

# Historicidade do Efeito Fotoelétrico em Publicações Científicas da área de Ensino de Ciências

## Historicity of the Photoelectric Effect in Scientific Publications for Science Education

**Mari Aurora Favero Reis**

Universidade do Contestado (UnC)  
Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM - ULBRA)  
[mariaaurorafavero@gmail.com](mailto:mariaaurorafavero@gmail.com)

**Agostinho Serrano**

Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM - ULBRA)  
[asandraden@gmail.com](mailto:asandraden@gmail.com)

### Resumo

O trabalho se caracteriza como revisão bibliográfica a respeito do uso da historicidade no ensino do efeito fotoelétrico, em publicações científicas de periódicos da área, que tem sido componente curricular de relevância no ensino da Física Moderna. Ainda que um número reduzido de publicações se dedicam ao tema, especialmente sobre a história da ciência para o ensino do efeito fotoelétrico, as publicações apontaram considerações de grande relevância para aplicações em pesquisas futuras. Primeiramente, há uma insuficiência do contexto histórico na abordagem do tema, tanto livros didáticos e materiais de laboratório. Do mesmo modo, observa-se uma concordância entre os pesquisadores, que a abordagem de fatos e eventos históricos, que mararam a Ciência do século XX com a publicação de Albert Einstein sobre a teoria quântica da luz, podem contribuir para que os estudantes melhorem o aprendizado de conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico.

**Palavras chave:** Efeito fotoelétrico, Historicidade, Ensino de Ciências.

### Abstract

The work is characterized as a bibliographical review regarding the use of historicity in the teaching of the photoelectric effect, in scientific publications of periodicals of the area, which has been a relevant curricular component in the teaching of Modern Physics. Although a limited number of publications are devoted to the subject, especially on the history of science for the teaching of the photoelectric effect, the publications pointed out considerations of great relevance for applications in future research. First, there is an insufficiency of historical context in approaching the subject, both in the books didactic and laboratory materials. First, there is an insufficiency of the historical context in the approach to the theme. Similarly, there is a concordance between the researchers, who approach historical facts and events, who marveled Twentieth Century Science with the publication of Albert Einstein on the Quantum theory of light, can help students improve their knowledge of the photoelectric effect.

**Key words:** Photoelectric effect, historicity, Science Teaching.

## Introdução

Em 2015 a comunidade científica celebrava o Ano Internacional da Luz (AIL), ao comemorar 110 anos da publicação do artigo “Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz”, de Albert Einstein. A teoria que atribuiu a Einstein o prêmio Nobel da Física (1921) e explicava a teoria quântica da luz para os fenômenos fotoelétricos. E, no ano de 2015, inicia-se uma busca por publicações associadas ao efeito fotoelétrico em ensino de Ciência em pesquisa bibliográfica para projeto de tese de Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática.

O método empregado na busca dos artigos ocorreu através da utilização de sítios de busca como ERIC (*Educational Resources Information Center*), Taylor & Francis online e portal SJR1 (*SCImago Journal & Country Rank*). Estes proporcionam acessos aos títulos e resumos, localizados a partir de termos vinculados ao efeito fotoelétrico e história da ciência (em diferentes idiomas). Após a localização, buscaram-se os artigos na íntegra, através do portal de periódicos da CAPES.

A busca proporcionou acesso a mais de setenta artigos, publicados em revistas como: *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Research on Science Teaching*, *European Journal of Science Education*, *American Journal of Physics*, *Contemporary Physics*, *Physics Teacher*, *Physics Education*, *Cognition and Instruction*, *Learning and Instruction*, *Enseñanza de las Ciencias*, Revista Brasileira de Ensino de Física e Caderno Brasileiro de Ensino de Física.

As publicações acessadas foram caracterizadas e classificadas de acordo com os descritores discriminados, através de abordagem qualitativa de pesquisa, com base na análise de conteúdo (BARDIN, 2007). O resultado da pesquisa bibliográfica nos proporcionou um artigo que evidencia a necessidade de integração entre historicidade, construção de conceito e contexto, como ponto importante para a compreensão dos estudantes, no ensino do efeito fotoelétrico na mecânica quântica<sup>2</sup>.

O artigo, que foi submetido a revista da área de ensino de ciências, evidenciou a necessidade de um estudo mais acurado sobre o uso da historicidade do efeito fotoelétrico em ensino de ciências. E, neste trabalho, busca-se desenvolver uma análise das produções classificadas como historicidade com o propósito de responder a seguinte pergunta de pesquisa: Como publicações de pesquisas anteriores têm utilizado a história da ciência para o efeito fotoelétrico em ensino de ciências? Os resultados, apresentados através de tabelas e gráficos, podem contribuir para o uso de fatos e eventos históricos na elaboração de materiais didáticos para a construção de conceitos em efeito fotoelétrico.

## Resultados e discussões

Pesquisas publicadas em artigos de periódicos na área de ensino de ciências, especialmente para a historicidade do efeito fotoelétrico, são datados a partir do século XXI. Inicialmente as pesquisas tratavam da história da iniciação da Mecânica Quântica no ensino da física, especialmente na França (LAUTESSE, et al. 2015) e na Grécia (TAMPAKIS;

---

<sup>1</sup>O portal é uma interface gráfica projetada para acessar a classificação de indicadores bibliográficos no banco de dados da SCImago Journal & Country.

<sup>2</sup>O artigo *Efeito fotoelétrico no estudo da luz: pesquisa bibliográfica em historicidade, conceitos e contextos em ensino de física*, de nossa autoria, foi submetido a revista e encontra-se em processo de avaliação.

SKORDOULIS, 2007). Outros pesquisadores concordam que a forma como a Mecânica Quântica é ensinada nos cursos de graduação é ineficiente, sendo muitas vezes meramente instrumental técnico ou cálculos, de modo que raramente a história da ciência para a MQ é considerada (GRECA; FREIRE, 2003). Os autores sugerem que, tanto para o ponto de vista histórico quanto educacional, sejam inclusos livros de textos avançados no ensino de ciências.

Outras pesquisas referem-se à reconstrução histórica para o surgimento de tecnologias modernas, frequentemente ancoradas nos princípios do efeito fotoelétrico, porém sem exploração didático-pedagógica para ensino de ciências. Como exemplo é possível destacar a história na origem do raio X, em trabalho publicado na Austrália (JENKIN; LECKEY; LIESEGANG, 1977); ou história do LED, na Rússia (ALADOV et al., 2010).

### **História da ciência para o ensino de efeito fotoelétrico.**

O primeiro trabalho localizado na busca, que investiga a história da ciência, especialmente no ensino do efeito fotoelétrico, foi encontrado na Dinamarca (KRAGH, 1992). O artigo investiga as concepções da história da ciência para o efeito fotoelétrico, apresentadas nos livros didáticos de física. O autor relata que concepções “apresentadas de forma explícita ou implícita, nos livros didáticos, pertence ao que tem sido chamado de quase-história, uma história mítica especialmente preparada para a doutrinação de certos pontos de vista metodológicos e didáticos” (KRAGH, 1992; p. 351). Por conta disso, segundo o autor, os livros didáticos ao introduzir os conceitos quânticos (radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico, raios-X e espalhamento Compton), acabam referindo-se a uma série de fatos experimentais que foram descobertos no início do século XX. O problema didático na apresentação dos mesmos, conforme relata o autor, é que a história é vista como meios para convencer os estudantes que a quantização de energia é uma conclusão inevitável, dando ênfase à Física e não na história da Física.

Na Alemanha, Walter Jung (1994) afirma que para entender o conceito de fóton é primordial o uso da perspectiva quântica, sendo necessário, para a compreensão do estudante, o entendimento da natureza da mudança de paradigma, através da história e filosofia da ciência. Nos livros didáticos, segundo o autor, “o conceito fóton aparece ‘lançado de paraquedas’ para o estudante” (1994, p. 123). Jung afirma que o uso da historicidade, quando bem explorada, pode auxiliar o estudante a relatar socialmente as mudanças ocorridas na física do século XVIII para o século XX, bem como a importância para a humanidade. Afirma, ainda, que é preciso fazer esforços para encontrar abordagens didáticas aos detalhes na física, nos possíveis contextos de uso.

Mais de uma década, após as pesquisas relatadas, novas publicações celebravam o centenário das teorias apresentadas por Einstein nos cinco artigos revolucionários para a história da ciência. Entre elas, o artigo que tratava do efeito fotoelétrico sob uma perspectiva de quantização da luz.

Em Israel, Haim Eshach (2009) utiliza o glamour e o brilho da história do Prêmio Nobel de Albert Einstein, que recebeu pela publicação do artigo intitulado “Sobre um ponto de vista heurístico relativo à produção e transformação da luz” (1905), como tema motivador para aprendizagem dos conceitos científicos em aula. A intenção de Eshach é que a história e filosofia da Ciência seja utilizada para relacionar história, Ciência no contexto social e temas centrais de Física Moderna. O propósito da estratégia foi atrair e motivar os alunos do ensino médio e calouros universitários para temas científicos ao serem estimulados a buscar a Ciência. Na mensagem deixada por Eshach (2009), o valor do Prêmio Nobel de Einstein no ensino de Física é ser usado como apoio à inserção histórica da ciência, como uma ferramenta

de ensino e aprendizagem. E, possivelmente, como estratégia motivacional para a inserção da história da ciência no ensino do efeito fotoelétrico em ensino de física.

Nos anos seguintes (2010 a 2012), no Canadá, através do conselho de Ciências e Engenharia da Universidade de *Manitoba* e pesquisadores do Departamento de Física da Universidade de Winnipeg, com apoio financeiro da Fundação *Maurice Price*, um grupo de pesquisadores (NIAZ et al., 2010; KLASSEN, 2011; KLASSEN et al., 2012) publicaram estudos de reconstrução da história da ciência para o efeito fotoelétrico em ensino da ciência.

Após estudos na análise de livros didáticos em química, Niaz e colaboradores (2010) realizam uma análise com 103 livros didáticos de Física Universitária, com os seguintes objetivos (NIAZ et al., 2010, p. 905): (i) Propor uma reconstrução histórica dos acontecimentos que culminaram a hipótese do quanta de luz de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico e a consequente polêmica na comunidade científica; (ii) Elaborar seis critérios, baseados na reconstrução histórica do efeito fotoelétrico, para a avaliação de livros didáticos de física; (iii) Avaliação dos livros didáticos de física geral de nível universitário, com base em seis critérios.

Os resultados da análise dos livros didáticos demonstraram que apesar da relevância da teoria quântica de Einstein para o efeito fotoelétrico é pouco conhecida nos livros textos de Física para o ensino na graduação (NIAZ et al., 2010). Consequentemente, na visão do grupo, o importante acontecimento para o desenvolvimento da Física dos dias atuais é praticamente desconhecido para estudantes de Física, especialmente quando o ensino da Física está apoiado no livro didático. Os resultados obtidos revelam, também, que esses elementos históricos são amplamente ignorados ou distorcidos nos livros didáticos. Na avaliação dos pesquisadores, é plausível a inclusão dos aspectos históricos relacionados com efeito fotoelétrico em livros didáticos de Física, podendo proporcionar uma melhor compreensão da dinâmica do progresso científico. Os autores recomendam que as apresentações da reconstrução histórica deveriam ser parte integral na apresentação do efeito fotoelétrico em livros didáticos, de modo que os conhecimentos históricos sejam apresentados associados ao conteúdo e não em seções especiais ou barras laterais dos livros didáticos. A proposta dos autores é que a história da física esteja dentro dos conhecimentos e atividades desenvolvidas nas aulas e não inserida como disciplina opcional ao ensino da física.

No ano seguinte, também no Canadá, Klassen (2011) realiza uma pesquisa bibliográfica para uma reconstrução da história do efeito fotoelétrico, a partir dos resultados na abordagem histórica do tema realizada na avaliação dos livros didáticos pelo grupo anterior. O autor destaca que cinco episódios da história são importantes e necessários para uma imagem da reconstrução do modelo quântico da história do efeito fotoelétrico: (a) a descoberta do efeito fotoelétrico, (b) o experimento inicial para o efeito fotoelétrico, (c) artigo revolucionário de Einstein do quantum de luz e sua explicação para o efeito fotoelétrico, que lhe concedeu mais tarde o Prêmio Nobel, apesar da não aceitação da hipótese quântica de Einstein na comunidade científica; (d) a verificação experimental da equação fotoelétrica de Einstein por Millikan, apesar de não aceitar a hipótese de Einstein, e (e) as medidas de Compton e sua explicação teórica, que produz a aceitação definitiva da hipótese de Einstein.

Em 2012, o grupo formado pelos mesmos pesquisadores que atuaram nas investigações anteriores no Canadá, ampliaram a pesquisa, utilizando os critérios adotados nos estudos anteriores na análise para uma amostra de 38 instruções de laboratório de Física para o ensino superior, publicadas eletronicamente em efeito fotoelétrico (KLASSEN et al., 2012). O estudo, com a participação de Mansoor Niaz, foi realizado para avaliar como os fundamentos históricos do efeito fotoelétrico são retratados no contexto instrucional em manuais para atividades experimentais de laboratório. O artigo inclui uma avaliação das bibliografias, um

resumo do contexto histórico do efeito fotoelétrico, critérios que foram aplicados ao estudo, uma descrição do método de aplicação, a apresentação dos resultados e uma discussão sobre as implicações no estudo. Os resultados apresentados pelos autores demonstram que nenhum dos 38 manuais teve uma apresentação que poderia ser classificada como excelente em todos os quatro critérios<sup>3</sup>. Em geral, segundo os autores, os manuais ignoram o contexto histórico na elaboração das atividades experimentais.

Em 2015, pesquisas contemplavam o Ano Internacional da Luz, relacionando o estudo da luz na Física Quântica com fatos históricos a teoria de Albert Einstein. Gingras (2015) apresenta ao meio científico um artigo sobre a evolução da teoria de Einstein, aspectos físicos e matemáticos para a natureza da luz e da matéria. O autor relaciona as equações matemáticas aplicadas na quantização de energia, em investigações com gás argônio, corpo negro e outras publicadas de 1905 a 1925. O estudo de caso chama a atenção para o poder criativo das analogias formais de Einstein, podendo ser de fundamental importância para a física teórica no ensino da física.

Em 2016 Allan Franklin, professor de Física da Universidade do Colorado (Estados Unidos da América), também investiga a inclusão de eventos históricos para a física moderna nos livros didáticos. O autor pesquisou como os três acontecimentos marcantes na física moderna do século XX são apresentados nos livros-texto de física (FRANKLIN, 2016): (1) O experimento de Robert Andrews Millikan sobre o efeito fotoelétrico, (2) a experiência de Michelson-Morley e (3) o experimento de Ellis-Wooster do espectro emitido no decaimento de energia. O autor destaca a incoerência na apresentação (quando é realizada) dos fatos histórico nos livros. Nos dois primeiros casos os relatos feitos pelos livros didáticos de física estão incorretos e no terceiro caso o experimento, frequentemente, nem é mencionado. O autor conclui que é importante apresentar aos estudantes uma história real da prática da ciência, incluindo sucessos e insucessos da ciência.

### Resultados das pesquisas.

Para essa discussão, preza-se pela análise da relevância das pesquisas para o ensino do tema e as características dos *papers* analisados, sendo que foram encontrados e analisados somente 8 artigos. Optou-se pela análise das pesquisas focadas no uso da história da ciência para o ensino do efeito fotoelétrico, especialmente voltados ao ensino de graduação (Tabela 1).

Ano	Revista	País	Nível de Ensino	Aplicação Didática
1992	Science & Education	Dinamarca	Graduação	História da ciência em livro didático
1994	Science & Education	Alemanha	Graduação	Integração história e conhecimento.
2009	Science & Education	Israel	E.M./Graduação	História como recurso motivacional
2010	Science Education	Canadá	Graduação	História da ciência em livro didático
2011	Science & Education	Canadá	Graduação	Reconstrução histórica para ensino
2012	Science & Education	Canadá	Graduação	História da ciência em manuais de laboratório
2015	Science & Education	Canadá	Graduação	Teoria de Einstein e analogias à matemática.
2016	Physics in Perspective	EUA	Graduação	História da ciência em livro didático

3 Critério 1: hipótese do Quantum de Einstein para explicar o efeito fotoelétrico; critério 2: falta de aceitação da hipótese Quantum de Einstein comunidade científica; critério 3: determinação experimental de Millikan do efeito fotoelétrico de Einstein e constante de Planck,  $h$ ; Critério 4: pressupostos de Millikan sobre a natureza da Luz.

Tabela 1: Características das pesquisas analisadas.

Quanto ao contexto educacional, os artigos foram analisados com intenção de fazer uso da historicidade como estratégia didática, com o propósito de despertar a curiosidade e motivar os estudantes para o ensino do efeito fotoelétrico. A justificativa é que o uso da história e filosofia da ciência, para ensino do efeito fotoelétrico, são desconhecidos pela comunidade acadêmica, até mesmo por muitos profissionais no ensino da Física (KLASSEN et al., 2012; NIAZ et al., 2010). As pesquisas apontam a necessidade de inclusão de um contexto da história e filosofia da Ciência nos livros didáticos (Gráfico 1), especialmente no ensino superior (NIAZ et al., 2010; KRAGH, 1992; FRANKLIN, 2016), e nos materiais de instrução para atividades experimentais em laboratório (KLASSEN et al., 2012). Frequentemente, tanto os livros didáticos como os materiais de laboratório são componentes essenciais para a ciência no ensino superior.

A abordagem de fatos e eventos históricos da Ciência pode proporcionar ao estudante acesso a conceitos, contextos e fenômenos importantes no aprendizado da Física Quântica em ensino de ciências. Alguns pesquisadores acreditam que, em especial no ensino da mecânica quântica, “estudantes devam perceber as mudanças epistemológicas e culturais decorrentes do surgimento e que, para isto, o melhor caminho é a introdução histórica, destacando as diferenças em relação aos modelos e as formas de raciocínio da Física Clássica” (GRECA, 2000, p. 34).

Quanto à origem científica dos artigos analisados, trata-se de periódicos bem-conceituados, sendo que seis artigos (75%) foram publicados na revista *Science & Education*, um artigo na revista *Science Education* e um na *Physics in Perspective* (gráfico 1). Geograficamente, os resultados das pesquisas estudadas demonstraram que, na grande maioria (50% das publicações), foram realizadas no Canadá (Gráfico 1).

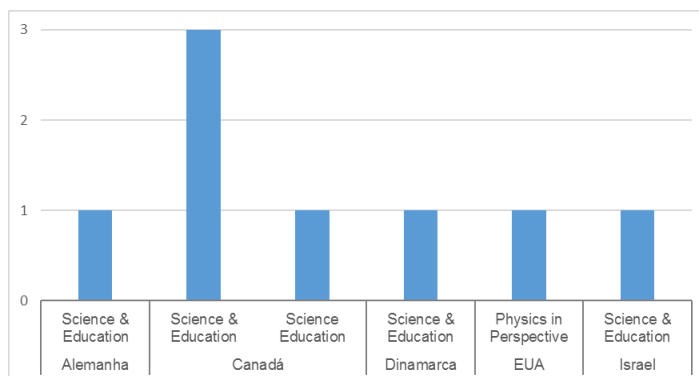


Gráfico 1: Localização dos artigos analisados.

Ao analisar o período de publicação, a partir de uma linha do tempo, os resultados demonstraram que as pesquisas mais relevantes da história da ciência para o ensino do efeito fotoelétrico ocorreram no período de 2009 e 2015 (Gráfico 2). A partir da análise e da leitura dos textos é possível afirmar que os dois eventos que celebraram o aniversário do *Annus Mirabilis* de Einstein (1995) foram marcantes na produção científica para história do efeito fotoelétrico. Tanto em 2005 quanto em 2015, o artigo que tratava do quantum de luz tem sido destaque entre os cinco trabalhos de Albert Einstein (1905).

O gráfico a seguir destaca o ano 2005, quando a comunidade científica celebrava o Ano Internacional da Física, em comemoração aos cinco artigos que revolucionavam a ciência (entre eles o do efeito fotoelétrico). Outro evento, destaca o ano de 2015, quando foi eleito como Ano Internacional da Luz (AIL) pela 68ª Assembleia Geral das Nações Unidas, em

comemoração aos 110 anos da publicação do artigo de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico, o qual atribuía a Einstein o prêmio Nobel em Física (ESHACH, 2009).

A representação gráfica (Gráfico 2) demonstra, também, que a maioria dos trabalhos científicos associados ao tema foram publicados neste período. Apenas duas das pesquisas foram publicadas antes do ano de 2005.

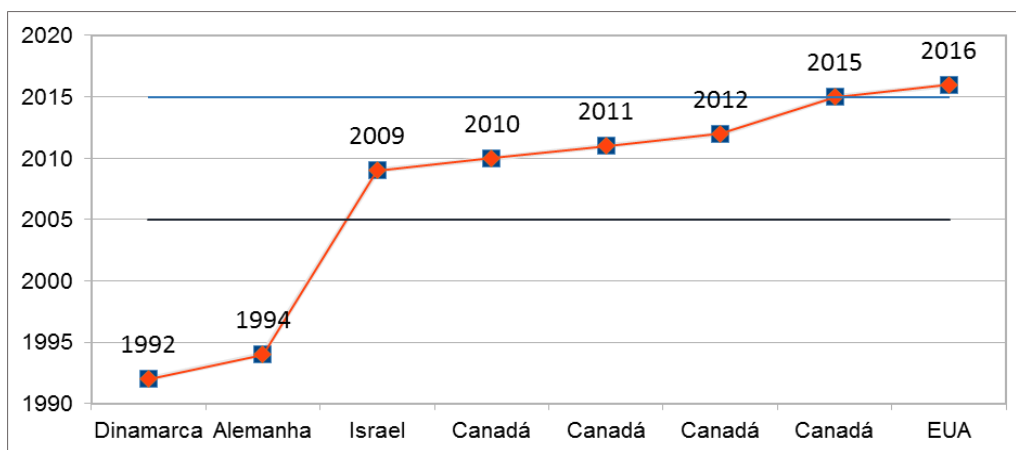


Gráfico 2: Linha do tempo dos artigos analisados.

## Considerações Finais

Os artigos citados têm intenção declarada de fazer uso da historicidade para despertar a curiosidade e motivar os estudantes para o estudo do efeito fotoelétrico. Os artigos analisados foram publicados em algumas das revistas mais conceituadas da nossa área<sup>4</sup>, naturalmente não exauram a discussão sobre a veracidade histórica dos fatos ocorridos no início do século XX associados ao trabalho de Einstein.

O fato notável para o leitor é que os eventos históricos apresentados nesse trabalho são desconhecidos pela comunidade acadêmica, até mesmo por muitos profissionais no ensino da Física, conforme relatado. Em contrapartida há consenso entre os pesquisadores, que a abordagem de fatos e eventos históricos da Ciência pode proporcionar ao estudante acesso a contextos e fenômenos importantes no aprendizado de conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico.

A seleção dos artigos referenciados foi de grande valia no processo de construção textual do trabalho. As pesquisas realizadas nos artigos selecionados demonstraram falta de inclusão de um contexto da história e filosofia da Ciência nos livros didáticos utilizados no ensino superior. O resultado também foi observado em pesquisa de avaliação dos materiais de instrução para atividades experimentais em laboratório. Entretanto, tanto os livros didáticos como os materiais de laboratório são componentes essenciais para a ciência no ensino, especialmente nos cursos de graduação. Isso nos situa no estado da arte da pesquisa em ensino de Física, na área de Efeito Fotoelétrico e nos deixa prontos para oferecer uma contribuição para este importante tema de ensino.

<sup>4</sup>Um destes pesquisadores, Mansoor Niaz, é considerado um dos mais produtivos e atuantes pesquisadores na área de Ensino de Ciências da América Latina. Atualmente trabalha na Venezuela e tem centenas de contribuições de grande relevância para a área.

## Agradecimentos e apoios

À CAPES pelo auxílio financeiro.

## Referências

- ALADOV, A. V et al. On modern high-power leds and their lighting application. **Light & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 16–29, 2010.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 70. ed. Rio de Janeiro: Lisboa, 2007.
- ESHACH, H. The Nobel Prize in the Physics Class: Science, History, and Glamour. **Science & Education**, v. 18, n. 10, p. 1377–1393, 2009.
- FRANKLIN, A. Physics Textbooks Don’ t Always Tell the Truth. **Physics in Perspective**, v. 18, n. 1, p. 3–57, 2016.
- GINGRAS, Y. The Creative Power of Formal Analogies in Physics: The Case of Albert Einstein. **Science & Education**, p. 529–541, 2015.
- GRECA, I. M.; FREIRE, O. J. Does an Emphasis on the Concept of Quantum States Enhance Students’ Understanding of Quantum Mechanics? **Science & Education**, v. 12, p. 541–557, 2003.
- GRECA, I. M. R. **Construindo significados em Mecânica Quântica: Resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral**. Tese (Doutor em Ciências), Instituto de Física, UFRGS. Porto Alegre, 2000.
- JENKIN, J. G.; LECKEY, R. C. G.; LIESEGANG, J. The development of x-ray photoelectron spectroscopy: 1900-1960. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, v. 12, n. 1, p. 1–35, 1977.
- JUNG, W. Toward preparing students for change: A critical discussion of the contribution of the history of physics in physics teaching. **Science & Education**, v. 3, n. 2, p. 99–130, 1994.
- KLASSEN, S. The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. **Science & Education**, v. 20, n. 7–8, p. 719–731, 2011.
- KLASSEN, S. et al. Portrayal of the History of the Photoelectric Effect in Laboratory Instructions. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 729–743, 2012.
- KRAGH, H. A Sense of History : History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. **Science & Education**, v. 1, p. 349–363, 1992.
- NIAZ, M. et al. Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. **Science Education**, v. 94, n. 5, p. 903–931, 2010.
- LAUTESSE, et al. Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France : “Quanton” Versus “Wave–Particle” Duality, Two Approaches of the Problem of Reference Philippe. **Science & Education**, v. 24, p. 937–955, 2015.
- TAMPAKIS, C.; SKORDOULIS, C. The history of teaching quantum mechanics in Greece. **Science & Education**, v. 16, n. 3–5, p. 371–391, 2007.