



DISSOLVENDO O PARADOXO ENTRE CIÊNCIA E SEU ENSINO: A PRAGMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO COMO ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS.

Clair de Luma Capiberibe Nunes¹
Wellington Pereira de Queirós²

Recibido 29/09/2023 | Aceptado 14/05/2024
DOI: <https://doi.org/10.15366/didacticas2024.30.005>

RESUMO

O ensino de ciências frequentemente apresenta um paradoxo: apesar da ciência ser uma atividade dinâmica e polêmica, seu ensino muitas vezes permanece estático e dogmático. Para abordar essa discrepância, propomos uma estratégia educacional que incorpora os quatro momentos fundamentais da pragmática da investigação, onde o argumento de autoridade desempenha o papel crucial de uma hipótese a ser explorada. Através da aplicação dessa abordagem, examinamos uma declaração de Einstein sobre a relação massa-energia. Nossa análise revela que a abordagem tradicional muitas vezes induz crenças científicas em afirmações que podem conter equívocos. Em contraste, nossa metodologia não só identifica tais equívocos, mas também promove a construção de conhecimento científico substancial. Isso se alinha com o objetivo maior de inserir a dimensão dinâmica e polêmica da ciência no contexto do ensino de física, contribuindo assim para a resolução desse paradoxo.

ABSTRACT

Science education often presents a paradox: despite science being a dynamic and controversial activity, its teaching often remains static and dogmatic. To address this discrepancy, we propose an educational strategy that incorporates the four fundamental moments of pragmatic investigation, where the argument from authority plays the crucial role of a hypothesis to be explored. Through the application of this approach, we examine a statement by Einstein regarding the mass-energy relationship. Our analysis reveals that the traditional approach often fosters scientific beliefs in statements that may contain inaccuracies. In contrast, our methodology not only identifies such inaccuracies but also promotes the construction of substantial scientific knowledge. This aligns with the larger goal of introducing the dynamic and controversial dimension of science into the context of physics education, thus contributing to the resolution of this paradox.

1. Clair de Luma Capiberibe Nunes, ORCID 0000-0002-6536-3131, PPEC-UFMS clair.capiberibe@ufms.br

2. Wellington Pereira de Queirós, 0000-0002-9734-7136, PPEC-UFMS wellington.queirós@ufms.br

PALAVRAS-CHAVE:

Ensino de Ciências, Teoria da Relatividade Especial, Argumento de Autoridade, Investigação Científica.

KEYWORDS:

Science Teaching, Special Theory of Relativity, Argument from Authority, Scientific Investigation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o prêmio Nobel em Física e educador científico, Carl Wiemann, o ensino de ciências norte-americano é pior do que ineficaz, é anticientífico (Mervis, 2013). E de acordo com Moreira e Massoni (2016) o mesmo se aplica ao ensino de ciências brasileiro. Essa situação não é nova, Japiassu (1999), já havia constatado que o um paradoxo, porque enquanto a ciência em vias de fazer-se (ciência-processo) é uma atividade que faz da polêmica o seu método (Bachelard, 1996), funda-se em bases instáveis (Popper, 1968, 1975, 1980) e se caracteriza pela busca da verdade (Peirce, 1958; Popper, 1968, 1975, 1980), ainda que jamais poderá afirmar tê-la encontrado (Popper, 1968, 1975, 1980, Bachelard, 1996; Kuhn, 2001; Fleck, 2010), a ciência escolar (ciência-disciplina), "(...) é ensinada e recebida, pelos alunos, como a detentora de um magistério apodítico e incontestável: da racionalidade, da objetividade, da exatidão e da eficácia. Estabelece as fronteiras entre o real e o ilusório, entre o verdadeiro e o falso, entre o normal e o patológico" (Japiassu, 1999, p. 10).

Assim, enquanto na ciência-processo, "(...) mais do que em qualquer área, os argumentos de autoridade não têm (ou não devem ter) valor comprobatório" (Freire-Maia, 1998, p. 96), na ciência-disciplina "(...) os alunos aceitam a disciplina que lhes é ministrada na base da autoridade dos seus professores e dos livros em que estudam" (Freire-Maia, 1998, p. 17). Em síntese "enquanto a ciência-pesquisa claramente representa algo de inacabado, sempre em fase de ampliação e retificação, a ciência-disciplina, com o fim de se facilitar sua didática, é, muitas vezes, ministrada de forma dogmática, isto é, com características opostas às de sua fonte." (Freire-Maia, 1998, p. 17). Eis o paradoxo entre a ciência e o seu ensino.

Como se explica essa distorção da representação escolar da ciência? Pela convergência de vários fatores. Enfatizo o do ensino por desempenhar um papel privilegiado na comunicação dos saberes. Ele contribui para que a ciência

exerça, em relação aos alunos, uma função dogmática inexistente no interior da comunidade científica. Surge o problema: como pode o ensino das ciências ser recebido dogmaticamente se o próprio discurso das ciências tem um caráter provisório e aproximativo, posto que encontra-se fundado num método cujo objetivo é justamente torná-lo verdadeiro ou verificá-lo? Ora, tal método, ao ensino de ciências encerra mesmo tempo verificante e relativizante. só é conhecido, em sua plenitude, por aqueles que fazem a ciência. Enquanto prática, não pertence à ordem do discurso. E o ensino se situa no nível discursivo. Nessas condições, se o discurso científico é transmitido ou ensinado divorciado de sua prática concreta. só pode ser feito ocupando-se parte de sua verdade. Onde a informação sobre as ciências impor-se como objeto de crença: é aceita sob a forma de argumentos de autoridade. Assim, crer na ciência, para o aluno, passa a significar: a) adotar uma atitude de fé e confiança em suas verdades, pois quase sempre ela aparece como um conjunto de teorias, de leis e de tecnologias capazes de resolver os problemas dos indivíduos e da sociedade; b) adotar uma atitude de confiança cega em seu dinamismo (sem espírito crítico), como se ela fosse capaz de tudo explicar; c) adotar uma atitude atribuindo um valor absoluto às suas verdades, como se não fossem um produto da história. (Japiassu, 1999, p. 10-11).

Por essa razão, o ensino tradicional de ciências, ao favorecer o raciocínio mecânico, muitas vezes suprime o desenvolvimento do pensamento crítico. Nesse contexto, observa-se uma modalidade educacional que propicia a aquisição de Crença Científica, em contraposição ao genuíno Conhecimento Científico.

Há uma importante distinção entre conhecimento científico e crença científica. Ter conhecimento científico sobre um assunto significa conhecer os resultados científicos, aceitar esse conhecimento e ter o direito de aceitá-lo, conhecendo de fato (não através de invenções pseudo-históricas) como esse conhecimento é

justificado e fundamentado. Crença científica, por outro lado, corresponde ao conhecimento apenas dos resultados científicos e sua aceitação baseada na crença na autoridade do professor ou do “cientista”. A fé científica é simplesmente um tipo moderno de superstição. É muito mais fácil adquiri-la que o conhecimento científico – mas não tem o mesmo valor. (Martins, 2006, p. xxvi).

Uma tentativa de mitigar essa discrepância entre a ciência-processo e a ciência-disciplina é a inclusão de tópicos da história da ciência. Apesar de considerarmos a história da ciência uma dimensão essencial no ensino de ciências, ela ainda permanece principalmente no âmbito discursivo. Portanto, em nossa visão, a superação dessa dicotomia requer uma reconexão do ensino de ciências com a *dimensão prática (pragmática)* que caracteriza a ciência-processo.

Mas o que exatamente é essa dimensão prática que, conforme Japiassu (1999), *verifica e relativiza*? Como ela perpassa as diversas disciplinas científicas com sua multi-plexidade metodológica e ontológica? Nossa compreensão, em consonância com Dutra (2022), Habermas (2014), Chalmers (1994) e Peirce (1958), é que essa dimensão prática inerente à atividade científica é a investigação orientada por objetivos. Portanto, incorporar a dimensão prática ao ensino de ciências é efetivamente incorporar uma abordagem investigativa, resultando na emergência de uma modalidade educacional inovadora: o ensino por investigação (Munford, Lima, 2007; Sasseron, 2015; Gómez-Martínez, Carvalho, Sasseron, 2015).

Nessa modalidade, destaca-se a análise e uso de argumentos (Munford, Lima, 2007; Sasseron, 2015; Gómez-Martínez, Carvalho, Sasseron, 2015), uma vez que na ciência-processo, a comunicação e discussão dos resultados constituem componentes elementares (Freire-Maia, 1998; Kuhn, 2001; Fleck, 2010; Dutra, 2022). Por esse motivo, este ensaio tem como objetivo estabelecer a Pragmática da Investi-

gação como uma metodologia para o ensino de ciências, na qual os argumentos de autoridade desempenham o papel de hipóteses a serem verificadas ou refutadas.

Portanto, nossa pesquisa, enquanto contribuição para o domínio investigativo das ciências, também se insere na esfera argumentativa. No entanto, nossa atenção não recai sobre a produção discursiva dos estudantes, mas sim sobre a produção discursiva dos especialistas e dos materiais didáticos – em outras palavras, os argumentos de autoridade. Esse é o elemento que possibilita uma simetria entre a ciência-processo e a ciência-disciplina. Tanto essa hipótese, que sustenta a utilização do Argumento de Autoridade, quanto aquela que propõe a integração da Pragmática da Investigação no Ensino de Ciências serão fundamentadas na seção I, ancoradas no conceito de Semelhanças de Família delineado por Wittgenstein (1984).

Quanto à incorporação da Pragmática da Investigação, tema central da Seção II, utilizaremos como referencial teórico e metodológico o capítulo *“Averiguar – Uma análise da pragmática da investigação”* da obra *“Verdade e Investigação”* de Dutra (2022). Nesse sentido, adaptaremos os quatro momentos da Pragmática da Investigação para a análise de argumentos de autoridade literais no contexto da educação científica. É relevante ressaltar que nossa abordagem não se limita à mera reprodução das ideias de Dutra (2022), mas busca aprimorar e ajustar tais conceitos, com o intuito de criar interfaces entre o ensino de ciências, a história e a filosofia das ciências.

Finalmente, na seção III, aplicamos nossa abordagem no contexto da educação superior, focando na tão discutida Relação Massa-Energia Relativística, frequentemente atribuída a Einstein como sua “descoberta” ou “criação”. Nesse sentido, analisaremos uma afirmação de Einstein que aborda o significado dessa relação. Mostraremos que, apesar

de Einstein ser uma autoridade incontestável nesse âmbito, sua declaração não está isenta de imprecisões. Esse exame reforçará ainda mais a pertinência de nossa abordagem, destacando sua vantagem comparativa em relação ao ensino tradicional.

Este artigo oferece uma contribuição significativa tanto para o ensino de ciências quanto para a epistemologia contemporânea e a análise argumentativa. Ao estreitar a ligação entre ciência-disciplina e ciência-processo, não apenas avançamos na educação científica, mas também abrimos caminho para corrigir equívocos e aprimorar habilidades críticas. Essas capacidades são cruciais para enfrentar os desafios da era da pós-verdade, evitando os extremos do cientificismo e do relativismo.

2. JUSTIFICANDO AS HIPÓTESES ATRAVÉS DAS SEMELHANÇAS DE FAMÍLIA DAS CIÊNCIAS-PROCESSO

Na introdução, discutimos o paradoxo encerrado pelo ensino tradicional de ciências: a ciência, uma atividade polêmica e dinâmica “é ensinada e recebida, pelos alunos, como a detentora de um magistério apodítico e incontestável: da racionalidade, da objetividade, da exatidão e da eficácia. Estabelece as fronteiras entre o real e o ilusório, entre o verdadeiro e o falso, entre o normal e o patológico” (Japiassu, 1999, p. 10). Dito de outra forma, no ensino tradicional, os princípios são apresentados como “verdades”, que são justificados a partir argumentos de autoridade.

Ainda nesta Introdução, lançamos duas hipóteses como possíveis soluções para o paradoxo apresentado: (1) a inclusão de uma dimensão investigativa pragmática na ciência-disciplina e (2) a análise dos argumentos de autoridade como base de pesquisa. No entanto, é necessário justificar essas proposições, o que fare-

mos ao explorar o conceito de “Semelhanças de Família” da filosofia de Wittgenstein.

Ambas as hipóteses são sustentadas pela premissa de que é crucial identificar conjuntos de propriedades que permeiem as diversas disciplinas científicas., sejam elas relacionadas às ciências naturais ou às ciências humanas. Não se trata de seguir o caminho dos positivistas em busca de uma essência comum, como um Método Científico Universal, uma vez que tal abordagem demonstrou ser insustentável (Alves, 1991; Moreira, Os-termann, 1993; Chalmers, 1993, 1994; Mccomas, 1996; Gil-Perez et al, 2001; Silveira, Ostermann. 2002; Martins, 2006; Moreira, Massoni, 2016). O objetivo é encontrar o que Wittgenstein (1984) denomina de “Semelhança de Família”¹, que consiste em “(...) uma rede complicada de semelhanças, que se envolvem e se cruzam mutuamente. Semelhanças de conjunto e de pormenor” (Wittgenstein, 1984, p. 39, § 66). Portanto, no que diz respeito à identificação da “Semelhança de Família” em um conjunto de “jogos”, o processo envolve:

Ver o algo comum. Suponha que eu mostre a alguém diferentes quadros coloridos e diga: “A cor que você vê em todos chama-se ocre”. Esta é uma elucidação que é compreendida enquanto o outro procura e vê o que é comum àqueles quadros. Pode então olhar para o algo comum, apontar para ele. Compare o exemplo anterior com este: eu lhe mostro figuras de formas diferentes, todas pintadas da mesma cor e digo: “O que elas têm em comum chama-se ‘ocre”. E compare ainda com este: mostro-lhe modelos de diferentes matizes de azul e digo: “A cor que é comum a todos chamo de ‘azul”.

Assim, quando observamos as diferentes disciplinas científicas em seus processos, o que elas

¹ O termo “Semelhança de Família” é apropriado porque “(...) pois assim se envolvem e se cruzam as diferentes semelhanças que existem entre os membros de uma família: estatura, traços fisionômicos, cor dos olhos, o andar, o temperamento, etc., etc.” (Wittgenstein, 1984, p. 39, § 67).

compartilham, apesar de suas características distintas? Não são seus métodos (Alves, 1991; Chalmers, 1993, 1994; Fourez, 1995; McComas, 1996; Gil-Perez et al, 2001; Martins, 2006; Bagdonas, Silva, 2013) e tampouco seus objetos de estudo. Em consonância com Dutra (2022), afirmamos que a “Semelhança de Família” que une todas essas diversos “jogos” que chamamos de Ciência é a sua dimensão pragmática investigativa. Portanto, a fim de estreitar a relação entre a ciência-disciplina e a ciência-processo, é imperativo incorporar no ensino de ciências uma dimensão pragmática investigativa. Dessa forma, para estreitar a ligação entre a ciência-disciplina e a ciência-processo, é essencial integrar uma dimensão pragmática investigativa no ensino de ciências. Portanto, a primeira hipótese encontra sua justificação.

Neste ponto, voltemos nossa atenção para o escopo das ciências. Novamente, a noção de “Semelhanças de Família” revela sua utilidade. Ao explorarmos as listas de áreas e disciplinas de pesquisa estabelecidas por órgãos de fomento à pesquisa, deparamo-nos com certos agrupamentos. Por exemplo, de acordo com a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), na área de Ciências Exatas e da Terra, encontramos disciplinas como *Física, Probabilidade e Estatística, Química, Geociências, Matemática, Astronomia, Ciência da Computação e Oceanografia*. Embora cada disciplina possua seus próprios objetos de estudo distintos, a formação de tal agrupamento não é mero acaso. Ainda que seus objetos careçam de uma essência compartilhada, eles demonstram uma Semelhança de Família. Nossa busca é direcionada a descobrir essa Semelhança de Família que transcende pelas diversas Ciências, enquanto áreas de pesquisa.

Em um estudo recente, conduzido por Maia (2015), através de um diálogo fundamentado em Wittgenstein, Flusser, Fleck, Derrida e Barthes, o pesquisador propõe uma perspectiva intrigante: os fenômenos que comumente rotulamos como “naturais” são, na verdade,

textos, embora não literais. Isso adiciona novas nuances à máxima “tudo é texto”, uma vez que, sob a lente de Maia (2015), essa afirmação passa a abranger tanto textos literais quanto não literais. Em outras palavras, os fenômenos que se referem tanto ao domínio natural quanto ao cultural compartilham uma Semelhança de Família, que é a sua natureza textual, embora se diferenciem na medida da sua literalidade.

Argumentamos que dentro dessa textualidade, um grau mais preciso de Semelhança de Família partilhada por todas as ciências é o Argumento de Autoridade. Nas ciências naturais, os fenômenos se impõem ao pesquisador. Tanto que as concepções ingênuas sobre ciência argumentam que “contra fatos não há argumentos”, tamanho é o poder dessa imposição. No entanto, atualmente compreendemos que a ciência se constrói por meio da polêmica, todo conhecimento é mediado, nada é dado, tudo é construído (Bachelard, 1996; Wittgenstein, 1984; Fourez, 1995; Condé, 2004). Portanto, o objeto de interesse do pesquisador nas ciências naturais sempre se manifesta como *um argumento de autoridade não literal*². Por essa razão, a investigação científica, em sua totalidade, é uma análise discursiva e argumentativa não literal, cuja síntese resulta na produção de argumentos e formas discursivas literais.

No âmbito do ensino de ciências, como discutido anteriormente, a base tem sido principalmente composta por argumentos de autoridade literais, sejam eles originados de educadores, manuais didáticos, publicações científicas ou outras fontes nas quais confiamos. Por conseguinte, constatamos que ambas as abordagens compartilham a análise argumentativa dos argumentos de autoridade como uma Semelhança de Família. Portanto, com base nesse entendimento, consideramos plenamente justificada a nossa segunda hi-

2 Trata-se de um insight adquirido tanto por Wittgenstein (1984), que ao discutir os Jogos de Linguagem e a Gramática, vai além da mera textualidade literal, quanto por Barthes (2001) e Peirce (2010), que fundamentaram o campo que agora conhecemos como semiótica.

pó-tese: a análise dos argumentos de autoridade é uma condição essencial para a prática científica, seja no contexto da ciência-processo ou da ciência-disciplina.

Ao seguir essa linha de raciocínio, percebemos que tanto a ciência-processo quanto a ciência-disciplina têm suas bases ancoradas nos Argumentos de Autoridade. Essa identificação nos leva a compreender uma das razões subjacentes ao distanciamento entre essas duas vertentes. Enquanto a ciência-processo reconhece que os fatos são conquistados pela negação do saber imediato (Bachelard, 1996), a ciência-disciplina ainda permanece em um estágio ingênuo, sem a adequada mediação da informação.

O aspecto dialético que a ciência-processo incorporou é justamente a Pragmática da Investigação. É essa dimensão que justifica a necessidade de inserir a Pragmática da Investigação no Ensino de Ciências, como uma forma de resolver o paradoxo em questão. Na próxima seção, apresentaremos nossa abordagem sobre como efetuar essa inserção da Pragmática da Investigação na ciência-disciplina.

3. PRAGMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO DA CIÊNCIA-DISCIPLINA

Ao fornecer justificativas para as nossas duas hipóteses, estamos agora preparados para avançar para a próxima etapa de nosso ensaio: a incorporação da *Pragmática da Investigação no contexto do Ensino de Física*. Conforme indicamos na *Introdução*, utilizaremos como base teórica e metodológica o capítulo *Averiguar - Uma análise da pragmática da investigação* de Dutra (2022).

Inicialmente, é importante ressaltar a distinção entre a Pragmática da Investigação e a chamada Epistemologia Tradicional. Vamos examinar alguns exemplos que desempenharão um pa-

pel crucial em nossas investigações. O conceito controverso de “Verdade”, que na Epistemologia Tradicional é tratado como absoluto e está associado a teorias de Correspondência por Congruência, como aquelas propostas por Russell ou pelo primeiro Wittgenstein, assume na Pragmática uma característica diferente. A “Verdade” aqui é sempre provisória e está relacionada à situação em que, diante das evidências disponíveis, um acordo entre sujeitos racionais se torna inevitável. Essa “Verdade Pragmática”, conforme sugerido por Da Costa (2018, p. 140), é também denominada de “Quase-Verdade”, e sua definição formal pode ser expressa da seguinte maneira:

(...) a sentença S é pragmaticamente verdadeira, ou quase-verdadeira, em um domínio do saber D, se, dentro de certos limites, S salva as aparências em D ou, em D, tudo se passa como se ela fosse verdadeira segundo a teoria da correspondência. Em determinadas circunstâncias, S é quase-verdadeira simplesmente porque S é verdadeira correspondentemente falando; isto se passa, v.g., quando S é sentença observacional (Estou com calor, Vejo uma cruz amarela, O termômetro indica 37 graus Celsius) (Da Costa, 2018, p. 140-141).

Por essa razão, quando a expressão “verificar” está relacionada a um domínio específico do saber D, ela retoma seu significado original na Pragmática: “*tornar algo verdadeiro*”. Isso se deve ao fato de que “uma boa teoria em D, devidamente corroborada e resistente à quase-falsificação é, foi e será eternamente quase-verdadeira em D” (Da Costa, 2018, p. 173). Além disso, enquanto na teoria tradicional do conhecimento, o “conhecimento” é definido como uma crença verdadeira justificada, na perspectiva pragmática, o conhecimento é definido como uma hipótese ou “(...) crença em processo de averiguação, isto é, a própria investigação” (Dutra, 2022, p. 184). Note-se que essa definição de conhecimento está em consonância com as reflexões de Martins (2006) *sobre crença científica e conhecimento científica*.

Finalmente, é essencial ressaltar que no ensino guiado pela Pragmática da Investigação, os alunos devem adotar uma abordagem ativa como pesquisadores. Eles não devem considerar as *proposições*³ dos argumentos de autoridade como verdades, mas sim como “*fenômenos*” em potencial, candidatos a quase-verdades. Esses “*fenômenos*” são então sintetizados em conhecimento científico através de um processo de *verificação* relacionada a um domínio específico do saber D.

Quanto a estrutura da *Investigação*, seguiremos a prescrição de Dutra (2022, p. 185) que a divide em quatro momentos:

1. A colocação de um problema;
2. A elaboração de uma hipótese, visando solucionar o problema;
3. A constituição de uma base de dados, com a qual a hipótese vai ser comparada;
4. A constatação do acordo entre a hipótese e a base de dados, a averiguação propriamente dita.

A seguir, abordaremos de forma sucinta cada um desses quatro momentos. Vale ressaltar que, para ajustar essa estrutura ao contexto do ensino de física e, de modo específico, com o objetivo de estabelecer conexões entre esse campo e tópicos de História e Filosofia da Ciência, apresentaremos algumas sugestões e, quando necessário, realizaremos adaptações. O primeiro momento diz respeito à formulação de um problema, cujo nome por si só é autoexplicativo. No contexto do ensino, para aprimorar ainda mais a clareza do que desejamos avaliar, consideramos relevante incluir a definição da Gramática, isto é, a des-crição do quadro de referência e suas regras (lógica). Este processo será realizado em duas etapas subsidiárias.

³ O sentido que atribuímos a proposição é aquele proposto por Rusell (1956, p. 186): “uma sentença no indicativo” e portadora de verdade.

A primeira etapa envolve a identificação da Disciplina. Isso significa localizar qual é a Linguagem-Objeto e qual Gramática Superficial (sintaxe e semântica consideradas como padrão) a ela se aplica. Já a segunda etapa consiste em estabelecer uma Meta-teoria para analisar a Linguagem-Objeto. Essa Meta-teoria pode abranger elementos filosóficos, axiológicos, metodológicos, sociológicos, entre outros. A sua escolha deve ser realizada com cautela, uma vez que algumas Meta-Teorias demonstraram ser insustentáveis. Um exemplo disso é o caso do falsificacionismo popperiano, que se provou inadequado em diversos aspectos (Martins 1986; Chalmers, 1993; Da Costa, 2018). Esse *momento pragmático*, juntamente com as suas duas subetapas, pode ser correlacionado com o *primeiro momento pedagógico*, denominado “problematização inicial”, conforme proposto por Delizoicov e Angotti (1990, p. 29):

São apresentadas questões e/ou situações para discussão com os alunos. Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a pro-blematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. Por um lado, o aluno já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto da sua aprendizagem anterior na escola ou fora dela. As noções poderão ou não estar de acordo com as teorias e as explicações da Física, representando o que se tem chamado de “concepções alternativas” ou “conceitos espontâneos” dos alunos. A discussão problematizada pode permitir que essas concepções emergam. Por outro lado, a problematização poderá permitir que o aluno sinta necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém; ou seja, a situação ou questão se configura para ele como um problema para ser resolvido. Daí a importância de se problematizarem questões e situações.

Já para o *segundo momento da Pragmática (a elaboração de uma hipótese para resolver o problema)* Dentro do contexto educacional, recomendamos que esse momento seja desdobrado em três etapas subsidiárias: (a) seleção do Argumento de Autoridade Literal (a hipótese a ser verificada); (b) isolamento das proposições (portadoras de verdade) do Argumento para fins de verificação; (c) determinação da data em que o Argumento foi enunciado. Essa última etapa assume importância, uma vez que é possível que, no momento em que o argumento foi apresentado, as evidências o sustentavam. Somente com a ampliação da informação sua validade foi restrita. Em outras palavras, nesse cenário, o argumento continuará sendo quase-verdadeiro no Domínio D em que foi originalmente proferido.

No que concerne às fontes a serem utilizadas para selecionar o argumento de autoridade, não há restrições rígidas. No entanto, sugere-se que a declaração provenha de uma fonte respeitável no campo disciplinar correspondente e não tenha a intenção de induzir ao erro (Epstein, Carnielli, 2017). Além disso, como um exercício de investigação, o educador pode optar por fontes consideradas “duvidosas” ou até mesmo antiautoridades, a fim de contestar informações falsas (*fake news*).

O terceiro momento pragmático, que abrange a construção de uma base de dados para comparação com a hipótese, é autoexplicativo, assim como o primeiro momento. É importante destacar que essa base de dados deve estar em conformidade com a Gramática, Linguagem Objeto (Conteúdo Cognitivo) e a Metalinguagem (Conteúdo Meta-Cognitivo) definida no primeiro momento. Por essa razão, esse estágio pragmático apresenta uma abordagem semelhante ao segundo estágio pedagógico proposto por Delizoicov e Angotti (1990).

Além disso, a investigação deve levar em conta tanto a sincronicidade quanto a diacronicidade

de histórica⁴. Isso implica em determinar tanto a base de dados disponível no momento da enunciação quanto a base de dados contemporânea. Por esse motivo, deve-se usar fontes históricas confiáveis, elaboradas por historiadores da ciência, a fim de evitar distorções e anacronismos conceituais (Kragh, 2001; Martins, 2006).

O quarto e último estágio da Pragmática da Investigação apresenta semelhanças com o terceiro estágio pedagógico proposto por Delizoicov e Angotti (1990), já que é neste momento que ocorre a averiguação, ou seja, a aplicação do conhecimento produzido no terceiro estágio pragmático. Nesse processo, duas questões devem ser abordadas de acordo com a Gramática da linguagem objeto e com a Meta-teoria escolhida para análise:

a) No momento em que o argumento foi enunciado, ele estava em acordo com as evidências disponíveis? (Aspecto Diacrônico)

b) Com o acúmulo de informações ao longo do tempo, o argumento continua válido (o acordo permanece)? (Aspecto Sincrônico)

Essas duas perguntas são justificadas, pois o nosso foco reside não na busca pela Verdade absoluta, mas sim na busca pela Quase-Verdade. Como decorrência desse conceito, percebemos que “não existe falsificação, isto sim, pelo simples motivo de que uma boa teoria não se falsifica propriamente, mas apenas se restringe, quando necessário, o seu domínio de aplicação” (Da Costa, 2018, p. 173). Em outras palavras, no contexto da nossa investigação pragmática, estamos delineando o Domínio onde esse conhecimento é verificado ou infirmado.

4 “Oriundos da linguística, os termos diacrônico e sincrônico passam a designar, na filosofia, os dois modos de apreensão de um objeto de conhecimento em função do tempo. Assim, dado um acontecimento, podemos relacioná-lo, seja com os acontecimentos conexos que lhe são contemporâneos (estudo sincrônico), seja com os acontecimentos dos quais é o produto ou, em certos momentos, a causa (estudo diacrônico).” (Japiassu, Marcondes, 2008, p. 73). Para mais detalhes, veja Kragh (2001).

Também recomendamos que ao concluir o processo de averiguação, seja registrado o registro da data. Nossa investigação não busca alcançar um caráter universal, já que tal universalidade muitas vezes se mostra como uma simplificação injustificada. Se a investigação foi conduzida de maneira rigorosa, levando em consideração o máximo de evidências disponíveis, os resultados obtidos serão quase-verdadei-

ros no Domínio D correspondente. Esse Domínio abarca tanto a Linguagem-Objeto quanto a Meta-Teoria esco-lhida, bem como a totalidade das evidências disponíveis durante o período de investigação. Em resumo, o resultado da nossa Investigação Pragmática pode ser comparado a uma fotografia, cuja qualidade depende da solidez da pesquisa realizada.

Tabela 1 - Quatro Momentos da Pragmática da Investigação

No.	Momento		Descrição
1	Colocação do Problema		Esta etapa está intrinsecamente ligada ao tópico que selecionamos para análise e a questão que buscamos elucidar
	Gramática		Descrição do quadro de referência e suas regras (lógica)
	A	Disciplina	Definição da Linguagem-Objeto e sua Gramática Superficial
	B	Metalingua-gem	Estabelecimento da Meta-Teoria de análise da Linguagem Objeto
	Elaboração de uma hipótese para solucionar o problema		A nossa investigação terá como objetivo a avaliação cognitiva de um argumento de autoridade. As proposições contidas nesse argumento funcionam como hipóteses que pretendemos examinar, buscando estabelecer concordâncias ou discordâncias. É por essa razão que essa fase da investigação se desenvolve essencialmente em duas etapas distintas.
2	A	Escolha do Argumento de Autoridade	Dado que o argumento de autoridade desempenha o papel de nossa hipótese, buscamos na literatura por investigações relacionadas ao nosso objeto de estudo. É importante notar que as proposições do argumento não são consideradas como verdades absolutas, mas sim como “fenômenos” a serem minuciosamente investigados.
	B	Proposições do Argumento	Envolve identificar os portadores (ou veículos) de informações sujeitas a análise, para que esses se tornem objetos do processo de verificação.
	C	Período	Data em que o argumento de autoridade foi enunciado.
3	Constituição da Base de Dados para comparação com a Hipótese		Os dados relevantes e os métodos para sua obtenção variam conforme o tipo de investigação que estamos realizando. Orientações fundamentais podem ser encontradas em manuais de metodologia científica (por exemplo, Eco, 2008; Severino, 2013). Independentemente da abordagem, a coleta de fontes históricas primárias e secundárias relacionadas à gênese e desenvolvimento de nosso objeto de interesse é uma condição necessária. Quanto a estas últimas, recomenda-se consultar periódicos acadêmicos especializados e bem-conceituados, assim como livros elaborados por autores experientes na área. Recomenda-se dividir a base de dados entre conteúdo cognitivo e conteúdo meta-cognitivo.

4	Constatação do Acordo entre a Hipótese e a Base de Dados Constatação do Acordo entre a Hipótese e a Base de Dados		A verificação corresponde ao processo de avaliar se existe concordância entre as hipóteses (ou seja, as proposições do argumento de autoridade) e as evidências disponíveis (os dados coletados). Dessa forma, o ato de verificação envolverá confrontar as proposições com as informações adquiridas na segunda etapa. Esse confronto deve abranger, obrigatoriamente, três dimensões: disciplinar, epistêmica e histórica.
	Avaliação Histórica		Análise tanto sincrônica quanto diacrônica das proposições à luz da Gramática Superficial da Linguagem-Objeto e da Meta-Teoria selecionada.
	A	Diacrônica	No momento em que o argumento foi enunciado, ele estava em acordo com as evidências disponíveis?
	B	Sincrônica	Com o acúmulo de informações ao longo do tempo, o argumento continua válido (o acordo permanece)?
	<<É importante enfatizar que os resultados obtidos nestas etapas ainda não constituem a “verdade pragmática (quase-verdade)”, mas sim a matéria-prima que utilizaremos para alcançá-la.>>		
Verificação (Acordo) Data (Dia/Mês/Ano)		Na perspectiva da pragmática da investigação, a verdade pragmática (ou quase-verdade) se manifesta como um acordo intersubjetivo entre os participantes, refletindo a correspondência (ou discrepância) entre as proposições e as evidências disponíveis (Dutra, 2022). A verdade pragmática (ou quase-verdade), sempre sujeita a revisões à luz de novas evidências, diz respeito às proposições que representam o consenso dentro dessa pequena comunidade epistêmica (educador e educandos).	

Fonte: Adaptado de Dutra (2022) e os Autores (2023).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos quatro momentos, suas etapas subsidiárias e suas características. Na próxima seção, vamos explorar como a Pragmática da Investigação pode ser aplicada no contexto do ensino superior, utilizando o estudo da relação massa-energia da Teoria da Relatividade Especial como exemplo.

4. PRAGMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO COMO METODOLOGIA DE ENSINO: UM EXEMPLO COM A RELAÇÃO MASSA-ENERGIA RELATIVÍSTICA

Nessa seção iremos exemplificar, de forma genérica, como a Pragmática da Investigação pode ser aplicada para o ensino da Relação Massa-Energia da Teoria da Relatividade

Especial. Seguindo as prescrições de Dutra (2022, p. 185), vamos categorizar esse assunto nos quatro momentos da investigação:

1. Colocação do problema: A Relação massa-energia, $E = mc^2$, é uma das implicações da Teoria da Relatividade Especial, embora também possa ser obtida por teorias não relativísticas (Ives, 1952; Fadner, 1989; Martins, 1989, 2005, 2015). Qual é o significado dessa relação?

2. Elaboração de uma hipótese para solucionar o problema: Albert Einstein (1879-1955), um dos marcos da memória da Teoria da Relatividade Especial e em particular da Relação Massa-Energia, forneceu explicações sobre esta equação que podem esclarecer seu significado.

2a. Escolha do argumento de autoridade:
De acordo com Einstein (c. 1948), um dos pesquisadores que contribuíram

para a formulação e interpretação da relação massa-energia, $E = mc^2$, podemos entender a equação da seguinte forma:

Segue da Teoria da Relatividade Especial que massa e energia são duas diferentes manifestações da mesma coisa - uma concepção um pouco incomum para a mente comum. Além disso, a equação $E = mc^2$, em que a energia é igual a massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz mostrou que quantidades muito pequenas de massa podem ser convertidas em uma quantidade muito grande de energia e vice-versa. A massa e energia são de fato equivalentes, de acordo com a fórmula mencionada anteriormente. Isso foi demonstrado por Cockcroft e Walton em 1932, experimentalmente.

2b. Proposições do argumento: A partir desta declaração de Albert Einstein, podemos derivar as seguintes afirmações:

- a. Massa e Energia são manifestações diferentes da mesma entidade (ou são equivalentes).
- b. Massa pode ser convertida em Energia e vice-versa.
- c. A relação Massa-Energia é uma lei geral válida para todos sistemas físicos.
- d. Esta equivalência foi comprovada experimentalmente em 1932 por Cockcroft e Walton.

Einstein é um especialista nessa área e não tem motivos para nos enganar, portanto, conforme a concepção tradicional de Argumento de Autoridade, podemos considerar as quatro afirmações como verdades, embora contingentes. Por outro lado, segundo o nosso critério pragmático de Argumento de Autoridade, essa declaração é considerada uma crença científica, ou seja, matéria-prima para a produção de

conhecimento científico. Para isso, é necessário iniciar um 'inquérito' ou um procedimento de averiguação. Esse procedimento envolve transformar as quatro afirmações de Einstein, em interrogações, ou seja, afirmações a serem investigadas.

- a. Massa e Energia são manifestações diferentes da mesma entidade (ou são equivalentes)?
- b. Massa pode ser convertida em Energia e vice-versa?
- c. A relação Massa-Energia é uma lei geral válida para todos sistemas físicos?
- d. Esta equivalência foi comprovada experimentalmente em 1932 por Cockcroft e Walton?

Nosso processo de investigação consiste em um estudo sistemático com consulta à literatura especializada para esclarecer essas quatro questões.

3. Constituição da Base de Dados para comparação com a Hipótese: Observa-se que as afirmações 1 a 3 referem-se ao conteúdo cognitivo da Relação Massa-Energia, enquanto a afirmação 4 é de natureza meta-cognitiva (epistemológica). Portanto, serão necessárias duas bases de dados distintas. No que diz respeito ao conteúdo cognitivo (histórico e conceitual), o corpus será composto pelas seguintes referências: Einstein (1907), Ives (1952), Fadner (1989), Martins (1989, 1998, 2005, 2012, 2015), Nunes & Queirós (2020) e Nunes, Queirós & Cunha (2022). Quanto ao corpus da base de dados meta-cognitivo, utilizaremos as seguintes referências: Hegenberg (1974), Nolt & Rohatyn (1991) e Japiassu & Marcondes (2008).

4. Constatação do Acordo entre a Hipótese e a Base de Dados: Essa etapa consiste na avaliação das quatro afirmações que destacamos no segundo momento, com base na base de

dados (terceiro momento). Inicialmente, é necessário identificar o campo disciplinar ao qual o argumento de autoridade pertence. No caso do nosso exemplo, o domínio da linguagem objeto é a Física, mais especificamente a a Relatividade Especial.

A dimensão epistêmica diz respeito à metalinguagem que escolhemos para avaliar a linguagem objeto. Optamos, neste caso, pelas

Epistemologias Contemporâneas, que englobam os elementos consensuais das Epistemologias de Duhem, Popper, Fleck, Wittgenstein, Kuhn, Quine, Lakatos, entre outros. No que diz respeito à dimensão histórica, a informação da página da AIP indica que esse trecho foi extraído de um filme de 1948, sugerindo uma proximidade temporal com essa data. A Tabela 2 apresenta um resumo dessas informações parciais.

Tabela 2 -Pragmática da Investigação da Relação Massa-Energia: preenchimento parcial.

No.	Momento		Descrição	
1	Colocação do Problema		Qual significado da relação massa-energia?	
	Gramática		Física Moderna	
	A	Disciplina	Teoria da Relatividade Especial	
	B	Metalinguagem	Epistemologias das Ciências Contemporâneas	
2	Elaboração de uma Hipótese, Visando Solucionar o Problema	A	Escolha do Argumento de Autoridade	“Segue da Teoria da Relatividade Especial que massa e energia são duas diferentes manifestações da mesma coisa - uma concepção um pouco incomum para a mente comum. Além disso, a equação $E = mc^2$, em que a energia é igual a massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz mostrou que quantidades muito pequenas de massa podem ser convertidas em uma quantidade muito grande de energia e vice-versa. A massa e energia são de fato equivalentes, de acordo com a fórmula mencionada anteriormente. Isso foi demonstrado por Cockcroft e Walton em 1932, experimentalmente.” (Einstein, [s.a.]).
		B	Destacar as Proposições	1. Massa e Energia são diferentes manifestações da mesma coisa (são equivalentes) 2. Massa pode ser convertida em Energia e vice-versa 3. A relação Massa-Energia é uma Lei Geral válida para quaisquer sistemas físicos 4. Esta equivalência foi provada experimentalmente, em 1932, por Cockcroft e Walton
		C	Período	c. 1948

3	Constituição da Base de Dados para comparação com a Hipótese	A	Conteúdo Cognitivo (Asserções 1-3)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einstein (1907) 2. Ives (1952), 3. Fadner (1989) 4. Martins (1989, 1998, 2005, 2012, 2015) 5. Nunes & Queirós (2020) 6. Nunes, Queirós & Cunha (2022)
		B	Conteúdo Meta-Cognitivo (Asserções 4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hegenberg (1974) 2. Nolt & Rohatyn (1991) 3. Japiassu & Marcondes (2008)
4	Constatação do Acordo entre a Hipótese e a Base de Dados	Verificação (DD/MM/AAA)	A ser realizada em cinco subseções	

Fonte: Autores (2023)

O processo de verificação será minuciosamente explorado em cinco subseções a seguir, das quais quatro serão focadas na verificação das proposições e uma se concentrará em determinar se houve concordância ou não. Posteriormente, procederemos ao preenchimento desta Tabela (cf. Tabela 3), consolidando o processo da Pragmática da Investição para o ensino da relação massa-energia relativística.

Massa e Energia são equivalentes e intercambiáveis?

À primeira vista, essas afirmações parecem plausíveis e não suscitam desconfi-ança. No entanto, trabalhos como os de Martins (1998, 2012) e, mais recentemente, Nunes & Queirós (2020) e Nunes, Queirós & Cunha (2022) demonstraram a insustentabilidade das alegações de que Massa e Energia são equivalentes ou que podem ser convertidas uma na outra. Além disso, Nunes & Queirós (2020) e Nunes, Queirós & Cunha (2022) apontaram como essa concepção inadequada está difundida em diversos livros técnicos, materiais de divulgação científica e até mesmo em livros didáticos de física aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Como esses estudos exploram detalhadamente essas questões específicas, não é necessário reproduzi-los aqui. Em

uma aplicação prática, tanto educadores quanto alunos devem realizar uma análise crítica e promover debates sobre esse material.

A relação massa-energia é uma lei geral?

Nesta subseção, demonstraremos, com base em Martins (2012), a insustentabilidade da declaração implícita de Einstein de que a relação massa-energia é uma lei geral. Curiosamente, Einstein estava ciente disso, como evidenciado por um problema relativístico apresentado por ele em 1907. Esse problema envolvia uma haste extensa submetida a forças de mesma intensidade e sentidos contrários (cf. Fig. 1), e ele constatou que essa era uma situação em que a aplicação da relação massa-energia não era possível (Martins 2012).

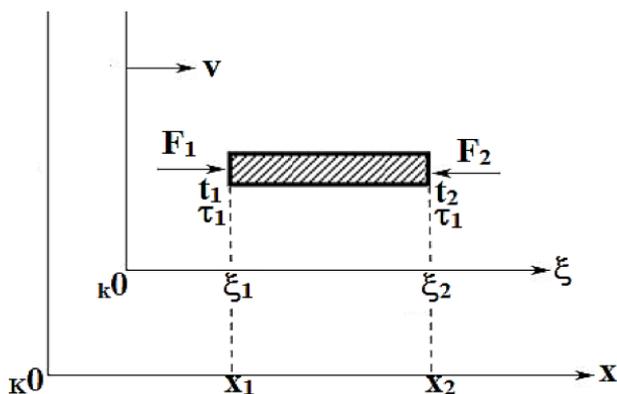
Vamos considerar uma haste rígida, paralela ao eixo x e em movimento retilíneo uniforme com velocidade v em relação a esse eixo. No referencial próprio, denominado k, a extremidade esquerda da barra coincide com a coordenada ξ_1 , enquanto a extremidade direita coincide com a coordenada ξ_2 . O comprimento total da barra no referencial próprio é L.

$$\Delta \xi = \xi_2 - \xi_1$$

Suponhamos que no instante τ_1 , duas forças, F_1 e F_2 , de mesma intensidade, mas em sentidos contrários, atuam simultaneamente nas extremidades da haste, segundo o referencial k . Essas forças se anulam mutuamente, resultando na ausência de aceleração ou mudança no momento da barra. No entanto, a perspectiva de um referencial K , descrito por um sistema de coordenadas (x, y, z) , onde a barra se desloca com velocidade v , revela que as forças não são aplicadas simultaneamente.

Para um observador nesse referencial, no instante T_1 , a força F_1 passa a atuar na extremidade esquerda da haste. Somente após um intervalo T , no instante T_2 , a força F_2 começa a atuar na extremidade direita. Do ponto de vista do referencial K , durante esse intervalo t ocorre uma transferência de momento da força F_1 para a haste. Apenas quando a força F_2 começa a atuar na extremidade direita é que ocorre a compensação das forças. No entanto, como a barra não acelera em relação ao referencial k , ela também não pode acelerar em relação a nenhum outro referencial inercial K . Portanto, o momento em K deve variar sem que a velocidade da haste seja alterada.

Fig. 1. Forças simultâneas no referencial próprio, não são para o referencial em movimento.



Fonte: Adaptado de Martins (2012, p. 140)

Através do cálculo diferencial, podemos demonstrar que se a massa do sistema sofrer uma variação, haverá uma mudança no momento, mesmo que a velocidade se mantenha constante.

$$\Delta p' = \Delta m' \cdot v$$

Portanto, para um observador no referencial K , essa mudança no momento será igual ao impulso aplicado pela força F_1 ao longo do intervalo Δt :

$$\Delta p' = \Delta m' \cdot v = F_1 \cdot \Delta t$$

Calculemos o valor de Δt usando a transformação do tempo:

$$\Delta t = \gamma \left(\Delta \tau + \Delta \xi \frac{v}{c^2} \right)$$

Considerando que no referencial k a aplicação das forças é simultânea, o intervalo de tempo entre elas é zero. Levando isso em consideração e substituindo o valor de $\Delta \xi$, a equação se simplifica para:

$$\Delta t = \gamma L \frac{v}{c^2}$$

Substituindo esse valor de Δt na equação do momento, obtemos:

$$\Delta p' = \Delta m' \cdot v = \gamma F_1 \cdot L \frac{v}{c^2}$$

Assim, para um observador em K , a massa da barra sofre um aumento igual a:

$$\Delta m' = \gamma \frac{F_1 \cdot L}{c^2}$$

Se considerarmos o limite da velocidade relativa entre os sistemas tendendo a zero, vemos que a variação de massa no referencial próprio não é zero, mas igual a:

$$\Delta m = \frac{F_1 \cdot L}{c^2}$$

Agora demonstraremos que esse aumento da inércia da barra não pode ser deduzido a par-

tir da relação massa-energia. Para isso, escrevamos a equação do trabalho em função da velocidade:

$$\Delta W' = F_1 \cdot v \cdot \Delta t$$

Ao substituir os valores de Δt , chegamos ao valor do trabalho realizado:

$$\Delta W' = \gamma F_1 \cdot L \frac{v^2}{c^2}$$

Se considerarmos que, para esse caso, a relação massa-energia é válida ($\Delta W' = \Delta m' c^2$), isolando a variação da massa, obtemos:

$$\Delta m' = \gamma F_1 \cdot L \frac{v^2}{c^4}$$

Essa equação difere da que obtivemos anteriormente. Se permitirmos que a velocidade relativa tenda a zero, a variação de massa também tenderá a zero, ao contrário da variação de massa deduzida anteriormente. “Portanto, a variação de massa que foi obtida *não é devida à transformação de energia em massa e não obedece a relação $E = mc^2$* ” (Martins, 2012, p. 142).

Também podemos demonstrar que essa inércia adicional não é devida à deformação da barra. Para isso, suponhamos que a barra sofra uma compressão no referencial próprio, resultando em uma variação de seu comprimento ΔL , tal que $\Delta L \ll L$, o que nos permite aplicar a Lei de Hooke: $\Delta L = kF$. No referencial próprio, o trabalho realizado pela compressão da barra será dado por:

$$\Delta W' = \frac{1}{2} k \cdot \Delta L^2$$

Usando a Lei de Hooke, podemos reescrever essa expressão da seguinte forma:

$$\Delta W' = \frac{1}{2} F \cdot \Delta L$$

Supondo que essa energia tenha contribuído para o aumento da massa da barra e que a re-

lação massa-energia seja válida, podemos expressar a equação acima da seguinte maneira:

$$\Delta m'' = \frac{\Delta W'}{c^2} = \frac{1}{2} \frac{F \cdot \Delta L}{c^2}$$

No entanto, devido à validade da Lei de Hooke nesse sistema, $\Delta L \ll L$.

$$\frac{1}{2} \frac{F \cdot \Delta L}{c^2} \ll \frac{1}{2} \frac{F \cdot L}{c^2} < \frac{F \cdot L}{c^2}$$

Por transitividade, deduzimos que:

$$\frac{1}{2} \frac{F \cdot \Delta L}{c^2} \ll \frac{F \cdot L}{c^2}$$

Portanto, concluímos que:

$$\Delta m'' \ll \Delta m$$

Isso prova que a variação de massa esperada pela relação massa-energia é muito menor do que a variação de massa efetiva da barra. Além disso, “note também que, quando a barra é *distendida*, a energia potencial elástica ainda é positiva, pois depende do quadrado da elongação. Portanto, essa energia potencial elástica nunca poderia levar a uma variação de massa negativa, como a que foi obtida para o caso da *distensão*.” (Martins, 2012, p. 143). Portanto, “novamente, concluímos que a variação de massa que foi obtida *não é devida à transformação de energia em massa e não obedece à relação $E = mc^2$* ” (Martins, 2012, p. 143).

Para estabelecermos as circunstâncias em que a relação massa-energia é válida para corpos extensos, é necessário calcular a norma do tensor momento-energia⁵. Portanto, devemos determinar as componentes desse tensor de primeira ordem, que incluem a energia e o momento adquiridos pela barra na perspectiva de K, bem como a energia de repouso. Utilizando os valores calculados anteriormente, temos (Martins, 2012, p. 130):

5 Também chamado de quadri vetor momento-energia.

$$p' = \gamma \left(m_o + F_1 \cdot L \frac{v}{c^2} \right) v, \quad E' = \gamma \left(E_o + F_1 \cdot L \frac{v^2}{c^2} \right), \quad E'_o = 0$$

Ao substituir esses valores na equação do invariante, obtemos:

$$0 = \left[\gamma \left(m_o + F_1 \cdot L \frac{v}{c^2} \right) v \right]^2 c^2 - \left[\gamma \left(E_o + F_1 \cdot L \frac{v^2}{c^2} \right) \right]^2$$

Essa igualdade é verdadeira somente se:

$$\left(m_o + F_1 \cdot L \frac{v}{c^2} \right)^2 v^2 c^2 = \left(E_o + F_1 \cdot L \frac{v^2}{c^2} \right)^2$$

Isso nos leva a concluir que só um caso específico de força satisfaz essa equação:

$$F_1 = \frac{1}{L} \frac{c^2}{v^2} \frac{|(m_o - E_o)|}{(c^2 - 1)}$$

Para entendermos o aumento de massa da barra, precisamos recorrer a uma relação mais abrangente, embora pouco conhecida: a relação massa-entalpia deduzida por Max Planck em 1907 no artigo “Zur Dynamik bewegter System”, discutida em detalhes por Martins (2012).

A experiência de Cockcroft-Walton provou a relação-massa energia?

Na subseção anterior, demonstramos, com base em um exemplo proposto pelo próprio Einstein, que a relação massa-energia não é uma lei geral válida para corpos ex-tensos. Portanto, a experiência de Cockcroft-Walton não poderia ter confirmado a validade da relação massa-energia. Na realidade, o que essa experiência evidenciou é que há uma concordância empírica satisfatória para átomos de lítio (partículas) bombardeados com prótons (outras partículas) em alta velocidade. Diante disso, não seria adequado reinter-pretar a afirmação de Einstein para afirmar que “a experiência de Cockcroft-Walton pro-vou que a relação massa-energia é válida para partículas” A resposta é negativa, princi-palmente devido às várias dificuldades envolvidas no processo de estabelecer provas posi-tivas (verificação):

Muitos são os problemas relacionados à ideia de verificação e ao verificacionismo. Ex: quando é que se pode realmente considerar uma verificação como conclusiva? Seria necessário verificar uma afirmação a cada momento em que esta é repetida? Nenhuma afirmação resultante da generalização indutiva poderia ser jamais verificada.” (Japiassu, Marcondes, 2008, p. 277).

No entanto, a objeção mais substancial reside no fato de que é logicamente inviável provar (verificar) uma declaração universal. Vamos examinar por que isso ocorre. Definimos um enunciado universal S sobre um objeto x como verificável se e somente se pudermos realizar uma série de operações empíricas C sobre x em qualquer instante t e identificar os fenômenos D que devem ocorrer com x nesse instante t para confirmar a veracidade de S (Hegenberg, 1974). Formalmente, isso é expresso da seguinte forma:

$$Sx \leftrightarrow \forall t (Cxt \rightarrow Dxt)$$

Caso estejamos interessados em conduzir medições, podemos utilizar uma formulação diádica:

$$Mxy \leftrightarrow \forall t (Bxyt \rightarrow Pxyt)$$

onde M é a medida de uma grandeza y de x , B é o predicado que indica como a medida da grandeza y de x deve ser realizada e P indica como a leitura da grandeza y de x deve ser feita através do aparelho. No entanto, apesar dos esforços dos Empiristas Lógicos, Carnap observou que o verificacionismo era insustentável, uma vez que tal método levava a anti-nomias (Hegenberg, 1974).

Para ilustrar esse ponto, consideremos um exemplo adaptado de Hegenberg (1974, p. 94-95). Introduziremos as sentenças “colocar em uma balança” e “verificar que o mostrador da balança indica um número específico” como termos claros da experiên-cia cotidiana. Em seguida, introduziremos os predicados:

$$\begin{cases} Bxt \doteq x \text{ está na balança no instante } t \\ P6t \doteq \text{ o mostrador da balança indica 6 no instante } t \end{cases}$$

Se quisermos traduzir o enunciado “x pesa seis quilos, em t”, devemos escrever: “Se x estiver na balança em t, então o mostrador indicará o número 6, no instante t”. Formalmente:

$$Bxt \rightarrow P6t$$

A lógica formal (Nolt & Rohatyn, 1991) nos ensina que a equivalência seguinte é válida:

$$P \rightarrow Q \equiv \neg P \vee Q$$

onde \neg é o operador de “negação” e \vee é o operador de disjunção inclusiva (ou). Dessa forma, a nossa definição de peso pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\neg Bxt \vee P6t$$

que, em linguagem natural, seria entendida como: “ou x não está na balança em t, ou o mostrador indica o número 6, em t.” O problema é que essa definição nos conduz a outras antinomias.

Essa definição, entretanto, aplicase a tudo que não esteja sobre a balança no instante considerado. Isso significa que a definição atribui um peso de 6 (em qualquer t) a objetos tão diferentes quanto a Lua, a Torre de Pisa ou o Viaduto do Chá. Adicionalmente, um pacote de 6 quilos colocado na balança em t continuaria a pesar 6 quilos após ser retirado, enquanto um livro, por exemplo, pesando 2 quilos e colocado na balança no instante t, não pesaria 6 quilos naquele instante, mas passaria a pesar 6 quilos no momento em que fosse retirado. A situação se tornaria ainda mais complicada se uma definição si-milar fosse aplicada a “pesa 4 quilos no instante t”. De fato, qualquer objeto que não estivesse sobre a balança pesaria 6 e 4 quilos simultaneamente, o que é inaceitável (HEGEN-BERG, 1974, p. 94-95).

Um corolário dessa antinomia é que se torna impossível realizar qualquer tipo de medição. Isso se dá porque, mutatis mutandis, podemos substituir o ato de “pesar” utilizando uma “balança” pelo ato de “medir” utilizando um “instrumento de medição apropriado”, resultando nas mesmas antinomias observadas no caso particular da medição do peso.

À primeira vista, pode parecer que podemos resolver esse problema utilizando o condicional subjuntivo. Dessa forma, poderíamos escrever: “Se x estivesse na balança em t, então o mostrador indicaria o número 6, no instante t.” No entanto, esse novo método tornaria qualquer possibilidade de prova inviável. Para entender por que isso ocorre, devemos examinar os condicionais hipotéticos:

$$T \rightarrow O$$

$$O = \forall t (Bxt \rightarrow P6t)$$

O primeiro condicional estabelece uma relação entre um enunciado universal T (uma teoria, uma lei, etc.) e uma observação empírica O (uma previsão baseada em T). O segundo condicional é a transcrição do procedimento que usamos no exemplo da balança, o qual supostamente poderia confirmar ou refutar T. De acordo com as regras sintáticas da lógica clássica (NOLT, ROHATYN, 1991), se O for verdadeiro, não podemos inferir nada sobre T; no entanto, se afirmarmos o conseqüente, estaremos cometendo a falácia da afirmação do conseqüente. A única regra de inferência envolvendo o conseqüente é o *Modus Tolens* (Nolt, Rohatyn, 1991):

$$\frac{T \rightarrow O, \neg O}{\neg T}$$

Que Matematicamente, pode ser representado como:

1. *Se P, então Q.*
2. *Não Q.*
3. *Portanto, não P.*

Em outras palavras, se a previsão empírica da teoria resultar em um valor falso (negativo), podemos concluir que a teoria também é falsa. Resumindo, previsões que concordam não podem provar a verdade de um enunciado universal; em princípio, só podemos testar tais enunciados através de previsões que discordam. Logo, o experimento realizado por Cockcroft e Walton não demonstrou a validade da relação massa-energia.:

E. O resultado da investigação (Verificação/Acordo):

Através da nossa investigação, chegamos às seguintes conclusões:

- {a} Não ocorre transformação de energia em massa.
- {b} Não existe uma equivalência direta entre massa e energia.
- {c} A relação massa-energia é aplicável somente em determinados casos.

{d} Nenhuma experiência é capaz de comprovar uma Teoria ou Lei.

Como resultado, as afirmações feitas por Einstein sobre a relação massa-energia não são apropriadas e não podem ser aceitas sem questionamento. Este é um dos riscos inerentes à crença em afirmações científicas. Mesmo figuras eminentes como Einstein são seres humanos sujeitos a cometer erros. Aqueles que aceitarem essas afirmações como “verdades” unicamente porque foram proferidas por Einstein estarão incorporando informações equivocadas, e lamentavelmente, como observou Martins (1998, p. 300), “(...) um erro, depois de assimilado, dificilmente é erradicado.”

Reconhecer o mérito e a autoridade intelectual de Einstein não nos obriga a aceitar suas declarações de forma acrítica. Ao submeter as afirmações ao escrutínio e questionamento, mesmo que no final constatemos que são válidas ou coerentes, estamos enriquecendo nosso entendimento. Em vez de adquirir meramente crenças científicas, adquirimos de fato conhecimento científico. Assim, com base nos achados obtidos, a estrutura completa da Pragmática da Investigação é delineada conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 -Pragmática da Investigação da Relação Massa-Energia (completa)

No.	Momento	Descrição	
1	Colocação do Problema	Qual significado da relação massa-energia?	
	Gramática	Física Moderna	
	A	Disciplina	Teoria da Relatividade Especial
	B	Metalinguagem	Epistemologias das Ciências Contemporâneas

2	Elaboração de uma Hipótese, Visando Solucionar o Problema	A	Escolha do Argumento de Autoridade	“Segue da Teoria da Relatividade Especial que massa e energia são duas diferentes manifestações da mesma coisa - uma concepção um pouco incomum para a mente comum. Além disso, a equação $E = mc^2$, em que a energia é igual a massa multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz mostrou que quantidades muito pequenas de massa podem ser convertidas em uma quantidade muito grande de energia e vice-versa. A massa e energia são de fato equivalentes, de acordo com a fórmula mencionada anteriormente. Isso foi demonstrado por Cockcroft e Walton em 1932, experimentalmente.” (Einstein, [s.a.]).
		B	Destacar as Proposições	1. Massa e Energia são diferentes manifestações da mesma coisa (são equivalentes) 2. Massa pode ser convertida em Energia e vice-versa 3. A relação Massa-Energia é uma Lei Geral válida para quaisquer sistemas físicos 4. Esta equivalência foi provada experimentalmente, em 1932, por Cockcroft e Walton
3	Constituição da Base de Dados para comparação com a Hipótese	A	Conteúdo Cognitivo (Asserções 1-3)	1. Einstein (1907) 2. Ives (1952), 3. Fadner (1989) 4. Martins (1989, 1998, 2005, 2012, 2015) 5. Nunes & Queirós (2020) 6. Nunes, Queirós & Cunha (2022)
		B	Conteúdo Meta-Cognitivo (Asserções 4)	1. Hegenberg (1974) 2. Nolt & Rohatyn (1991) 3. Japiassu & Marcondes (2008).
4	Constatação do Acordo entre a Hipótese e a Base de Dados	Verificação	A hipótese foi “falsificada”. Até o momento da investigação, as proposições do argumento de autoridade de Einstein (hipótese) são insustentáveis, pois de acordo com a base de dados contemporânea, as análises realizadas mostraram que: {a}. Massa e Energia são grandezas distintas e são medidas de maneiras distintas, o que implica que elas não são equivalentes. {b}. Não é possível a conversão direta entre Massa e Energia, uma vez que isso violaria princípios fundamentais da física moderna. {c}. A relação Massa-Energia não se aplica a sistemas extensos submetidos a pressões, o que a torna inválida como uma lei geral para todos os sistemas físicos. {d}. Hipóteses, Leis e Teorias não podem ser confirmadas experimentalmente de maneira absoluta, o que significa que essa relação não foi comprovada experimentalmente em 1932 por Cockcroft e Walton	

Fonte: Autores (2023)

1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo tradicional de ensino de ciências, caracterizado pela sua rigidez e dogmatismo, contrasta com o espírito científico. Embora toda investigação ocorra dentro de um paradigma (Kuhn, 2017) ou Forma de Vida (Wittgenstein, 1984), a pesquisa científica é uma atividade em constante progresso e dinamismo, marcada pela controvérsia (Bachelard, 1996). Resolver esse paradoxo implica em trazer à educação o que define a prática científica. Para aqueles que seguem abordagens positivistas, o Método é tido como a marca da ciência legítima (Alves, 1991; Chalmers, 1993, 1994). No entanto, ao longo do século XX, essa perspectiva mostrou-se insuficiente e antiquada (Alves, 1991; Moreira, Ostermann, 1993; Chalmers, 1993, 1994; McComas, 1996; Gil-Perez et al, 2001; Silveira, Ostermann, 2002; Martins, 2006; Moreira, Massoni, 2016).

Concordamos com Dutra (2022), que a essência da ciência é a sua natureza investigativa, que, do ponto de vista epistemológico pragmático, pode ser dividida em quatro momentos: “1. a colocação de um problema; 2. a elaboração de uma hipótese, visando solucionar o problema; 3. a constituição de uma base de dados, com a qual a hipótese vai ser comparada; 4. a constatação do acordo entre a hipótese e a base de dados, a averiguação propriamente dita” (Dutra, 2002, p. 185).

Portanto, solucionar esse paradoxo implica em incorporar a Pragmática da Investigação ao ensino. Nossas reflexões, baseadas nos estudos de Maia sobre textualidade, nos levaram à conclusão de que a matéria-prima do cientista são textos não literais. Por outro lado, a educação trabalha primordialmente com a textualidade literal. Utilizando o conceito de Semelhanças de Família de Wittgenstein (1984), podemos inferir que ambos se inserem em Jogos de Linguagem, variando em grau, mas não em essência. Isso nos direciona a uma forma de incorporar a Pragmática da Investigação à educação.

Utilizamos o Argumento de Autoridade (livros, declarações, artigos etc) como nossa matéria-prima. Assim como na Ciência Normal, também recorreremos a paradigmas (sistemas de referência) para analisar o material e chegar a conclusões, pois afinal de contas, “aquilo que é considerado uma prova adequada está dentro do domínio da lógica [paradigma]. É parte da descrição do jogo de linguagem” (Wittgenstein, 1992, p. 35, § 82).

Baseados nesses princípios, adaptamos a Pragmática da Investigação para o contexto do ensino de física. Acrescentamos subetapas ao segundo e quarto momentos, para permitir interfaces entre o ensino de ciências e aspectos da história e filosofia das ciências. E para avaliar essa abordagem, propusemos uma investigação pragmática sobre a Relação Massa-Energia Relativística.

Os resultados obtidos sugerem que nossa abordagem supera o ensino tradicional. No modelo tradicional, todas as quatro perguntas seriam respondidas positivamente, baseando-se no testemunho de Einstein, um especialista no campo e com poucos motivos para enganar. Entretanto, de acordo com nossa abordagem, as afirmações de Einstein devem ser investigadas e averiguadas. Por meio desse processo, adquirimos conhecimento científico. Portanto, cada uma das quatro afirmações de Einstein passou por um exame crítico e, ao final da investigação, concluímos que, contrariando as afirmações de Einstein, todas as quatro são falsas.

Isso enfatiza que qualquer afirmação, independentemente de sua fonte, deve ser avaliada criticamente. Mesmo que as declarações de Einstein se mostrassem corretas, submetê-las a uma análise crítica nos conduziria da crença científica ao conhecimento científico. Importante ressaltar que muitos dos fatos que hoje consideramos como óbvios e indiscutíveis foram um dia motivo de controvérsia e debate. Por exemplo, apesar de uma pequena minoria ainda advogar pela Terra plana, a maioria não tem dúvidas sobre sua forma esférica. No en-