



ANÁLISE DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DAS LEIS DE KEPLER NO ENSINO MÉDIO: UM OLHAR A PARTIR DOS CONSTRANGIMENTOS DIDÁTICOS QUE EMERGEM DO SABER A ENSINAR E DO SABER ENSINADO

Gabriel Luiz Nalon Macedo¹

Luciano Carvalhais Gomes²

Daniel Gardelli³

RESUMO: O presente estudo investiga como ocorre o processo de transposição didática interna das três leis do movimento planetário de Kepler no Ensino Médio. A pesquisa foi realizada em cinco colégios estaduais do Núcleo Regional de Educação de Maringá, Paraná, Brasil, envolvendo cinco professores de Física. Os dados foram coletados por meio de diários de campo e gravações de áudio das aulas, permitindo uma análise detalhada das falas dos professores. Os resultados revelam que o material didático (Saber a Ensinar) utilizado apresenta inconsistências, simplificações e erros factuais devido à descontextualização, despersonalização, dessincronização e publicidade do saber científico original sem uma adequada vigilância epistemológica. Por exemplo, no que se refere à primeira lei de Kepler, o material apresenta órbitas planetárias com alta excentricidade e afirma incorretamente que as três leis foram apresentadas na obra *Astronomia Nova*. No que tange ao Saber Ensinado, ou seja, as aulas ministradas pelos professores, a análise crítica revelou que a maioria dos docentes também não realiza a vigilância epistemológica necessária ao transpor o conteúdo, perpetuando os equívocos do Saber a Ensinar e, em alguns casos, agravando-os. Um exemplo disso é a abordagem da lei dos períodos, na qual os professores não mencionam a busca de Kepler pela harmonia dos movimentos planetários baseada na música, ou ainda quando inserem a concepção newtoniana de gravitação de forma mesclada com as ideias de Kepler. Essas evidências sugerem uma falta de vigilância epistemológica mais ativa tanto por parte dos professores quanto dos elaboradores do material didático, ampliando negativamente os impactos dos constrangimentos didáticos durante o processo de transposição. Assim, fica o alerta para a necessidade de uma revisão mais cuidadosa e rigorosa dos materiais didáticos e de uma formação continuada dos professores para garantir que o conhecimento científico seja transposto considerando seu contexto histórico, social, cultural e epistemológico, a fim de assegurar que os saberes escolares sejam menos simplificados e mais conectados às suas origens.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Astronomia; Ensino de Física; Leis do movimento planetário.

ANÁLISIS DE LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA DE LAS LEYES DE KEPLER EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA: UNA PERSPECTIVA A PARTIR DE LAS RESTRICCIONES DIDÁCTICAS QUE EMERGEN DEL SABER A ENSEÑAR Y DEL SABER ENSEÑADO

RESUMEN: Este estudio investiga cómo ocurre el proceso de transposición didáctica interna de las tres leyes del movimiento planetario de Kepler en la educación secundaria. La investigación se realizó en cinco escuelas estatales del Núcleo Regional de Educación de Maringá, Paraná, Brasil, teniendo a la participación de cinco profesores de Física. Los datos fueron recorridos a través de diarios de campo y

1 Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: gabrielnalonmacedo@hotmail.com

2 Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: lbgomes2@uem.br

3 Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: dgardelli2@uem.br

grabaciones de audio de las clases, lo que permitió un análisis detallado de las declaraciones de los profesores. Los resultados revelan que el material didáctico (Saber a Enseñar) utilizado presenta inconsistencias, simplificaciones y errores fácticos que conducen a la descontextualización, despersonalización, desincretización y publicidad del saber científico original, sin una adecuada vigilancia epistemológica. Por ejemplo, en lo que respecta a la primera ley de Kepler, el material presenta órbitas planetarias con alta excentricidad y afirma incorrectamente que las tres leyes fueron presentadas en la obra *Astronomia Nova*. En cuanto al Saber Enseñado, o sea, las clases impartidas por los profesores, el análisis crítico reveló que la mayoría de los profesores tampoco realiza la vigilancia epistemológica necesaria al transponer el contenido, perpetuando los errores del Saber a Enseñar y, en algunos casos, agravándolos. Un ejemplo de ello es el enfoque de la ley de los períodos, en el que los profesores no mencionan la búsqueda de Kepler por la armonía de los movimientos planetarios basada en la música, o incluso cuando insertan la concepción newtoniana de la gravitación de manera mezclada con las ideas de Kepler. Estas evidencias sugieren una falta de vigilancia epistemológica más activa tanto por parte de los profesores como de los autores del material didáctico, ampliando negativamente los impactos de las restricciones didácticas durante el proceso de transposición. Por lo tanto, se subraya la necesidad de una revisión más cuidadosa y rigurosa de los materiales didácticos y de una formación continua de los profesores para garantizar que el conocimiento científico sea transpuesto considerando su contexto histórico, social, cultural y epistemológico, con el fin de asegurar que los saberes escolares sean menos simplificados y estén más conectados con sus orígenes.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de Astronomía; Enseñanza de Física; Leyes del movimiento planetario.

ANALYSIS OF THE DIDACTIC TRANSPOSITION OF KEPLER'S LAWS IN HIGH SCHOOL: A PERSPECTIVE ON THE DIDACTIC CONSTRAINTS THAT ARISE FROM THE KNOWLEDGE TO BE TAUGHT AND THE TAUGHT KNOWLEDGE

ABSTRACT: This study examines the process of internal didactic transposition of Kepler's three laws of planetary motion in high school education. The research was conducted in five public high schools within the Regional Education Center of Maringá, Paraná, Brazil, involving five Physics teachers. Data were collected through field journals and audio recordings of the classes, enabling a detailed analysis of the teachers' discourse. The results reveal that the didactic material (Knowledge to be Taught) used contains inconsistencies, simplifications, and factual errors that lead to the decontextualization, depersonalization, desyncretization and publicity of the original scientific knowledge, without adequate epistemological vigilance. For example, regarding Kepler's first law, the material inaccurately presents planetary orbits with high eccentricity and incorrectly states that the three laws were introduced in the work *Astronomia Nova*. As for the Taught Knowledge, that is, the classes taught by teachers, the critical analysis revealed that most teachers also do not carry out the necessary epistemological vigilance when transposing the content, thus perpetuating the errors present in the Knowledge to be Taught, and in some cases, aggravating them. An example of this is the treatment of the law of periods, where teachers fail to mention Kepler's pursuit of harmony in planetary motions based on music, or when they blend Newtonian concepts of gravitation with Kepler's ideas. These results suggest a lack of more active epistemological vigilance on the part of both teachers and the creators of the didactic materials, which ultimately amplifies the impact of didactic constraints during the transposition process. Therefore, this study highlights the need for a more careful and rigorous review of educational materials and for continuous professional development of teachers to ensure that scientific knowledge is transposed with consideration of its historical, social, cultural, and epistemological context, thereby ensuring that school knowledge is less simplified and more closely connected to its origins.

KEYWORDS: Astronomy Teaching; Physics Teaching; Laws of planetary motion.

1. INTRODUÇÃO

No contexto educacional, podemos dizer que o saber presente na sala de aula frequentemente diverge do saber originalmente elaborado pelos cientistas. De acordo com Alves Filho, Pinheiro e Pietrocola (2001), muitos professores não se dão conta da diferença entre o tratamento que dão aos conteúdos durante suas aulas e o tratamento oferecido pelos materiais didáticos mais comuns. Indo mais além, essa diferença torna-se ainda mais evidente para os autores quando se comparam esses conteúdos com os escritos dos próprios cientistas. Isso significa que “[...] o que

é ensinado na sala de aula, está longe do conhecimento científico construído. Em outras palavras, a ciência ensinada na sala de aula não é a ciência elaborada pelos grandes cientistas” (Alves Filho; Pinheiro; Pietrocola, 2001, p. 01).

Essa distância entre o saber escolar e o saber científico pode ser atribuída a diversas razões, uma delas é que o processo de produção e organização do saber científico não pode ser completamente reproduzido no ambiente escolar, resultando em uma adaptação que muitas vezes simplifica e descontextualiza o saber original (Chevallard, 2014). Dessa forma, o ensino enfrenta o desafio constante de transpor o saber científico de maneira acessível e compreensível para os alunos, sem perder a complexidade e a riqueza do contexto em que esse saber foi produzido. Embora possa parecer que a transposição seja prejudicial ao processo de ensino, ela é, na verdade, essencial para adaptar o conhecimento científico para os alunos (Daniel, 2011).

No entanto, pesquisas indicam que, em certos casos, o processo de transposição didática não é realizado de maneira cuidadosa, criativa e epistemologicamente coerente. Por meio das pesquisas realizadas, é possível ilustrar situações em que a transposição dos conceitos científicos para o ambiente escolar resultou em simplificações e descontextualizações em relação ao saber original.

Nunes, Queirós e Cunha (2022), ao analisarem a transformação do conteúdo de relatividade especial nos livros didáticos, em específico o conceito de massa e a relação massa-energia, destacam que esses conceitos são apresentados de forma incongruente. Segundo os autores, alguns dos livros analisados consideram a massa como sinônimo de matéria, levando à conclusão de que a matéria pode ser convertida em energia. Esse raciocínio pressupõe que uma equação que relaciona duas grandezas físicas distintas, como Energia e Massa, através de uma constante, como a velocidade da luz no vácuo elevada ao quadrado, implica ontologicamente que essas grandezas são equivalentes ou podem se transformar mutuamente. Tal interpretação gera implicações absurdas, como a ideia de que a relação entre Energia e Frequência, mediada pela constante de Planck, permitiria concluir que Energia e Frequência são equivalentes, ou que uma pode se converter na outra. Por transitividade, isso também levaria à conclusão absurda de que Massa e Frequência seriam equivalentes, permitindo uma transformação mútua entre elas (Nunes; Queirós; Cunha, 2022).

Thiara, Batista, Oliveira e Siqueira (2022) observaram que, na transposição do conteúdo de radiação do corpo negro para o ambiente educacional, os livros didáticos analisados omitem os problemas que originaram a investigação e construção desse conhecimento, além de desconsiderarem as controvérsias, os conflitos e os erros e acertos que fizeram parte desse processo. Os livros também negligenciam os cientistas que contribuíram para a resolução do problema.

Em outra investigação envolvendo os livros didáticos mais recentes de Ciências Naturais, realizada por Sobreira e Ribeiro (2023), foram identificados noventa e três erros conceituais na área de Astronomia. Um desses erros inclui a afirmação de que, nos primeiros segundos após o *Big Bang*, átomos completos de hidrogênio foram formados, quando, de acordo com a teoria vigente, levou três minutos para que apenas os núcleos atômicos se formassem. Outro exemplo foi a classificação da estrela Sirius A como uma anã branca, sendo que apenas Sirius B possui essa classificação.

Em outra pesquisa, examinando como os livros didáticos abordam temas de Cosmologia e Astrofísica, Oliveira, Batista e Siqueira (2023) concluíram que esses materiais frequentemente apresentam uma forte tendência à despersonalização, descontextualização e dessincronização. Segundo os autores, esses constrangimentos didáticos não são atenuados porque os livros ignoram os fatores históricos, os cientistas que participaram do processo de construção do conhecimento e as questões que motivaram a busca por explicações.

Nesse sentido, a Teoria da Transposição Didática, conforme proposta por Chevallard (1991), nos ajuda a compreender esse processo de transformação dos saberes, a refletir sobre essas mudanças que ocorrem a cada nível da transposição e a repensar a maneira na qual transpomos os conhecimentos científicos para a sala de aula.

Em relação ao conteúdo das três leis do movimento planetário, acreditamos que ele não está imune a esse processo de transposição, ou seja, ao ser transposto para a sala de aula, ele é modificado e transformações ocorrem. Pesquisas realizadas indicam que tradicionalmente as leis de Kepler são objeto de concepções alternativas, erros e dificuldades, tanto nos livros didáticos quanto entre professores e alunos (Neves, 1986; Canalle, 2003; Lucas, 2007; Yu; Sahami; Denn, 2010; Menezes; Batista, 2020).

Neves (1986), analisando alguns livros didáticos, aponta que esses materiais não aplicam as leis de Kepler à previsão ou à explicação dos fenômenos celestes, desvinculando esse tema da realidade à qual está atrelado. Canalle (2003) evidencia que, tanto os autores de livros didáticos quanto os professores, ao abordarem a lei das órbitas, a transpõem de maneira equivocada, levando à concepção de que a órbita da Terra e dos outros planetas apresenta alta excentricidade, o que leva à conclusão de que o verão ocorre exatamente quando a Terra se encontra mais próxima do Sol. Já Lucas (2007) destaca que a transposição das leis de Kepler para o ambiente escolar consiste apenas em enunciar as leis, sem discutir o contexto histórico ou os dados experimentais utilizados por Kepler, tornando esse conteúdo abstrato e difícil de ser compreendido.

Em relação à pesquisa de Yu, Sahami e Denn (2010), os autores entrevistaram 112 alunos de graduação cursando a disciplina de Introdução à Astronomia do Ensino Geral, especificamente questões relacionadas às três leis do movimento planetário. Os autores constataram que três quartos dos entrevistados assimilam a ideia de que as órbitas em torno do Sol são muito elípticas, e 48% afirmaram que a velocidade do planeta ao longo de sua órbita é constante. Em pesquisa similar, Menezes e Batista (2020) entrevistaram 16 pós-graduandos do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física, utilizando as mesmas questões do trabalho de Yu, Sahami e Denn (2010). A partir da análise, eles encontraram resultados semelhantes, em que uma quantidade significativa dos alunos entrevistados também assimila órbitas com excentricidade grande e velocidades constantes dos planetas em suas respectivas órbitas.

Dessa forma, a partir das reflexões sobre essas dificuldades que há no ensino das três leis do movimento planetário de Kepler, surgiram indagações de que esses problemas poderiam também ter sua origem na maneira em que esse conteúdo é transposto para o ambiente escolar. Para tanto, nos propusemos a investigar *como ocorre o processo de transposição didática do Saber a Ensinar para o Saber Ensinado das três leis do movimento planetário de Kepler a partir dos constrangimentos didáticos?*

Pretendendo analisar o problema de pesquisa em questão, o objetivo geral que guiou nossa análise foi *identificar os constrangimentos didáticos que emergem durante a transposição didática interna das três leis de Kepler*. Como objetivos específicos, estipulamos:

- Observar o uso da vigilância epistemológica para reduzir os impactos dos constrangimentos didáticos;
- Sugerir melhorias para a transposição didática do conteúdo das três leis de Kepler;

Assim, a pesquisa foi realizada com cinco professores de Física da 1ª Série do Ensino Médio de colégios públicos pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Maringá, Paraná, Brasil.

Acreditamos que essa pesquisa seja útil como material de apoio para professores refletirem sobre a transposição didática e compreenderem as diferenças entre o conteúdo ministrado em suas aulas com aquilo que, de fato, os cientistas construíram, possibilitando assim,

uma transposição didática mais significativa para o ensino das três leis do movimento planetário.

2. A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD

De acordo com a Teoria da Transposição Didática, proposta por Chevallard em seu livro *La Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*, o saber elaborado pelos cientistas (Saber Sábio) passa por transformações até se tornar o saber presente nos materiais didáticos (Saber a Ensinar) e, por fim, no saber que efetivamente emerge em salas de aula (Saber Ensinado). Por essa razão, Chevallard (1991) destaca que o saber deve ser considerado um dos elementos centrais no ambiente escolar, propondo que as relações na sala de aula são formadas por uma base ternária: professor, alunos e saber. De acordo com o autor,

[...] uma vez que isso é levantado, isto é, uma vez que se torna possível falar desse terceiro termo, tão curiosamente esquecido: o saber, pode formular-se uma questão que dá à polêmica seu verdadeiro interesse: O que é então aquilo que, no sistema didático, é colocado sob a bandeira de O Saber? O “saber ensinado” que concretamente encontra o observador, que relação estabelece com o que se proclama dele fora desse âmbito? E que relação estabelece então com o “saber sábio”, o dos matemáticos? Quais distâncias existem entre si?⁴ (Chevallard, 1991, p. 15, tradução nossa)

Em seu livro, Chevallard (1991) identifica dois níveis no processo de transposição do saber científico. O primeiro envolve uma transposição mais explícita, concreta e visível, que ocorre quando o Saber Sábio é transposto em Saber a Ensinar. O segundo nível envolve uma transposição mais implícita, abstrata e não visível, que ocorre quando o Saber a Ensinar é transposto em Saber Ensinado. De acordo com Chevallard (1991, p. 36, tradução nossa):

É isso, então, que vai proceder à seleção dos elementos do saber sábio que, designados como ‘saber a ensinar’, serão então submetidos ao trabalho de transposição; é também este que vai assumir a parte visível deste trabalho, o que podemos chamar de trabalho externo de transposição didática, em oposição ao trabalho interno, que é realizado dentro do próprio sistema de ensino, bem após a introdução oficial dos novos elementos no saber ensinado⁵.

Adiante, em outro excerto, o autor afirma que: “Quando os programas são elaborados, conformados e adquirem força de lei, inicia-se outro trabalho: o da transposição didática interna”⁶ (Chevallard, 1991, p. 44, tradução nossa). Assim sendo, podemos identificar esses dois níveis em: Transposição Didática Externa e Transposição Didática Interna.

A Transposição Didática Externa parte do Saber Sábio, que compreende o conhecimento científico produzido pelos cientistas. Desse modo, podemos considerar esse saber como parte integrante do meio acadêmico, pois é comumente desenvolvido em institutos de pesquisa e universidades. Porém, para que um conceito científico adquira o *status* de Saber Sábio, é necessário que ele seja analisado e validado pela comunidade científica. Por isso que nem toda produção acadêmica pode representar um saber científico, como sinaliza Pais (1999).

Brockington e Pietrocola (2005, p. 394), argumentam que, ao ser transposto para o

4 [...] una vez planteado esto, es decidir, una vez que se torna posible hablar de ese tercer término, tan curiosamente olvidado: el saber, puede formularse una pregunta que otorga a la polémica su verdadero interés: ¿qué es entonces aquello que, en el sistema didáctico, se coloca bajo el estandarte del Saber? El ‘saber enseñado’ que concretamente encuentra el observador, ¿qué relación entabla con lo que se proclama de él fuera de ese ámbito? ¿Y qué relación entabla entonces con el ‘saber sábio’, el de los matemáticos? ¿Qué distancias existen entre unos y otros? (Chevallard, 1991, p. 15).

5 Es ésta, pues, la que va a proceder a la selección de los elementos del saber sábio que, designados como ‘saber a enseñar’, serán entonces sometidos al trabajo de transposición; también es ésta la que va a asumir la parte visible de ese trabajo, lo que podemos llamar el trabajo externo de la transposición didáctica, por oposición al trabajo interno, que se realiza en el interior mismo del sistema de enseñanza, bastante después de la introducción oficial de los nuevos elementos en el saber enseñado (CHEVALLARD, 1991, p. 36).

6 Cuando los programas son preparados, conformados y adquieren fuerza de ley, comienza otro trabajo: el de la transposición didáctica interna (Chevallard, 1991, p. 44).

ambiente escolar, o Saber Sábio “[...] transforma-se em um outro tipo de saber, passando a integrar novas demandas e ajustando-se a elas. Este saber deverá estar revestido de uma forma didática visando sua apresentação aos alunos”. Esse novo saber em questão, segundo Chevallard (1991), é o Saber a Ensinar, que se manifesta nas matrizes curriculares, nos livros didáticos e materiais instrucionais. Com sua elaboração, a Transposição Didática Externa é finalizada.

A partir da elaboração do Saber a Ensinar, o processo de transposição continua dando início a Transposição Didática Interna, quando o Saber a Ensinar é modificado na prática pedagógica em sala de aula, tornando-se Saber Ensinado. Isso porque, de acordo com Chevallard (1991, p. 16 – 17, tradução nossa), “[...] o saber-tal-como-é-ensinado, o saber ensinado, é necessariamente diferente do saber-inicialmente-designado-como-o-que-deve-ser-ensinado, o saber a ensinar”⁷. Isso implica que o saber apresentado pelos professores não reflete exatamente o Saber a Ensinar nem o Saber Sábio. Corroborando com essa visão, Silva (2013, p. 20), destaca que:

[...] a ênfase a determinadas unidades do conteúdo, a maneira como o conteúdo é abordado, os exercícios e a avaliação passam necessariamente pela decisão do professor e esta depende, dentre outras coisas, da sua formação e de entendimento a respeito da ciência de referência, dos conteúdos de ensino e do aluno.

Nesse sentido, é possível que um conceito esteja presente no Saber a Ensinar, mas não esteja necessariamente no Saber Ensinado. Um professor, por exemplo, ao preparar suas aulas, pode optar por não abordar em sala de aula a unidade do livro didático que trata das três leis do movimento planetário de Kepler. Se, caso contrário, o professor decida abordar o tema das três leis de Kepler em aula, não há garantia de que o Saber Ensinado proporcionado corresponderá ao Saber a Ensinar ou ao Saber Sábio. De forma simples, a Figura 1 a seguir nos permite esquematizar os níveis da transposição didática descritos.

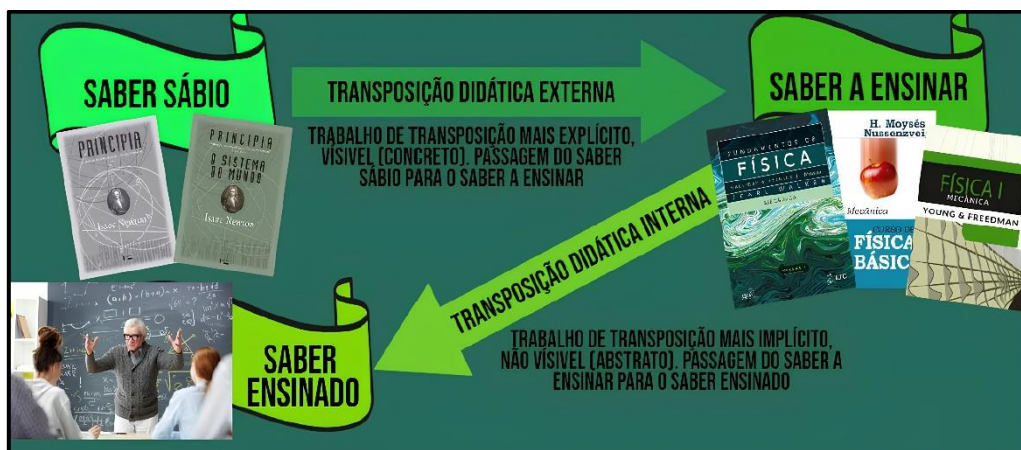


Figura 1. Esquema representando os processos que ocorrem com um determinado saber de acordo com a Teoria da Transposição Didática. Fonte: Macedo, Deosti e Gomes, 2024, p. 153.

Prosseguindo na discussão, Anhorn (2003) nos ajuda a esclarecer que o processo de transformação do Saber Sábio em Saber a Ensinar, e subsequentemente em Saber Ensinado, demanda uma explicação discursiva, o que resulta em uma textualização do saber, seja de forma escrita ou oral. Essa ideia é evidenciada na seguinte passagem: “De fato, pela exigência de explicação discursiva, a textualização do saber leva antes de tudo à delimitação de saberes

⁷ El saber-tal-como-es-enseñado, el saber enseñado, es necesariamente distinto del saber-inicialmente-designado-como-el-que-debe-ser-enseñado, el saber a enseñar (CHEVALLARD, 1991, p. 16 – 17).

parciais, cada um se exprimindo em um discurso (ficticiamente) autônomo”⁸ (Chevallard, 1991, p. 69, tradução nossa).

Além disso, Pais (1999) afirma que a textualização do saber constitui um processo de antecipação que o Saber Sábio deve percorrer antes de ser introduzido nas escolas. Esse procedimento segue diretrizes específicas que visam organizar uma abordagem pedagógica. Assim, quando o saber é estruturado dessa forma e se torna Saber a Ensinar ou Saber Ensinado, surgem os constrangimentos didáticos⁹ descritos por Chevallard (1991), que são: a **dessincretização**, a **despersonalização**, a **descontextualização**, a **programabilidade** e a **publicidade do saber**.

A **dessincretização**, segundo Chevallard (1991), consiste em separar o Saber Sábio em “[...] saberes parciais, cada um dos quais se expressa em um discurso [...] Esse processo produz uma ‘dessincretização’ [fragmentação] do saber, ou seja, a sua dessincretização”¹⁰ (Chevallard, 1991, p. 69, tradução nossa). Dessa forma, a dessincretização objetiva delimitar o escopo do conhecimento a ser ensinado. Anhorn (2003) ao discutir sobre o conceito de dessincretização, enfatiza que esse processo é responsável por diferenciar o que faz parte de um campo de saber específico e o que não faz. Em outras palavras, há uma distinção entre o que se torna o foco do discurso e é explicitamente tratado na discussão do saber científico, e o que, apesar de ser essencial para a construção desse saber, não é considerado como conteúdo a ser ensinado. Esse aspecto pode ser constatado em Chevallard (1991, p. 69, tradução nossa) no seguinte excerto:

Em particular, o processo [de dessincretização] introduz uma diferenciação entre o que pertence propriamente ao campo delimitado [...] e o que, implicitamente (mas realmente) presente [...], não se identifica formalmente como tal [...]. Esse processo produz ainda uma diferenciação entre aquilo que, presente no próprio texto, constitui o objeto de seu discurso [...] e aquilo que, sendo necessário para a construção do texto, não é o seu objetivo [...]¹¹.

Em seguida, Chevallard (1991) afirma que esse processo de delimitação do saber em saberes parciais resulta em outro constrangimento didático, no caso, a **descontextualização**. Segundo o autor,

O efeito de delimitação também produz – fato essencial do ponto de vista epistemológico – a descontextualização do saber, sua retirada das redes de problemáticas e de problemas que lhe dão o seu sentido completo, ruptura do jogo intersetorial constitutivo do saber no seu movimento de criação e de realização¹² (Chevallard, 1991, p. 71, tradução nossa).

Dessa forma, a **descontextualização** do saber é um constrangimento didático que ocasiona a separação do saber científico dos problemas que o originaram. Em outras palavras, trata-se de deslocar esse saber de uma situação específica e do problema que o gerou para então generalizá-lo (Menezes, 2006). Com base nisso, podemos afirmar que a **descontextualização** resulta na omissão do contexto original em que o saber foi desenvolvido, deixando de lado as

8 En efecto, por la exigencia de explicitación discursiva, la textualización del saber conduce primeramente a la delimitación de saberes parciales, cada uno de los cuales se expresa en un discurso (ficticiamente) autónomo (Chevallard, 1991, p. 69).

9 A palavra original do francês utilizada por Chevallard é *contraintes* que pode ser traduzida como constrangimentos; restrições e/ou coerções. Mas, de qualquer forma, esse termo se refere ao ato ou efeito de reduzir; comprimir-se; uma imposição de limite; tornar mais estreito; delimitar-se; reduzir-se.

10 [...] de saberes parciais, cada uno de los cuales se expresa en un discurso [...] Ese proceso produce una ‘desincretización’ del saber, o sea su dessincretización (Chevallard, 1991, p. 64).

11 En particular, el proceso introduce una diferenciación entre lo que pertenece propriamente al campo delimitado [...] y lo que, implícitamente (pero realmente) presente [...], no se identifica formalmente como tal [...]. Ese proceso produce además una diferenciación entre aquello que, presente en el texto mismo, constituye el objeto de su discurso [...] y aquello que, siendo necesario para la construcción del texto, no es su objetivo [...] (Chevallard, 1991, p. 69).

12 El efecto de delimitación produce, además – hecho esencial desde el punto de vista de la epistemología – la descontextualización del saber, su desubicación de la red de problemáticas y problemas que le otorgan su sentido completo, la ruptura del juego intersectorial constitutiva del saber en su movimiento de creación y de realización (Chevallard, 1991, p. 71).

questões que motivaram sua elaboração. Por exemplo, ao abordar as duas primeiras leis do movimento planetário de Kepler no ambiente escolar, geralmente não se menciona o problema específico que Kepler enfrentava: a determinação da órbita de Marte. Segundo Macedo (2023), no Ensino Médio, essas leis são apenas enunciadas sem nenhum contexto e apresentadas suas respectivas equações com aplicações em exercícios meramente matemáticos.

Outro constrangimento didático é a **despersonalização**, que diz respeito à desvinculação do saber de seu contexto pessoal, ou seja, à separação do saber de seu autor original. Ao abordar essa questão, Chevallard (1991, p. 71, tradução nossa) afirma que:

A textualização realiza, em segundo lugar, a dissociação entre o pensamento, na medida em que é expresso como subjetividade, e suas produções discursivas: o sujeito é expulso de suas produções; o saber é então submetido a uma transformação no sentido de despersonalização¹³.

Segundo os estudos de Sousa (2009), esse processo de desvinculação começa a se manifestar dentro da própria comunidade científica. Inicialmente, o conhecimento está intrinsecamente ligado ao indivíduo que o desenvolveu. No entanto, devido às normas inerentes à comunidade científica, ocorre uma **despersonalização** desse conhecimento, uma vez que é necessário comunicá-lo por meio de uma linguagem específica da ciência, para atender aos padrões de legitimação. Dessa maneira, no Saber a Ensinar e no Saber Ensinado, “[...] o processo de despersonalização supõe que o saber, ao ser apresentado, não revela o processo de produção, como o produtor o trabalhou, mas mostra o produto; o processo de produção desaparece, para dar lugar à apresentação do produto” (Sousa, 2009, p. 40).

Batista *et al.* (2024) alertam que o processo de **despersonalização**, em alguns momentos, pode até mencionar determinados cientistas, porém, tende a destacar apenas um ou dois nomes vinculados ao desenvolvimento de um saber, o que pode induzir o aluno a uma visão distorcida da prática científica, ao privilegiar a atuação isolada de um ou poucos pesquisadores. Essa abordagem, segundo os autores, conduz a uma perspectiva de ciência de cunho elitista, na qual se obscurece o caráter coletivo presente na formulação dos conhecimentos científicos.

Ademais, a **despersonalização** também pode ocorrer quando se atribuem a determinados conhecimentos características, narrativas ou motivações de cunho pessoal que, de fato, jamais existiram em sua gênese. Um exemplo desse tipo de inserção é apresentado por Macedo e Gomes (2024a), que, ao examinarem os livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático em 2021, constataram que os autores recorrem à conhecida narrativa segundo a qual Newton teria formulado a Lei da Gravitação Universal a partir da queda de uma maçã. Essa narrativa, contudo, nunca ocorreu, segundo historiadores da ciência: “[...] Newton deixou, ao morrer, uma vasta quantidade de manuscritos. No entanto, jamais foi encontrada qualquer descrição sua a respeito da queda da maçã” (Martins, 2006, p. 175).

O penúltimo constrangimento didático abordado por Chevallard (1991) em seu livro é a **programabilidade** do saber. Conforme o autor esclarece, um texto didático ou as aulas de um professor, funcionam como um roteiro para o desenvolvimento do saber, isto é, o material e as aulas criadas definem um início e um término provisório, sugerindo uma ordem lógica de conceitos que os estudantes devem seguir ao aprender sobre determinado conteúdo. O trecho a seguir ilustra esses pontos:

O texto é uma norma de progressão no conhecimento. Um texto tem um início e um fim (provisório) e opera através de uma cadeia de razões. Se a aprendizagem é concebida como equivalente ao progresso manifestado pela estrutura do texto,

¹³ La textualización lleva a cabo, en segundo lugar, la disociación entre el pensamiento, en tanto que expresado como subjetividad, y sus producciones discursivas: el sujeto está expulsado fuera de sus producciones; el saber está entonces sometido a una transformación en el sentido de despersonalización (CHEVALLARD, 1991, p. 71).

isso permite mensurar a aprendizagem e torna possível uma didática essencialmente "isomorfa" cujas etapas são determinadas pelo texto¹⁴ (Chevallard, 1991, p. 73, tradução nossa).

Assim, a **programabilidade** estabelece uma organização do conteúdo de forma sequencial e racional. No entanto, como consequência, a **programabilidade** fomenta a concepção de que os conhecimentos científicos são elaborados de maneira linear, ou seja, ela induz, ou reforça, a ideia de que os saberes científicos são construídos linearmente e progressivamente (Martins, 2020; Sá, 2020).

Finalizando a discussão acerca dos constrangimentos didáticos, Chevallard (1991) discute a **publicidade do saber**. Para o autor:

A objetificação obtida pela inserção do saber em texto é a fonte evidente, além disso, da publicidade do saber ali representado (em oposição ao caráter "privado" dos saberes pessoais, adquiridos por mimetismo, ou esotéricos, adquiridos por iniciação, etc.). Essa publicidade, por sua vez, possibilita o controle social da aprendizagem, em virtude de uma certa concepção do que significa "saber", concepção que é fundamentada (ou pelo menos legitimada) pela textualização. Concepção cuja caricatura extrema é o "saber de cor" como mera repetição mecânica¹⁵ (Chevallard, 1991, p. 73, tradução nossa).

Dessa forma, a **publicidade do saber** torna o conhecimento público e acessível, ampliando o alcance a um grupo maior de indivíduos. Essa característica pública do saber é essencial no processo de transposição didática, uma vez que possibilita a disseminação do conhecimento científico no ambiente educacional. No entanto, essa **publicidade do saber** pode resultar em uma simplificação excessiva, fazendo com que aspectos significativos, que foram parte da construção histórica e epistemológica de determinado conhecimento, sejam omitidos. Isso pode levar a uma compreensão inadequada e superficial de seu real significado.

Perante o exposto, acreditamos que durante o processo de transposição didática, o conhecimento científico está sujeito a esses cinco constrangimentos didáticos, ou seja, eles são inevitáveis durante esse processo, visto que quando se pretende transpor um determinado conhecimento é necessário adaptá-lo para o público ao qual será destinado. Diante desse cenário, surge a necessidade de minimizar os impactos negativos causados por esses constrangimentos. Para isso, Chevallard (1991) propõe o conceito de **vigilância epistemológica** que, de modo geral, significa estar ciente das transformações que o saber sofre ao ser transposto para o ambiente escolar como também conhecer a história e a epistemologia dos conhecimentos a serem ensinados.

A **vigilância epistemológica** é um processo crítico e reflexivo que envolve entender como o saber científico está sendo apresentado na sala de aula. O exercício dessa vigilância é uma possibilidade de garantir que o saber científico seja discutido de forma mais próxima possível de sua natureza original, prevenindo simplificações excessivas, distorções ou perda de conteúdo essencial. Assim, a **vigilância epistemológica** oferece um olhar criterioso que garante a consistência e a validade epistemológica do conhecimento a ser ensinado (Chevallard 1991; Ricardo, 2020).

14 El texto es una norma de progresión en el conocimiento. Un texto tiene un principio y un fin (provisorio) y opera por encadenamiento de razones. Si se concibe el aprendizaje como equivalente al progreso que manifiesta la estructura propia del texto, éste permite medir a aquél y hace posible una didáctica esencialmente "isomorfa" cuyas escansiones determina (Chevallard, 1991, p. 73).

15 La objetivación obtenida por la puesta en textos del saber es la fuente evidente, además, de la publicidad del saber que allí se representa (como opuesto al carácter "privado" de los saberes personales, adquiridos por mimetismo, o esotéricos, adquiridos por iniciación, etc.). Esta publicidad, a su vez, posibilita el control social de los aprendizajes, en virtud de una cierta concepción de qué significa "saber", concepción fundada (o legitimada, al menos) por la textualización. Concepción cuya caricatura extrema es el "saber de memoria" como simple psitacismo (Chevallard, 1991, p. 73).

De forma complementar, Brockington e Pietrocola (2005, p. 391), discutem que essa vigilância da “[...] evolução do saber que se encontra na sala de aula através da Transposição Didática possibilita uma fundamentação teórica para uma prática pedagógica mais reflexiva e questionadora”. Assim, acreditamos que a **vigilância epistemológica** é essencial em todas as etapas da transposição didática, tanto na elaboração de materiais didáticos quanto nas aulas ministradas. No entanto, vale salientar, como aponta Almeida (2016, p. 28), que

[...] ser vigilante epistemologicamente não é apenas conhecer a natureza do objeto do saber do qual o objeto de ensino se origina. É necessário um aprofundamento e conhecimento maior sobre os objetos de ensino e ter uma ampla ideia da construção dos saberes dos quais o professor irá tratar.

Para Chevallard (1991, p. 51, tradução nossa), “[...] o exercício do princípio de vigilância da transposição didática é uma das condições que determinam a possibilidade de uma *análise científica* do sistema didático”¹⁶.

Desse modo, para averiguarmos como ocorre a transposição didática do Saber a Ensinar para o Saber Ensinado das três leis do movimento planetário de Kepler, investigamos a presença desses cinco constrangimentos didáticos e o uso da vigilância epistemológica para reduzir os seus impactos, tanto no material didático utilizado pelos professores quanto em suas aulas de Física sobre o conteúdo das três leis de Kepler.

3. O SABER A ENSINAR DE BASE UTILIZADO PELOS PROFESSORES

Para compreendermos como foi construído o Saber Ensinado das três leis de Kepler durante as aulas, é essencial apresentar o principal material didático utilizado pelos professores. Isso se justifica, pois, para responder ao nosso problema de pesquisa e alcançar o objetivo proposto, é necessário conhecer esse Saber a Ensinar, que é a esfera do saber que antecede a esfera do Saber Ensinado.

A pesquisa foi realizada com professores vinculados a instituições de ensino pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Maringá, no estado do Paraná, Brasil. Assim, é importante contextualizar que, na atual conjuntura da educação no estado do Paraná, o principal material didático utilizado pelos professores durante as aulas são *slides* que contêm o conteúdo já elaborado e pronto para ser ministrado. Esses materiais são disponibilizados pela Secretaria Estadual de Educação do Estado do Paraná (SEED/PR).

Esse uso de *slides* marca uma mudança histórica na educação brasileira. Pesquisas anteriores (Santos, 2006; Tamanini; Noronha, 2019; Perdigão; Ipolito, 2021) apontam que, tradicionalmente, o livro didático ocupou um lugar central no ensino, principalmente devido ao Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), que distribui livros a todas as escolas públicas do país.

Conforme Pasini e Silva (2024), essa mudança no estado do Paraná começou em 2019, durante a gestão do governador Ratinho Júnior, que iniciou a inclusão das tecnologias e plataformas digitais no sistema educacional do estado de forma intensificada. As autoras destacam que:

Dentre as plataformas e programas mais utilizados pelo estado do Paraná, estão os aplicativos da Google, com destaque para o Google Classroom, Google Meet, Jamboard, Slides Google, e Google Drive. E a Microsoft, com o Power Business Intelligence - BI, que abarca às plataformas dos programas que contribuíram para

16 [...] el ejercicio del principio de vigilancia en la transposición didáctica es una de las condiciones que determinan la posibilidad de un análisis científico del sistema didático (Chevallard, 1991, p. 51).

intensificação de cobranças e controle do trabalho pedagógico, dentre os quais destacamos: Programa Presente na Escola, **RCO+aulas**, Prova Paraná, Escola Total, Redação Paraná, BI Matemática - plataforma Matific, DesafioParaná, Inglês Paraná, Educatron, Tutoria Pedagógica, entre outros (Pasini; Silva, 2024, p. 20, grifo nosso).

Dentro desse contexto, a plataforma RCO+aulas (Livro de Registro de Classe Online) permite que os professores tenham acesso aos conteúdos por turma e série de cada disciplina curricular. Ao acessar o sistema, o professor encontra *links* para videoaulas, *slides* e listas de exercícios relacionados ao conteúdo que será abordado em sala de aula. A figura 2 a seguir mostra como esse material didático é visualizado no sistema.



MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO

PLANO DE AULA – RCO – 2024 – ENSINO MÉDIO
FÍSICA – 1ª SÉRIE – 1º TRIMESTRE

AULAS	CONTEÚDOS	ÁREA	COMPONENTE	OBJETOS DE CONHECIMENTO	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	HABILIDADE DA ÁREA	COMPETÊNCIA DA ÁREA	VÍDEO AULA	SLIDES/ ENCAMINHAMENTOS	Professor, atribua a atividade do Desafio Paraná	EXERCÍCIOS	
5	As Leis de Kepler (I)	CN	Física	Interações gravitacionais	Aplicar as leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal aos movimentos dos corpos celestes, incluindo satélites artificiais.	(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).	2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.	https://youtu.be/4u/M8d0x5Gk8Y	https://docs.google.com/presentation/d/1goapTWOP3ru7zyfU8BQ7G0ZKASe1HnJ4dlt7usp=sharing&ouid=1167676591366278458538rtpof=true&sd=true	https://docs.google.com/document/d/1PmemGTWx8AmOHmyMOBwzm0mDy899dju/edit?usp=drive_link&ouid=1167676591366278458538rtpof=true&sd=true		
6	As Leis de Kepler (II)	CN	Física	Interações gravitacionais	Aplicar as leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal aos movimentos dos corpos celestes, incluindo satélites artificiais.	(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).	2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.	https://youtu.be/C3dkwX0XW03d	https://docs.google.com/presentation/d/1KcY73fUctONf_TW1ldtsuifwadoR3Z/edit?usp=sharing&ouid=1167676591366278458538rtpof=true&sd=true	https://ouid=1167676591366278458538rtpof=true&sd=true	https://docs.google.com/document/d/12AMXQv0eQUdyCh3u8Xy0wJrk9Ct7/edit?usp=drive_link&ouid=1167676591366278458538rtpof=true&sd=true	

Figura 2. Plano de aula RCO+aulas sobre as leis de Kepler. Fonte: Adaptado de RCO+aulas, 2024.

Como pode ser observado na figura 2, foram previstas apenas duas aulas do 1º trimestre de 2024 para se discutir as três leis de Kepler com os alunos da 1ª Série do Ensino Médio. Nos *links* a seguir estão os dois *PowerPoint* utilizados nas aulas:

- Primeira Aula sobre o tema – As Leis de Kepler (I):
<https://docs.google.com/presentation/d/1x5mvt-pPRv5reuBDV6r2Zuhdat1wI4frFbPYB85QRTI/edit?usp=sharing>
- Segunda Aula sobre o tema – As Leis de Kepler (II):
<https://docs.google.com/presentation/d/1kDJrb9A9aACRvdTfoAREiggGITHuR7mubQbEzZngFO4/edit?usp=sharing>

4. METODOLOGIA

Para alcançarmos o objetivo da pesquisa, os objetos de estudo foram o material didático e as aulas ministradas por professores de Física sobre o conteúdo das três leis de Kepler. Participaram da investigação cinco colégios estaduais pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Maringá, no Paraná, Brasil. No que se refere aos participantes, foram selecionados cinco professores de Física, um de cada colégio. Algumas informações sobre os participantes podem ser encontradas

no Quadro 1.

REFERÊNCIA AO LONGO DO TRABALHO	FORMAÇÃO	ANOS LECIONANDO
PROF. A	- Licenciatura em Física; - Licenciatura em Matemática; - Graduação em Engenharia de Produção (<i>Software</i>); - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física;	11 anos
PROF. B	- Licenciatura em Física; - Licenciatura em Química; - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física;	20 anos
PROF. C	- Licenciatura em Física; - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física;	17 anos
PROF. D	- Licenciatura em Física; - Licenciatura em História; - Mestrado em Física da Matéria Condensada; - Especialização em Educação de Jovens e Adultos;	21 anos
PROF. E	- Graduação em Ciências com habilitação em Matemática e Física;	31 anos

Quadro 1. Informações sobre os participantes da pesquisa. Fonte: autores.

A seleção dos participantes seguiu um procedimento previamente estabelecido. Inicialmente, por meio do site do Núcleo Regional de Educação de Maringá, foram identificados os docentes de Física lotados nas 38 instituições públicas vinculadas a esse núcleo. Na etapa seguinte, verificou-se o vínculo funcional de cada professor, distinguindo aqueles pertencentes ao Quadro Próprio do Magistério (QPM) dos que atuavam em regime temporário pelo Processo Seletivo Simplificado (PSS). Optou-se por excluir os professores contratados via PSS, considerando a natureza instável de seus contratos, sujeitos a alterações anuais, o que poderia comprometer a continuidade da investigação. Como o envio da relação definitiva de instituições ao Comitê de Ética em Pesquisa (COPEP) era requisito prévio ao início da coleta de dados, priorizaram-se docentes QPM com alocação estável em uma escola específica, assegurando sua permanência durante o ano letivo da pesquisa.

Após o levantamento dos professores QPM nas 38 escolas, foram obtidos seus contatos para o envio do convite de participação no estudo. Para tanto, utilizou-se o aplicativo *WhatsApp*, tanto por meio de mensagens individuais quanto pelo grupo de docentes de Física administrado pelo Núcleo Regional de Educação de Maringá. Ao todo, 45 professores foram contatados, dos quais cinco aceitaram o convite. Assim, a investigação contou efetivamente com a participação de cinco docentes e, conseqüentemente, de cinco escolas.

Com base no problema estipulado e nas características que a pesquisa assumiu, a investigação pode ser considerada uma pesquisa qualitativa de natureza indutiva. A escolha pela abordagem qualitativa se justifica pela sua capacidade de lidar com

[...] o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que correspondem a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis (Minayo, 2001, p. 22 – 23).

Sob essa perspectiva, a transposição didática do Saber a Ensinar para o Saber Ensinado das três leis do movimento planetário é um processo complexo. Ele envolve significados, motivos, crenças, valores e atitudes dos professores ao abordarem esse conteúdo, exigindo, portanto, uma análise mais aprofundada dessas camadas de significados, o que vai ao encontro da abordagem qualitativa. Por sua vez, a natureza indutiva da pesquisa, de acordo com Marconi e Lakatos (2003, p. 86),

[...] é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas. Portanto, o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam.

Em nossa pesquisa, partimos de uma análise crítica das falas dos professores durante as aulas sobre o conteúdo das três leis de Kepler, com a finalidade de encontrar padrões na forma como esse conteúdo é trabalhado, para que assim fôssemos capazes de inferir uma ideia geral de como esse conceito é transposto por esses professores.

Como a pesquisa se restringiu à observação das aulas, sem realizar qualquer tipo de intervenções diretas, estipulamos como técnica de coleta de dados a observação não-participante. Conforme Lakatos e Marconi (2003, p. 193), na observação não-participante, o observador “[...] presencia o fato, mas não participa dele; não se deixa envolver pelas situações; faz mais o papel de espectador”. Além disso, Gil (2008, p. 104) esclarece que essa técnica é “[...] frequentemente utilizada em pesquisas que têm como objetivo a descrição precisa dos fenômenos ou o teste de hipóteses”. No caso do nosso estudo, a observação não-participante foi empregada para descrever o fenômeno da transposição didática interna das três leis de Kepler nas aulas de Física.

Em relação aos instrumentos de coleta de dados, utilizamos dois instrumentos, um deles foi o diário de campo. Sobre esse instrumento, Gil (2008, p. 103) coloca que o “[...] registro da observação simples se faz geralmente mediante diários ou cadernos de notas. O momento mais adequado para o registro é, indiscutivelmente, o da própria ocorrência do fenômeno”. Essa afirmação vai ao encontro da nossa pesquisa, visto que o diário de campo nos permitiu registrar o fenômeno da transposição didática durante sua ocorrência.

O outro instrumento utilizado foi o gravador de áudio para registrar a exposição dos professores durante as aulas, para que fosse possível, posteriormente, ouvir novamente as falas dos professores em busca de novos aspectos, detalhes e mensagens implícitas que, em um primeiro momento, puderam passar despercebidas. Corroborando com essa visão, Lüdke e André (2018, p. 43) afirmam que a “[...] gravação tem a vantagem de registrar todas as expressões orais [...]”, de forma imediata, permitindo que o pesquisador preste toda a sua atenção ao que está sendo estudado. Assim sendo, a gravação de áudio permitiu registros fiéis das interações, isto é, ela possibilitou capturar de forma precisa as falas dos professores durante as aulas, permitindo uma análise detalhada das explicações relacionadas ao conceito das três leis de Kepler.

Por fim, para nos auxiliar na análise dos dados constituídos por meio do diário de campo e das gravações de áudio, realizamos uma análise crítica das falas dos professores durante as aulas, buscando identificar os constrangimentos didáticos citados na seção 2, bem como o uso ou não da vigilância epistemológica. O Quadro 2 a seguir resume, de forma geral, a principal característica de cada elemento a ser observado nas falas dos professores.

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICA
DESCONTEXTUALIZAÇÃO	Desvinculação do saber do contexto histórico ao qual foi desenvolvido; Remoção do saber de sua rede de problemas;
DESSINCRETIZAÇÃO	Fragmentação do conteúdo; Distinguir o que faz parte e o que não faz parte de determinado campo de saber;
DESPERSONALIZAÇÃO	Separação do saber de qualquer contexto pessoal; Atribuição de aspectos que não relacionam o saber com o seu elaborador;
PROGRAMABILIDADE	Organização do conteúdo de maneira progressiva e racional; Visão linear e acumulativa;
PUBLICIDADE DO SABER	Objetificação do saber para torná-lo público e acessível; Simplificações e omissões excessivas;
VIGILÂNCIA EPISTEMOLÓGICA	Olhar crítico e atento sobre a transposição entre o Saber Sábio e o Saber a Ensinar; Identificar a inadequação entre o Saber Sábio e o Saber a Ensinar; Naturalizar o objeto de ensino diminuindo as diferenças que ele sofreu no processo de transposição didática; Ligação genuína e crítica com o Saber Sábio, prevenindo distorções e inadequações;

Quadro 2. Resumo das características de cada elemento a ser observado. Fonte: Macedo e Gomes, 2024b, p. 11.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, iniciaremos a análise do material didático (Saber a Ensinar) utilizado pelos professores, assim como das aulas por eles ministradas (Saber Ensinado) sobre o conteúdo das três leis de Kepler.

5.1 Análise do Saber a Ensinar utilizado pelos professores

Como apresentado na seção 3 deste trabalho, o material didático que orientou as aulas sobre as três leis do movimento planetário foram dois *Powerpoints*. O primeiro, intitulado de As Leis de Kepler (I), contém 17 *slides*, e o segundo, As Leis de Kepler (II), 16 *slides*.

O primeiro material inicia questionando como descrever as órbitas de planetas e satélites. Em seguida, apresenta uma breve descrição das órbitas planetárias nos modelos geocêntrico e no modelo heliocêntrico, enfatizando que, em ambos os casos, as órbitas eram circulares. Um *slide* posterior menciona que Galileu apoiava o modelo copernicano e defendia a ideia de que os planetas descreviam movimentos circulares ao redor do Sol.

Na sequência, um *slide* afirma que “outros dois cientistas, contemporâneos de Copérnico, Isaac Newton e Johannes Kepler, eram defensores do modelo heliocêntrico [...]” (SEED-PR, 2024a, *slide* 8). Em um sentido mais amplo, a informação é coerente, uma vez que esses três pensadores viveram na Idade Moderna, no entanto, em um sentido mais restrito, a afirmação está incorreta, pois Copérnico viveu de 1473 a 1543, enquanto que Kepler viveu de 1571 a 1630 e Newton de 1643 a 1727, fato esse que sinaliza o constrangimento da **publicidade**.

Isso pode acarretar na compreensão por parte dos alunos de que Copérnico foi apoiado por Kepler e Newton na mesma época em que publicou o *De Revolutionibus Coelestium Orbium*¹⁷, quando, na realidade, a obra copernicana foi rejeitada e ignorada pela maioria da comunidade científica da sua época, tendo maior reconhecimento após a síntese newtoniana. A frase

¹⁷ Sobre as Revoluções das Órbitas Celestes.

anteriormente destacada é finalizada dizendo que Newton e Kepler afirmaram que os planetas descreviam órbitas elípticas ao invés de circulares. Após essa discussão, os alunos são convidados a desenhar as órbitas planetárias de acordo com essa afirmação anterior. No décimo *slide*, é apresentado uma introdução às leis de Kepler, como podemos observar na Figura 3 a seguir.

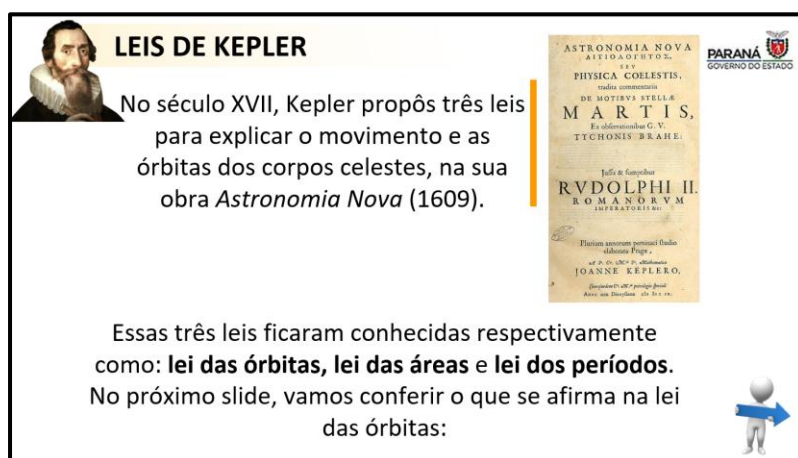


Figura 3. Décimo *slide* do material As Leis de Kepler (I). Fonte: SEED-PR, 2024a.

Do conteúdo do décimo *slide* emerge os constrangimentos didáticos da **descontextualização** e **despersonalização**. O primeiro constrangimento emerge pelo fato de que, ao retornarmos ao Saber Sábio, apenas a lei das órbitas e a lei das áreas estão na obra *Astronomia Nova seu Physica Coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis*¹⁸, enquanto que a lei dos períodos foi publicada 10 anos depois, em 1619, na obra *Harmonices Mundi*¹⁹ (Tossato; Mariconda, 2010; Menezes, 2022; Macedo, 2023). Em relação à **despersonalização**, além do comentado, ela emerge também pelo fato do foco se concentrar apenas nas famosas leis, desvinculando outras contribuições que Kepler forneceu na obra *Astronomia Nova*. Como observado por Itokazu (2006a, p. 67 – 68):

A nova astronomia é uma física dos céus; trata-se de estender ao estudo dos movimentos celestes o preceito básico da filosofia seiscentista, de acordo com o qual explicar um é conhecer sua causa. A principal relação de causalidade operante na *Astronomia Nova* é aquela que liga o Sol aos movimentos planetários, ao movimento de Marte em particular. A ideia de que do Sol emana uma força motriz responsável pelos movimentos dos planetas e a derivação das duas primeiras leis de Kepler a partir dessa ideia fazem do heliocentrismo de Kepler uma astronomia física, como ele orgulhosamente anuncia no título.

O mérito de Kepler em *Astronomia Nova* vai além da interpretação das duas leis do movimento dos planetas, englobando também uma reestruturação dos princípios e métodos da ciência astronômica. Um exemplo disso é a distinção que ele faz entre hipóteses astronômicas e hipóteses geométricas, conforme mencionado por Macedo (2023, p. 38):

[...] as hipóteses astronômicas devem corresponder aos movimentos reais dos astros no Universo, enquanto que as hipóteses geométricas servem para representar as hipóteses astronômicas, sendo assim, as hipóteses geométricas não devem ser consideradas verdadeiras ou falsas, pois a sua formulação não tem a necessidade de explicar a realidade do Universo, mas de ser capaz de manipular as hipóteses astronômicas, fazendo com que se deduzam os movimentos dos astros no céu.

¹⁸ *Astronomia Nova, fundada sobre as causas, ou Física Celeste, exposta em comentários sobre os movimentos da estrela Marte.*
¹⁹ *Harmonia do Mundo*

Além disso, em algumas passagens da obra, Kepler também descreve que uma força²⁰ motriz se origina do Sol e faz com que os planetas se movimentem ao redor dele, antes mesmo da ideia newtoniana de que a força gravitacional do Sol e a inércia dos planetas são as responsáveis por fazer com que os planetas descrevam órbitas em torno do corpo solar (Itokazu, 2006b; Macedo, 2023). Prosseguindo na discussão, o próximo *slide* que o material apresenta pode ser observado na Figura 4 a seguir.

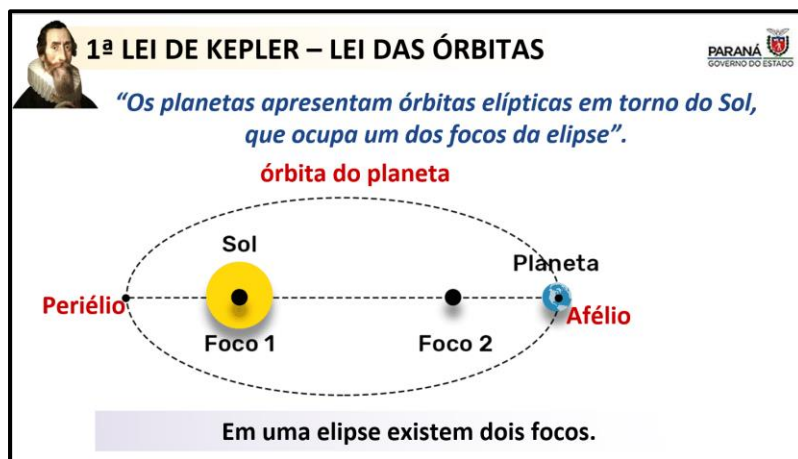


Figura 3. Décimo primeiro *slide* do material As Leis de Kepler (I). Fonte: SEED-PR, 2024a.

É possível inferirmos que o *slide* da Figura 3 apresenta os constrangimentos didáticos da **dessincritização, descontextualização e publicidade do saber**, uma vez que o material traz uma órbita planetária muito excêntrica, mais semelhante às órbitas de cometas do que às dos planetas ao redor do Sol. A **dessincritização** se manifesta pelo fato de não ser explicitado na produção desse Saber a Ensinar que, na realidade, as órbitas planetárias são elipses de baixíssima excentricidade, isto é, quase círculos (Canalle, 2003).

Essa questão também leva à **descontextualização**, pois remove a problemática enfrentada por Kepler para chegar à forma elíptica das órbitas. Kepler levou oito anos para alcançar essa conclusão devido à baixa excentricidade das órbitas (Koestler, 1989; Mourão, 2003), o que evidencia a dificuldade enfrentada por ele para determinar essa forma. Por exemplo, a excentricidade da órbita de Marte é 0,0923, enquanto que a de uma circunferência é zero, tornando quase imperceptível essa diferença.

Podemos perceber essa dificuldade no seguinte excerto: “[...] pressuponho que a órbita da Terra é perfeitamente circular, como de fato parece aos nossos sentidos. Afinal, devido à pequena excentricidade de sua elipse, ela praticamente não se afasta da circularidade”²¹ (Kepler, 1992, p. 88, tradução nossa). Assim, ao não abordar essa questão, pode se entender que Kepler chegou de maneira simples a conclusão de que as órbitas são elipses.

Em relação à **publicidade do saber**, ela se manifesta em razão dessa elipse mais achatada, que objetiva tornar esse saber público e acessível para os alunos. Embora didaticamente útil para visualizar a forma elíptica da órbita, essa **publicidade** gera essa omissão de que as órbitas são elipses de baixa excentricidade, podendo levar à compreensão inadequada de que as órbitas dos planetas são elipses bastante excêntricas.

Para contornar esse impasse, os elaboradores do material didático poderiam ter utilizado

²⁰ É importante observar que a noção de **força** para Kepler é distinta da visão newtoniana. Enquanto Kepler entendia a **força** como responsável por produzir velocidades, Newton, por outro lado, concebia a **força** como algo que gera acelerações. Além disso, de acordo com Itokazu (2008, p. 75) Kepler “[...] considera plausível que a força solar seja magnética ou quase-magnética, visto que ela age a distância e que fora recentemente demonstrada por William Gilbert no seu *De Magnete* a natureza magnética da Terra”.

²¹ I have presupposed that the earth's path is perfectly circular, as it indeed is to the senses. For because of the small eccentricity of its ellipse it can only barely depart from circularity (Kepler, 1992, p. 88).

mais ativamente a **vigilância epistemológica**. Eles poderiam ter representado uma elipse de grande excentricidade para, didaticamente, ilustrar a lei das órbitas, mas, em seguida, poderiam ter alertado que, na realidade, os planetas do sistema solar apresentam órbitas elípticas de baixíssima excentricidade e, então, poderiam ter apresentado algo semelhante à Figura 4 a seguir.

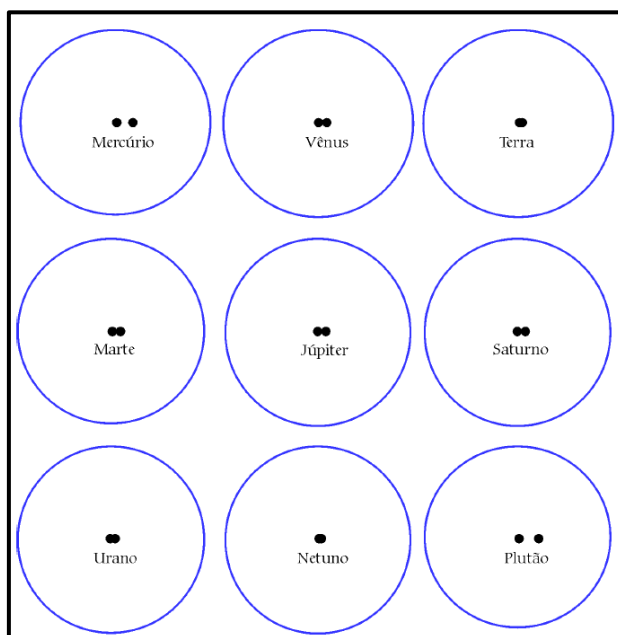


Figura 4. Elipses das órbitas dos oito planetas do sistema solar e do planeta anão Plutão. O ponto central é o centro da elipse e o ponto da direita é a posição de um dos focos que é ocupado pelo Sol. Fonte: Canalle, 2003.

No *slide* 12 novamente é enunciada a primeira lei do movimento planetário e um *gif* simula um planeta descrevendo uma órbita extremamente excêntrica em torno do Sol. Mais uma vez o *slide* 13, apresenta uma órbita bem achatada, porém, no caso, para a Terra em torno do Sol. Ao mesmo tempo é destacado nessa órbita o ponto de periélio e afélio da Terra, com seus respectivos valores em quilômetros. Outra vez salientamos que os elaboradores do material poderiam ter exercido a **vigilância epistemológica** e problematizado que

[...] uma evidência de que a órbita da Terra não é tão achatada (excêntrica) quanto aparece nos livros didáticos é o fato de vermos o Sol sempre com o mesmo tamanho. Se a órbita da Terra fosse tão excêntrica, quanto, por exemplo, $e = 0,8$ ou $e = 0,9$, teríamos que ver o tamanho aparente do Sol mudar ao longo do ano. Quando próximo dele, deveríamos vê-lo enorme [...] e quando distante dele o veríamos pequeno [...] (Canalle, 2003, p. 15).

Nos *slides* 14 e 15 são trazidas duas questões simples para os alunos responderem, cada uma respectiva a um *slide*, como pode ser observado na Figura 5 a seguir. Em seguida, o material é finalizado afirmando que na aula foi compreendida a forma das órbitas dos planetas, juntamente com as referências utilizadas.

Praticando 2

Ao sinal do(a) professor(a), analise a questão abaixo e levante a mão conforme indicado na figura ao lado da alternativa que julgar correta:

Pela primeira Lei de Kepler, o Sol se encontra:

2 min.

- a) No centro da trajetória circular dos planetas.
- b) Em um dos focos da trajetória elíptica.**
- c) No centro da trajetória elíptica do planeta.
- d) Na borda da elipse descrita por um planeta.
- e) Na borda da órbita circular descrita pelo planeta.

PROVA PARANÁ
d01 - Compreender o movimento de corpos celestes e/ou fenômenos naturais, por meio da interação entre Sol, Terra e Lua.

Praticando 3

Kepler era um defensor de qual modelo cosmológico:

- a) Heliocêntrico.**
- b) Geocêntrico.
- c) da Terra plana.
- d) da curvatura do espaço-tempo.

PROVA PARANÁ
d01 - Compreender o movimento de corpos celestes e/ou fenômenos naturais, por meio da interação entre Sol, Terra e Lua.



Figura 5. Décimo quarto e décimo quinto *slide* do material As Leis de Kepler (I). Fonte: SEED-PR, 2024a.

O segundo material inicia perguntando qual seria sua idade em outro planeta, juntamente com uma charge humorística que traz um paralelo entre o período orbital da Terra e de Marte em torno do Sol. No quinto *slide* o material já introduz a ideia por trás da segunda lei do movimento planetário, dizendo que Kepler “[...] verificou que um planeta se move mais lentamente quando está mais longe do Sol e, mais rápido, à medida que se aproxima” (SEED-PR, 2024a, *slide* 5). Essa afirmação vai ao encontro dos escritos de Kepler, como exemplifica o excerto a seguir: “[...] tornam provável que o verdadeiro desaceleramento do planeta resulta de seu afastamento do Sol, enquanto o aumento da velocidade decorre de sua aproximação em relação ao Sol [...]”²² (Kepler, 1992, p. 160, tradução nossa). No entanto, continuando o excerto, Kepler (1992, p. 160, tradução nossa) prossegue discutindo que

[...] é impossível sequer conceber como uma força poderia ser inerente no ponto β , que não tem corpo, em vez de estar em κ , que está bem próximo, onde se encontra o Sol, o coração do mundo, força essa que moveria o planeta mais rapidamente ou mais lentamente, dependendo de sua aproximação ou afastamento.²³

Por essa razão, o material novamente **despersonaliza** as ideias de Kepler, ao desvincular sua contribuição ao pensar que uma força emanava do Sol e era responsável por fazer os planetas girarem ao seu redor, ora com maior, ora com menor velocidade. Essa **despersonalização** remove a característica kepleriana de procurar uma relação causal para os fenômenos astronômicos, ou seja, para Kepler, essa diferença de velocidade ao longo da órbita deveria ser causada por algo, no caso, o Sol. Menezes (2022, p. 226) afirma que a grande questão para Kepler “[...] é que o astrônomo deve ir além, procurando a verdade na astronomia, separando os verdadeiros movimentos do que são enganosos, procurando no corpo físico do Sol as causas do movimento”. Portanto, a forma como o material apresenta essa informação pode levar à compreensão de que Kepler não supôs a causa dessas diferenças de velocidades e apenas as observou por meio dos dados.

Na sequência, especificamente no *slide* 6, é enunciada a segunda lei do movimento planetário, como podemos observar na Figura 6. A descrição apresentada é **despersonalizada**, **dessincretizada** e **publicizada**, pois omite a lei das distâncias que levou à lei das áreas, como podemos observar a partir do seguinte excerto (1992, p. 89, tradução nossa):

[...] por meio de uma demonstração geométrica, é construída a seguinte proposição universal: os tempos decorridos por um planeta sobre arcos iguais da órbita excêntrica **são proporcionais às distâncias do planeta** ao centro de

²² [...] make it probable that this real slowing down of the planet arises from its moving away from the body of the sun, and the speeding up from its approach to the sun itself [...] (KEPLER, 1992, p. 160).

²³ [...] it is impossible even to conceive of how a force could inhere in point β , which has no body, rather than in κ , quite nearby, in which there is the sun, the heart of the world, which force would move the planet more swiftly or slowly according to its approach and recess (KEPLER, 1992).

onde se origina a excentricidade²⁴ (Kepler, 1992, p. 89, tradução nossa, grifo nosso).

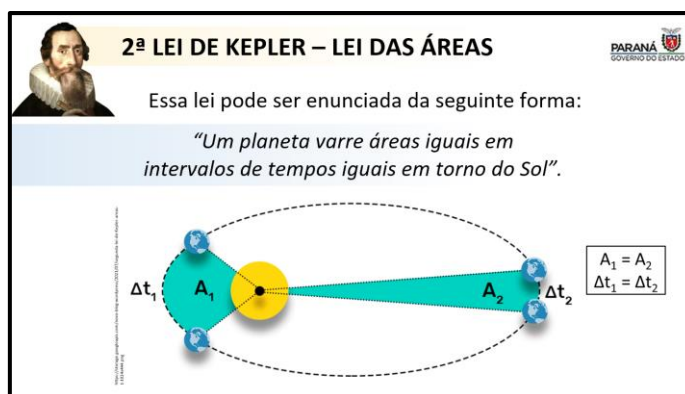


Figura 6. Sexto *slide* do material As Leis de Kepler (II). Fonte: SEED-PR, 2024b.

De acordo com Wilson (1972), a partir da lei das distâncias, Kepler com o intuito de reduzir os cálculos, percebeu que as distâncias do Sol até os pontos em um dos arcos iguais estão todas contidas na área do setor delimitado por esse arco. Assim, a área desse setor poderia ser utilizada como uma medida para todas as distâncias dentro dele. Portanto, “[...] da mesma forma que anteriormente as distâncias dos arcos iguais eram proporcionais aos tempos, agora ele sugeriu que as áreas poderiam ser consideradas proporcionais aos tempos correspondentes a esses arcos iguais” ²⁵(Wilson, 1972, p. 100).

Ainda a respeito do sexto *slide*, novamente a órbita elíptica representada é bastante achatada e nenhum alerta é feito sobre isso, o que leva aos constrangimentos didáticos já citados anteriormente e mostra o uso pouco efetivo da **vigilância epistemológica**. Em seguida, é apresentado um *gif* que simula o significado da lei das áreas. Nesse *gif* em questão, novamente a órbita representada é muito excêntrica e, além do mais, o Sol aparenta não estar em um dos focos dessa elipse, como pode ser visto na Figura 7.



Figura 7. Sétimo *slide* do material As Leis de Kepler (II). Fonte: SEED-PR, 2024b.

No oitavo *slide*, os alunos são solicitados a justificar se a distância da Terra ao Sol é a mesma durante o ano todo. E, a partir do nono *slide*, começa a introdução da terceira lei do movimento planetário. No entanto, antes de discutirmos os *slides* sobre essa lei, vale ressaltar mais um indício do uso menos efetivo da **vigilância epistemológica** por parte dos elaboradores

24 [...] by a geometrical demonstration, is constructed the following universal proposition: the elapsed times of a planet over equal arcs of the eccentric are proportional to the planet's distances from the center whence the eccentricity originates (Kepler, 1992, p. 89).

25 Just as earlier the distances of the equal arcs were proportional to the times, so now the areas might be assumed to be proportional to the times for these equal arcs (Wilson, 1972, p. 100).

deste material didático.

Dois motivos levam a essa inferência, o primeiro é o fato de que em nenhum momento, durante a apresentação da primeira e segunda leis, é informado que Kepler utilizou os dados observacionais de Tycho Brahe para chegar a essas leis. Esse fato é extremamente importante, pois sem os dados de Brahe muito provavelmente Kepler não teria chegado a suas leis. A razão disso é que Tycho Brahe foi um dos grandes astrônomos observacionais antes da invenção do telescópio, segundo Lucie (1977 *apud* Gomes, 2008, p. 47, grifo do autor),

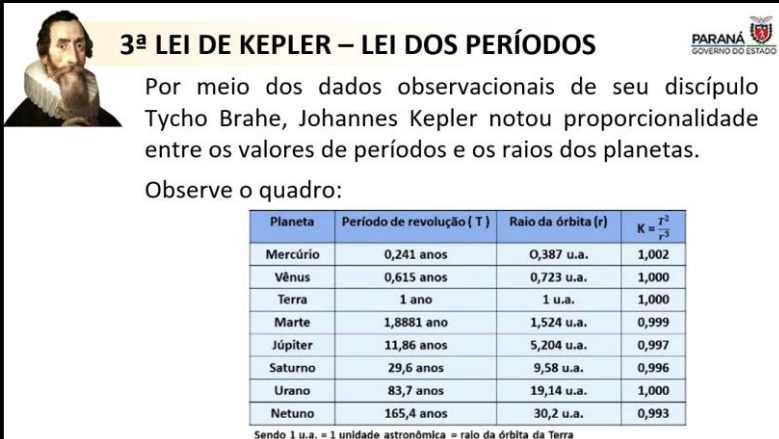
Graças a seus instrumentos e às suas refinadas técnicas de observação (que incluíam, pela primeira vez, correções para a refração atmosférica), Tycho Brahe levantou as posições de 777 estrelas e dos cinco planetas, **com maior precisão que quatro minutos de arco**. Para que se aprecie melhor essa proeza, é bom recordar que essas observações eram feitas a **olho nu**.

Além disso, outro motivo que levou Kepler a chegar às duas primeiras leis foi que, antes de falecer, Brahe havia determinado que Kepler se debruçasse sobre o estudo da órbita do planeta Marte, uma vez que esta apresentava uma das maiores excentricidades entre os planetas exteriores, independentemente do modelo considerado. Sabendo da complexidade em se explicar o movimento marciano, Kepler se dedicou intensamente para resolver esse enigma. De acordo com Macedo (2023, p. 37),

[...] ao se deparar com a precisão dos dados coletados por Tycho Brahe, Kepler encontrou um enorme problema em relacionar esses dados com um modelo que os respeitasse. Dessa forma, um trabalho que Kepler havia garantido em oito dias, levaram-se anos para serem concluídos, inclusive muito tempo depois da morte de Tycho.

Em relação ao segundo motivo que evidencia a falta de **vigilância epistemológica**, é o fato de não ser explicitado que, na realidade, em seus estudos, Kepler chegou primeiramente à interpretação da lei das áreas, em 1602, enquanto que a lei das órbitas ele chegou à sua conclusão em 1605 (Koestler, 1989). Ou seja, a segunda lei de Kepler veio primeiro do que a conhecida primeira lei de Kepler. Esse fato evidencia o constrangimento didático da **programabilidade**, pois, didaticamente, para se ter uma abordagem progressiva e racional do conteúdo, é útil apresentar primeiramente a lei das órbitas e depois a lei das áreas. Mas, novamente, alertamos que para isso ser feito, é preciso evidenciar que essa mudança está sendo feita. Diante do exposto, essas omissões fazem com que o Saber a Ensinar gerado seja **publicizado**.

Prosseguindo na discussão, temos que somente no nono *slide* do segundo material, quando se inicia a discussão da lei dos períodos, é que Tycho Brahe é citado pela primeira vez. No entanto, a frase apresentada no *slide* evidencia mais uma vez a falta da **vigilância epistemológica** dos elaboradores do material, uma vez que é afirmado que Tycho Brahe foi discípulo de Kepler, como podemos observar na Figura 8. Brahe nunca foi discípulo de Kepler, o que de fato aconteceu é que Kepler começou a trabalhar para Tycho Brahe em 4 de fevereiro de 1600 até a morte de Brahe em 24 de outubro de 1601.



3ª LEI DE KEPLER – LEI DOS PERÍODOS

Por meio dos dados observacionais de seu discípulo Tycho Brahe, Johannes Kepler notou proporcionalidade entre os valores de períodos e os raios dos planetas.

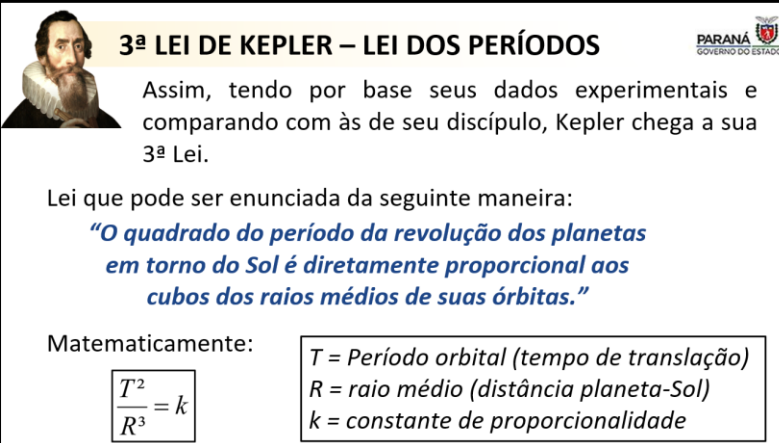
Observe o quadro:

Planeta	Período de revolução (T)	Raio da órbita (r)	$K = \frac{T^2}{r^3}$
Mercúrio	0,241 anos	0,387 u.a.	1,002
Vênus	0,615 anos	0,723 u.a.	1,000
Terra	1 ano	1 u.a.	1,000
Marte	1,8881 ano	1,524 u.a.	0,999
Júpiter	11,86 anos	5,204 u.a.	0,997
Saturno	29,6 anos	9,58 u.a.	0,996
Urano	83,7 anos	19,14 u.a.	1,000
Netuno	165,4 anos	30,2 u.a.	0,993

Sendo 1 u.a. = 1 unidade astronômica = raio da órbita da Terra

Figura 8. Nono *slide* do material As Leis de Kepler (II). Fonte: SEED-PR, 2024b.

O erro persiste no décimo *slide*, em que novamente Brahe é dito como discípulo de Kepler. Em seguida, a terceira lei do movimento planetário é apresentada conceitualmente e matematicamente, como podemos observar na Figura 9 a seguir.



3ª LEI DE KEPLER – LEI DOS PERÍODOS

Assim, tendo por base seus dados experimentais e comparando com os de seu discípulo, Kepler chega a sua 3ª Lei.

Lei que pode ser enunciada da seguinte maneira:

“O quadrado do período da revolução dos planetas em torno do Sol é diretamente proporcional aos cubos dos raios médios de suas órbitas.”

Matematicamente:

$$\frac{T^2}{R^3} = k$$

T = Período orbital (tempo de translação)
 R = raio médio (distância planeta-Sol)
 k = constante de proporcionalidade

Figura 9. Décimo *slide* do material As Leis de Kepler (II). Fonte: SEED-PR, 2024b.

Na sequência, no décimo primeiro *slide*, é afirmado que, em síntese, a lei dos períodos estabelece que “independente da massa do planeta, quanto mais distante ele estiver do Sol, mais tempo levará para completar sua translação” (SEED-PR, 2024b, *slide* 11). No décimo segundo *slide* é apresentado um *gif* para ilustrar que devido à constância da terceira lei, é possível relacionar o período e o raio orbital de dois corpos celestes distintos. O material finaliza com uma questão que solicita aos estudantes calcular as suas idades em Mercúrio e em Marte.

Assim, perante ao que é apresentado sobre a terceira lei de Kepler, podemos inferir que o Saber a Ensinar gerado é **dessincronizado**, **descontextualizado**, **despersonalizado** e **publicizado**, uma vez que o motivo que levou Kepler a chegar na interpretação da lei dos períodos não é discutido no material. Na obra *Harmonices Mundi*, Kepler vai em busca de “[...] uma laboriosa tentativa de determinar a música das esferas, de acordo com leis precisas, e de expressá-la em termos de notação musical” (Burt, 1983, p. 48). Vale ressaltar que, de fato, a música das esferas planetárias não é real, mas que se trata de um modelo que configura o instrumentalismo kepleriano (Menezes, 2022). Na visão de Tossato (2003, p. 147):

[...] a utilização da escala musical (que será utilizada por Kepler para substituir os sólidos) são instrumentos matemáticos para o intelecto humano poder entender e expressar as relações harmônicas que existem no mundo supra-lunar.

Podemos dizer que os modelos estão no nível do instrumentalismo kepleriano, dado pelo caráter dos seus argumentos por analogias, pois eles não necessitam ser verdadeiros ou falsos – o que aliás eles não têm motivo para assim serem considerados, visto que eles não são entidades reais – mas procedimentos para auxiliarem na descoberta da estrutura harmônica que está subjacente aos fenômenos celestes. O que é básico, é que o que é real é a estrutura harmônica, os modelos servem para o intelecto humano entender essa estrutura.

A partir desse instrumentalismo, Kepler, ao efetuar a razão dos valores das velocidades angulares dos planetas nos seus respectivos afélios e periélios, conseguiu encontrar relações que resultavam em escalas musicais. De acordo com Macedo (2023), para Saturno Kepler encontrou a escala da terça maior $\frac{4}{5}$, para Júpiter a terça menor $\frac{5}{6}$, para Marte obteve a quinta $\frac{2}{3}$, e assim por diante, como mostra a Figura 10.

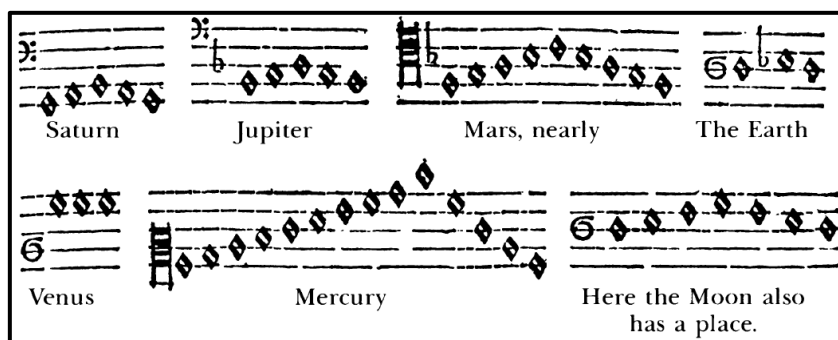


Figura 10. Representação das notas musicais que se assemelham à razão das velocidades angulares dos planetas em suas órbitas. Fonte: Kepler, 1997.

Juntamente com esse estudo das escalas musicais, Kepler também chegou na relação da potência $\frac{3}{2}$ e, a partir disso, na relação de que o quadrado do período da revolução dos planetas ao redor do Sol é diretamente proporcional ao cubo do semieixo maior da órbita do planeta. Em suas palavras:

[...] é absolutamente certo e exato que a proporção entre os tempos periódicos de dois planetas quaisquer é precisamente a proporção sesquiáltera²⁶ de suas distâncias médias, ou seja, de suas esferas reais, embora se deva considerar que a média aritmética entre os dois diâmetros da órbita elíptica é um pouco menor que o diâmetro maior. Assim, se tomarmos um terço da proporção do período, por exemplo, da Terra, que é um ano, e o mesmo do período de Saturno, que são trinta anos, ou seja, as raízes cúbicas, e duplicarmos essa proporção, ao elevar as raízes ao quadrado, teremos nos números resultantes a proporção exata das distâncias médias da Terra e de Saturno ao Sol. Pois a raiz cúbica de 1 é 1, e o quadrado disso é 1. Da mesma forma, a raiz cúbica de 30 é maior que 3 e, portanto, o quadrado disso é maior que 9. E Saturno, em sua distância média da Terra ao Sol, confirma isso²⁷ (Kepler, 1997, p. 411 – 412, tradução nossa).

²⁶ Na matemática, a proporção sesquiáltera refere-se a uma razão de 3:2. É uma proporção que, em termos mais simples, representa a relação entre dois números onde o primeiro número é uma vez e meia (ou uma vez mais a metade) do segundo número.

²⁷ [...] it is absolutely certain and exact that the proportion between the periodic times of any two planets is precisely the sesquialterate proportion of their mean distances, that is, of the actual spheres, though with this in mind, that the arithmetic mean between the two diameters of the elliptical orbit is a little less than the longer diameter. Thus if one takes one third of the proportion from the period, for example, of the Earth, which is one year, and the same from the period of Saturn, thirty years, that is, the cube roots, and one doubles that proportion, by squaring the roots, he has in the resulting numbers the exactly correct proportion of the mean distances of the Earth and Saturn from the Sun. For the cube root of 1 is 1, and the square of that is 1. Also the cube root of 30 is greater than 3, and therefore the square of that is greater than 9. And Saturn at its average distance of the Earth from the Sun (Kepler, 1997, p. 411 – 412).

Dessa forma, a omissão dessa discussão no material didático em questão, gera um saber fora de seu contexto histórico-social e epistemológico, o que sinaliza novamente a falta de **vigilância epistemológica** de seus elaboradores. A Figura 11 a seguir apresenta um diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados com os motivos de suas manifestações. Além disso, há também as razões que apontam para a falta ou a presença da vigilância epistemológica.



Figura 11. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber a Ensinar com os motivos que justificam sua manifestação, bem como as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

Concluída a análise do material utilizado pelos professores, que nos permite entender a dimensão desse Saber a Ensinar e observar como ocorreu a transposição para o Saber Ensinado, apresentaremos a seguir nossas inferências e interpretações das falas dos professores durante as aulas. Com isso, seremos capazes de compreender como foi gerado o Saber Ensinado e responder ao problema de pesquisa.

5.2 Análise do Saber Ensinado gerado pelo Prof. A

O **Prof. A** trabalhou com o conteúdo em questão durante uma única aula. Assim como o primeiro material utilizado, ele iniciou sua aula lembrando os alunos sobre os modelos ptolomaico e copernicano, destacando que, em ambos, as órbitas dos planetas eram descritas como perfeitamente circulares. Após essa discussão inicial, o **Prof. A** afirmou:

Prof. A: [...] Kepler falou o seguinte, o movimento dos planetas ao redor do Sol não é circular, ele tem formato de uma elipse. Então, ele veio e mudou essa parte no modelo heliocêntrico, agora deixa de ser circular, passa ser elíptico e o Sol não é mais no centro da Terra [acreditamos que aqui o professor quis dizer Universo ao invés de Terra], o Sol ele fica em um foco da elipse. Kepler, ele enunciou ali que além do movimento dos planetas não ser circular, agora ele é elíptico, o Sol não fica no centro, ele fica em um dos focos, ok? Aquele modelinho [aponta para o slide da Figura 3] da primeira lei de Kepler, ele exemplifica bem o movimento circular e a posição do Sol, lembra que eu falei que agora o movimento de... [pausa – reestruturação da frase] com Kepler a órbita deixou de ser circular e passa a ser elíptica... [pausa] o Sol deixa de estar no centro do Universo e passa a ocupar um dos focos da elipse [...].

A fala do **Prof. A** revela diversos constrangimentos didáticos, como **dessincronização**, **despersonalização**, **publicidade** e **descontextualização**. Um primeiro ponto a destacar é a omissão de que Kepler interpretou a forma elíptica das órbitas a partir dos dados observacionais de Tycho Brahe. Essa informação é essencial para a construção do conhecimento, mas não foi considerada como parte do objeto de ensino.

Em segunda lugar, o **Prof. A** não aborda o tempo que Kepler levou para chegar à lei das órbitas, nem as dificuldades enfrentadas, como o problema da baixa excentricidade, removendo, assim, as características que relaciona esse saber com o contexto pessoal do seu elaborador. Um terceiro motivo que também podemos observar, é que o **Prof. A** não evidencia a problemática da época vivida por Kepler, ou seja, a determinação da órbita do planeta mais excêntrico conhecido: Marte. Outro ponto que destacamos é que ao apresentar o *slide* da Figura 3, assim como os elaboradores do material didático, o **Prof. A** não problematiza com os alunos que a órbita elíptica do *slide* é muito excêntrica, divergindo das órbitas planetárias reais. Esse ponto, assim como os outros levantados, evidenciam a falta de uma **vigilância epistemológica** mais ativa por parte do **Prof. A**.

Essa questão da representação equivocada da órbita elíptica, de acordo com a literatura em Ensino de Ciências, faz com que a maioria dos alunos assimile a ideia de que a distância entre a Terra e o Sol varia de forma acentuada ao longo do ano. Essa concepção, por sua vez, conduz à explicação incorreta das estações do ano como resultado da maior proximidade (verão) ou afastamento (inverno) da Terra em relação ao Sol, um equívoco amplamente documentado em pesquisas sobre concepções alternativas em astronomia escolar. Além disso, os estudos indicam que a ênfase em órbitas exageradamente elípticas induz à percepção de que as diferenças de velocidade orbital ou de iluminação solar decorrem de distâncias muito variáveis, quando, na realidade, essas variações são pequenas e insuficientes para explicar fenômenos sazonais ou climáticos. Assim, conforme apontam as pesquisas, as consequências da representação de órbitas planetárias com alta excentricidade para a aprendizagem vão além da mera percepção geométrica, pois os alunos acabam estruturando modelos mentais equivocados sobre a dinâmica do Sistema Solar, naturalizando erros conceituais persistentes (Langhi; Nardi, 2007; Dias; Piassi, 2007; Sanzovo; Queiroz, 2012; Menezes; Batista, 2020; Silva, 2022).

Cabe destacarmos que esse problema não se restringe ao ensino de Ciências do Brasil. Em pesquisa realizada no Chile, Loyola e Vanegas-Ortega (2021) constataram que, quando são utilizados esquemas que exageram a elipticidade da órbita terrestre, os alunos passam a assimilar que a Terra se aproxima e se afasta do Sol de forma muito notória ao longo de sua trajetória. Segundo os autores, essa representação favorece a consolidação da concepção alternativa de que as estações do ano decorrem da variação da distância entre a Terra e o Sol, em detrimento da explicação científica baseada na inclinação do eixo terrestre. Esse resultado converge com as pesquisas desenvolvidas com estudantes brasileiros sobre essa temática. Dando sequência à análise da aula, o seguinte diálogo ocorreu entre o **Prof. A** e um aluno:

Prof. A: [...] então aqui a gente tem ali ó [aponta para o *slide* da Figura 3], do ladinho do Sol, que está em amarelo, temos aquele ponto que é o periélio... [pausa] quê que é o periélio? É o quão o planeta está mais próximo do Sol, então naquela posição ali [aponta para o *slide* da Figura 3] o planeta está cento e quarenta e... [pausa rápida] deixa eu ver se é dois ou sete... [pausa para verificar no próximo *slide*] 147 milhões de quilômetros do Sol.

Aluno: Como você sabe disso?

Prof. A: Por que eu acabei de olhar no outro *slide* [risos]. E do outro ponto, o ponto mais distante do Sol, é o que a gente chama de afélio, [...] então o afélio é o ponto mais distante entre o Sol e o planeta, ele está mais ou menos 152 milhões de quilômetros do planeta e do Sol, tá? É o ponto mais longe, ok? Então, essa daqui é a Primeira Lei de Kepler, foi assim que ele enunciou. Posso ir para a segunda?

Nesse diálogo, observamos que o **Prof. A** não especifica que os valores de distância do periélio e afélio mencionados se referem à Terra. Da forma como foi exposto, pode levar à compreensão de que esses valores se aplicam a qualquer planeta, gerando um Saber Ensinado

dessincritizado. Além disso, a resposta dada ao questionamento do aluno, evidencia mais uma vez a falta de **vigilância epistemológica** do **Prof. A**. Ele poderia ter aproveitado a pergunta e problematizado com os alunos como Kepler determinou os valores da distância do periélio e afélio, incluindo a importância de Tycho Brahe e seus dados observacionais. Assim, os constrangimentos didáticos já citados anteriormente poderiam ser atenuados.

Após solicitar para os alunos copiarem as informações da Figura 3, incluindo o desenho da elipse bastante achatada, o **Prof. A** continuou a discussão para enunciar a lei das áreas. Somente a partir desse momento é que o professor citou a figura de Tycho Brahe e seus dados para que Kepler chegasse às duas outras leis. Diferentemente do Saber a Ensinar utilizado, que explicita Tycho Brahe apenas na lei dos períodos, o **Prof. A** o insere na discussão a partir da lei das áreas, mas, como já apontamos, não o incluiu desde a lei das órbitas, **dessincritizando** o Saber Ensinado. Em seguida, o **Prof. A** discutiu a lei das áreas, como podemos observar a seguir:

Prof. A: Gente, de posse dos dados de Tycho Brahe, Kepler continuou seus estudos e enunciou a segunda lei [...]. Kepler, era além de astrônomo, ele era matemático, o que vocês acham que ele fez? Ele juntou a teoria que ele conhecia com os cálculos que ele tinha afinidade. Então, o quê que ele fez? Ele pensou assim... pera aí, se no ponto... [chama atenção do aluno], se o planeta estiver no ponto mais próximo do Sol, o tempo que... [reformulação da frase] ele vai se deslocar, ele fez uma comparação entre o planeta mais perto do Sol e o planeta mais distante, quê que ele observou? Que o tempo que ele gasta para sair desse ponto [aponta para o *slide* da Figura 6] e chegar nesse ponto, é o mesmo tempo que esse aqui gasta para sair desse ponto e chegar nesse ponto. Pera aí, se é o mesmo tempo, então significa que a área que ele percorreu também é a mesma. Aí com essa teoria dele, ele escreveu a segunda lei, que ela diz exatamente isso, um planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais em torno do Sol. Essa foi a segunda lei de Kepler, já já vou mostrar um “gizinho” para vocês, vou esperar vocês copiarem.

Da mesma forma que inferimos anteriormente, a fala do **Prof. A** revela diversos constrangimentos didáticos, como a **descontextualização**, **dessincritização**, **despersonalização** e **publicidade**, uma vez que novamente muitas omissões são feitas para a objetificação do saber. Por exemplo, é novamente utilizada uma elipse muito achatada e também não se menciona o “embate” de Kepler com a órbita marciana. A maneira como esse Saber Ensinado é gerado permite a compreensão de que Kepler chegou à lei das áreas de forma simples, sem complexidades e nenhum problema aparente para estar em busca de entender o movimento dos astros. Além disso, assim como o material de apoio, o **Prof. A** não destaca que a segunda lei foi elaborada antes da primeira, o que evidencia o problema da **programabilidade** e a falta de **vigilância epistemológica**. Após os alunos copiarem as informações da Figura 6, o **Prof. A** diz o seguinte:

Prof. A: Galera, Kepler falou mais uma coisa sobre o modelo heliocêntrico em relação ao modelo geocêntrico. No modelo geocêntrico, afirmava que a velocidade dos planetas era constante. Na segunda lei de Kepler, ele dizia o seguinte, que a velocidade... [reformulação da frase] a velocidade dos planetas não é mais constante. Então o quê que ele observou? Que quando o planeta está mais próximo do Sol... [pausa para interromper conversa paralela de alunos] Meninas, o que acontece com a velocidade aqui nesse ponto? [aponta para o periélio do *slide* da Figura 6].

Alguns alunos: Menor!!!

Outros alunos: Maior!!!

Prof. A: Maior, a velocidade aumenta aqui [periélio], aí quando ele chega nesse ponto, o que acontece com a velocidade aqui? [aponta para o afélio do *slide* da Figura 6] Diminui. Observem o movimento do planeta quando ele chega próximo ao Sol e quando ele fica distante [mostrando *gif* do *slide* da Figura 7]. Quê que aconteceu? Ele é mais rápido ali na área dois em relação à área um.

Semelhantemente ao material didático utilizado, o **Prof. A despersonaliza** o saber, pois não apresenta a ideia que Kepler forneceu para explicar o porquê havia essas diferenças de velocidade ao longo da órbita, isto é, a ideia kepleriana de que uma força provinha do Sol. No entanto, uma aluna perguntou o porquê dessas diferenças. Vejamos o diálogo a seguir:

Aluna: Por que lá [periélio] é mais rápido?

Prof. A: Porque lá ele está mais próximo do Sol. Quando ele está mais próximo do Sol a velocidade é maior.

Aluna: Não entendi, “mais” por que quando está mais próximo do Sol?

Prof. A: Oh galera, por que a velocidade aqui ó, por que ela é mais rápida? Por que ela está perto do Sol, ou seja, aqui ó, ela exerce uma gravidade maior, tá? Então é devido a gravidade mais próxima do Sol que ela é maior.

A explicação fornecida pelo **Prof. A** à aluna está correta, mas apresenta uma **descontextualização e despersonalização**. A maneira como foi explanado pode levar à interpretação de que Kepler entendia que essa diferença de velocidade dos planetas era causada pela gravidade. No entanto, essa ideia se estabeleceu com os estudos de Newton e sua Lei da Gravitação Universal. Para minimizar o impacto desses constrangimentos didáticos, o **Prof. A** poderia ter adotado uma **vigilância epistemológica**, esclarecendo que a explicação fornecida é uma concepção newtoniana que se estabeleceu após os trabalhos de Kepler. Alternativamente, ele poderia ter discutido a própria ideia de Kepler, que propõe uma força que emana do Sol e é responsável por esse efeito. Continuando a aula, o **Prof. A** discute o seguinte:

Prof. A: Oh pessoal, vamos continuar para encerrar a aula? Bom, agora a gente sabe que Kepler, com posse dos dados de Tycho Brahe, melhorou o modelo heliocêntrico e formulou duas leis. Só que a terceira lei foi a lei que ele mais teve trabalho para formular, ela levou em média dez anos para ser formulada, da segunda para a terceira.

Nesse trecho podemos identificar a falta de **vigilância** e o efeito da **programabilidade**, pois, como a segunda lei foi interpretada em 1602 e a terceira lei é publicada em 1619, no *Harmonices Mundi*, foram 17 anos entre a segunda e terceira lei. O **Prof. A** prossegue dizendo o seguinte:

Prof. A: Bom, o que diz a terceira lei? A terceira lei ela é basicamente matemática... ó essa é a terceira lei [muda para o *slide* da Figura 9]. Pessoal, terceira lei de Kepler, ela diz o seguinte ó, o quadrado do período da revolução dos planetas em torno do Sol é diretamente proporcional aos cubos dos raios médios de suas órbitas. Então, o quê que ele concluiu com isso? Ele concluiu o seguinte, gente, com essa equação ele chegou a um valor para todos os planetas, deixa eu ver se tá aqui... [pausa procurando o *slide*] ó com essa equação ele chegou a um valor dessa constante para todos os planetas [aponta para o *slide* da Figura 8]. Então, ele escreveu essa tabela, essa aqui é parte da tabela, tá, onde coloca aqui todas as constantes calculadas para cada um dos planetas e observe que cada planeta chegou no mesmo valor: um. Então, todos os planetas tem mais ou menos a mesma constante, ok?

Em seguida, o **Prof. A** solicitou que os alunos copiassem as informações da Figura 9 e encerrou a aula. Portanto, a partir desse trecho em que o **Prof. A** discute a lei dos períodos, podemos observar os mesmos constrangimentos didáticos identificados ao longo da aula, como **descontextualização**, **dessincretização**, **despersonalização** e **publicidade**. Isso ocorre porque, conforme já evidenciado na análise do material didático, não é problematizado para os alunos que a terceira lei resultou da tentativa de descrever a harmonia do movimento dos planetas em torno do Sol com base em notação musical. Além disso, o **Prof. A** não evidencia que a partir da constância da terceira lei, pode-se relacionar o raio médio da órbita e o período orbital de dois corpos celeste e, a partir disso, determinar os valores do raio das órbitas ou períodos orbitais. A Figura 12 a seguir apresenta um diagrama a fim de sintetizar os aspectos que levam aos constrangimentos didáticos identificados durante a aula do **Prof. A**, bem como os aspectos que sinalizam a presença ou falta de vigilância epistemológica.



Figura 12. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber Ensinado gerado pelo **Prof. A** com os motivos que justificam sua manifestação. Também estão indicadas as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

5.3 Análise do Saber Ensinado gerado pelo Prof. B

O **Prof. B** trabalhou o conteúdo das três leis de Kepler em duas aulas consecutivas do mesmo dia. Ele iniciou a aula dizendo que iriam estudar as leis de Kepler, introduzindo o tema da seguinte forma:

Prof. B: Primeira lei de Kepler... lei das órbitas. Olha aí no caderno de vocês, um desenho que vocês têm de órbitas... Volta na figura que vocês têm do geocentrismo e do heliocentrismo. Qual a órbita dos planetas nesses desenhos? É uma órbita circular, triangular, quadrangular? [...] Qual o formato dessa órbita? Fala para mim qual é o formato da órbita no seu desenho [aponta para aluno]

Aluno: Circular.

Prof. B: Circular!!! Então, será que é isso aqui que Kepler percebeu [aponta para órbitas circulares desenhadas no quadro]. Segundo a filosofia, qual a órbita mais perfeita, a circular ou a oval?

Alunos: Circular!!!

Prof. B: A perfeição está aqui [aponta para a órbita circular], mas qual descreve o modelo? Qual descreve o que acontece no espaço? [...]

Prof. B: E agora como é o nome dessa órbita aqui? [aponta para o desenho de uma órbita elíptica bem excêntrica no quadro]. Não é circular, antes era circular, a partir de agora para Kepler não é mais circular. Qual o nome dessa figura matemática? [...] isso aqui é chamada de elipse.

Lei das órbitas, os planetas se movem em órbita elíptica. Essa é a primeira lei. Como ele chegou nessa ideia? Usando os dados experimentais observados no céu durante 20 anos, ele pegou os dados do astrônomo real [...] esse astrônomo real criou um telescópio, sabe aquele telescópio da casinha? É o primeiro que surgiu, foi dele, Tycho Brahe.

Após essa introdução, o **Prof. B** escreveu algumas informações no quadro, como mostra a Figura 13.

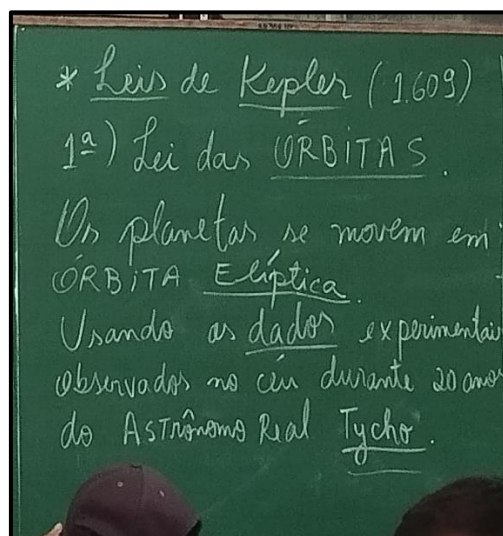


Figura 13. Definição da lei das órbitas escrita na lousa pelo **Prof. B**. Fonte: autores.

Portanto, a partir da explanação sobre a lei das órbitas, observamos que o **Prof. B**, ao contrário do material de apoio, evidencia que Kepler chegou à lei das órbitas por meio dos dados observacionais do Tycho Brahe, o que mostra em partes o uso da **vigilância epistemológica**. No entanto, outras questões são deixadas de lado durante a transposição do conteúdo, manifestando assim os constrangimentos didáticos da **descontextualização, dessincronização, despersonalização e publicidade**. Por exemplo, em nenhum momento o **Prof. B** discute que a problemática estudada por Kepler na época era a determinação da órbita de Marte, muito menos a dificuldade enfrentada por ele em relação à sua baixa excentricidade. Além do mais, novamente os alunos não são alertados de que a representação da órbita elíptica bem achatada não indica as reais órbitas planetárias e que estas são bem próximas de uma circunferência. Outro ponto que justifica a presença desses constrangimentos, é que, tanto na fala como nas informações colocadas no quadro, o **Prof. B** não explicita que, nessa órbita elíptica dos planetas, o Sol ocupa um dos focos da elipse. Além do mais, a questão do periélio e do afélio também não foi tratada durante a aula.

Por fim, no final da explicação, o **Prof. B** diz que Tycho Brahe criou o telescópio da “casinha”, o que acreditamos estar se referindo aos observatórios astronômicos equipados com telescópios. No entanto, Brahe não inventou observatórios astronômicos equipados com telescópios, uma vez que Brahe é um astrônomo da era pré-telescópica. Na verdade, o que ele construiu foi o castelo de Uraniborg que era constituído de torres de observações, um observatório subterrâneo e oficinas dedicadas à fabricação de instrumentos tais como quadrantes, astrolábios,

réguas de paralaxe, esferas armilares e relógios altamente precisos (MOURÃO, 2003; GOMES, 2008). Em outro momento da aula, o **Prof. B** abordou o seguinte:

Prof. B: Lei das áreas de Kepler... uma certa área do movimento do planeta é igual a outra área... igual a outra certa área. Podemos colocar assim... área um é igual a área dois. Eu vou fazer a figura agora, [...] vocês conseguem ver a segunda lei [aponta para o desenho no quadro – Figura 14]? Qual é a segunda lei? [pausa] Lei das áreas, o planeta Terra... [reformulação da frase] imagina assim ó, esse período, imagine que é uma estação do ano [...] pega lá no tempo um e compara com o tempo dois, é o mesmo... Sabe o que acontece? Essa área aqui é igual essa outra área aqui. Desse período com esse período, para essa área igual a essa área.

Aí vem a terceira lei, quê que é? [...] O período tá aqui, o tempo, tempo o quê? Elevado a quem? Ao quadrado. Dividido pelo raio elevado a quanto? Ao cubo. Isso é igual a quem? Isso é igual a uma constante planetária. Você pega qualquer planeta, o período dele ao redor do Sol e o raio dele, e divide tempo ao quadrado e raio ao cubo, vai dar o mesmo valor parecido com um... para todos os planetas. Mercúrio dá isso? Vênus dá isso?... Pega a órbita de Vênus, quem tem a maior órbita? Mercúrio ou Vênus?... Quem tá mais perto do Sol? Mercúrio ou Vênus?... Vocês acham que Mercúrio que está mais perto, ele demora mais para dar uma volta no Sol ou é Vênus que é mais rápido?... Quem é mais rápido? Mercúrio ou Vênus?... Mais rápido é Mercúrio, quanto mais perto do Sol, maior é sua velocidade, menor o tempo que você precisa para dar uma volta. [...]

Faz de conta que você não sabe o período de Marte... com o raio de Marte dá para você descobrir qual o período de Marte. Você faz a relação entre Marte e a Terra usando a terceira lei de Kepler. Por quê? Por que você pode fazer essa relação? Por que você pode comparar Marte e a Terra? O k da Terra não é igual ao k de Marte? Você pode brincar com isso aí agora. [...]

Assim como anteriormente, o **Prof. B** escreveu algumas informações no quadro sobre a lei das áreas e a lei dos períodos, como podemos observar na Figura 14. Em seguida, ele colocou os *Powerpoints* do material de apoio e rapidamente passou pelos *slides* que enunciavam as leis de Kepler, lendo as suas respectivas definições. Depois, passou dois exercícios para os alunos utilizarem a terceira lei do movimento planetário. O primeiro solicitava o cálculo do período orbital de Marte e o segundo o período orbital de Vênus, ambos a partir do raio médio e período orbital da Terra.

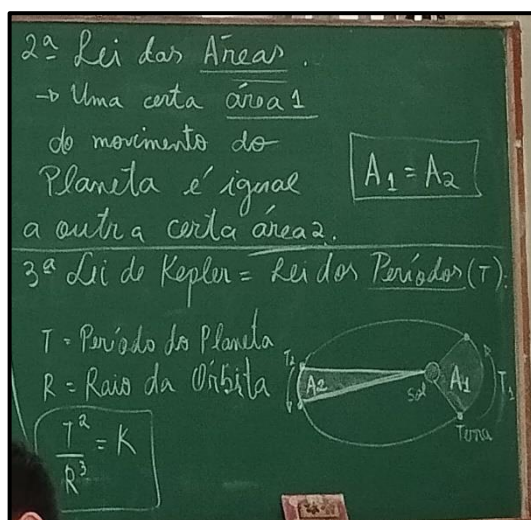


Figura 14. Definição da lei das áreas e lei dos períodos escrita na lousa pelo **Prof. B**. Fonte: autores.

Diante do exposto, podemos inferir que o Saber Ensinado gerado é novamente **descontextualizado, dessincronizado, despersonalizado e publicizado**. O primeiro ponto que evidencia isso é que ao enunciar a lei das áreas, como podemos observar na Figura 14, o **Prof. B** apenas enfatiza que as áreas varridas são iguais, não explicitando que os tempos percorridos para varrer essas áreas também são iguais. Além do mais, não é discutido com os alunos que isso ocorre devido ao fato de os planetas apresentarem velocidades diferentes ao longo da órbita percorrida e muito menos que essa diferença, para Kepler, é causada por um tipo de força que emanava do Sol.

O segundo ponto que destacamos é que, de forma similar ao Saber a Ensinar, o **Prof. B** não trabalha com os alunos que a lei dos períodos resultou da busca de Kepler por descrever o movimento dos astros a partir das notas musicais, afastando assim o Saber Ensinado do Saber Sábio. O terceiro ponto observado é que o desenho da órbita, presente na Figura 14, representa a Terra em uma órbita elíptica bem excêntrica ao redor do Sol. Por fim, novamente não se discute que a segunda lei foi interpretada antes da primeira, consequência essa da **programabilidade**.

Diante disso, mais uma vez interpretamos que esses constrangimentos didáticos não têm seus impactos negativos atenuados devido à falta de **vigilância epistemológica** do **Prof. B** durante o processo de transposição. A Figura 15 esquematiza um diagrama com a intenção de resumir os aspectos que levam aos constrangimentos didáticos identificados durante a aula do **Prof. B**, além dos aspectos que indicam a presença ou falta de vigilância epistemológica.

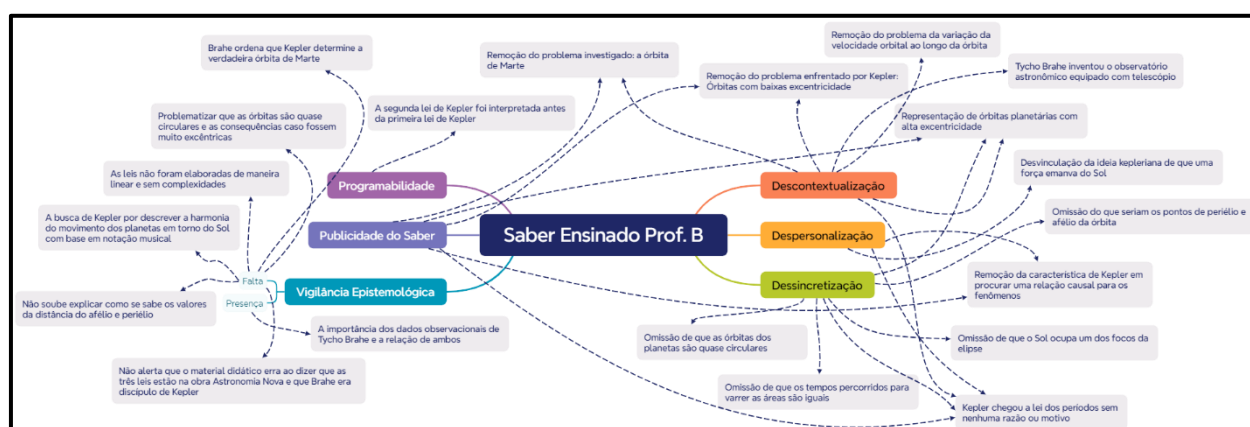


Figura 15. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber Ensinado gerado pelo **Prof. B** com os motivos que justificam sua manifestação. Também estão indicadas as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

5.4 Análise do Saber Ensinado gerado pelo Prof. C

O **Prof. C** abordou o conteúdo das três leis do movimento planetário de Kepler em duas aulas seguidas, no entanto, em dias diferentes. De forma similar ao material de apoio, o **Prof. C** iniciou a aula lembrando aos alunos os modelos geocêntrico e heliocêntrico, enfatizando que, em ambos os modelos, as órbitas dos planetas eram consideradas perfeitamente circulares. Em seguida, apresentou Tycho Brahe, destacando sua importância para o estudo dos movimentos dos planetas. Vejamos:

Prof. C: Tycho Brahe tinha na época um telescópio, obviamente o Galileu já tinha inventado o telescópio, já tinha melhorado aquela coisa toda... ele tinha um

ótimo telescópio para a época e esse cara foi pago para ficar no observatório real e ficar observando o céu e ficar fazendo anotações... cara, esse cara fez um monte de anotações de tempo, de movimento, posição no espaço, um monte de coisa. Bom, ele tinha um monte, um monte, um monte de números de dados de informações que até então ninguém tinha. Bom, o quê que Kepler fez? Ele pegou essas informações do Tycho Brahe e conseguiu entender as anotações [...].

Diferentemente do que observamos ao longo do trabalho, o **Prof. C**, antes de apresentar as leis de Kepler, aborda a importância dos dados observacionais de Tycho Brahe para que Kepler chegasse às três leis, demonstrando um certo nível de **vigilância epistemológica**. No entanto, o **Prof. C descontextualiza** o saber, quando afirma que Tycho Brahe utilizou um telescópio para realizar suas observações, o que é historicamente incorreto, pois Brahe faleceu em 1601, e Galileu só utilizou a luneta para olhar o cosmos pela primeira vez por volta de 1609. Indo mais além, a **descontextualização** também está presente por afirmar que Galileu inventou o telescópio. Na verdade, Galileu apenas aprimorou a luneta, um instrumento inventado na Holanda, cujo inventor exato é incerto. De acordo com Cohen (1967), no mínimo, há três inventores que afirmam ter sido o primeiro a fabricar o instrumento. O **Prof. C**, continuou:

Prof. C: [...] ele [Kepler], por exemplo, pegou o planeta Marte... eu tô chutando Marte aqui, tá? Não foi Marte especificamente... em certa época do ano, parece que Marte, fazendo o movimento, tá indo um pouco mais rápido... por exemplo, por quê? Porque cada dia ele muda uma posição no espaço, de repente numa certa época do ano essa mudança não é tão rápida, ele demora mais para percorrer o mesmo trajeto no espaço, tá? Então, primeira coisa que ele percebeu... opa a velocidade do planeta de acordo com as anotações feitas pelo Tycho Brahe, não é a mesma durante o ano inteiro... Por quê? Olha eu percebo que a posição do planeta em determinada época do ano no céu, é diferente... só que se eu colocasse isso numa órbita circular, não deveria acontecer isso que tá anotado... quê que ele anotou? Aquilo que ele estava vendo, então quando eu coloco isso no modelo que era o aceito na época [...], ele percebe que as anotações melhores não batiam com a órbita circular... o objeto tem hora que parece tá mais perto, tá mais longe, tá mais rápido, mais lento... ele chega à conclusão que o quê? A órbita não deveria ser circular, que durante o movimento na órbita, ele vai mais rápido ou mais lento e ele percebe a relação entre se ele está mais perto ou mais longe quando ele está mais rápido e mais lento e ele começa a juntar tudo isso.... qual que é a conclusão que ele chega? Nas leis de Kepler [...].

O primeiro ponto que devemos destacar é que o **Prof. C** diz no início que Kepler começou a estudar a órbita de Marte, o que de fato vai ao encontro do problema que Kepler enfrentava na época, mas em seguida, ele afirma que está dando apenas um exemplo, que não foi Marte em específico. Isso evidencia uma pequena falha na **vigilância epistemológica** do **Prof. C**, pois de fato Kepler estudou especificamente a órbita marciana como designou Tycho Brahe. Apesar disso, podemos inferir que a **vigilância** do **Prof. C** é mais ativa, pois ao longo da sua fala, ele descreve que Kepler começou a observar que Marte, ao longo da sua órbita, apresentava variações de velocidades, fato esse que não podia corresponder com um movimento uniformemente circular. Podemos observar essa ideia no seguinte excerto:

Se o planeta tivesse a mesma velocidade em todas as partes de sua órbita, a resposta, de acordo com o que foi dito no capítulo 3²⁸, seria sim. No entanto, em

²⁸ Quando Kepler se refere ao que foi dito no Capítulo 3, ele está discutindo a ideia de que a velocidade dos planetas não é constante ao longo de suas órbitas elípticas. No Capítulo 3, ele argumenta que, devido à excentricidade de suas órbitas, os planetas não se movem

termos de tempo decorrido real e verdadeiro, **o planeta é mais lento em um ponto da órbita excêntrica e mais rápido no ponto oposto** [...] ²⁹(Kepler, 1992, p. 145, tradução nossa, grifo nosso).

Assim, de acordo com Koestler (1989), historicamente foi a partir dessa constatação dos dados de Tycho que Kepler inferiu que a velocidade era inversamente proporcional à distância do planeta ao Sol e, a partir disso, chegou à lei das áreas. Seguindo a aula, o **Prof. C** discute o seguinte:

Prof. C: Bom, o Kepler observando e, o Newton depois, vão perceber o quê? Vão defender a ideia de que as órbitas dos planetas não são circulares, mas são elípticas ou elipses... Kepler e Newton chegam à conclusão, não porque eles achavam que era melhor desse jeito... pegou a observação de outro cientista, pegou aquele monte de números, vamos ver que formato dá esse movimento... e eles chegaram à conclusão que o movimento tem que ser uma elipse e não um círculo [...]

A fala do **Prof. C** destaca uma das características kepleriana: a busca por descrever o movimento dos planetas com base em seu movimento real, e não nos movimentos aparentes. Menezes e Batista (2022, p. 292) reforçam essa ideia ao afirmar que Kepler argumentava que “[...] o astrônomo devia se preocupar em separar os movimentos verdadeiros do planeta em questão, daqueles que são acidentais e derivados do sentido da visão”. Isso indica novamente o uso da **vigilância epistemológica** por parte do **Prof. C**. Em seguida, foi escrito no quadro a seguinte informação para os alunos copiarem, como podemos observar na Figura 16.

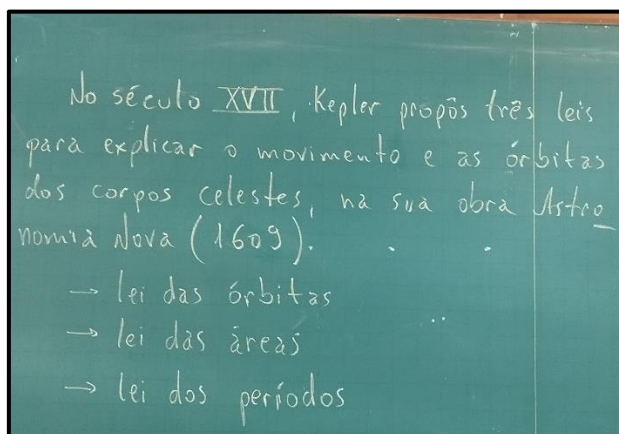


Figura 16. Informações sobre as leis três leis escritas na lousa pelo **Prof. C**. Fonte: autores.

Note que, assim como o material de apoio utilizado, o **Prof. C** **descontextualiza** e **despersonaliza** o saber ao escrever que as três leis do movimento planetário estão na obra *Astronomia Nova* e por apenas focar na contribuição das leis, sem citar outras relevâncias da obra kepleriana. Além das informações da Figura 16, o **Prof. C** também escreveu a definição da lei das órbitas, como podemos constatar na Figura 17.

a uma velocidade uniforme, o que resulta em variações na percepção do tempo decorrido para um observador em diferentes posições. Isso fundamenta sua conclusão de que um planeta pode parecer mais lento em uma parte da órbita e mais rápido em outra, enfatizando a complexidade do movimento planetário.

²⁹ If the planet were of equal speed at all parts of its orbit, the answer, according to what was said in chapter 3, is yes. But since, in terms of real and true elapsed time, the planet is slowest at one point on the eccentric, and fastest at the opposite point [...] (KEPLER, 1992, p. 145).

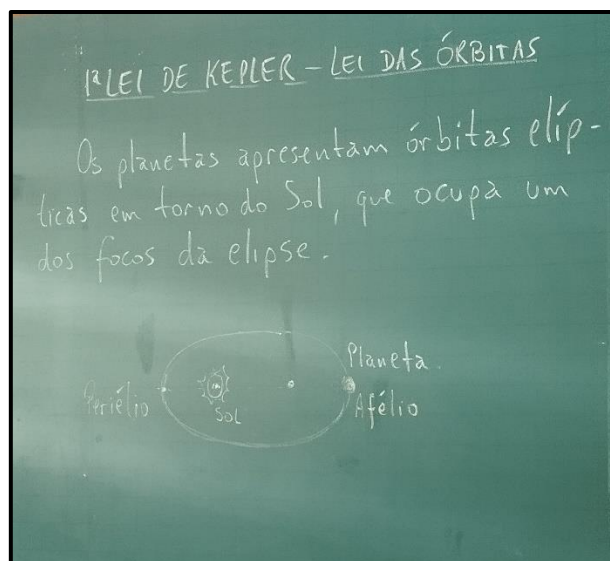


Figura 17. Definição da lei das órbitas escrita na lousa pelo **Prof. C**. Fonte: autores.

Após os alunos copiarem, o **Prof. C** começou a explicação dizendo o seguinte:

Prof. C: Elipse então é essa figura [aponta para o desenho na lousa – Figura 17] meio que um círculo achatado, que vai ter dois chamados focos... dois pontos que são focos... então nas observações de Kepler a órbita dos planetas não é um círculo, é uma elipse. Bom, e o Sol? Onde está nisso? O Sol está aqui no meio [aponta novamente para o desenho na lousa]? Não!!! Elipse tem dois focos, dois pontos de onde nasce essa elipse... o Sol está em um dos focos... então veja ele não está no meio, ele tá num dos focos [...].

Uma observação... se você pegar a órbita da Terra e esses focos do Sol... não é tão longe assim, tá? [aponta para o *slide* da Figura 3] Na verdade, o foco aqui é pequenininho [faz um gesto no desenho do quadro indicando que os focos são próximos do centro], a gente faz grandão só para entender a ideia, não é um negócio tão grande assim também [faz um gesto de elipse bem excêntrica com os braços]. Agora... vamos lá... se o planeta está girando ao redor do Sol nessa órbita... o Sol tá em um dos focos... concorda que vai ter um momento [...] se eu pegar uma linha aqui passando pelos dois focos... vai ter um momento em que o planeta tá o quê? Mais distante... e um ponto em que ele está mais próximo. Esse ponto mais próximo e mais distante recebe um nome específico, isso é uma consequência da órbita ser elíptica e o Sol estar em um dos focos... no ponto onde ele está mais próximo, a gente chama de periélio [...] e o afélio do afastado do Sol, ponto onde ele está mais distante do Sol... no caso da Terra, o ponto onde ele está mais próximo é 147 milhões de quilômetros e a distância mais longe 152 milhões de km.... 47, 48, 49, 50, 51 e 52, gente é 5 em 150, concorda que é pouco? Então esse desenho que eu fiz exagerado não é esse negócio todo achatado, se fosse possível a gente desenhar a órbita da Terra num papel, ela seria quase que uma circunferência perfeita, os focos bem pertinho uns do outro, seria 5 em 150 mais ou menos para você ter uma ideia, mas existe essa diferença e essa diferença vai ter como consequência algumas coisas que a gente vai falar na próxima lei.

O trecho indica mais uma vez que o **Prof. C** exerce um pouco mais de **vigilância epistemológica** ao alertar os alunos de que a órbita do material didático e a desenhada por ele não condizem com a órbita elíptica da Terra, pois as representações mostram órbitas muito

do ano são uma causa direta da lei das órbitas. Apesar do alerta, faltou ao **Prof. C** discutir a verdadeira causa das estações do ano, ou seja, a inclinação do eixo da Terra.

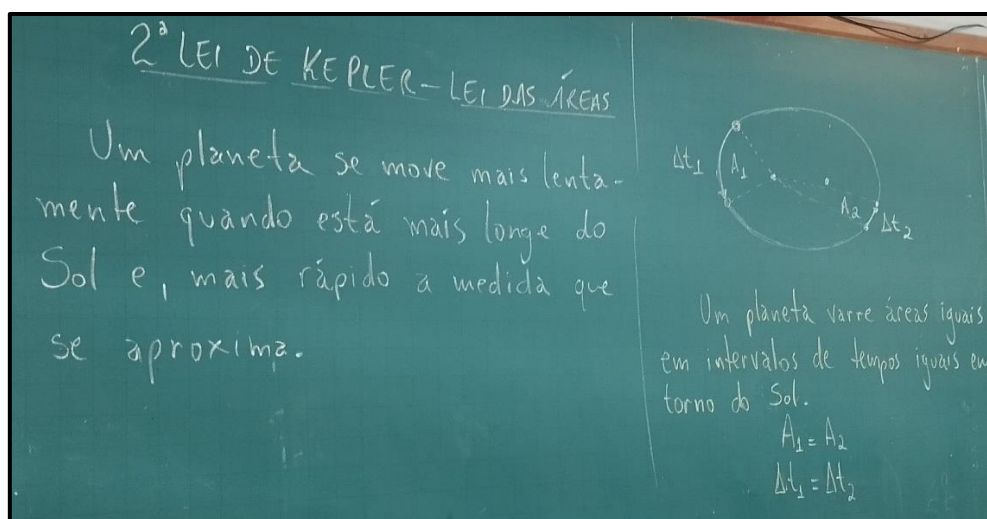


Figura 19. Definição da lei das áreas escrita na lousa pelo **Prof. C**. Fonte: autores.

Na aula do segundo dia, após retomar a ideia por trás da lei das órbitas e escrever o conteúdo na lousa (Figura 19), o **Prof. C** explana o seguinte:

Prof. C: Lembra do afélio e do periélio? Afélio tá longe e periélio está perto. Então... imagina a lei de Kepler, o Sol tá aqui... [aponta para o desenho na lousa – Figura 19] a Terra tá girando em torno do Sol... quando ela está no periélio, mais próximo, a força é maior ou menor sobre a Terra? Quando a Terra está mais próxima aqui no periélio... vai ter uma força maior, à medida que ela vai para o afélio, a força gravitacional do Sol vai ficando menor. Agora pensa comigo, vamos seguir a linha de raciocínio, se aqui no periélio a força é maior, a Terra vai se mover mais rápido ou mais lento do que lá longe? Lembra periélio força maior, para uma força maior o que acontece com a velocidade?

Alunos: Aumenta!!!

Prof. C: Aumenta... Se aqui [aponta para o afélio] a força é menor, o movimento também é menor, velocidade menor, né? Agora vamos então entender o que é a segunda lei de Kepler... planeta tá girando à medida que ele se aproxima do Sol ou melhor quando ele vai ficando longe do Sol, a velocidade vai ficando menor, por qual motivo? Porque ele se afasta e a força da gravidade diminui, se a força da gravidade diminui, o movimento se torna um pouco mais lento... à medida que ele se aproxima do periélio, a força da gravidade vai se tornando um pouco maior, a velocidade do planeta tende aumentar um pouco [...] se a velocidade é maior, concorda que ele vai percorrer uma distância maior aqui do que no outro lado? Ele tá mais rápido [...] o que Kepler percebeu? Vamos imaginar que aqui, entre o Sol e a Terra tem uma linha, conforme o planeta vai girando, concorda que essa linha vai percorrendo uma região no espaço... vai percorrendo uma área do espaço. Aqui [aponta para o periélio] ele está mais rápido, então ele dá esse deslocamento maior, do outro lado ele se afasta, você estica a linha e ela continua movendo aqui, vai formar uma área também [...] quê que o Kepler percebeu? Esta área desse lado é igual à área do outro lado, por isso chama de lei das áreas [...]

Ao explicar a lei das áreas após sua enunciação, o **Prof. C** faz uma articulação entre essa lei e a lei da gravitação de Newton. No entanto, embora essa articulação seja correta, ela gera o

constrangimento didático da **descontextualização** e **despersonalização**. A forma como a explicação foi apresentada pode dar a entender que Kepler acreditava que as diferenças nas velocidades dos planetas, que levam à conclusão de que as áreas e os tempos descritos são iguais, eram causadas pela força gravitacional. Porém, a ideia de força gravitacional foi desenvolvida por Newton, algumas décadas após a morte de Kepler. Para reduzir o efeito dessa **descontextualização** e **despersonalização**, o **Prof. C** poderia ter implementado uma abordagem mais **epistemologicamente vigilante**, destacando que a explicação apresentada se baseia na teoria newtoniana que surgiu após os estudos de Kepler. Outra opção seria abordar a própria concepção kepleriana de que uma força era proveniente do Sol, como já comentamos anteriormente. Além desses dois constrangimentos, também podemos identificar a **programabilidade**, pois não foi relatado aos alunos que a lei das áreas foi interpretada antes da lei das órbitas. Em outro momento da aula, após escrever a definição da terceira lei no quadro (Figura 20), o **Prof. C** começou a explicar a lei dos períodos.

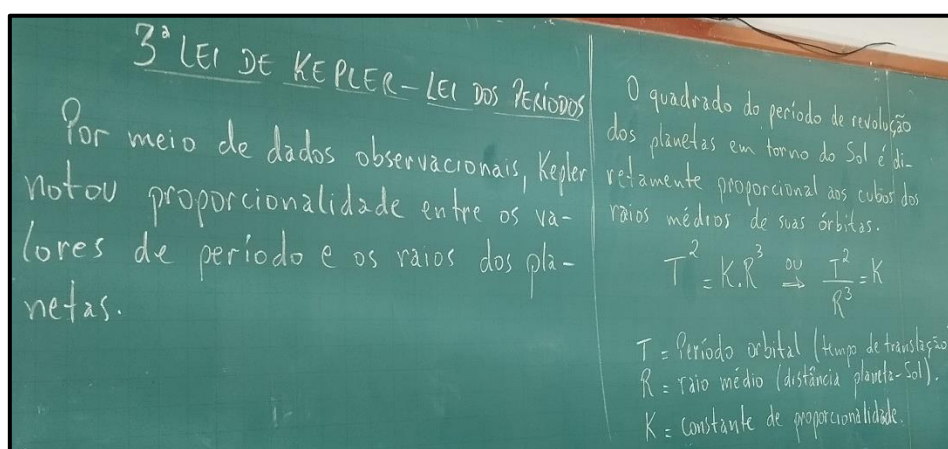


Figura 20. Definição da lei dos períodos escrita na lousa pelo **Prof. C**. Fonte: autores.

De forma similar ao que já constatamos ao longo da pesquisa, o Saber Ensinado da lei dos períodos está **descontextualizado**, **dessincretizado**, **despersonalizado** e **publicizado**, diante da explicação fornecida pelo **Prof. C**. Isso ocorre porque, mais uma vez, é reforçada a visão de que Kepler chegou a essa lei sem uma razão aparente, ignorando sua busca pela harmonia dos movimentos planetários baseada na música. Vejamos a explicação:

Prof. C: Lembra que nós falamos que o Kepler... ele pegou os dados e observações que não eram dele... era do tal do Tycho Brahe... ele pegou essas informações e começou a analisar... quê que ele concluiu olhando aquele monte de números? Olha, os planetas demoram um tempo para transladar, ou seja, para ir em torno do Sol [...] então, o período que a Terra faz o movimento de translação, aquela órbita em torno do Sol, é um ano. Tá... a distância entre a Terra e o Sol, é sempre a mesma? Durante esse um ano, é sempre a mesma?... Não... porque tem o afélio e o periélio... então, olha o que o cara [Kepler] teve capacidade de fazer [...] vamos lá... a Terra tem um período de órbita que a gente fala um ano... o raio da Terra tem hora que é menor, hora maior, só que a gente pode pegar o raio médio. Quê que ele percebeu?... Olha só como o cara, olhando um monte de número esparramado, conseguiu perceber... para todos os planetas, se eu pegar o período, elevar ao quadrado, pegar o raio médio e elevar ao cubo, vai dar a mesma proporção [...] se eu pegar o período da Terra elevado ao quadrado e dividir pelo raio médio elevado ao cubo, vai dar um resultado, ok? Esse k é um número qualquer [...] ah, mas se pegar Júpiter?... Pega o raio médio de Júpiter, pega o período de Júpiter, faz essa continha, vai dar o mesmo resultado [...].

Você quer prever a órbita de um planeta... você sabe que esse valor é o mesmo para todos os planetas [...] esse valor [aponta para o k] é sempre o mesmo... o tempo que ele demora para dar uma volta e chegar no mesmo lugar você consegue observar... se você tem o período e esse número que é constante... você com facilidade calcula o raio médio dos planetas ou de qualquer outro corpo orbitando em torno do Sol.

Diante do exposto, a Figura 21 traz um diagrama com a finalidade de organizar os aspectos que levam aos constrangimentos didáticos identificados durante a aula do **Prof. C**, além dos aspectos que indicam a presença ou falta de vigilância epistemológica.



Figura 21. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber Ensinado gerado pelo **Prof. C** com os motivos que justificam sua manifestação. Também estão indicadas as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

5.5 Análise do Saber Ensinado gerado pelo Prof. D

O **Prof. D** abordou o conteúdo das três leis de Kepler com seus alunos em três aulas distintas, dedicando uma aula para cada lei. Na primeira aula, logo no início, ele pediu a alguns alunos que compartilhassem o que haviam encontrado sobre elipse, uma vez que na aula anterior o **Prof. D** havia solicitado que realizassem uma pesquisa sobre essa figura geométrica. Após alguns alunos lerem definições matemáticas sobre a elipse, o **Prof. D** desenhou duas representações de órbitas na lousa: uma com baixa excentricidade e outra com maior, conforme mostrado na Figura 18

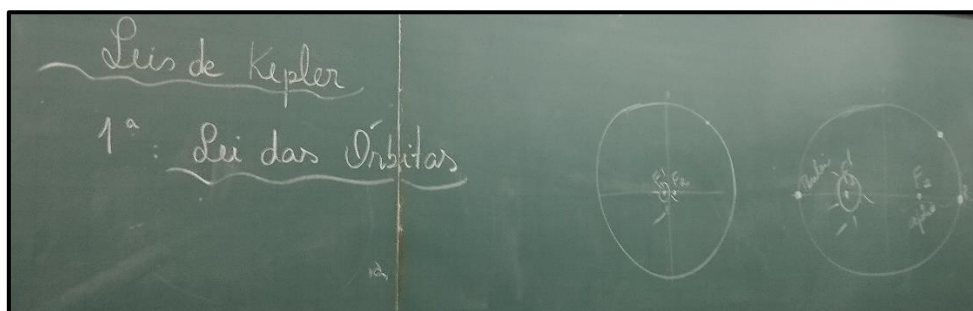


Figura 22. Representações de uma órbita com baixa excentricidade (esquerda) e uma órbita com alta excentricidade (direita) elaboradas pelo **Prof. D**. Fonte: autores.

Em seguida, o **Prof. D** explicou:

Prof. D: [...] quanto mais esses focos aqui se aproximam, eles vão juntando... ficando menorzinho, menorzinho até ficarem somente aqui no centro... não vai ter mais essa distância focal, tá? E ele se aproxima de um círculo, tá certo? E aí

com isso aí, dessa excentricidade, que você vai ter as excentricidades das órbitas dos planetas, né... nas quais vão ter a aproximação de um círculo, tá? Nem todos vão ter esse mesmo valor, vão ter vários valores, tá certo? E o desenho... se você for ver, até da Terra e tudo, ele aproxima de circular, ele é assim [aponta para o desenho da esquerda na Figura 22] bem próximo a distância focal e o centro [...]. Então, se é próximo de um círculo, então por que você mandou a gente estudar elipse? No que isso aí vai acarretar? Nas chamadas leis de Kepler... para gente entender um pouquinho como que o Kepler, tá, chegou a essas três leis que vão fundamental, né... vão ser importantes depois lá para a gravitação ali de Isaac Newton, tá bom? E nas observações justamente do movimento dos planetas ao redor do Sol [...].

A partir da explanação, podemos observar que o **Prof. D** exerce em partes a **vigilância epistemológica**, uma vez que, antes mesmo de enunciar a lei das órbitas, ele já alerta os alunos de que as representações são exageradas e que as órbitas elípticas são bem próximas de uma circunferência. Além disso, ao contrário do material de apoio e dos outros professores até aqui relatados, o **Prof. D** foi o primeiro a discutir as propriedades de uma elipse com os alunos antes de enunciar a lei das órbitas, o que evidencia um cuidado durante a transposição do conteúdo. Continuando, o **Prof. D** discutiu o seguinte com seus alunos:

Prof. D: Quem que vai ocupar um dos focos? No caso o Sol ocupa um dos focos... e onde que vai tá o planeta? Seria isso aqui ó [desenha o planeta na órbita elíptica do desenho da direita na Figura 22].

Aluna: E no outro foco, estaria o que? O planeta?

Prof. D: Não... porque assim, na elipse, você tem é... não pode ter só um foco, você tem os dois focos, mas um dos focos é o Sol que ocupa.

Aluna: O outro não existe?

Prof. D: Existe... mas é que é elemento de elipse, o planeta não ocupa um dos focos não, tá? O planeta seria isso aqui ó [aponta para o desenho do quadro – Figura 22]... porque se for aqui [aponta para o outro foco do desenho] não tem desenho de elipse, né?

Diante do diálogo podemos observar que a explicação fornecida pelo **Prof. D** vai ao encontro da ideia kepleriana de que a excentricidade da órbita dos planetas está no Sol, como destaca o trecho a seguir: “[...] mostrei que o excêntrico de Marte não pode ser referido a nada além do próprio Sol [...]” ³¹(Kepler, 1992, p. 528, tradução nossa). Na sequência, o **Prof. D** introduz a lei das órbitas, vejamos:

Prof. D: Primeira lei... lei das órbitas... quando falar de órbita, só pode estar dizendo sobre o quê? Quê que seria órbita?... O caminho ali que o corpo celeste faz ao redor do outro, no caso, o planeta ao redor do Sol, né... E no caso ali, qual foi o enunciado... a conclusão de Johannes Kepler ali para a lei das órbitas? Em um referencial fixo no Sol, as órbitas dos planetas são elipses e o Sol ocupa um dos focos.

Pessoal... quando você tem o modelo ali de Kepler, né, quando ele descreve essa tal das órbitas, né... a primeira lei, sempre há um exagero, né... na questão da elipse... porque as excentricidades, né, elas são bem pequenas... [...] os planetas, né, a parti ali da lei de Kepler, se considerar essa questão da elipse, a distância

³¹ [...] have shown that the eccentric of Mars cannot be referred to anything but the sun itself [...] (Kepler, 1992, p. 528).

focal aqui... ela é bem pequenininha, então a excentricidade é bem baixinha, isso significa que a elipse se aproxima de um círculo, né... assim para entender melhor o que seria essa tal da primeira lei das órbitas, né... a gente usa um recurso ali para poder visualizar, poder entender... [...] porque a excentricidade ela é bem pequena, tudo bem? Mas, ainda assim tá valendo a primeira lei? Sim, sim tá... por que está valendo essa primeira lei? Por conta das distâncias dos planetas até o Sol... que distância é essa? O chamado afélio e periélio, entendeu? E por que existe essa chamada diferença? Justamente porque ele não está na órbita uma distância igual a todo momento, apesar que esse chamado afélio e periélio, nessa mudança de distância em relação ao Sol, é pequena, ela varia assim ó, o afélio é 152 milhões de distância e o periélio é 147 aproximado... então assim você tem, para questões astronômicas, é um valor pequeno, né, esses 5 milhões de diferença, tá? Mas é uma “diferencinha”, entendeu...

Novamente é possível observar que o **Prof. D** alerta os alunos de que a excentricidade da trajetória elíptica formada pelas órbitas dos planetas é muito baixa, aproximando-se de um círculo, mas que não pode ser considerado um círculo, porque há as diferenças de distâncias ao longo da órbita, tendo seu máximo e mínimo nos chamados afélio e periélio respectivamente. Fato esse que mostra novamente um uso mais perceptivo da **vigilância epistemológica** por parte do **Prof. D**. No entanto, o saber gerado por ele é **descontextualizado** e **publicizado**, pois não é explicitado para os alunos que Kepler chegou a essa interpretação devido aos dados observacionais de Tycho Brahe bem como sua busca pela determinação da órbita de Marte. Logo após terminar a explicação um aluno fez o seguinte questionamento. Vejamos:

Aluno: Então isso causa as estações do ano?

Prof. D: Não!!! Aí que tá, não, não, não, você não vai ter alteração assim... então aqui vai tá mais quente [aponta para o periélio] e lá vai estar mais frio [aponta para o afélio] sim ou não?... Não, pessoal o quê que é responsável por esse lugar estar mais quente ou o lugar estar mais frio é o eixo da Terra... a inclinação do eixo da Terra, tá... que é responsável pela quantidade de luz solar que vai chegar aqui em determinada região, ou seja, na inclinação do eixo... ele vai receber uma quantidade de luz solar, se isso [lei das órbitas] fosse responsável pelo tanto de quantidade de luz que recebe... ah tem pouca luz, tem muita luz, vai ser mais quente, vai ser mais frio... pensa bem, agora acompanha comigo... inverno aqui em junho para nós, né? Inverno junho para nós, lá no hemisfério norte é o que? Verão... ou seja, se isso [lei das órbitas] fosse responsável os dois seriam do mesmo jeito.

A partir do questionamento do aluno podemos constatar o que algumas pesquisas já alertaram sobre a associação que muitos alunos fazem entre a lei das órbitas e a explicação das estações do ano. Dessa forma, o **Prof. D**, a partir do uso da **vigilância epistemológica**, explica para os alunos que a ligação entre esses dois fenômenos está incorreta e que, na realidade, as estações são uma causa da inclinação do eixo da Terra. A aula foi encerrada nessa discussão sobre as estações do ano. No segundo dia de aula, após recapitular a lei das órbitas, o **Prof. D** apresentou a lei das áreas para os alunos, como podemos observar a seguir:

Prof. D: Então vamos lá pra segunda lei, tá... pessoal, lei das áreas... [...] nessa lei das áreas... temos duas coisas antes, a questão das áreas varridas e a questão ali da velocidade orbital... em relação à velocidade orbital, devido ao afélio e periélio... o que Kepler observou? É que um planeta mais próximo, né, no caso quando está no periélio, ele se move mais rápido, né... mas isso acontecia devido ao quê?

Aluno: A gravidade.

Prof. D: Exatamente!!! Só que não é só essa questão da velocidade... uma outra coisa vem a ser as áreas... o quê que é essa questão ali da área? Você tem aqui a elipse, o Sol ocupando um dos focos e aí você tem lá o planeta, esse planeta, numa trajetória orbital, vai ter uma reta que vai unir o planeta ao Sol, tá? Aí conforme ele vai movimentando quê que vai acontecer? Ele vai percorrer uma trajetória aqui, um caminho. E o que que Kepler observou? Tem uma reta aqui que une [...] sai dessa posição e vai pra outra, essa reta que une, ela vai ter uma área, essa área dessas posições percorridas aqui vai ter o mesmo tamanho que essa outra aqui [aponta para o *slide* da Figura 6]... então aqui a gente tem duas posições de S1 para S2, tá? E aqui a gente pode ter uma outra posição S3, S4, S5, S6 e S7... e aqui também de S6 a S7, vai o quê? Essa reta aqui vai percorrer uma área, né? Essas áreas aqui, que vou chamar de A1 e A2, Kepler observou que elas têm o mesmo tamanho, tá certo? E outra coisa mais interessante que ele observou... além da mesma área percorrida, tem o mesmo tempo, tá? O mesmo tempo que percorreu A1, é o mesmo tempo que ele percorreu na área A2... e o que compensa isso é a questão da velocidade mudar quando tá mais longe e mais perto. Então essa é a segunda lei de Kepler.

Em face da explicação do **Prof. D**, percebemos que ele sinaliza que Kepler observou que a lei das áreas é uma consequência do fato de as velocidades dos planetas ao longo de suas órbitas variarem de acordo com a distância do planeta ao Sol. Porém, ao questionar o motivo dessa variação de velocidade, um aluno respondeu que era devido à gravidade e o **Prof. D** prontamente concorda com o aluno, mas, como já salientamos, essa articulação gera a **descontextualização** e **despersonalização**, pois Kepler não associava a causa desse fenômeno a uma força do tipo gravitacional. Portanto, o que já discutimos sobre essa questão se insere também nesse caso. Outro ponto que vale destacar também, é que novamente não é alertado que a lei das áreas foi concebida antes da lei das órbitas, fato esse gerado pela **programabilidade**. Após a explicação, a aula do segundo dia finalizou, mas vale ressaltar que metade da aula o **Prof. D** utilizou para corrigir um trabalho que os alunos haviam feito aulas passadas.

Na última e terceira aula sobre o conteúdo, o **Prof. D**, após uma discussão sobre a avaliação que estava se aproximando, iniciou a aula falando sobre a importância dos dados observacionais de Tycho Brahe. Isso sinaliza uma falta de **vigilância epistemológica** sobre essa questão, pois de maneira similar ao material de apoio, a importância de Tycho Brahe é sinalizada apenas na terceira lei, ignorando a relevância para as duas primeiras. Em seguida, o **Prof. D** relembrou a lei das órbitas e a lei das áreas com os alunos e, após isso, iniciou a discussão sobre a lei dos períodos. Vejamos:

Prof. D: Vamos aqui pessoal... terceira lei de Kepler... lei dos períodos [...] tudo assim com base nos dados de Tycho Brahe, tá... então assim com umas informações que tinha Kepler é... deu uma questão assim bem interessante que é o quê? Quando ele pega o raio da órbita com o tempo de revolução, né... e fazia uma razão entre elas, ele notou que os valores eram os mesmos. Só que assim, essa divisão era feita de qualquer jeito? Não... então ele fez a divisão desse período ao quadrado, tá? E o raio ao cubo, mas que raio é esse? No caso ele tomava o raio da órbita, só que assim esse raio da órbita é médio, certo? [...] Deu quanto a razão? Um ... Isso aqui [aponta para a equação no *slide* da Figura 9] ele começou a fazer para todos os outros planetas também, e o que ele notou? Essa razão aqui ela dava o mesmo valor, se não era exato, era aproximado, tá? Então, não importando se estava longe ou perto, a divisão do período de translação com o

raio, raio médio dessa órbita, dava a razão de um ou 0,999, tudo aproximando. Olhando aqui na tabela [slide da Figura 8], vamos pegar dois planetas só... pessoal vamos pegar Mercúrio. Mercúrio está mais longe ou mais perto do Sol?

Alunos: Perto!!!

Prof. D: E Urano?

Alunos: Mais longe!!

Prof. D: [...] pessoal, são valores gritantes de diferença, tanto na questão da distância quanto no tempo de revolução, só que na hora que você faz essa conta de acordo com a lei de Kepler, inclusive ele fez, dá a razão de um, ou seja, se você sabe que isso acontece... pode pegar essa constante e usar para qualquer situação... dá para descobrir tanto a distância do planeta em relação ao Sol, a média, como o tempo de revolução, tá? Então isso que foi assim de brilhante que a contribuição de Kepler tem para a Astronomia. Isso dá para ser feito, pessoal, para qualquer corpo que fica orbitando ao redor de outro. Você, por exemplo, pode pegar um satélite orbitando ao redor da Terra... dá para usar a lei de Kepler? Dá.

Tendo em vista a explicação, mais uma vez a compreensão que chegamos é que a maneira como a terceira lei é abordada leva a entender que Kepler não tinha nenhum motivo aparente para relacionar essas grandezas ao quadrado e ao cubo e depois dividi-las. Dessa forma, mais uma vez o Saber Ensinado gera a **descontextualização, despersonalização, dessincretização e publicidade**, pelos mesmos motivos já discutidos nas outras análises. A Figura 23 apresenta um diagrama para sintetizar os aspectos que levam aos constrangimentos didáticos identificados durante a aula do **Prof. D**, além dos aspectos que indicam a presença ou falta de vigilância epistemológica.

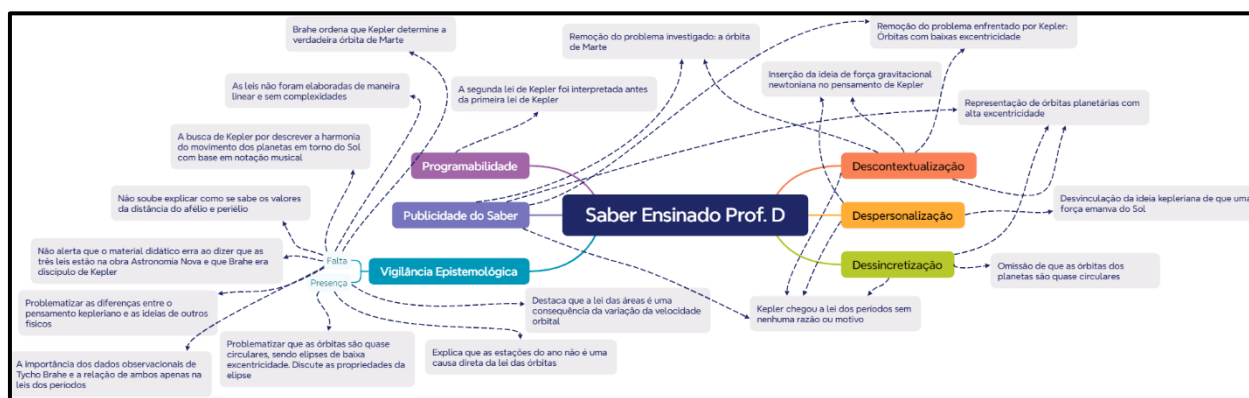


Figura 23. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber Ensinado gerado pelo **Prof. D** com os motivos que justificam sua manifestação. Também estão indicadas as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

5.6 Análise do Saber Ensinado gerado pelo Prof. E

Por fim, o último professor que participou da pesquisa trabalhou o conteúdo em duas aulas do ano letivo. Na primeira aula, o **Prof. E** começou corrigindo exercícios sobre a força peso, conceito abordado na aula anterior. Após a correção, seguindo a sequência apresentada no material de apoio, o **Prof. E** iniciou a discussão do tema retomando, primeiramente, qual era a forma das órbitas dos planetas nos modelos de Ptolomeu e de Copérnico, isto é, a ideia de órbitas perfeitamente circulares. Em seguida, ele então explicou:

Prof. E: Então mais pra frente, Kepler chegou à conclusão nos seus estudos que essa não era a órbita correta [circular]... então ele verificou que a órbita era uma elipse, tá? E não um círculo. Então, aí ele escreveu sua primeira lei que é essa aqui [aponta para o *slide* da Figura 3]. Então olha... os planetas apresentam órbitas elípticas, ou seja, em forma de elipse, tá aqui o “deseinho” [aponta para o *slide* da Figura 3]... vocês estudam isso aqui lá na matemática, devem ter visto já... em torno do Sol que ocupa um dos focos dessa elipse. Então, a elipse possui dois focos, onde o Sol vai estar exatamente localizado em um desses focos e não no centro como se falavam até o momento, ok? Então o planeta que está indicado aqui vai girando... então tem momentos que esse planeta vai estar mais afastado do Sol, que nós chamamos de afélio, e outras vezes o planeta vai estar mais próximo, que a gente chama de periélio, ok? Então podem copiar aqui essa lei e se quiserem fazer o desenho certinho aí... podem estar fazendo.

A partir do Saber Ensinado gerado, identificamos os seguintes constrangimentos didáticos: **descontextualização, dessincretização, despersonalização e publicidade**. Os motivos que levam a esses constrangimentos novamente se repetem. São eles: a omissão da figura de Tycho Brahe e seus dados observacionais; a remoção do problema da órbita de Marte e a baixa excentricidade; e, por fim, o fato de não ser problematizado com os alunos que a órbita representada no *slide* é muito excêntrica. Além disso, o **Prof. E** não sinalizou que a primeira lei foi interpretada anos depois da segunda, o que reflete o constrangimento didático da **programabilidade**.

Isso sugere uma falta de **vigilância epistemológica** do **Prof. E** durante o processo de transposição didática do conhecimento. Na segunda aula, o **Prof. E** retomou a discussão sobre a lei das órbitas. Após problemas técnicos com a televisão, que impediu a exibição dos *slides* do segundo material didático, ele escreveu a informação na lousa (Figura 24) e explicou:

Prof. E: Bom, pessoal, então vamos para a segunda lei de Kepler... que é a lei das áreas, tá? Então o quê que Kepler percebeu... ele foi contando, né, o intervalo de tempo... então vamos supor ele pegou um intervalo de tempo 1 e calculou a área nesse intervalo de tempo aqui ó [aponta para o desenho na lousa – Figura 24]... então, ele calculou a área daquele espaço, ok? Ele pegou um intervalo de tempo 2, desse outro lado aqui e também calculou a área desse espaço ali. E aí ele verificou que o valor dessa primeira área aqui era exatamente igual ao da segunda área. Ele verificou que a área 1 é exatamente igual a área 2. E assim por diante com outras áreas e a partir disso ele escreveu a sua lei [...].

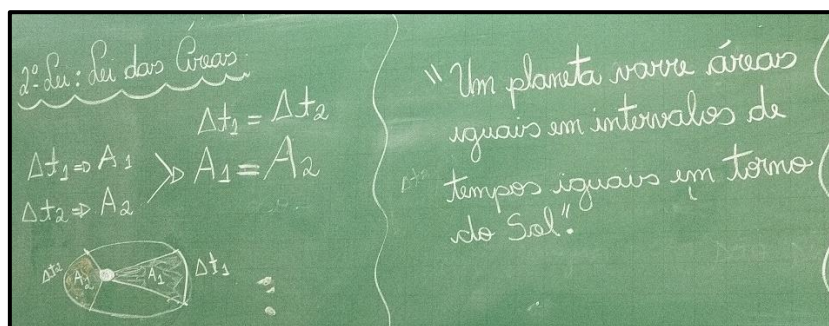


Figura 24. Definição da lei das áreas escrita na lousa pelo **Prof. E**. Fonte: autores.

Mais uma vez, a falta de **vigilância epistemológica** resultou em um Saber Ensinado **dessincretizado, despersonalizado e publicizado**. Ao tentar objetificar esse saber para os alunos, o **Prof. E** omite que Kepler interpretou que as áreas varridas pelos planetas em suas

órbitas, e o intervalo de tempo para percorrer essas áreas eram iguais, pois a velocidade dos planetas ao longo de suas respectivas órbitas não era constante, variando devido ao que Kepler interpretou como uma força proveniente do Sol, que alterava a velocidade dos planetas de acordo com suas distâncias em relação ao corpo solar. Além disso, o desenho da órbita feito pelo **Prof. E** é uma elipse muito achatada, como podemos observar na Figura 24. Na sequência, o **Prof. E** escreveu algumas novas informações na lousa, como mostra a Figura 25, seguido pela explicação da lei dos períodos, como podemos acompanhar a seguir:

Prof. E: Ok pessoal, vamos para a última lei que ele escreveu que foi a lei dos períodos. Bom pessoal, então ele fez um estudo, algumas medidas, alguns cálculos para chegar nessa terceira lei, no caso, ele construiu uma tabela, eu ia mostrar ali para vocês, mas não vai ter como [televisão não funcionou]... então só vou explicar para vocês quê que ele mediu. Então, no movimento aqui dos astros, dos planetas, o quê que ele pegou? Ele pegou o tempo aqui ó... que o planeta gira em torno do Sol... no caso da Terra, qual que é o tempo de translação? O tempo que ele gira em torno do Sol?... 365 dias ou 1 ano, né? Então, vamos supor que se aqui fosse a Terra [aponta para o desenho no quadro – Figura 25], o período que chamamos de T , é o período de revolução em torno do Sol da Terra... seria então 1 ano que é igual a 365 dias, mas geralmente as medidas que ele tem é em ano e não em dias, ok? Aí ele mediu também o raio dessa órbita, mais ou menos do centro aqui até a extremidade da elipse, e ele chamou esse raio de R ... ele fez essa medida. No caso da Terra também é 1, tá? Aí quê que ele fez? Depois que ele fez essas medidas do período e do raio, ele calculou o cubo desse raio, entendeu? E calculou o quadrado desse período. E ele fez a razão entre esses dois valores... ele dividiu e ele encontrou um valor constante. Então, para qualquer planeta esse valor aí, era o mesmo, não importava o valor do seu raio ou o valor do seu período. E aí ele escreveu sua terceira lei.

Então para qualquer planeta ele encontrou aproximadamente o valor de 1, por isso tem uma constância ali. Ok, pessoal? Então ele escreveu a terceira lei dizendo o seguinte... o quadrado do período da revolução dos planetas em torno do Sol é diretamente proporcional aos cubos dos raios médios de suas órbitas. Então o que quer dizer diretamente proporcional? Diretamente proporcional é quando eu aumento um, eu aumento o outro... então o que isso significa? Que quanto maior for a distância do planeta ao Sol, maior tempo ou mais tempo ele leva para girar ali em torno do Sol. Então foi isso que ele descobriu com esse cálculo aí que ele fez. Então não importa o tamanho do planeta, não importa a massa dele, não importa nada, as dimensões... o que importa é somente isso... o tempo, o período que ele vai levar para fazer essa órbita... e a distância que ele vai estar do Sol. Então quanto mais distante mais tempo ele leva para girar em torno do Sol.

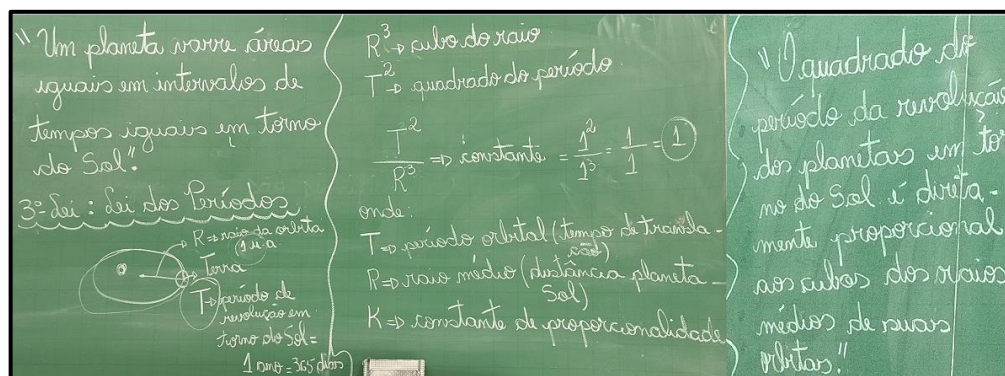


Figura 25. Definição da lei dos períodos escrita na lousa pelo **Prof. E**. Fonte: autores.

Como evidenciado ao longo deste trabalho, ao transpor a terceira lei do movimento planetário, o **Prof. E** **descontextualiza, despersonaliza, dessincretiza** e **publiciza** o Saber Ensinado. De forma similar aos outros professores participantes, ao discutir a lei dos períodos, o **Prof. E** não aborda a busca de Kepler em descrever o movimento dos planetas por meio de notas musicais. A forma como o conteúdo é apresentado leva à compreensão de que Kepler não tinha um motivo aparente para chegar à relação da terceira lei. Outro ponto a ser sinalizado é que o **Prof. E** não evidencia que a partir da constância da terceira lei, pode-se relacionar o raio médio da órbita e o período orbital de dois corpos celeste.

Além disso, durante sua explicação e no desenho da Figura 25, o **Prof. E** afirma incorretamente que Kepler considerou a distância do centro da elipse até sua extremidade, sendo que a distância correta a ser considerada é a média da distância do afélio e do periélio. Ao negligenciar os impactos negativos dos constrangimentos didáticos identificados e não os reduzir, é um reflexo da falta de **vigilância epistemológica**, isto é, da necessidade de compreender historicamente o conhecimento com o qual se está trabalhando, bem como as transformações que estão sendo feitas nesse saber. A Figura 26 apresenta um diagrama para resumir os aspectos que levam aos constrangimentos didáticos identificados durante a aula do **Prof. E**, bem como os aspectos que indicam a presença ou falta de vigilância epistemológica.



Figura 26. Diagrama relacionando os constrangimentos didáticos identificados no Saber Ensinado gerado pelo **Prof. E** com os motivos que justificam sua manifestação. Também estão indicadas as razões que indicam a falta ou a presença da vigilância epistemológica. Fonte: autores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao revisitar nosso problema de pesquisa – *Como ocorre o processo de transposição didática do Saber a Ensinar para o Saber Ensinado das três leis do movimento planetário de Kepler a partir dos constrangimentos didáticos?* – podemos inferir que a transposição didática interna desse conteúdo não ocorre de maneira satisfatória, uma vez que não é exercida a vigilância epistemológica necessária para reduzir o impacto negativo da descontextualização, dessincretização, despersonalização, publicidade e programabilidade que são manifestadas tanto no material didático quanto na apresentação do conteúdo pelos professores, ou seja, esses constrangimentos não são devidamente problematizados.

Ao transpor a lei das órbitas, tanto o material didático utilizado quanto os professores frequentemente representam órbitas planetárias com grande excentricidade, o que gera os constrangimentos didáticos. Apesar de ser didaticamente útil representar uma órbita bem elipsada para facilitar a visualização da primeira lei, é essencial que essa criação didática seja problematizada em sala de aula. Os professores poderiam discutir com os alunos as possíveis consequências se a órbita da Terra em torno do Sol apresentasse alta excentricidade, como as

apontadas por Canalle (2003). Ao inserir essas discussões, os constrangimentos didáticos gerados por essa didatização poderiam ser atenuados. Além disso, discutir que as órbitas são, na realidade, elipses com baixa excentricidade poderia contribuir para diminuir a concepção alternativa de que as estações do ano são consequência direta da lei das órbitas (Dias; Piassi, 2007; Sanzovo; Queiroz, 2012; Menezes; Batista, 2020).

Em relação à lei das áreas, percebemos a manifestação dos constrangimentos didáticos quando, ao realizar a objetificação do saber para torná-lo público e acessível aos alunos, alguns professores simplificam excessivamente o saber, omitindo alguns aspectos importantes, como a variação da velocidade orbital e o fato de o tempo percorrido em uma determinada região da órbita é equivalente ao tempo percorrido em outra região. Além disso, a transposição da lei das áreas se compromete quando, nos casos em que são discutidas as diferenças de velocidades ao longo da órbita, os professores introduzem a concepção newtoniana da gravitação para explicar esse fenômeno, sem problematizar as diferenças que existem entre a dinâmica de Kepler e a dinâmica de Newton. A problematização dessas diferenças se faz ainda mais necessária à luz das discussões sobre o uso adequado de diferentes modelos históricos no ensino de Ciências para evitar uma simplificação acrítica e a construção de uma pseudo-história da ciência (Forato, 2019). Matthews (1992) enfatiza que trabalhar com a História e a Filosofia da Ciência no ensino implica explicitar aos estudantes como diferentes teorias convivem, se sobrepõem e, em certos momentos, se transformam radicalmente. Do mesmo modo, Peduzzi (2001) alerta que a utilização da História da Ciência deve ser cuidadosamente mediada, de modo a não reforçar visões simplistas ou lineares da evolução do conhecimento. Nesse sentido, discutir com os alunos as diferenças entre a abordagem geométrica kepleriana e a interpretação dinâmica newtoniana pode favorecer não apenas a compreensão conceitual da lei das áreas, mas também uma visão mais crítica sobre a Natureza da Ciência, evidenciando que o conhecimento científico é histórico, provisório e construído em contextos específicos.

No que diz respeito à terceira lei do movimento planetário, notamos que os professores omitem a busca original de Kepler em descrever o movimento dos planetas por meio de notas musicais. A forma como a lei é transposta remove desse saber esse problema que dá sentido completo à lei. A partir da transposição realizada, o saber se torna isolado, interrompendo o movimento dinâmico que existia entre a problemática e seu elaborador, levando à compreensão de que Kepler não tinha qualquer motivação aparente para investigar a harmonia celeste.

Esses exemplos indicam a falta de vigilância epistemológica, isto é, a necessidade de compreender profundamente o Saber Sábio e as transformações que ele sofre ao ser adaptado para o ensino, problematizando as criações didáticas que são elaboradas durante o processo, as diferenças que há entre as concepções de Kepler e as modificações introduzidas por outros físicos e a rede de problemas na qual Kepler estava inserido.

Dessa forma, ao transpor o conteúdo do Saber a Ensinar ao Saber Ensinado, os professores acabam reforçando e, desta forma, perpetuando os constrangimentos didáticos identificados no Saber a Ensinar, em vez de atenuá-los. Além dos exemplos discutidos, outros fatores que corroboram para essa visão, é que na análise do material didático utilizado nas aulas, identificamos duas afirmações incorretas, uma que dizia que Tycho Brahe foi discípulo de Kepler e outra que as três leis são encontradas na obra *Astronomia Nova*. Ao apresentarem o conteúdo, nenhum professor sinalizou esses erros factuais, o que indica novamente a pouca presença da vigilância epistemológica. Mais um exemplo que corrobora com esse fato, é que tanto o material didático como os professores, não discutem que antes de interpretar as leis do movimento planetário, Kepler propôs, na obra *Mysterium Cosmographicum*³², um modelo planetário (Figura 27) baseado nos sólidos platônicos para justificar a quantidade de planetas observados na sua época (Koestler, 1989; Mourão, 2003). O estudo dessa obra é muito importante para

32 Mistério Cosmográfico.

compreender o pensamento kepleriano e sua busca por explicar os fenômenos a partir de causas.

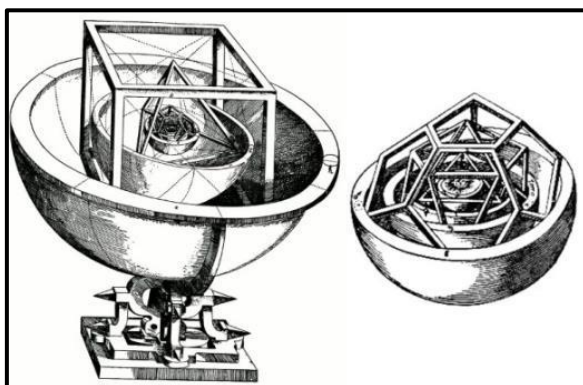


Figura 27. Representação do modelo planetário kepleriano. A imagem da esquerda mostra o modelo completo e a imagem da direita apresenta de forma mais detalhada as esferas de Marte, Terra, Vênus e Mercúrio com o Sol ocupando o centro do modelo. Fonte: Koestler, 1989.

Diante disso, no que diz respeito ao material didático, sugerimos que os elaboradores atentem para a necessidade de maior fidelidade histórica e epistemológica. Isso implica não apenas corrigir os erros factuais, mas também inserir problematizações que evidenciem as condições e motivações sob as quais Kepler formulou suas leis. Por exemplo, ao apresentar a lei das áreas, o material poderia indicar explicitamente que Kepler não atribuía sua causa à gravitação, mas a uma força motriz proveniente do Sol, e que somente com Newton essas leis foram reinterpretadas em um quadro gravitacional. No caso da lei das órbitas, é necessário substituir representações gráficas de elipses altamente excêntricas por imagens que mostrem a baixa excentricidade das órbitas planetárias reais, acompanhadas de atividades comparativas que convidem os estudantes a refletir sobre a diferença entre essas representações. Também poderiam ser apresentadas órbitas com alta excentricidade de cometas periódicos. Quanto à lei dos períodos, uma reformulação pertinente seria incorporar o contexto em que Kepler buscava estabelecer uma harmonia cósmica, recorrendo à analogia musical. Discutir a presença desse elemento metafísico na obra kepleriana não significa validar essa concepção à luz da ciência contemporânea, mas compreender que a construção do conhecimento científico esteve, muitas vezes, atravessada por pressupostos filosóficos que exerceram papel fundamental na formulação de problemas, hipóteses e interpretações.

Ao alinhar essas reformulações do material didático às estratégias que os professores poderiam adotar em sala de aula para minimizar os constrangimentos didáticos identificados, sugerimos que, por exemplo, no caso da lei das órbitas, em vez de apresentar apenas uma figura com uma elipse de alta excentricidade, os professores poderiam propor uma atividade comparativa em que os estudantes observem diferentes representações de órbitas, variando de uma circunferência perfeita até elipses bastante achatadas. Essa comparação poderia ser articulada com dados reais de excentricidade dos planetas, permitindo problematizar por que Kepler levou anos para concluir que as órbitas não eram circulares. Além disso, os professores poderiam construir, junto com seus alunos, uma maquete com a representação das órbitas dos planetas do Sistema Solar utilizando os valores reais de excentricidade, como propõem Canalle e Matsuura (2012).

Para a lei das áreas, uma sugestão é que os professores explorem simulações computacionais interativas, como propõe Araujo (2019), em que os alunos manipulem a posição do planeta, sua velocidade, excentricidade, fração de área varrida e outros parâmetros, a fim de trabalhar a variação da velocidade orbital, aspecto este frequentemente omitido nas aulas observadas. Complementarmente, é possível explorar a lei das áreas para além de sua aplicação exclusiva em órbitas elípticas. De acordo com Bedaque e Caniato (2024), muitas vezes passa

despercebido aos docentes que essa lei não se restringe à descrição de órbitas em campos gravitacionais, como ocorre com planetas ou satélites, sejam eles naturais ou artificiais. Na realidade, os autores destacam que a lei também se aplica a diversas outras trajetórias e contextos, incluindo aqueles que não envolvem necessariamente campos gravitacionais. Essas abordagens permitem não apenas ampliar o escopo conceitual da lei, mas também reduzir os constrangimentos da publicização e dessincronização, ao mostrar aos estudantes a generalidade e a profundidade desse resultado kepleriano. Em relação à lei dos períodos, em vez de propor apenas cálculos diretos com dados de planetas, os professores podem utilizar textos históricos sobre esse saber, como o elaborado por Medeiros (2003), de modo a construir um percurso sobre como se deu a elaboração desse conhecimento, evitando sua descontextualização.

Reconhecemos, contudo, que os professores trabalham sob diversas restrições, em especial aquelas relacionadas ao tempo e ao currículo escolar. Conforme aponta Chevallard (1991), o tempo didático imposto pela instituição escolar organiza a progressão dos conteúdos de forma linear e acumulativa, criando a expectativa de que todos os alunos avancem no mesmo ritmo. No entanto, esse tempo institucionalizado frequentemente não se ajusta ao tempo de aprendizagem dos estudantes, que é marcado por diferentes ritmos, avanços e retrocessos. Essa tensão repercute diretamente nas escolhas didáticas dos professores que, no contexto investigado, se veem pressionados pelo governo estadual e pelas exigências curriculares. Nesse cenário, os docentes muitas vezes precisam simplificar, omitir ou acelerar determinadas etapas da transposição didática. Reconhecer essa limitação permite compreender que o desafio docente não está apenas em proporcionar que o aluno assimile e acomode o conteúdo, mas também em buscar formas de otimizar o ensino dentro dessas condições restritivas.

Alinhado a isso, um desafio igualmente relevante consiste em encontrar o equilíbrio entre o rigor histórico-epistemológico e a necessidade de tornar o Saber Ensinado acessível aos estudantes do Ensino Médio. A transposição didática exige simplificações inevitáveis, mas, como destaca Chevallard (1991), é preciso reconhecer que essas adaptações não devem descaracterizar o saber, sob o risco de transformá-lo em uma caricatura de si mesmo. O equilíbrio desejado não está, portanto, em optar entre rigor ou acessibilidade, mas em adotar estratégias que articulem ambos os aspectos. Isso implica, por exemplo, que ao explicitar aos alunos as diferenças entre a abordagem geométrica de Kepler e a formulação dinâmica de Newton, reduzem-se os processos de publicização, descontextualização e despersonalização, sem exigir deles a complexidade da demonstração original. Trata-se de mobilizar a vigilância epistemológica para identificar até que ponto simplificações são legítimas e quando se tornam distorções. Dessa forma, o professor pode oferecer aos estudantes uma aprendizagem acessível e, ao mesmo tempo, mais fiel à natureza do saber científico.

Nesse sentido, abre-se também um caminho para investigações futuras. Se, por um lado, este estudo evidenciou os constrangimentos didáticos presentes na transposição das leis de Kepler, por outro, permanece em aberto a questão do impacto efetivo que diferentes abordagens de transposição podem exercer sobre a aprendizagem dos estudantes. Pesquisas que articulem análises do Saber a Ensinar e do Saber Ensinado com o Saber Aprendido, ou seja, o conhecimento efetivamente assimilado pelo aluno, podem fornecer elementos valiosos para compreender quais estratégias favorecem uma apropriação mais consistente dos conceitos, bem como reduzem os possíveis impactos negativos dos constrangimentos didáticos no Saber Aprendido. Da mesma forma, estudos que comparem práticas docentes com diferentes graus de vigilância epistemológica poderiam indicar em que medida esse cuidado repercute na formulação de Saberes Ensinados mais alinhados ao Saber Sábio.

Por fim, considerando as reflexões apresentadas, entendemos ser importante uma revisão cuidadosa e rigorosa dos materiais didáticos fornecidos para serem usados nas aulas. Contudo, é igualmente fundamental investir em uma formação inicial de qualidade para os professores, além de programas que fomentem a formação continuada, de modo que eles adquiram a capacidade de

identificar, analisar, problematizar e refletir sobre a transposição didática dos conhecimentos científicos que ensinam. Para tanto, tanto a formação inicial quanto a formação continuada devem contemplar aspectos históricos, filosóficos e epistemológicos dos saberes a serem desenvolvidos. Não se almeja, no entanto, que os professores “[...] se tornem competentes especialistas em história, sociologia e filosofia da ciência” (TEIXEIRA; FREIRE JR.; EL-HANI, 2009, p. 532), mas que adquiram uma compreensão sobre esses aspectos necessária para corroborar com a transposição dos saberes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Maringá sob o número de protocolo 73725223.2.0000.0104. Todos os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo e forneceram consentimento informado por escrito antes de participar.

REFERÊNCIAS

- Almeida, H. A. de. *As analogias utilizadas por professores de biologia como elementos da transposição didática*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.
- Alves Filho, J. de P., Pinheiro, T. de F., & Pietrocola, M. (2001). A eletrostática como exemplo de transposição didática. In M. Pietrocola (Org.). *Ensino de Física: conteúdo metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. Florianópolis, SC: Editora da UFSC.
- Anhorn, C. T. G. *Um objeto de ensino chamado História – A disciplina de história nas tramas da didatização*. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.
- Araujo, E. J. D. de. *Ensino híbrido: uma proposta para a abordagem das leis de Kepler no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.
- Batista, L. P. M., Batista, C. A. dos S., Santos, A. C. T. dos, & Siqueira, M. R. da P. (2024). Que visões de ciências estão subjacentes na abordagem da Lei de Hubble nos livros didáticos de Física do ensino médio? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 23 (3), 448-472.
- Bedaque, P., & Caniato, R. (2024). Revisitando a lei das áreas. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA*, 1(38), 7 – 26.
<https://doi.org/10.14244/RELEA/2024.38.7-26>.
- Brockington, G., & Pietrocola, M. (2005). Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (3), 387 – 404.
- Burt, E. A. *As bases metafísicas da ciência moderna*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1983.
- Canalle, J. B. G. (2003). O problema do ensino da órbita da Terra. *Física na Escola*, 4 (2), 12 – 16.
- Canalle, J. B., & Matsuura, O. T. *Manual de Astronomia*. Sinergia, Rio de Janeiro, 2012.

- Chevallard, Y. *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Ediciones, Buenos Aires, 1991.
- Chevallard, Y., & Bosch, M. (2014). Didactic Transposition in Mathematics Education. In S. Lerman (Org.). *Encyclopedia of Mathematics Education*. Londres: Springer Reference.
- Cohen, I. B. *O nascimento de uma nova Física: de Copérnico a Newton*. Edusp, São Paulo, 1967.
- Daniel, G. P. *História da Ciência em um curso de licenciatura em Física: a gravitação newtoniana e a gravitação einsteiniana como exemplares*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- Dias, W. S.; & Piassi, L. P. (2007). Por que a variação da distância Terra-Sol não explica as estações do ano? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29 (3), 325 – 329.
- Forato, T. C. de M. (2019). História e natureza das ciências: elementos implementados na formação de professores. In A. P. B. da Silva & B. A. Moura (Org.). *Objetivos humanísticos, conteúdos científicos contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências*. Campina Grande, SP: EDUEPB.
- Gil, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. Atlas, São Paulo, 2008.
- Gomes, L. C. *Concepções alternativas e divulgação: análise da relação entre força e movimento em uma revista de popularização científica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2008.
- Itokazu, A. G. *Astronomia nova: a história da guerra contra Marte como exposição do método astronômico de Kepler*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006a.
- Itokazu, A. G. (2006b). A força que move os planetas: da noção de *species immateriata* na Astronomia de Johannes Kepler. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 16 (2), 211 – 231.
- Kepler, J. *New Astronomy*. Cambridge University Press, Londres, 1992.
- Kepler, J. *The harmony of the world*. American Philosophical Society, Filadélfia, 1997.
- Koestler, A. *O homem e o Universo*. IBRASA, São Paulo, 1989.
- Langhi, R., & Nardi, R. (2007). Ensino de Astronomia: Erros conceituais mais comuns presente em livros didáticos de ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24 (1), 87-111.
- Loyola, F. R., & Vanegas-Ortega, C. (2021). Concepciones alternativas sobre astronomía en estudiantes de educación básica y media de la Región Metropolitana de Chile. *Estudios pedagógicos*, 47(2), 247-268. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052021000200247>.
- Lucas, C. de S. *Uma abordagem alternativa para as Leis de Kepler no Ensino Médio*. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- Lüdke, M., & André, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. E.P.U., Rio de Janeiro, 2018.
- Macedo, G. L. N. *Análise do conceito de força gravitacional nos Principia de Newton e a sua transposição didática nos livros didáticos de física do Ensino Médio do estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2023.

- Macedo, G. L. N., Deosti, L., & Gomes, L. C. (2024). O Saber Sábio da força gravitacional: uma perspectiva a partir dos Principia de Newton. *Revista do Professor de Física*, 8 (1), 147-163. <https://doi.org/10.26512/rpf.v8i1.53299>.
- Macedo, G. L. N., & Gomes, L. C. (2024a). Análise do conceito de força gravitacional nos *Principia* e a sua transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar nos livros de Ciências da Natureza do PNLD 2021. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática*, 20 (45), 67-91. <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v20i45.16073>.
- Macedo, G. L. N., & Gomes, L. C. (2024b). Análise do saber a ensinar da gravitação newtoniana nos livros do PNLD – 2021 e do GREF. *REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 12, e24093. <https://doi.org/10.26571/reamec.v12.17638>.
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. Atlas, São Paulo, 2003.
- Martins, R. de A. (2006). A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In C. C. Silva (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física.
- Martins, M. R. *Uma abordagem histórica sobre conceitos de força nos séculos XVII e XVIII: compreensão acerca do processo de transposição didática no contexto acadêmico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2020.
- Matthews, M. R. (1992). History, philosophy and Science education: the present reapproachment. *Science & Education*, 1 (1), 11-47.
- Medeiros, A. (2003). Entrevista com Kepler: A descoberta da Terceira Lei do Movimento Planetário. *Física na Escola*, 4 (1), 19-24.
- Menezes, A. P. de A. B. *Contrato didático e transposição didática: inter-relações entre os fenômenos didáticos na iniciação à álgebra na 6ª série do ensino fundamental*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.
- Menezes, L. P. G. de, & Batista, M. C. (2020). Concepções de mestrandos em ensino de física sobre o sistema solar sob a perspectiva das leis de Kepler. *REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 8 (2), 352 – 373. <https://doi.org/10.26571/reamec.v8i2.10000>.
- Menezes, L. P. G. de. *Johannes Kepler e a Nova Astronomia: a questão das hipóteses astronômicas nos primórdios da ciência moderna*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2022.
- Menezes, L. P. G. de, & Batista, M. C. *As hipóteses astronômicas segundo Johannes Kepler*. Mentis Abertas, São Paulo, 2022.
- Minayo, M. C. de S. *Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade*. Vozes, Petrópolis, 2001.
- Mourão, R. R. de F. K. *A descoberta das Leis do Movimento Planetário*. Odysseus Editora, São Paulo, 2003.
- Neves, M. C. D. *Astronomia de régua e compasso: de Kepler a Ptolomeu*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1986.
- Nunes, R. C., Queirós, W. P. de, & Cunha, J. A. R. da. (2022). Conceito de massa e a relação massa-energia no conteúdo de relatividade especial em livros didáticos de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 34 (1), 9 – 21. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v34.n1.37933>

- Oliveira, D. S. de, Batista, L. P. M., & Siqueira, M. (2023). A cosmologia e Astrofísica em livros didáticos aprovados no PNLD 2018 e 2021. *Experiências em Ensino de Ciências*, 18 (4), 444 – 454.
- Pais, L. C. (1999). Transposição Didática. In Machado, S. D. A. *et al.* (Org.). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo, SP: EDUC.
- Pasini, J. F. S., & Silva, I. G. da. (2024). Plataformização da Educação no Estado do Paraná: Caminhos para a Padronização do Trabalho Pedagógico. *Revista Pleiade*, 18 (43), 18 – 29. <https://doi.org/10.32915/pleiade.v18i43.1019>.
- Peduzzi, L. (2001). Sobre a utilização didática da história da ciência. In M. Pietrocola (Org.). *Ensino de Física: conteúdo metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. Florianópolis, SC: Editora da UFSC.
- Perdigão, D., & Ipolito, M. Z. (2021). Estudo da abordagem da eletrostática em livros didáticos brasileiros de física dos últimos cem anos. *Pesquisa em Ensino*, (11).
- Ricardo, E. C. (2020) A história da ciência no ensino de física e a vigilância epistemológica. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 4, e1506.
- Sá, D. R. R. de. *O princípio de inércia sob aspectos históricos-epistemológicos – uma possibilidade contributiva para o Ensino de Física*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2020.
- Santos, S. M. de O. *Crêterios para avaliação de livros didáticos de química para o ensino médio*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, 2006.
- Sanzovo, D. T., & Queiroz, V. (2012). Uma proposta do uso de representações semióticas no ensino de astronomia: leis de Kepler e estações do ano. In: *II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia – II SNEA*, São Paulo, 703.
- SEED – PR. (2024a). As Leis de Kepler (I). *Apresentação de PowerPoint*. <https://docs.google.com/presentation/d/1x5mvt-pPRv5reuBDV6r2Zuhdat1wI4frFbPYB85QRTI/edit?usp=sharing>
- SEED – PR. (2024b). As Leis de Kepler (II). *Apresentação de PowerPoint*. <https://docs.google.com/presentation/d/1kDJrb9A9aACRvdTfoAREiggGITHuR7mubQbEzZngFO4/edit?usp=sharing>
- Silva, E. da S. *A transposição didática no ensino de física: o aquecimento global como objeto de estudo*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.
- Silva, A. F. de C. e *Orbitas elípticas e sua real forma*. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2022.
- Sobreira, P. H. A., & Ribeiro, J. P. M. (2023). Erros conceituais de astronomia em livros didáticos de ciências da natureza e suas tecnologias – PNLD 2021. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA*, (35), 77 – 126. <https://doi.org/10.14244/RELEA/2023.35.77>
- Sousa, W. B. de. *Física das Radiações: uma proposta para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- Tamanini, P. A., & Noronha, V. M. G. (2019). O ensino de história e a BNCC: livros didáticos sib uma análise comparativa. *Revista Teias*, 20 (57).

- Teixeira, E. S., Freire Jr., O., & El-Hani, C. N. (2009). A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. *Ciência & Educação*, 20 (57).
- Thiara, A. C., Batista, L., Oliveira, D., & Siqueira, M. (2022). Transposição Didática: A Radiação do corpo negro nos livros didáticos do PNLD 2018. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16 (1), 1038-1 – 1308-9.
- Tossato, C. R. *Força e harmonia na Astronomia Física de Johannes Kepler*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- Tossato, C. R., & Mariconda, P. R. (2010). O método da astronomia segundo Kepler. *Scientiae studia*, 8 (3), 339 – 366.
- Wilson, C. (1972). How did Kepler discover his first two laws?. *Scientific American*, 226, 99 – 102.
- Yu, K. C., Sahami, K., & Denn, G. (2010). Student ideas about Kepler's Laws and planetary orbital motions. *Astronomy Education Review*, 9 (1).
<https://doi.org/10.3847/AER2009069>