

## **Kuhn e a linguagem matemática na Física: contribuições para seu ensino**

### **Kuhn and the mathematical language of Physics: contributions to teaching**

**Henrique César da Silva**

Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica –  
Universidade Federal de Santa Catarina  
henriquecsilva@gmail.com

**João Paulo Mannrich**

Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica –  
Universidade Federal de Santa Catarina  
jpmannrich@yahoo.com.br

#### **Resumo**

As relações entre física e matemática vêm sendo discutidas há bastante tempo, tanto por epistemólogos, quanto por físicos. Considerando a predominância ou quase exclusividade, tanto no ensino superior, quanto no nível médio, da prática de resolução de listas de exercícios quase que exclusivamente matemáticos, a literatura da área tem indicado que concepções sobre essas relações interferem no aprendizado da física, da própria resolução de exercícios pelos estudantes e constituem o imaginário que sustenta práticas desenvolvidas pelos professores. Neste trabalho, de cunho teórico, apresentamos literatura que permite diferenciar duas visões sobre essa relação: uma visão instrumental e uma visão constitutiva da matemática enquanto linguagem da física. Dentro desse contexto, apontamos como especificidades da concepção de linguagem presente na epistemologia histórica e social de Thomas Kuhn contribuem para pensar essas relações entre física e matemática. Implicações para a educação em ciências, particularmente para o ensino de física, são apontadas a partir dos resultados teóricos apresentados.

**Palavras chave:** linguagem matemática, epistemologia, Thomas Kuhn

#### **Abstract**

The relationships between Mathematics and Physics have been discussed for a long time by epistemologists or physicists. Considering the predominant or almost exclusivity of the practices of resolution of lists of mathematical exercises, so in the undergraduate as in the high school teaching, the area literature indicates that conceptions about those relationships interfere in Physics learning, in resolution of those problems by students and shape the imaginary behind the practices developed by teachers. In this theoretical work, we present literature that allows us to differentiate between two visions about those relationships: one is an instrumental vision and the other a constitutive vision about Mathematics as Physics language. In such context, we point out the specificities of the conception of language we found in the social and historical epistemology of Thomas Kuhn and how that conception

contributes to think about those relations. We point out implications to the science education, Physics teaching in particular, from those theoretical results.

**Key words:** mathematical language, epistemology, Thomas Kuhn

## A Matemática e o Ensino de Física

Quando pensamos na Física e no que ela faz, é unânime a lembrança de uma disciplina escolar, seja em nível básico ou em nível superior, como sendo altamente caracterizada por práticas que requerem o uso da matemática. Embora não seja fácil e nem haja consenso em definir o que é a Física ou o que os Físicos fazem (CHALMERS, 2011), podemos facilmente concordar que a Física não faz o que faz sem a Matemática.

Em termos de ensino em nível básico, é comum encontrar professores formados ou em formação buscando alternativas para o ensino de Física sem a Matemática, fato este que parece originar-se devido à falta de conhecimentos básicos de matemática por parte de estudantes. Pietrocola (2002) destaca que alguns professores apoiam-se em interpretações físicas de problemas, deixando os passos intrínsecos ao processo matemático de lado, pois segundo eles, o que restou é apenas de natureza matemática. Como Hudson e Liberman (1982, *apud* KARAM, 2012) mostram, o domínio da Matemática é necessário para compreender a Física, porém este domínio não garante o sucesso em seu estudo. Isto sugere que a matemática no contexto do ensino de física é diferente do contexto puramente matemático. Esta interpretação ingênua de que o Ensino de Física possa “fugir” da Matemática vai contra a própria história da construção do conhecimento científico dos últimos séculos, e acaba contribuindo para a crença de que a matemática tem um simples caráter instrumental na Física.

Contrários a esta visão que caracterizam como ingênua atribuída ao papel da Matemática no contexto do Ensino de Física, alguns autores (KARAM, 2012; PIETROCOLA, 2002; KARAM e PIETROCOLA, 2009) apontam para o caráter estruturante que a Matemática tem para a Física. Entendendo a matemática como linguagem, Pietrocola (2002) argumenta que ela estrutura o pensamento físico, ou seja, é ela que permite aos Físicos articularem suas ideias sobre a natureza. Como consequência, se a Matemática estrutura o pensamento físico, a formação inicial deve mostrar esse caráter ao futuro professor de física. Segundo Karam e Pietrocola (2009), isso consiste em explicitar ao estudante porque determinadas entidades matemáticas aparecem para modelizar determinados fenômenos físicos, ou melhor, quais são os aspectos essenciais presentes nas entidades matemáticas que permitem à Física usá-la na interpretação de determinado fenômeno. O caráter estruturante da Matemática para a Física na visão destes autores deve ser uma das mais relevantes habilidades que deve ser ensinada aos estudantes de física do ensino superior.

Frente a estas visões antagônicas sobre o papel da linguagem matemática no Ensino de Física, o objetivo deste trabalho foi apresentar algumas relações de caráter epistemológico entre a Matemática e a Física, a partir de uma literatura pertinente, constituindo um pano de fundo para responder as seguintes questões: qual a contribuição de uma epistemologia social e histórica como a de Kuhn, em que a linguagem assume papel fundamental, para pensar essas relações e o que se pode derivar para o ensino de física das ideias desse autor sobre essas relações? Ou seja, trata-se de um trabalho teórico, em que buscamos articular visões de diferentes autores sobre a questão, destacando as especificidades que a relação física/matemática assume na concepção epistemológica de Thomas Kuhn. Para análise do trabalho de Kuhn nos baseamos em alguns de seus principais comentadores e leituras de seus

três principais livros publicados no Brasil (Kuhn, 1995; 2006 e 2011). Nessas leituras analíticas da obra desse autor, focamos a noção de exemplar por estar diretamente relacionada com a questão da resolução de problemas matemáticos, com atenção especial à sua concepção de linguagem. Finalizamos discutindo implicações para o ensino de física.

## A Matemática como Linguagem da Física

De fato a física é algo que busca compreender a natureza, o que parece em princípio não ter relação com a matemática. Em uma palestra proferida em 1939, Paul Dirac (1092 - 1984) descreve dois métodos que, segundo ele, utilizam-se para estudar os fenômenos naturais: a experimentação e observação e o raciocínio matemático. Para ele, não há razão lógica para o sucesso do segundo método, uma vez que “os matemáticos jogam um jogo ao qual eles mesmos inventam as regras, enquanto que os físicos jogam um jogo em que as regras são providas pela natureza (DIRAC, 1939<sup>1</sup>)”. Porém, ele conclui sua ideia dizendo que “o tempo tem nos mostrado que as regras cujos matemáticos tem achado interessantes são as mesmas que a natureza tem escolhido (DIRAC, 1939)”, o que sugere que há uma “qualidade” matemática na natureza. Em suas palavras, percebemos que a Matemática é para a Física mais do que uma ferramenta, ela parece ter uma relação direta com a natureza, mesmo que não tenhamos completa clareza dos motivos para tal relação.

Fazendo uma análise histórica podemos perceber também que nem sempre a física esteve pautada na matemática. Analisando o período entre os anos de 1700 a 1900, Gingras (2002) parte da publicação dos *Principia* de Newton, que segundo ele, é um marco conceitual, “uma ruptura radical com a tradição então dominante de uma filosofia mecânica que explica fenômenos, na maioria das vezes qualitativamente, por forças de contato (GINGRAS, 2001. p. 384)”. Para Gingras (2001), Newton, ao traçar um caminho matemático para a filosofia natural, de certa forma iniciou, ou pelo menos acelerou, uma série de consequências sociais, epistemológicas e ontológicas que, ao longo de um século, redefiniu a prática legítima da física, no sentido de que a física agora é matemática em sua formulação. Os três principais efeitos da matematização da física para Gingras são: o efeito social (o uso da matemática teve o efeito de excluir atores de participar de discursos sobre a filosofia natural); o efeito epistemológico (o uso da matemática na dinâmica - distinto do seu uso em cinemática - teve o efeito de transformar a própria ideia do que seria uma explicação); o efeito ontológico (pelo tratamento cada vez mais abstrato de fenômenos da natureza). Até meados do século XVII, os estudos e discussões sobre os fenômenos da natureza não envolviam cálculos matemáticos, com excessão da geometria, que era empregada em algumas áreas. Gingras (2001) ainda mostra a forte resistência contra a crescente matematização do estudo da natureza. Muitos não concebiam a ideia de que a matemática pudesse ser a linguagem necessária para compreender a natureza, como escreve o filósofo, físico e matemático Henri Poincaré. Para ele as leis física provêm da experiência, mas a matemática é “a única língua que ele [o físico] pode falar” (POINCARÉ, 2011, p. 91).

Esta também foi uma preocupação de Faraday, que apesar de ser um excelente experimentalista, não tinha conhecimentos matemáticos. Ao receber o artigo de Maxwell intitulado “Nas Linhas de Força de Faraday”, ele admite ter ficado assustado com o formalismo matemático que suas ideias haviam tomado nas mãos de Maxwell (GINGRAS, 2001) e questiona se os resultados físicos não poderiam ser expressos em linguagem comum (FARADAY, 1852 apud GINGRAS, 2001). Mas Maxwell já havia esboçado uma resposta para esta pergunta, quando um ano antes, em 1856, fala em sua palestra inaugural em

---

<sup>1</sup> Todas as traduções são nossas.

Aberdeen que a “filosofia natural é, e deve ser matemática, isto é, a ciência em que as leis relativas à quantidade são tratadas de acordo com os princípios do raciocínio exato (MAXWELL, 1852, apud GINGRAS, 2001, p. 397)”.

No posfácio de seu livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn (1995) escreve sobre diferenças entre comunidades científicas e objetos de estudos científicos, ao utilizar termos como “óptica física”, “eletricidade” e “calor” no intuito de indicar comunidades científicas porque nomeiam objetos de estudo para a pesquisa deixa claro que as comunidades de cientistas ligados à física só se formaram com a fusão de partes de duas comunidades antes separadas, a da matemática e a da filosofia natural (Kuhn, 1995, p. 225).

A partir dessas ideias, que, obviamente, não se resumem apenas aos autores aqui apontados, pode-se pensar em duas concepções sobre as relações entre física e matemática. Numa delas, a matemática teria apenas função “exterior”, instrumental. Noutra, ela teria uma função cognitiva, ou seja, constitutiva. Nesta segunda concepção, os objetos de conhecimento construídos pela física na compreensão da natureza, passariam necessariamente pelos pensamentos possibilitados por objetos matemáticos, fato que a nosso ver não exclui o papel da linguagem verbal no desenvolvimento dessa compreensão.

A inconsciência das relações entre a matemática e a física acaba contribuindo para a situação frustrante encontrada por muitos estudantes, que, ao passarem por uma disciplina de física, acabam desmotivados por não compreenderem porque precisam estudar tanta matemática, se o que desejam é compreender os fenômenos da natureza. Para Pietrocola (2002), possíveis soluções para o que chama de visão ingênua atribuída à matemática no ensino de física, ou seja, a concepção instrumental, estão relacionadas à necessidade de discussão mais detalhada das relações existentes entre a matemática e a física como parte de seu ensino.

A matemática, em sua relação com a construção do conhecimento físico, está para além de uma simples ferramenta, assumindo um papel constitutivo, ou, como colocam alguns autores, estruturante (Pietrocola, 2002). Nesse sentido, ela assume um papel análogo ao das metáforas na linguagem verbal comum como defendido pela teoria cognitivista da metáfora de Lakoff e Johnson (2002), ou seja, uma função conceitual. Vários autores já têm apontado que a concepção de relação entre física e matemática que os estudantes do ensino superior possuem têm implicações na sua aprendizagem conceitual e na resolução de problemas (Ataide e Greca, 2013). Essa concepção certamente tem relação com as práticas de ensino que os professores priorizam e desenvolvem em suas aulas, tanto no superior quanto no ensino médio (Almeida, 2012).

A obra de Kuhn se torna importante para complementar um embasamento teórico para abordagem do problema dessas concepções no ensino de física, pois coloca a questão da formação do físico como parte de uma teorização epistemológica sobre o desenvolvimento da física. Ao dar uma explicação para a tradição do modo como a matemática aparece na formação do físico fornece indicações para compreender a formação dessa concepção e compor subsídios para superá-la. Eis o que buscamos mostrar neste trabalho.

## **A Linguagem Matemática para a Física segundo Thomas Kuhn**

Os aspectos principais da teoria kuhniana do desenvolvimento científico encontram-se bem apresentados na literatura em diferentes leituras de sua obra (Zylberztajn, 1991; Osterman, 1996). No entanto, pouco notada é a importância que a linguagem assume em sua teorização (Bird, 2002; Read, 2004). Um dos aspectos singulares de seu trabalho é a relevância que o social adquire na sua teorização epistemológica. Não um social “exterior”, mas interior à própria produção da ciência, que, aliás, a caracterizaria enquanto tal: o fato de se dar em comunidades que partilham diversos aspectos em comum, entre eles, modos de pensamento e

valores específicos. É considerando esse aspecto que podemos buscar uma compreensão da relevância, do papel e das especificidades da concepção de linguagem presente na obra de Kuhn. E é justamente nesse sentido que Kuhn incorpora a educação científica à sua teoria da ciência, como componente da formação das comunidades linguísticas<sup>2</sup>, do que é por elas compartilhado.

Na tentativa de compreender como é possível a comunicação entre membros de uma mesma comunidade científica Kuhn pergunta: “que elementos compartilhados respondem pelo caráter relativamente não problemático da comunicação profissional e pela relativa unanimidade do juízo profissional? (KUHN, 2011. p. 315)”. Em outras palavras, Kuhn pergunta o que faz com que uma comunidade científica, sob a ótica de um mesmo paradigma, permita que os profissionais comuniquem-se entre si sem maiores problemas e como eles fazem para julgar de maneira tão unânime sua prática profissional?

Com objetivo de esclarecer o termo *paradigma*, Kuhn chama estes elementos partilhados como constituintes da *matriz disciplinar*, sendo este termo agora utilizado para designar um sentido global de significado de *paradigma*, que corresponde a todos os compromissos compartilhados entre um grupo científico. Desta forma ele classifica em três, os principais elementos constituintes de um paradigma: generalizações simbólicas, modelos e exemplares.

É importante frisar que para Kuhn essas noções de sua teoria têm um componente cognitivo associado a componentes não cognitivos propriamente ditos. No entanto, mesmo os componentes cognitivos, Kuhn não está pensando numa cognição individual partilhada, mas numa cognição que é social e se torna individual pela formação inicial que os cientistas recebem.

Para Kuhn, as *generalizações simbólicas* são um tipo importante de componente do paradigma, sendo estas os símbolos que podem ser manipulados de maneira lógica ou matemática, e que possuem uma dimensão semântica, mas não correspondente à realidade. Estas generalizações podem ser encontradas sob a forma simbólica:  $F = ma$  ou em palavras: “os elementos combinam-se numa proporção constante a seus pesos” ou “a uma ação corresponde uma reação igual e contrária”. Neste sentido, Kuhn afirma que se estas expressões não fossem compartilhadas pela comunidade científica em um mesmo paradigma, os membros do grupo não teriam pontos de apoio para aplicação das “poderosas técnicas de manipulação lógica e matemática no seu trabalho de resolução de enigmas (KUHN, 1995. p. 229)”. No curso de seu raciocínio, Kuhn ainda argumenta que “o poder de uma ciência parece aumentar com o número de generalizações simbólicas que os praticantes têm ao seu dispor (KUHN, 1995. p. 229)”. Kuhn sugere que além do poder de resolução de enigmas há um significado cognitivo às generalizações simbólicas. Além de apresentar uma lei da natureza para a comunidade científica “as generalizações simbólicas funcionam como parte das definições de alguns símbolos que elas empregam (KUHN, 1995, p. 230)”.

Mas antes de o cientista em treinamento poder trilhar seu caminho por suas próprias pernas, ele deve aprender a escrever a “forma particular de  $f = ma$  que se aplica, digamos, às cordas vibrantes, ou a forma particular da equação de Schroedinger que se aplica, digamos, ao átomo de hélio num campo magnético (KUHN, 2011. p. 318)”. Kuhn chama essas formas específicas de *formas interpretadas* da generalização simbólica. Mas ele deixa claro que independente do procedimento que o cientista emprega ele não pode ser “puramente sintático” (KUHN, 2011. p. 319), ou seja, possui também uma dimensão semântica.

A noção de interpretação de Kuhn é muito importante porque, compreendida no contexto de sua obra, torna-se muito diferenciada da ideia corrente de interpretação, aquela compreendida

---

<sup>2</sup> Kuhn (2006, p. 95).

como processo subjetivo e consciente, cuja origem está no sujeito livre e autônomo. No entanto, quando Kuhn chama essas equações *de interpretadas*, o fato de estarem associadas a *exemplares*, implica que a interpretação, ou seja, a associação feita pelos cientistas entre as formas simbólicas e a natureza, não é de cunho individual ou subjetivo e nem totalmente consciente. Ao utilizar-se de exemplares, para os quais terá que utilizar uma generalização interpretada, o futuro físico, está incorporando interpretações da natureza já investidas em *práticas de uso de símbolos*, e, portanto, de linguagem em funcionamento, da linguagem em uso, ainda que se tratasse de um uso não verbal<sup>3</sup> e suas significações estão sendo aprendidas indiretamente. A própria consciência do que está acontecendo no processo de ensino pode ser questionada, já que “as soluções de problemas desse gênero são vistas como meras aplicações da teoria já aprendida” (KUHN, 2006, p. 209). No entanto, para este epistemólogo, “resolver problemas é aprender a linguagem de uma teoria e adquirir o conhecimento da natureza embutido nessa linguagem” (idem, ibidem). Na visão kuhniana, os exemplares possuem o papel de ensinar aspectos que levam o estudante a adquirir um paradigma. Mas esse ensino é um ensino tácito, ou seja, não explicitado, que funcionaria por mecanismos de gestalt. O estudante não aprende por repetição mecânica, mas por exposição a uma série paradigmática. O estudante está aprendendo, tacitamente, a ver o mundo, a realidade empírica, sob certa perspectiva. É esta visão que precisa ser compartilhada para a existência de uma comunidade científica.

O aspecto cognitivo atribuído às generalizações simbólicas mostra que a linguagem matemática tem a função de estruturar o pensamento físico quando associada a exemplares, que também possui uma dimensão cognitiva embutida, pois são eles que estabelecem a correspondência entre linguagem e realidade, e não um a um, mas pela percepção gestaltica das similaridades. Se tentarmos definir de maneira precisa alguns símbolos de antemão, ou seja, antes de aplicarmos as generalizações simbólicas a diversos e diferentes casos, perceberemos que este é um trabalho bastante árduo. Para Kuhn, é o uso de uma relação como  $F=mdv/dt=ma$ , para situações diferentes, adquirindo formas específicas diferentes que estabelecem a relação interpretativa, embora tácita, entre linguagem e mundo.

É por este caminho que Kuhn busca explicar a importância dos manuais científicos<sup>4</sup> na manutenção do paradigma ao formar novos cientistas. Kuhn, mostra com isso, o quanto é importante, na ciência, o controle sobre a interpretação da natureza (futuros cientistas não são expostos a problemas que ainda não foram resolvidos como exercício). Ele admite perceber que definições de termos como ‘força’ e ‘massa’, ‘mistura’ e ‘composto’ raramente eram ensinados, pois geravam controvérsias entre os cientistas. Porém, “os cientistas aprendiam ao menos modos padronizados de resolver um leque de problemas em que apareciam termos como ‘força’ e ‘composto’ (KUHN, 2011. p. 19)”. Kuhn aponta com isso, uma das formas de controle sobre os sentidos, visando sua manutenção, reprodução e formação de uma comunidade. Apropriando-se destes exemplos padrões, os cientistas não precisariam estar de acordo com relação à definição de cada termo, mas poderiam desenvolver suas pesquisas baseando-se neles. Tais exemplos estão relacionados com métodos e com problemas de lápis e papel, em que a linguagem matemática, apesar de ser parte fundamental, está inserida num processo tácito de interpretação, não explicitamente trabalhado no ensino, não verbalizado. A teoria kuhniana permite levantar questões para futuras pesquisas: não seria o caráter tácito, não explícito, desse processo a causa para as representações epistemologicamente equivocadas (visão instrumental) que os estudantes de física adquirem na sua formação e

---

<sup>3</sup> Trata-se da concepção social de linguagem do segundo Wittgenstein, para quem o sentido da linguagem não estaria nas palavras ou frases, mas no seu uso numa forma de vida.

<sup>4</sup> Manuais científicos são os materiais em que se encontram estes modos padronizados, que são utilizados para se ensinar e aprender os problemas que a profissão acabou aceitando como paradigmas.

acabam levando para sua prática docente?

A ideia de que os conceitos estão intrinsecamente embutidos nas expressões simbólicas e nas práticas de resolução de exemplares, e que muitas vezes elas mesmas servem como definições para os conceitos é bastante importante. Isto implica que a matematização está associada à recorrência e tradição de uma prática, e que muitas vezes substitui aspectos do pensamento e as discussões explícitas sobre o aspecto conceitual dos fenômenos e o trabalho de interpretação da natureza que ficou implícito no exemplar.

O trabalho de Kuhn aponta para a ideia de que, mais do que a simples aquisição de uma ferramenta, a matematização da física implicou na mudança de concepção do que seria uma explicação científica e o que seria um critério de validade em uma teoria científica no estudo da natureza. Seu papel não apenas é constitutivo do pensamento, mas envolve também valores. Além disso, a matemática está envolvida na constituição da comunidade paradigmática, o que, na visão kuhniana envolve necessariamente aspectos tácitos, não explícitos, o que, no ensino resulta em práticas de interpretação não totalmente conscientes enquanto tais pelos seus atores. Práticas de ensino social e historicamente construídas e estabilizadas na formação do cientista e mesmo do licenciando, considerando que tais práticas em geral não mudam para estes nas disciplinas de conteúdos físicos.

## Algumas Conclusões

Machado (2009) aponta que a dificuldade apresentada por “licenciados em contemplar as operações de idealização e abstração de forma explícita em suas propostas [de modelização] pode ser compreendida pela própria formação específica destes licenciados, já que, tradicionalmente”, eles são expostos a situações previamente modelizadas, que poderíamos chamar de exemplares, na linguagem kuhniana. Custódio (2007) acrescenta que “uma mudança de atitude requer a apresentação de situações físicas não modelizadas, em forma bruta, não totalmente idealizadas e abstraídas (p. 220)”. As práticas de modelização no ensino de física certamente podem ser apontadas como alternativas importantes na formação dos licenciandos, no que diz respeito ao estabelecimento de outra experiência envolvendo a linguagem matemática na produção da compreensão física sobre a realidade.

No entanto, os exemplares possuem um papel positivo na formação dos físicos, sejam bacharéis, sejam licenciados, e, portanto, não se trata de substituir essa prática, mas aprimorá-la. Se considerarmos que os estudantes no uso de exemplares estão se utilizando de interpretações já interpretadas, sobre as quais não têm consciência ou, em outras palavras, tomando contato apenas com modelizações prontas, além da alternativa de construir modelizações, outra possibilidade seria enxertar disciplinas de física no ensino superior com discussões inseridas na própria prática de resolução de problemas que revelassem aos estudantes os aspectos implícitos, tácitos, nos modelos que estão utilizando como exemplares, bem como dos processos também implícitos que estão associados ao uso da matemática envolvido no próprio processo de dar sentido ao mundo.

Apontam-se assim possibilidades para pesquisas futuras analisarem se tais discussões durante a resolução de problemas, exemplares ou não, e exposições com linguagem matemática que *explicitem* o papel da matemática na produção da interpretação física podem modificar a concepção instrumental geralmente atribuída à matemática.

Dentro dessas discussões, que poderiam, em parte, estar associadas aos exemplares, um caminho seria apontar mais claramente a diferença entre generalizações simbólicas e equações interpretadas, evidenciando sua utilização como paradigma, ou seja, sua aplicabilidade em várias situações, estabelecendo comparações. Outro caminho seria

explicitar o “recorte” que a forma e o raciocínio matemático implicam sobre a realidade, na construção de um modelo, ou seja, seu papel estruturante (Pietrocola, 2002).

## Referências

ALMEIDA, M. J. P. M. O imaginário de estudantes de licenciatura sobre exercícios em aulas de física. **Nuances: estudos sobre educação**. Vol. 22, n. 23, 2012, p. 58-72.

ATAÍDE, R. P. e GRECA, I. M. Estudo exploratório sobre as relações entre conhecimento conceitual, domínio de técnicas matemáticas e resolução de problemas em estudantes de licenciatura em Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, vol. 12, n. 1, 2013, p. 209-233.

BIRD, A. Kuhn's wrong turning. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 33, 2002, p. 443–463.

CHALMERS, A. S. **O que é ciência afinal?**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CUSTÓDIO, José Francisco. **Explicando explicações na educação científica: domínio cognitivo, status afetivo e sentimento de entendimento**. Tese de Doutorado. Florianópolis: PPGECT/UFSC, 2007

DIRAC, P. A. M. The Relation Between Mathematics in Physics. Lecture delivered on presentation of the JAMES SCOTT prize, February 6, 1939. Published in: **Proceedings of the Royal Society (Edinburgh)**, Vol. 59, 1938-39, Part II p. 122-129. Disponível em <<http://www.damtp.cam.ac.uk/events/strings02/dirac/speech.html>>. Acesso: fev. 2013.

GINGRAS, Y. What did mathematics do to physics? **History of Science**, v. 39, 2001, p. 383-416.

KARAM, R. A. S.; PIETROCOLA, M. **Habilidades Técnicas Versus Habilidades Estruturantes: Resolução de Problemas e o Papel da Matemática como Estruturante do Pensamento Físico**. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, 2009, p.181-205.

KARAM, R. A. S. M. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas**. Tese (Educação). São Paulo: Faculdade de Educação, USP, 2012.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1995.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Editora da Unesp, 2006.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**. São Paulo: Unesp, 2011.

LAKOFF, G. e JOHNSON, M. **Metáforas da vida cotidiana**. São Paulo: Mercado das Letras, 2002.

OSTERMAN, F. **A Epistemologia de Kuhn**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 13, n. 3. 1996.

PIETROCOLA, M. A Matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 19, n. 1, 2002, p. 93-114.

POINCARÉ, H. **O Valor da Ciência**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

READ, R. Kuhn: a Wittgenstein of the sciences?. **UEA Papers in Philosophy**, 15, 2004.

ZYLBERSZTAJN, A. Revoluções científicas e ciência normal na sala de aula. In: Moreira, M. A. e Axt, R. **Tópicos em Ensino de Ciências**. Porto Alegre: Sagra, 1991, p. 47-61.