

A FILOSOFIA DA CIÊNCIA DE IMRE LAKATOS: A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA.

Fernando Lang da Silveira
Instituto de Física, UFRGS
Caixa Postal 15051, Campus do Vale
91501-970 Porto Alegre, RS
Endereço eletrônico: LANG@IF.UFRGS.BR

1. - INTRODUÇÃO.

A epistemologia de Imre Lakatos (1922-1974) constitui-se em uma das importantes reflexões na filosofia na ciência no século XX, interrompida bruscamente com a sua morte prematura em 1974. Quando tinha quase quarenta anos de idade Lakatos, saindo da Hungria por motivos políticos, entrou em contato com a filosofia de Karl Popper:

"Minha dívida pessoal com ele é imensa: mudou minha vida mais que nenhuma outra pessoa (...). Sua filosofia me ajudou a romper, de forma definitiva, com a perspectiva hegeliana que eu havia retido durante quase vinte anos, e, o que é ainda mais importante, me forneceu um conjunto muito fértil de problemas, um autêntico programa de pesquisa" (Lakatos, 1989; p.180).

Mesmo considerando que *"as idéias de Popper constituem o desenvolvimento filosófico mais importante do século XX"* (Lakatos, 1989; p. 180), Lakatos tomou a sério as críticas que elas receberam de Kuhn e Feyerabend. Ele pretende que a sua **"metodologia dos programas de pesquisa científica"** (MPPC) seja uma explicação lógica para o fazer científico, interpretando *"as revoluções científicas como casos de progresso racional e não de conversões religiosas"* (Lakatos, 1989; p.19) como parecem pretender os relativistas, os sociologistas. Desta forma, Lakatos está ao lado de Popper na luta contra as concepções que querem que a mudança científica *"não está e não pode estar governada por regras racionais e que cai inteiramente no terreno da psicologia (social) da pesquisa"* (Lakatos, 1989; p.19). O crescimento do conhecimento se dá *"essencialmente no mundo das idéias, no 'Mundo 3' de Platão e Popper, no mundo do conhecimento articulado que é independente dos sujeitos que conhecem"* (Lakatos, 1989; p.122).

"A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega" (Lakatos, 1983; p.107). Com esta paráfrase de Kant, Lakatos estabelece a posição de que a história da ciência pode ser utilizada para avaliar propostas metodológicas rivais; adicionalmente, a filosofia da ciência oferece ao historiador epistemologias, metodologias que lhe permitem reconstruir racionalmente a "história interna", complementando-a mediante uma "história externa" (sóciopsicológica).

"A história da ciência sempre é mais rica que sua reconstrução racional. Entretanto a reconstrução racional ou história interna é o principal; a história externa é secundária posto que os problemas mais importantes da história externa são definidos pela história interna" (Lakatos, 1989; p.154). (grifo do autor)

Pretende Lakatos que a MPPC seja a metodologia que melhor cumpre os objetivos acima propostos. Passaremos a seguir a uma exposição da mesma.

2 - A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA CIENTÍFICA.

A avaliação objetiva do crescimento do conhecimento científico deve ser realizada em termos de mudanças, progressivas ou regressivas, para séries de teorias científicas dentro de um "**programa de pesquisa**". *"A própria ciência como um todo pode ser considerada um imenso programa de pesquisa com a suprema regra heurística de Popper: 'arquitetar conjecturas que tenham maior conteúdo empírico do que as suas predecessoras' "* (Lakatos, 1979; p.162). Assim, a história da ciência deve ser vista como a história dos programas de pesquisa e não das teorias isoladas.

Um programa de pesquisa pode ser caracterizado por seu "**núcleo firme**": teoria ou conjunção de hipóteses contra a qual não é aplicada a "retransmissão da falsidade"¹. *"O núcleo firme é 'convencionalmente' aceito (e, portanto, 'irrefutável' por decisão provisória)"* (Lakatos, 1983; p116). O programa pesquisa de Copérnico continha em seu "**núcleo firme**" a *"proposição de que as estrelas constituem o sistema de referência fundamental para a física"* (Lakatos, 1989, p. 234). O programa de pesquisa de Newton continha as três leis do movimento e a Lei da Gravitação Universal. No de Piaget encontrava-se a "hipótese de equilíbrio"(Gilbert e Swift, 1985). No de Pasteur, a hipótese de que *"a fermentação é um fenômeno correlacionado com a vida"* (Asua, 1989; p. 76). Os cientistas que trabalharam ou trabalham nesses programas não descartariam tais hipóteses, mesmo quando encontrassem fatos problemáticos ("refutações" ou anomalias). Por exemplo, quando foi observado pelos newtonianos que a órbita prevista para Urano era discordante com as observações astronômicas, eles não consideraram que a Mecânica Newtoniana estivesse refutada; Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido - o planeta Netuno - , e portanto, não levado em consideração no cálculo da órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta.

O que Lakatos afirma é que a "**heurística negativa**" do programa proíbe que, frente a qualquer caso problemático, "refutação" ou anomalia, seja declarado falso o "**núcleo firme**"; a falsidade incidirá sobre alguma(s) hipótese (s) auxiliar(es) do "**cinturão protetor**".

O "**cinturão protetor**" é constituído por hipóteses e teorias auxiliares -*"sobre cuja base se estabelecem as condições iniciais"* (Lakatos, 1989; p.230) - e também pelos métodos observacionais. Ele protege o "**núcleo firme**", sendo constantemente modificado, expandido, complicado. No programa de Newton o "**cinturão protetor**" continha modelos do sistema solar, a forma e a distribuição de massa dos planetas e satélites, a ótica geométrica, a teoria sobre a refração da luz na atmosfera, etc. As anomalias levaram a modificações no "**cinturão protetor**", transformando-as em corroborações, algumas vezes espectaculares como no caso da previsão de Netuno.

Quando os cientistas se deparam com algum fato incompatível com as previsões teóricas -uma "refutação" ou anomalia - a "**heurística positiva**" orienta, parcialmente, as modificações que devem ser feitas no "**cinturão protetor**" para as superar.

"A heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as 'variantes refutáveis' do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção 'refutável' " (Lakatos, 1979; p. 165).

As anomalias no programa de Piaget puderam ser "*digeridas*" por modificar a extensão dos estágios, subdividi-los e inclusive por propor a existência de um quinto estágio posterior ao "estágio das operações formais (Gilbert e Swift, 1985). No de Copérnico e no de Ptolomeu, a introdução de novos epiciclos era utilizada a fim de "*explicar*" qualquer dado astronômico novo e discordante com as previsões.

¹ - Quando alguma consequência lógica de um conjunto de hipóteses é dada como falsa, a lógica dedutiva permite afiançar a falsidade de alguma(s) da(s) hipótese(s); essa é a "retransmissão da falsidade" (para maiores detalhes consultar Silveira, 1994).

Como os programas de pesquisa têm desde o início um "oceano de anomalias", a "**heurística positiva**" impede que os cientistas se confundam, indicando caminhos que poderão, lentamente, explicá-las e transformá-las em corroborações. O desenvolvimento do programa inclui uma sucessão de modelos crescentes em complexidade, procurando cada vez mais se aproximar da realidade.

"Um modelo é um conjunto de condições iniciais (possivelmente junto com algumas teorias observacionais) que se sabe que deve ser substituído durante o ulterior desenvolvimento do programa, e que inclusive se sabe como deve ser substituído (em maior ou menor medida)" (Lakatos, 1989; p.70).

O programa de Newton começou com um modelo para o sistema planetário onde cada planeta era puntual e interagia gravitacionalmente apenas com outra outra massa puntual fixa (o Sol). O próprio Newton, em seguida, o modificou, pois a Terceira Lei (Princípio da Ação e Reação) impedia que o Sol fosse fixo; o Sol e o planeta deviam orbitar em torno do centro de massa do sistema Sol-planeta. Neste caso a modificação não era decorrente de nenhuma anomalia mas de uma incompatibilidade teórica do primeiro modelo com as Leis do Movimento, com o "**núcleo firme**". Em seguida, o sofisticou mais ainda, tratando o Sol e o planeta como sendo esferas ao invés de massas puntuais; esta sofisticação, que também teve origem teórica, apresentou sérias dificuldades matemáticas, retardando a publicação dos "*Principia*" por cerca de dez anos. O próximo passo foi considerar as interações gravitacionais entre os planetas e satélites, chegando assim a uma teoria de perturbações. A partir daí Newton começou a encarar com mais seriedade os fatos, com o objetivo de cotejar suas predições sobre as órbitas; muitos deles eram bem explicados pelo modelo mas outros não o eram. Passou então a trabalhar com planetas e satélites não esféricos. Desta forma, o programa newtoniano foi avançando, transformando diversas anomalias em corroborações.

A avaliação dos programas de pesquisa envolve regras que os caracterizam como "**progressivos**" ou "**regressivos**". Um programa é "**teoricamente progressivo**" quando cada modificação no "**cinturão protetor**" leva a novas e inesperadas predições ou retrodições². Ele é "**empiricamente progressivo**" se pelo menos algumas das novas predições são corroboradas.

Sempre é possível, através de convenientes ajustes no "**cinturão protetor**", explicar qualquer anomalia. Por exemplo, sempre era possível no programa de Ptolomeu compatibilizar os dados astronômicos sobre os planetas pela introdução de um novo epiciclo. Estes ajustes são "**ad-hoc**" e o programa está "**regredindo**" ou "**degenerando**" quando eles apenas explicam os fatos que os motivaram, não prevendo nenhum fato novo, ou, se prevendo fatos novos, nenhum é corroborado.

Um programa está "**regredindo**" ou "**degenerando**" se "*seu crescimento teórico se atrasa com relação ao seu crescimento empírico; isto é, se somente oferece explicações post-hoc de descobertas casuais ou de fatos antecipados e descobertos por um programa rival*" (Lakatos, 1983; p. 117). O programa marxista é um exemplo de um programa regressivo pois, predisse alguns fatos novos que nunca se cumpriram: o empobrecimento absoluto das classes trabalhadoras; a ocorrência da revolução socialista em uma sociedade industrial desenvolvida; a inexistência de conflitos de interesses entre os países socialistas; a ausência de revoluções em sociedades socialistas. De maneira "**ad-hoc**" os marxistas explicaram os fracassos:

"Explicaram a elevação dos níveis de renda da classe trabalhadora criando a teoria do imperialismo; inclusive explicaram as razões para que a primeira revolução socialista tenha ocorrido em um país industrialmente atrasado como a Rússia. "Explicaram" os acontecimentos de Berlim em 1953, Budapeste em 1956 e Praga em 1968. "Explicaram" o conflito russo-chinês" (Lakatos, 1989; p. 15).

Para Kuhn "*a revolução científica é irracional, uma questão da psicologia das multidões*" (Lakatos, 1979; p. 221). Segundo Lakatos, constitui-se em um processo racional de superação de um programa por outro. A superação ocorre quando um programa "*tem em relação ao seu rival um excedente de conteúdo de verdade, no*

² - Uma retrodição é a explicação de um fato já conhecido. Uma predição é a antecipação de um fato ainda não observado.

sentido de que prediz progressivamente tudo o que o seu rival corretamente prediz, e algumas coisas adicionais” (Lakatos, 1989; p. 231).

“Como se sucedem as revoluções científicas ? Se houver dois programas de pesquisa rivais e um deles progride, enquanto o outro degenera, os cientistas tendem a aderir ao programa progressivo. Esta é a explicação das revoluções científicas” (Lakatos, 1989, p.15).

O processo de superação de um programa por outro não é rápido; durante o mesmo é racional trabalhar em qualquer dos programas ou até em ambos. Esta possibilidade pode ser relevante quando um programa está formulado de maneira vaga e imprecisa e os seus adversários desejam que adquira uma forma mais rigorosa para então lhe expor as fraquezas, criticá-lo. “Newton elaborou a teoria cartesiana dos vórtices para demonstrar que era inconsistente com as leis de Kepler” (Lakatos, 1989; p. 146). O trabalho simultâneo em dois programas rivais mostra que a tese da incomensurabilidade de Kuhn (1987) e Feyerabend (1977) não é sustentável.

No final do século XIX e início do século XX o programa newtoniano entrou em um processo de degeneração; modificações “ad-hoc” no “cinturão protetor” eram sempre capazes de explicar as anomalias. O programa relativístico de Einstein se desenvolveu progressivamente, prevendo fatos novos, como o desvio da luz em um campo gravitacional (corroborado durante o eclipse total do Sol em 1919) e explicando (retrodizendo) o perihélio anômalo de Mercúrio. Esta anomalia já era conhecida desde os meados do século XIX mas não desempenhou qualquer papel na formulação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral; Einstein não tinha a intenção de resolvê-la quando propôs sua teoria (sabe-se que a motivação importante para a Relatividade Geral era a da equivalência das massas inerciais e gravitacionais, que para a Mecânica de Newton constituía-se num acidente, em uma mera constatação empírica). Schwarzschild foi quem obteve a solução do perihélio anômalo de Mercúrio partindo da Teoria da Relatividade Geral. “Se um programa de pesquisa explica de forma progressiva mais fatos que um programa rival, ‘supera’ a este último, que pode ser eliminado (ou se se prefere, arquivado)” (Lakatos, 1983; p. 117).

Lakatos insiste em que do ponto de vista lógico não existem “experimentos cruciais”, isto é, experimentos ou observações que possam sozinhos e instantaneamente acabar com um programa de pesquisa ou decidir entre programas rivais. Tal se deve à possibilidade de “absorver” qualquer fato novo e inicialmente problemático, através de convenientes modificações no “cinturão protetor” do programa sob pressão crítica. A superação de um programa por outro é um processo histórico; depois que ela aconteceu, pode ocorrer que um antigo experimento seja promovido ao status de “experimento crucial”. Depois da superação da teoria de Newton pelo programa relativístico, os experimentos de Michelson-Morley sobre a velocidade da luz e mesmo o perihélio anômalo de Mercúrio passaram a ser citados como “experimentos cruciais”.

A MPPC coloca de maneira clara a ocorrência histórica e a necessidade do pluralismo teórico; nesse aspecto as idéias de Lakatos concordam com as de Popper e Feyerabend. **O progresso do conhecimento depende da existência de programas concorrentes.** O abandono de um programa somente poderá acontecer quando existir uma alternativa melhor (um outro programa melhor); a concepção de que fatos em conflito com uma teoria são suficientes para que ela seja rechaçada (refutacionismo ingênuo) é substituída por outra: **o embate se dá entre, no mínimo, dois programas de pesquisa e os fatos; a superação de um programa por outro não acontece instantaneamente, constituindo-se em um processo temporalmente extenso.** O pluralismo teórico, além de ser reconhecido historicamente pela MPPC, é condição necessária para o desenvolvimento do conhecimento.

3 - AS EPISTEMOLOGIAS DE POPPER E LAKATOS E O ENSINO DE CIÊNCIAS.

Diversos autores têm, reiteradamente, insistido que a educação científica, em especial o ensino das ciências naturais (Química, Física, Biologia, etc.) deve procurar na filosofia da ciência uma fundamentação sólida e atualizada (Cawthron e Rowell, 1978; Hodson, 1985; Nussbaum, 1989; Martin, Brower e Kass, 1990; Gil Perez e Carrascosa, 1985; Cleminson, 1990; Burbules e Linn, 1991; Segura, 1991).

Sempre há uma concepção epistemológica subjacente a qualquer situação de ensino (Hodson, 1985), nem sempre explicitada e muitas vezes assumida tácita e acriticamente. Uma análise dos textos de ciências na escola é capaz de revelar que ainda é dominante o empirismo-indutivismo (Cawthron e Rowell, 1978; Hodson, 1985; Silveira, 1989 e 1992). As teses mais importantes desta epistemologia são as seguintes:

1 - **A observação é a fonte e a função do conhecimento.** Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções); antes de podermos fazer qualquer afirmação sobre o mundo, devemos ter tido experiências sensoriais.

2 - **O conhecimento científico é obtido dos fenômenos** (aquilo que se observa), aplicando-se as regras do **método científico** (procedimento algorítmico que aplicado às observações produz as generalizações, as leis, as teorias científicas). O conhecimento constitui-se em uma **síntese indutiva** do observado, do experimentado.

3 - **A especulação, a imaginação, a intuição, a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na obtenção do conhecimento.** O verdadeiro conhecimento é livre de **pré-conceitos**, de **pressupostos**.

4 - **As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas mas descobertas em conjuntos de dados empíricos** (relatos de observações, tabelas laboratoriais, etc.). A teoria tem como função a organização econômica e parcimoniosa dos dados, do observado e a previsão de novas observações. Qualquer tentativa de ultrapassar o observado é destituída de sentido.

As citações abaixo exemplificam a adoção da epistemologia empirista-indutivista em livros de texto comumente utilizados:

"Tudo o que sabemos a respeito do mundo físico e sobre os princípios que governam seu comportamento foi aprendido de observações de fenômenos da natureza" (Sears, 1983, p.3).

"As leis da Física são generalizações de observações e de resultados experimentais" (Tipler, 1978, p.3).

"A Física, como ciência natural, parte de dados experimentais (...) através de um processo indutivo, formular leis fenomenológicas, ou seja, obtidas diretamente dos fenômenos observados" (Nussenzveig, 1981, p.5).

As teses empiristas-indutivistas podem ser encontradas em roteiros de laboratório (conjunto de instruções que tem o objetivo de guiar os alunos em atividades experimentais, de laboratório). São usuais propostas que seguem o seguinte caminho: **a)** instruções no sentido de investigar a variação concomitante de duas variáveis, manipulando experimentalmente uma delas e observando como a outra se comporta; **b)** coletar medidas de ambas as variáveis para diversos valores da variável manipulada, organizando uma tabela de dupla entrada; **c)** construção de um diagrama de dispersão com esses valores; **d) descoberta** da função que descreve os resultados experimentais (a lei que rege o comportamento observado). O último item traz, implicitamente, a idéia de que um conjunto de resultados experimentais impõe uma única função capaz de descrever a relação entre as duas variáveis; desta forma, caberia ao experimentador apenas **descobrir** a lei que está implícita nos dados, ou seja, induzir a lei a partir do fenômeno³.

A chamada **aprendizagem por descoberta**, que acentua o valor motivacional da experimentação, é um importante exemplo do empirismo-indutivismo aplicado ao ensino das ciências. Esta proposta tem, como suposto essencial, que a observação e a experimentação bem conduzidas proporcionam a base segura da qual o conhecimento é obtido. A **aprendizagem por descoberta** tem a pretensão de tornar o aluno mais ativo; entretanto, esta atividade é entendida como dispender mais tempo no laboratório, fazendo observações. A

³ - A suposição de que um conjunto de pontos em um plano é compatível com uma única curva é falsa. Existem **infinitas** curvas que descrevem os resultados experimentais com o grau de aproximação que se desejar. Para maiores detalhes consultar Hempel (1981), Chomski e Fodor (1987), Pinet e Silveira (1992).

formação de conceitos é considerada uma decorrência de observações bem conduzidas, subestimando desta forma as dificuldades da aprendizagem (Cleminson, 1990).

O ensino, quando orientado pela epistemologia empirista-indutivista, desvaloriza a criatividade do trabalho científico e leva os alunos a tomarem o conhecimento científico como um corpo de verdades inquestionáveis, introduzindo rigidez e intolerância em relação a opiniões diferentes (Gil Perez, 1986).

Da epistemologia racionalista crítica de Popper e Lakatos podemos derivar alguns princípios que servirão de guia para o ensino de ciências. São eles:

1 - **A observação e a experimentação, por si sós, não produzem conhecimentos.** O "método indutivo" (conjunto de regras e procedimentos que aplicados às observações permite obter as leis, princípios, generalizações, teorias) é um mito.

2 - **Toda a observação e/ou experimentação estão impregnadas de pressupostos, teorias.** Observar é dirigir a atenção para algum aspecto da realidade e, portanto, a observação é antecedida por algum pressuposto ou teoria que lhe orienta. Os dados sensoriais somente adquirem significado quando interpretados. A observação e a interpretação estão indissolivelmente ligadas.

3 - **O conhecimento prévio determina como vemos a realidade, influenciando a observação.** Não existe e, do ponto de vista lógico, é impossível haver uma observação neutra, livre de pressupostos, livre de teoria. Sem pressupostos nem saberíamos o quê observar, para onde dirigir a atenção.

4 - **O conhecimento científico é uma construção humana que intenciona descrever, compreender e agir sobre a realidade.** Não podendo ser dado como indubitavelmente verdadeiro, **é provisório e sujeito a reformulações.**

5 - **A obtenção de um novo conhecimento, sendo um ato de construção que envolve a imaginação, a intuição e a razão, está sujeito a todo tipo de influências.** A inspiração para produzir um novo conhecimento pode vir inclusive da metafísica. Todas as fontes e todas as sugestões são bem-vindas.

6 - **A aquisição de um novo conhecimento se dá a partir dos conhecimentos anteriores, sendo usualmente difícil e problemática.** Assim como os cientistas, relutamos em abandonar o conhecimento, as teorias já existentes. **O abandono de uma teoria implica em reconhecer outra como melhor.**

O reconhecimento de que os alunos são ativos construtores de idéias é hoje quase que um consenso. O racionalismo crítico de Popper e Lakatos também suporta tal posicionamento. Popper utilizou a metáfora do "holofote mental" em sua teoria do conhecimento (vide Silveira, 1994), enfatizando o papel inventivo, construtivo do ato de conhecer.

Desde o final dos anos 70, tem sido realizada uma quantidade enorme de pesquisa sobre as chamadas concepções alternativas (CAs). As CAs são concepções que os alunos possuem "com significados contextualmente errôneos, não compartilhados pela comunidade científica" (Silveira, Moreira e Axt, 1986, p. 1129) e, portanto, em desacordo com as teorias científicas atuais.

A existência das CAs mostra que os alunos são construtores de idéias que objetivam dar conta do mundo, da realidade. Uma característica reiteradamente encontrada nas CAs é a resistência à mudança: muitos alunos passam pela escola sem as modificar. Por exemplo, Silveira (1992) e Silveira, Moreira e Axt (1986, 1989) constataram que a maioria dos alunos na universidade, mantinham suas CAs sobre "força e movimento" e sobre "corrente elétrica" mesmo depois de terem cursado as disciplinas de Física Geral.

A reiterada incapacidade do ensino tradicional em promover a mudança das CAs para as concepções científicas deve-se, supostamente, a que as primeiras não são tomadas como um conhecimento prévio, como um "holofote mental" a ser substituído. Propusemos e testamos uma estratégia de ensino que visa a superação das

Cas, fundamentada nas epistemologias de Popper e Lakatos (Silveira, 1992); esta estratégia consta das seguintes principais etapas:

1 - **Exposição clara e precisa das CAs, notando que elas possuem um conteúdo de verdade** (explicam e predizem com sucesso alguns fatos).

2 - **Crítica das CAs**. Elas fracassam em explicar e predizer alguns fatos, e, se for o caso, também apresentam inconsistências lógicas.

3 - **Apresentação da concepção ou teoria científica, enfatizando os antagonismos conceituais com as CAs**.

4 - **Demonstração das vantagens da teoria científica sobre as CAs: explica tudo aquilo que com sucesso as CAs explicavam; explica os fatos problemáticos para as CAs; possui um excedente de conteúdo em relação às CAs, prevendo fatos novos**. A substituição das CAs somente ocorrerá se os alunos reconhecerem as concepções científicas como melhores, isto é, não pode se dar instantaneamente, decorrendo da competição entre ambas.

A estratégia foi testada com 305 alunos universitários, visando a mudança das CAs sobre "força e movimento" e sobre "corrente elétrica" (Silveira, 1992). Os resultados corroboraram a pretendida eficiência da estratégia na promoção da mudança conceitual.

REFERÊNCIAS.

- 01 - ASUA, M. J. C. El problema del origen de la vida. *Manuscrito*, Campinas, 12(1): 71-89, 1989.
- 02 - BURBULES, N. C. e LINN, M. C. Science education and philosophy of science: congruence or contradiction. *International Journal of Science Education*, London, 13(3): 227-241, 1991.
- 03 - CAWTHON, E. R. e ROWELL, J. A. Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, New York, 5: 31-59, 1979.
- 04 - CHOMSKI, N. e FODOR, J. Exposição do paradoxo. In: PALMARINI, M. P. *Teorias da linguagem teorias da aprendizagem*. Lisboa: Ed. Setenta, 1987.
- 05 - CLEMINSON, A. Establishing a epistemological base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, 27(5): 429-445, 1990.
- 06 - FEYERABEND, P. *Contra o método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.
- 07 - GIL PEREZ, D. La metodología y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 4(2): 111-121, 1986.
- 08 - GIL PEREZ e CARASCOSA, J. Science learning as conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, London, 7(3): 231-236, 1985.
- 09 - GILBERT, J. K. e SWIFT, D. J. Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conception research program. *Science Education*, New York, 69(5): 681-696, 1985.
- 10 - HEMPEL, C. *Filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: Zahar, 1981.
- 11 - HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, New York, 12: 25-57, 1985.

- 12 - **KUHN, T. S.** *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1987.
- 13 - **LAKATOS, I.** O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: **LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A.** (org.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.
- 14 - _____. History of science and its rational reconstructions. In: **HACKING, I.** (org.) *Scientific revolutions*. Hong-Kong: Oxford University, 1983.
- 15 - _____. *Matemática, ciencia y epistemología*. Madrid: Alianza, 1987.
- 16 - _____. *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1989.
- 17 - **MARTIN, B., BROWER, W. e KASS, H.** Authentic science: a diversity of meanings. *Science Education*, New York, 74(5): 541-554, 1990.
- 18 - **NUSSBAUM, J.** Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, London, 11: 530-540, 1989.
- 19 - **NUSSENZVEIG, M.** *Curso de física básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- 20 - **PINENT, C. E. S. e SILVEIRA, F. L.** Mínimos quadrados: pode a reta, em algum caso, ser melhor função de ajustamento do que a parábola? *Scientia*, São Leopoldo, 3(17): 17-28, 1992.
- 21 - **SEARS, F.** *Física I*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983.
- 22 - **SEGURA, D.** Una premissa para el cambio conceptual: el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 9(2): 175-180, 1991.
- 23 - **SILVEIRA, F. L.** A filosofia da ciência de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência. *Caderno Catarinense de ensino de Física*, Florianópolis, 6(2): 148-162, 1989.
- 24 - _____. *Uma epistemologia racional-realista e o ensino da Física*. Tese de doutorado. Porto Alegre: PUCRS, 1992.
- 25 - _____. Karl Popper e o racionalismo crítico. *Scientia*, São Leopoldo, 5(2): 9-28, 1994.
- 26 - **SILVEIRA, F. L., MOREIRA, M. A. e AXT, R.** Validação de um teste para detectar se o aluno possui ou não a concepção newtoniana sobre força e movimento. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 38(2): 2047-2055, 1986.
- 27 - _____. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 41(11): 1129-1133, 1989.
- 28 - **TIPLER, P. A.** *Física I*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.