

CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA A PARTIR DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA VERIFICAÇÃO DA LEGIBILIDADE

MODERN PHYSICS CONCEPTS FROM ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CHECKING LEGIBILITY

QUESLE DA SILVA MARTINS ^{*1}, ROBINSON VIANA FIGUEROA CADILLO¹,
LAFFERT GOMES FERREIRA DA SILVA²

¹Universidade Federal de Rondônia - UNIR

²Instituto Federal de Educação de Rondônia - IFRO

Resumo

O Chat GPT e Copilot são Inteligências Artificiais (IA) do tipo chatbot, utilizadas na geração de texto de interface simples. Elas foram testadas neste artigo quanto à legibilidade de suas respostas usando software Análise de Legibilidade Textual (ALT). Esta é uma pesquisa descritiva de natureza qualitativa, cujo objetivo é verificar o nível de legibilidade das respostas apresentadas pelas IAs sobre conceitos simples de Física moderna. Resultados indicam maior índice Gulpease para todas as respostas do Chat GPT, enquanto o Copilot, leva vantagem nos números de Índice de nebulosidade de Gunning. Todas IAs apresentaram resultado geral de alta legibilidade. Este trabalho é pioneiro ao investigar a legibilidade de temas de Física moderna produzidos por IA.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Física Moderna. Legibilidade textual.

*quesle.martins@unir.br

Abstract

Chat GPT and Copilot are chatbot-type Artificial Intelligences (AI) used to generate simple interface text. They were tested in this article for the readability of their responses using Análise de Legibilidade Textual (ALT) software. This is a descriptive research of a qualitative nature, whose objective is to verify the level of readability of the responses presented by AIs on simple concepts of modern Physics. Results indicate a higher Gulease index for all Chat GPT responses, while Copilot has an advantage in Gunning's Nebulosity Index numbers. All AIs presented high overall readability results. This work is pioneering in investigating the readability of modern Physics topics produced by AI.

Keywords: Artificial Intelligence. Modern Physics. Text Legibility.

I. INTRODUÇÃO

O Chat GPT (IA1) e Copilot (IA2) são Inteligências Artificiais (IA) do tipo modelo de linguagem, que aprende padrões complexos de linguagem em grandes volumes de forma que adquirem conhecimento linguístico e semântico em diversos domínios, possibilitando interagir com usuários em tempo real, como *chatbots*¹ e assistentes virtuais. IAs desse tipo são desenvolvidas com técnicas de aprendizado de máquina, pré-treinamento não supervisionado e ajustes finos para tarefas específicas (DANTAS, 2019; FERREIRA, 2022). Sua arquitetura e pré-treinamento permitem adaptar-se a várias aplicações na educação e outros (KIRMANI, 2022; NETTO, 2024).

No contexto educacional, o uso de IA para abordar conceitos e fenômenos já é uma realidade, e inserida como Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) no ensino, tem se demonstrado uma ferramenta que pode contribuir para a formação de indivíduos cientificamente (CAVALCANTE, 2023).

Santos (2022) estuda os caminhos que geram conhecimento através da inteligência artificial. Gomes (2023) aborda o uso do Chat GPT e percepções para a educação. Cardoso (2023) enfatiza sobre o uso da IA na educação e seus benefícios. Ghuron (2023) estuda tópicos e tendências na utilização IA no ensino de Física. Citelli (2024) discute a comunicação na educação a partir uso de Chat GPT e Picão (2023) enfatiza que profissionais da educação estejam preparados quanto aos desafios do uso da IA para uma aprendizagem significativa e eficiente.

Nessa perspectiva, no ensino de Física, Netto (2024) verifica as potencialidades da IA na criação de materiais didáticos para o ensino de Física. Almeida (2024) explora seu uso para estudo de astronomia. Nogueira (2023) enfatiza sobre a percepção dos estudantes do curso de física sobre o uso da IA como ferramenta de ensino e aprendizagem em Física. Albuquerque (2023) aborda a relação entre o ensino de Física no Brasil e o uso da IA.

A inserção dessa temática no cotidiano educacional tem uma relação muito íntima com o desenvolvimento tecnológico e vai de encontro com propostas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN):

¹Programa de computador que tenta simular um ser humano na conversação com as pessoas.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018).

Tal ação fomenta um necessário debate sobre os impactos da tecnologia nas relações humanas e sobre suas implicações éticas, morais, culturais, sociais, políticas e econômicas (BRASIL, 2018). Isso possibilitará a aquisição de competências e habilidades ao utilizar essas tecnologias básicas, identificando variáveis relevantes, atendendo há procedimentos necessários para a produção, análise e interpretação de resultados de processos e experimentos científicos e tecnológicos (BRASIL, 1997). Com isso, ressaltam-se a importância de estudos sobre a adequação dos currículos formativos na educação, à realidade contemporânea e aos avanços tecnológicos (GOMES, 2005; BARROQUEIRO, 2011; VERONEZ, 2015), tornando ambientes de aprendizagem mais interativos e criativos (PSZYBYLSKI, 2020; VALENTE, 2018).

Fundamentalmente ao ensinar Física, os educadores devem estar atentos na mediação de conteúdo com o nível de linguagem utilizadas, pois a definição correta de conceitos, a linguagem clara e objetiva, é um dos fatores a se observar no processo de ensino e especialmente na formação científica em espaços não formais de ensino, como no caso da IA (QUEIROZ, 2011; OLIVEIRA, 2009; NETTO, 2024; GOMES, 2010; SCHLEDER, 2021). Nessa perspectiva, este trabalho discute qualitativamente, respostas de Chat GPT (IA-1) e Copilot (IA-2), através de Análise de Legibilidade Textual - ALT (SOUZA, 2024), que a partir de uma análise exploratória, verifica as respostas das IAs do ponto de vista linguístico, da clareza e da objetividade com base em seu nível de confiança da comunicação. Nesse contexto, temos que a legibilidade é uma qualidade que determina a facilidade de leitura de alguma coisa e a qualidade tipográfica de um texto, determinando assim, sua facilidade de leitura (MARTINS, 2024).

Este estudo faz uma análise do nível da legibilidade das respostas apresentadas pelas IA-1 e IA-2 à perguntas de conteúdo de Física moderna, utilizando a técnica Análise de Legibilidade Textual (ALT). Ao abordar essa proposta, também leva-se em consideração o fascínio dos alunos com os textos criados por inteligência artificial para os mais diversos fins (FIGUEIRA, 2024).

A ALT utiliza métricas de legibilidade originalmanente adaptadas para a Língua Portuguesa. É fundamentada na teoria do agir comunicativo de Habermas, que analisa a credibilidade do discurso nos canais de comunicação utilizados para construir e manter uma relação segura e saudável com o público (SOUZA, 2024; MORENO, 2023).

Conceitos de Física moderna foram utilizados por agregarem fundamentos essenciais da formação em Física do Ensino Médio e superior e até de divulgação científica. O átomo, o efeito fotoelétrico e teoria da relatividade foram conceitos utilizados nessa proposta. Este trabalho não investiga fatores de aprendizagem do ponto de vista cognitivo.

II. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Trata-se de uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória (ANDRADE, 2002; GIL, 1999). Gil (1999) apresenta a pesquisa exploratória objetivando desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias. Trabalha a formulação de problemas e hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores, proporcionando uma visão geral acerca de determinado fato estudado.

O artigo consiste no estudo de aprofundamento de conceitos apresentados por IA, de forma que proporcione maiores informações sobre o uso de IAs do tipo *chatboot*, para a produção de textos de Física moderna. A análise de conceitos é inferida com base na necessidade da compreensão correta dos fenômenos em discussão (MOREIRA, 2012). Considerando que todas as disciplinas contêm conceitos fundamentais sem os quais não existiriam, no ensino da Física, tem-se que é mais importante dar atenção aos conceitos físicos do que às fórmulas (MOREIRA, 2021), pois geralmente, o conhecimento de Física (e científico) está estruturado através da matemática (SETLIK, 2014).

Para fins práticos, utilizou-se versões gratuitas de IA-1 e IA-2. Os conceitos explorados foram dados a partir das seguintes perguntas:

1. (P1) O que é o átomo?
2. (P2) O que é o efeito fotoelétrico?
3. (P3) O que a teoria da relatividade restrita?

As perguntas foram inseridas em IA-1 e IA-2. Iniciado o processo de exibição de resposta, aguardou-se a finalização por parte da IA, sem interrupção da exibição da resposta. As repostas obtidas foram inseridas no campo de entrada "Contagem de palavras", vistos na tela de entrada de texto do *software* ALT (Figura 1). P1, P2 e P3 são conceitos de Física moderna, do ensino regular e que apresentam relevância histórica e tecnológica da sociedade contemporânea (AMORIM, 2016).



Figura 1: Visão geral da área principal, menus e comandos do software ALT. Fonte: Autor.

II.1. Análise de legibilidade textual - ALT

Para a verificação de conceitos explorados, faz-se uso do *software* ALT para análise do nível de comunicação, ou seja, o nível de legibilidade da resposta dada pela IA. Nesse caso, a legibilidade pode ser entendida com a eficiência e velocidade com a qual um texto pode ser reconhecido (McLAUGHLIN, 1968).

O termo ALT refere-se a um conjunto de equações (métricas) adaptadas para o português, que avalia a legibilidade de um texto, atribuindo uma pontuação com base na média de palavras por sentença e sílabas por palavra (MORENO, 2023; SOUZA, 2024). Ele utiliza duas categorias de métricas:

1. **Fórmulas de Facilidade de Leitura** (Flesch e Gulpease), que atribuem uma pontuação de 0 a 100, indicando quão fácil ou difícil é entender o texto.

2. **Métricas de Nível de Escolaridade** (Flesch-Kincaid, Gunning, Índice de leitura automatizado (ARI) e Coleman-Liau), que indicam o nível de escolaridade necessário para compreender o texto, com pontuação variando de 0 a 20.

A avaliação geral é dada em termos da média aritmética (Eq. 1) de quatro índices da escala de nível de escolaridade:

$$\text{Fórmula Final} = \frac{\text{Flesch-Kincaid} + \text{Gunning fog} + \text{ARI} + \text{Coleman-Liau}}{4}. \quad (1)$$

Essas métricas ajudam a determinar se o conteúdo é adequado ao público-alvo, considerando o grau de complexidade do texto².

Na etapa de análise da legibilidade, apenas dados relativos à tipografia e *layout* das respostas são considerados. Trata-se de uma reflexão sobre as bases teóricas e metodológicas em torno do conceito de mediação de conceitos por IA, que impulsionadas pelo avanço tecnológico, tem proporcionado mudanças profundas na educação (OLIVEIRA, 2024).

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As perguntas (P1, P2 e P3) foram editadas nas caixas de entradas de texto da IA-1 e IA-2, respectivamente, como mostrado nas Figuras 2, 3, e 4. Após exibição das respostas, as mesmas foram inseridas no editor de texto do ALT, para análise de legibilidade.

Os resultados apresentados nas Figuras 2, 3, e 4, são produtos de uma única rodada de ações, ou seja, feita a pergunta, nenhuma outra modificação ou nova busca para a mesma pergunta foi realizada. Isso decorre de forma que não viciem-se a pesquisa, uma vez que, o uso indiscriminado da IA, pode tornar um processo de aprendizagem um falso positivo, incorrendo em “erros”, pois o próprio Chat GPT se mostra sensível a ajustes na frase de entrada ou quanto das tentativas do mesmo³ várias vezes (OPEN AI, 2022).

²Informações detalhadas sobre as métricas disponível no site Análise de Legibilidade Textual, disponível: <<https://legibilidade.com/>>

³No geral, em sistemas operacionais o *prompt* de comando é um programa que emula o campo de entrada em uma tela de interface de usuário baseada em texto com a interface gráfica do usuário. Um *prompt* é um texto em linguagem natural utilizado por IA para criar novos conteúdos, como histórias, conversas, vídeos, imagens e músicas.

O que é o átomo?

O átomo é a menor unidade de um elemento químico que mantém suas propriedades. Ele é composto por três partículas principais:

Prótons: Partículas com carga positiva, localizadas no núcleo do átomo.

Nêutrons: Partículas sem carga elétrica, também encontradas no núcleo.

Elétrons: Partículas com carga negativa, que orbitam ao redor do núcleo em diferentes camadas ou níveis de energia.

A combinação dessas partículas forma a estrutura básica de toda a matéria que conhecemos.

(a)

O átomo é a menor unidade básica da matéria que ainda mantém as propriedades de um elemento químico. Ele é composto por três partículas subatômicas principais:

1. **Prótons**: Partículas com carga positiva localizadas no núcleo do átomo.

2. **Nêutrons**: Partículas neutras, sem carga elétrica, também localizadas no núcleo.

3. **Elétrons**: Partículas com carga negativa que orbitam ao redor do núcleo em diferentes camadas ou níveis de energia.

O núcleo (prótons e nêutrons) é denso e contém quase toda a massa do átomo, enquanto os elétrons, que são muito mais leves, ocupam a maior parte do volume do átomo, mas em uma região relativamente vazia chamada eletrosfera.

Os átomos se combinam de diversas formas para formar moléculas, que constituem todas as substâncias que vemos e conhecemos.

(b)

Figura 2: Pergunta e resposta para: O que é o átomo? (a) Chat GPT e (b) Copilot. Fonte: Autor.

O que é o efeito fotoelétrico?

O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico que ocorre quando a luz incide sobre a superfície de um material e faz com que ele emita elétrons. Este fenômeno foi descoberto por Heinrich Hertz no final do século XIX e mais tarde explicado por Albert Einstein, que ganhou o Prêmio Nobel por seu trabalho nessa área¹².

Aqui está um resumo de como funciona:

1. **Emissão de Elétrons**: Quando a luz (radiação eletromagnética) com uma frequência específica atinge a superfície de um material, ela transfere energia para os elétrons do material.
2. **Energia dos Fótons**: A energia da luz é transportada por partículas chamadas fótons. Para que os elétrons sejam ejetados, a energia dos fótons deve ser maior que a energia mínima necessária para liberar os elétrons do material, conhecida como função trabalho.
3. **Frequência da Luz**: A ejeção dos elétrons depende da frequência da luz, não da sua intensidade. Isso significa que mesmo uma luz fraca, se tiver a frequência correta, pode causar o efeito fotoelétrico.

A fórmula que descreve esse fenômeno é:

$$E_k = hf - \phi$$

Onde:

- E_k é a energia cinética dos elétrons ejetados,
- h é a constante de Planck,
- f é a frequência da luz incidente,
- ϕ é a função trabalho do material¹².

(a)

O que é o efeito fotoelétrico?

O efeito fotoelétrico é um fenômeno em que elétrons são emitidos de um material (geralmente metal) quando ele é iluminado por luz (ou radiação eletromagnética) de uma frequência suficientemente alta. Esse efeito foi observado pela primeira vez por Heinrich Hertz em 1887 e explicado em detalhes por Albert Einstein em 1905, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1921.

Aqui estão os principais pontos do efeito fotoelétrico:

1. **Emissão de elétrons**: Quando a luz incide sobre a superfície de um material, os fótons (partículas de luz) podem transferir sua energia para os elétrons do material. Se a energia dos fótons for suficiente, os elétrons ganham energia suficiente para escapar do material.
2. **Frequência mínima (função trabalho)**: Existe uma frequência mínima de luz (ou energia mínima do fóton) necessária para que o efeito fotoelétrico ocorra. Essa frequência está relacionada com a energia de ligação dos elétrons no material e é chamada de **função trabalho**. Se a luz tiver uma frequência abaixo dessa mínima, o efeito não ocorre, independentemente da intensidade da luz.
3. **Intensidade da luz**: A intensidade da luz afeta o número de elétrons emitidos, mas não a sua energia. Ou seja, quanto maior a intensidade, mais elétrons são emitidos, mas a energia de cada elétron depende apenas da frequência da luz, não da intensidade.
4. **Einstein e os fótons**: Einstein propôs que a luz é composta por partículas chamadas **fótons**, cada uma com uma quantidade definida de energia proporcional à sua frequência. Ele mostrou que a energia de um fóton é dada por $E = h \cdot f$, onde E é a energia, h é a constante de Planck e f é a frequência da luz.

O efeito fotoelétrico foi fundamental para o desenvolvimento da física quântica, pois desafiou a visão clássica da luz como uma onda contínua e introduziu o conceito de quantização de energia.

(b)

Figura 3: Pergunta e resposta para: O que é o efeito fotoelétrico? (a) Chat GPT e (b) Copilot. Fonte: Autor.

O que é a teoria da relatividade restrita?

A teoria da relatividade restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, revolucionou nossa compreensão de espaço, tempo e energia. Aqui estão os pontos principais:

1. **Postulados**:

- **Princípio da Relatividade**: As leis da física são as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais (não acelerados).
- **Constância da Velocidade da Luz**: A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores, independentemente do movimento da fonte ou do observador¹².

2. **Consequências**:

- **Dilatação do Tempo**: O tempo passa mais lentamente para um observador em movimento em relação a um observador em repouso.
- **Contração do Comprimento**: Objetos em movimento são medidos como sendo mais curtos na direção do movimento em relação ao seu comprimento em repouso.
- **Equivalência Massa-Energia**: A famosa equação $E = mc^2$ mostra que massa e energia são intercambiáveis¹².

3. **Aplicações**:

- **Tecnologia GPS**: Correções relativísticas são essenciais para a precisão dos sistemas de navegação por satélite.
- **Física de Partículas**: Aceleradores de partículas dependem da relatividade restrita para prever o comportamento de partículas em altas velocidades¹².

(a)

O que é a teoria da relatividade?

A **Teoria da Relatividade Restrita** (ou Especial) foi proposta por Albert Einstein em 1905 e descreve como as leis da física funcionam para observadores que estão se movendo em velocidades constantes (ou seja, em movimento retilíneo uniforme) em relação uns aos outros. Essa teoria revolucionou nossa compreensão de conceitos fundamentais como tempo, espaço, massa e energia, desafiando as noções clássicas da física de Isaac Newton.

Os dois princípios fundamentais da Relatividade Restrita são:

1. **Princípio da relatividade**: As leis da física são as mesmas para todos os observadores que estão em movimento retilíneo uniforme (ou seja, sem aceleração). Isso significa que não há um referencial privilegiado no universo — todos os referenciais inerciais são equivalentes.
2. **Invariância da velocidade da luz**: A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores, independentemente de sua velocidade ou da velocidade da fonte de luz. Isso contradiz a intuição clássica, em que a velocidade de um objeto depende do referencial do observador.

Consequências da Relatividade Restrita:

A partir desses dois postulados, várias consequências surpreendentes emergem:

1. **Dilatação do tempo**: O tempo passa mais devagar para um objeto em movimento em relação a um observador em repouso. Isso significa que, quanto mais rápido algo se move, mais lentamente o tempo passa para esse objeto em comparação a um observador estacionário. Um exemplo disso é o **paradoxo dos gêmeos**, onde um gêmeo que viaja a uma velocidade próxima à da luz envelhece mais devagar do que o gêmeo que fica na Terra.
2. **Contração do comprimento**: Objetos que se movem a velocidades próximas à da luz parecem encolher no sentido de seu movimento em relação a um observador estacionário. Essa contração é conhecida como **contração de Lorentz**.
3. **Equivalência massa-energia**: A Relatividade Restrita leva à famosa equação $E = mc^2$, que mostra que a massa de um objeto está diretamente relacionada à sua energia. Isso significa que a massa pode ser convertida em energia e vice-versa, o que tem implicações profundas, como nas reações nucleares.
4. **Relatividade simultaneidade**: Dois eventos que parecem ocorrer ao mesmo tempo para um observador podem não ocorrer simultaneamente para outro observador em movimento em relação ao primeiro. Ou seja, a simultaneidade é relativa, dependendo do referencial.

Limitações:

A Relatividade Restrita se aplica apenas a situações em que não há aceleração (movimento retilíneo uniforme). Para incluir a gravidade e a aceleração, Einstein desenvolveu mais tarde a **Teoria da Relatividade Geral**.

Em resumo, a Teoria da Relatividade Restrita transformou nossa compreensão de espaço e tempo, mostrando que são interdependentes e relativos ao movimento do observador, ao invés de entidades absolutas, como eram consideradas na física clássica.

(b)

Figura 4: Pergunta e resposta para: O que é a teoria da Relatividade Restrita? (a) Chat GPT e (b) Copilot.
Fonte: Autor.

Nas Figuras 5, 6 e 7 são mostrados os resultados da análise no ALT, que após inseridas a perguntas, ele faz uma verificação geral da forma escrita do texto apresentado nas etapas anteriores a partir de métricas definidas.

A verificação da legibilidade se dá através de indicadores (métricas) exibidos pelo próprio programa, expressando através de valores numéricos os níveis de tal verificação. A Tabela 1 reúne a pontuação das métricas para cada pergunta. Resultados indicados nas Figuras 5 a 7 mostram que todas as respostas apresentadas informam textos de alta legibilidade, com pontuação que vai de 9 a 12 pontos. A pontuação obtida é dada a partir das métricas analisadas (MORENO, 2023; SOUZA, 2024; MARTINS, 2024).

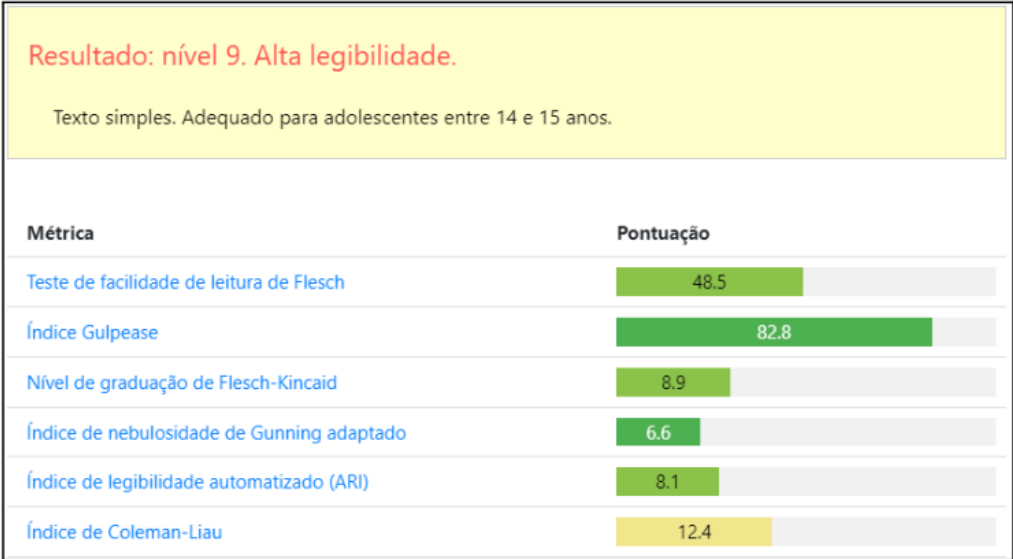


(a)

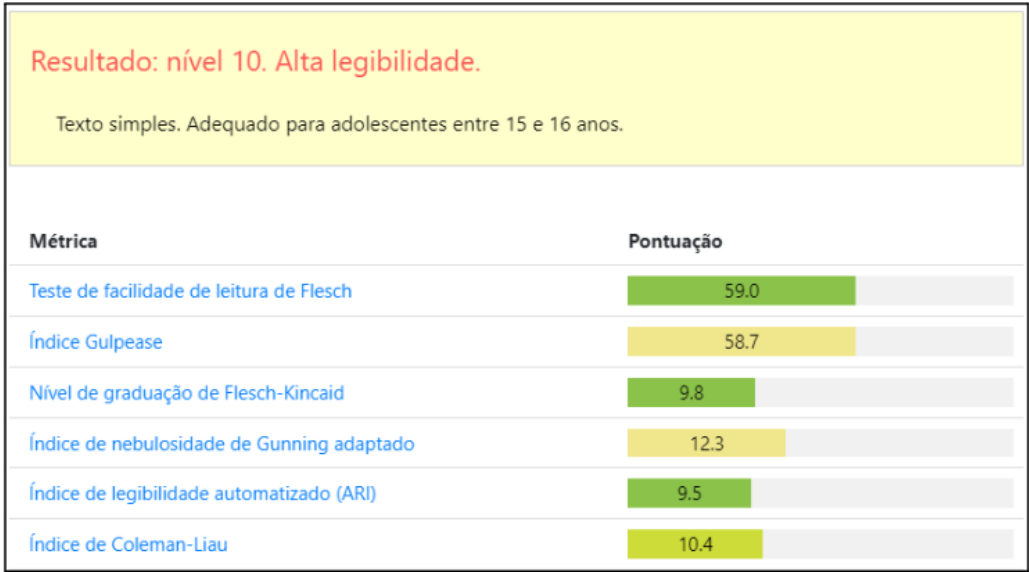


(b)

Figura 5: O que é átomo? Extrato do ALT para (a) Chat GPT e (b) Copilot. Fonte: Autor.



(a)



(b)

Figura 6: O que é o efeito fotoelétrico? Extrato do ALT para (a) Chat GPT e (b) Copilot. Fonte: Autor.



(a)



(b)

Figura 7: O que é a teoria da Relatividade Restrita? Extrato do ALT para (a) Chat GPT e (b) Copilot. Fonte: Autor.

Índices de legibilidade usam basicamente duas escalas: 0 a 100: Teste de facilidade de leitura de Flesch e Índice Gulpease. 0 a 20: Nível de instrução de Flesch-Kincaid, Índice de Nebulosidade de Gunning, Índice de Leiturabilidade Automatizado, Índice de Coleman-Liau, entre outros (MORENO, 2023; SOUZA, 2024; MARTINS, 2024).

Na Tabela 1 os resultados mostram que, a pontuação em Teste de facilidade de leitura Flesch é maior para dados exibidos por IA-2, em Figura 5b e 6b, sendo superior apenas para IA-1 em Figura 7a. Também na Tabela 1, ver-se que a métrica Índice Gulpease, é maior para todos os resultados de IA-1 (Figs. 5a - 7a), chegando a atingir 82.8 pontos. A maior divergência entre valores das IAs pode ser observada para Índice de nebulosidade de Gunning para P2, onde a IA-1 obteve 6.6 pontos, contra 12.3 pontos da IA-2.

Os valores obtidos indicam a simplicidade textual apresentada nas respostas, considerando que os índices baseados na escala 0 - 100. Cem significa um texto muito simples, e que, quando tende a zero indica um texto de compreensão extremamente difícil.

Tabela 1: Resultados gerais das métricas de ALT para textos respostas de Chat GPT (IA-1) e Copilot (IA-2).

Métrica	P1		P2		P3	
	Pontuação					
	IA-1	IA-2	IA-1	IA-2	IA-1	IA-2
Teste de facilidade de leitura de Flesch	48.1	54.0	48.5	59.0	50.7	40.0
Índice Gulpease	64.1	62.4	82.8	58.7	64.8	55.9
Nível de escolaridade de Flesch-Kincaid	10.0	9.5	8.9	9.8	9.6	12.1
Índice de nebulosidade de Gunning	9.3	11.0	6.6	12.3	8.9	11.3
Índice de leiturabilidade automatizado	8.9	8.8	8.1	9.5	8.7	11.0
Índice de Coleman-Liau	12.3	11.7	12.4	10.4	12.3	13.1

Legenda: P: Pergunta; IA: Inteligência artificial.

O nível de legibilidade apresentado pelas IAs foi considerado adequado para uma faixa etária que varia de 14 a 18 anos de idade. Esses resultados são validados quanto da análise nos índices que consideram escala com pontuação de 0 - 20. Nesses casos, o nível de legibilidade decresce com o aumento na escala. Assim, um texto com nível de legibilidade 6 é bem simples, já textos com nível de legibilidade, por exemplo 17, são considerados de difícil leitura, pois são textos voltados para graduados e pós-graduandos (MORENO, 2023; SOUZA, 2024).

A seguir, ampliamos a discussão sobre as métricas apresentadas, destacando o que elas representam e como essas pontuações se comparam entre as duas IAs.

• *Teste de Facilidade de Leitura de Flesch*

O índice de Flesch avalia a facilidade de leitura de um texto, com valores mais altos indicando maior facilidade de compreensão. Em geral, valores entre 60 e 80 são indicativos de textos com leitura fácil. Analisando os resultados:

IA-1 tem uma pontuação de 48.1 em P1, 48.5 em P2 e 50.7 em P3, o que indica que seus textos estão em um nível de dificuldade moderado.

IA-2 começa com uma pontuação mais alta de 54.0 em P1, mas diminui significativamente para 40.0 em P3, o que sugere que os textos gerados pelo Copilot se tornam mais difíceis de ler à medida que as perguntas se tornam mais complexas.

Em geral, os textos da IA-2 são mais fáceis de ler na primeira questão, mas a IA-1 mantém um nível mais consistente de legibilidade.

- *Índice Gulpease*

Este índice, também voltado para medir a legibilidade, é particularmente sensível ao comprimento das frases e à frequência de palavras complexas. Valores mais altos indicam maior legibilidade. As pontuações da tabela mostram:

IA-1 apresenta pontuações de 64.1 em P1, 82.8 em P2 e 64.8 em P3. O aumento significativo de P1 para P2 pode ser devido a uma adaptação das frases, tornando-as mais acessíveis para a segunda pergunta.

IA-2, por outro lado, varia entre 62.4 em P1, 58.7 em P2 e 55.9 em P3. A IA-2 apresenta uma queda contínua ao longo das perguntas, sugerindo uma tendência para textos mais complexos ou com frases mais longas conforme as perguntas se tornam mais difíceis.

- *Nível de Escolaridade de Flesch-Kincaid*

Este índice estima o nível de escolaridade necessário para compreender o texto, sendo que valores mais altos indicam textos mais difíceis. As pontuações observadas são:

IA-1 mantém um nível consistente de complexidade (em torno de 9.6) com uma ligeira redução em P2 (8.9).

IA-2 apresenta um nível mais baixo em P1 (9.5) e aumenta para 12.1 em P3, o que sugere que a IA-2 gera textos mais complexos e exige um nível de escolaridade maior, especialmente em P3.

- *Índice de Nebulosidade de Gunning*

O índice de nebulosidade mede o grau de dificuldade de leitura baseado no número de palavras difíceis e na complexidade das frases. Pontuações mais altas indicam maior dificuldade de leitura. As comparações mostram:

IA-1 tem um valor de 9.3 em P1, 6.6 em P2, e 8.9 em P3, com uma queda acentuada em P2, sugerindo que a IA-1 adapta sua escrita para ser mais simples quando necessário.

IA-2 apresenta valores mais altos (11.0 em P1, 12.3 em P2 e 11.3 em P3), indicando uma tendência a gerar textos mais complexos e difíceis de ler, independentemente da pergunta.

- *ARI*

Este índice é semelhante ao índice de Flesch-Kincaid e também busca estimar o nível de escolaridade necessário para entender um texto. As pontuações indicam:

IA-1 apresenta pontuações estáveis em torno de 8.7 a 8.9, sugerindo textos de dificuldade moderada.

IA-2 apresenta uma variação maior (8.8 em P1, 9.5 em P2 e 11.0 em P3), com um aumento gradual no nível de dificuldade conforme as perguntas se tornam mais complexas.

- *Índice de Coleman-Liau*

Este índice também estima a legibilidade, levando em conta o número de letras e palavras, sendo um indicador de textos mais ou menos fáceis de ler. As pontuações observadas são:

IA-1 apresenta uma pontuação de 12.3 em P1, 12.4 em P2 e 12.3 em P3, mantendo um nível estável de complexidade.

IA-2 começa com uma pontuação de 11.7 em P1, mas tem uma diminuição em P2 (10.4), retornando a 13.1 em P3, indicando que seus textos variam em termos de complexidade, mas apresentam uma tendência crescente em P3.

De maneira geral, podemos observar que a **IA-2 (Copilot)** tende a gerar textos mais complexos, com uma maior oscilação nas pontuações de legibilidade, especialmente em P3. Isso é evidenciado pelas pontuações mais altas em índices como Gunning Fog e Coleman-Liau, e o aumento do nível de escolaridade no índice de Flesch-Kincaid. Por outro lado, a **IA-1 (ChatGPT)** tende a manter uma consistência maior nas pontuações, gerando textos com um nível de complexidade moderado, o que pode indicar uma abordagem mais equilibrada em relação à legibilidade.

Essas diferenças podem refletir as diferentes abordagens e objetivos dos dois modelos de IA. O ChatGPT parece gerar textos mais acessíveis, enquanto o Copilot parece produzir textos que, em certos casos, exigem maior nível de compreensão, possivelmente adaptando-se ao contexto das perguntas de maneira mais complexa.

Os dados obtidos sugerem a pertinência de se aprofundar na conceituação de temas da Física moderna de forma que a tecnologia utilizada tenha efeito pedagógico com linguagem acessível a seu respectivo público. Essa proposta pode auxiliar no uso em aulas presenciais ou, ainda, para atender a cursos de educação à distância, intermediados pela Internet, favorecendo o processo de aprendizagem interdisciplinar (MACHADO, 2006).

De forma geral, as respostas dadas pelas IAs aqui estudadas, trazem textos simples e de fácil compreensão, ou seja, alta legibilidade. Respostas apresentadas pelo Chat GPT tiveram menor pontuação de legibilidade, ou seja, respostas mais simplificadas às perguntas apresentadas.

Observa-se que as IAs do tipo chatbot, se mostram uma ferramenta em potencial na atribuição de conceitos básicos de Física moderna e, seguindo uma tendência indicada por Moreira (2018), poderá ser uma ferramenta útil no desenvolvimento, explorando competências científicas e tecnológicas integradas ao ensino de Física. Podendo ser inseridas no ensino como metodologias ativas de aprendizagem, deve-se destacar a importância da figura docente como orientador do processo, que mediará as atividades levando em conta os processos de pesquisas, questões éticas na utilização desta tecnologia digital, potencialidades e seus desafios (ALBUQUERQUE, 2023).

Não há relatos na literatura sobre a Análise de legibilidade textual de tópicos de Física.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Análise de legibilidade textual das respostas dadas por Chat GPT e Copilot abordando conceitos simples de Física moderna geraram resultados de alta legibilidade. Neste caso, todas as premissas utilizadas revelaram conteúdo linguístico de baixa complexidade, ou seja, de fácil compreensão, o que pode permitir alto poder de instrução científica dos moldes estudados. O nível de legibilidade apresentado pelas IAs foi considerado adequado para uma faixa etária que varia de 14 a 18 anos de idade e respostas apresentadas pelo Chat GPT tiveram menor pontuação de legibilidade.

A IA-2 gerou textos mais complexos, com maior variação nas pontuações de legibilidade, especialmente em P3, como mostrado pelos altos índices de Gunning Fog e Coleman-Liau e o aumento no nível de escolaridade no índice de Flesch-Kincaid. Já a IA-1 manteve maior consistência nas pontuações, gerando textos de complexidade moderada, o que sugere uma abordagem mais equilibrada em relação à legibilidade.

A abordagem apresentada mostrou que o uso de IA do tipo *chatbot* se mostra uma ferramenta em potencial na atribuição de conceitos básicos de Física moderna e que poderá auxiliar estudantes e educadores no processo de ensino-aprendizagem em competências científicas e tecnológicas.

Os resultados obtidos ampliam a proposta do discurso da contextualização de conceitos de Física em geral e vai de encontro às diversas aplicações das IAs como recurso tecnológico, especialmente na produção de materiais didáticos e na automação de práticas pedagógicas, além de proporcionar opções nas metodologias de avaliações e planejamentos didáticos.

Essa proposta pode expandir a discussão sobre a análise de legibilidade textual em tópicos de Física, especialmente em materiais didáticos utilizados no ensino, além de contribuir para aprimorar modelos de IA, tornando-os mais adequados ao público-alvo e às tarefas específicas.

Este estudo é pioneiro ao investigar a legibilidade através da ALT em tópicos de Física moderna produzidos por IA.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. C. M., DORES, J. L. R., Uso da inteligência artificial no ensino de física: potencialidades e desafios. *Caminhos da educação: diálogos culturas e diversidades*, v. 3, n. 14, p. 1-14, 2023.
- ANDRADE, M. M. *Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: Noções práticas*, 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- AMORIM, R., SANTOS, O., CRUZ, A. R., SANTOS, F. C. A inserção de conceitos de física moderna em sala de aula e as dificuldades encontradas por professores. *Scientific Electronic Archives*, v. 9, n. 1, p. 14-21, 2016.

BARROQUEIRO, C. H., AMARAL, L. H. O uso das Tecnologias da Informação e da Comunicação no processo de ensino-aprendizagem dos alunos nativos digitais nas aulas de Física e Matemática. *Rencima*, v. 2, n. 2, p. 123-143, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular (BNCC)*. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/base-nacional-comum-curricular-bncc>: Acesso em: 05 out., 2024.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática*. Ministério da Educação e do Desporto: Secretaria de Educação Fundamental. Brasília, 1997. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro03.pdf>. Acesso em: 05 out., 2024.

CITELLI, A. O. Espelhamentos: o GPT e a educação. *Comunicação & Educação*, v. 29, n. 1, p. 81-94, 2024.

FIGUEIRA, M. O ensino e a aprendizagem não cabem em algoritmos: relato docente sobre o fetiche da inteligência artificial. *Comunicação & Educação*, v. 29, n. 1, p. 111-125, 2024.

FERREIRA, H., JUNIOR, E. F. A., ESPINOSA-GARCIA, W., RODRIGUES, J. N. B., DALPIANTE, G. M. Introduzindo aprendizado de máquina em cursos de física: o caso dorolamento no plano inclinado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, n. 1, 2022.

GHURON, E., FONTES, D. T. M., RODRIGUES, A. M. Tópicos e tendências no ensino de física utilizando inteligência artificial *Revista De Enseñanza De La Física*, v. 35, n. extra, p. 167-173, 2023.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*, 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, T., FERRACIOLI, L. A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo. Artigos Gerais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, 2006.

JÚNIOR, R. C. G., NEIDE, I. G., MOREIRA, M. A. Atividades experimentais e computacionais no ensino de física: uma revisão da literatura, *RBECM*, v. 4, n. 1, p. 348-369, 2020.

KUHLMAN, D., *A python book: Beginning python, advanced python, and python exercises*. Lutz: Dave Kuhlman, 2009.

LOVATO, F. L., MICHELOTTI, A., LORETO, E. L. S., Metodologias Ativas De Aprendizagem: Uma Breve Revisão. *Acta Scientiae*, v. 20, n. 2, p. 154-171, 2018

MACHADO, D. I., NARDI, R., Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, v. 28, n. 4, 2006.

MAFFI, C., PREDIGER, T. L., FILHO, J. B. R., RAMOS, M. G., A contextualização na aprendizagem: percepções de docentes de Ciências E Matemática, *Revista Conhecimento Online*, v. 11, n. 2, p. 75-92, 2019.

MARTINS, M. G. *Análise da legibilidade de alguns textos nos livros didáticos de Português*. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Letras - Habilitação Português, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2024. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/items/39b9f7a7-da01-4026-aa46-99a0ad2f1ed5>>

MCLAUGHLIN, G. H. *Proposals for British readability measures. Third international reading symposium eds.* Brown and Downing. London: Cassell, 1968.

MOREIRA, M. A., *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo - SP, Livraria da Física, 2012.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. *Ensino de Ciências, Estudos Avançados*, v. 32, p. 73-80, 2018 32, (2018). Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>>

MOREIRA, M. A., Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, n. 2021.

MORENO, G. C. L., SOUZA, M. P. M., HEIN, N., HEIN, A. K., ALT: um software para análise de legibilidade de textos em Língua Portuguesa. *Policromias*, v. 8, n. 1, p. 91-128, 2023.

OLIVEIRA, R., SANZ, L., CHAVES, R., A network science viewpoint on the National Institute of Science and Technology of Quantum Information (INCT-IQ). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, n. 1, 2022.

OLIVEIRA, T. M., CASTRI, G., RICAURTE Q. P., Transformações sociotécnicas na Comunicação e Educação: do analógico ao digital. *Comunicação & Educação*, v. 29, n. 1, p. 9-24, 2024.

OPEN AI. *Introducing ChatGPT*, [On-line]. 2022. Disponível em: <<https://openai.com/index/chatgpt/>>. Acesso em 20 ago 24.

PICÃO, F. F., GOMES, L. F., ALVES, L., BARPI, LUCCHETI, T. A., Inteligência artificial e educação: como a ia está mudando a maneira como aprendemos e ensinamos. *Revista Amor Mundi*, v. 4, n. 5, p. 197-201, 2023.

PSZYBYLSKI, R. F., MOTTA, M. S., KALINKE, M. A., Uma revisão sistemática sobre as pesquisas realizadas em programas de mestrado profissional que versam sobre a utilização de smartphones no ensino de Física. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física*, v. 37, n. 2. p. 406-427, 2020.

SANTOS, E. B., JÚNIOR, M. A. C., ARAÚJO, D. S., ABREU, T. M. DIAS, R. A., Construção de um dispositivo para obtenção da impedância elétrica de sistemas utilizando Arduinos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, n. 1, 2022.

SCHLEDER, G. R., FAZZIO, A., Machine Learning in Physics, Chemistry, and Materials Science: Materials Discovery and Design. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, n. 1, 2021.

SETLIK, J., HIGA, I. Leitura e produção escrita no ensino de física como meio de produção de conhecimentos. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 9, n. 3, p. 83-95, 2014.

SOUZA, M. P. M., MORENO, G. C. L., HEIN, N., KROENKE, N., ALT - *Análise de Legibilidade Textual*. Disponível em: <<https://legibilidade.com/>>. Acesso em 05/10/2024 [Online].

VALENTE, J. A., FREIRE, F. M. P., ARANTES, F. L., *Tecnologia e Educação: passado, presente e o que está por vir*. Campinas - SP, NIED/UNICAMP, 2018. Disponível em: <<https://www.nied.unicamp.br/wp-content/uploads/2018/11/Livro-NIED-2018-final.pdf>>.

VERONEZ, D., LUNKES, M., MUCHESKI, F., VIZZOTTO, L., A utilização das TICs no Ensino de Física para trabalhar conceitos de MRU e MRUV. *Revista Ensino & Pesquisa*, v. 13, n. 1, p. 152-165, 2015.
