

Análise do conhecimento em um livro texto de mecânica quântica: a densidade semântica

Knowledge analysis in a quantum mechanics textbook: the semantic density

Marina Valentim

Universidade Federal de Catalão (UFCAT)
marinote@ufg.br

Eduardo Fleury Mortimer

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
efmortimer@gmail.com

Resumo

A pesquisa apresenta uma análise da densidade semântica em duas seções do livro texto, *Lições de Física de Feynman*, amplamente utilizado no ensino de mecânica quântica em nível superior. A densidade é uma das dimensões do código semântico da teoria dos códigos de legitimação (LCT), que se refere ao nível de complexidade dos significados na prática social. O trabalho apresenta um novo dispositivo de tradução para a densidade semântica aplicada ao conhecimento físico, gerando gráficos com a variação da densidade semântica. Também foram construídas tabelas que indicam a porcentagem de relações estabelecidas no texto com conceitos clássicos e quânticos, dentro de cada uma das formas da densidade semântica. O objetivo do trabalho é dar subsídios para entender, por meio da análise semântica dessa parte do livro texto, como esse material influencia o aprendizado da física quântica.

Palavras chave: teoria dos códigos de legitimação; análise textual; densidade semântica; ensino de mecânica quântica.

Abstract

This research presents an analysis of the semantic density in two sections of the textbook, *The Feynman Lectures on Physics*, widely used in the teaching of quantum mechanics at Higher Education. Density is one of the semantic dimensions of the theory of legitimation codes (LCT), which refers to the level of complexity of meanings in a social practice. This work presents a new translation device for the semantic density applied to physical knowledge, generating graphs with the variation of the semantic density versus textbook sentences. Tables were also built in the analysis, which indicate the percentage of related relationships in the text with classical and quantum concepts, within each of the forms of semantic density. The objective of the work is to provide subsidies for understanding, through the semantic analysis of this part of the textbook, how this material influences quantum physics teaching.

Key words: Theory of Legitimation of Codes; textual analysis; semantic density; quantum mechanics teaching.

Introdução

Define-se conhecimento, no dicionário, como o ato ou efeito de conhecer por meio da razão. O conhecimento é extremamente valorizado na sociedade moderna, caracterizando avanço e sucesso. Porém, compreender e estudar sobre o conhecimento não é visto como crucial para entender a sociedade e seu funcionamento (MATON, 2017). Dessa maneira, é necessário entender os princípios que o organizam o conhecimento e seus efeitos. Em relação a educação, o conhecimento é seu alicerce e seu tema principal, é a partir dele que surge a necessidade de aprendizagem; conhecer cada vez mais. Ensina-se conhecimento, aprende-se conhecimento, estruturam-se currículos de conhecimento e cria-se conhecimento. A pesquisa em ensino dedica-se a investigar como se aprende, estuda técnicas, metodologias de aprendizado e se debruça sobre os modos de interações em sala de aula. É necessário, além disso, debruçar-se também sobre o que se aprende, dar importância ao conhecimento, se atentar a qual conhecimento está sendo criado na sociedade e levado a escola, ensinado e aprendido e à sua dimensão epistêmica (DOS SANTOS; MORTIMER, 2019; MATON, 2017; MATON; HOOD; SHAY, 2016). Para conhecer mais sobre o conhecimento disponibilizado, a linguagem tem um papel importante, pois é um dos meios de oferecer o conhecimento para a sociedade. Ela é um dos mais antigos e populares recursos semióticos que organiza o discurso científico; permite que as ciências elaborem significados complexos a partir dos significados comuns e que transforme o conhecimento técnico em conhecimento acessível. Uma das formas sob a qual a linguagem se apresenta é a escrita, usada em sala de aula para anotações no quadro, apresentações de *power point*®, em textos, em trabalhos de pesquisa, nas avaliações e também nos livros didáticos. A linguagem escrita é um dos meios que permitem entender o discurso da física, incluindo aí equações matemáticas, gráficos, imagens e outros recursos da escrita. Uma apreciação da escrita é então fundamental para entender o discurso da física. (DORAN, 2018).

Os livros didáticos são instrumentos no qual o discurso científico é apresentado de forma escrita (por meio de textos escritos e imagens) de uma maneira pedagógica. No ensino superior os livros didáticos são referência para a formação. Eles são fonte de conhecimento, pois as disciplinas das Universidades são estruturadas baseando-se nos conteúdos desses livros, que se estruturam como fonte de pesquisa para alunos e fonte de consulta para professores. Os livros escolhidos em disciplinas de curso superior influenciam tanto o que o aluno aprende quanto o que o professor ensina, já que eles o utilizam como fonte de pesquisa agregador de conhecimento. São utilizados também como fonte para a estruturação das aulas desses professores, sendo o material para recordação de assuntos que serão ministrados (OGAN-BEKIROGLU, 2007).

Muitos professores consideram os livros-texto como a única fonte de pesquisa, utilizando esses durante todo o tempo de instrução. Muito da ciência ensinada é guiada e baseada nos conteúdos dos livros de ciências. O livro-texto se transforma no currículo principalmente para professores inexperientes (OGAN-BEKIROGLU, 2007, p.600).

A pesquisa a seguir investiga o conhecimento disponibilizado em um livro de mecânica quântica, muito utilizado em cursos de nível superior de física. O referencial utilizado para a pesquisa é um referencial sociológico advindo do

realismo social. Esse referencial valoriza a dimensão epistêmica do conhecimento e apresenta uma ferramenta de análise, a semântica, que faz parte da Teoria do Código de Legitimação (MATON; HOOD; SHAY, 2016).

O livro texto analisado- Lições de Física de Feynman

O trabalho apresenta uma análise do conhecimento disponibilizado no livro 3 da coleção Lições de Física de Feynman (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2018), tradução do texto original *The Feynman Lectures on Physics*, que foi redigido a partir das aulas gravadas em um seminário do físico Richard Feynman nos anos 60. Esse volume, dedicado exclusivamente à mecânica quântica, é considerado uma obra prima da didática, “o melhor livro de todos os tempos” (KARAM,2018) já que propõe uma experiência pedagógica diferenciada, com uma nova organização dos conteúdos e uma nova ênfase aos conceitos abordados (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009). Segundo Karam (2018), a ênfase na fenomenologia diferencia o volume de mecânica quântica dessa coleção das abordagens tradicionais de livro de mecânica quântica, já que a torna menos abstrata. Algumas particularidades são apontadas:

- Presença de muito texto em relação a equações - o livro prioriza a abordagem conceitual e discute aspectos epistemológicos da física;
- Ausência de problemas resolvidos ao longo do texto;
- Preocupação com a fenomenologia - em todos os capítulos aparecem exemplos de aplicações tecnológicas e de aparatos experimentais;
- Ordem diferenciada e títulos inusitados para as sessões do livro;
- Presença de capítulos específicos de conhecimento matemático - tratados como parte integrante da física, rompendo com a ideia que a matemática é mera ferramenta;
- Texto escrito apresentando um discurso pessoal que aproxima o leitor, dialogando com as angústias do aprendizado, prevendo dificuldades e mostrando limitações;
- Presença no texto de maior quantidade e melhor qualidade de analogias de conceitos físicos (KARAM,2018).

Referencial teórico e Ferramenta de Análise

O referencial de análise usado nesta pesquisa é o da teoria dos códigos de legitimação (TCL), que se baseia em uma escola de pensamento, o realismo social, na qual o objeto de estudo é o conhecimento (MATON, 2017). As ferramentas conceituais e multidimensionais apresentadas pela TCL são usadas para a pesquisa e também podem sugerir mudanças, transformando e moldando a prática docente (MARTIN; MATON, 2013). A ferramenta de análise conceitual e metodológica possui quatro dimensões: Especialização, Semântica, Autonomia e Temporalidade e (MATON; DORAN, 2021). Cada uma dessas dimensões possui seus próprios códigos e conceitos que são utilizados para analisar o conhecimento. Essas dimensões podem ser usadas separadamente ou de forma articulada, dependendo do trabalho a ser desenvolvido. Para esta pesquisa, exploraremos o código semântico como ferramenta de análise, explorando um dos seus conceitos: a densidade semântica.

A densidade semântica se refere ao nível de condensação dos significados nas práticas sociais. Neste trabalho, estudaremos como a condensação se realiza no texto didático escrito. Quanto mais condensados e complexos forem os significados no texto, mais forte será a densidade semântica. Quanto menos condensados e complexos forem os significados, mais fraca será a densidade semântica. Uma outra forma de definir a densidade semântica é a "relacionalidade", que é traduzida pela quantidade de relações estabelecidas de um significado com outros significados, o que torna mais forte a densidade semântica (MARTIN; MATON; DORAN, 2020).

A linguagem escrita será então caracterizada pela densidade semântica gerando níveis de 1 a 5, de acordo com a tabela 1, apresentada a seguir, que mostra um dispositivo de tradução que elaboramos para este trabalho. É mais forte quando o significado é mais complexo e mais fraca quando ele é menos complexo e apresenta linguagem mais simples. Existirão na análise do texto momentos de fortalecimento da densidade semântica, como mudança de um termo que denota um pequeno número de significados para um termo que implica um maior número de significados e momentos opostos de enfraquecimento, em que há a passagem de símbolos altamente condensados para símbolos que envolvem menos significados (MATON; HOOD; SHAY, 2016).

Para representar esses movimentos de fortalecimento e enfraquecimento da dimensão semântica, serão traçados perfis semânticos por meio das ondas semânticas (construídos em forma de gráficos). O gráfico será construído levando em conta a tabela 1, a seguir, que atribui a sentenças do texto níveis de densidade semântica com valores de 1 a 5. O nível mais alto de densidade semântica, o nível 5, é a forma simbólica, na qual encontramos equações e gráficos. O nível 4 possui uma forma conceitual complexa, em que a explicação do conteúdo físico é feita dentro de teorias físicas, como por exemplo, a associação da função de onda com fenômenos quânticos. O nível 3, denominado conceitual simples, requer a compreensão de conceitos físicos simplificados para a compreensão do conteúdo como, por exemplo, o entendimento do conceito de probabilidade para o entendimento do texto. O nível 2, chamado de conceitos do cotidiano, relaciona os conceitos da linguagem cotidiana ao fenômeno da física. O nível mais fraco de densidade semântica, nível 1, denominado meta-comentário, está relacionado às partes do texto em que o autor faz comentários sobre a estrutura textual. Os exemplos apresentados na tabela a seguir estão adaptados à parte do conteúdo que será analisado no livro, relativo à definição da função de onda.

Resultados: Análise do conhecimento

Foram analisadas duas seções do volume 3 do livro *Lições de Física de Feynman* (2018). As seções analisadas foram: A equação de Schrödinger e O significado da função de onda. A unidade de análise foram as sentenças do texto: a cada uma delas foi atribuída um valor de densidade semântica de 1 a 5, de acordo com a tabela 1. Os gráficos, a seguir, apresentam no eixo x as unidades de análise e no eixo y os valores atribuídos a densidade semântica. Além dos gráficos, foram construídas tabelas mostrando a porcentagem de cada uma das formas da densidade semântica que estão relacionadas com conhecimentos clássicos ou quânticos.

Tabela 1: Níveis de densidade semântica para o conhecimento físico

Densidade Semântica	Nível	Forma	Descrição	Exemplos
<p style="text-align: center;">Forte</p> <p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Fraco</p>	5	Simbólico	Equações, diagramas, gráficos	Equação matemática da função de onda.
	4	Conceitual complexo	Requer compreensão de teorias físicas para explicar o conteúdo.	Associação da função de onda com o fenômeno quântico. Entendimento do significado da equação matemática da função de onda.
	3	Conceitual simples	Requer compreensão de conceitos físicos para explicar o conteúdo.	Associação de conceitos quânticos isolados (probabilidade, vetor de estado, amplitude) com o conteúdo apresentado. Compreensão de conceitos físicos simplificados e sua relação com o conteúdo.
	2	Conceitos do dia a dia	Relaciona conceitos cotidianos ao fenômeno quântico e clássico.	Associação entre a função de onda e exemplos do dia a dia.
	1	Meta-comentário	Partes do texto em que o autor faz comentários sobre a estrutura textual.	Comentários sobre a organização do texto, sobre a sequência de ideias.

Fonte: Baseado em DOS SANTOS; MORTIMER (2019)

Figura 1: Gráfico 1: Densidade Semântica- Seção: A equação de Schrödinger

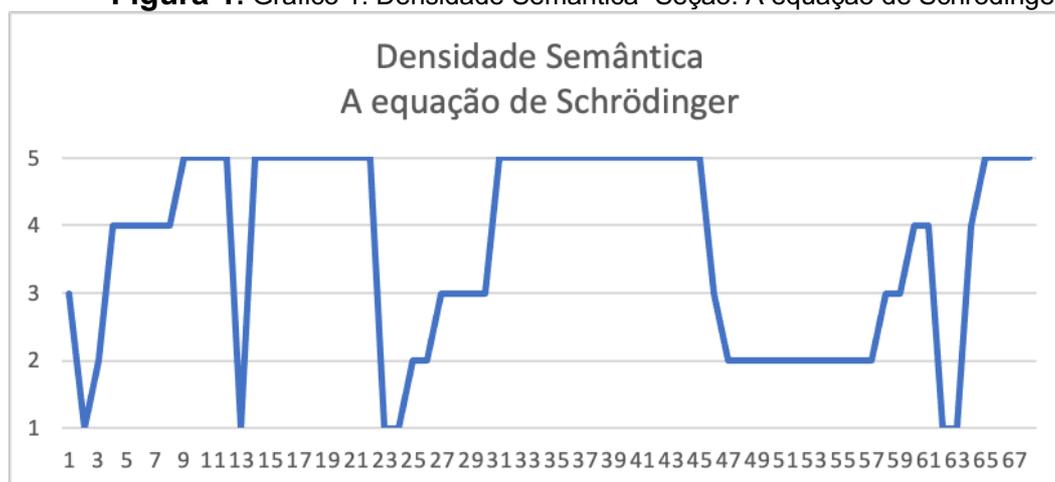


Tabela 2: Distribuição da forma para a seção A equação de Schrödinger

Forma	Porcentagem total no texto	Clássico/ Quântico	
Simbólica	47%	Quântico 93,6%	Clássico 6,4%
Conceitual Complexa	11,8%	Quântico 83,3%	Clássico 16,6%
Conceitual Simples	11,8%	Quântico 46,6%	Clássico 53,4%
Conceitos do dia a dia	20,9%	Quântico 80%	Clássico 20%
Meta-comentário	8,8%		

Figura 2: Gráfico 2: Densidade Semântica- Seção: O significado da função de onda

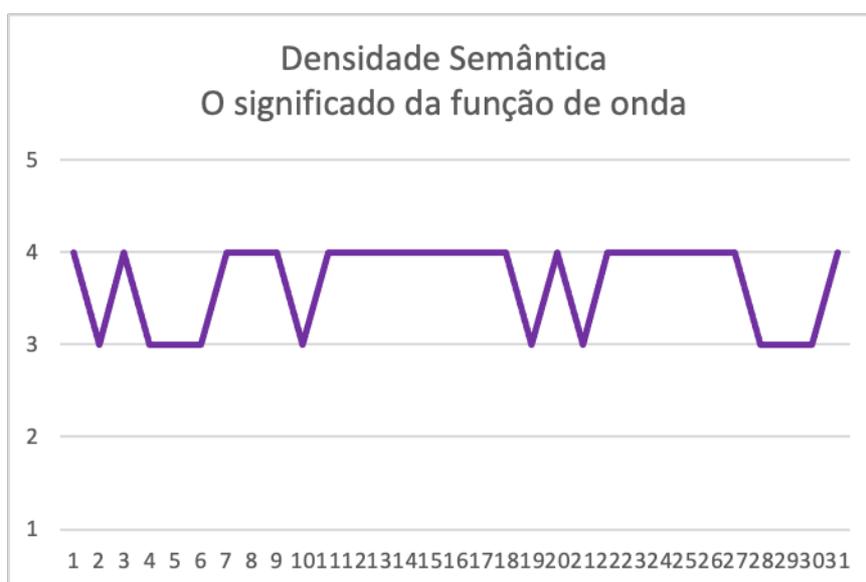


Tabela 3: Distribuição da forma para a seção *O significado da função de onda*

Forma	Porcentagem total no texto	Clássico/ Quântico	
		Quântico	Clássico
Conceitual Complexa	64,5%	100%	0%
Conceitual Simples	35,5%	73%	27%
Conceitos do dia a dia	0%	0%	0%
Meta-comentário	0%		

A seção *A Equação de Schrödinger* corresponde a uma parte do livro na qual os autores apresentam a equação matemática da função de onda. Nessa parte há uma variação dos cinco níveis de densidade semântica, porém com maior predomínio do nível 5 (47% do texto). Isso se justifica pelo objetivo da seção, que é o de apresentar a equação da função de onda de forma matemática ao estudante. Mesmo a sessão sendo dirigida para apresentar uma equação, existe nela também, mas com menor frequência, a forma de densidade dos conceitos do dia a dia (nível 2 com 20,9%). Isso está de acordo com a afirmação de Karam (2018), que o texto desse livro apresenta a ferramenta matemática como integrante da física, não sendo tratada como apenas como subsídio matemático.

A seção *O significado da função de onda*, analisada e mostrada no gráfico 2, apresenta formas de densidade semântica pertencentes apenas aos níveis de 1 a 4, já que se trata de uma parte do texto em que se analisa o significado da equação de Schrödinger, não contendo a parte simbólica. Mesmo se tratando de uma seção de significação da função de onda, os autores utilizam conceitos físicos de baixo e alto nível de complexidade, distanciando-se de exemplos do dia a dia (nível 2 com 0% assim como os meta-comentários).

As tabelas 2 e 3 apresentam a frequência com que cada forma da densidade semântica se relaciona com teorias e conceitos clássicos e quânticos da física. Para o ensino de mecânica quântica, essa tabela apresenta dados relevantes. Existem

pesquisadores que consideram que o ensino de quântica deve estar relacionado a conceitos clássicos e outros que acreditam que, para ensinar quântica, não se deve fazer relações com conceitos clássicos. Greca, Moreira e Herscovitz (2001) defendem que uma solução para o ensino de quântica é gerar modelos mentais adequados para a percepção quântica dos fenômenos microscópicos. Segundo eles,

Acreditamos que uma solução possível seja, sobretudo em cursos introdutórios, salientar diretamente as características quânticas dos sistemas ao invés de buscar analogias clássicas que reforçam as concepções clássicas dos estudantes (GRECA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2001, p.446)

Já os pesquisadores Ostermann e Ricci (2005) alegam que abordagens semiclássicas, nas quais a Mecânica Quântica é introduzida, “acabam relegando a um segundo plano questões cruciais, como a de que os objetos quânticos são de uma natureza muito diversa dos objetos clássicos.” (OSTERMANN; RICCI, 2005, p.11). Nascimento, Ostermann e Cavalcanti (2017) reforçam que um dos objetivos do texto do livro de Feynman, Leighton e Sands é o de apresentar conceitos quânticos descolados da física clássica. Nesse livro, há uma consideração dos próprios autores quanto ao descolamento da física clássica do ensino da mecânica quântica.

Começamos a mecânica quântica propriamente, no sentido de descrever um fenômeno quântico de uma maneira completamente quântica. Não daremos desculpas nem tentaremos achar ligações com a mecânica clássica. Queremos falar sobre uma coisa nova numa nova linguagem (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2018, p.71).

A tabela 2, relacionada a seção da apresentação da equação Schrödinger, tem um predomínio de relações com teorias e conceitos quânticos. Apenas no nível conceitual simples (2), há um ligeiro predomínio de relações com conceitos clássicos, pois estes são utilizados para apresentar detalhes da equação da função de onda. A tabela 3, que analisa a porcentagem do texto relacionado às teorias da física clássica e quântica na seção *O Significado da Função de Onda*, aponta um domínio absoluto de conceitos e teorias quânticas. Os autores do livro cumprem o que prometem nessa parte do texto, “ensinar a física quântica de uma maneira quântica”.

Conclusões

O trabalho apresentou análise da densidade semântica de duas seções do livro *Lições de Física de Feynman* com a intenção de aprofundar sobre o conhecimento disponibilizado em materiais didáticos escritos sobre mecânica quântica como os livros textos. A seção, *A Equação de Schrödinger*, apresentou os cinco níveis de densidade semântica de acordo com o referencial de análise proposto, mesmo sendo uma parte do texto que tem objetivo de apresentar uma equação matemática, os autores percorreram os cinco níveis de densidade. A seção *O Significado da Função de Onda*, apresentou apenas conceitos quânticos para explicar a função de onda e se ateu aos níveis 4 e 3 da densidade semântica, conceitual complexa e conceitual simples respectivamente. Não utilizou nenhuma categoria simbólica (nível 5) para dar significado à função de onda e nenhum conceito relacionado ao dia a dia (nível 2). Tem-se o objetivo de contribuir para o ensino de quântica, quando se

analisa o texto escrito na sua dimensão epistêmica fornecendo subsídios para entender como esses materiais influenciam no aprendizado dos estudantes.

Referências

- DORAN, Y.J. *The Discourse of Physics Building Knowledge through Language, Mathematics and Image*. 1st. ed. London: Routledge, 2018.
- DOS SANTOS, Bruno Ferreira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Ondas Semânticas e a Dimensão Epistêmica Do Discurso Na Sala De Aula De Química. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 24, n. 1, p. 62, 2019.
- FEYNMAN, Richard Phillips; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. *Lições de Física*. São Paulo: Bookman Companhia Editora S.A., 2018.
- GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antonio; HERSCOVITZ, Victoria E. Uma Proposta para o Ensino de mecânica quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, p. 444–457, 2001.
- KARAM, Ricardo. O que diferencia as Feynman lectures de livros tradicionais? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 4, p. 11, 2018.
- MARTIN, J. R.; MATON, Karl. Cumulative knowledge-building in secondary schooling: Guest editors' preface. *Linguistics and Education*, v. 24, n. 1, p. 1–3, 2013.
- MARTIN, J. R.; MATON, Karl; DORAN, Y. J. *Accessing Academic Discourse*. First ed. New York: Routledge, 2020. v. 1.
- MATON, Karl. *Knowledge and Knowers Towards a realist sociology of education*: Taylor & Francis Group, 2017.
- MATON, Karl; HOOD, Susan; SHAY, Suellen. *Knowledge-building Educational studies in Legitimation Code Theory*. [S.l.]: Routledge, 2016.
- MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A Sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldade dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. *Ciência e Educação*, v. 15, n. 3, p. 557–580, 2009.
- NASCIMENTO, Matheus Monteiro; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José De Holanda. Uma proposta de análise da produção didática desenvolvida em mestrados profissionais em ensino de ciências. *Revista Electronica de Ensenanza de las Ciencias*, v. 16, n. 2, p. 316–340, 2017.
- OGAN-BEKIROGLU, Feral. *To what degree do the currently used physics textbooks meet the expectations?* [S.l.: s.n.], 2007. v. 18.
- OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 9–35, 2005.