

A aprendizagem da linguagem física em um curso de introdução à Mecânica Clássica^{+,*}

*Henrique Cesar Estevan Ballesteros*¹

Universidade Estadual de Maringá

Campus Regional de Umuarama – PR

*Sergio de Mello Arruda*²

Universidade Estadual de Londrina

Campus Londrina – PR

Docente Visitante Sênior da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

*Marinez Meneguello Passos*³

Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR.

Campus Londrina – PR

Resumo

Este estudo aborda a aprendizagem da linguagem física, segundo os pressupostos estabelecidos por Thomas Kuhn em A Estrutura das Revoluções Científicas e outros escritos. Trata-se de um estudo de caso, onde investigamos a aprendizagem do estudante A5 durante um curso introdutório de Mecânica Clássica. Por meio de seus relatos e resoluções de problemas foi possível concluir que as proposições de Kuhn são confirmadas no que diz respeito ao aprendizado da ciência Física e que estão relacionados aos efeitos e à utilização da linguagem pelo estudante. O principal destaque no processo de aprendizagem de A5 refere-se à expansão de seu léxico ou vocabulário. Com a análise dos dados coletados pudemos constatar que essa expansão se deu durante as aulas por meio de procedimentos didáticos instaurados pelo docente, que se pautava em explicações simples e diretas e na utilização contínua de exemplos. Por conseguinte, com as resoluções dos problemas propostos pelo professor, o estudante A5 demonstrou em suas manifestações e registros os proces-

⁺ Learning the physical language in an introductory course on Classical Mechanics

^{*} Recebido: junho de 2017.

Aceito: outubro de 2017.

¹ Com apoio da Capes. E-mail: hceballesteros@gmail.com; ² Com o apoio do CNPq. E-mail: sergioarruda@sercomtel.com.br; ³ Com o apoio da Fundação Araucária. E-mail: marinezmp@sercomtel.com.br

...sos de interpretação, principalmente durante o módulo de Lagrange. Fica evidente nesse processo que a Mecânica Lagrangiana, por exemplo, se enquadrou como um novo vocabulário adquirido por A₅.

Palavras-chave: *Aprendizagem da Linguagem Física; Aprendizagem por Ostensão. Léxico.*

Abstract

*This study addresses the learning of Physical language according to the premises established by Thomas Kuhn in *The Structure of Scientific Revolutions* and other writings. This is a case study, which investigated the learning of A₅ student during an introductory course in classical mechanics. Through its reports and resolutions of problems we concluded that Kuhn's propositions are confirmed concerning the learning of Physical Science and are related to the effects and use of language by the student. The main emphasis in the learning process of A₅ refers to the expansion of its lexicon or vocabulary. Through the data analysis we found out that this expansion occurred during lessons through teaching procedures initiated by the teacher, which were based on simple, straightforward explanations and examples of continuous use. Therefore, by means of the resolutions of the problems proposed by the teacher, the student A₅ demonstrated the processes of interpretation, especially during the module of Lagrange. It is evident that in this process the Lagrangian Mechanics became a new vocabulary acquired by A₅.*

Keywords: *Physical Language Learning; Learning by Ostension; Lexicon.*

I. Introdução

A partir de 2007, iniciamos um programa de pesquisa que investiga o processo de aprendizagem em física entendido do ponto de vista do aprendizado de uma linguagem. Os resultados alcançados por essa investigação, que envolveram um mestrado Ballesterio (2009) e um doutorado Ballesterio (2014), estão sendo publicados em uma sequência de artigos, sendo este o segundo deles².

² Primeiro artigo: Ballesterio; Arruda (2010).

Tal programa de pesquisa partilha de alguns pressupostos gerais, apresentados em seguida, no que diz respeito à aprendizagem na física e nas ciências de um modo geral.

A aprendizagem na física tem sido tratada, quase sempre, como um caso particular da aprendizagem científica, onde o termo “particular” refere-se obviamente ao conteúdo dessa disciplina. Em linhas gerais, não se distingue o processo de aprendizado na física do processo de aprendizado em outros conteúdos como química ou biologia. Parcialmente isso se deve ao fato da ciência poder ser vista como conteúdo ou como processo:

A ciência é tanto um corpo de conhecimento que representa o entendimento atual dos sistemas naturais quanto o processo pelo qual esse corpo de conhecimento foi estabelecido e está sendo continuamente ampliado, refinado e revisado. Ambos os elementos são essenciais: não se pode fazer o progresso da ciência sem uma compreensão de ambos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2007, p. 2-1).

Se isso é assim, na aprendizagem da ciência é preciso levar em consideração tanto um aspecto quanto o outro. Os estudantes devem aprender tanto esse “corpo de conhecimentos”, constituído por “fatos específicos integrados e articulados em teorias desenvolvidas e bem testadas” (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2007, p. 2-1), quanto os aspectos da ciência enquanto processo que envolveriam ao menos três distintas perspectivas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2007, p. 2-2 a 2-4):

(a) A ciência como um processo de raciocínio lógico sobre as evidências. Nesse caso, aprender ciência envolve a aquisição de estratégias de resolução de problemas para articular a teoria e as evidências; o domínio do raciocínio contrafactual; a habilidade de distinguir padrões de evidência que apoiam ou não uma conclusão definitiva; e entender a lógica do planejamento experimental.

(b) A ciência como um processo de mudança de paradigma, onde se enfatiza o paralelo entre os aspectos históricos e filosóficos da ciência e o desenvolvimento cognitivo. Nesse caso assume-se que o conhecimento científico, embora se desenvolva usualmente pela exploração gradual dos paradigmas dominantes, pode, em certos momentos, ser modificado pela substituição de um quadro teórico por outro.

(c) A ciência como um processo de participação na cultura das práticas científicas. Nesse caso, considera-se que os cientistas ou grupos de cientistas são parte de um ambiente social mais amplo, tanto interna, quanto externamente à ciência, o qual pode modelar significativamente seu conhecimento, competências, recursos, motivos e atitudes.

Por outro lado, de acordo com Illeris (2013), o processo de aprendizagem integraria dois aspectos: um externo, que envolve a interação do sujeito com o ambiente (social, cultural ou material); e um interno, que diz respeito à elaboração e aquisição do conhecimento e que envolveria duas funções psicológicas: “A função de administrar o conteúdo da aprendizagem e a função de incentivo e de prover e direcionar a energia mental necessária que move o processo” (p. 17).

Ainda de acordo com Illeris (2013, p.18), a aprendizagem também apresentaria três dimensões:

A. A dimensão do conteúdo diz respeito àquilo que é aprendido – conhecimento, habilidades, opiniões, insights, significados, posturas, valores, modos de agir, métodos, estratégias etc. podem estar envolvidas como conteúdo da aprendizagem e contribuir para construir a compreensão e a capacidade do aprendiz [...] para lidar com os desafios da vida prática e, assim, desenvolver uma funcionalidade pessoal geral.

B. A dimensão do incentivo proporciona e direciona a energia mental necessária para o processo de aprendizagem. Ela compreende elementos como sentimentos, emoções, motivação e volição. Sua função, em última análise, é garantir o equilíbrio mental contínuo do indivíduo e, assim, desenvolver simultaneamente uma sensibilidade pessoal.

C. A dimensão da interação propicia os impulsos que dão início ao processo de aprendizagem, podendo ocorrer na forma de percepção, transmissão, experiência, imitação, atividade, participação etc. Ela serve à integração pessoal em comunidades e na sociedade e, assim, também constrói a sociabilidade do indivíduo. Todavia, essa construção ocorre necessariamente por meio das duas outras dimensões.

Embora a aprendizagem possa ser entendida como a aquisição de um “saber-objeto” (CHARLOT, 2000, p. 59), isto é, um conteúdo intelectual como a matemática, por exemplo, ou um “conhecimento objetivo”, no sentido utilizado por Popper (1975), os itens (c) e C das duas últimas citações nos remetem também à ideia de aprendizagem como participação em comunidades sociais. Como propõe Wenger (2013, p. 252):

Para muitos de nós, o conceito de aprendizagem imediatamente invoca imagens de salas de aula, sessões de treinamento, professores, livros-texto, tarefas de casa e exercícios. Ainda assim, em nossa experiência, a aprendizagem é parte integral das nossas vidas cotidianas. Ela faz parte da nossa participação em nossas comunidades e organizações.

As definições de aprendizagem apresentadas nos parágrafos anteriores não são incompatíveis com a teoria sobre o aprendizado de uma linguagem – aquisição de um novo léxico – conforme compreendida por Kuhn (2000). O principal aspecto dessa aprendizagem, como apontado pelo autor, é que os novos termos são aprendidos quando o estudante é exposto a situações exemplares onde tais termos são utilizados, sendo esta exposição realizada por alguém que pertença à “comunidade de fala” correspondente a essa linguagem e que demonstre domínio na utilização da mesma (KUHN, 2000, p. 11). A exposição aos exemplares poderá ou não incluir o uso (real, descritivo ou virtual) de equipamentos, demonstrações ou experimentos em laboratório. Mas seja como for, a aprendizagem que resulta desse processo não se limita apenas às palavras do vocabulário, mas inclui também o mundo ao qual ele se aplica (KUHN, 2000, p. 12).

Na seção seguinte passamos a explorar em mais detalhes a aprendizagem da linguagem física, conforme proposta por Kuhn (2000, 2003 e 2006).

II. O aprendizado da linguagem física de acordo com Thomas Kuhn

Entendemos que no processo de aprendizagem da *linguagem física* (KUHN, 2003, p. 42) os estudantes passam por um processo de compreensão de signos e interpretação de significados, o que o autor designa como *interpretação*, em sua obra *O caminho desde a estrutura* (KUHN, 2003, p. 53).

Com os estudantes presentes em sala de aula, essa interpretação se dá, muitas vezes, por meio da resolução de problemas, e tais problemas, na maioria das vezes, são vistos pelos discentes simplesmente como exercícios.

Podemos mencionar o processo de resolução de problemas como um jogo de linguagem na medida em que os estudantes envolvidos nesse processo trocam informações a respeito daquilo que foi aprendido por eles – leis e princípios físicos – na cultura científica. Segundo esse propósito, os estudantes envolvidos no processo de aprendizagem da ciência física devem se enquadrar no papel de intérpretes da linguagem tratada (KUHN, 2003, p. 81). Para esse mesmo autor, o intérprete *busca* o sentido da palavra esforçando-se:

[...] por aventar hipóteses, tais como a de “gavagai” que significa “olhe, um coelho”, as quais tornam inteligíveis o proferimento ou a inscrição. Se o intérprete for bem-sucedido, o que ele faz, em primeira instância, é aprender uma nova língua, talvez a língua na qual “gavagai” seja um termo, ou, talvez, uma versão anterior da própria língua do intérprete, na qual termos ainda correntes como “força” e “massa” ou como “elemento” e “composto”, funcionam de maneira diferente [...] o intérprete pode tentar descrever os referentes do termo “gavagai” (KUHN, 2003, p. 54).

Assim, os termos contidos nas leis da ciência física – muitas vezes representados por signos na linguagem abordada – possuem relações com o mundo real. Essas relações podem ser evidenciadas pela *referência* (KUHN, 2003, p. 42) existente entre esses termos e o mundo. Quanto mais referentes se sabe sobre determinado termo, mais enriquecido é o *léxico* ou *vocabulário* do sujeito em questão (KUHN, 2003, p. 85 e 96).

Os termos a serem apreendidos são, em geral, apresentados por meio da “[...] exposição de exemplos de seu uso, providos por alguém que pertença à comunidade linguística na qual são costumeiros [...] por alguém que já sabe como utilizá-los” (KUHN, 2003, p. 86). Nesse processo de aprendizagem os termos são exibidos de maneira direta ou por meio da descrição de situações para as quais eles são aplicados. O processo de aprendizagem desses termos é designado pelo autor como *ostensão* (KUHN, 2000, p. 12).

Além do exposto, cabe ainda destacar que o processo de interpretação do aprendiz é aquele em que ele próprio organiza o uso correto dos signos apreendidos (KUHN, 2006, p. 61).

Em sua obra *A estrutura das revoluções científicas*, o autor citado destaca que durante a resolução de problemas o aluno aprende a encará-los “[...] como se fosse um problema que já encontrou antes” (KUHN, 2006, p. 236). Dessa forma, a aprendizagem que resulta nesse processo não é de palavras soltas, mas sim sobre o mundo no qual elas funcionam (KUHN, 2006, p. 236), uma vez que os termos de uma linguagem “[...] constituem um conjunto inter-relacionado ou interdefinido que deve ser adquirido conjuntamente, num todo, antes que qualquer um deles possa ser usado e aplicado a fenômenos naturais” (KUHN, 2006, p. 60).

É fato que uma única situação exemplar exposta ao estudante raramente – ou nunca – fornece informações suficientes para que o sujeito utilize esse novo termo aprendido. Por conseguinte, vários exemplos, de tipos variados, devem ser expostos aos estudantes a fim de que os novos termos sejam aplicados. Além disso, tais termos não são aplicados em situações isoladas, mas sim embutidos em declarações conhecidas pelos participantes da discussão como leis da natureza (KUHN, 2000, p. 12).

Na sentença³ da segunda lei de Newton, por exemplo, os termos “massa”, “força” e “aceleração” não podem ser adquiridos e utilizados sozinhos, mas devem ser apreendidos e utilizados em conjunto, processo em que a segunda lei também tem seu papel no aprendizado da linguagem tratada (KUHN, 2003, p. 259).

Portanto, a segunda lei é que vai fazer com que os signos F , m e a , que se referem a conceitos⁴ dentro da teoria da mecânica clássica façam sentido em sua aquisição:

Não se pode aprender a reconhecer forças sem aprender simultaneamente como selecionar massas sem recorrer à segunda lei. É por isso que os termos newtonianos “força” e “massa” não são traduzíveis na linguagem de uma teoria científica (Aristotélica ou Einsteiniana, por exemplo), na qual a versão de Newton da segunda lei não se aplica. Para aprender [...] mecânica, os termos inter-relacionados, em alguma parte local da rede da linguagem, têm de ser aprendidos ou reaprendidos em conjunto e, então, aplicados à natureza como um todo. Eles não podem ser simplesmente traduzidos um a um (KUHN, 2003, p. 60).

Assim sendo, não existe uma maneira independente de se fazer, por exemplo, um experimento e

³ Para o autor, a sentença da segunda lei de Newton é uma *generalização simbólica* (KUHN, 2006, p. 208). As generalizações simbólicas, como destaca Kuhn, “[...] são expressões de um modo de ver o mundo” (2006, p. 211). Sem adquiri-las, não se vê mundo algum vinculado à certa teoria.

⁴ Um importante destaque obtido na obra do autor sobre o aprendizado da linguagem da física é aquele que vislumbra conceitos. O aluno em questão precisa ter o domínio de conceitos como “espaço, tempo, e corpo material” para conseguir aprender os conceitos newtonianos de força e massa, por exemplo (KUHN, 2006, p. 304).

[...] depois descobrir, empiricamente, que força é igual à massa vezes aceleração. Nem se pode primeiro aprender massa (ou força) e, depois, usá-la para definir força (ou massa) com auxílio da segunda lei. [...] Embora “força”, digamos, possa ser um primitivo em alguma formalização particular da mecânica, não se pode aprender a reconhecer forças sem aprender simultaneamente como selecionar massas e sem recorrer à segunda lei [...] “força”, “massa” e “peso” em seus sentidos newtonianos – podem ser adquiridos apenas em conjunto com a própria teoria (KUHN, 2003, p. 60).

Nesse sentido, novos termos apreendidos pelo estudante se inter-relacionam em um jogo de termos novos, fazendo com que o estudante formate uma estrutura para o uso correto desses termos (KUHN, 2000, p. 13). Pensando sobre a segunda lei, existe um tratamento quantitativo para cada um dos termos e, de acordo com a forma Newtoniana de quantificação, existe uma alteração nos usos individuais dos mesmos, bem como uma inter-relação entre eles (KUHN, 2000, p. 13).

Isso nos leva a considerar que os termos apreendidos pelos sujeitos que participam da comunidade científica serão utilizados nas expressões decorrentes da comunicação entre eles – frente a consensos de ideias, elaboração de projetos, resolução de problemas, assimilação da teoria proposta e até mesmo na suposta melhoria e avanço da teoria inicial.

Partindo desse ponto, é necessário que os membros desse grupo compartilhem significados de conceitos apreendidos, formando – cada um em si, mas de maneira equivalente – o léxico (ou vocabulário) (KUHN, 2003, p. 85), no qual os fenômenos de um campo serão descritos e explicados. O autor ainda complementa que, como requisitos para que um estudante aprenda a linguagem física, é necessário que ele conheça matemática e um pouco de lógica, bem como a “[...] linguagem natural e do mundo ao qual ela se aplica” (KUHN, 2003, p. 211).

Em tal processo de aprendizagem, o sujeito pode aumentar o número de referentes conhecidos para cada termo, “[...] enriquecendo seu léxico original [...]” tratando da aprendizagem de um novo léxico⁵, mas de forma alguma poderá alterar as maneiras pelas quais os referentes da teoria em questão sejam determinados. Isso leva-nos à concepção de que, se a definição (ou o uso) de um termo individual muda, então o uso e as definições de termos associados a ele também mudam (KUHN, 2003, p. 96). O autor também argumenta que na passagem de uma linguagem à outra “[...] é simplesmente implausível que alguns termos mudem de significado [...] sem contaminar os termos transferidos consigo” (KUHN, 2003, p. 51). Assim, nessa passagem, os significados⁶ devem ser mantidos, ou seja, deve ser mantida a *intensão* dos termos na linguagem original para a outra, considerando que “[...] o significado ou intensão de um enunciado é aquilo que seleciona os mundos possíveis nos quais esse enunciado é verdadeiro [...]” (KUHN, 2003, p. 83 e 84).

O autor conclui que não é uma definição que delimita, exatamente, a incorporação de

⁵ Um novo léxico equivale a uma segunda língua.

⁶ O termo *invariantes* que ocorre na obra de Kuhn (2006, p. 67), deve ser entendido nesse sentido.

significados de conceitos como “massa” ou “força”, mas sim sua obtenção mediante a “[...] relação com o mundo” (KUHN, 2003, p. 96) existente entre eles. Entretanto, cada termo (signo), “[...] tem um significado determinado pelo modo como as sentenças que o contêm são verificadas [...] termos tomados individualmente, não têm significado algum [...]” (KUHN, 2003, p. 100).

Thomas Kuhn se refere à dedicação do estudante no aprendizado envolvido e afirma que *leis, teorias e explicações* não são dadas aos aprendizes e para obtê-las é preciso que o estudante interprete fatos, “[...] *leis*⁷, *teorias* e *explicações* que se ajustam a eles [...]” (2003, p. 135).

Com relação à resolução de problemas, o autor propõe que ela possui uma função de destaque no aprendizado da linguagem científica, afirmando que:

[...] linguagem – natureza [...] relacionar palavras a outras palavras [...] só podem funcionar se já possuímos um certo vocabulário adquirido por um processo não verbal ou não completamente verbal [...] a solução concreta de problemas [...] resolver problemas é aprender a linguagem de uma teoria e adquirir o conhecimento da natureza embutido nessa linguagem [...] os estudantes aprendem com a exposição direta de variados problemas similares que vislumbram leis da natureza (KUHN, 2003, p. 207, 209 e 210).

Cabe lembrar que, para Kuhn, em *O caminho desde a estrutura*, os exemplos também fazem parte do aprendizado de uma linguagem, pois demonstram de maneira individual e coletiva as formas com que os signos de certa lei se vinculam com a natureza (2003, p. 211).

Diante das reflexões já expostas e da problemática assumida para o desenvolvimento de nossa pesquisa, merece destaque o fato de que, de acordo com o autor – que se apoia na redução de Sneed – na mecânica clássica (de corpos rígidos) os formalismos de Newton, Lagrange e Hamilton são equivalências de redução em que “[...] pares de teorias nos quais um dos elementos, em determinado momento, substituiu o outro como base aceita para a pesquisa” (KUHN, 2003, p. 231-232). E salienta que o módulo mental (em uma situação relativa ao aprendizado da linguagem física), que abarca os *objetos físicos* como, por exemplo, campo e força, assim como as *espécies de mobília* – constituído pelo léxico – forma o “[...] módulo no qual membros de uma comunidade linguística armazenam os termos para espécie” (KUHN, 2003, p. 281), e finaliza: uma aprendizagem completa a respeito da linguagem física contempla a aquisição de conceitos e “[...] das propriedades do mundo ao qual se aplicam” (KUHN, 2003, p. 282).

⁷ De acordo com Kuhn (2003, p. 207), Carnap mostrou que “adquirimos leis da natureza junto com um conhecimento de significados”.

III. O contexto da tomada de dados

Neste artigo analisaremos o processo de expansão do vocabulário – ou *léxico* (KUHN, 2003 p. 85) – tido por um dos alunos (o aluno A₅) envolvido em um curso de *Introdução à Mecânica Clássica*, disciplina ministrada em uma universidade do Estado do Paraná, no ano de 2007. O curso abordou o conteúdo em três módulos (formalismos newtoniano, lagrangiano e hamiltoniano) que tiveram como base a estrutura conceitual da mecânica clássica; o cálculo de variações; o princípio variacional da mecânica; as transformações canônicas e o método de Hamilton-Jacobi.

Tal curso, a princípio, seria destinado a alunos formados em física. Entretanto, em virtude da demanda existente, discentes graduados em matemática também puderam cursá-la. O professor da disciplina também abriu a possibilidade para que alunos ainda não formados em física cursassem-na como ouvintes. Dessa forma, a classe formada foi bastante heterogênea no que tange aos conhecimentos prévios em relação ao formalismo da mecânica clássica e, também, aos objetivos que levaram cada aluno a cursá-la.

A aprendizagem em cada módulo era avaliada por meio de uma prova escrita, contendo problemas típicos sobre o movimento retilíneo uniforme, queda livre, movimento de projéteis, sistema massa-mola, o pêndulo simples e duplo etc. A prova 1 correspondeu à avaliação do módulo 1, a prova 2 ao módulo 2 e a prova 3 ao módulo 3. O professor introduziu na avaliação a seguinte novidade: as provas de cada módulo poderiam ser refeitas por cada aluno quantas vezes fosse preciso, para que ele tivesse condições de melhorar a sua nota. Assim sendo, as provas foram denominadas de prova 1.1, 1.2 ou 1.3, o que indicava que a prova 1 estava sendo feita pela primeira, segunda ou terceira vez, o mesmo valendo para as demais provas. Dessa forma, as avaliações foram concebidas simultaneamente como formativas e somativas (BALLESTERO; ARRUDA, 2010).

Logo após a realização de cada prova os alunos concediam ao pesquisador uma entrevista. Essas entrevistas foram conduzidas pelo pesquisador por meio de diálogos informais, nos quais os alunos relatavam a respeito das resoluções apresentadas por eles em cada problema da avaliação, evidenciando suas dúvidas e dificuldades apresentadas no momento da resolução.

Cabe informar neste momento que participavam matriculados regularmente do curso introdutório de Mecânica Clássica cinco estudantes, e que todas as aulas ministradas pelo professor da disciplina foram filmadas, com o intuito de estudar o processo de aprendizagem da linguagem física por cada um deles. Em Ballestero (2009 e 2014) tem-se a completude desta proposta investigativa. Todavia para a apresentação neste artigo trazemos somente a interpretação do processo de aprendizagem do aluno A₅, fato que coloca esta elaboração na categoria de estudo de caso, como indicado por Bogdan e Biklen (1994).

O estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto ou indivíduo, de uma única fonte de documentos ou de um acontecimento [...]. Comece por um estu-

do de caso. Tenha uma primeira experiência gratificante e prossiga, se assim o desejar, para estudos mais complexos. (p.89)

Destacamos ainda que, para a análise dos dados, assumimos os procedimentos da Análise de Conteúdo propostos por Bardin (2004) em que o *corpus*⁸ investigado foi a transcrição de todos os diálogos e comentários realizados em sala de aula pelo aluno, as entrevistas feitas com A₅ e os registros apresentados por ele na resolução das diversas provas aplicadas pelo professor do curso.

Outra informação que julgamos relevante explicitar e nos levou a selecionar A₅, mesmo sabendo da existência de uma imensa quantidade de dados para serem analisados, foi o fato de o próprio aluno relatar na entrevista pós-prova 2.2, que havia um “mal” afligindo-o, dificultando sua compreensão da mecânica e nominando por ele como “lagrangite”.

Os dados de A₅ – apresentados a seguir – são constituídos por excertos de diálogos provenientes de discussões ocorridas em sala de aula durante a exposição dos módulos idealizados pelo docente responsável pela disciplina, em situações de resolução dos exemplos, em situações de correção das tarefas a serem solucionadas pelos estudantes e, também, de entrevistas ocorridas após a realização das diversas provas aplicadas pelo docente.

IV. Apresentação e análise dos dados

Na resolução de problemas em sala durante o estudo do módulo de lagrange (destacando que o problema abordado envolvia uma partícula em queda livre e que era preciso obter as equações de movimento a partir das equações de lagrange), o aluno A₅ esclarece algo de extrema relevância a respeito do formalismo lagrangiano (indicando que o diálogo que apresentamos na sequência é relativo à resolução de problemas, desenvolvida no módulo de lagrange durante a realização da aula):

A₅: *Aí vai ficar como? $L = \frac{m}{2} \dots$ Eu nunca tinha entendido isso. A minha vida inteira eu fiz Física sem entender a lagrangiana. Eu fiz bacharelado, né... ou, eu não entendi, ou, entendi tudo errado e... acho que agora...*

Professor: *O \dot{q} ?*

A₅: *Não, isso eu tinha entendido. O que eu não tinha era uma noção do conjunto disso.*

Pesquisador: *Como aplicar isso no problema?*

A₅: *É isso. Como aplicava isso no problema. Eu não sabia como aplicar, eu não sabia como resolver o problema usando isso. Tinha a teoria toda, mas não sabia como usar isso. Bom...*

⁸ O conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos (BARDIN, 2004, p. 90).

$L = \frac{m}{2}(\dot{q})^2 - mgq$, eu só troquei o q por y . Deu isso aqui [mostrou para os outros do grupo].

Agora eu vou poder colocar isso aqui na equação de lagrange e resolver. Não sei se vou encontrar com isso um lince ou um coelho...

[...]

Pesquisador: A_5 , faz desde o começo pra gente acompanhar.

A_5 : $L = T - V$. O $T = mgy$. E de acordo com o A_3 , e eu concordo com ele. Ops, peraí... O V é isso: $V = mgy$, mas eu concordo com ele que o T é a energia cinética: $T = \frac{m}{2}g\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$. V é isso: $V = mgy$, mas eu concordo com ele que o T é a energia cinética: $T = \dots$

A_3 : É $m\dot{y}^2/2$, que é a energia cinética.

A_3 : É

A_5 : É isso. Eu coloquei diferente, mas é isso. Agora eu vou montar o L .

O $L = O L = \frac{m}{2}\dot{y}^2 - mgy$, eu até podia colocar esse m aqui pra fora. Esse quadrado é porque é quadrado mesmo, não é derivada segunda. Agora vâmo mata aquela lagrangiana seguinte.

Agora vamos jogar na equação de lagrange. Agora vamos jogar na equação de lagrange. $\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{m}{2}\dot{y}^2 - mgy\right)\right] - \frac{\partial}{\partial q}\frac{m\dot{y}^2}{2} - 2gy$. Será que vai dar zero? Não, peraí, isso aqui depende da velocidade? Depende do \dot{q} ? O nosso problema é cálculo.

Quanto que é a derivada de y em relação a y ? É 1. Então fica: $\frac{d}{dt}\left(\frac{m}{2}2\dot{y} - 0\right) - \left(-\frac{2}{2}mg\right)$. Que vai dar: $\frac{d}{dt}\left(\frac{m}{2}2\dot{y}\right) - mg$, agora eu vou ter que fazer a derivada total. Será $m\ddot{y} - mg = 0$. Ou então: $\ddot{y} = g$.

Pesquisador: Chegou no resultado esperado?

A_5 : Chegou. $\ddot{y} = g$.

No episódio exposto anteriormente, embora o aluno A_5 tenha alcançado o resultado esperado ($\ddot{y} = g$), fica evidente que ele ratifica o que trouxemos neste artigo com relação às ideias propostas por Kuhn em sua obra *O caminho desde a estrutura* (2003) no que diz respeito ao aprendizado em física, na medida em que ele aponta que “[...] O nosso problema é cálculo [...]”. Fato que nos leva a considerar que isso pode ter acontecido devido ao tempo decorrido desde sua formação até o momento de sua participação neste curso de mecânica clássica em pesquisa. Evidenciamos também que o aluno A_5 se graduou em física, licenciatura e bacharelado no ano de 1991.

Para o referido autor é necessário que o aprendiz possua um considerável vocabulário – rico o suficiente – tanto em física para que se possa fazer “[...] a referência a objetos

físicos e suas localidades no espaço e no tempo”, bem como um “[...] vocabulário matemático rico o suficiente [...]” que permita a descrição, de forma quantitativa, das trajetórias e se faça a análise das velocidades e acelerações dos corpos que se movem (KUHN, 2003, p. 86).

Entretanto, com os dados expostos (no fragmento do diálogo anterior que trouxemos), é possível verificar que o *léxico* (KUHN, 2003, p. 85) científico adquirido pelo aluno A₅ estava em processo de expansão devido ao seu processo de compreensão e *interpretação* (KUHN, 2003, p. 53) dos significados contidos na abordagem lagrangiana.

Na entrevista pós-prova 2.1, quando questionado se havia estudado para essa prova, relativa ao módulo de lagrange, A₅ relatou que sua dedicação ao estudo do conteúdo não passou de duas horas. Ele afirmou que durante as aulas ministradas pelo professor “[...] eu consegui captar bem a ideia [...]” (Entrevista pós-prova 2.1 – aluno A₅), por isso não viu a necessidade de dedicar mais horas de estudo para realizar a prova. Como podemos observar, A₅ faz menção à captação, segundo ele, das “ideias” exploradas durante as aulas. Isso se deve à exposição feita pelo professor dos formalismos que foram abordados, em que o docente incluía exemplos que faziam uso do formalismo apresentado.

A seguir trazemos um diálogo, ocorrido durante a entrevista sucedida pós-prova 2.2, que contribui com a elucidação de alguns fatos que colaboram com a compreensão do que buscamos responder com esse desenvolvimento investigativo.

Tratando do problema 2 da prova 2.1 (lançamento de projétil), o aluno A₅ expôs que encontrou o que esperava com a resolução do problema, uma vez que:

A₅: [...] na horizontal não haveria aceleração. Já na vertical haveria aceleração. Como eu achei isso aí, eu pensei “deve estar certo” [...], mas eu fiz separadamente, o eixo x e o eixo y, separei os dois movimentos. Eu achei... Depois eu vi pelo resultado “poxa, eu achei alguma coisa coerente”, na horizontal eu achei aceleração nula e, na vertical, eu achei lá uma aceleração condizente com o que eu já... Então, eu acho que com a lagrangiana, usando o método de lagrange, eu consegui encontrar o que eu já esperava encontrar.

Pesquisador: *Como assim, o que você esperava?*

A₅: Assim... Porque na horizontal não haveria aceleração. Já na vertical haveria aceleração. Como eu achei isso aí, eu pensei “deve estar certo”.

Constatamos, através do diálogo citado, que o aluno A₅, mediante seu processo de tratamento dos problemas, se enquadrava como um aprendiz da linguagem física, já que o autor tratado propôs que, para que isso se desenvolva, o estudante deve interpretar os fatos contidos no problema, de maneira que as explicações se ajustem a ele (KUHN, 2003, p. 135).

Durante as proposições de resoluções de problemas em sala de aula os alunos tiveram que determinar a solução de um oscilador massa-mola que se encontrava na vertical. Nesta situação era solicitado que fosse encontrada a lagrangiana e as equações de lagrange para o sistema (desprezando-se as perdas). O estudante A₅ auxiliou A₂ na resolução. Apresentamos a seguir diversos fragmentos desse diálogo, que fazem parte dos dados coletados na situação de

resolução de problema, relativa ao método de lagrange proposto pelo docente responsável pela disciplina:

A₂: *Eu só não entendi aqui, ó, o $V = \frac{1}{2}Kx^2$, por que é uma mola, certo? Por que é $-mgh$?*

A₅: *Por quê? Veja! O potencial tá pra baixo.*

A₂: *O mgh é o V , né? O V é a energia potencial. Além da energia cinética tem a potencial. A cinética é zero?*

A₅: *É no ponto que considere. Na elongação máxima, o peso continua pra baixo.*

A₂: *Junto com a gravidade?*

A₅: *Isso. E a mola puxa pra cima.*

A₂: *Então eu tenho que fazer menos (-).*

A₅: *É, o peso é negativo...*

A₂: *Mas quando a mola está na elongação máxima não faz isso? Nós usamos o V como $\frac{1}{2}Kx^2$...*

A₅: *Aí não tem a gravitacional.*

A₂: *Quando tá na horizontal não tem gravitacional?*

A₅: *Isso. Na vertical tem gravitacional... Olha, tá dando uma coisa bem coerente, $-mg = m\ddot{y}$... $dKy - mg = m\ddot{y}$.*

De acordo com o auxílio prestado por A₅ ao discente A₂, percebemos o domínio de certas concepções da ciência física, como a adoção de referenciais e a existência, ou não, de potenciais. Isso favoreceu a resolução do terceiro problema inserido na prova 2.1, que diz respeito a um oscilador massa-mola no plano inclinado. Em relação a ele, o aluno A₅ apresenta algumas argumentações pós-prova, que foram coletadas durante a entrevista e que descrevemos a seguir:

A₅: *Eu só considere o movimento no sentido da mola... E um potencial nessa direção [...]. Havia um potencial gravitacional aqui. Menor do que o vertical, mas havia. A gravidade puxava ele para baixo, só que inclinado...*

Pesquisador: *Você já sabe a resposta?*

A₅: *Pela experiência da newtoniana a gente espera que deve ter algo assim... É um problema que envolve mola e envolve também gravitacional. Então, deveria haver... Uma intuição me dizia que, na hora de analisar eu fui bem intuitivo, eu pensava “deve ter acelera-*

ção, deve ser função do potencial elástico e do potencial gravitacional”. As duas coisas envolvidas.

A partir do que fora dito por A₅ em sua entrevista pós-prova 2.1, podemos entender que o processo de formação do intérprete da linguagem física estava em curso, na medida em que ele destaca seu processo de intuição na análise do problema citado, propondo que deveria haver uma aceleração em função dos potenciais elástico e gravitacional no caso abordado. De acordo com nossa interpretação, isso se deve ao fato de o aluno possuir conhecimentos conceituais obtidos por meio de seus estudos sobre mecânica newtoniana, incluindo também o fato de já ter estudado, porém sem obter uma compreensão efetiva, a mecânica lagrangiana, e que pode ser elucidado pelos fragmentos de depoimentos que apresentamos a seguir e que compõem os dados da entrevista pós-prova 2.2, quando A₅ evidencia que sofria de um mal descrito por ele como “lagrangite”.

A₅: Olha, não quero puxar a sardinha de ninguém, mas a clareza que eu tive desse conteúdo agora... Eu acho que sarei da minha “lagrangite”... É porque eu falei que eu tinha “lagrangite” quando entrei nesse curso...

Pesquisador: O que é “lagrangite” mesmo?

A₅: É um termo que eu inventei... Eu tinha medo de fazer lagrangiana. Eu até sabia, já tinha feito um curso antes, mas eu tinha... Eu não entendia como é que funcionava, o que era o método... Qual era o objetivo do método, eu não tinha entendido o método. Agora eu entendi, entendi a facilidade, porque ele ajuda... Mesmo que eu tenha várias coordenadas, isso facilita bastante para resolver os problemas [...] Eu senti... Eu pude sentir a utilidade dos métodos... A explicação foi simples, foi direto e deu exemplos. Isso daí, para mim, foi o que eu precisava para aprender esse conteúdo. Não teve rodeios, não teve problemas mais complicados, partimos de problemas simples, para depois atacarmos problemas mais complicados. Eu senti isso no meu aprendizado aqui [...] eu senti que eu aprendi a aplicar o método. Isso que eu achei legal.

Por meio desses relatos de A₅, é possível verificar que as proposições do referido autor são confirmadas no que diz respeito ao aprendizado da ciência física e que estão relacionados aos efeitos e à utilização da linguagem. O estudante (em investigação) destaca que possuía um mal, “a lagrangite”, que foi solucionada com explicações simples e diretas que faziam uso de exemplos. Fato esse que, de acordo A₅, era o que ele “[...] precisava para aprender esse conteúdo” (Entrevista pós-prova 2.2).

Segundo o autor, a exposição do aprendiz aos exemplos em que a linguagem física é aplicada constitui-se parte do processo de aprendizagem, pois deve ser “[...] provido por alguém que pertença à comunidade linguística na qual são costumeiros [...]”, isto é, provido por alguém que domine os conhecimentos e saiba como utilizá-los (KUHN, 2003, p. 86). No caso em análise, esse ‘alguém’ é o docente responsável pela disciplina que o estudante frequenta.

O método de trabalho desse docente, que promovia uma situação de ensino que, de

certa forma, perpassava pelo processo de *ostensão*, isto é, dedicava-se à apresentação e questionamentos diretos sobre os termos em utilização e, também, por meio da descrição de situações nas quais eles são aplicados, favoreceu o processo de condução do aluno A₅ para o estágio de intérprete, ou seja, encaminhou esse estudante para a aprendizagem da linguagem física, segundo o formalismo lagrangiano, o que assegura nossos comentários relativos a esse processo de constituição de um novo léxico.

Na resolução de problemas pelo método de Hamilton (módulo 3 do curso), A₅ auxilia o aluno A₂ na resolução de um problema relacionado a um corpo em queda livre a partir do repouso. Esse auxílio diz respeito ao formalismo envolvido no problema, mostrando a expansão de seu *léxico* da ciência física e seu grau de *interpretação* do formalismo abordado. Vejamos a seguir esse diálogo ocorrido em sala de aula diante da proposição de resolução de uma tarefa indicada pelo docente e que fazia parte de sua organização da proposta relativa ao método de hamilton:

A₂: *O \dot{x} muda?*

A₅: *O $\dot{x} = \frac{p}{m}$. Aqui é igual ao outro, muda só que daí... O que vai mudar é só o potencial.*

A₂: *A hamiltoniana não tem, né... Ficou $2d - kx^2$. Como ficou a hamiltoniana?*

A₅: *A hamiltoniana, por enquanto assim, $H = \frac{p^2}{2m} + \frac{kx^2}{2}$.*

A₂: *Não... $\frac{p}{2} - \frac{kx^2}{2}$, é isso?*

A₅: *Não, $\frac{p^2}{2m} + \frac{kx^2}{2}$.*

A₂: *P ao quadrado sobre dois? Menos $Kx^2/2$.*

A₅: *A hamiltonina ficou igual à anterior, a primeira parte, a segunda só vai mudar o potencial. Só se eu errei o sinal aqui, mas a hamiltoniana, quando é conservativa, vai dar energia, né. A hamiltoniana é a soma das energias, energia cinética mais (+) a energia potencial. Porque $\frac{p^2}{2m}$ é a energia cinética e $\frac{kx^2}{2}$ é a energia potencial.*

A₂: *Você não somou isso aqui?*

A₅: *Isso é da anterior.*

A₂: *E agora?*

A₅: *Agora ficou assim, a energia cinética continua sendo a mesma, o que vai mudar... Só se for um mais (+) aqui... Desculpa, aqui é menos (-).*

A₂: *É menos (-)? Mas o m embaixo não tem aqui, tem?*

A₅: *Tem, tem... Porque o p^2 vai ser $p^2 = \frac{m^2 \dot{x}^2}{2m}$. Tem sim... Aqui é menos (-), não é mais (+)... Aí achamos a hamiltoniana.*

A₂: E agora? O $\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial p}$?

A₅: Agora tem que achar o \dot{q} e o \dot{p} .

A₂: \dot{p} ?

A₅: A derivada de H sobre derivada de... Tem que fazer o $\frac{\partial H}{\partial p}$ depois o $-\frac{\partial H}{\partial q}$. Acho que tem coisa errada aqui... É $-\frac{\partial H}{\partial q}$.

A₂: O $\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q}$?

A₅: Isso. E o $\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p}$.

A₁: Iiiiih, A₅, presta atenção.

A₅: É só mudar o sinal.

Durante a entrevista pós-prova 3.2, A₅ se refere aos erros cometidos por ele nas resoluções dos problemas abordados na prova 3.1. Vejamos a seguir um fragmento desse relato:

Pesquisador: *Mas com essa oportunidade de refazer a prova, você acha que conseguiu recuperar sua média?*

A₅: *Eu errei duas questões nessa prova, então... É uma parte conceitual séria... A questão que a hamiltoniana é para sistemas conservativos... Ela é usada para sistemas conservativos... Eu estava querendo usar a hamiltoniana para tudo e não, tem uma situação aí que não [...] mas pelo que eu entendi até agora, eu estava querendo usar para tudo..., mas não é bem assim.*

V. Considerações finais

Ao considerarmos os dados coletados em sua completude (e que em um artigo fica inviável descrever), constatamos que A₅ mostrou-se sempre atento ao campo conceitual da física abordada no curso, além das diversas manifestações do estudante durante as entrevistas – isso também fica evidente em suas resoluções dos problemas sugeridos pelo docente responsável pela disciplina.

Embora A₅ não tenha demonstrado dificuldades quanto aos princípios e leis físicas envolvidas nos problemas abordados nas provas e nas resoluções que ocorreram em sala de aula, os obstáculos que foram apontados, inclusive pelo próprio estudante ao longo das entrevistas pós-provas, se referiram ao cálculo diferencial necessário para o encaminhamento das resoluções.

Diante dessas ocorrências, podemos afirmar que esses fatos foram um obstáculo encontrado por ele ao longo do curso em seu aprendizado da linguagem física, e ao retomarmos à Kuhn (2003, p. 86) temos que um aprendiz dessa linguagem deve possuir um vocabulário

matemático bastante rico a fim de que se possa fazer a descrição quantitativa da trajetória e das grandezas velocidade e aceleração dos corpos que se movem nos casos estudados.

Outro fato que nos chamou a atenção em relação a A_5 foi quando, durante a entrevista pós-prova 2.2, o mesmo relatou que sofria de um mal chamado “lagrangite”, esclarecendo que essa denominação dada por ele era proveniente de sua incompreensão relativa ao formalismo lagrangiano na época em que cursava a graduação em física. Todavia, com as aulas ministradas pelo professor desse curso, ele pôde compreender esse formalismo e encontrou explicações plausíveis: “[...] foi simples, foi direto e deu exemplos [...]”. Essa situação também nos remete à obra de Kuhn (2000, p. 12), destacando o conceito de *ostensão*, relacionado à descrição de situações para as quais os termos presentes no formalismo lagrangiano (no nosso caso) são utilizados por meio de exemplificações.

Porém, para nós, o principal destaque no processo de aprendizagem de A_5 refere-se à expansão de seu *léxico* ou vocabulário. Com a análise dos dados coletados pudemos constatar que essa expansão se deu durante as aulas por meio de procedimentos didáticos instaurados pelo docente, que se pautava em explicações simples e diretas e na utilização contínua de exemplos. Por conseguinte, com as resoluções dos problemas propostos pelo professor, o estudante A_5 demonstrou em suas manifestações e registros os processos de *interpretação*, principalmente durante o módulo de lagrange. Fica evidente nesse processo que a mecânica lagrangiana, por exemplo, se enquadra como um novo vocabulário adquirido por A_5 .

Dessa forma, podemos considerar que o processo de formação do *intérprete* da linguagem física tida por A_5 se iniciou, porém não foi finalizado, na medida em que o curso de introdução à mecânica clássica abordado teve a duração de um semestre letivo, de modo que o aluno, na prova 3.1 (prova do último módulo do curso) ainda exibiu erros, tais como a interpretação equivocada de que a hamiltoniana serviria para todos os casos e não somente para sistemas conservativos.

Referências bibliográficas

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 3 ed. Lisboa: Edições 70, 2004.

BALLESTERO, H. C. E. **Relações com o saber e o aprendizado em física por meio da avaliação formativa em um curso de introdução à mecânica clássica**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BALLESTERO, H. C. E. **Aprendizagem significativa da linguagem física em um curso de introdução à mecânica clássica no ensino superior**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

- BALLESTERO, H. C. E.; ARRUDA, S. M. Avaliação formativa em um curso introdutório de Mecânica clássica: um estudo de caso. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 168-185, 2010.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**. Trad. Maria João Alvarez; Sara Bahia dos Santos; Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994.
- CHARLOT, B. **Da relação com o saber**: elementos para uma teoria. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- KUHN, T. S. On Learning Physics. **Science & Education** (Dordrecht), v. 9, p. 11-19, 2000.
- KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2003.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Taking science to school**: learning and teaching science in grades K-8. Washington: National Academies Press, 2007.
- ILLERIS, K. Uma compreensão abrangente sobre a aprendizagem humana. In: KNUD ILLERIS (Org.). **Teorias contemporâneas da aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2013. p.15-30.
- POPPER, K. **Conhecimento objetivo**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1975.
- WENGER, E. Uma teoria social da aprendizagem. In: KNUD ILLERIS (Org.). **Teorias contemporâneas da aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2013. p. 246-257.