



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA

PEDRO DIAS DOS SANTOS NETO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: modelagem
da lei do resfriamento de Newton com Gemini e ChatGPT**

TERESINA
2025

PEDRO DIAS DOS SANTOS NETO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: modelagem da
lei do resfriamento de Newton com Gemini e ChatGPT

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Física do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Nailson Farias de
Vasconcelos.

TERESINA
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Santos Neto, Pedro Dias dos

S237i Inteligência artificial generativa no ensino de física : modelagem da lei do resfriamento de Newton com Gemini e ChatGPT / Pedro Dias dos Santos Neto.
- 2025.
76 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Dr. Francisco Nailson Farias de Vasconcelos.

1. Inteligência artificial. 2. Simulação. 3. Termologia. 4. Lei do resfriamento de Newton. I. Título.

CDD - 530

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

PEDRO DIAS DOS SANTOS NETO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NO ENSINO DE FÍSICA: modelagem da
lei do resfriamento de Newton com Gemini e ChatGPT

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Física do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Central.

Aprovada em: 02/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Nailson Farias de Vasconcelos (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo – Membro da Banca
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. José Ricardo Rodrigues Duarte – Membro da Banca
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Dedico este trabalho aos meus pais e avós.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças, sabedoria e me guiar nessa jornada acadêmica.

Aos professores do Instituto Federal do Piauí – Campus Teresina Central, que foram peça chave em minha formação. Em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Nailson, por me aceitar como seu orientando e embarcar comigo nesta jornada.

Agradeço também ao Prof. Luardo Fernandes, fonte de inspiração e primeiro contato (fundamental) com a Física em minha formação básica.

Aos meus pais, Nayana P. D. Santos e Pedro D. S. Filho, que nunca deixaram nada faltar e se esforçaram para me garantir o acesso a uma educação de qualidade, por acreditarem em mim e por todo suporte e amor infindo. E ao meu irmão, Jorge L. D. Dias, por todos os momentos felizes.

Aos meus avós paternos, Pedro D. S. (in memoriam), a quem homenageio em meu nome, e Maria G. S.; e aos meus avós maternos, Raimunda P. D. (in memoriam) e Raimundo G. D. (in memoriam). A todos eles, dedico este trabalho, por sempre terem feito tudo por mim e deixado um legado ininterrupto de muito amor, carinho, cuidado e honestidade.

Aos amigos que a escola me deu e que permanecem até hoje em minha vida, agradeço por estarem presentes em todos os momentos. Aos amigos que o IFPI me deu, em especial, aos “Primos”, parceiros nessa jornada acadêmica.

À minha companheira Maria Gabryella, por estar presente nos bons e maus momentos e por sempre me apoiar.

Feche a porta, esqueça o barulho. Feche os olhos, tome ar. É hora do mergulho!

Engenheiros do Hawaii

RESUMO

A presente pesquisa investiga as potencialidades de ferramentas de Inteligência Artificial Generativa, especificamente Gemini e ChatGPT, como recurso didático para a modelagem matemática e representação gráfica da Lei do Resfriamento de Newton no Ensino Médio. O trabalho estabeleceu como finalidade subsidiar o desenvolvimento de uma Sequência Didática fundamentada no Ensino por Investigação. A metodologia adotada consistiu em uma Simulação Comparativa, onde se utilizou um *prompt* único e padronizado nas duas Inteligências Artificiais Generativas, fornecendo condições de contorno fixas (temperatura inicial e ambiente) e os coeficientes de resfriamento (k) para os materiais Aço, Cobre e Alumínio. A execução comparou a precisão das equações geradas e a fidelidade dos gráficos individuais e de sobreposição, além de avaliar a usabilidade e a funcionalidade de manipulação interativa de parâmetros. Os resultados demonstraram que ambas as ferramentas alcançaram precisão matemática na geração da fórmula da Lei do Resfriamento de Newton. Entretanto, o Gemini exibiu superioridade na fidelidade gráfica e na estabilidade de uso. Além disso, os gráficos gerados pelo Gemini foram mais adequados, apresentando cores diferentes para cada material e incluindo uma linha clara que representa a temperatura ambiente, tudo isso sem as restrições operacionais observadas no ChatGPT. Conclui-se que a Inteligência Artificial Generativa é um poderoso laboratório virtual, cujo uso é potencializado por metodologias ativas, garantindo o protagonismo do aluno. A Sequência Didática resultante integra o Gemini como ferramenta prioritária para a simulação, sendo esta Sequência Didática de fundamental importância para a orientação da prática pedagógica, e o professor poderá aplicá-la em sala de aula para alunos do Ensino Médio, promovendo a aprendizagem investigativa e a cultura digital, que está diretamente alinhada às Competências Gerais da Base Nacional Comum Curricular.

Palavras-chave: inteligência artificial; simulação; termologia; lei do resfriamento de Newton.

ABSTRACT

This research investigates the potential of Generative Artificial Intelligence tools, specifically Gemini and ChatGPT, as a didactic resource for the mathematical modeling and graphical representation of Newton's Law of Cooling in high school. The work aimed to support the development of a didactic sequence based on Inquiry-Based Learning. The methodology adopted consisted of a comparative simulation, using a single, standardized prompt in both Generative Artificial Intelligences, providing fixed boundary conditions (initial and ambient temperature) and cooling coefficients (k) for the materials steel, copper, and aluminum. The execution compared the accuracy of the generated equations and the fidelity of the individual and overlay graphs, in addition to evaluating the usability and functionality of interactive parameter manipulation. The results demonstrated that both tools achieved mathematical accuracy in generating the formula for Newton's Law of Cooling. However, Gemini exhibited superiority in graphical fidelity and stability of use. Furthermore, the graphs generated by Gemini were more suitable, presenting different colors for each material and including a clear line representing ambient temperature, all without the operational restrictions observed in ChatGPT. It is concluded that Generative Artificial Intelligence is a powerful virtual laboratory, whose use is enhanced by active methodologies, guaranteeing student protagonism. The resulting Didactic Sequence integrates Gemini as a priority tool for simulation, this Didactic Sequence being of fundamental importance for guiding pedagogical practice, and the teacher can apply it in the classroom for high school students, promoting investigative learning and digital culture, which is directly aligned with the General Competencies of the National Common Curricular Base.

Keywords: artificial intelligence; simulation; thermology; Newton's law of cooling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Temperatura do bolo em relação ao tempo.....	24
Figura 2	Valores médios do Coeficiente de convecção “h”	27
Figura 3	Fases da Sequência Didática.....	34
Figura 4	Definição de parâmetros e constantes de resfriamento (k) para Aço, Cobre e Alumínio gerados pela IAG.....	36
Figura 5	Equações da LRN com parâmetros substituídos para Aço, Cobre e Alumínio - ChatGPT.....	37
Figura 6	Simplificação da LRN a partir dos parâmetros fixos de temperatura.....	38
Figura 7	Equações exponenciais finais por material (Aço, Cobre e Alumínio)	39
Figura 8	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Aço - ChatGPT.....	40
Figura 9	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Cobre - ChatGPT.....	41
Figura 10	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Alumínio - ChatGPT.....	41
Figura 11	Gráfico comparativo das curvas de resfriamento para Aço, Cobre e Alumínio - ChatGPT.....	42
Figura 12	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Aço - Gemini.....	43
Figura 13	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Cobre - Gemini.....	43
Figura 14	Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Alumínio - Gemini.....	44

Figura 15	Gráfico comparativo das curvas de resfriamento para Aço, Cobre e Alumínio - Gemini.....	44
Figura 16	Interface do gráfico interativo para manipulação de variáveis da LRN - ChatGPT.....	45
Figura 17	Interface do gráfico interativo para manipulação de variáveis da LRN - Gemini.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EDO	Equações Diferenciais Ordinárias
IA	Inteligência Artificial
IAG	Inteligência Artificial Generativa
LLMs	Modelos de Linguagem de Grande Escala
LRN	Lei do Resfriamento de Newton
SD	Sequência Didática
TDICs	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	A IAG NA EDUCAÇÃO	16
2.1.1	O Cenário de Dificuldades no Ensino de Física	16
2.1.2	Conceitos e Potencialidades da IAG.....	17
2.1.3	A IAG no Ensino de Física e na Termodinâmica.....	18
2.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA LRN.....	19
2.2.1	Formulação Conceitual e Aplicações da LRN.....	19
2.2.2	A Modelagem Matemática da LRN.....	19
2.2.3	O Gráfico Exponencial e a Justificativa da Simulação.....	22
2.2.4	Elementos que compõem a LRN.....	25
2.3	IMPLICAÇÕES PEDAGÓGICAS E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)....	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	DEFINIÇÃO DO OBJETO E CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	29
3.2	SELEÇÃO E JUSTIFICATIVA DAS FERRAMENTAS DE IAG.....	30
3.3	EXECUÇÃO DO <i>PROMPT</i> E COLETA DE DADOS.....	31
3.3.1	Prompt Único.....	31
3.3.2	Coleta e Registro de Dados.....	32
3.4	DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA...	32

3.4.1	Estrutura e Fundamentação Pedagógica.....	33
3.4.2	Utilização da IAG de Forma Otimizada.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	MODELAGEM MATEMÁTICA DA LRN PELO CHATGPT E GEMINI....	36
4.2	GRÁFICOS GERADOS PELAS IAGs A PARTIR DA EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA.....	39
4.2.1	Funcionalidade Interativa.....	45
4.3	DISCUSSÃO CRÍTICA E COMPARAÇÃO DE PERFORMANCE.....	47
4.3.1	Precisão na Modelagem Matemática.....	47
4.3.2	Fidelidade Gráfica e Representação Visual.....	47
4.3.3	Análise da Funcionalidade Interativa.....	48
4.3.4	Consistência e Limitações de Usuário.....	48
4.4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM OUTROS FENÔMENOS EXPONENCIAIS.....	49
4.5	PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A – CÓDIGOS EM PYTHON DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS GERADOS PELAS FERRAMENTAS GEMINI E CHATGPT.....	66
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO ACERCA DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	72
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO.....	74

1 INTRODUÇÃO

O Ensino Médio, fase crucial da educação básica, enfrenta o desafio constante de superar a abstração característica das Ciências da Natureza, especialmente a Física. O modelo de ensino frequentemente adotado, pautado na exposição teórica e na resolução mecânica de exercícios, tende a desvincular o conhecimento científico da realidade do aluno, gerando desinteresse dos alunos e dificuldade na visualização de fenômenos complexos. Dentro do vasto campo da Termologia, o estudo da transferência de calor e do equilíbrio térmico demanda uma abordagem prática e dinâmica. Nesse contexto, a Lei do Resfriamento de Newton (LRN) surge como um tópico ideal para a modelagem. No contexto educacional, simulações e ambientes virtuais têm demonstrado ser mais eficazes e vantajosos que o ensino tradicional, oferecendo ao educando a oportunidade de interação e manipulação de fenômenos físicos de forma mais visual, o que pode facilitar a compreensão dos conteúdos (Medeiros et al., 2024).

Contudo, a análise aprofundada da LRN, que envolve a aplicação de funções exponenciais e a interpretação gráfica da variação de diferentes materiais, é um conteúdo que, apesar de sua relevância para a modelagem e a interdisciplinaridade, é frequentemente abordado de maneira superficial pelos professores no Ensino Médio, devido, em grande parte, à dificuldade de realizar experimentos ou à falta de recursos para analisar o gráfico exponencial em sala de aula. Portanto, a exigência de ferramentas que permitam a simulação e a visualização detalhada é alta.

Em contrapartida, o cenário educacional tem sido profundamente transformado pela revolução da Inteligência Artificial (IA), particularmente pelas ferramentas de Inteligência Artificial Generativa (IAG), como o Gemini e o ChatGPT. Nesse cenário, a IA não se apresenta como uma ferramenta que substitui o papel do professor no processo de ensino, mas sim, como potencializador do aprendizado (Jaime; Leonel, 2024). Nesse cenário, a Inteligência Artificial surge como uma ferramenta poderosa, que pode auxiliar o professor a preencher as lacunas deixadas pelo ensino tradicional. Essa tecnologia tem vasta capacidade de análise de dados, composição de gráficos a partir de um banco de dados, criação de simulações interativas, personalização do ensino e desenvolvimento de plataformas de aprendizagem adaptativa (Malta et al., 2025).

São essas possibilidades alternativas que geram experiências de aprendizado dinâmicas e individualizadas. Portanto, a utilização da IA impulsiona uma nova forma

de ensino, onde o estudante tem um papel ativo, levando a um engajamento maior e melhores resultados (Malta et al., 2025). Apesar do inegável potencial pedagógico e do crescimento no uso da IA no dia a dia dos estudantes, ainda existe uma grande dificuldade em relação ao modo correto de usar essas ferramentas para fins acadêmicos. Regularmente, o que acontece é que os alunos não recebem orientações sobre essa utilização, o que faz com que eles usem essas tecnologias de maneira superficial, ou, em alguns casos, de maneira que prejudica a aprendizagem, como buscar respostas prontas. Essa falta de orientação específica acaba dificultando que os estudantes explorem o potencial da IA como uma aliada na hora de estudar Física.

A presente pesquisa se justifica pela urgência de modernizar o ensino de Física e pela necessidade de fornecer uma metodologia de uso da IAG. A IA surge como uma ferramenta promissora para tornar o aprendizado mais acessível e dinâmico, especialmente no campo do ensino de Física, que muitas vezes é percebido como desafiador devido à sua complexidade e abstração (Gomez; Araújo; Silva, 2025). A análise da precisão dos gráficos e das modelagens geradas pelas IAGs em um tópico fundamental como a LRN, que é pouco explorado por limitações didáticas, é crucial para que o professor possa integrar essas ferramentas de forma crítica e segura em suas aulas. Deste modo, o presente trabalho visa atingir os seguintes objetivos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o potencial das IAGs (Gemini e ChatGPT) na modelagem e simulação da LRN para diferentes materiais (Aço, Cobre e Alumínio), e desenvolver uma Sequência Didática que ajude o professor no uso pedagógico dessas ferramentas no Ensino Médio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os conceitos fundamentais da LRN, sua modelagem matemática e definir os parâmetros de simulação para o Ensino Médio.
- Utilizar as IAGs (Gemini e ChatGPT) para gerar as funções de resfriamento e plotar os gráficos comparativos dos materiais selecionados.
- Incentivar a discussão crítica sobre as potencialidades e limitações das IAGs na modelagem física, preparando o professor para a mediação pedagógica.
- Desenvolver uma SD detalhada, alinhada à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), para o uso prático e investigativo da IAG no ensino da LRN.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico fundamenta-se nos seguintes aspectos que compõe o objeto deste estudo: a tecnologia inovadora da IAG, o conteúdo específico da LRN e os princípios pedagógicos de modelagem e ensino. A discussão inicia com a contextualização da IA no cenário educacional e sua potencialidade, em seguida, para a base teórica do fenômeno físico da LRN e culmina nas estratégias didáticas para a aplicação em sala de aula. Para isso, são apresentados e discutidos os temas a seguir:

2.1 A IAG NA EDUCAÇÃO

A revolução tecnológica da última década posicionou a IA no centro do debate sobre o futuro da educação. A IA não é mais uma tecnologia futurista, mas uma realidade, cuja rápida evolução exige uma adaptação urgente das práticas pedagógicas. O surgimento das IAG, como o Gemini e o ChatGPT, inaugurou um novo paradigma no acesso e na manipulação da informação (Batistella, 2025).

O potencial dessa tecnologia é especialmente relevante em áreas da Física, como a Termologia e a Termodinâmica, que frequentemente apresentam desafios conceituais aos estudantes devido à natureza invisível de fenômenos como calor e temperatura. A IA, nesse contexto, surge como um recurso que pode preencher a lacuna entre a teoria e a observação experimental (Ferraz; Lino, 2025).

2.1.1 O Cenário de Dificuldades no Ensino de Física

A problemática do ensino de Física no Ensino Médio é complexa e se manifesta em desafios que vão além da simples abstração do conteúdo. Uma dificuldade que surge em muitos contextos educacionais é a ausência de um laboratório de ciências. Contudo, em alguns casos, o laboratório existe na escola e está devidamente equipado. Porém, ele é subutilizado, de modo que o potencial didático desse espaço não é explorado, transformando-o em um local de depósito para esses equipamentos (Benetti; Ramos; Silva, 2013).

Essa realidade de materiais subutilizados contrasta com a possível utilização dos laboratórios virtuais, através do equipamento computacional oferecido na escola, onde o professor e o aluno têm disponível um catálogo diverso de possibilidades e recursos, muitos deles não acessíveis mesmo em um laboratório físico de uma escola

(Moreira, 2017).

Assim como a problemática abordada anteriormente, outras também ficam evidentes quando analisamos o ensino de Física no Ensino Médio, como a diminuição da carga horária disponibilizada para a disciplina, que acarreta na apresentação da disciplina de Física em parcelas e força o professor a deixar de fora das aulas ministradas, conteúdos que são importantes e, muitas vezes, a abordagem dos conteúdos tem que ser feita de maneira superficial, o que gera uma sensação nos alunos de que a Física é uma área da matemática, já que os conceitos são trabalhados superficialmente e a parte matemática fica em evidência (Pires; Veit, 2006).

2.1.2 Conceitos e Potencialidades da IAG

A ascensão de ferramentas de IAG como o Gemini e o ChatGPT, marca uma transição pedagógica onde a capacidade de processar, criar e manipular grandes volumes de dados se torna acessível a estudantes e professores. Essas tecnologias funcionam como Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), capazes de produzir conteúdo contextualizado e interativo, ultrapassando as funções de mera busca de informação (Albuquerque; Dorés, 2023).

É nesse contexto de inovação que a IAG oferece seus maiores benefícios ao ensino de Física, fornecendo aos educadores e alunos ferramentas robustas que atuam na personalização e na experimentação virtual (Araújo et al, 2025).

O ensino de Física pode se beneficiar da integração da IA na maneira que inserimos ao contexto educacional a instrução e avaliação mediada pela IA, que se caracteriza pela tutoria da ferramenta, que se adapta às dificuldades individuais dos alunos percebidas por ela. A partir disso, a ferramenta passa a fornecer instruções personalizadas ao educando, podendo avaliar a evolução daquele aluno a partir de suas dificuldades (Araujo; Veit, 2004).

No campo da experimentação, a simulação gerada pela IAG é um diferencial. A capacidade que a simulação gera de adequar variáveis e observar suas consequências em tempo real são muito benéficas, concede ao aluno maior autonomia e um papel ativo na construção do conhecimento, diferente da forma passiva em que os alunos são submetidos a partir das práticas expositivas (Ferreira; Pereira; Sousa, 2019). Segundo Ferreira, Pereira e Sousa (2019, p. 30), “a vantagem da simulação é que ela cria uma ambientação realística onde é apresentado ao aluno um problema para que ele tome decisões e execute ações.”

2.1.3 A IAG no Ensino de Física e na Termodinâmica

A IAG apresenta um vasto potencial para auxiliar tanto professores quanto alunos no contexto da disciplina. Para os professores, destaca o apoio na elaboração de materiais didáticos (personalizados e contextualizados), na produção de conteúdo (resumos e explicações simplificadas) e na automação de tarefas administrativas, como planejamento de aulas. Para os alunos, a IAG pode atuar como tutor personalizado, respondendo a dúvidas, fornecendo explicações detalhadas e adaptando conteúdos ao nível de conhecimento do estudante (Maia et al., 2024). Apesar das potencialidades, o uso da IAG levanta desafios significativos. O artigo “A Inteligência Artificial Generativa no Ensino de Física: potencialidades, desafios e implicações pedagógicas.” aponta riscos de uso inadequado, como a dependência excessiva, a aceitação de informações incorretas e a imprecisão das respostas (Maia et al., 2024).

Os desafios da precisão são evidenciados por testes específicos na área de Termodinâmica. No ano de 2024, o ChatGPT-3.5, ChatGPT-4, Google Gemini e Microsoft Copilot foram testados por Suhonen (2024) via 4 questões de Física do curso de engenharia física. O primeiro desafio colocado às IAGs foi o de determinar o gráfico da temperatura para um sistema termodinâmico fechado. Embora as equações retornadas pelas ferramentas fossem matematicamente corretas e pudessem convencer um leigo, as respostas se mostraram imprecisas na modelagem do fenômeno. Adicionalmente, apenas o ChatGPT conseguiu apresentar o gráfico solicitado (Carvalho, 2024). O segundo desafio pedia a descrição das forças atuantes em um carro em movimento constante. As respostas foram corretas, embora apresentassem erros pontuais em relação ao atrito, e apenas o ChatGPT-4 produziu um diagrama. Houve maior sucesso das ferramentas quando a tarefa foi invertida: ao mostrar um diagrama para interpretação, a maioria dos chatbots se saiu bem (Carvalho, 2024).

Apesar dos erros pontuais, os resultados de Carvalho (2024) indicam o potencial da IA. O ChatGPT-4 demonstrou um desempenho muito satisfatório na terceira questão, que consistia na análise de uma imagem contendo a resolução de um cálculo de termodinâmica feito por um estudante. Além disso, no quarto desafio, ao responder 30 questões de um exame final de termodinâmica, o ChatGPT-4 acertou 21 questões, igualando-se à média dos alunos (Carvalho, 2024).

Esses estudos reforçam que a IAG oferece novas possibilidades didáticas. A utilização dessa ferramenta deve ocorrer de forma planejada e crítica, com o professor atuando como mediador do processo. Segundo Carvalho (2024), o uso pedagógico da IAG precisa estar alinhado a objetivos educativos claros, priorizando a formação do pensamento crítico dos estudantes e considerando aspectos éticos, como a confiabilidade das informações e a autoria do conteúdo gerado.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA LRN

2.2.1 Formulação Conceitual e Aplicações da LRN

A Termologia, ramo da Física que estuda fenômenos relacionados ao calor e à temperatura, fornece a base para a compreensão da LRN. Esta lei, formulada no século XVII por Isaac Newton, descreve a taxa na qual a temperatura de um corpo diminui ou aumenta. Conceitualmente, a LRN postula que a taxa de perda ou ganho de calor de um corpo é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre este corpo e o ambiente circundante (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

A relevância da LRN reside em sua vasta aplicação em fenômenos cotidianos e científicos, sendo um dos modelos mais básicos e úteis para a transferência de calor por convecção em situações práticas. Sua aplicação se estende desde a determinação do tempo de resfriamento de alimentos e bebidas até a análise forense, onde pode ser usada para estimar o tempo de morte de um corpo com base em sua temperatura (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Entretanto, é fundamental reconhecer que a LRN constitui uma aproximação do fenômeno real da troca de calor, sendo válida apenas sob certas condições controladas. Entre as limitações mais significativas, destaca-se a necessidade de que o resfriamento ocorra principalmente por convecção forçada e que a diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente não seja excessivamente grande. A variação de fatores externos, como a movimentação do ar ou a alteração das propriedades do material durante o processo, pode comprometer a precisão do modelo (Engelhardt et al., 2021).

2.2.2 A Modelagem Matemática da LRN

A LRN possui sua essência no formalismo matemático, sendo definida inicialmente como uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) de primeira ordem. Esta formulação matemática estabelece que a taxa de variação da temperatura (T) do

corpo em relação ao tempo (t), dT/dt , é proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente (T_a) (Boyce; Diprima, 2015).

A formulação matemática da LRN é expressa da seguinte forma:

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_a) \quad (1.0)$$

A constante de proporcionalidade, k , na LRN é o parâmetro chave que quantifica a velocidade de troca de calor entre o corpo e o ambiente, sendo sempre um valor positivo ($k > 0$) (Boyce; Diprima, 2015). A relação entre o parâmetro k e a troca de calor é direta, como por exemplo: um valor elevado de k implica que o corpo se resfria ou aquece rapidamente, enquanto um valor baixo indica um processo de troca térmica mais lento. Essa constante é fundamental para a modelagem, pois a LRN é a mesma para aquecimento e resfriamento, sendo o sinal da fração dT/dt determinado pela diferença de temperatura ($T - T_a$) (Zill; Cullen, 2001). O valor da constante k não é universal e depende das características físicas do material utilizado e das condições ambientais em que a troca de calor ocorre. Fatores como a área de superfície do objeto (quanto maior, maior k) e a natureza do material (seu calor específico) influenciam diretamente a taxa de transferência térmica. T , a temperatura do corpo, é dependente do tempo t e T_a é a temperatura ambiente (Boyce; Diprima, 2015).

Para que esse modelo seja verificado, é necessário tomar as seguintes hipóteses: (i) $T=T(t)$ dependa do tempo e seja a mesma em todos os pontos do objeto observado; (ii) a temperatura do ambiente (T_a) permaneça constante no decorrer do processo; (iii) a taxa de variação da temperatura no decorrer do tempo obedecer à condição da lei de resfriamento (Pereira; Barbosa, 2018).

Por se tratar de uma equação diferencial ordinária de primeira ordem de variáveis separáveis, a Equação (1.0) será resolvida pelo método da separação de variáveis. Dessa forma, a Equação (1.0) é reescrita como:

$$\frac{dT}{T - T_a} = -k dt \quad (1.1)$$

Demonstração da LRN:

Integrando ambos os lados da Equação (1.1) com relação ao tempo, tem-se:

$$\int \frac{dT}{T - T_a} = \int -k dt \quad (1.2)$$

Resolvendo a integral, ficamos com:

$$\ln|T - T_a| = -kt + A \quad (1.3)$$

Tomando a exponencial em ambos os lados da expressão, obtém-se:

$$T - T_a = e^{-kt} e^A \quad (1.4)$$

Sabendo que e^A é constante, chegamos à solução geral do modelo matemático onde C é uma constante real:

$$T(t) = Ce^{-kt} + T_a \quad (1.5)$$

Na ocasião onde a temperatura inicial T_0 é conhecida, essa constante C é obtida considerando $T_0 = T_a + C \Rightarrow C = T_0 - T_a$. Com isso, a solução analítica para a Equação (1.5) será:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt} \quad (1.6)$$

2.2.3 O Gráfico Exponencial e a Justificativa da Simulação

A seguir, um exemplo real de como é aplicada a LRN e em seguida, como o gráfico se comporta. O exemplo e a resolução foram retirados do livro “Equações Diferenciais” de Dennis G. Zill e Michael R. Cullen.

Exemplo:

Quando um bolo é retirado do forno, sua temperatura é de 300°F. Três minutos depois, sua temperatura passa para 200°F. Quanto tempo levará para sua temperatura chegar a 70 graus, se a temperatura do meio ambiente em que ele foi colocado for de exatamente 70°F? (Zill; Cullen, 2001, p.107).

Solução:

Aplicando a Equação (1.0) ao problema do resfriamento de um bolo, onde a temperatura ambiente (T_a) é de 70°F. A temperatura inicial do bolo é $T_{(0)} = 300^\circ\text{F}$, e após três minutos ($t=3$), a temperatura cai para $T_{(3)} = 200^\circ\text{F}$. O objetivo é determinar o tempo (t) necessário para que o bolo atinja a temperatura de 70°F.

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - 70)$$

$$\frac{dT}{dt} = k(70 - T)$$

$$\frac{dT}{70 - T} = k(dt),$$

Realizando a integração em ambos os membros da equação,

$$\int \frac{dT}{(70 - T)} = \int k dt,$$

$$\ln|70 - T| = kt + c,$$

Ao aplicar a exponencial a ambos os lados,

$$e^{\ln(70-T)} = e^{kt+c}$$

$$e^{kt+c} = 70 - T$$

$$T = 70 - e^{kt} \cdot e^c$$

$$T = 70 - ce^{kt}, \quad (2.0)$$

Definindo $e^c = c$, o valor da constante c da equação (2.0) é determinado utilizando a condição inicial de que $t = 0$ e $T = 300^\circ\text{F}$.

$$300 = 70 - ce^{k(0)}$$

$$300 - 70 = -c \cdot (1)$$

$$230 = -c \cdot (1)$$

$$c = -230,$$

Substituindo o valor encontrado de c na equação (2.0), tem-se:

$$T = 70 + 230e^{kt}, \quad (2.1)$$

Em seguida, utilizamos o dado fornecido pelo problema, $t(3) = 200^\circ\text{F}$, substituindo-o na Equação (2.1):

$$200 = 70 + 230e^{(3)k}$$

$$200 - 70 = 230e^{(3)k}$$

$$130 = 230e^{(3)k}$$

$$\frac{130}{230} = e^{3k}$$

A resolução desta equação exponencial resulta em:

$$\ln \frac{13}{23} = \ln e^{3k}$$

$$-0,570544859 = 3k$$

$$-\frac{0,570544859}{3} = k$$

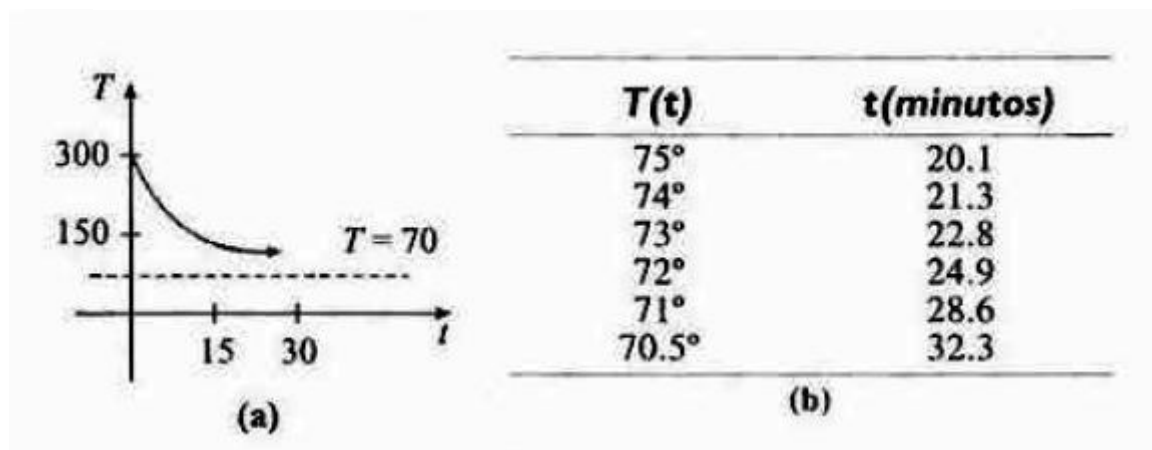
$$k = -0,190181619$$

Consequentemente, a função que representa a temperatura (T) do bolo em função do tempo (t) é:

$$T = 70 + 230e^{-0,190181619t} \quad (2.2)$$

A determinação do tempo exato para que o bolo atinja a temperatura ambiente de 70°F não possui solução finita, visto que, matematicamente, a curva exponencial da LRN aproxima-se assintoticamente de T_a . Contudo, na prática, o processo é considerado completo em tempo razoável. A Figura (1) evidencia, portanto, que o bolo estará praticamente em equilíbrio térmico, aproximadamente nos 70°F, em cerca de trinta minutos. A seguir, a figura 1a que representa a equação (2.2) encontrada para o resfriamento do bolo:

Figura 1: Temperatura do bolo em relação ao tempo.



Fonte: Zill; Cullen, 2001, p. 108

A compreensão da LRN é profundamente facilitada por sua representação gráfica. O gráfico da LRN não é linear, mas sim uma curva exponencial decrescente, onde a temperatura $T(t)$ se aproxima da temperatura ambiente T_a de forma assintótica ao longo do tempo. Essa representação visual é crucial, pois permite aos alunos a compreensão qualitativa de que a taxa de resfriamento é maior no início do processo e diminui gradualmente à medida que a diferença de temperatura diminui (Zill; Cullen, 2001).

A análise do gráfico é essencial para a interpretação do fenômeno físico, pois o comportamento da curva é influenciado diretamente pela constante de resfriamento k , que é intrínseca ao material e ao ambiente (Lourenço; Oliveira, 2022). Uma curva mais íngreme indica um valor de k alto e um resfriamento rápido, enquanto uma curva mais suave indica um valor de k baixo e um resfriamento mais lento. A visualização simultânea dessas variações para diferentes materiais é complexa de se obter em laboratórios escolares tradicionais, pois exige coleta precisa e tratamento de dados em tempo real (Lourenço; Oliveira, 2022).

Portanto, a complexidade da modelagem da LRN, a dificuldade em gerar e analisar o gráfico exponencial com precisão em sala de aula, e a necessidade de ajustar o parâmetro k para diferentes materiais justificam o uso de ferramentas avançadas de simulação. O uso da IAG permite a plotagem imediata e a manipulação dos parâmetros da função exponencial, transformando o conceito abstrato em um recurso visual e exploratório, o que é o ponto principal deste trabalho (Lourenço; Oliveira, 2022).

2.2.4 Elementos que compõem a LRN

Quanto a natureza da constante k , de acordo com Silva (2010), ela é expressa pela razão, $k = \alpha S/mc$ onde,

α é o coeficiente de troca de calor e depende da forma, tamanho do corpo e do contato entre o corpo e o meio que o rodeia, pois, podemos verificar que quanto maior for a superfície de contato entre o corpo e o meio externo (ambiente) maior será a rapidez de resfriamento [...], S representa a área do corpo, m a sua massa e c o calor específico do material do corpo, sabe-se que quanto maior o valor do calor específico do material do corpo, uma maior quantidade de energia será necessária para variar a sua temperatura. (Silva., 2010, p.49-50).

Vamos fazer uma pequena modificação na equação correspondente a constante k . O objetivo dessa mudança é alterar o parâmetro da massa (m) para o parâmetro densidade (ρ) do material utilizado, para que assim, possamos utilizar os valores fornecidos pela literatura. Já que a equação da densidade é definida como sendo $\rho = m/V$ (Halliday; Resnick; Walker, 2016), pode-se modificar a equação $k = \alpha S/mc$ para que ela fique da seguinte forma: $k = \alpha S/\rho cV$.

Para o coeficiente de troca de calor α , agora será utilizado h , sem alterar a sua representatividade. Esta mudança se deve apenas ao fato de que é com essa letra que o coeficiente é representado na literatura.

No contexto da transferência térmica, o coeficiente de transferência de calor por convecção (h) é considerado a variável de maior relevância para determinar a quantidade de calor trocada entre um fluido e uma superfície, conforme estabelece a LRN (Silva et al., 2019). Segundo Silva et al. (2019):

O coeficiente h é uma função complexa de uma série de variáveis relacionadas na seguinte expressão: $h = f(D, \mu, \rho, Cp, k, \delta, V, g, \Delta T)$. onde: D é a dimensão que domina o fenômeno de convecção; μ a viscosidade dinâmica do fluido; ρ a densidade do fluido; Cp o calor específico do fluido; k a condutividade térmica do fluido; δ é o coeficiente de expansão volumétrica; V a velocidade do fluido; g a aceleração da gravidade e ΔT é a diferença de temperatura entre a superfície e o fluido. Uma equação que considera estes parâmetros seria extremamente complexa (Silva et al., 2019, p.01-02).

A determinação do coeficiente h representa um dos maiores desafios na aplicação da LRN. Em contextos de engenharia e física simplificados, o valor de h pode ser obtido por meio de soluções analíticas diretas (Holman, 2010). No entanto, quando as condições de escoamento do fluido ou a geometria do corpo se tornam complexas, a dificuldade aumenta drasticamente, tornando o cálculo analítico inviável. Nesses casos mais elaborados, a solução do coeficiente é frequentemente buscada através de análises empíricas (Holman, 2010).

A necessidade de precisão em modelos de simulação levou ao desenvolvimento de abordagens mais robustas para a determinação de h . Para situações que demandam alta fidelidade, como as encontradas em projetos industriais, a alternativa mais viável é o uso de métodos numéricos avançados (Gomes, 2015). Estes métodos, que utilizam a computação para resolver equações complexas de transferência de calor e dinâmica dos fluidos, permitem uma estimativa precisa do coeficiente de convecção em cenários onde as soluções experimentais seriam dispendiosas ou demoradas (Gomes, 2015).

Como se pode observar, a determinação do coeficiente (h) é notoriamente complexa devido às inúmeras variáveis envolvidas, o que impossibilita a criação de tabelas universais para seu cálculo. A relevância de determinar o coeficiente convectivo com uma faixa de precisão adequada é fundamental para delimitar as

necessidades térmicas em qualquer estudo ou aplicação, sendo crucial para a validação de modelos como o da LRN (Miranda, 2010). Tendo seus valores médios representados na figura a seguir:

Figura 2: Valores médios do Coeficiente de convecção "h"

PROCESSO		h [W / m ² .K]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação	5.000 - 100.000

Fonte: Boabaid, 2010, p. 8

A convecção é o modo de transferência de energia térmica que se manifesta pela ação combinada da condução, do armazenamento de energia e da mistura de massas (Silva et al., 2019). De acordo com Silva et al (2019), essa convecção possui dois tipos:

Convecção Natural: O fluxo do fluido é gerado internamente, ou seja, é induzido pela própria transferência de calor. Um gradiente de temperatura dentro do fluido acarreta no transporte de energia de forma natural.

Convecção Forçada: O movimento do fluido é provocado e mantido por um agente externo como refrigeradores, climatizadores, ventiladores, sopradores e ar-condicionado. A energia mecânica externa imposta ao sistema aumenta significativamente a taxa de transferência de calor.

2.3 IMPLICAÇÕES PEDAGÓGICAS E A SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)

A transformação do conteúdo científico em conhecimento escolarizado, especialmente com o surgimento de ferramentas tecnológicas como a IA, exige uma mudança na prática pedagógica. É necessário que a tecnologia seja integrada através de metodologias que garantam a participação ativa e o pensamento crítico do aluno (Corrêa, 2020).

A SD surge como uma metodologia de ensino fundamental para guiar o professor na implementação de atividades complexas e investigativas, como as que envolvem a IAG. A SD é definida como um conjunto planejado de atividades de ensino, organizadas de forma sistemática e hierárquica, com o objetivo de facilitar a apropriação de um conceito específico pelo estudante (Zabala, 1998). O uso da SD é particularmente relevante no Ensino de Física por proporcionar uma estrutura que permite ao aluno transitar da problematização inicial até a conceituação final, garantindo que a modelagem matemática e a simulação não sejam o ponto final, mas ferramentas para a construção do conhecimento (Fiasca, 2021). A estruturação da SD garante que o professor tenha um roteiro para introduzir a LRN, aplicar a IAG, analisar os dados gerados e, finalmente, promover a discussão e o fechamento conceitual.

A modelagem matemática, central para a LRN, é uma competência essencial reforçada pela BNCC para as Ciências da Natureza. A BNCC exige que o estudante desenvolva a capacidade de investigar, analisar e representar fenômenos por meio de modelos, o que válida a proposta de utilizar a IA para gerar as curvas exponenciais de resfriamento. O uso da simulação por IA atende diretamente às competências gerais da BNCC relacionadas à Cultura Digital (Brasil, 2018).

Com a IA assumindo tarefas de simulação e plotagem de gráficos, o papel do professor evolui de mero transmissor de conteúdo para o de mediador do conhecimento. Essa nova função é vital para garantir que a IA não seja usada de forma passiva, o que poderia levar à dependência ou à aceitação de informações incorretas (Morán, 2015).

A mediação crítica exige que o docente promova o diálogo acerca dos resultados da IA (Júnior et al, 2023). No estudo da LRN, isso significa guiar o aluno a questionar por que os gráficos de diferentes materiais são distintos. Essa abordagem investigativa, alicerçada pela SD, transforma a tecnologia em um recurso que aprimora o pensamento crítico, consolidando o conhecimento físico de forma significativa (Albuquerque; Abreu; Lima, 2024).

3 METODOLOGIA

O presente estudo adota uma abordagem de pesquisa qualitativa, que envolve o relato de experiência a partir da utilização de *prompts* e aplicação dos mesmos nas IAGs selecionadas, focada na investigação das potencialidades de ferramentas de IAG no contexto do ensino de Física. A metodologia é organizada em duas fases principais: Simulação Comparativa e Desenvolvimento da SD.

Esta fase da pesquisa é de caráter experimental e tem como objetivo principal a geração dos modelos e gráficos da LRN utilizando as IAG. Para isso, foram estabelecidas condições que visam a comparação direta entre as plataformas de IAG ChatGPT e Gemini.

3.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO E CONDIÇÕES DE CONTORNO

O objeto de estudo é a LRN, cuja solução é descrita pela função exponencial $T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt}$. A comparação do modelo de IA exige a delimitação das condições:

- **Temperatura Ambiente (T_a):** Será fixada em um valor constante de 25°C durante todas as simulações, eliminando a flutuação dessa variável.
- **Temperatura Inicial (T_0):** Será estabelecida em um valor único de 100°C para todos os testes, e todos os materiais (Aço, Cobre e Alumínio) utilizados. Servindo como ponto de partida uniforme para a análise da taxa de resfriamento.
- **Constante do Material (k):** A constante de resfriamento (k) é o parâmetro chave variável desta pesquisa, pois está diretamente ligada às propriedades térmicas do material e é o foco da modelagem. Serão utilizados três valores de k para materiais distintos (Aço, Cobre e Alumínio).

Dessa forma, será estabelecido o valor fixo de $h = 30 \text{ W/m}^2\text{K}$ que se enquadra como uma convecção forçada, visto que será utilizado um ambiente controlado com a ação de um agente externo de resfriamento qualquer como parâmetro.

Para os valores S (área do corpo) e o valor V (volume do corpo) tem-se os parâmetros definidos como sendo uma amostra em forma de cubo de lado $L = 1 \text{ cm}$, como um cubo possui 6 faces obtém-se $S = 1 \text{ cm}^2 \times 6 = 6 \text{ cm}^2$, portanto $S/V = 6 \text{ cm}^{-1}$. Para facilitar os cálculos transforma-se o valor da razão S/V encontrado para a unidade m^{-1} , dessa forma, tem-se o novo valor de 600 m^{-1} .

Por fim, na tabela a seguir, pode ser observado os dados tabelados dos

materiais: Aço, Cobre e Alumínio. Os quais possuem os outros valores para se calcular a constante (k), como a densidade (ρ) do material e o calor específico (c), dados esses que foram retirados do livro Fundamentos de Física: Volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica dos autores Halliday, Resnick e Walker:

Tabela 1: Densidade, calor específico e constante k dos materiais

Material	ρ (kg/m ³)	c (J/kg·K)	k (s ⁻¹)
Aço (genérico)	7850	490	0.00468
Cobre	8930	386	0.00522
Alumínio	2700	902	0.00739

Fonte: Próprio autor (2025)

3.2 SELEÇÃO E JUSTIFICATIVA DAS FERRAMENTAS DE IAG

As ferramentas de IAG selecionadas para este estudo são Modelos de Linguagem de Grande Escala que oferecem a capacidade de processar texto, gerar respostas, realizar simulações básicas e, crucialmente, plotar gráficos a partir de dados fornecidos ou gerados (Salvino, 2024). A escolha foi restrita ao ChatGPT e ao Gemini por três motivos principais:

- 1. Acessibilidade e Usabilidade:** Ambas as plataformas são amplamente acessíveis em suas versões gratuitas e possuem interfaces intuitivas. Essas características são essenciais para a recepção e o uso prático em um ambiente escolar, o foco final deste trabalho.
- 2. Capacidade Técnica para Modelagem e Plotagem:** Tanto o ChatGPT, desenvolvido com técnicas avançadas de aprendizado de máquina e ajustes finos para tarefas específicas (Salvino, 2024), quanto o Gemini demonstram a capacidade de modelar e gerar gráficos precisos a partir de problemas de Física.
- 3. Popularidade e Relevância de Utilização:** A seleção também se baseia na popularidade e posição de liderança do ChatGPT e do Gemini no mercado global de IA. Essas ferramentas estão entre os modelos de linguagem mais utilizados no mundo, dominando o segmento de IAG. Testar a precisão dessas IAGs populares

garante que o produto educacional tenha relevância e aplicabilidade imediata, analisando ferramentas que já fazem parte do cotidiano tecnológico dos estudantes (Rosa, 2025).

3.3 EXECUÇÃO DO *PROMPT* E COLETA DE DADOS

Esta etapa detalha o procedimento de execução dos *prompts* nas IAGs, sendo os mesmos, frutos da experiência na aplicação e nas respostas fornecidas pelas IAGs escolhidas para serem utilizadas neste trabalho. O objetivo foi garantir o caráter comparativo da pesquisa e documentar a coleta dos dados fornecidos pelas ferramentas ChatGPT e Gemini.

3.3.1 *Prompt* Único

Para garantir que as diferenças nos resultados foram atribuídas ao desempenho próprio de cada IAG e não a variações na entrada de dados, foi utilizado um *prompt* (comando de texto) idêntico e padronizado no ChatGPT e no Gemini. O *prompt* foi formulado com clareza, especificando o contexto físico e a exigência da plotagem do gráfico. O comando direcionou a IA a modelar a LRN para um corpo que resfria a partir da Temperatura Inicial (T_0) de 100°C em um ambiente com Temperatura Ambiente (T_a) fixa de 25°C, como foi estabelecido no tópico 3.1.1.

O *prompt* exigiu que a IAG gerasse as três equações exponenciais $T(t)$ resultantes, com seus respectivos valores de k , que representam os materiais Aço, Cobre e Alumínio, conforme estabelecido na Tabela 1. Além da modelagem matemática, a IAG teve a dupla tarefa de plotagem de gráfico: gerou um gráfico da curva característica para cada material individualmente e depois, plotou um único gráfico que continha a sobreposição das três curvas de resfriamento.

Por fim, o comando exigiu que a IAG gere um código em Python, o qual será implementado em um ambiente externo (como o Google Colab), com o objetivo de permitir ao usuário alterar interativamente os parâmetros no gráfico gerado.

A estrutura base dos comandos inseridos nas IAGs foi:

- 1) **Para gerar as equações específicas de cada material:** “Essa é a equação da Lei do Resfriamento de Newton: $T(t) = T_a + (T_0 - T_a) e^{(-kt)}$. Quero que o valor da temperatura ambiente seja fixado em 25°C e a temperatura inicial seja fixado em 100°C. Para os valores da constante

k, será trabalhado 3 materiais (aço, cobre e alumínio) que possuem constantes k diferentes (para o aço: 0.00468 s^{-1} . Para o cobre: 0.00522 s^{-1} . E para o alumínio: 0.00739 s^{-1}). O que eu quero que você execute é: substituir os parâmetros na equação fornecida acima.”

- 2) **Para gerar os gráficos:** “Quero que plote o gráfico individual de cada material e um gráfico de sobreposição e coloque nesse chat como uma imagem que representa a curva característica das equações encontradas.”
- 3) **Para a função interativa:** “Quero que crie o código em python para que eu utilize a ferramenta Google Colab para plotar o gráfico. Quero que o código contenha apenas 1 gráfico da LRN, mas que eu possa alterar os valores de T_a e T_0 em um slider. E quero que a escolha do valor da constante k seja a partir da digitação do valor e não pelo slider.”

3.3.2 Coleta e Registro de Dados

O processo de coleta de dados será feito imediatamente após a execução do *prompt* em ambas as plataformas (ChatGPT e Gemini). A finalidade é assegurar que todas as saídas geradas pelas IAGs sejam integralmente documentadas, formando o conjunto de dados para fins de comparação entre ambas plataformas.

O registro dos dados engloba todas as formas de retorno fornecidas pelas IAGs. Serão coletadas as respostas textuais, que incluem as equações matemáticas geradas para a LRN e o uso correto do coeficiente de resfriamento fornecido. Paralelamente, serão capturadas as visualizações gráficas, compreendendo as imagens de todos os gráficos plotados (gráficos individuais e gráfico único de sobreposição comparativa). Essa documentação visual é essencial para a análise da fidelidade da curva, da clareza das legendas e da funcionalidade interativa.

3.4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esta etapa final da metodologia consiste na criação e estruturação de uma proposta de SD, que servirá como produto educacional central deste trabalho. A SD visa traduzir os resultados obtidos das IAGs em uma proposta pedagógica concreta, focada no estudo investigativo da LRN. A SD foi dividida em 6 aulas, cada uma com 50 minutos, sendo elas direcionadas ao público do Ensino Médio.

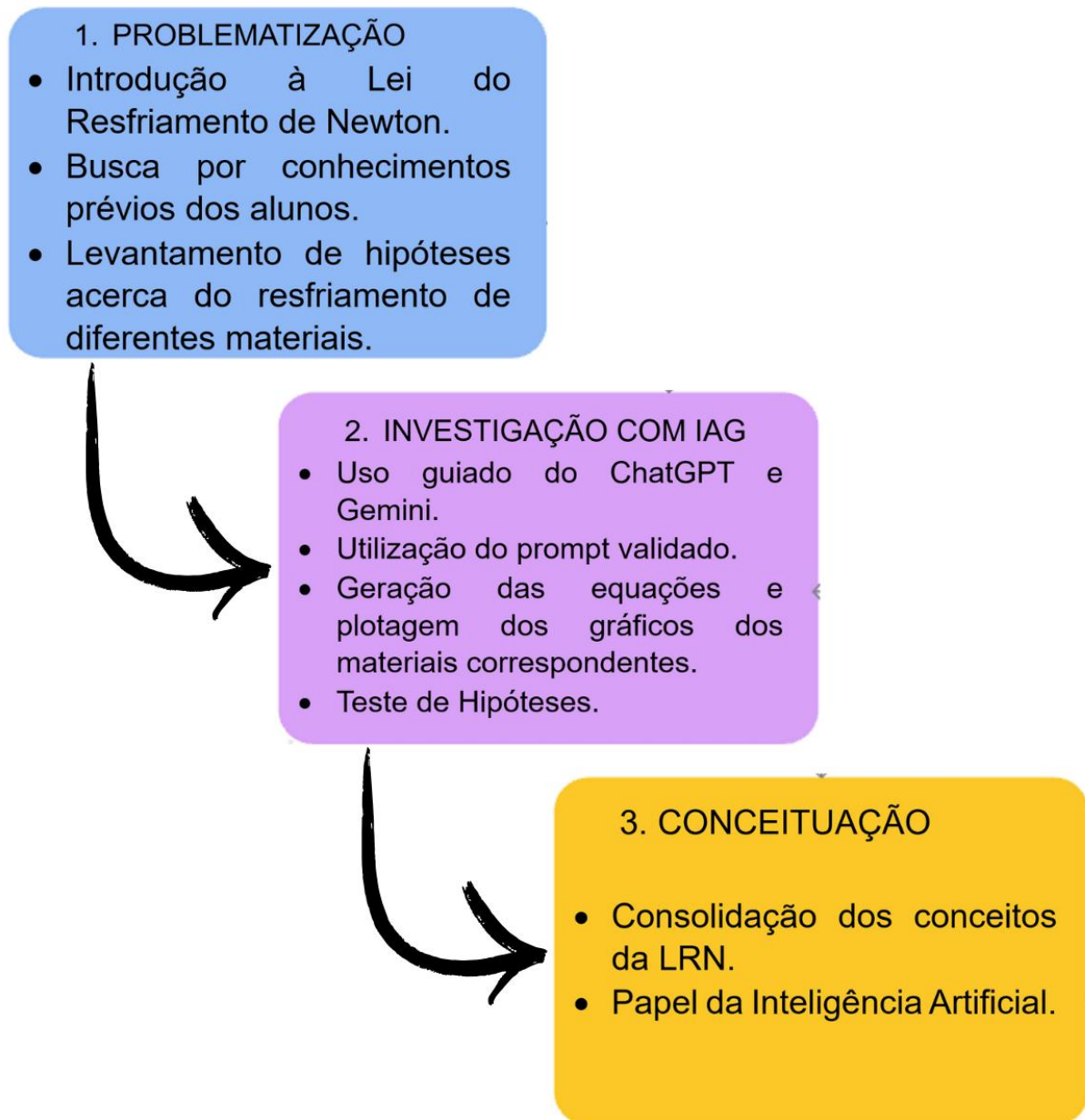
3.4.1 Estrutura e Fundamentação Pedagógica

A SD proposta neste trabalho visa não apenas apresentar o conteúdo da LRN, mas promover a interação dos alunos com as ferramentas de IAG. Sua estrutura é baseada no Ensino por Investigação, uma metodologia ativa que coloca o aluno no centro do processo de construção do conhecimento, incentivando a modelagem e a formulação de hipóteses (Zabala, 1998). O alinhamento curricular será feito diretamente com a BNCC, com ênfase nas competências da área de Ciências da Natureza que envolvem a modelagem e representação de fenômenos físicos, a análise de dados gerados por tecnologias digitais e o uso crítico de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs).

A SD será organizada em três momentos pedagógicos, conduzindo o estudante da observação do fenômeno à análise crítica da simulação computacional. A primeira fase, de Problematização, introduzirá o fenômeno do resfriamento ou aquecimento, e buscará o conhecimento prévio dos alunos, preparando o terreno para a modelagem matemática. A etapa seguinte, de Investigação com IAG, envolverá os alunos no uso guiado do Gemini e/ou ChatGPT, utilizando os *prompts* elaborados na pesquisa para a modelagem ativa da LRN, gerando as equações e os gráficos comparativos dos três materiais (Aço, Cobre e Alumínio) e explorando a funcionalidade de variação dos parâmetros.

Por fim, a fase de Conceituação consolidará os conceitos da LRN a partir do uso de um questionário avaliativo. A seguir, observa-se as fases da SD a partir de um fluxograma:

Figura 3: Fases da Sequência Didática



Fonte: Próprio autor (2025)

3.4.2 Utilização da IAG de Forma Otimizada

O propósito da SD, além da demonstração do conteúdo de Física, passa também pela formação de um aluno crítico e no uso eficiente das ferramentas tecnológicas. A SD garantirá a utilização otimizada das IAGs. As atividades serão estrategicamente designadas à IAG que demonstrou a melhor performance e precisão na modelagem da LRN. Esta abordagem assegura que o recurso pedagógico utilize a ferramenta mais robusta para a simulação, elevando a qualidade e a confiabilidade

dos dados analisados em sala de aula.

O uso da IA não será visto como uma fonte de respostas prontas, mas sim como um instrumento de simulação cujos resultados devem ser ativamente avaliados e questionados pelo estudante. Este processo fomenta a capacidade de análise crítica dos alunos. Assim, a SD cumpre seu papel de alinhamento com a BNCC, capacitando o aluno para o uso responsável e crítico das tecnologias digitais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados da simulação comparativa entre as IAGs, conforme o protocolo metodológico estabelecido no Capítulo 3. A análise se concentra na precisão da modelagem matemática e na fidelidade da representação gráfica da LRN, utilizando os valores de k fornecidos para os materiais Aço, Cobre e Alumínio. Fundamentada na utilidade dessas ferramentas, foi elaborada uma SD, cujo objetivo é auxiliar o professor na aplicação das IAGs como recurso de modelagem e análise de dados em sala de aula para alunos do Ensino Médio.

4.1 MODELAGEM MATEMÁTICA DA LRN PELO CHATGPT E GEMINI

Nesta seção, foram utilizados os *prompts* estabelecidos no tópico 3.3.1 para ambas ferramentas ChatGPT e Gemini, respectivamente. A seguir, os resultados obtidos.

➤ Resultados Obtidos a Partir da Ferramenta ChatGPT

Após enviar a mensagem com o *prompt* 1 (Para gerar as equações específicas de cada material) estabelecido, as informações fornecidas pelo ChatGPT são as contidas nas imagens 4 e 5:

Figura 4: Definição de parâmetros e constantes de resfriamento (k) para Aço, Cobre e Alumínio gerados pela IAG

Claro! Vamos substituir os parâmetros na equação da Lei do Resfriamento de Newton para cada material, usando:

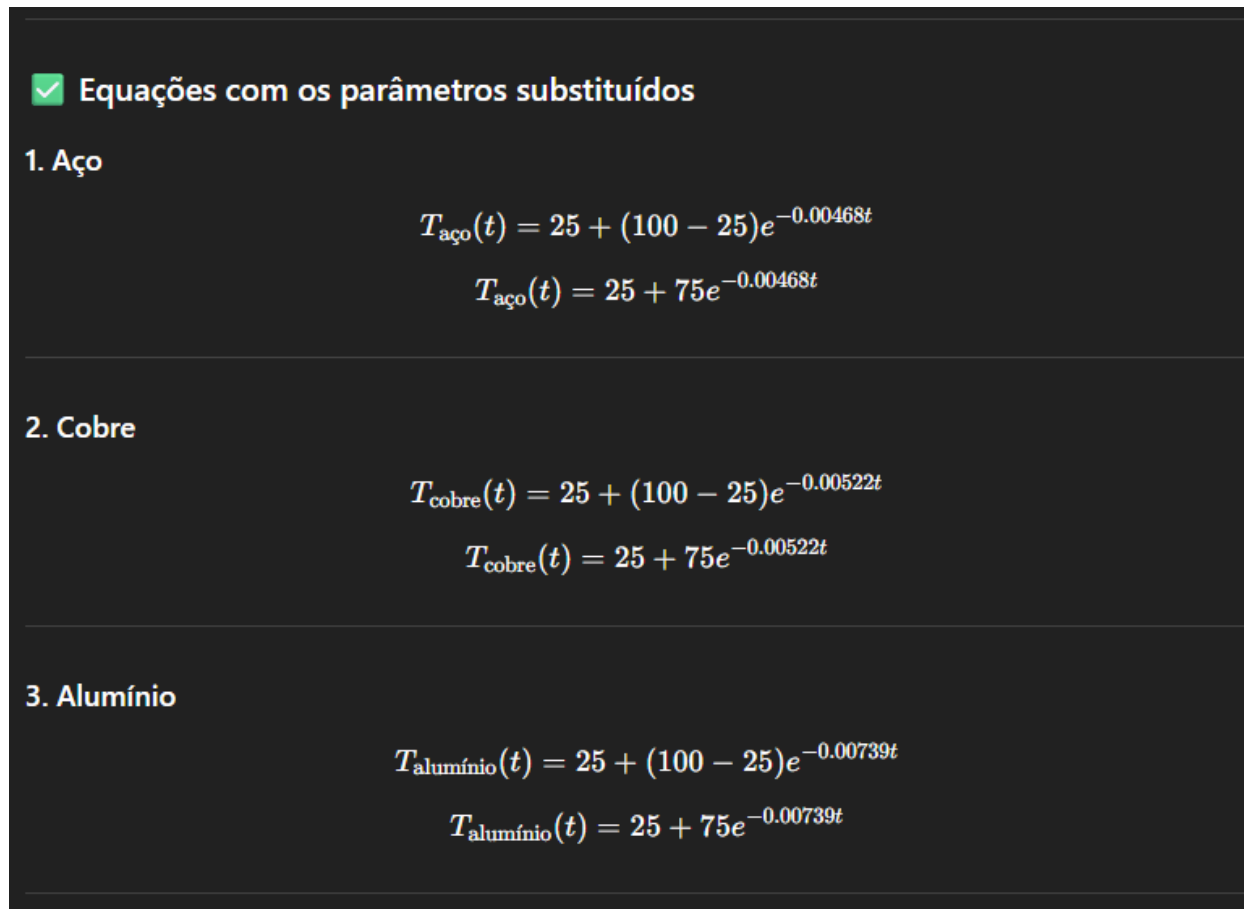
- Temperatura ambiente: $T_a = 25^\circ C$
- Temperatura inicial: $T_0 = 100^\circ C$
- Equação:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt}$$

- Constantes k :
 - Aço: $k = 0.00468 s^{-1}$
 - Cobre: $k = 0.00522 s^{-1}$
 - Alumínio: $k = 0.00739 s^{-1}$

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 5: Equações da LRN com parâmetros substituídos para Aço, Cobre e Alumínio - ChatGPT



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

➤ Resultados Obtidos a Partir da Ferramenta Gemini

Após enviar a mensagem com o *prompt* 1 (Para gerar as equações específicas de cada material) estabelecido, as informações fornecidas pelo Gemini são as contidas nas imagens 6 e 7:

Figura 6: Simplificação da LRN a partir dos parâmetros fixos de temperatura



É um prazer ajudar! Com os parâmetros fornecidos, podemos substituir os valores na **Lei do Resfriamento de Newton** para gerar as equações específicas para cada material.

❄ Equação Base com Parâmetros Fixados

A equação da Lei do Resfriamento de Newton é:

$$T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt}$$

Com os valores fixados:

- **Temperatura Ambiente (T_a):** 25°C
- **Temperatura Inicial (T_0):** 100°C

A diferença de temperatura é:

$$T_0 - T_a = 100 - 25 = 75$$

A equação geral com as temperaturas substituídas fica:

$$T(t) = 25 + 75e^{-kt}$$

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 7: Equações exponenciais finais por material (Aço, Cobre e Alumínio)

Equações Específicas por Material

Substituindo os valores das constantes k (em s^{-1}) para cada material na equação acima, temos:

1. Aço (Steel)

Com a constante $k = 0.00468 \text{ s}^{-1}$:

$$T(t)_{\text{Aço}} = 25 + 75e^{-0.00468t}$$

2. Cobre (Copper)

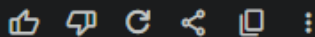
Com a constante $k = 0.00522 \text{ s}^{-1}$:

$$T(t)_{\text{Cobre}} = 25 + 75e^{-0.00522t}$$

3. Alumínio (Aluminum)

Com a constante $k = 0.00739 \text{ s}^{-1}$:

$$T(t)_{\text{Alumínio}} = 25 + 75e^{-0.00739t}$$



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

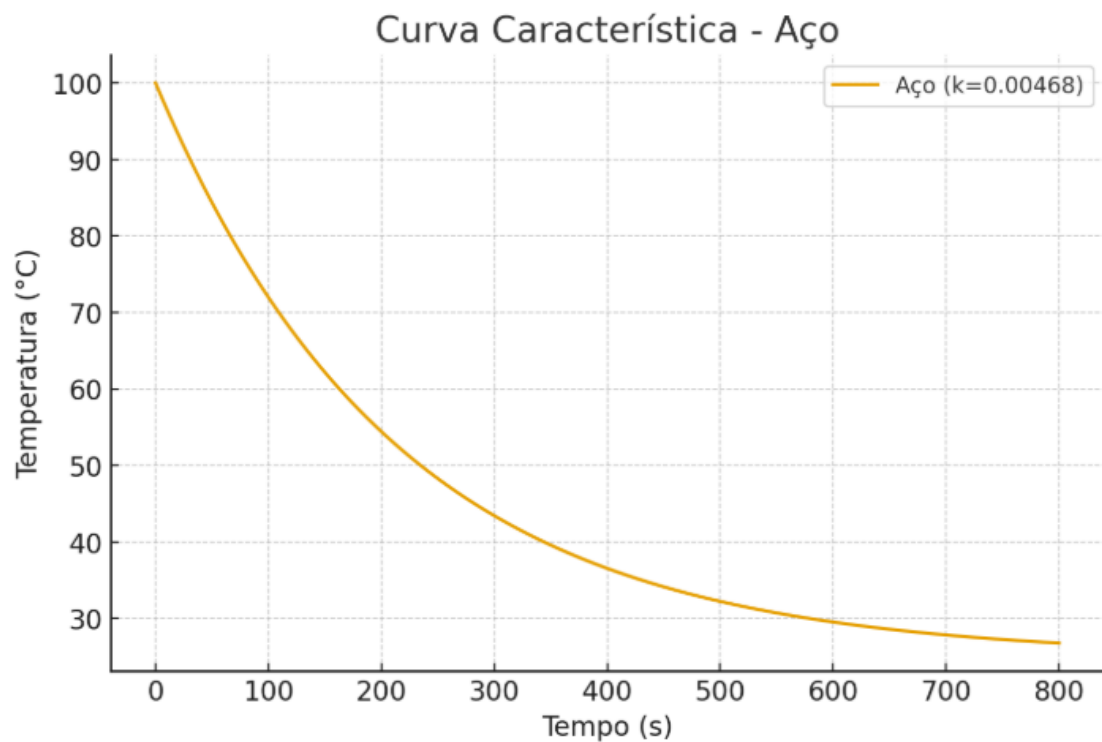
4.2 GRÁFICOS GERADOS PELAS IAGs A PARTIR DA EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA

Nesta seção, foi explorado os resultados obtidos pelas IAGs ChatGPT e Gemini, respectivamente, acerca dos gráficos gerados pelas mesmas, a partir da equação característica trabalhada no tópico anterior 4.1. Os gráficos gerados envolvem tanto os gráficos individuais, para cada material trabalhado, quanto o gráfico de sobreposição. E por fim, a avaliação da funcionalidade interativa das ferramentas a partir da mudança de parâmetros.

➤ **Gráficos Individuais e Comparativos Gerados Pelo ChatGPT**

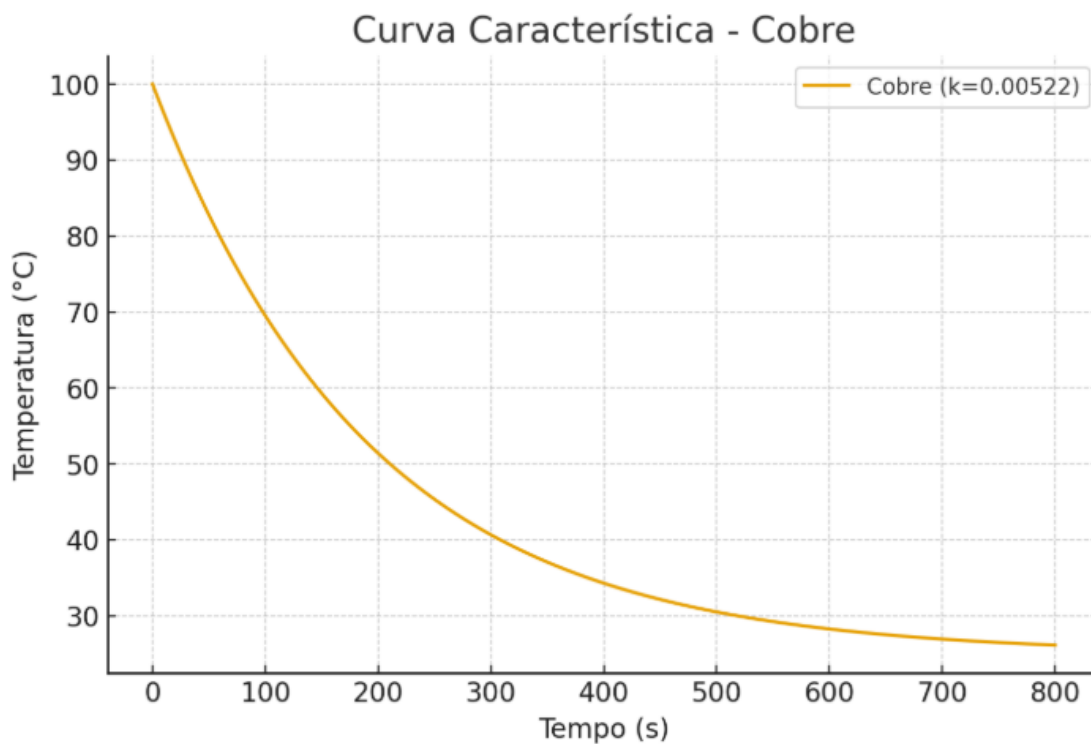
Após a aplicação do *prompt* 2 (Para gerar os gráficos) para geração dos gráficos individuais e comparativos entre os materiais na ferramenta ChatGPT, mantendo a mesma conversa, foram obtidos os seguintes resultados contidos nas imagens 8, 9, 10 e 11:

Figura 8: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Aço - ChatGPT



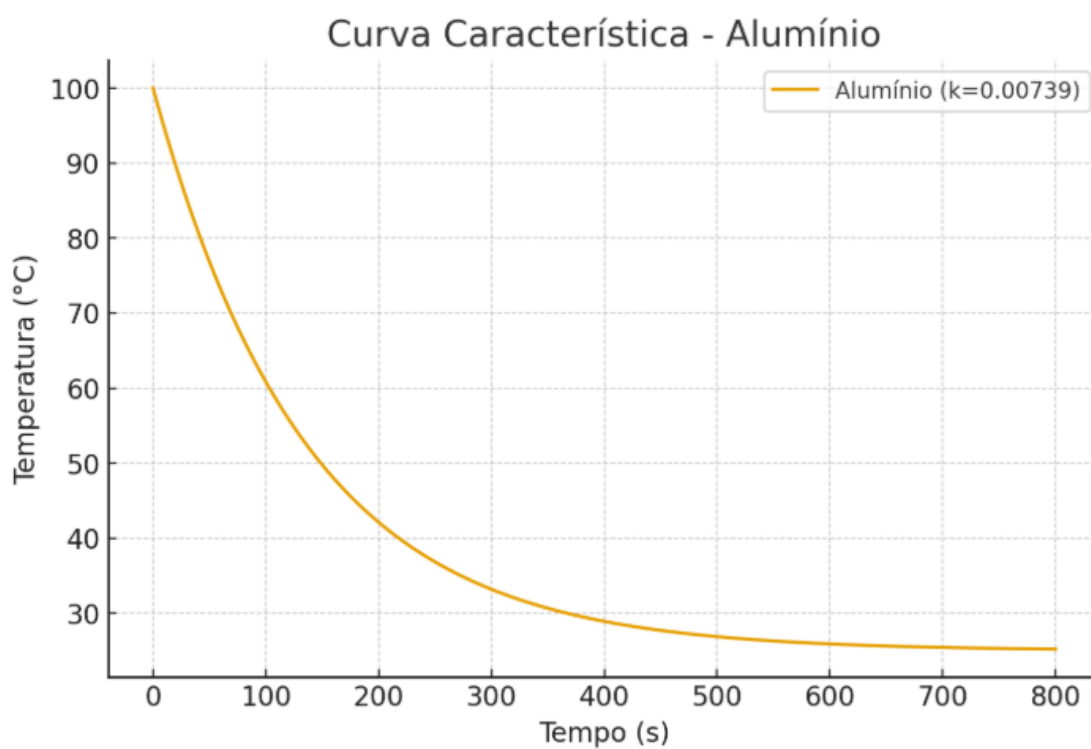
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 9: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Cobre - ChatGPT



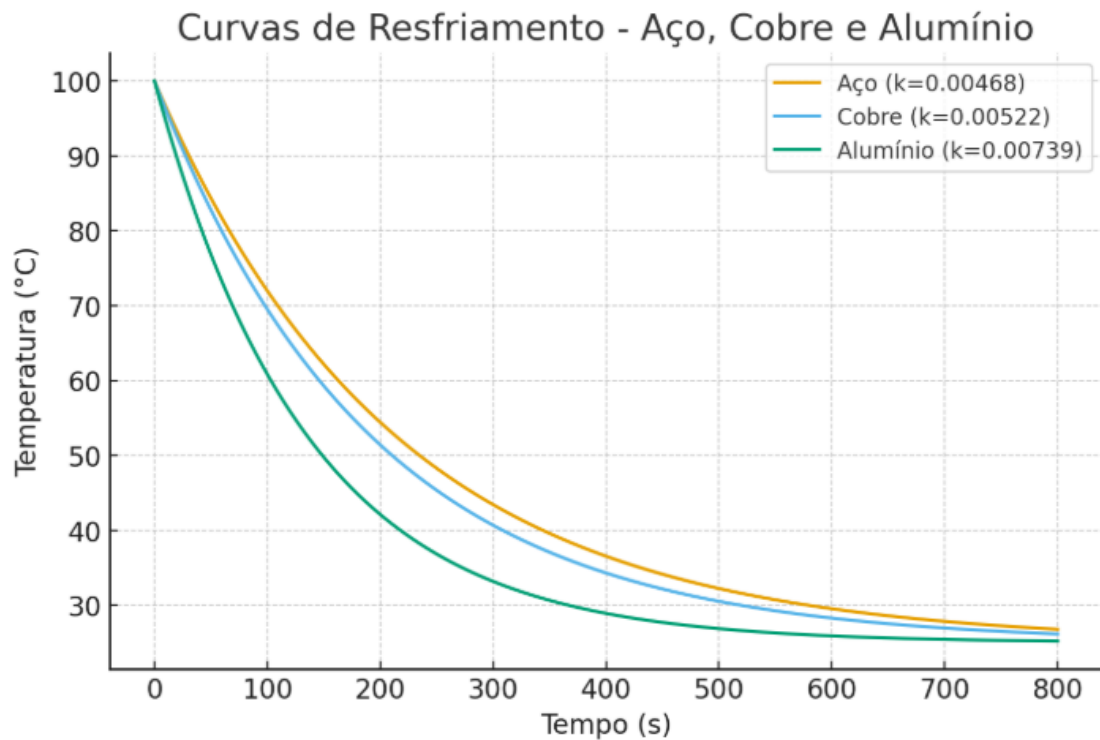
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 10: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Alumínio - ChatGPT



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 11: Gráfico comparativo das curvas de resfriamento para Aço, Cobre e Alumínio - ChatGPT

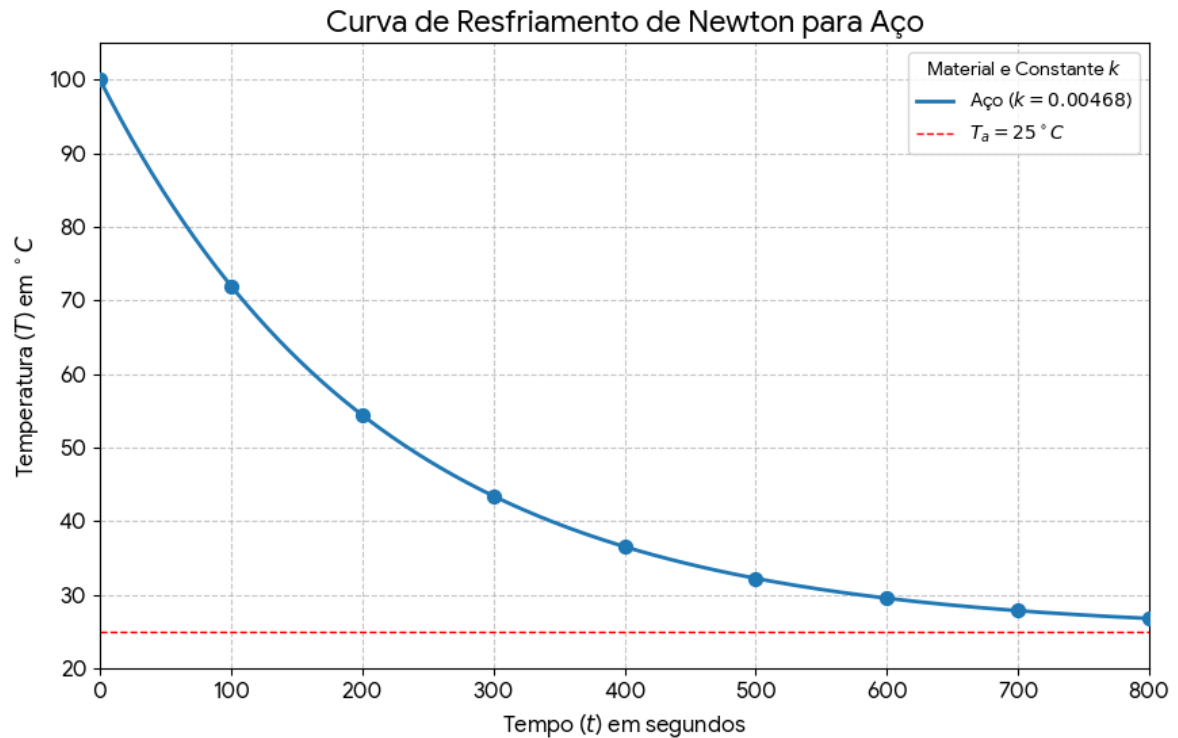


Fonte: Dados da pesquisa (2025)

➤ Gráficos Individuais e Comparativos Gerados Pelo Gemini

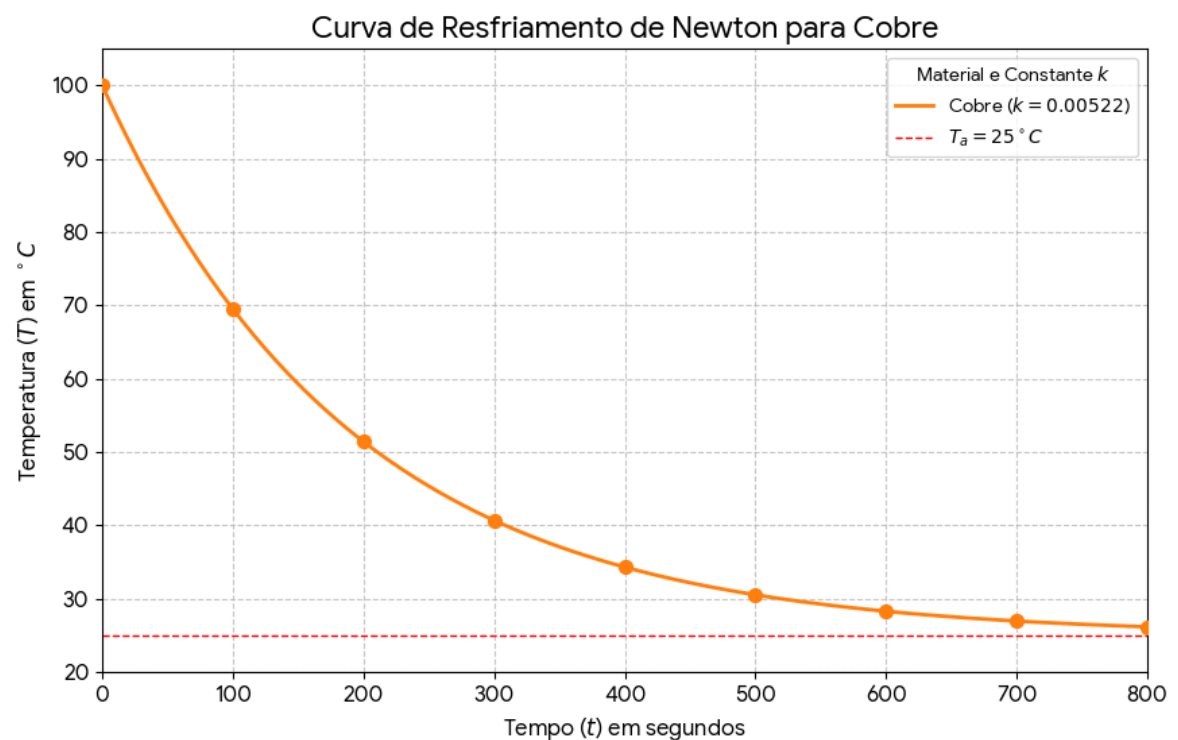
Após a aplicação do *prompt* 2 (Para gerar os gráficos) para geração dos gráficos individuais, contidos nas figuras 12, 13 e 14, e comparativos, contido na figura 15, entre os materiais na ferramenta Gemini, mantendo a mesma conversa, foram obtidos os seguintes resultados:

Figura 12: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Aço - Gemini



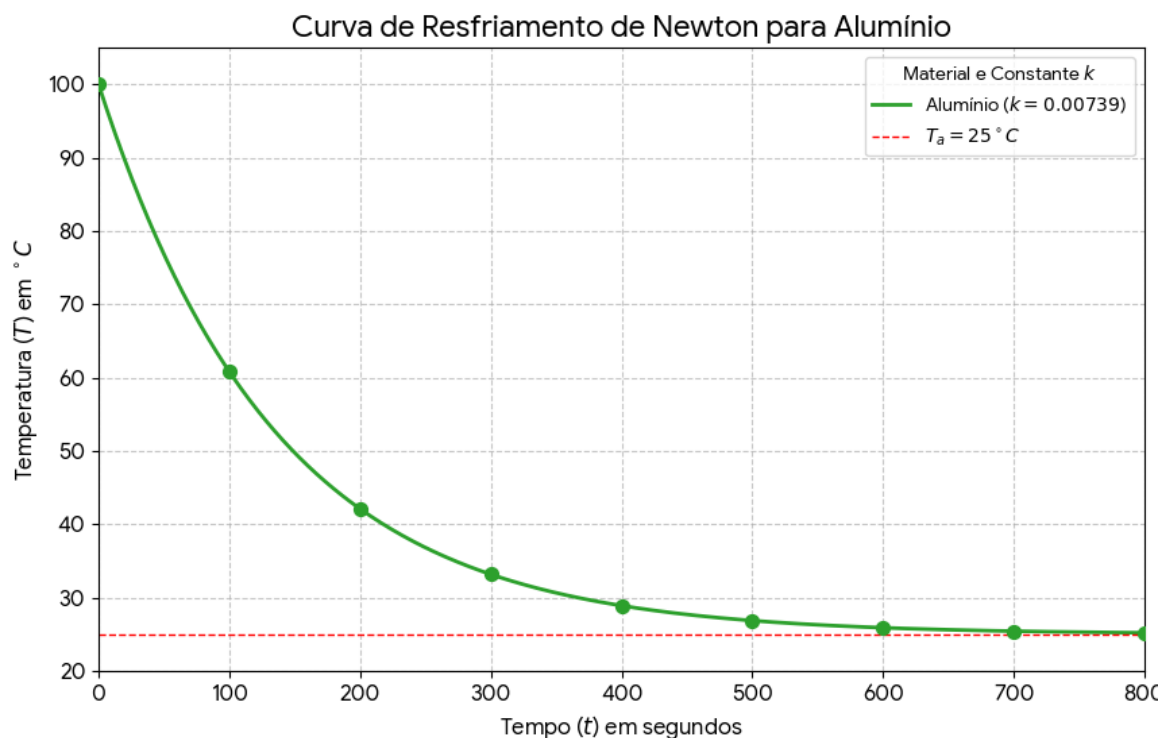
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 13: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Cobre - Gemini



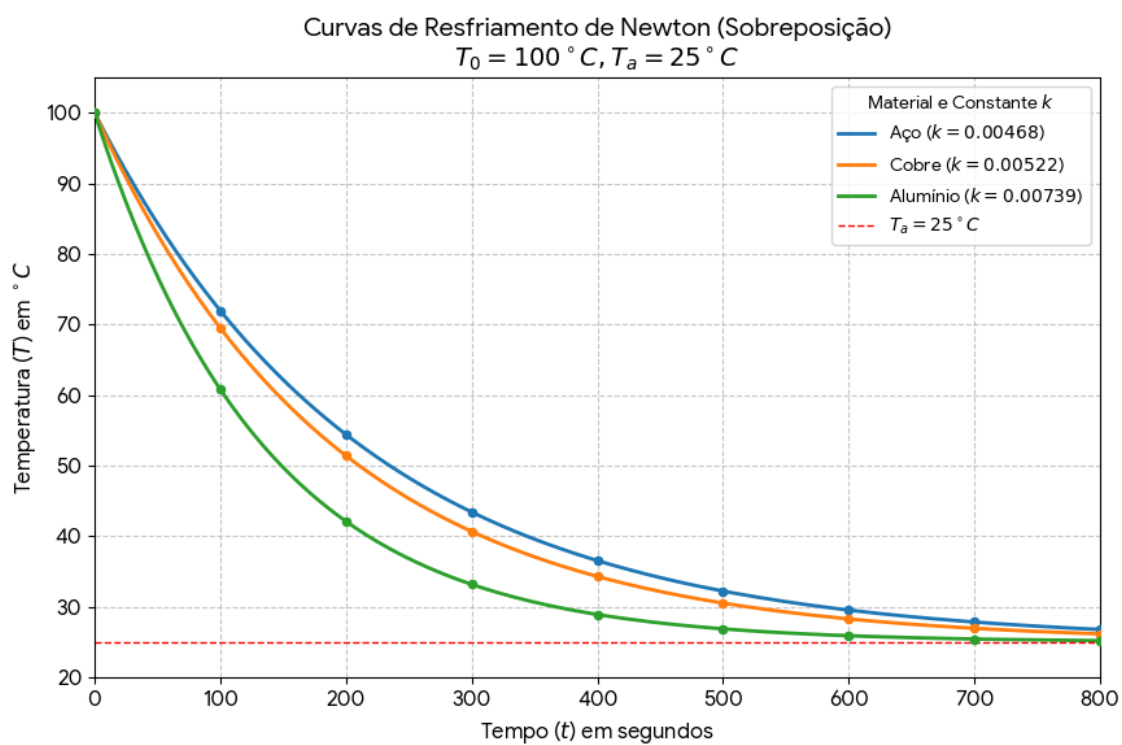
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 14: Representação gráfica da curva de resfriamento característica do Alumínio - Gemini



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Figura 15: Gráfico comparativo das curvas de resfriamento para Aço, Cobre e Alumínio - Gemini



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

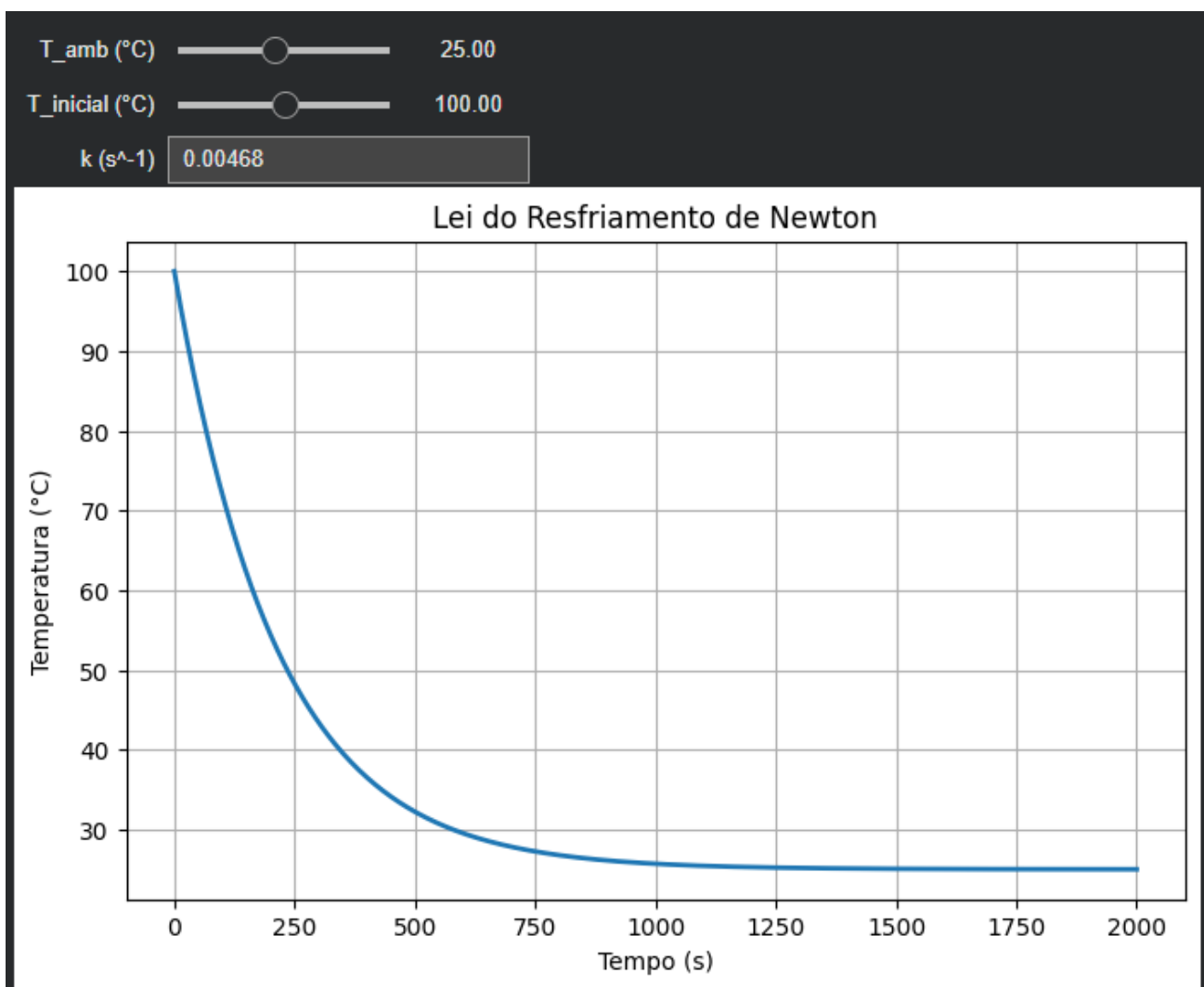
4.2.1 Funcionalidade Interativa

➤ ChatGPT

Ao inserir o *prompt* 3 (Para a função interativa), contendo a possibilidade na mudança de parâmetro da temperatura ambiente (T_a), temperatura inicial (T_0) e a constante do material (k), a ferramenta ChatGPT respondeu com a escrita do código necessário para executar essas funções na linguagem python, sendo necessário que o usuário apenas copie e cole o código na plataforma de compilação online “Google Colab”.

O gráfico interativo gerado a partir do código fornecido pela plataforma ChatGPT e compilado pelo Google Colab pode ser visto na figura 16:

Figura 16: Interface do gráfico interativo para manipulação de variáveis da LRN - ChatGPT



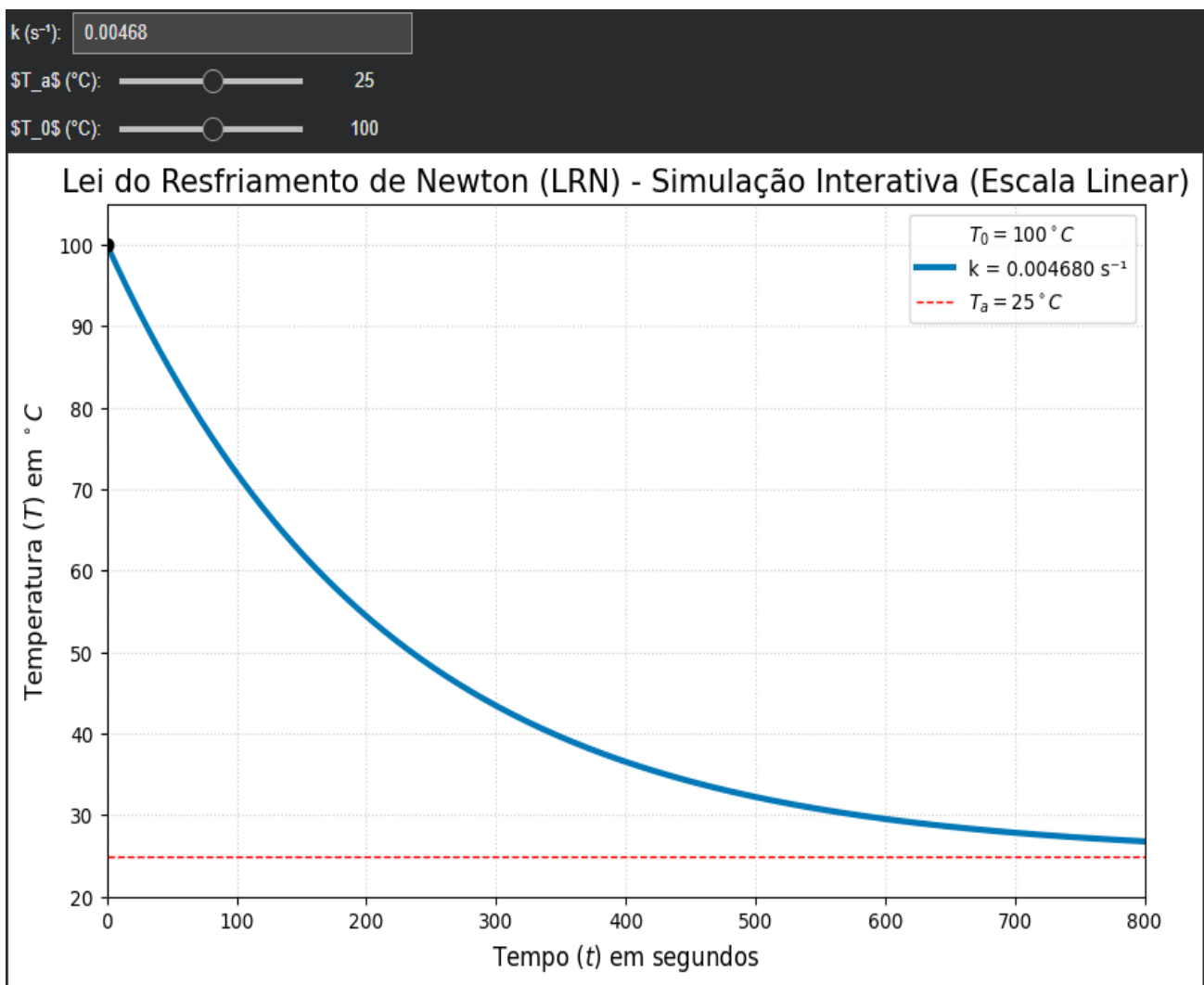
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

➤ Gemini

Ao inserir o *prompt* 3 (Para a função interativa), contendo a possibilidade na mudança de parâmetro da temperatura ambiente (T_a), temperatura inicial (T_0) e a constante do material (k), a ferramenta Gemini respondeu com a escrita do código necessário para executar essas funções na linguagem python, sendo necessário que o usuário apenas copie e cole o código na plataforma de compilação online “Google Colab”.

O gráfico interativo gerado a partir do código fornecido pela plataforma Gemini e compilado pelo Google Colab pode ser visto na figura 17:

Figura 17: Interface do gráfico interativo para manipulação de variáveis da LRN - Gemini



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

O código completo na linguagem Python da função interativa gerado pelas ferramentas ChatGPT e Gemini encontram-se detalhados no **Apêndice A**.

4.3 DISCUSSÃO CRÍTICA E COMPARAÇÃO DE PERFORMANCE

A simulação comparativa entre ChatGPT e Gemini revelou que ambas as IAGs possuem competência para modelagem matemática de fenômenos exponenciais, mas apresentaram diferenças na representação gráfica e na experiência de usuário, o que são fatores determinantes.

4.3.1 Precisão na Modelagem Matemática

No que tange à precisão da modelagem matemática, ambas as ferramentas demonstraram um bom desempenho. As equações da LRN geradas pelo ChatGPT e pelo Gemini estavam em total conformidade com a solução analítica esperada: $T(t) = 25 + 75e^{-kt}$. Ambas as IAGs incorporaram corretamente os valores de T_a (25°C) e T_0 (100°C), e utilizaram de maneira precisa os coeficientes de resfriamento (k) fornecidos para os materiais Aço, Cobre e Alumínio. Este resultado comprova a precisão de ambas ferramentas em tarefas que necessitam incorporar dados para a expressão matemática.

4.3.2 Fidelidade Gráfica e Representação Visual

A análise da representação visual revelou divergências entre ambas ferramentas, tendo o Gemini se saído com superioridade por conta dos seguintes fatores:

- **Gráficos Individuais:** O ChatGPT tenha gerado bons gráficos individuais, ocorreu a falta de distinção por cores (utilizando o mesmo esquema de cores para todos). O Gemini se destacou por utilizar cores diferentes para cada material, elaborar legendas corretas e personalizadas e também estabelecer no gráfico a medida da T_a . Tornando seus gráficos individuais mais informativos.
- **Gráfico de Sobreposição:** O ChatGPT apresentou um gráfico correto, utilizando cores diferentes para cada material utilizado, diferente do que foi feito para os gráficos individuais. Já o Gemini manteve a distinção por cores estabelecida e plotou o gráfico de sobreposição correto e com informações adicionais como a medida da T_a .

4.3.3 Análise da Funcionalidade Interativa

A capacidade demonstrada pelas ferramentas de IAG de alterar parâmetros para gerar novos gráficos atesta a importância da funcionalidade interativa como um requisito essencial para o uso didático. A análise da funcionalidade interativa demonstrou que as IAGs, Gemini e ChatGPT, apresentaram resultados bem parecidos em termos de precisão e desempenho na simulação da Lei do Resfriamento de Newton. Ambos os modelos conseguiram realizar a tarefa de gerar o código necessário para a função interativa. Apesar da performance similar, foram observadas diferenças na estética e na estrutura do código:

- O código em Python gerado pelo ChatGPT foi menor em comparação com o código fornecido pelo Gemini (Pode ser verificado no **Apêndice A**).
- O Gemini e o ChatGPT seguiram corretamente o comando dado para a geração do código na linguagem Python. O Gemini se destacou pela sua apresentação visual, possui legenda e inclui uma linha clara que representa a temperatura ambiente, tornando a análise mais didática.
- Em ambos os casos, o usuário precisa apenas utilizar uma outra plataforma (Google Colab) para a plotagem dos gráficos interativos gerados em código Python.

4.3.4 Consistência e Limitações de Usuário

A análise de usabilidade apontou diferenças importantes para o contexto escolar:

- **Velocidade e Insistência:** O Gemini demonstrou ser mais rápido na execução de comandos e na geração de gráficos. O ChatGPT foi, em sua maioria, mais lento na resposta e na geração de gráficos.
- **Limitação de Uso:** O ChatGPT impôs limitações de uso temporárias após demandas complexas, o que é um fator crítico e limitador em um ambiente de sala de aula com tempo limitado. O Gemini não apresentou este problema de limitação, oferecendo maior estabilidade e disponibilidade ao longo da execução dos testes.

A comparação de performance indica que, embora ambas as IAGs sejam

matematicamente precisas, o Gemini demonstrou maior potencial gráfico e superioridade na experiência de usuário, já que possui velocidade e ausência de limites de uso. Consequentemente, a SD se beneficiará da utilização prioritária do Gemini para as tarefas de plotagem de gráficos comparativos e exploração interativa de parâmetros.

4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM OUTROS FENÔMENOS EXPONENCIAIS

A metodologia de Simulação Comparativa aplicada à LRN demonstrou ser altamente eficaz para testar as capacidades das IAGs em problemas de modelagem. Sua estrutura baseada na padronização de *prompts*, na geração de modelos matemáticos com variação de parâmetros e na análise crítica de representações gráficas interativas possui alta aplicabilidade para qualquer fenômeno físico que siga um padrão de crescimento ou decaimento exponencial.

➤ Exemplos de Modelagem com a Mesma Metodologia

Esta metodologia pode ser replicada no ensino de outros fenômenos, utilizando a IA para simular os modelos, como nos seguintes exemplos:

- **Decaimento Radioativo (Meia-Vida):** Com a fórmula $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$, a IAG seria testada na modelagem da quantidade de uma substância radioativa. A análise de precisão se concentraria em como a IA calcula ou representa o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), que é uma característica fundamental do decaimento.
- **Carga e Descarga de Capacitores:** Em circuitos elétricos, o processo de descarga segue o padrão $V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$. A IAG seria usada para plotar a tensão em função do tempo, com a variação do parâmetro τ (constante de tempo), que dita a velocidade do processo.

4.5 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A SD, conforme estabelecido no referencial teórico, constitui um conjunto planejado e articulado de atividades, com o objetivo de facilitar a apropriação de um determinado conceito pelo estudante. No contexto desta pesquisa, a SD serve como instrumento metodológico para a aplicação prática das IAGs, tornando a simulação da LRN em uma experiência investigativa e inovadora para o Ensino Médio.

No quadro 1, é apresentada a estrutura completa da SD, planejada para ser desenvolvida em seis aulas de 50 minutos. Inicialmente, será descrito como a proposta didática está alinhada às habilidades da BNCC, em seguida, sua Estrutura Geral e Objetivos. E por fim, os planos de aula referentes a SD:

Quadro 1: Habilidades da BNCC Alinhadas a SD

COMPONENTE DA SD	HABILIDADE (BNCC)	DESCRIÇÃO DO ALINHAMENTO
Hipóteses (Aula 1 e 6)	EM13CNT301: Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.	A Aula 1 é o ponto central. O aluno constrói hipóteses ("Se T_a for maior") e as testa na Aula 6, utilizando o gráfico interativo. Formulando explicações e comunicando as conclusões após a análise dos dados
Modelagem da LRN (Aulas 1, 2, 3, 4, 5 e 6)	EM13CNT101: Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.	Esta habilidade é atendida quando os alunos utilizam a IAG (dispositivo digital) para representar o resfriamento, elaborando as previsões com base no coeficiente k .
	EM13CNT205: Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades	O aluno interpreta as curvas de resfriamento

Análise de Gráficos e k (Aulas 1, 2, 3, 4, 5 e 6)	experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.	geradas pela IAG e os valores da constante k para realizar previsões e conclusões sobre o comportamento físico dos materiais (Aço, Cobre, Alumínio) no contexto da Termologia.
Uso da IAG (Gemini) (Aulas 2, 3, 4, 5 e 6)	Competência Geral 5: Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.	A utilização do <i>Prompt</i> Único e da própria IAG exige que o aluno utilize a tecnologia digital de forma crítica, não apenas como uma calculadora, mas como uma ferramenta de produção de conhecimento.

Fonte: Próprio Autor (2025)

No quadro 2 a seguir, é exposto a estrutura geral e os objetivos da SD, contendo o foco principal de cada aula, junto de seu objetivo geral e o recurso chave sugerido para utilização na execução das aulas.

Quadro 2: Estrutura Geral e Objetivos

AULA	FOCO PRINCIPAL	OBJETIVO GERAL DA AULA	RECURSOS CHAVE
1	Sondagem, Revisão Teórica e Hipóteses.	Mapear conhecimentos prévios, contextualizar a LRN e promover hipóteses junto dos alunos.	Questionário Diagnóstico.
2, 3, 4	Modelagem Individualizada.	Aplicar o <i>Prompt</i> Único na IAG para gerar a modelagem da LRN e o gráfico para cada material (Aço, Cobre, Alumínio).	IAG (Gemini) e Computadores/Celulares.
5	Análise Crítica e Avaliação.	Comparar os gráficos e equações dos 3 materiais, discutir o impacto da constante k e aplicar o questionário avaliativo.	Gráfico de Sobreposição e Questionário Avaliativo.
6	Análise Investigativa e Interativa.	Explorar os gráficos interativos compilados no Google Colab, verificar as hipóteses estabelecidas na Aula 1 pelos alunos através da manipulação de parâmetros (T_a , T_0 e k) em tempo real.	Plataforma Gemini e Plataforma Google Colab.

Fonte: Próprio Autor (2025)

A SD inicia-se com uma etapa de sondagem e fundamentação na Aula 1, onde o foco recai sobre o mapeamento dos conhecimentos prévios dos estudantes e a introdução conceitual da LRN. A fase de experimentação virtual ocorre entre as Aulas 2 e 4, sendo dedicada à formalização matemática da LRN e à aplicação do "*Prompt Único*". Nestas sessões, o estudo avança progressivamente pela modelagem do Aço, do Cobre e do Alumínio.

As aulas finais, 5 e 6, concentram-se na síntese e na investigação dinâmica. A Aula 5 promove uma análise crítica por meio do gráfico de sobreposição dos três materiais e a aplicação de um Questionário Avaliativo para medir o nível de compreensão dos estudantes. Por fim, a Aula 6 explora o potencial de simulação em tempo real, permitindo que os alunos manipulem variáveis como a temperatura ambiente (T_a), a temperatura inicial (T_0) e a constante de resfriamento (k), confirmando ou refutando as hipóteses levantadas no início da sequência.

Em todas as aulas descritas nesta SD, foi utilizada exclusivamente a ferramenta Gemini para a realização das simulações, análises gráficas e interações pedagógicas.

➤ AULA 1

Esta aula tem como foco a sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes, a introdução conceitual da LRN e a criação de hipóteses pelos alunos, estabelecendo as bases para a modelagem com IA nas aulas seguintes.

TÍTULO:	Aula Introdutória e Aplicação do Questionário de Conhecimentos Prévios
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Termologia Básica, Conceitos de Calor e Temperatura, Modos de Transferência de Calor (Condução, Convecção, Radiação).
OBJETIVOS:	Mapear o conhecimento inicial dos alunos; Revisar conceitos de Transferência de Calor, enfatizando a Convecção; Apresentar a LRN em nível conceitual; Promover a criação de Hipóteses.
RECURSOS:	Questionário Diagnóstico, Projetor, Quadro.
Desenvolvimento das Atividades	
	A aula deve ser iniciada com um debate rápido para diferenciar

1. Introdução (10 minutos)	calor e temperatura, seguido pela revisão dos modos de transferência de calor. O professor pode utilizar um diagrama projetado para diferenciar Condução, Radiação e Convecção, enfatizando a última como sendo o mecanismo central da LRN.
2. Desenvolvimento da LRN e Criação de Hipóteses (25 minutos)	O professor introduzirá a LRN de forma intuitiva, focando no princípio da proporcionalidade (taxa de resfriamento é proporcional a ΔT). A discussão será guiada para justificar a necessidade de modelagem com IAG para visualizar o comportamento exponencial do resfriamento. O professor divide a turma em grupos e lança um desafio: Criar e registrar três hipóteses sobre o que aconteceria com a curva de resfriamento de qualquer um dos materiais se alterado os parâmetros. Por exemplo: • Hipótese 1: Se a T_a aumentar de 25°C para 40°C. • Hipótese 2: Se a constante k for duplicada (simulando um ventilador muito forte). • Hipótese 3: Se a T_0 fosse 50°C em vez de 100°C.
3. Aplicação do Questionário Diagnóstico (15 minutos)	Aplicação individual do Questionário Diagnóstico (Apêndice B - Questionário Acerca dos Conhecimentos Prévios). Os alunos terão 15 minutos para responder. O professor recolhe as respostas para análise posterior, mapeando o conhecimento inicial dos alunos sobre Termologia, gráficos e fatores de resfriamento.

➤ AULA 2

Esta aula é dedicada à formalização matemática da LRN e ao primeiro experimento virtual, utilizando o *Prompt* Único para modelar o resfriamento do Aço.

TÍTULO:	Aula de Modelagem do Material Aço
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Equação da LRN; Conceito da Constante k ; Metodologia do

	<i>Prompt</i> Único; Simulação pela IAG (Gemini).
OBJETIVOS:	Formalizar a equação exponencial da LRN; Apresentar a metodologia do <i>Prompt</i> Único; Simular o resfriamento do Aço e coletar os dados fornecidos.
RECURSOS:	IAG (Gemini), Computador, Projetor, Quadro.
Desenvolvimento das Atividades	
1. Introdução (15 minutos)	O professor inicia a aula introduzindo a solução da equação diferencial da LRN: $T(t) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-kt}$. Será feita uma revisão rápida sobre o significado de cada parâmetro, com foco especial na constante k, que determina a velocidade de resfriamento. O professor explica que, como o Aço tem menor condutividade térmica em comparação com o Cobre e o Alumínio, espera-se que ele resfrie mais lentamente, resultando no menor valor de k entre os três materiais.
2. Apresentação do <i>Prompt</i> Único (15 minutos)	O professor apresenta a metodologia do <i>Prompt</i> Único, explicando que todas as instruções do experimento serão dadas em um único comando à IAG. Mas, que para aquela aula eles apenas utilizarão os dados fornecidos referentes ao material Aço.
3. Simulação e Coleta de Dados (20 minutos)	Os alunos executam o <i>Prompt</i> Único na IAG, utilizando os computadores disponibilizados pela escola. Os resultados gerados (equação da LRN e gráfico) são projetados no quadro pelo professor, que acompanha todos os processos junto dos alunos. A coleta de dados se concentra em registrar a imagem do gráfico. Nesta primeira coleta, inicia-se a análise crítica: o gráfico gerado pela IA é uma curva exponencial decrescente como a teoria prevê? O resultado é salvo para as aulas de comparação.

➤ AULA 3

Esta aula foca na simulação do segundo material, o Cobre, e na análise de como a condutividade térmica superior deste metal impacta na velocidade do resfriamento, reforçando a relação entre a teoria física e a modelagem da IA.

TÍTULO:	Aula de Modelagem do Material Cobre
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Impacto da Condutividade Térmica na Constante k ; Análise Comparativa de Curvas de Resfriamento.
OBJETIVOS:	Simular o resfriamento do Cobre e coletar o valor de k ; Comparar a curva do Cobre com a do Aço; Consolidar a relação entre propriedades do material e a velocidade de resfriamento.
RECURSOS:	IAG (Gemini), Computador, Projetor, Quadro.
Desenvolvimento das Atividades	
1. Introdução (15 minutos)	A aula inicia com uma rápida revisão dos resultados do Aço ($k = 0.00468$). O professor então questiona a turma: Qual é a condutividade térmica do Cobre em relação ao Aço? Com base na teoria, os alunos devem prever que, por ter uma condutividade térmica maior, o Cobre perderá calor mais rapidamente. Portanto, a curva do Cobre no gráfico deve ser mais íngreme, resultando em um valor de k maior que o do Aço.
2. Execução do <i>Prompt</i> Único (15 minutos)	Utilizando a mesma metodologia e os mesmos parâmetros iniciais, o <i>Prompt</i> Único é executado na IAG (Gemini) para o material Cobre. O professor guia os alunos na observação da nova equação e do novo gráfico gerado, focando na coleta do gráfico do Cobre.
3. Análise Comparativa de Dados (20 minutos)	O professor e os alunos comparam os resultados obtidos. A análise se concentra em verificar se a previsão se confirmou: a sua curva é visivelmente mais íngreme? Os dados e o gráfico do Cobre são registrados para a sobreposição final na Aula 5.

➤ AULA 4

Esta aula completa a etapa de modelagem individual, finalizando com o Alumínio, e reforça a análise da relação entre as propriedades do material e o comportamento da curva de resfriamento gerada pela IAG.

TÍTULO:	Aula de Modelagem do Material Alumínio
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Consolidação da relação entre Condutividade Térmica e k ; Simulação de Três Curvas.
OBJETIVOS:	Simular o resfriamento do Alumínio; Consolidar o entendimento da modelagem da LRN ao comparar os três resultados obtidos.
RECURSOS:	IAG (Gemini), Computador, Projetor, Quadro.
Desenvolvimento das Atividades	
1. Introdução (15 minutos)	A aula será iniciada com a revisão dos resultados do Aço e do Cobre, estabelecendo a ordem $k_{\text{Aço}} < k_{\text{Cobre}}$. O professor deve introduzir a condutividade térmica do Alumínio, que é a maior entre os três materiais. O questionamento central é: Se o Alumínio é o melhor condutor de calor, sua constante k deve ser a maior, e sua curva deve ser a mais íngreme. Por quê? Os alunos devem prever que o Alumínio resfriará mais rapidamente que os outros dois.
2. Execução do Prompt Único (15 minutos)	Utilizando a mesma metodologia e os mesmos parâmetros iniciais, o <i>Prompt Único</i> é executado na IAG (Gemini) para o material Alumínio. O professor guia os alunos na observação da nova equação e do novo gráfico gerado, focando na coleta do gráfico do Alumínio.
3. Análise Comparativa de Dados (20 minutos)	O professor e os alunos comparam os resultados obtidos. A análise se concentra em verificar se a previsão se confirmou: a sua curva é visivelmente mais íngreme? Os dados e o gráfico do Alumínio são registrados para a sobreposição final na Aula 5.

➤ AULA 5

Esta aula tem como foco a análise crítica do gráfico de sobreposição gerado pela IA e a aplicação do Questionário Avaliativo, medindo a compreensão dos alunos sobre a modelagem da LRN.

TÍTULO:	Aula de Comparação dos 3 Materiais e Aplicação do Questionário Avaliativo
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Análise do Gráfico de Sobreposição; Relação da constante de resfriamento vs Condutividade; Interpretação da Assíntota; Avaliação.
OBJETIVOS:	Sintetizar a relação entre a constante k e as propriedades do material; Aplicar o Questionário Avaliativo.
RECURSOS:	Gráfico de Sobreposição final (Aço, Cobre, Alumínio) projetado; Questionário Avaliativo, Computador, Projetor, Quadro.
Desenvolvimento das Atividades	
1. Introdução (15 minutos)	O professor inicia projetando o gráfico que sobrepõe as três curvas (Aço, Cobre e Alumínio) geradas pela IA. O foco da discussão é a inclinação das curvas e o valor da constante k (maior para o Alumínio, menor para o Aço). Os alunos devem confirmar, pela visualização, a ordem de resfriamento e sua relação com a condutividade térmica. O professor também aborda o significado físico da assíntota, explicando que o equilíbrio térmico é o limite para o qual as três curvas convergem, independentemente do material.
2. Debate Crítico sobre o Gráfico de Sobreposição (15 minutos)	Os alunos devem confirmar, pela visualização, a ordem de resfriamento e sua relação com a condutividade térmica. O professor também aborda o significado físico da assíntota, explicando que o equilíbrio térmico é o limite para o qual as três curvas convergem, independentemente do material.
3. Aplicação do	A aula é finalizada com a aplicação individual do Questionário

Questionário Avaliativo (20 minutos)	Avaliativo (Apêndice C - Questionário Avaliativo). Este questionário mede a compreensão dos alunos sobre a modelagem da LRN e o significado da constante k . O professor recolhe as respostas para análise dos resultados.
---	--

➤ AULA 6

Esta aula utiliza o potencial de simulação em tempo real da ferramenta Gemini para que os alunos manipulem variáveis do modelo da LRN (como T_a , T_0 e k) e observem o impacto imediato no comportamento do resfriamento.

TÍTULO:	Aula de Análise Investigativa com Gráfico Interativo na ferramenta Gemini
DURAÇÃO:	50 minutos
CONTEÚDO:	Funcionalidades de gráficos interativos da IAG; Teste de Hipóteses; Impacto da variação de T_a , T_0 e k na curva exponencial.
OBJETIVOS:	Explorar a funcionalidade de gráficos interativos do Gemini; Promover o teste de hipóteses dos alunos através da manipulação de parâmetros; Consolidar o entendimento da modelagem da LRN.
RECURSOS:	Plataforma Gemini, Plataforma Google Colab, Computador, Projetor.
Desenvolvimento das Atividades	
1. Revisão de Parâmetros (05 minutos)	A aula inicia com uma breve revisão dos parâmetros críticos da LRN: a Temperatura Ambiente (T_a), Temperatura Inicial (T_0) e a Constante k .
2. Teste de Hipóteses com o Gemini Interativo (30 minutos)	O professor solicita aos alunos que utilizem o <i>prompt</i> estabelecido no tópico <i>Prompt Único</i> ou que utilizem os códigos em Python disponibilizados no Apêndice A, para que os alunos possam testar cada uma das hipóteses registradas na Aula 1. O foco é na comparação: A curva gerada pela IA correspondeu à previsão do grupo? Por quê?

3. Síntese e Pensamento Crítico (15 minutos)	A aula é finalizada com uma discussão sobre os resultados dinâmicos. O professor reforça que a IAG não apenas fornece a resposta, mas permite a experimentação virtual em tempo real, o que aprimora o raciocínio computacional e o pensamento crítico. O uso do Gemini e do Google Colab para manipular variáveis de forma instantânea consolida a compreensão da LRN, transformando o conceito matemático abstrato em um modelo maleável e visual.
---	--

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou verificar a eficácia e a precisão das ferramentas de IAG, especificamente o ChatGPT e o Gemini, na modelagem matemática e representação gráfica da LRN, com o objetivo de fundamentar o desenvolvimento de uma SD. A metodologia de Simulação Comparativa demonstrou ser altamente eficaz para testar a capacidade dessas tecnologias em lidar com a variação de parâmetros, como o coeficiente de resfriamento (k) para o Aço, Cobre e Alumínio, e permitiu alcançar todos os objetivos propostos na pesquisa.

A análise de desempenho revelou que, embora ambas as IAGs tenham demonstrado precisão na modelagem matemática, gerando corretamente a equação $T(t) = 25 + 75e^{-kt}$, elas divergiram na representação visual. O Gemini se destacou com clareza, gerando gráficos individuais e de sobreposição visualmente adequados, além de oferecer maior fluidez e ausência de restrições de uso, tornando esta, a ferramenta de uso prioritário para a SD.

Os materiais aqui desenvolvidos, em especial a SD, podem contribuir para o professor ao oferecer novos métodos e discussões que enriquecem sua prática pedagógica e promovem a modernização curricular, alinhada a BNCC, por meio de tecnologias atuais. A SD utiliza as capacidades de simulação da IAG para tornar conceitos complexos, como a influência do parâmetro k na curva assintótica de resfriamento, mais acessíveis e visuais.

A pesquisa se estabelece como um avanço direto no debate sobre a inclusão de tecnologias digitais no Ensino de Física, demonstrando a capacidade de incorporar IAGs como ambientes de simulação. A comprovação da performance das ferramentas na modelagem matemática justifica o potencial de uso dessas plataformas como laboratórios virtuais controlados. O presente trabalho busca motivar outros profissionais da educação a investigar e aplicar as funcionalidades dessas tecnologias. Ao fazer isso, reforçamos que o ambiente escolar deve evoluir de um espaço de reprodução de conteúdo para um ambiente de desenvolvimento do estudante, capacitando o mesmo com uma perspectiva ampliada, analítica e contemporânea sobre o conhecimento científico.

Contudo, este estudo apresenta como principal restrição metodológica o foco na modelagem da LRN. Para futuras investigações, sugere-se a expansão do escopo, aplicando a metodologia a outros fenômenos que envolvam funções exponenciais, como o Decaimento Radioativo ou a Curva de Carga e Descarga de Capacitores.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Jader Cristiano Magalhães de; DORES, Jorge Lucio Rodrigues das. *USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO ENSINO DE FÍSICA: POTENCIALIDADES E DESAFIOS*. Caminhos da Educação: diálogos culturas e diversidades, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 01–14, 2023. DOI: 10.26694/caedu.v5i3.4657. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/cedsd/article/view/4657>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- ALBUQUERQUE, José Gicelmo Melo; ABREU, Mirella Teresinha Corrêa de; LIMA, Ivanilton Neves de. *O impacto da Inteligência Artificial na personalização do ensino*. Revena - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem, [S. l.], v. 9, p. 182–192, 2024. Disponível em: <https://revena.emnuvens.com.br/revista/article/view/242>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- ARAÚJO, Gilmar da Silva et al. *SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA: DESAFIOS E POTENCIALIDADES*. LUMEN ET VIRTUS, [S. l.], v. 16, n. 46, p. 2795–2805, 2025. DOI: 10.56238/levv16n46-084. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/4102>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. *Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 3, p. 5, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/4069/2633>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- BATISTELLA, J.; BATISTELLA, M. A. A. *Inteligência artificial no ensino de ciências: conceitos, perspectivas e desafios*. Revista Multidisciplinar do Núcleo de Pesquisa e Extensão (RevNUPE), [S. l.], v. 5, n. 1, p. e202502v1, 2025. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/revnupe/article/view/20769>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- BENETTI, B. et al. *Escolas e seus laboratórios didáticos: estudo sobre espaços e possibilidades experimentais do ensino de física no nível médio*. Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 2013, núm. Extra, p. 1348-51. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/307176>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- BERMO. *Troca térmica: o que é e como funciona?* [S. l.], 2025. Disponível em: <https://blog.bermo.com.br/troca-termica-o-que-e-como-funcional/>. Acesso em: [20 nov. 2025].
- BOYCE, William E.; DIPRIMA, Richard C. *Equações Diferenciais Elementares e Problemas de Valores de Contorno*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 21 nov. 2025.
- CARVALHO, A. C. P. L. F. *Inteligência artificial: riscos, benefícios e uso responsável*.

Estudos Avançados, v. 35, p. 21–36, 2021. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ea/a/ZnKyrclLVqzhZbXGgXTwDtn>. Acesso em: 7 nov. 2025.

CARVALHO, Carlos Mendonça Bittencourt. *Utilização da Inteligência Artificial para o Ensino de Ciências da Natureza: uma revisão bibliográfica*. 2024. [p. 17] f. Monografia (Curso de Pós-Graduação Especialização em Ensino de Ciências da Natureza) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Colatina, Colatina, 2024.

CORRÊA, Maiara Lenine Bakalarczyk. *A Cultura Digital e as Metodologias Ativas no Ensino de Ciências na Educação Básica: haveria espaço para além da cultura do impresso?* 2020. 121 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ENGELHARDT SANTOS, Priscila Miranda et al. *MODELAGEM MATEMÁTICA NA LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON: EXPERIÊNCIA COM GARRAFAS TÉRMICAS*. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 21–39, 2021. Disponível em:
<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2378>. Acesso em: 23 nov. 2025.

FERRAZ, Allan; LINO, Alex. *Investigando o uso da inteligência artificial ChatGPT-3.5 no Ensino de Física*. Revista Brasileira de Iniciação Científica, [S. l.], p. e025004, 2025. Disponível em:
<https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/1797>. Acesso em: 23 nov. 2025.

FERREIRA, F. L. L.; PEREIRA, F. M. de O.; SOUSA, M. R. de. *A utilização de simuladores como recursos pedagógicos no ensino de ciências*. In: MELERO, A. M. G. de S. (org.). *Premissas da iniciação científica*. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

FIASCA, Angelo Bruno Andrade et al. *A Utilização de Metodologias Ativas no Ensino de Física: Uma Possibilidade para o Ensino de Relatividade Restrita na Educação Básica*. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 2, p. 367-383, 2021.

FONSECA, A. C. A. et al. *O impacto das ferramentas de inteligência artificial na personalização do ensino*. Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.], v. 17, n. 1, p. e7207, 2025. Disponível em:
<https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/7207>. Acesso em: 30 out. 2025.

GOMES, L. A. C. N. *Estudo da transferência de calor por convecção natural em dissipadores usando OpenFoam*. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2015.

GOMEZ, Marcos Paulo Correia de Carvalho et al. *Impactos das inteligências artificiais no ensino de Física: benefícios e desafios*. In: ENLIC CENTRO-OESTE – ENCONTRO DAS LICENCIATURAS DA REGIÃO CENTRO-OESTE; II SEMINÁRIO INTEGRADOR DO PIBID DA UFMT. Anais... Campina Grande: Realize Editora,

2025. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/120351>. Acesso em: 25 out. 2025.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica*. Vol. 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HOLMAN, J. P. *Heat Transfer*. 10. ed. Mc Graw Hill, 2010.

JAIME, Danay Manzo; LEONEL, André Ary. *Uso de simulações: um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 46, p. e20230309, 2024.

LOURENÇO, Edrei; OLIVEIRA, Paulo César. *Aspectos da Lei de Resfriamento de Newton abordados em uma tarefa para o Ensino Médio*. Intermaths, Vitória da Conquista, v. 3, n. 1, p. 125–138, 2022. DOI: 10.22481/intermaths.v3i1.10787. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/intermaths/article/view/10787>. Acesso em: 23 nov. 2025.

MAIA, J. R. . .; SILVA, M. C. da; SILVA, W. .; MONTEIRO, F. .; GIRARDI, D.; SOUZA, P. V. . *A Inteligência Artificial Generativa no Ensino de Física: potencialidades, desafios e implicações pedagógicas*. Com a Palavra, o Professor, [S. l.], v. 9, n. 25, p. 213–237, 2024. Disponível em: <http://revista.geem.mat.br/index.php/PPP/article/view/1082>. Acesso em: 24 nov. 2025.

MALTA, D. P. de L. N. et al. *Inteligência artificial e suas implicações na personalização do ensino: desafios e oportunidades*. Cuadernos de Educación y Desarrollo, [S. l.], v. 17, n. 1, p. e7372, 2025. DOI: 10.55905/cuadv17n1-142. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/7372>. Acesso em: 25 out. 2025.

MEDEIROS JR., R. N. de. *Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da Física: uma meta-análise*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 46, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/HHCwMGhjGmS8rcDB3qrhmbq/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

MIRANDA, E. J. P. *Aulas práticas em termofluidodinâmica no Departamento de Mecânica e Materiais do curso de Engenharia Mecânica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão*. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Maranhão, 2010.

MORÁN, José. *Mudando a educação com metodologias ativas*. Coleção Mídias Contemporâneas: convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens, v. 2, n. 1, p. 15–33, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. *GRANDES DESAFIOS PARA O ENSINO DA FÍSICA NA EDUCAÇÃO CONTEMPORÂNEA*. Revista do Professor de Física, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017. DOI: 10.26512/rpf.v1i1.7074. Disponível em:

<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>. Acesso em: 3 nov. 2025.

PEREIRA, I. M.; BARBOSA, C. M. *TEORIA E PRÁTICA NA LEI DE RESFRIAMENTO DE NEWTON*. *Ensino da Matemática em Debate*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 45–53, 2018. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emd/article/view/36689>. Acesso em: 23 nov. 2025.

PIRES, M.; VEIT, E. A. *Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio*. *Rev Bras Ens Fís.* 2006;28 (2):241-248.

RODRIGUES, L. et al. *O impacto das ferramentas de inteligência artificial na personalização do ensino*. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, [S. l.], v. 17, n. 1, p. e7207, 2025. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/7207>. Acesso em: 30 out. 2025.

ROSA, Ângela. *Inteligência Artificial no Brasil: desenvolvimento de software e IA no Brasil — entenda o cenário do mercado*. [S. l.], 26 ago. 2025. Disponível em: <https://softdesign.com.br/blog/inteligencia-artificial-no-brasil/#h-desenvolvimento-de-software-e-ia-no-brasil-entenda-o-cenario-do-mercado>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SALVINO DE LIMA NETTO, Manoel. *Analisando as Potencialidades da Inteligência Artificial na Criação de Materiais Didáticos para o Ensino de Física*. *Revista do Professor de Física*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 41–53, 2024. DOI: 10.26512/rpf.v8i2.52289. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/52289>. Acesso em: 15 nov. 2025.

SANTOS, L. S.; SILVA, C. G. *Escolas e seus laboratórios didáticos: estudo sobre espaços e possibilidades experimentais do ensino de física no nível médio*. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 30, n. 3, p. 195-214, 2012.

SILVA, Jair S. F. *Sobre o problema da variação de temperatura de um corpo*. *Connection Line: Revista eletrônica do UNIVAG*. Várzea Grande, n. 5, p. 44-55, 2010.

SILVA, Luana Nascimento et al. *Determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção natural e forçada em um corpo de alumínio*. *Anais IV CONAPESC...* Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/56735>. Acesso em: 23 nov. 2025.

ZABALA, Antoni. *A prática educativa como ensinar*. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Reimpressão 2010. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZILL, Dennis G.; CULLEN, Michael R. *Equações diferenciais: volume 1*. 3. ed. São Paulo, SP: Pearson Makron Books, 2001.

APÊNDICE A – CÓDIGOS EM PYTHON DAS SIMULAÇÕES INTERATIVAS GERADOS PELAS FERRAMENTAS GEMINI E CHATGPT

1. Código do Gráfico Interativo - Gemini

```

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from ipywidgets import interact, IntSlider, Text

from IPython.display import display


# --- 1. Definição da Função LRN ---
def newton_cooling(t, k, Ta, T0):
    """
    Lei do Resfriamento de Newton:  $T(t) = T_a + (T_0 - T_a) * e^{(-kt)}$ 
    """

    DeltaT = T0 - Ta

    if DeltaT == 0:
        return np.full_like(t, Ta)

    return Ta + DeltaT * np.exp(-k * t)


# --- 2. Definição do Vetor de Tempo (Eixo X Linear) ---
# Inicia em t=0 e vai até t=800 segundos (para escala linear)
t_linear = np.linspace(0, 800, 500)


# --- 3. Função de Plotagem Interativa ---

```

```

def plot_lrn_interactive(k_input, Ta, T0):

    """Gera e atualiza o gráfico da LRN com os valores dos widgets."""

    # Tenta converter o input de k para float (tratamento de erro)

    try:

        k = float(k_input)

    except ValueError:

        plt.figure(figsize=(10, 6))

        plt.text(0.5, 0.5, "ERRO: O valor de 'k' deve ser um número válido.",
                 ha='center', va='center', fontsize=14, color='red')

        plt.title('Erro de Input', fontsize=16)

        plt.axis('off')

        plt.show()

        return

    T_calculated = newton_cooling(t_linear, k, Ta, T0)

    # Criar a figura e plotar

    plt.figure(figsize=(10, 6))

    plt.plot(t_linear, T_calculated, lw=3, color='#0077b6', label=f'k = {k:.6f} s-1')

    # Ponto inicial (T0 em t=0)

    plt.scatter([0], [T0], color='black', zorder=5)

    # Linha da Temperatura Ambiente

    plt.axhline(Ta, color='red', linestyle='--', linewidth=1, label=f'$T_a = {Ta}^{\circ}C$')

```

```

# Configurações do gráfico

# --- AJUSTE DE LIMITE X (LINEAR) ---

plt.xlim(0, 800)

plt.xticks(np.arange(0, 801, 100))

# Definir limite Y dinamicamente

y_min = min(Ta, T0) - 5

y_max = max(Ta, T0) + 5

plt.ylim(bottom=y_min, top=y_max)

plt.title(f'Lei do Resfriamento de Newton (LRN) - Simulação Interativa (Escala
Linear)', fontsize=16)

plt.xlabel('Tempo (t) em segundos', fontsize=12)

plt.ylabel('Temperatura (T) em  $^{\circ}\text{C}$ ', fontsize=12)

plt.grid(True, which="both", linestyle=':', alpha=0.6)

plt.legend(loc='upper right', title=f' $T_0 = {T0}^{\circ}\text{C}$ ')

plt.show()

# --- 4. Configuração dos Widgets ---

k_input_widget = Text(
    value='0.00739', # Valor inicial
    description='k (s-1):',
    style={'description_width': 'initial'}
)

```

```

Ta_slider = IntSlider(
    value=25,
    min=0,
    max=50,
    step=1,
    description='$T_a$ (°C):',
    style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)

```

```

T0_slider = IntSlider(
    value=100,
    min=50,
    max=150,
    step=5,
    description='$T_0$ (°C):',
    style={'description_width': 'initial'},
    continuous_update=False
)

```

--- 5. Criação do Objeto Interativo ---

```

interactive_plot = interact(
    plot_lrn_interactive,
    k_input=k_input_widget,
    Ta=Ta_slider,

```

```

        T0=T0_slider
    )

display(interactive_plot)

```

2. Código do Gráfico Interativo - ChatGPT

```
# --- Interativo: Lei do Resfriamento de Newton (LRN) ---
```

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from ipywidgets import interact, FloatSlider, FloatText

```

```
# Função da Lei do Resfriamento
```

```

def T(t, Ta, T0, k):
    return Ta + (T0 - Ta) * np.exp(-k * t)

```

```
# Função para plotar
```

```

def plot_LRN(Ta, T0, k):
    t = np.linspace(0, 2000, 600)

    plt.figure(figsize=(8,5))
    plt.plot(t, T(t, Ta, T0, k), linewidth=2)
    plt.xlabel("Tempo (s)")
    plt.ylabel("Temperatura (° C)")
    plt.title("Lei do Resfriamento de Newton")
    plt.grid(True)

```

```
plt.show()
```

```
# Sliders e campo para digitação
```

```
interact(
```

```
    plot_LRN,
```

```
    Ta = FloatSlider(value=25, min=-20, max=80, step=1, description="T_amb (° C)",
```

```
    T0 = FloatSlider(value=100, min=0, max=200, step=1, description="T_inicial (° C)",
```

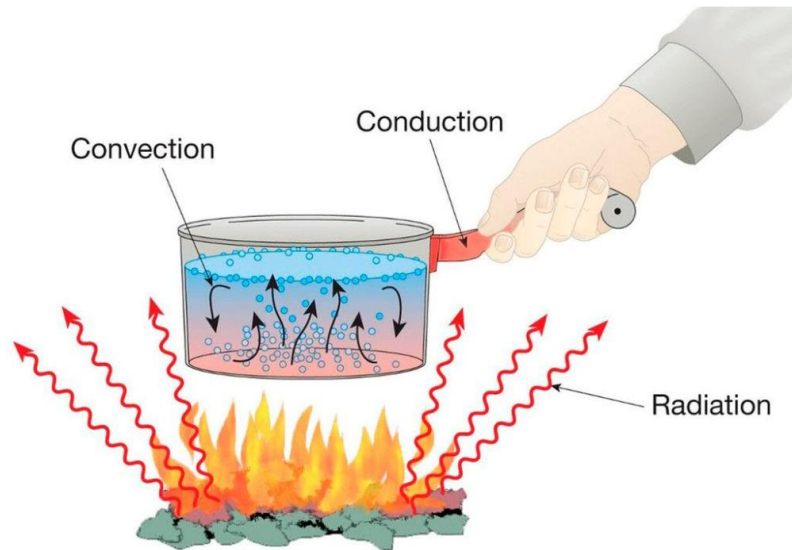
```
    k = FloatText(value=0.005, description="k (s-1)")
```

```
)
```

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO ACERCA DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1. Explique com suas próprias palavras qual a diferença entre Calor e Temperatura.

2. A figura abaixo ilustra os três principais modos de transferência de calor.

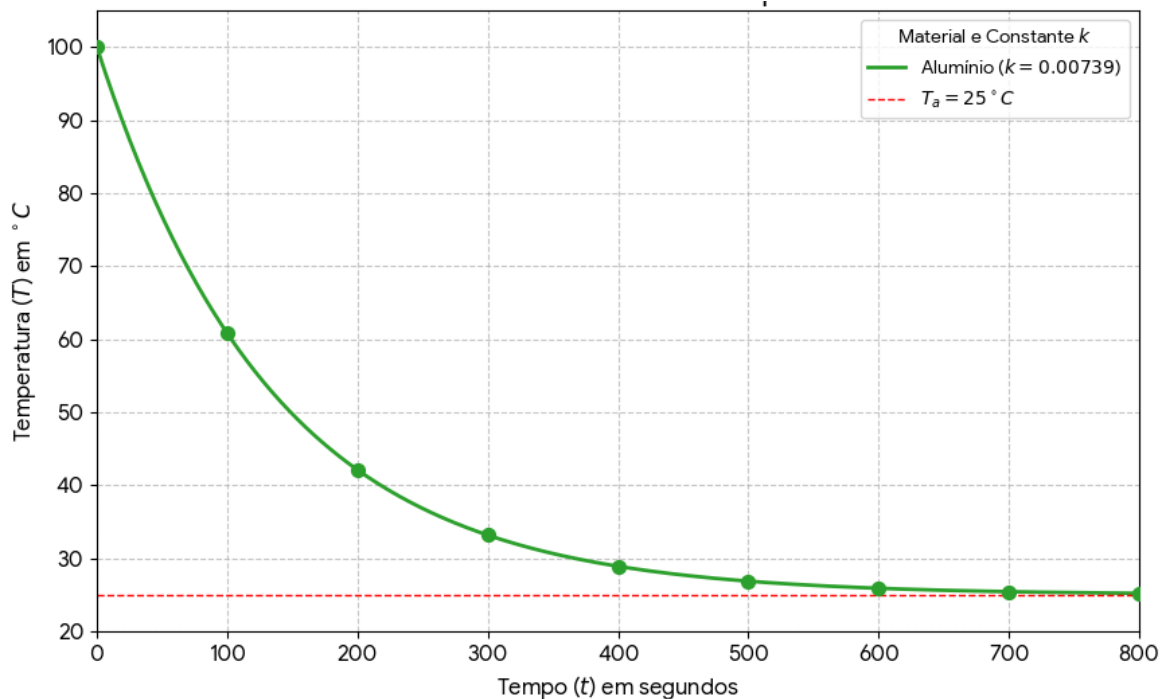


a) O que é Convecção? Qual a principal diferença entre Convecção e Condução?

b) Em um experimento de resfriamento de café quente, qual modo de transferência de calor é o dominante?

3. Em um ambiente com temperatura constante de 20°C , dois recipientes (X e Y) contêm a mesma quantidade de água a 90°C . O recipiente X é largo e raso, e o recipiente Y é estreito e alto. Qual recipiente você espera que atinja a temperatura ambiente primeiro? Por quê?

4. Observe a curva de resfriamento abaixo:



➤ Considere que a curva representa uma queda de temperatura ao longo do tempo.

O que a inclinação da curva nos diz sobre o ritmo de resfriamento do objeto?

- a) O objeto resfria mais rápido no início e mais devagar no final.
- b) A velocidade de resfriamento é constante, pois é uma reta.
- c) O objeto resfria lentamente no início e acelera no final.
- d) A velocidade de resfriamento depende apenas da temperatura ambiente.

5. Em um gráfico como o da questão 4, a curva de temperatura se aproxima de uma linha horizontal que representa a temperatura ambiente, mas teoricamente nunca a toca. Como a matemática chama essa linha de limite? O que esse comportamento sugere sobre o limite do processo de resfriamento?

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO AVALIATIVO

1. Na simulação realizada, a ferramenta Gemini gerou diferentes curvas de resfriamento para os materiais Aço, Cobre e Alumínio, alterando o valor da constante k . Explique com suas palavras o que representa fisicamente um valor de k maior em termos de velocidade de troca de calor. Além disso, justifique por que o coeficiente k apresenta valores diferentes para cada material, mesmo quando o experimento é conduzido no mesmo ambiente.

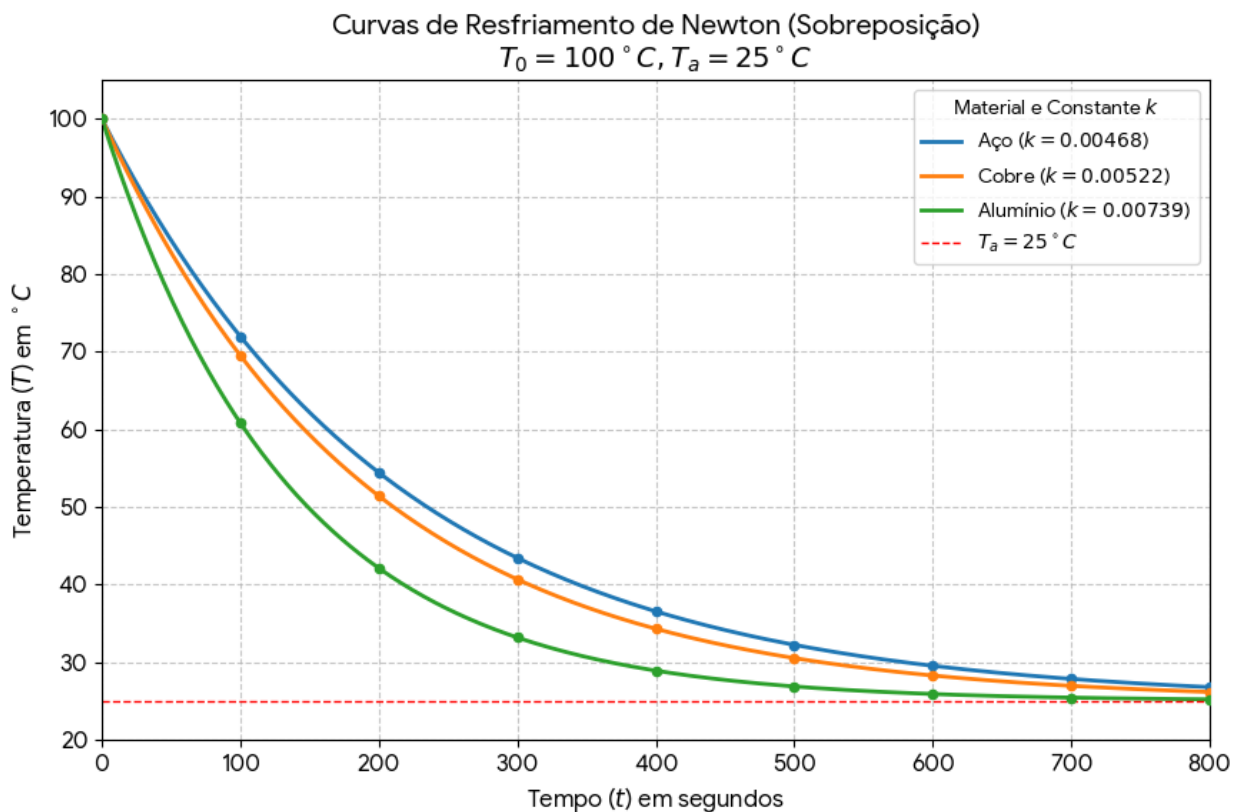
2. A constante de resfriamento (k) na Lei do Resfriamento de Newton não é universal, dependendo das propriedades do objeto e do ambiente. Liste e explique três fatores físicos que influenciam diretamente o valor de k .

3. A Lei do Resfriamento de Newton pode ser usada para modelar o aquecimento. Se você colocar um objeto muito frio ($T = 0^{\circ}\text{C}$) em uma sala com temperatura ($T_a = 25^{\circ}\text{C}$), o objeto irá aquecer. O que acontece com a constante k nesse processo, em comparação com um processo de resfriamento na mesma sala?

- a) O valor de k será maior no aquecimento, pois a diferença de temperatura é grande.
- b) O valor de k diminuirá, pois o aquecimento é um processo fisicamente diferente do resfriamento.
- c) O valor de k permanecerá o mesmo, pois k depende apenas das características do objeto e do ambiente, e não da direção da transferência de calor.
- d) O valor de k se torna negativo.

4. Explique por que a Convecção Forçada (por exemplo, usar um ar-condicionado) acelera o resfriamento de um corpo e qual é o efeito prático dessa aceleração na constante k da Lei do Resfriamento de Newton.

5. Observe o gráfico a seguir que compara o resfriamento de três materiais: Aço, Cobre e Alumínio. Use a legenda e a inclinação das curvas para responder à questão.



O gráfico mostra que todos os materiais começaram a 100°C e estão resfriando em um ambiente a 25°C . Qual das alternativas abaixo apresenta a associação correta entre o material e a velocidade do resfriamento, com base no gráfico e na constante k ?

- a) O Aço resfria mais rapidamente, pois possui a curva mais íngreme, o que é confirmado pelo seu valor de $k = 0.00468\text{ s}^{-1}$ ser o maior entre os três.

- b) O Cobre é o material que resfria mais devagar, pois sua curva é a mais suave, indicando que possui o menor valor de k .
- c) O Alumínio é o material que resfria mais rapidamente, pois sua curva verde é a mais íngreme e ele possui o maior valor de k (0.00739 s^{-1}) entre os três.
- d) A velocidade de resfriamento não está relacionada à constante k , ela depende apenas da diferença de temperatura inicial.