto ou áudio baseados no comportamento humano [6]. Além disso, o PLN tem como benefícios a automação de tarefas repetitivas, é capaz de fornecer análises de dados melhores e mais precisas e de gerar respostas humanas, como é o caso do modelo GPT-5, utilizado pela OpenAI e Google, por exemplo, em seus agentes [6].

2.3.1.2 Assistentes Virtuais

Assistentes Virtuais são uma das muitas aplicações da IA. São totalmente reativos, ou seja, dependem de uma ação do usuário para iniciarem o processamento de dados e não são autônomos o suficiente para tomar decisões sozinhos, e interagem com o usuário através de uma linguagem natural [7].

Para atingir o objetivo de se comunicar com naturalidade, frequentemente são treinados por PLN, tanto para texto, quanto para voz. Bons exemplos presentes no cotidiano são o ChatGPT (OpenAI), o BARD (Google) e o Copilot (Microsoft) [7]. Além do PLN, um Assistente Virtual pode também ser treinado pelo *Machine Learning*, como é o caso da Siri (Apple). Com isso, a IA ganha a habilidade de identificar novos padrões e melhorar suas respostas [7].

O uso conjunto do ML e do PLN faz com que o Assistente seja capaz de identificar e entender diferentes idiomas, sotaques e regionalizações para garantir acuracidade na resposta. Isso por conta do Speech-to-Text, uma tecnologia capaz de transformar voz em texto, tornando a IA muito mais versátil e assertiva [7].

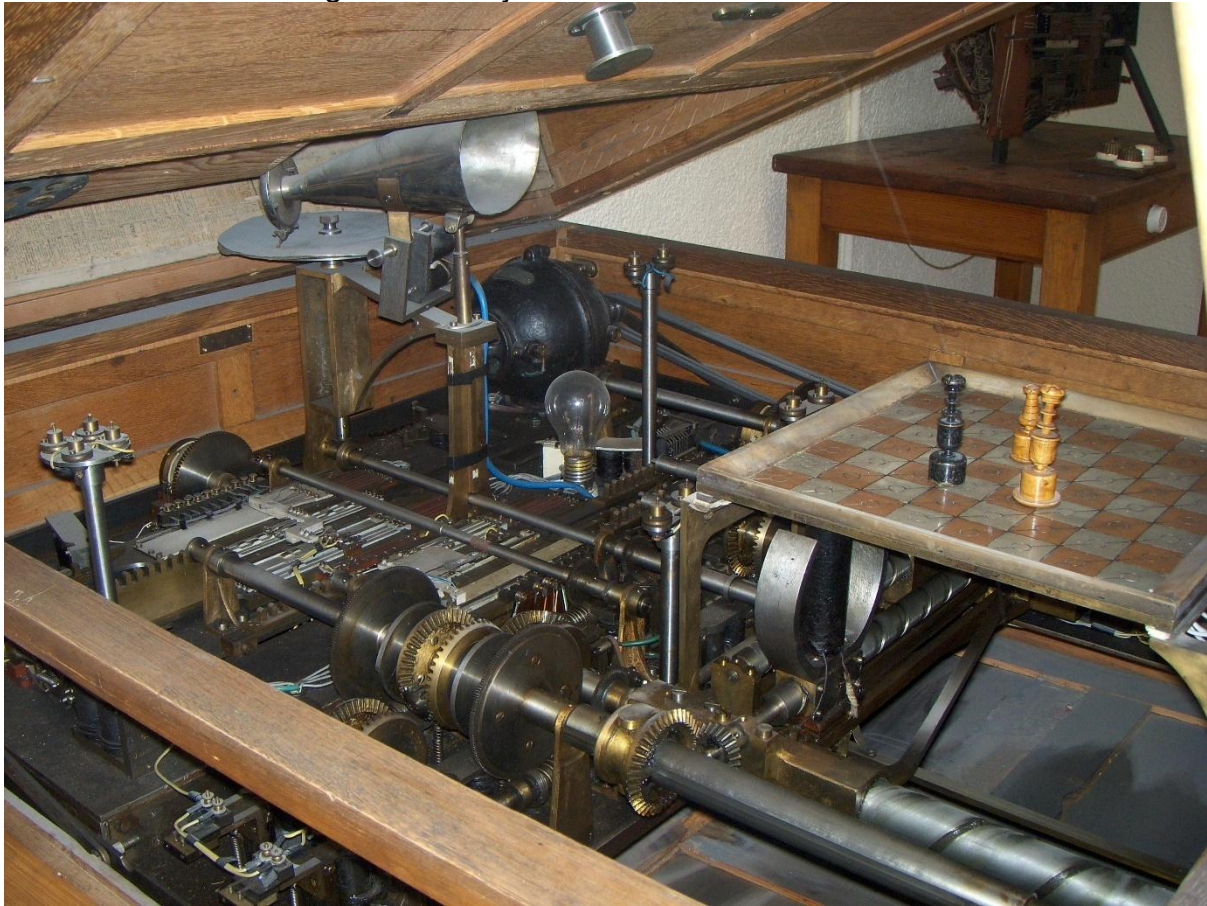
Depois de prontos, os assistentes virtuais podem ser alimentados com os mais diversos tipos de bases de dados, permitindo uma maior aplicabilidade prática. Um bom exemplo é o Copilot Studio, Assistente Virtual corporativo da Microsoft, capaz de ser alimentado por sistemas internos de cada empresa, como CRMs (Gerenciador de Relacionamento com Clientes, em tradução literal), ERPs (Planejamento de Recursos Corporativos, em tradução literal) e etc. Isso torna a IA muito mais adaptada ao caso de cada empresa, possibilitando que as saídas sejam completamente específicas para aquele caso e, conseqüentemente, que o usuário tome decisões muito mais assertivas para o momento vivido pela corporação.

2.3.2 Histórico e Evolução

A humanidade sempre sonhou e imaginou máquinas que pudessem fazer o trabalho de homens. Histórias antigas já narravam a possibilidade de um organismo artificial poupar o tempo e esforço físico necessários para a conclusão de uma tarefa. Em 1726, Jonathan Swift, autor de “As Viagens de Gulliver”, concebeu a ideia de uma máquina utilizada para fins acadêmicos, que era capaz de auxiliar os estudantes com ideias e sugestões novas geradas e escritas em tábuas de madeira [8]. Essa máquina, chamada por Swift de “The Engine” (“O Motor”, em tradução literal), foi idealizada num tempo em que computadores sequer existiam.

Em 1914, quase dois séculos depois, o engenheiro espanhol Leonardo Torres y Quevedo criou o robô “El Ajedrecista” (“O Enxadrista”, em tradução livre), uma máquina que utilizava eletroímãs para mover as peças de xadrez nos momentos finais da partida. “El Ajedrecista” era capaz de realizar os movimentos da batalha Rei e Torre contra Torre sem qualquer tipo de intervenção humana [8]. Sete anos depois, em 1921, a palavra “robô” foi utilizada a primeira vez em inglês para descrever máquinas com forma humana capazes de realizar trabalhos braçais [8]. A Figura 5 mostra a máquina de Torres y Quevedo.

Figura 5: "El Ajedrecista" e seus eletroímãs



FONTE: MEDIUM, 2022 [9]

Em 1939, na Universidade de Iowa, EUA, surge o primeiro computador baseado em circuitos eletrônicos e em valores binários. O computador, chamado “ABC” se diferenciava de seus antecessores já que estes dependiam de sistemas mecânicos e valores decimais para funcionar. O ABC também era capaz de separar seu armazenamento de informações do sistema de processamento, garantindo maior velocidade e precisão em seus cálculos, um sistema que baseia até hoje o desenvolvimento de computadores. Além disso, era capaz de resolver até 29 equações lineares de forma simultânea, algo revolucionário para a época [8].

Nas duas décadas seguintes, diversos estudos foram realizados para aperfeiçoar o funcionamento de computadores e, em 1943, o conceito de redes neurais artificiais é proposto [8]. Já em 1950, Alan Turing, pai da Computação, propõe em seu artigo “Computing Machinery and Intelligence” que os computadores podem pensar, criando o Teste de Turing [8]. Esse teste consistia em um ser humano e um computador posicionados em salas separadas e comunicando-se através de textos e

de um outro humano, o “juiz”, tentando identificar qual mensagem era enviada pelo ser humano e pelo computador [10]. O computador passa no Teste de Turing se conseguir “enganar” o juiz em 30% das vezes durante uma conversação de cinco minutos [9].

Durante a década de 1950, é possível notar avanços significativos no desenvolvimento do conceito de Inteligência Artificial que conhecemos hoje. Em 1951 a primeira rede neural artificial é desenvolvida para imitar o comportamento de ratos caminhando em um labirinto e sendo aperfeiçoada por um sistema de feedback, como no método de Aprendizado por Reforço [8]. Em 1956, durante um congresso científico na Universidade de Dartmouth (EUA), ocorre oficialmente a criação do campo de Inteligência Artificial. Nos anos seguintes, até 1960, novos avanços e aperfeiçoamentos são desenvolvidos com a criação de linguagens de programação e suas estruturas até que, em 1959, cientistas propõem o conceito de “Aprendizado de Máquina” (Machine Learning) e estruturam um computador capaz de utilizar múltiplas unidades de processamento para identificar padrões em dados que não foram fornecidos previamente para ele.

Nas décadas de 1960 e 1970, novos robôs foram criados, como é o caso do programa ELIZA, desenvolvido por Joseph Weizbaum, que foi capaz de passar no Teste de Turing, mesmo com controvérsias e possíveis manipulações [10]. Também na década de 1960, mais precisamente em 1966, o robô “Shakey”, o primeiro robô móvel a ser criado é também o primeiro robô a ter consciência sobre si mesmo e suas ações, marcando um avanço muito significativo para o campo da IA [8].

Com cada vez mais pesquisas e material teórico sobre Inteligência Artificial, a década de 1980 teve avanços também muito significativos para o campo de estudo. Em 1980, na Universidade de Waseda (Japão), o computador WABOT-2 é criado [8]. Nota-se que esse robô era capaz de ler partituras musicais através de uma câmera e de tocar a música lida num órgão eletrônico, além de ser capaz de manter uma comunicação com humanos [8]. Em 1987, John Sculley, Diretor da recém-criada Apple, apresenta o ideal de um futuro em que robôs seriam capazes de ajudar humanos a processar uma grande quantidade de informações simultaneamente através de comunicação por voz [8].

Em 1995, o *chatbot* A.L.I.C.E.26 é desenvolvido com base nos fundamentos de seu antecessor ELIZA, construído cerca de 30 anos antes. O A.L.I.C.E era capaz de gerar respostas automaticamente após processar enormes quantidades de

informações obtidas da recente Internet pelo protocolo “World Wide Web” (“www”), diferentemente de seu antecessor ELIZA, que dependia de respostas pré-programadas [8]. Esse feito foi tão significativo que inspira até os dias de hoje a criação de Assistentes Virtuais. Em 1997, com o surgimento da Memória de Longo Prazo, a IBM desenvolve seu computador “Deep Blue”, que foi capaz de derrotar um campeão mundial de xadrez em uma partida de seis jogos.

Nos anos 2000 e 2010, mais e mais estudos sobre ML foram publicados, gerando grandes avanços tecnológicos para a área de IA. Reflexo disso é o programa Watson, também da IBM, que venceu dois humanos no programa de perguntas e respostas “Jeopardy!”. Watson era capaz de compreender, processar e responder em linguagem natural, como um humano [8]. Além do Watson, a década de 2010 foi marcada pela criação da Siri, Assistente Virtual da Apple, integrado ao iPhone, aparelho celular da marca. A Siri era capaz de executar tarefas simples e operacionais, como criar lembretes, através de um comando de voz do usuário [8]. Nos anos seguintes, as concorrentes da Apple também lançaram seus assistentes virtuais, como é o caso do “Google Assistant” para dispositivos com Sistema Operacional Android.

Em 2020, a OpenAI, criadora do ChatGPT, lança o modelo GPT-3, um modelo de IA capaz de gerar textos em linguagem natural, como um ser humano. Seu grande diferencial está no grande número de parâmetros utilizados por ele, fazendo-o ser um dos modelos mais completos e sofisticados da história [8]. Nos anos seguintes, a OpenAI segue apresentando contribuições revolucionárias para a IA, como é o caso dos modelos DALL-E, DALL-E 2 e DALL-E 3, capazes de gerar imagens a partir de texto e de converter imagens em texto para seu entendimento e processamento [8]. Em 2023, a OpenAI atualiza seu modelo de IA para o GPT-4o, muito mais completo e capaz de processar não só texto, mas imagens e voz.

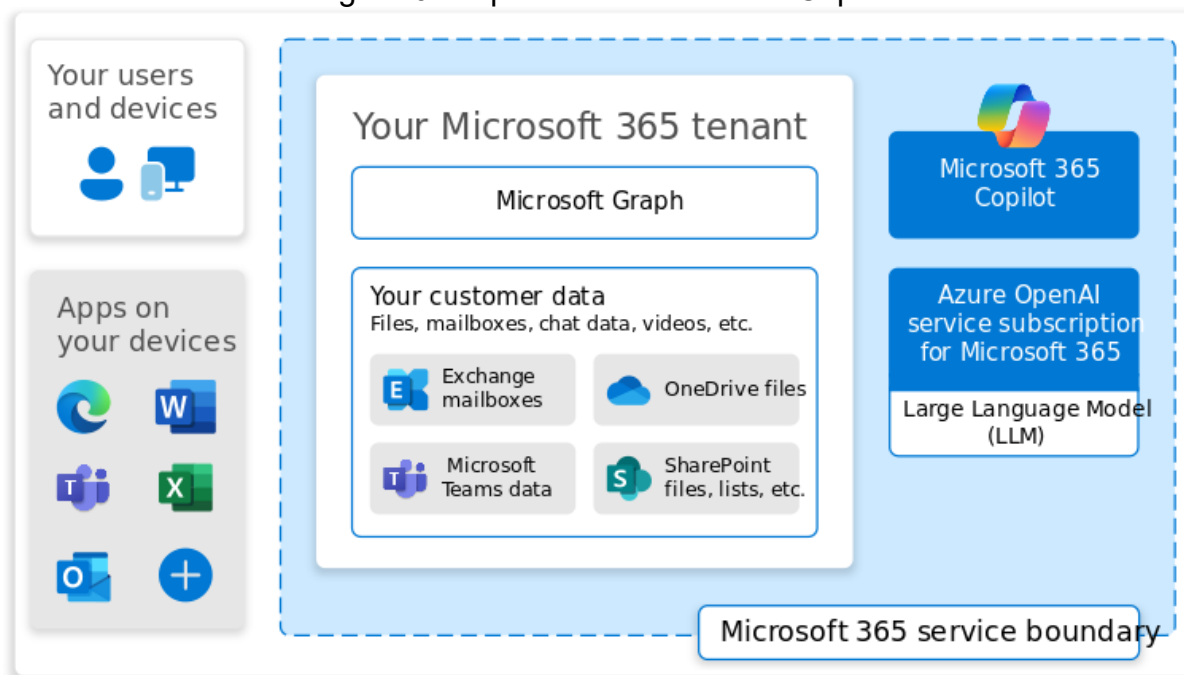
Em 2024, novos avanços são notados. Também a OpenAI é responsável por lançar o Sora, um modelo de IA capaz de criar vídeos curtos a partir de texto [8]. Outras empresas, notando as mais diversas possibilidades que surgem com os recentes avanços, começam a integrar os novos modelos de IA com seus Assistentes Virtuais, como é o caso da Siri. Em 2024, a Apple anunciou a integração da Siri com o ChatGPT, possibilitando que seu Assistente seja capaz de manter conversas mais naturais e executar tarefas mais complexas do que a simples criação de lembretes e envio de mensagens [8].

Já em 2025, surge o DeepSeek-V3, um modelo de IA chinês com 671 bilhões de parâmetros capaz de ser treinado de forma muito mais rápida e barata do que seu concorrente GPT-4o, por exemplo [11]. Com o DeepSeek, surge a possibilidade de se ter uma IA mais precisa e rápida de forma mais barata, o que revolucionou o campo da IA, apesar de suas limitações [11].

2.4 Microsoft Copilot

O Microsoft Copilot é a ferramenta de IA da Microsoft (MS). Altamente integrado com o modelo GPT-4o da OpenAI, o Copilot surge como uma ferramenta para aumentar a produtividade dos colaboradores de uma empresa [12]. Mais recentemente, a Microsoft adicionou ao Copilot o modelo GPT-5 da Open AI, garantindo ainda mais precisão e inteligência aos agentes criados. A Figura 6 mostra um esboço da arquitetura do Copilot dentro de todo o ambiente digital corporativo.

Figura 6: Arquitetura do Microsoft Copilot



FONTE: Microsoft, 2025 [12]

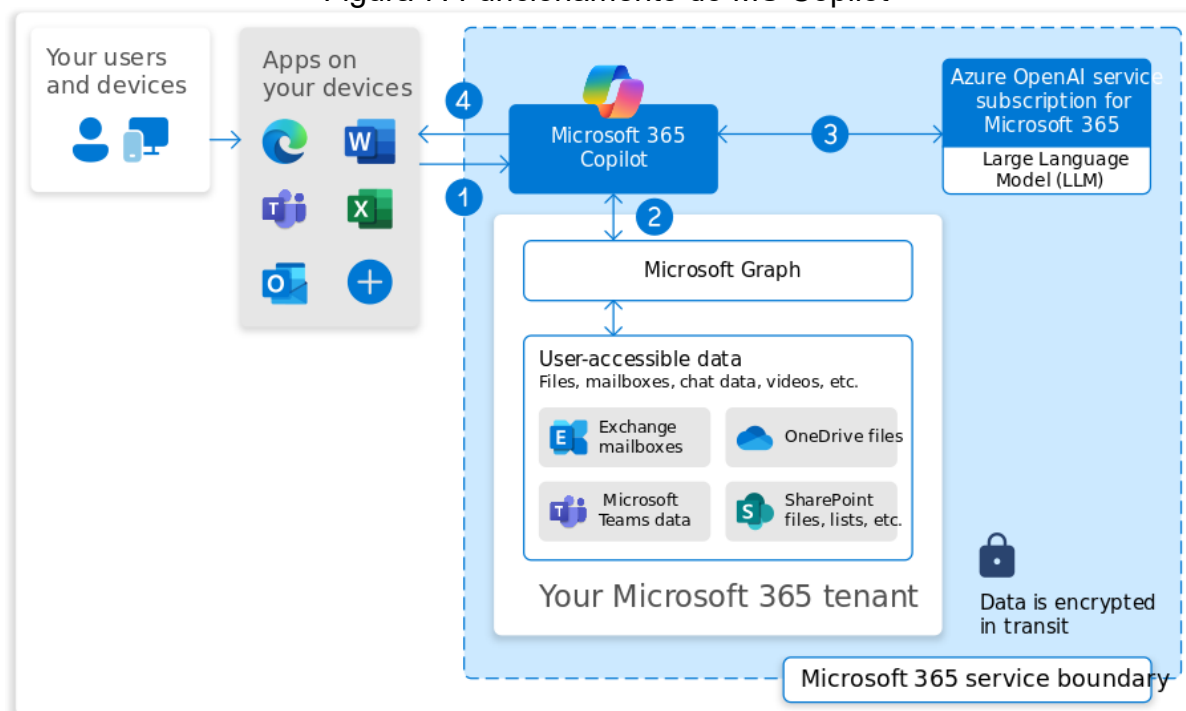
Ao criar um ambiente no Microsoft 365 (M365), produto com ferramentas digitais corporativas da Microsoft, são fornecidos diversos serviços, como o MS Exchange (servidor de e-mails da Microsoft), OneDrive e SharePoint (ambientes de

armazenamento de arquivos e compartilhamento de informações), além de todos os recursos do Microsoft Graph (serviço de *gateway* de dados da Microsoft) [12]. Esses recursos são fundamentais para garantir segurança, horizontalidade de acesso, transparência e colaboração dentro de um ambiente corporativo digital. Junto a isso, a Microsoft fornece o M365 Copilot. O Assistente é capaz de acessar, interagir e coletar informações dos diferentes serviços listados anteriormente através do Microsoft Graph [12]. Por questões de segurança e confidencialidade, o Copilot é configurado para respeitar os diferentes níveis de acesso e permissão do usuário atual, mantendo sigilosas as informações e dados sensíveis [12]. A ferramenta é altamente integrada com as demais soluções do M365 [12]. Por exemplo, pode criar um rascunho de um documento no MS Word a partir de instruções simples dadas pelo usuário, ou então sugerir fórmulas e identificar tendências dos dados numa planilha do MS Excel [12].

Tecnicamente, o Copilot é um modelo de IA treinado por *Deep Learning*, o que garante grande versatilidade e adaptabilidade da ferramenta aos diferentes cenários proporcionados pelo mundo corporativo [12]. É treinado com a técnica de PLN, o que garante fluidez e naturalidade na comunicação com os colaboradores da empresa, seja ela por texto, voz ou imagem, além de ser capaz de corrigir erros gramaticais e até mesmo sugerir diferentes tons em um e-mail. O DL também garante que o Copilot tenha um aprendizado constante a partir das informações, correções e recompensas feito pelo usuário, o que garante ainda mais versatilidade e acuracidade de suas respostas [12].

A Figura 7 ilustra o funcionamento do M365 Copilot e como as interações com o usuário ocorrem.

Figura 7: Funcionamento do MS Copilot



FONTE: Microsoft, 2025 [13]

Inicialmente, o usuário, através de alguma das ferramentas fornecidas pelo M365, envia uma entrada ao Assistente Virtual (1). Em seguida, o Copilot irá interagir com os bancos de dados e/ou servidores da MS através do MS Graph (2). Para isso, refina a entrada do usuário através de uma técnica chamada “*grounding*”, que garante que o processamento da IA será mais preciso e direcionado para retornar uma saída mais assertiva ao usuário. Em seguida, o Copilot utiliza o modelo de IA para processar (3) e gerar a resposta final e a retorna para o usuário (4) [13]. É importante ressaltar que, durante todo o percurso, os dados são encriptados, o que garante maior segurança e evita possíveis vazamentos de informações sensíveis. Além disso, o Copilot respeita todas as questões de Acesso Condicional e Autenticação Multifatorial (MFA), o que aumenta ainda mais a segurança e integridade dos dados organizacionais [13].

O M365 Copilot pode atuar também em reuniões do MS Teams, agindo como um secretário, capaz de tomar notas, resumir a reunião, propor ações, prazos etc. Ele está relacionado a todas as ferramentas do M365, como dito anteriormente, e não se restringe unicamente a ser um *chatbot*, que é a função do M365 Copilot Studio [14]. Quanto ao acesso do *chatbot* desenvolvido para este trabalho, não é possível disponibilizar um link de demonstração à banca. O Microsoft Copilot Studio, utilizado

para a criação do agente, é uma ferramenta paga, e o desenvolvimento foi realizado por meio de uma licença de avaliação gratuita (*trial*), que se encerrou recentemente. Além disso, o ambiente em que o projeto foi implementado está vinculado a uma instância corporativa do Microsoft 365, exigindo uma conta institucional com licenças específicas para autenticação e execução dos agentes criados. Assim, o acesso público ao *chatbot* é restrito, sendo possível apenas por meio de usuários devidamente licenciados dentro do mesmo ambiente corporativo. Mesmo com essa limitação de acesso, o desenvolvimento no Copilot Studio permite demonstrar na prática a integração entre modelos de linguagem de última geração e bases técnicas estruturadas, confirmando o potencial da ferramenta como plataforma de apoio à engenharia digital, automação de cálculos e análise termodinâmica em sistemas de refrigeração.

2.4.1 Microsoft 365 Copilot Studio

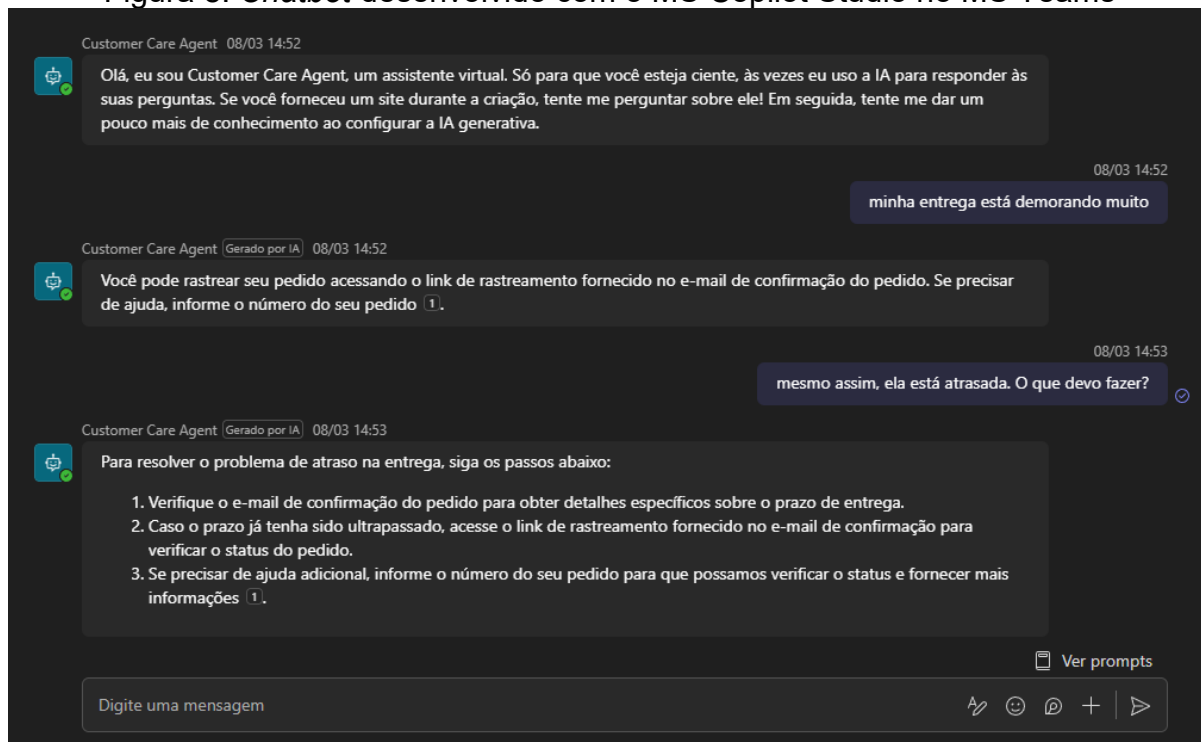
Dentro do M365 Copilot existem diversas ferramentas e serviços diferentes sendo o *chatbot* apenas uma delas. Esse é gerido pelo M365 Copilot Studio, a ferramenta de IA da Microsoft capaz de interagir com o usuário apenas através de texto [14].

O Copilot Studio é alimentado pelo modelo GPT-5 e pode interagir com páginas da *web* ou até mesmo com bases de dados próprias fornecidas pela empresa [14], como uma planilha utilizada para coleta mensal de indicadores de produção. Os *chatbots* desenvolvidos no Copilot Studio podem ser, ou não, generativos, o que também torna as respostas muito mais direcionadas para o propósito do *chat* em si [14]. Pode consumir os mais diversos tipos de arquivos: .csv, .xlsx (Excel); .txt, .docx, .pdf (Texto), pode utilizar APIs (em JSON ou XML) para ser integrado a sistemas externos ou até mesmo buscar dados diretamente na nuvem corporativa, como arquivos de OneDrive ou até mesmo listas SharePoint [14].

O Copilot Studio é uma ferramenta pensada em aumentar a produtividade das equipes através da automação de tarefas, otimização de fluxos e processos e garantia na horizontalidade de acesso à informação, sempre levando em conta as permissões definidas anteriormente. Além disso, é totalmente integrado ao MS Teams e aparece

para o usuário como uma conversa normal com outro ser humano, conforme a Figura 8

Figura 8: *Chatbot* desenvolvido com o MS Copilot Studio no MS Teams



FONTE: AUTOR, 2025

Isso garante uma maior naturalidade ao conversar com o *Chatbot* e agilidade para acessá-lo.

3. Metodologia

3.1 Planejamento e Desenvolvimento do *chatbot*

3.1.1 Ferramentas Utilizadas

As ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do *chatbot* foram:

- **Microsoft SharePoint**, para garantir a segurança do armazenamento em nuvem e maior escalabilidade do *chatbot*, no caso da inclusão de dados de novos fluidos refrigerantes no sistema.
- **Microsoft 365 Copilot Studio**, para o desenvolvimento do *chatbot*.

- **Microsoft Teams** para facilitar o acesso ao *chatbot* e garantir maior naturalidade na conversação.
- **Microsoft Entra ID (Antigo Azure Active Directory – AAD)**, para garantir a segurança e autenticação multifatorial na análise de dados.

3.1.2 Estruturação do Projeto

A estruturação do projeto foi planejada de forma a garantir uma comunicação direta entre o agente de IA e as bases de dados termodinâmicas, sem a necessidade de intermediários para o processamento dos cálculos. O núcleo do *chatbot* foi desenvolvido com base no modelo GPT-5, integrado ao Microsoft Copilot Studio, o que dispensou o uso de fluxos automatizados adicionais, como o Power Automate, uma vez que o modelo é capaz de compreender, processar e executar raciocínios matemáticos e lógicos de forma autônoma.

Inicialmente, foi definido o escopo funcional do assistente, determinando quais tarefas seriam realizadas durante a interação com o usuário. Entre elas, destacam-se a consulta a propriedades termodinâmicas de fluidos refrigerantes, o cálculo automático do COP do sistema, além da interpretação de resultados e sugestões de otimização baseadas em critérios de eficiência energética.

A arquitetura técnica do sistema foi desenhada para operar dentro do ecossistema Microsoft 365, utilizando o SharePoint como repositório central de dados e o Microsoft Teams como interface principal de comunicação. Essa configuração permite que o usuário acesse o *chatbot* de forma natural, dentro do mesmo ambiente que acessa em seu dia a dia, mantendo a segurança e a conformidade de acesso definidas pelo Microsoft Entra ID.

Os fluxos de diálogo e intenções foram estruturados dentro do Copilot Studio, de modo a reproduzir uma conversa intuitiva e técnica, adequada ao contexto da Engenharia Química. As instruções foram organizadas em blocos lógicos que guiam o modelo GPT-5 a interpretar a solicitação do engenheiro, buscar os dados correspondentes nas tabelas termodinâmicas e retornar a resposta de forma contextualizada e explicativa, mantendo a coerência científica e as unidades padronizadas.

Por fim, a estrutura foi planejada para permitir expansões futuras, como a inclusão de novos fluidos refrigerantes e a integração de módulos de análise econômica. Essa abordagem modular garante a evolução contínua do *chatbot*, preservando sua precisão termodinâmica e a agilidade característica dos modelos de linguagem de última geração.

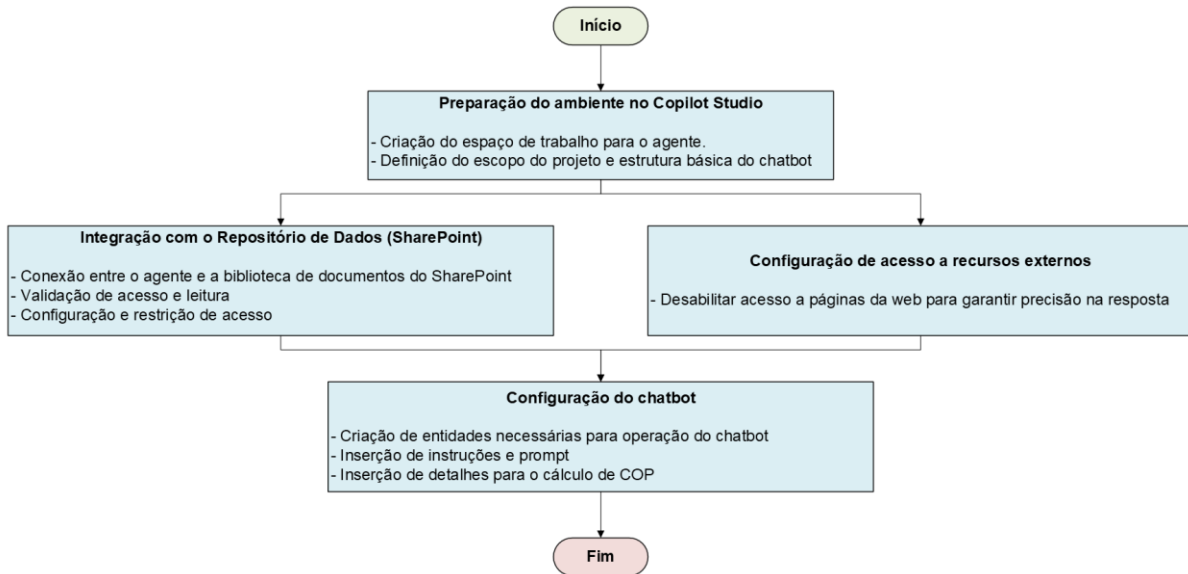
3.2 Implementação do Microsoft Copilot

Após a definição da estrutura do projeto, iniciou-se a etapa de implementação no Microsoft Copilot Studio. Nessa fase, o *chatbot* foi configurado dentro do ambiente Microsoft 365, garantindo integração com o SharePoint, onde estão armazenadas as tabelas termodinâmicas, e com o Microsoft Teams, utilizado como interface de acesso ao usuário. O modelo GPT-5 foi adotado como modelo do agente, dispensando o uso de fluxos externos e assegurando que todos os cálculos e análises fossem realizados diretamente a partir das bases de dados integradas. Essa etapa consolidou a infraestrutura do sistema e preparou o ambiente para as fases seguintes, de configuração inicial e treinamento do agente.

3.2.1 Configuração Inicial

A Figura 9 mostra o processo de criação do *chatbot* desenvolvido no COpilot Studio:

Figura 9: Fluxograma do processo de configuração do *chatbot*



FONTE: AUTOR, 2025

A configuração inicial teve como objetivo preparar o ambiente do Microsoft Copilot Studio para o funcionamento do *chatbot* de análise termodinâmica. Nessa etapa, foram criadas as conexões entre o Copilot Studio e o repositório de dados no SharePoint, que concentra as tabelas termodinâmicas dos fluidos refrigerantes utilizados no projeto. O acesso à *web* e a fontes externas foi desabilitado, de modo que todas as respostas fossem fundamentadas apenas nos documentos técnicos previamente integrados.

O agente foi configurado com permissões restritas e escopo de busca limitado às bases de dados internas, assegurando a integridade e a rastreabilidade das informações consultadas. Também foram definidas as entidades necessárias para a leitura dos parâmetros de entrada: fluido, temperatura ou pressão e estado físico da corrente em cada etapa do processo, garantindo que o *chatbot* reconhecesse corretamente cada variável durante o processamento e soubesse qual grandeza buscar nas tabelas termodinâmicas: entalpia do fluido em estado líquido, vapor ou ambos.

Por fim, as instruções foram inseridas no ambiente do Copilot Studio, descrevendo as condições de operação do ciclo termodinâmico, os parâmetros exigidos para o cálculo do Coeficiente de Performance (COP) e os critérios para aplicação da interpolação linear. Essa configuração inicial estabeleceu as condições

necessárias para o treinamento e os ajustes posteriores do agente, descritos na seção seguinte.

3.2.2 Treinamento e Ajustes

Após o planejamento e estruturação do projeto, foi iniciada a etapa de implementação do *chatbot*. Essa fase teve como principal objetivo transformar o modelo conceitual em uma aplicação funcional e segura, capaz de executar cálculos termodinâmicos complexos e gerar análises técnicas a partir de bases de dados verificadas. A integração com o ambiente do Microsoft 365 possibilitou um controle preciso de acesso e rastreabilidade das interações, assegurando que todas as consultas fossem realizadas exclusivamente por usuários autorizados. Em paralelo, o repositório de dados no SharePoint foi vinculado ao Copilot Studio, permitindo que o agente acessasse diretamente as tabelas termodinâmicas dos fluidos refrigerantes selecionados: R-12, R-22, R-134a e Amônia. As tabelas foram armazenadas em formato original, ou seja, sem fazer qualquer manipulação, conversão de unidades, ou extração de dados, e organizadas por fluido e tipo de propriedade (saturação e vapor superaquecido).

O modelo de Inteligência Artificial adotado foi o GPT-5, escolhido pela sua capacidade de interpretar instruções complexas, correlacionar propriedades termodinâmicas e realizar cálculos de forma autônoma, mantendo consistência conceitual e precisão numérica. Diferentemente de fluxos automatizados externos, o modelo foi configurado para operar integralmente dentro do Copilot Studio, garantindo que toda a análise fosse conduzida diretamente sobre as fontes internas. Essa escolha reduziu a necessidade de *scripts* complementares e eliminou etapas intermediárias, tornando o agente mais leve e eficiente do ponto de vista operacional.

Com o ambiente preparado, foi desenvolvido o *prompt* técnico que define o comportamento do agente. Esse prompt representa o conjunto de instruções que direcionam o raciocínio do modelo de IA determinando a forma de entrada dos dados, os métodos de interpolação e os critérios de cálculo do Coeficiente de Performance (COP). Também estabelece as condutas operacionais, os limites de atuação e o tom de comunicação do agente, assegurando que as respostas sigam sempre o padrão técnico esperado de um profissional da engenharia química, além de corrigir possíveis

erros que o usuário possa cometer ao utilizar o agente, reduzindo, assim a margem de erro do modelo de IA.

O conteúdo do prompt foi inserido integralmente nas *System Instructions* do Copilot Studio, funcionando como a “programação base” que sustenta a tomada de decisão do *chatbot*. Seu texto completo é apresentado abaixo, conforme configurado no ambiente de desenvolvimento:

“Você é um agente de engenharia química especializado no dimensionamento e manutenção de sistemas de refrigeração. Seu objetivo é auxiliar engenheiros no cálculo do COP (Coeficiente de *Performance*) e na avaliação da eficiência de diferentes fluidos refrigerantes. Para isso, siga as seguintes instruções:

1. Entrada de dados

O usuário deve fornecer dados de **pressão ou temperatura** em **quatro pontos do ciclo termodinâmico**, sendo:

- Ponto 1: Saída do evaporador (entrada do compressor): estado = vapor
- Ponto 2: Entrada do condensador (saída do compressor): estado = vapor
- Ponto 3: Saída do condensador (entrada da válvula de expansão): estado = líquido
- Ponto 4: Entrada do evaporador (saída da válvula de expansão): estado = mistura líquido + vapor

O usuário pode fornecer pressão ou temperatura, desde que haja ao menos um dado para cada ponto. Para o ponto (4), que representa a corrente bifásica na entrada do evaporador, ao buscar o valor da entalpia, utilize a coluna h_{LV} da tabela termodinâmica (entalpia da mistura líquido-vapor).

2. Extração e cálculo

Acesse os documentos de referência (PDFs, planilhas Excel, documentos Word e listas SharePoint) para extrair dados de tabelas termodinâmicas dos fluidos refrigerantes. Calcule o COP com base exclusivamente nas fórmulas e dados fornecidos nesses documentos de referência. Jamais utilize fórmulas externas ou adapte metodologias. Não consulte dados da internet.

3. Interpolação

Quando o valor informado de temperatura ou pressão não estiver diretamente tabelado, aplique interpolação linear entre os dois valores mais próximos. Informe claramente que o valor foi interpolado e apresente:

- Os dois pontos de referência (temperatura/pressão);
- Os valores termodinâmicos associados;
- O resultado estimado.

4. Comparação e recomendação

Compare diferentes fluidos refrigerantes operando sob as mesmas condições quando solicitado. Apresente uma avaliação técnica da eficiência do sistema atual, com base nos dados processados. Sugira, quando apropriado, outros fluidos mais eficientes, justificando tecnicamente a recomendação (ex: COP superior, menor custo, menor impacto ambiental).

5. Análise de custo

Adote sempre a ótica de um engenheiro, considerando eficiência energética, viabilidade operacional e otimização de custos. Quando solicitado, forneça uma estimativa de economia financeira ao substituir o fluido atual por outro mais eficiente, com base no consumo energético e no rendimento comparado.

6. Conduta

Use um tom sempre profissional, técnico e objetivo. Se os dados fornecidos forem insuficientes, solicite informações adicionais (como fluido, unidades, tipo de sistema). Se não for possível realizar o cálculo mesmo com os dados adicionais, oriente o usuário a consultar um especialista ou revisar os documentos base. Jamais forneça respostas baseadas em suposições. Toda a análise deve ser fundamentada exclusivamente em dados técnicos extraídos da base de conhecimento acessível.

O *prompt* constitui o núcleo lógico do *chatbot* e é responsável por garantir a padronização e a previsibilidade das respostas. Sua configuração determina não apenas o comportamento da Inteligência Artificial, mas também a forma como o

agente interpreta as entradas do usuário, acessa as bases de dados e organiza as saídas de maneira estruturada e tecnicamente fundamentada. Além disso, o uso de instruções detalhadas contribuiu para reduzir erros operacionais e inconsistências de cálculo, assegurando que as respostas sejam mais precisas e alinhadas aos conceitos e fundamentos teóricos da Termodinâmica, bem como às condições práticas observadas em sistemas reais de refrigeração. Dessa forma, o agente opera com maior confiabilidade, mantendo o equilíbrio entre linguagem natural, rigor científico e aderência à realidade dos processos industriais.

A estrutura adotada segue princípios reconhecidos de engenharia de *prompt*, área que estuda o comportamento e a otimização de modelos de linguagem a partir de instruções textuais. Estudos da Microsoft, OpenAI e IBM demonstram que *prompts* bem definidos, com contexto claro, estrutura modular e restrições semânticas rigorosas, tendem a produzir respostas mais consistentes, seguras e aderentes ao domínio técnico em que são aplicados. Dessa forma, a organização hierárquica das instruções, a definição explícita do papel do agente e a delimitação das fontes de dados utilizadas são fundamentais para reduzir erros operacionais, eliminar respostas imprecisas e assegurar que o *chatbot* se mantenha alinhado com os fundamentos teóricos da Termodinâmica e a realidade prática dos sistemas de refrigeração.

3.3 Coleta e Análise de Dados Termodinâmicos

A etapa de coleta e análise de dados teve como objetivo consolidar as informações termodinâmicas que servem de base para o funcionamento do *chatbot*, garantindo que todos os cálculos e comparações fossem realizados a partir de fontes técnicas verificadas. Essa fase foi fundamental para assegurar a integridade dos resultados e a confiabilidade das propriedades utilizadas pelo modelo de Inteligência Artificial.

O processo consistiu em identificar, reunir e integrar ao sistema as tabelas termodinâmicas dos principais fluidos utilizados em sistemas de refrigeração. Esses dados foram organizados de modo a permitir que o agente pudesse acessá-los diretamente durante as consultas, sem necessidade de fontes externas. Com isso, o *chatbot* passou a operar com um conjunto de informações padronizadas, capazes de sustentar a obtenção de parâmetros como entalpia, entropia, volume específico e calcular o Coeficiente de *Performance* (COP) em diferentes condições de operação.

Além da integração das tabelas, a etapa também envolveu a definição dos parâmetros gerais de análise e das condições de leitura das variáveis termodinâmicas, assegurando compatibilidade entre os dados e coerência nas unidades utilizadas.

3.3.1 Fontes de Dados e Critérios de Seleção

As fontes de dados utilizadas neste trabalho consistem em tabelas termodinâmicas de referência reconhecidas na literatura técnica e amplamente empregadas na área de Engenharia Química para a análise de sistemas de refrigeração. Os documentos correspondem aos fluidos R-12, R-22, R-134a e Amônia, selecionados por representarem os principais refrigerantes utilizados em aplicações industriais e comerciais. As tabelas para a Amônia e o R-134a foram obtidas a partir do livro *“Introduction to Engineering Thermodynamics”*, da professora Claire Yu Yan da University of British Columbia [15]. Para o fluido R-22 e R-12, foram utilizados catálogos de seus fabricantes, sendo o R-22 fabricado pela Chemours Company [16] e o R-12, pela DuPont [17]. Os arquivos, em formato PDF, apresentam as propriedades de saturação e vapor superaquecido: temperatura, pressão, entalpia, entropia e volume específico em faixas amplas de operação, constituindo a base necessária para os cálculos e comparações realizados pelo *chatbot* desenvolvido.

A seleção dessas tabelas foi conduzida a partir de critérios técnicos voltados à confiabilidade, consistência e aplicabilidade prática dos dados. O primeiro critério considerado foi a origem acadêmica e a rastreabilidade científica das informações, asseguradas pela compatibilidade dos valores apresentados com as referências clássicas de termodinâmica aplicada. Essa escolha garante que os dados utilizados pelo modelo sejam fisicamente coerentes e experimentalmente verificados.

Outro critério fundamental foi a padronização do sistema de unidades, uma vez que todas as tabelas utilizam °C, kgf/cm², kcal/kg e m³/kg. Essa uniformidade elimina a necessidade de conversões durante o processamento e reduz significativamente o risco de erros operacionais ou de arredondamento, tornando o cálculo mais direto e confiável. O uso de um sistema homogêneo de unidades também simplifica o tratamento computacional dos dados, permitindo que o *chatbot* acesse e interprete os valores exatamente como apresentados nas fontes originais.

As tabelas também foram selecionadas pela amplitude das faixas de temperatura e pressão, cobrindo intervalos que variam de aproximadamente $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que abrange as condições de operação típicas de sistemas de refrigeração comerciais e industriais. Essa característica garante a aplicabilidade do modelo em diferentes contextos de projeto e otimização de ciclos frigoríficos.

Além disso, todas as tabelas apresentam a entalpia específica da mistura líquido + vapor (h_{LV}), propriedade frequentemente ausente em compilações comerciais, mas essencial para representar com precisão os processos de expansão e evaporação. A inclusão dessa variável confere maior exatidão aos cálculos e assegura que o modelo reproduza fielmente o comportamento termodinâmico de sistemas reais.

Por fim, foi considerado o aspecto de integração digital, uma vez que os arquivos possuem estrutura tabular clara e legível, o que facilitou sua indexação e leitura automática pelo Microsoft Copilot Studio. Essa característica garantiu que o *chatbot* pudesse realizar consultas diretas às propriedades termodinâmicas, sem a necessidade de conversões adicionais ou tratamentos prévios dos dados.

Após a coleta e validação, todos os documentos foram organizados em uma biblioteca exclusiva do SharePoint, garantindo controle de versão, rastreabilidade e segurança no armazenamento. Essa biblioteca foi vinculada diretamente ao ambiente do Copilot Studio, permitindo que o modelo de Inteligência Artificial acesse as propriedades termodinâmicas em tempo real durante as análises.

A adoção dessas tabelas, provenientes de fontes acadêmicas confiáveis e compatíveis com o ambiente digital do projeto, resultou em um sistema de cálculo autônomo, padronizado e rigoroso. Dessa forma, o *chatbot* realiza suas análises com base exclusivamente em dados técnicos verificados, assegurando coerência, rastreabilidade e alinhamento com os fundamentos teóricos e experimentais da Termodinâmica Aplicada.

4 DESENVOLVIMENTO DO CHATBOT

4.1 Arquitetura do *chatbot*

A estrutura do *chatbot* foi concebida para garantir uma comunicação eficiente entre o agente e as bases de dados termodinâmicos, mantendo precisão, segurança

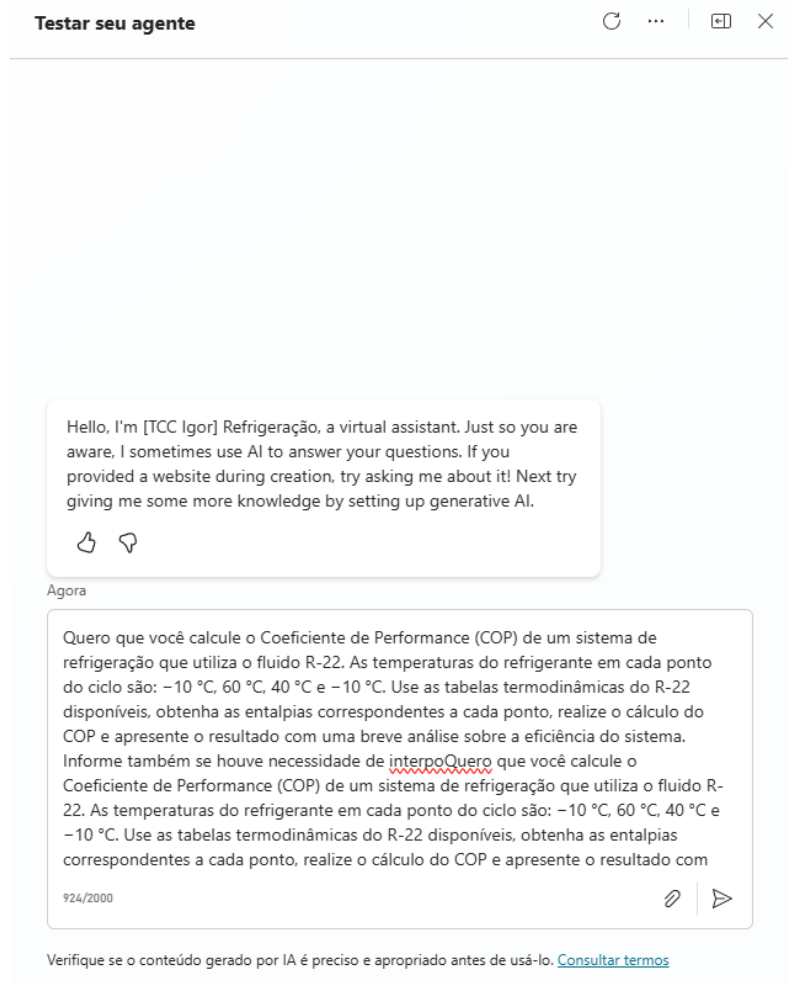
e rastreabilidade em todas as etapas de operação. O sistema foi implementado dentro do ecossistema Microsoft 365, tendo o Copilot Studio como plataforma principal de configuração lógica e o modelo GPT-5 como responsável pelo raciocínio e pela execução das análises.

O GPT-5 atua como o núcleo interpretativo do agente, convertendo as instruções em linguagem natural em parâmetros técnicos compreensíveis. A partir desses dados, é identificado o fluido, reconhece as condições fornecidas e conduz os cálculos necessários à determinação das propriedades termodinâmicas e do Coeficiente de Performance (COP). O modelo também valida as informações inseridas, evitando inconsistências que possam comprometer a precisão dos resultados. As tabelas de propriedades dos refrigerantes R-12, R-22, R-134a e Amônia foram disponibilizadas em uma biblioteca exclusiva do SharePoint, configurada para leitura direta pelo Copilot. Esse ambiente serve como fonte única de consulta, contendo parâmetros organizados de maneira padronizada. O acesso ocorre de forma controlada e auditável, preservando a integridade e a rastreabilidade das informações.

A interação com o usuário acontece no Microsoft Teams, onde o *chatbot* funciona como uma ferramenta de apoio técnico. Por meio de um diálogo simples, o engenheiro fornece os parâmetros correspondentes aos quatro pontos do ciclo, e o sistema realiza automaticamente a busca nas tabelas associadas, aplica interpolação quando necessário e apresenta o resultado de forma estruturada. Cada resposta inclui os valores processados, o cálculo efetuado e uma breve análise interpretativa.

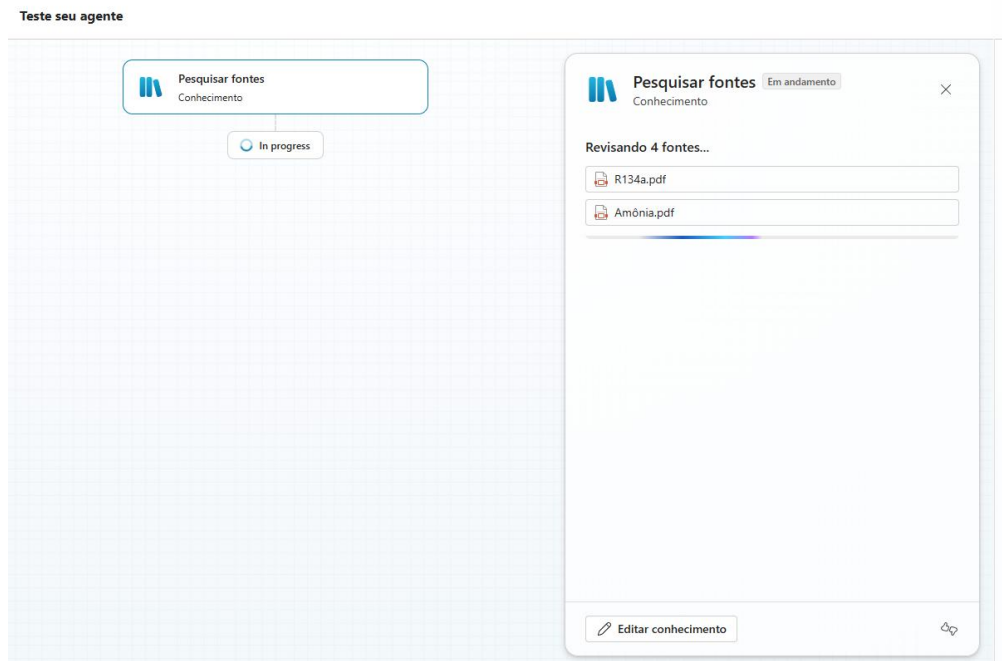
O funcionamento geral do *chatbot* segue uma sequência lógica composta por quatro estágios: entrada de dados pelo usuário, interpretação e validação das informações pelo modelo, consulta e tratamento dos valores nas tabelas termodinâmicas, e retorno do resultado com análise técnica. Essa dinâmica permite uma interação fluida e segura, mantendo a coerência entre o conteúdo fornecido e o comportamento esperado do agente.

Figura 10: Entrada de dados pelo usuário para o *chatbot*



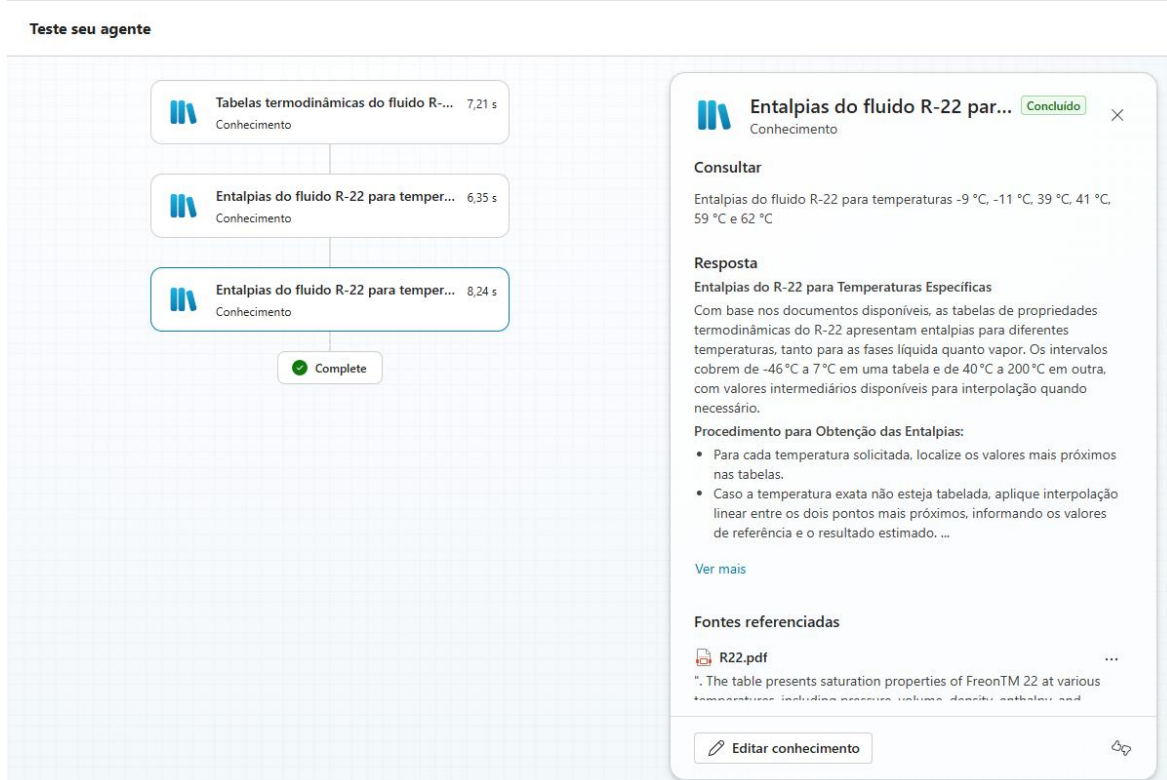
FONTE: AUTOR, 2025.

Figura 11: *Chatbot* funcionando, validando informações e construindo a resposta



FONTE: AUTOR, 2025.

Figura 12: Confirmação de resposta e *status* final do *chatbot*



FONTE: AUTOR, 2025.

A configuração modular dessa arquitetura possibilita futuras expansões, como a adição de novos fluidos refrigerantes ou a integração de recursos voltados à avaliação econômica e otimização energética. Ao mesmo tempo, assegura um desempenho estável e previsível, em conformidade com os princípios de confiabilidade e rastreabilidade que orientaram o desenvolvimento do sistema.

4.2 Consulta a Tabelas de Saturação e Superaquecido

A etapa de consulta é responsável por transformar as variáveis informadas pelo usuário em propriedades termodinâmicas utilizáveis pelo sistema. Ao receber os valores de temperatura ou pressão, o *chatbot* identifica o fluido correspondente e localiza, nas tabelas associadas, os dados relativos às regiões de saturação ou de vapor superaquecido. Essa distinção garante que o cálculo seja conduzido de acordo com o estado físico real do refrigerante. Quando o ponto informado não coincide exatamente com os valores tabelados, o agente aplica interpolação linear entre as duas condições mais próximas, obtendo as propriedades intermediárias de entalpia, entropia e volume específico. O procedimento é automático e transparente, e o *chatbot* indica quando o resultado foi estimado por interpolação, mantendo rastreabilidade do processo.

Todo o fluxo ocorre internamente, sem necessidade de consultas externas ou conversões adicionais, o que reduz o tempo de resposta e elimina a propagação de erro. Assim, o *chatbot* reproduz a lógica tradicional da análise termodinâmica de forma automatizada, garantindo agilidade sem comprometer a precisão dos resultados.

4.3 Cálculo do COP Automático

Após a obtenção das propriedades termodinâmicas nos quatro pontos do ciclo, o *chatbot* realiza automaticamente o cálculo do Coeficiente de *Performance* (COP), parâmetro que expressa a eficiência energética do sistema de refrigeração. O procedimento é conduzido a partir das entalpias específicas extraídas ou interpoladas das tabelas, respeitando o modelo de ciclo de compressão a vapor adotado.

O cálculo é executado de forma direta, seguindo a relação clássica entre os processos de compressão, condensação, expansão e evaporação. O agente

identifica os valores de entalpia correspondentes a cada ponto do ciclo e aplica a expressão (12).

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (12)$$

Onde h_1 e h_4 representam as entalpias na entrada e na saída do evaporador, e h_2 e h_1 correspondem ao trabalho líquido realizado pelo compressor.

O modelo verifica a coerência física dos resultados, avaliando se os valores obtidos estão dentro das faixas operacionais esperadas para o fluido selecionado. Caso sejam detectadas inconsistências, como inversão de estados ou valores fora do domínio termodinâmico, o *chatbot* solicita revisão dos dados inseridos, assegurando a confiabilidade do cálculo.

O resultado é apresentado em formato padronizado, contendo o COP calculado, os valores de entrada utilizados e, quando aplicável, a indicação de que houve interpolação. Dessa forma, o sistema automatiza um procedimento tradicionalmente manual, garantindo rapidez, rastreabilidade e precisão nos resultados sem interferir na fundamentação teórica do cálculo.

4.4 Sugestões de Otimização para o Usuário

Com base nos resultados obtidos, o *chatbot* é capaz de interpretar o desempenho termodinâmico do ciclo e sugerir otimizações relacionadas ao fluido refrigerante utilizado. Essa funcionalidade amplia o papel do agente, permitindo que atue não apenas como ferramenta de cálculo, mas também como instrumento de apoio técnico à tomada de decisão.

A partir do valor de Coeficiente de Performance (COP) e das condições informadas pelo usuário, o sistema compara o rendimento do fluido atual com o de outras substâncias disponíveis nas tabelas integradas. Quando identifica desempenho inferior, o agente indica alternativas que possam oferecer maior eficiência energética, menor impacto ambiental ou melhor estabilidade operacional, sempre com base em dados termodinâmicos verificados.

As recomendações são limitadas à substituição ou escolha de fluidos refrigerantes, não abrangendo o redimensionamento de equipamentos ou alterações

construtivas do sistema. O *chatbot* atua, portanto, dentro de um escopo analítico, apresentando sugestões que preservam os parâmetros de projeto e respeitam os fundamentos teóricos da Termodinâmica aplicada.

As respostas são formuladas em linguagem técnica, com ênfase na coerência física e na viabilidade prática das opções apresentadas. Dessa forma, o agente contribui para a avaliação comparativa de desempenho entre diferentes fluidos, auxiliando o engenheiro na escolha de soluções mais eficientes e adequadas às condições operacionais do sistema analisado.

5 APLICAÇÃO EM CASOS REAIS

5.1 Caso 1: Projeto de uma Câmara Frigorífica Comercial

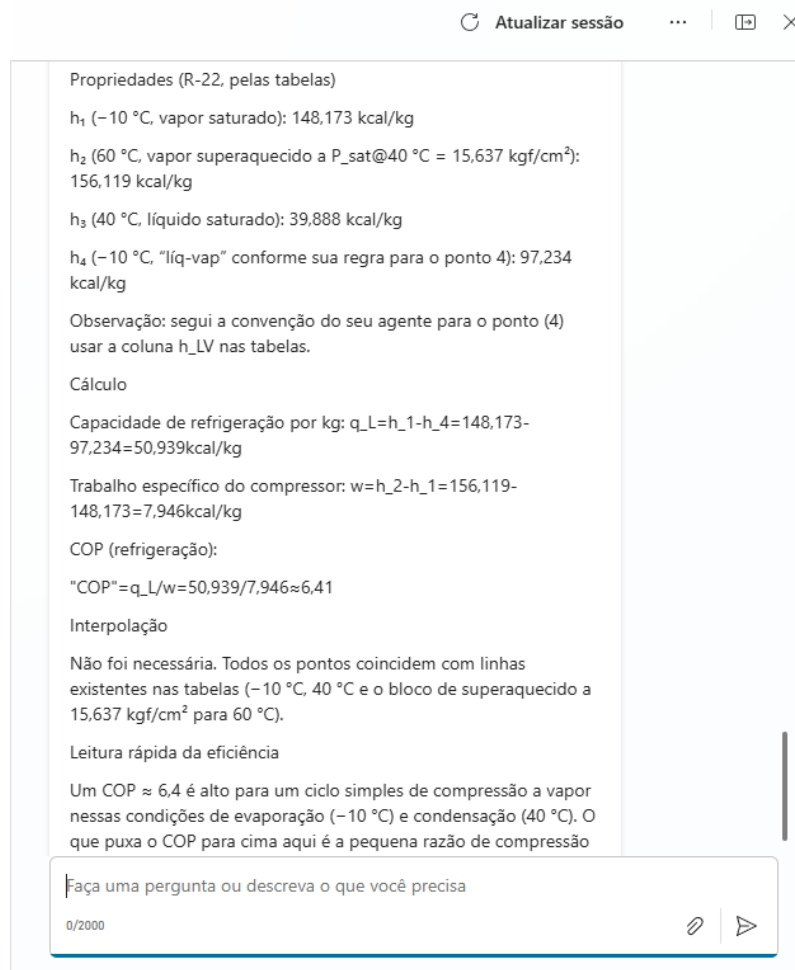
5.1.1 Prompt Utilizado

Para a simulação do Caso 1, foi utilizado o seguinte prompt com as condições de operação da câmara frigorífica comercial:

"Quero que você calcule o Coeficiente de Performance (COP) de um sistema de refrigeração que utiliza o fluido R-22. As temperaturas do refrigerante em cada ponto do ciclo são: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Use as tabelas termodinâmicas do R-22 disponíveis, obtenha as entalpias correspondentes a cada ponto, realize o cálculo do COP e apresente o resultado com uma breve análise sobre a eficiência do sistema. Informe também se houve necessidade de interpolação."

5.1.2 Resposta do *chatbot*

Figura 13: Resposta do *chatbot* para o prompt do Caso 1



FONTE: AUTOR, 2025.

Cálculo do COP — R-22

Condições (temperaturas do refrigerante nos 4 pontos):

1. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ → entrada do compressor
2. $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ → saída do compressor (na pressão de condensação)
3. $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ → saída do condensador
4. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ → saída da válvula de expansão

Propriedades (R-22, pelas tabelas)

- h_1 ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, vapor saturado): 148,173 kcal/kg
- h_2 ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$, vapor superaquecido a $P_{\text{sat}@40\text{ }^{\circ}\text{C}} = 15,637\text{ kgf/cm}^2$): 156,119 kcal/kg
- h_3 ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$, líquido saturado): 39,888 kcal/kg
- h_4 ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, "líq-vap" conforme sua regra para o ponto 4): 97,234 kcal/kg

Observação: segui a convenção do seu agente para o ponto (4) usar a coluna **h_LV** nas tabelas.

Cálculo

- **Capacidade de refrigeração por kg:** $q_L = h_1 - h_4 = 148,173 - 97,234 = 50,939 \text{ kcal/kg}$
- **Trabalho específico do compressor:** $w = h_2 - h_1 = 156,119 - 148,173 = 7,946 \text{ kcal/kg}$
- **COP (refrigeração):**

$$\text{COP} = \frac{q_L}{w} = \frac{50,939}{7,946} \approx 6,41$$

Interpolação

Não foi necessária. Todos os pontos coincidem com linhas existentes nas tabelas (-10°C , 40°C e o bloco de superaquecido a $15,637 \text{ kgf/cm}^2$ para 60°C).

Leitura rápida da eficiência

Um **COP $\approx 6,4$** é **alto** para um ciclo simples de compressão a vapor nessas condições de evaporação (-10°C) e condensação (40°C). O que puxa o COP para cima aqui é a **pequena razão de compressão efetiva** (usei h_2 a 60°C , mas na **mesma pressão** de condensação de 40°C), o que resulta em **trabalho específico baixo** ($\approx 7,95 \text{ kcal/kg}$). Em termos práticos: para cada 1 kWh de energia elétrica no compressor, você obtém $\sim 6,4 \text{ kWh}$ equivalentes de “frio” no evaporador — um desempenho bem eficiente dentro do cenário assumido.

Se quiser, eu já deixo o mesmo cálculo pronto para outros fluidos (R-134a, R-12, NH_3) nas **mesmas temperaturas** para comparar COPs.”

5.1.3 Confronto com cálculos manuais

Para os cálculos manuais, os dados da Tabela 1 foram utilizados:

Tabela 1: Dados utilizados para os cálculos do Caso 1

Grandeza	Valor
T1 ($^\circ\text{C}$)	-10
h1 (kcal/kg)	148,173
T2 ($^\circ\text{C}$)	60
h2 (kcal/kg)	156,119
T3 ($^\circ\text{C}$)	40

h_3 (kcal/kg)	39,888
T_4 (°C)	-10
h_4 (kcal/kg)	97,234

FONTE: AUTOR, 2025.

Dessa forma, seguindo a Equação 12, o resultado obtido para o COP foi de 6,411, que converge com o resultado de 6,41, fornecido pelo *chatbot*.

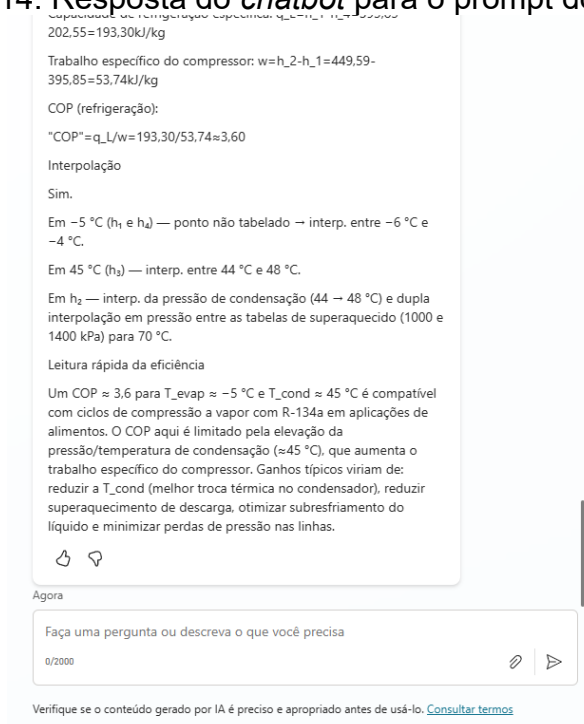
5.2 Caso 2: Indústria de Processamento de Alimentos

5.2.1 Prompt Utilizado

“Calcule o Coeficiente de Performance (COP) de um sistema de refrigeração utilizado em uma indústria de processamento de alimentos, empregando o fluido refrigerante R-134a. As temperaturas do refrigerante nos quatro pontos do ciclo são: -5°C , 70°C , 45°C e -5°C . Utilize as tabelas termodinâmicas do R-134a, obtenha as entalpias correspondentes a cada ponto, realize o cálculo do COP e apresente o resultado acompanhado de uma breve análise sobre a eficiência energética do sistema. Informe também se foi necessária interpolação.”

5.2.2 Resposta do *chatbot*

Figura 14: Resposta do *chatbot* para o prompt do Caso 2



FONTE: AUTOR, 2025.

Cálculo do COP — R-134a

Entradas (temperaturas do refrigerante):

1. $-5\text{ °C} \rightarrow$ entrada do compressor
2. $70\text{ °C} \rightarrow$ saída do compressor (na pressão de condensação)
3. $45\text{ °C} \rightarrow$ saída do condensador
4. $-5\text{ °C} \rightarrow$ saída da válvula de expansão (usar h_{LV})

Propriedades (tabelas R-134a, kJ/kg)

- h_1 (-5 °C , vapor sat.) = **395,85** $\leftrightarrow$ interp. linear entre -6 °C (395,3) e -4 °C (396,4)
- h_2 (70 °C , vapor superaquecido a $P_{\text{sat}@45\text{ °C}}$) = **449,59**
 - $P_{\text{sat}@45\text{ °C}}$ obtida por interp. entre 44 °C (1131,16 kPa) e 48 °C (1253,95 kPa): 1161,86 kPa
 - $h(70\text{ °C})$ por **dupla interpolação em pressão** entre tabelas de superaquecido:
a 1000 kPa: $h = 452,3$; a 1400 kPa: $h = 445,6 \Rightarrow h_2 \approx 449,59$
- h_3 (45 °C , líquido sat.) = **264,23** $\leftrightarrow$ interp. entre 44 °C (262,7) e 48 °C (268,8)
- h_4 (-5 °C , mistura líq-vap, h_{LV}) = **202,55** $\leftrightarrow$ interp. entre -6 °C (203,3) e -4 °C (201,8)

Observação: conforme sua regra, o ponto (4) usa a coluna h_{LV} .

Cálculo

- **Capacidade de refrigeração específica:** $q_L = h_1 - h_4 = 395,85 - 202,55 = 193,30\text{ kJ/kg}$
- **Trabalho específico do compressor:** $w = h_2 - h_1 = 449,59 - 395,85 = 53,74\text{ kJ/kg}$
- **COP (refrigeração):**

$$\text{COP} = \frac{q_L}{w} = \frac{193,30}{53,74} \approx 3,60$$

Interpolação

Sim.

- Em -5 °C (h_1 e h_4) — ponto não tabelado $\rightarrow$ interp. entre -6 °C e -4 °C .
- Em 45 °C (h_3) — interp. entre 44 °C e 48 °C .
- Em h_2 — interp. da **pressão de condensação** ($44 \rightarrow 48\text{ °C}$) e **dupla interpolação** em pressão entre as tabelas de superaquecido (1000 e 1400 kPa) para 70 °C .

Leitura rápida da eficiência

Um **COP $\approx 3,6$** para **$T_{\text{evap}} \approx -5\text{ }^{\circ}\text{C}$** e **$T_{\text{cond}} \approx 45\text{ }^{\circ}\text{C}$** é **compatível** com ciclos de compressão a vapor com R-134a em aplicações de alimentos. O COP aqui é limitado pela **elevação da pressão/temperatura de condensação** ($\approx 45\text{ }^{\circ}\text{C}$), que aumenta o **trabalho específico do compressor**. Ganhos típicos viriam de: reduzir a T_{cond} (melhor troca térmica no condensador), reduzir superaquecimento de descarga, otimizar subresfriamento do líquido e minimizar perdas de pressão nas linhas.”

5.2.3 Confronto com cálculos manuais

Para os cálculos manuais, os dados da Tabela 2 foram utilizados:

Tabela 2: Dados utilizados para os cálculos manuais do Caso 2

Grandeza	Valor
T1 ($^{\circ}\text{C}$)	-5
h1 (kcal/kg)	395,85
T2 ($^{\circ}\text{C}$)	70
h2 (kcal/kg)	449,59
T3 ($^{\circ}\text{C}$)	45
h3 (kcal/kg)	264,23
T4 ($^{\circ}\text{C}$)	-5
h4 (kcal/kg)	202,55

FONTE: AUTOR, 2025.

Dessa forma, seguindo a Equação 12, o resultado obtido para o COP foi de 3,597, que converge com o resultado de 3,60 fornecido pelo *chatbot*.

5.3 Caso 3: Sistema de Refrigeração Industrial com Alta Carga Térmica

5.3.1 Prompt Utilizado

“Calcule o Coeficiente de Performance (COP) de um sistema de refrigeração industrial de alta carga térmica que utiliza o fluido refrigerante amônia (R-717). As temperaturas do refrigerante nos quatro pontos do ciclo são: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilize as tabelas termodinâmicas da amônia para obter as entalpias correspondentes a cada ponto, realize o cálculo do COP e apresente o resultado

acompanhado de uma breve análise sobre a eficiência do sistema. Indique também se houve necessidade de interpolação.”

5.3.2 Resposta do Chatbot

Cálculo do COP — Amônia (R-717)

Entradas (temperaturas do refrigerante):

1. $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ entrada do compressor
2. $90\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ saída do compressor (à pressão de condensação)
3. $50\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ saída do condensador (líquido saturado)
4. $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ saída da válvula de expansão (usar coluna “líq-vap”, conforme sua regra)

Propriedades (R-717, em kcal/kg)

- h_1 ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, vapor saturado) = 392,23
- h_2 ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$, vapor superaquecido a $P_{\text{sat}@50\text{ }^{\circ}\text{C}} = 20,727\text{ kgf/cm}^2$) = 439,79
- h_3 ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$, líquido saturado) = 157,46
- h_4 ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, “líq-vap”, h_{LV}) = 324,82

Observação: no ponto (4) apliquei exatamente a sua convenção de usar a coluna h_{LV} para mistura bifásica.

Cálculo

- **Capacidade de refrigeração específica:** $q_L = h_1 - h_4 = 392,23 - 324,82 = 67,41\text{kcal/kg}$
- **Trabalho específico do compressor:** $w = h_2 - h_1 = 439,79 - 392,23 = 47,56\text{kcal/kg}$
- **COP (refrigeração):**

$$\text{COP} = \frac{q_L}{w} = \frac{67,41}{47,56} \approx 1,42$$

Interpolação

Não foi necessária. Todos os pontos coincidem com linhas tabeladas: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sat), $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sat) e $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ na tabela de superaquecido para **$20,727\text{ kgf/cm}^2$** .

Leitura rápida da eficiência

Um **COP $\approx 1,42$** para **$T_{\text{evap}} \approx -30\text{ }^{\circ}\text{C}$** e **$T_{\text{cond}} \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$** é **compatível** com operação de **alta carga térmica** e grande diferencial de temperaturas. O desempenho é limitado pelo **trabalho de compressão elevado** (descarga a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ na pressão de condensação de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Melhora típica viria de:

- reduzir a **$T_{\text{condensação}}$** (melhor troca no condensador/torre);
- aplicar **subresfriamento** do líquido;
- minimizar **perdas de pressão** nas linhas e no evaporador;
- otimizar o **superaquecimento** na sucção (evitar excessos que elevem w).

Se quiser, faço a **comparação direta** com R-22 e R-134a nas mesmas temperaturas para evidenciar o trade-off de eficiência.”

5.3.3 Confronto com cálculos manuais

Para os cálculos manuais, os dados da Tabela 3 foram utilizados:

Tabela 3: Dados utilizados para os cálculos manuais do Caso 3

Grandeza	Valor
T1 ($^{\circ}\text{C}$)	-30
h1 (kcal/kg)	392,23
T2 ($^{\circ}\text{C}$)	90
h2 (kcal/kg)	439,79
T3 ($^{\circ}\text{C}$)	50
h3 (kcal/kg)	157,46
T4 ($^{\circ}\text{C}$)	-30
h4 (kcal/kg)	324,82

FONTE: AUTOR, 2025.

Dessa forma, seguindo a Equação 12, o resultado obtido para o COP foi de 1,417, que converge com o resultado de 1,42 fornecido pelo *chatbot*.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise dos Resultados Obtidos

Os resultados obtidos nas simulações dos três casos demonstram a coerência do *chatbot* em relação aos fundamentos termodinâmicos aplicados aos ciclos de compressão a vapor. Cada cálculo foi realizado com base nas tabelas de

propriedades integradas, sem necessidade de consultas externas, o que evidencia a integridade e a confiabilidade do modelo proposto.

No Caso 1 (R-22), o sistema operando com temperaturas de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentou um COP de aproximadamente 6,4, valor elevado para um ciclo simples de refrigeração, indicando uma boa eficiência energética sob condições de condensação moderadas. Esse resultado mostra que o R-22, embora já substituído em muitas aplicações devido a restrições ambientais, ainda oferece um desempenho termodinâmico expressivo, especialmente em faixas de temperatura intermediárias. No Caso 2 (R-134a), o ciclo operando a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ resultou em um COP de cerca de 3,6, coerente com sistemas comerciais voltados ao resfriamento de alimentos. O *chatbot* identificou corretamente a necessidade de múltiplas interpolações para determinar as entalpias correspondentes, demonstrando autonomia e precisão matemática. O valor obtido reflete as limitações típicas desse fluido, cuja pressão de condensação mais elevada exige maior trabalho de compressão, reduzindo a eficiência global. Ainda assim, o R-134a se destaca por sua estabilidade e ampla aplicação em sistemas médios. Já o Caso 3 (Amônia – R-717) apresentou um COP em torno de 1,42, valor condizente com sistemas industriais de alta carga térmica e grande diferença entre temperaturas de evaporação e condensação. A amônia manteve desempenho compatível com o esperado, comprovando sua eficiência em sistemas de grande porte, mesmo que o valor do COP aparente ser inferior. O *chatbot* também reconheceu corretamente os estados termodinâmicos, eliminando a necessidade de interpolação e reforçando a consistência dos dados.

De forma geral, observa-se que os resultados seguem o comportamento teórico previsto: quanto maior o diferencial de temperatura entre evaporação e condensação, menor o COP. Esse padrão, reproduzido pelo *chatbot*, confirma que o modelo lógico aplicado é fisicamente coerente e que o agente foi capaz de correlacionar as propriedades termodinâmicas de modo autônomo, mantendo o rigor conceitual. Além disso, os resultados fornecidos pelo *chatbot* e os encontrados em cálculos realizados manualmente em planilhas do Excel convergem nos três casos, o que mostra que o agente desenvolvido é capaz de calcular corretamente o COP dos sistemas.

Adicionalmente, quando o desempenho calculado se mostrou inferior, como observado no caso da amônia, o chatbot demonstrou capacidade de interpretar essa queda e apontar direções gerais de melhoria para o ciclo, sempre ancorado nos

próprios fundamentos da análise termodinâmica. As sugestões oferecidas surgem de avaliações coerentes sobre as condições do processo, destacando aspectos operacionais que influenciam diretamente a eficiência do sistema. Esse tipo de leitura amplia o papel do agente, que deixa de atuar apenas como um executor de cálculos e passa a contribuir com reflexões técnicas úteis ao engenheiro. De forma mais ampla, nota-se que esse potencial pode ser aprofundado: quanto mais bem treinado e mais exposto a cenários variados, mais refinadas e contextualizadas tendem a ser as recomendações apresentadas. A capacidade de evolução contínua do modelo abre espaço para análises ainda mais sofisticadas, permitindo que o agente se torne, gradualmente, uma ferramenta de apoio cada vez mais sensível às nuances dos ciclos frigoríficos e às demandas práticas do campo da engenharia.

6.2 Benefícios e Limitações do Uso do Microsoft Copilot

A utilização do Microsoft Copilot Studio mostrou-se vantajosa em diferentes aspectos. O ambiente oferece integração direta com o SharePoint e o Teams, permitindo que o *chatbot* opere dentro do mesmo ecossistema corporativo e acadêmico, com controle de acesso e rastreabilidade de todas as consultas. O uso do modelo GPT-5 garantiu a interpretação correta de instruções complexas e o processamento lógico dos cálculos, sem necessidade de fluxos externos, o que reduziu o tempo de resposta e simplificou o desenvolvimento. Outro benefício evidente é a naturalidade na interação. O engenheiro pode formular o problema em linguagem comum, sem recorrer a comandos rígidos, e ainda assim obter resultados tecnicamente precisos, incluindo cálculos, verificações de coerência e análises qualitativas. O *chatbot* demonstra capacidade de raciocínio contextual, identificando quando há falta de dados e solicitando informações complementares, o que o aproxima do comportamento esperado de um assistente técnico humano.

Entretanto, durante os testes, foram observadas limitações operacionais pontuais. Em algumas situações, o Copilot falha em recuperar corretamente os valores das tabelas termodinâmicas integradas, retornando dados imprecisos ou incompletos. Nesses casos, é necessário orientar o agente explicitamente sobre o intervalo de temperatura, pressão ou fluido a ser considerado, para que o processamento seja feito de forma correta. Esse comportamento, embora não

frequente, demonstra que o modelo ainda depende de intervenções pontuais do usuário para garantir a precisão máxima dos resultados.

Da mesma forma, verificou-se que o uso de planilhas Excel ou listas SharePoint como fontes de dados diretas pode apresentar menor confiabilidade na indexação e busca dos valores, uma vez que o Copilot nem sempre interpreta adequadamente a estrutura das células ou cabeçalhos. Embora isso não ocorra de forma sistemática, a performance de busca mostrou-se mais estável com documentos em formato PDF técnico estruturado, que preservam a hierarquia e a padronização dos dados originais. Por fim, vale destacar que o Copilot Studio ainda não oferece suporte nativo a visualizações gráficas dinâmicas, o que limita a representação visual dos ciclos termodinâmicos e a comparação direta entre diferentes condições operacionais.

Apesar dessas restrições, o desempenho geral do sistema foi estável, seguro e adequado aos objetivos do projeto, comprovando que o uso do Copilot Studio pode extrapolar aplicações administrativas e atingir com eficiência o campo técnico-científico da Engenharia Química.

6.3 Impacto nos Projetos de Engenharia Química

Mesmo com as limitações pontuais observadas, o uso do Microsoft Copilot Studio mostrou impacto positivo e concreto para a Engenharia Química. A integração entre Inteligência Artificial generativa e análise termodinâmica permitiu automatizar cálculos tradicionalmente manuais, reduzindo o tempo de execução e o risco de erro humano, além de centralizar dados técnicos em um único ambiente seguro e rastreável. O *chatbot* desenvolvido demonstrou capacidade de interpretar instruções em linguagem natural, processar dados e realizar cálculos complexos com coerência física, o que favorece a tomada de decisões mais rápidas e fundamentadas. Mesmo nos casos em que o modelo não recupera corretamente as informações da base, a possibilidade de reorientar o agente por texto garante continuidade no processo e reforça sua aplicabilidade prática.

Do ponto de vista educacional e profissional, a ferramenta contribui para a compreensão dos ciclos de refrigeração e para o desenvolvimento de uma mentalidade digital no engenheiro químico. Em ambientes industriais, pode atuar como suporte à eficiência energética e à comparação de fluidos refrigerantes, aproximando o campo da termodinâmica dos conceitos de automação e Indústria 4.0

Em resumo, o projeto evidencia que a integração entre Termodinâmica e IA é viável, útil e promissora, consolidando o *chatbot* como um recurso técnico de apoio à decisão e à aprendizagem em Engenharia Química.

7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do *chatbot* proposto demonstrou a viabilidade de integrar dados termodinâmicos e Inteligência Artificial em um único ambiente operacional. O agente foi capaz de calcular o Coeficiente de Performance (COP) de diferentes sistemas de refrigeração, interpretando corretamente os parâmetros fornecidos e aplicando interpolação linear quando necessário. Os resultados obtidos para os fluidos R-22, R-134a e amônia mostraram-se coerentes com os valores teóricos esperados, confirmando a consistência física e numérica do modelo implementado. Além da precisão dos cálculos, o projeto evidenciou o potencial da automação no campo da Engenharia Química, ao unificar cálculos complexos e bases de dados em uma interface conversacional intuitiva e integrada ao ecossistema Microsoft 365. Essa abordagem reduziu o tempo de análise, eliminou etapas manuais e aumentou a confiabilidade dos resultados, mostrando-se útil tanto em contextos industriais quanto acadêmicos. A integração direta com ferramentas como o SharePoint e o Microsoft Teams também garantiu segurança, rastreabilidade e facilidade de acesso, consolidando o *chatbot* como uma ferramenta prática e eficiente para o apoio técnico e o ensino de Termodinâmica Aplicada.

O trabalho contribui para a modernização das análises termodinâmicas ao aplicar conceitos de inteligência artificial à rotina de cálculos e simulações, aproximando o engenheiro de uma prática mais ágil e conectada digitalmente. O uso do Microsoft Copilot Studio se mostrou estratégico, por permitir a criação de fluxos conversacionais personalizados e a integração com bancos de dados confiáveis, garantindo padronização das unidades, coerência dos resultados e rastreabilidade das informações processadas.

Para as próximas etapas, recomenda-se o aprimoramento do agente com mecanismos de indexação mais robustos, capazes de ampliar a precisão das leituras e da interpolação de dados, além da adoção de bancos relacionais integrados ao Power BI, possibilitando a análise visual e interativa dos resultados. A inclusão de novos fluidos refrigerantes, ciclos alternativos e módulos de avaliação econômica e ambiental também se mostra relevante, ampliando o alcance do *chatbot* como

ferramenta digital aplicada à eficiência energética e à tomada de decisão em projetos de engenharia.

REFERÊNCIAS

1. KORETSKY, Milo D. **Engineering and Chemical Thermodynamics**. 2. ed. Estados Unidos: [s. n.], 2013. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=wqdsDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=principles+for+thermodynamics+in+chemical+engineering&ots=jlM8FD2V9N&sig=_5R_4ZvJ8OA9cpwpK9zobRluR7Y#v=onepage&q=principles%20for%20thermodynamics%20in%20chemical%20engineering&f=true. Acesso em: 2 fev. 2025.
2. SMITH, J.M. *et al.* **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**. 8. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2018. 769 p. Disponível em: [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/ChEThermoBeaucage/J.M.%20Smith,%20Hendrick%20Van%20Ness,%20Michael%20Abbott,%20Mark%20Swihart%20-%20Introduction%20to%20Chemical%20Engineering%20Thermodynamics-McGraw-Hill%20Education%20\(2018\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/ChEThermoBeaucage/J.M.%20Smith,%20Hendrick%20Van%20Ness,%20Michael%20Abbott,%20Mark%20Swihart%20-%20Introduction%20to%20Chemical%20Engineering%20Thermodynamics-McGraw-Hill%20Education%20(2018).pdf). Acesso em: 2 fev. 2025.
3. AUTOR DESCONHECIDO. Exploring Air Conditioner Basics: Thermodynamics. *In*: DESCONHECIDO, Autor. **Exploring Air Conditioner Basics: Thermodynamics**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.sandium.com/advice/air-conditioner-basics-part-ii-thermodynamics>. Acesso em: 2 fev. 2025.
4. DONEV, J.K.M.C *et al.* **Coefficient of performance**. [S. l.]: Energy Education, 2024. Disponível em: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Coefficient_of_performance. Acesso em: 2 fev. 2025.
5. STRYKER, Cole; KAVLAKOGLU, Eda. **What is artificial intelligence (AI)?**. : IBM, 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence>. Acesso em: 8 fev. 2025.
6. WHAT is NLP (natural language processing)?. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/natural-language-processing>. Acesso em: 2 fev. 2025.

7. HU, Charlotte; DOWNIE, Amanda; FINIO, Matthew. **AI agents vs. AI assistants**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-agents-vs-ai-assistants>. Acesso em: 2 fev. 2025.
8. MUCCI, Tim. **The history of AI**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/history-of-artificial-intelligence>. Acesso em: 2 fev. 2025.
9. FERLAINO, Pierpaolo. **El Ajadrecista. The mechanical chess player by Leonardo Torres Y Quevedo**. [S. l.], 15 fev. 2022. Disponível em: <https://pierpaoloferlaino.medium.com/el-ajadrecista-the-mechanical-chess-player-by-leonardo-torres-y-quevedo-ed8de8a3c06e>. Acesso em: 2 fev. 2025.
10. ONODY, Roberto N. **Teste de Turing e Inteligência Artificial**. [S. l.], 28 set. 2021. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/teste-de-turing-e-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 2 fev. 2025.
11. AUTOR DESCONHECIDO. **DeepSeek-V3 Technical Report**. [S. l.]: DeepSeek-AI, 18 fev. 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2412.19437>. Acesso em: 1 mar. 2025.
12. MICROSOFT 365 Copilot overview. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/copilot/microsoft-365/microsoft-365-copilot-overview>. Acesso em: 8 mar. 2025.
13. MICROSOFT 365 Copilot architecture and how it works. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/copilot/microsoft-365/microsoft-365-copilot-architecture>. Acesso em: 8 mar. 2025.
14. OVERVIEW of Microsoft 365 Copilot Chat. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/copilot/overview>. Acesso em: 8 mar. 2025.
15. CLAIRE YU YAN. *Introduction to Engineering Thermodynamics*. [s.l.: s.n.].
15. **CHEMOURS COMPANY FC, LLC. Freon™ 22 refrigerant (R-22): thermodynamic properties (SI units)**. Wilmington: Chemours, 2016. 18 p. Disponível em: <https://www.freon.com/>. Acesso em: 23 out. 2025.
16. **DUPONT. Thermodynamic properties of DuPont™ Freon® 12 (R-12) refrigerant: SI units**. Wilmington (DE): DuPont, 2005. 17 p. Disponível em: <https://www.suva.dupont.com>. Acesso em: 23 out. 2025.