

## ESTUDO DO CONCEITO DE TEMPO EM ESTUDANTES DE ENSINO MÉDIO: UMA CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS DE ANÁLISE

Gabriel Dias de Carvalho Júnior<sup>1</sup>,

Orlando Gomes de Aguiar Júnior<sup>2</sup>

### Resumo

Este trabalho apresenta o início do processo construção de uma unidade de análise para as aquisições conceituais de estudantes do Ensino Médio em aulas de Física. Pretende-se, com esse instrumento, investigar a apropriação do conceito de tempo físico. Para isso, apresentamos referenciais para a elaboração de um instrumento de pesquisa, baseado na Epistemologia Genética e na Teoria Sócio-Cultural, articuladas a partir da Teoria dos Campos Conceituais. Esse instrumento está alicerçado no conceito de esquema e na análise dos invariantes operatórios. São escolhidos para a análise os momentos das atividades de intervenção didática pertencentes ao domínio da microgênese, que se manifestam nas salas de aula. Esse construto teórico será ainda utilizado em situações de ensino e, portanto, ainda carece de ajustes que poderão ser feitos a partir do estudo piloto de intervenções.

**Palavras-chave:** conceitualização, campos conceituais, tempo.

### Abstract

This paper presents the beginning of the process of building a unit of analysis for the acquisition of conceptual high school students in Physics classes. The intention is to that instrument, to investigate the ownership of the concept of physical time. For this, we present benchmarks for the development of a research tool based on Genetic Epistemology and the Socio-Cultural Theory, as articulated in the Theory of Conceptual Campus. This instrument is grounded in the concept of scheme and analysis of operational invariants. Are chosen to analyze the moments of intervention activities pertaining to the field of didactics microgenesis, which manifest themselves in classrooms. This theoretical construct is still used in teaching situations and, therefore, further adjustments may be made from the pilot study of interventions.

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Congonhas e Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação, gabriel.carvalho@ifmg.edu.br.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais/DMTE/Faculdade de Educação, orlando@fae.ufmg.br

## Introdução

Desde a condução da minha pesquisa do mestrado (CARVALHO, JR, 2005), na qual acompanhei a trajetória de aprendizagem de seis alunos de ensino médio, quando do estudo da Física Térmica, tenho me preocupado em compreender melhor as formas que podem levar o sujeito a compreender ou não determinado campo conceitual. Nessa busca, procuro utilizar metodologias que privilegiem a construção e testagem de modelos explicativos por parte dos estudantes.

Essas atividades permitem-me avaliar o nível de compreensão dos estudantes a partir da análise das respostas apresentadas e (re)planejar o curso em função das necessidades de aprendizagem verificadas. O objetivo central é prover elementos para que os alunos utilizem suas concepções e gerem modelos para abordar as situações propostas em sala (HESTENES, 1996).

Nessa linha de argumentação e tendo como base a necessidade de melhor compreensão dos processos de mediação didática em sala de aula, esse trabalho apresenta as bases teóricas para a construção de instrumentos de análise que fazem a interlocução entre a Epistemologia Genética (PIAGET, 1985) e a Psicologia Sócio-Histórica (VIGOTSKI, 2009). Nesse processo de construção, procura-se identificar pontos de convergência entre os dois construtos teóricos para estabelecer uma metodologia de coleta e de análise de dados no campo da didática das ciências, em especial na Física.

São analisadas, nesse contexto, as formulações vigotskianas sobre a formação de conceitos e suas implicações para a relação entre desenvolvimento e aprendizagem. Ao mesmo tempo, procura-se estabelecer o papel que cumpre o mecanismo de equilíbrio no processo de internalização dos conceitos em formação.

Em especial, a atenção é focada nos processos microgenéticos (WERTSCH, 1985) que ocorrem ao longo atividades de instrução formal na escola.

A articulação entre os conceitos espontâneos e os não-espontâneos, sobretudo os científicos, é feita por meio da Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 2003). Por meio dessa teoria, busca-se encontrar, nos teoremas-em-ação, as mudanças qualitativas que podem indicar alterações nas formas de pensar, nas crenças, nos esquemas e nas competências dos sujeitos.

O mais importante na análise das relações entre linguagem e pensamento é procurar a que componentes dos esquemas pode enviar a estrutura fundamentalmente predicativa da linguagem. Essa estrutura predicativa é, em particular, a dos enunciados e dos textos científicos: são designados ou evocados objetos dos quais se afirmam certas propriedades ou determinadas relações com outros objetos, sob certas condições. São, pois, os invariantes operatórios contidos nos esquemas (conceitos-em-ato e teoremas-em-ato) que podem, de modo mais direto, ser postos em relação com a estrutura predicativa dos enunciados, e que se transformam assim, pela enunciação, em conceitos e teoremas científicos. (PLAISANCE e VERGNAUD, 2003, p.71)

O ambiente de pesquisa é a sala de aula, durante um processo de intervenção didática organizado em torno da articulação entre os conceitos de tempo, espaço e velocidade. Nesse ambiente, procura-se discutir a apropriação do tempo físico por parte dos estudantes sob as óticas da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade. São planejadas atividades de intervenção didática e entrevistas clínicas, com a resolução de problemas abertos.

### 1. Justificativa

O ensino de Física no Brasil tem vivenciado tentativas de inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea<sup>1</sup> (FMC) em sua base curricular. Esse fato pode ser verificado pelo aumento nas publicações sobre o assunto em revistas especializadas e na tentativa de autores de livros didáticos de inserir capítulos que abordem tópicos de Física Quântica e de Teoria da Relatividade.

Em um exaustivo trabalho de revisão bibliográfica, Ostermann e Moreira (2000) identificaram três grandes correntes de pensamento sobre as formas de abordagem dos tópicos de FMC no Ensino Médio: exploração dos limites dos modelos clássicos; não utilização de referências aos modelos clássicos; escolha de tópicos essenciais.

A primeira corrente enfatiza que a abordagem em FMC deve ser conduzida a partir do estudo da Física Clássica, enfatizando os campos de validade dos modelos explicativos desta. Já a segunda corrente, de certa forma antagônica à primeira, afirma que as formas normais de pensamento apresentadas pela Física Clássica são potenciais obstáculos ao aprendizado da FMC.

Sobre essas duas correntes, ambas com possibilidades reais de inserção no ensino de Física, Vergnaud afirma que

“O primeiro ato de mediação do ensino é, de fato, a escolha da situação a propor aos alunos. Na ZDP<sup>ii</sup>, existem continuidades e rupturas. O professor pode achar oportuno usar a continuidade e promover que o aluno passe de uma classe de situações a outra, próximas entre si (...). É também possível que o professor considere oportuno usar a ruptura, de maneira que provoque o desequilíbrio entre a situação a tratar e as competências dos alunos, e fazer com que eles tomem consciência dos limites de seus pontos de vista. (VERGNAUD, 2007, p.287)

Apesar de ser perceptível a tentativa de inserção dos temas, há ainda alguns problemas que impedem a sua total aceitação por parte dos professores de Física. Trabalhando em um contexto mais reduzido – o do ensino de Física Quântica – e em outro país – a Argentina –, Fanaro, Arlego e Otero (2007) indicam algumas possíveis causas para isso: desconhecimento dos conceitos, a complexidade matemática envolvida, a má formação dos professores e as propostas dos livros textos.

Problemas como esses também são verificados no Brasil e representam dificuldades sérias para o estabelecimento de uma cultura de trabalho com a FMC. Além deles, podemos citar, ainda, que os programas que devem ser cumpridos em cada série são muito extensos e não comportam o acréscimo de novos conteúdos. Em geral, não há um consenso sobre a melhor forma de trabalho com esses tópicos, tampouco indicações sobre a metodologia de trabalho.

Talvez por apresentar maiores possibilidades de interação experimental, verifica-se um grande número de pesquisas sobre a inserção de tópicos de Física Quântica no ensino médio (FANARO, ARLEGO e OTERO, 2007). Em geral, essas pesquisas são focadas em atividades práticas que podem ser apresentadas aos estudantes e não se preocupam com a detecção de concepções alternativas na área ou em identificar as condições necessárias à aprendizagem dos conceitos relativos à Física Quântica.

Outros trabalhos se preocupam em analisar a maneira como a FMC é apresentada em livros didáticos existentes no mercado (OSTERMANN e RICCI, 2002 e 2004). Em geral, são apresentados aspectos associados aos modelos físicos envolvidos (como a relação massa-energia ou a contração espacial) e, a partir desse referencial, os textos escritos são checados, buscando encontrar imperfeições/incorreções que, segundo os autores da pesquisa, podem representar obstáculos sérios ao aprendizado.

Verifica-se ser ainda escassa a quantidade de trabalhos que versem sobre a apropriação, por parte dos estudantes, de formas de pensamento sobre conceitos que são utilizados pela Física Clássica e pela FMC tais como o tempo, a massa e a energia.

Essa potencial linha de pesquisa pode auxiliar os professores na construção de planejamentos e nas intervenções didáticas em sala de aula. Em especial, é útil por indicar formas de entendimento por parte dos alunos acerca dos conceitos utilizados pela FMC e, por isso, auxilia na elaboração de abordagens didáticas com vistas à superação de obstáculos.

Nesse contexto, acreditamos que uma pesquisa que se proponha a avaliar a forma como os sujeitos se apropriam de conceitos científicos que são utilizados tanto pela Física Clássica quanto pela FMC e como se dá essa transição ao longo das atividades de instrução é importante para o ensino de Física. Nesse sentido, tal pesquisa pode propiciar (1) um espaço para a problematização da inserção da Física Moderna de forma significativa no Ensino Médio; (2) uma análise da distribuição de conteúdos da Física já consagrada pelo uso e (3) uma descrição dos conceitos e teoremas em ação utilizados pelos estudantes acerca dos conceitos fundantes da FMC.

## **2. Formulação do Problema**

Há certo consenso entre os professores de Ensino Médio de que os tópicos de FMC devem ser deixados para a última série desse nível de ensino por apresentarem modelos muito sofisticados para a compreensão dos alunos. Isso pode ser verificado, inclusive, a partir da organização dos livros didáticos mais utilizados no Brasil, onde a FMC é apresentada na última unidade do livro destinado à terceira série do Ensino Médio.

Talvez essa crença esteja, mesmo que de forma subjacente, associada ao que nos diz Vergnaud

se os alunos não são desestabilizados, não há razão alguma para aprenderem. É verdade também que se eles são desestabilizados em demasia, não aprendem mais. O princípio da adaptação de Piaget funciona muito bem aqui; por outro lado, a ideia de desenvolvimento próximo de Vygotsky, incita à prudência”. (2007, p.287 e 288)

Parece que a comunidade dos professores de Física entende ser preciso que o estudante esteja familiarizado com os modelos e conceitos da Mecânica Clássica para que possa se apropriar do que fala a Teoria da Relatividade Restrita. É comum, mesmo em conversas informais, ouvir que “*os alunos da primeira série do Ensino Médio ainda não têm maturidade para compreender a Relatividade*”. Não encontramos referências em pesquisas que sustentem esse ponto de vista.

Será, então, a Mecânica Clássica um patamar necessário para a compreensão da Relatividade Restrita, sem o qual as desestabilizações do sistema cognitivo do sujeito são tão profundas que não geram aprendizado? Ou, pelo contrário, os modelos e conceitos apresentados pela Mecânica Clássica competem fortemente com os da Relatividade Restrita a ponto de serem obstáculos ao aprendizado desta?

Em uma pesquisa conduzida a partir de uma sugestão de Einstein, Piaget chega a verificar que “*a noção de tempo é construída, e organiza-se de forma operatória, a partir da coordenação entre espaço e velocidade.*” (PIAGET, 1978, p. 22). Ora, essa noção de tempo está fortemente ligada aos fenômenos cotidianos que podem ser observados pelo sujeito. Portanto, a construção do conceito de tempo nos sujeitos deve ser, prioritariamente, alicerçada nas apropriações da Mecânica Clássica.

Dentre várias críticas que as conclusões de Piaget têm recebido, uma em especial diz respeito à influência de aspectos socioculturais (BOVET, 1975; MORI, 1976). Foram questionados aspectos relacionados à universalidade das conclusões de Piaget (MORI, 1976). Os estudos feitos comparavam os desempenhos de crianças do Japão e da Tailândia e indicaram que estas últimas se apropriam do conceito de tempo mais facilmente. A explicação para esse achado diz respeito à utilização da linguagem. Já BOVET (1975) realizou experimentos com africanos de diversas faixas etárias e diversos níveis de escolarização. A conclusão foi a de que as inferências sobre noções temporais só são obtidas muito mais tardiamente do que dizia Piaget.

Em face dessa situação, o problema de pesquisa é formulado no sentido de verificar a apropriação do conceito de tempo por parte de estudantes do Ensino Médio para enfrentar situações nas quais são necessários elementos da Teoria da Relatividade. Ou seja, como se analisar os momentos em que há a passagem conceitual entre os domínios da Física Clássica e da Teoria da Relatividade em um processo dinâmico e complexo como é o da sala de aula?

Para dar conta desse problema, é necessário a verificação, em atividades de sala de aula, dos momentos em que os modelos Clássicos e Relativísticos são confrontados e como os sujeitos da pesquisa se organizam para dar conta dessa transição. Nessa análise, pesquisa-se os momentos em que há rupturas na forma como os invariantes operatórios (VERGNAUD, 1990) são utilizados. Em outras palavras, procura-se, no domínio microgenético (WERTSCH, 1985), as alterações que podem ser profundas na forma de pensar dos estudantes quando da transição dos conceitos espontâneos para os científicos.

### **3. Referenciais Teóricos**

#### **3.1. A Epistemologia Genética**

O extenso e profundo trabalho do suíço Jean Piaget, acerca de questões relativas às maneiras pelas quais um sujeito passa de um estágio de menor para outro de maior conhecimento lança luz à forma como são construídas estruturas cada mais robustas e estáveis. Nesse processo, é forte a tônica dada aos processos endógenos que permitem ao sujeito desenvolver estruturas e, com isso, aprender novidades.

Não se trata de fazer, nesse artigo, uma análise pormenorizada do trabalho de Piaget, mas de elencar os elementos decisivos no processo de aquisição de novos saberes.

A primeira formulação piagetiana é a questão do mecanismo de equilibração (PIAGET, 1985). Segundo esse construto, o sistema cognitivo do sujeito está em constante busca pelo equilíbrio entre os mecanismos de assimilação e de acomodação.

Podemos afirmar que o empreendimento epistemológico e a tese construtivista são o contexto no qual Piaget avançou na explicitação dos mecanismos e processos psicológicos dos últimos anos da sua obra, tais como as abstrações e generalizações, os conflitos cognitivos, a tomada de consciência ou a criação de possibilidades. Esses mecanismos e processos adquirem seu significado se os situarmos com respeito à posição assumida sobre a relação entre o sujeito e o objeto de conhecimento. Eles associaram-se à hipótese nuclear do programa piagetiano: o mecanismo de equilibração entre a assimilação e a acomodação que pretende dar conta do modo pelo qual objeto e sujeito interagem. (CASTORINA et al, 2008, p.17).

Entende-se por assimilação ao processo em que o sujeito lança seus esquemas sobre o objeto cognoscível no sentido de absorvê-lo. Como as características de tal objeto não são perfeitamente similares às da estrutura assimiladora, é necessário um segundo movimento – a acomodação dos objetos incorporados às estruturas do sujeito. A acomodação está, portanto, associada a alterações no sistema cognitivo do sujeito que, por isso, passa a ser mais abrangente, mais estável e mais robusta. Diz-se, nessa teoria, que houve um novo equilíbrio em um patamar superior ao anterior – uma Equilibração Majorante –, visto que o sujeito dispõe, agora, de novos recursos cognitivos, novas possibilidades de ação sobre os objetos, novos conhecimentos e novas competências. Dessa forma, o processo de Equilibração está fortemente associado às estruturas cognitivas do sujeito.

A direção das ações do sujeito cognoscente é ditada pelos esquemas deste, aqui entendidas como a organização invariante do comportamento para uma dada classe de situações. Nos esquemas, repousa a operacionalidade dos saberes, ou seja, é por meio deles que todo conhecimento pode ser tornar operatório. Além disso, é por meio dos esquemas que encontramos as metas e antecipações, as regras de ação, busca por informação e controle e as possibilidades de inferência. O alargamento dos esquemas, portanto, dota o sujeito de novas possibilidades de intervenção no mundo físico.

Em Piaget, o mecanismo de Equilibração é um universal para a humanidade e ocorre não em relação aos saberes específicos, mas independente deles.

Esse estruturalismo pensado por Piaget tem sido alvo de críticas nos últimos anos e pode ser revisitado, guardando as linhas gerais do mecanismo de Equilibração, mas dando um tom mais forte às atividades específicas de conhecimento, ou seja, creditando aos objetos de conhecimento um papel mais relevante na condução e consecução do processo como um todo. É nesse ponto que sentimos necessidade de um referencial teórico que preserve a formulação de Esquema, mas que faça uma interlocução mais profunda entre os objetos de conhecimento e os sujeitos.

### **3.2. A Psicologia Sócio-Histórica**

As formulações vigotskianas acerca da cognição são profundamente ligadas à função da cultura e das ferramentas como instrumentos de mediação entre o sujeito e o conhecimento. Em Vigotski, a interação sujeito-objeto nunca é direta, mas mediada por instrumentos e ferramentas.

Nesse processo, a linguagem adquire um papel de fundamental importância como elemento de comunicação/interação entre os sujeitos e como organizadora do pensamento.

Vigotski elege como unidade de análise para seus construtos o significado da palavra (VIGOTSKI, 2009) por entender que representa a unidade indecomponível que liga atos de pensamento com os externos. Nesse modelo, o significado da palavra é identificada ao conceito, algo fundamental para que o sujeito opere mentalmente, aborde e resolva situações complexas.

O estudo da cognição, porém, não é algo simples, associado unicamente às interações entre sujeitos ou entre sujeito e cultura. Pelo contrário, deve ser estudado com base em vários domínios (WERSTCH, 1985) que são: filogenético, ontogenético, sócio-histórico e microgenético. Cada um desses domínios possui características próprias e forças propulsoras peculiares

No processo de formação dos conceitos, Vigotski identifica três diferentes fases: formação de sincréticos, pensamento por complexos e pensamento conceitual (VIGOTSKI, 2009).

Ainda é importante uma formulação associada à passagem das funções psicológicas do plano intersubjetivo para o intrassubjetivo. Esse mecanismo é identificado como a internalização, processo mediado pelos signos construídos culturalmente.

É nesse ponto que não encontramos referências sobre a gênese desse mecanismo. Quais são seus pressupostos e de que forma a internalização ganha força? De que maneira se passa dos conceitos cotidianos para os científicos? Há regras universais que conduzem essa passagem, mediada pelos signos e pela linguagem?

De alguma forma, necessitamos de um referencial que consiga estabelecer o elo entre o mecanismo de internalização, que identificamos como sendo obtido por meio da teoria da equilíbrio, e o desenvolvimento das funções psicológicas superiores, que se da na imersão do sujeito em um meio cultural, pela intermediação dos signos e da linguagem.

A Teoria dos Campos Conceituais é uma forma de estabelecer tal interlocução, uma vez que trata do desenvolvimento conceitual em ação, levando em conta o caráter situado da cognição. Ao mesmo tempo, as características atribuídas aos conceitos e teoremas em ato são marcas do processo de transformação conceitual, que leva em conta aspectos semióticos e culturais na relação entre sujeito e objeto do conhecimento.

### **3.3. A Teoria dos Campos Conceituais**

Nessa mesma linha de pensamento, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (VERGNAUD, 1990, 1991, 1993, 1996 e 2007) afirma ser o ponto-chave da atividade de cognição a conceitualização do real, uma atividade interna ao sujeito que se dá por meio de rupturas e permanências, e que, por isso, exige que se estenda por longo período de tempo. Para Vergnaud, o desenvolvimento cognitivo não pode ser explicado por modelos simplistas, seja recorrendo a idéias de reprodução social, seja pela emergência de estruturas inatas do sujeito, ou ainda por meio da metáfora da mente como processamento de informação (VERGNAUD, 1998, p. 173).

Essa teoria se insere no campo da psicologia cognitiva e pode ser entendida como uma teoria complexa, na qual diversos aspectos devem ser levados em conta como, por exemplo, a experiência, a maturidade e a aprendizagem (MOREIRA, 2002). Vergnaud define como campo conceitual

um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (VERGNAUD, 1998).

Há, na Teoria dos Campos Conceituais, três justificativas para se utilize o conceito de campo conceitual como forma de análise para a questão da construção de conhecimento, que estão apresentadas a seguir.

(1) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação, o que sugere a necessidade de se diversificarem as atividades de ensino, em um movimento que permita ao sujeito a aplicação de um dado conceito em diversas situações e que faça a integração entre as partes e o todo, como sugere MORTIMER (1996). Vários autores, como HESTENES (1996) e KAPER e GOEDHART (2002) confirmam essa proposição. A necessidade de diversificação de situações cumpre um papel importante na conceitualização, pois fornece uma base para que os estudantes possam testar seus modelos explicativos em contextos diversos, enriquecendo tais modelos ou reformulando-os, como nos indica VOSNIADOU (1994).

(2) uma situação não se analisa com um só conceito, o que implica na necessidade de uma visão integradora do conhecimento. Atividades didáticas que permitam uma visão generalizante do conhecimento podem contribuir para uma melhor apropriação do mesmo por parte dos estudantes. HESTENES (1996) advoga que a redução na quantidade dos conteúdos trabalhados em sala de aula em favor da centralização em conceitos-chave provê a chave para que os estudantes tenham tempo de construir, testar e validar seus modelos explicativos. Acreditamos que, trabalhando os conceitos que estruturam um dado campo conceitual com profundidade e durante um intervalo de tempo suficiente, fornecemos elementos para que os estudantes construam uma visão integradora do que está sendo aprendido.

(3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo longo, o que está em perfeita sintonia com o que CLEMENT (2000) afirma acerca da progressão dos modelos pessoais em direção aos modelos científicos. É importante, pois, que os diversos patamares que podem ser atingidos pelos estudantes ao longo de sua instrução sejam levados em conta no desenho e na posterior aplicação de intervenções didáticas. Mesmo que falsos no plano científico, tais modelos explicativos podem cumprir um importante papel na trajetória de aprendizagem de um dado sujeito.

Para Vergnaud, os conceitos que podem ser construídos por um sujeito estão fortemente associados às situações de aprendizagem às quais ele será submetido, conferindo, então, um caráter situado para a cognição. Ao tentar dar conta das situações é que há a possibilidade de uma real construção de conceitos.

Os conceitos são, para Vergnaud, formados por uma trinca indissolúvel, contendo as situações (S), os invariantes operatórios (I) e as representações simbólicas (R). Dessa trinca,



os invariantes operatórios são os teoremas-em-ação e os conceitos-em-ação que permanecem implícitos durante todo o processo, mas que podem ser inferidos a partir das respostas apresentadas às tarefas que o sujeito deve resolver.

O estatuto desses invariantes operatórios pode mudar com o tempo, e a natureza dessas mudanças pode indicar quais foram as mudanças conceituais dos sujeitos, ou seja, é possível procurar nos invariantes operatórios os modelos explicativos utilizados pelos estudantes e, a partir daí, inferir em que nível cada um se apropriou do modelo científico ensinado ou quais são as bases de pensamento de um sujeito acerca de um dado campo conceitual.

Essa noção de conceito encontra forte eco nos trabalhos ligados à tradição vigotskiana, uma vez que esta advoga que elementos de mediação simbólica são essenciais para o surgimento de funções psicológicas superiores como, por exemplo, o pensamento conceitual (VIGOTSKI, 2009, WERSTCH, 1985).

A construção de conceitos científicos, para essa tradição, se dá “de cima para baixo”, uma vez que parte de proposições gerais e de certa forma já estabilizadas para, em momentos de intervenção didática, ser apresentada aos estudantes. Durante o processo de internalização desses conceitos, o aprendiz passa a utilizar esses conceitos em diversas situações e, com isso, “desce” até princípios mais específicos e locais.

A tradição piagetiana, com seu mecanismo de equilíbrio (PIAGET, 1985), apresenta elementos que nos permitem pensar em uma relação mais profunda entre as duas construções de conceitos científicos e cotidianos, como processos que revelam pontos de convergência. Essa crença se dá no sentido de que ambos os processos exigem representações sobre o mundo físico e ação sobre os objetos de conhecimento e, sobretudo, alteram a estrutura funcional do sujeito.

Assim, entende-se que a articulação entre os dois domínios conceituais – espontâneo e científico – no sentido de se construir um conjunto de análise, interligado pelos invariantes operatórios de Vergnaud, pode prover uma unidade de investigação que dá conta das modificações funcionais e estruturais dos sujeitos em atividades de intervenção didática.

#### **4. Construção dos Instrumentos de Análise**

Para que seja possível avaliar os conceitos e teoremas em ação utilizados pelos estudantes, é necessário que se construam situações para serem enfrentadas e resolvidas por eles. Tais situações serão problemas abertos, do tipo lápis e papel, que abordem os conceitos estruturadores da Relatividade Restrita. Esses problemas serão propostos a estudantes da primeira série do Ensino Médio ao longo das atividades que relacionam os conceitos fundamentais de tempo, espaço e velocidade.

Entende-se que a transição entre duas formas de pensar é um processo de conceitualização, ou seja, é um trabalho de reorganização interna do sujeito com vistas à obtenção de uma nova – e mais abrangente – forma de equilíbrio cognitivo. Dessa forma, o mecanismo da Equilíbrio é uma das bases para a análise das aquisições.

A ideia da conceitualização está ligada ao que nos diz Vergnaud:

“A conceitualização pode ser definida como a identificação dos objetos do mundo, de suas propriedades, relações e transformações; esta identificação

pode ser direta ou quase-direta, o que resulta de uma construção.” (VERGNAUD, 2007, p. 229)

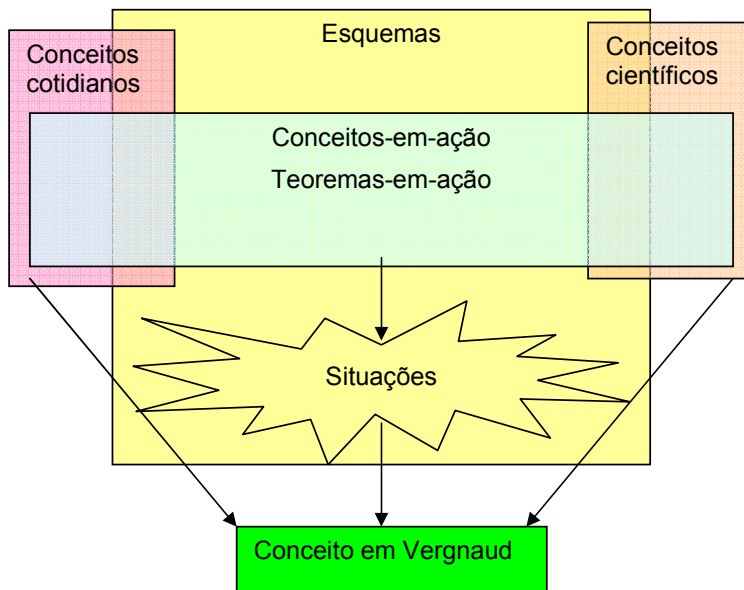
A resolução de problemas abertos, principalmente aqueles que apresentam situações novas para o aprendiz, requer uma organização interna dos esquemas em um processo que é, também, uma atividade de conceitualização. Nesse sentido, são levados em conta a função da linguagem como organizadora do pensamento, dos instrumentos de mediação simbólica e os conceitos e teoremas em ação do sujeito.

A unidade de análise desse processo tem como pano de fundo os esquemas utilizados pelos sujeitos. Os conhecimentos e as competências contidos em tais esquemas conduzem a realização das tarefas em um processo em que os invariantes operatórios podem ser verificados por meio da análise dos caminhos seguidos pelos estudantes para abordar e resolver as situações. Além disso, por meio da comparação de resultados do mesmo sujeito em diversos momentos, é possível inferir as mudanças qualitativas apresentadas e definir categorias de análise para todo um conjunto de pessoas.

Para a construção dessas análises, é utilizada a forma como Vergnaud se apropria da ideia de *conceito*, uma vez que entendemos ser mais abrangente e, por isso, mais de acordo com a análise de situações complexas, do que a de Vigotski, que iguala o conceito ao significado da palavra.

Essa unidade de análise que integra esquemas, conceitos e invariantes operatórios é, a nosso ver, a menor unidade possível para o fenômeno da conceitualização. Essa crença se justifica no fato de que a construção de conceitos pelos sujeitos não pode ser restrita a atividades puramente pessoais ou sociais, mas que exige uma articulação entre elas.

A seguir, apresentamos um quadro com o resumo dessa unidade de análise.



**Figura 1:**  
Esquema da unidade de análise para a construção de conceitos.

A ideia é construir uma sequência didática baseada na confrontação entre as concepções de tempo absoluto (tendo como modelo a Mecânica Clássica) e de tempo relativo (utilizando o paradigma da Teoria da Relatividade Restrita).

Nessa sequência, devem existir momentos nos quais os estudantes são colocados frente a situações nas quais a noção cotidiana ou clássica de tempo absoluto não é suficiente para prover uma explicação completa. O caso do tempo de vida dos múons<sup>iii</sup> ou o paradoxo dos gêmeos<sup>iv</sup> são duas situações que podem ser utilizadas na construção de tal sequência.

Como instrumento de coleta de dados, são pensados problemas abertos, cujas respostas não são conhecidas pelos estudantes. Exemplos desses instrumentos são apresentados em anexo. No instrumento mostrado, utiliza-se o tempo de vida do múon como referência.

Foram construídos dois grupos de problemas, sendo que a primeira questão é idêntica para ambos. É uma questão que solicita a coordenação entre os conceitos clássicos de velocidade, tempo e espaço. Com ela, é possível verificar a forma como o estudante lida com a cinemática clássica. Se a resolução da questão for correta, o estudante encontrará um valor para a velocidade que é superior à da luz.

A segunda questão coloca o resultado encontrado anteriormente em xeque. É nesse ponto que são colocados dois tipos diferentes de formulação. No primeiro, apresenta-se a velocidade real do múon e solicita-se que o estudante construa um modelo explicativo para o fato de o múon chegar ao solo. No segundo, afirma-se que a maior velocidade possível é a da luz no vácuo e solicita-se uma explicação que seja capaz de harmonizar o resultado obtido na primeira questão com a informação dada.

A ideia é apresentar, a partir da mesma situação, perguntas distintas aos estudantes. Cada grupo de estudantes terá acesso a problemas diferentes formulados a partir da mesma situação. Como a natureza dos problemas necessita de mobilizações distintas, espera-se que sejam utilizados teoremas-em-ação distintos na análise e resolução das questões.

O estatuto das respostas e das discussões apresentadas pelos estudantes e as possíveis tomadas de consciência em eventos que pertençam ao domínio microgenético irão prover o elemento empírico para a análise do desenvolvimento conceitual. A partir da busca pelos teoremas e conceitos em ação utilizados pelos estudantes será possível a reconstrução de suas formas de abordar os problemas e de propor soluções. Além disso, será também possível verificar possíveis transições entre o conceito cotidiano, o conceito clássico e o conceito relativístico de tempo.

## 5. Levantamento inicial e discussão de dados

Os problemas foram aplicados a uma turma de primeiro semestre de Licenciatura em Física de uma instituição federal. O objetivo de tal aplicação era permitir uma calibração das questões e verificar o tempo destinado à resolução dos itens.

A turma utilizada nesse estudo exploratório contém 32 estudantes. Eles estavam no final do primeiro semestre letivo e cursaram cálculo diferencial e integral 1, geometria analítica, psicologia da educação, sociologia da educação, história da Física e Metodologia de Pesquisa. A turma é muito heterogênea nos quesitos idade, interesses, motivações ou nível de conhecimento. Há estudantes que terminaram o ensino médio recentemente e outros que já saíram da escola há décadas. Essa heterogeneidade é tomada como empecilho por muitos docentes, sobretudo no que tange à “falta de base”.

**[oaj1] Comentário:** Seria possível ao sujeito avançar numa resposta satisfatória a problemas sofisticados como esses? Que outros problemas seriam levantados quando da abordagem didática da teoria da relatividade especial?

As questões foram distribuídas aos estudantes sem que eles pudessem trocar impressões entre eles, tampouco consultar livros, cadernos, etc. Não foi estipulado tempo para a entrega e o pesquisador não respondeu a qualquer tipo de pergunta.

O primeiro a entregar utilizou cerca de 10 minutos e o último, 45 minutos. Mais da metade dos estudantes (17 estudantes) apresentou dificuldades em responder à primeira questão, o que dificultou em muito a análise. Nesses casos, essas respostas não foram consideradas, já que não seria possível verificar a coordenação entre o tempo clássico e o relativístico.

Das 15 respostas validadas, a maioria (10 ao todo) não conseguiu criar um modelo explicativo coerente e apresentaram respostas como “*na verdade, o tempo de vida do múon é maior*”. Esse tipo de resposta revela um teorema-em-ação que pode ser enunciado da seguinte forma: *o tempo é absoluto para todos os referenciais inerciais*. Nesse caso, o conceito de tempo ainda está sedimentado nas situações cotidianas, na experiência diária, onde não há diferença sensível entre intervalos de tempo medidos em repouso ou em movimento.

Já em 5 respostas, todas elas relativas à questão do primeiro grupo, percebem-se indícios de alguma transição entre os conceitos físicos de tempo, do clássico para o relativístico. O melhor exemplo enunciado foi: “*deve acontecer alguma coisa com o tempo para que a velocidade não seja tão grande.*” Parece haver, nesse sentido, a utilização de um teorema-em-ação que afirma que *o tempo é uma variável que pode ser distinta para diferentes observadores*. Esse tipo de formulação já apresenta uma relação com os conceitos relativísticos, posto que admite que o fluxo do tempo não é absoluto.

## 6. Considerações Finais

A proposta desse trabalho é a de apresentar a concepção teórica de um instrumento de análise que dê conta das aquisições conceituais de estudantes de Ensino Médio quando do estudo da articulação entre velocidade, espaço e tempo. Não foram feitas, ainda, verificações empíricas desse instrumento, razão pela qual esse instrumento ainda pode ser reelaborado e aperfeiçoado.

A ideia de apresentá-lo em um trabalho é justamente para que sejam problematizados seus campos de validade e sua pertinência no campo educacional. Não pretendemos que ele seja algo acabado, visto que é um início de uma formulação teórica e, não, o final de um processo de investigação.

Os resultados apresentados são iniciais e não se configuram na pesquisa em si. Queremos, com a apresentação do instrumento e do estudo exploratório, uma discussão com outros pesquisadores no sentido de se apontar possibilidades e restrições do modelo. Dessa forma, será possível conduzir à construção de mais formas de abordagem desse fenômeno complexo e de difícil visualização que é a conceitualização.

## Referências

ALVETTI, M. A. S. & DELIZOICOV, D. (1998), **Ensino de física moderna e contemporânea e a Revista Ciência** In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 6, 1998, Florianópolis. Atas. Florianópolis: Imprensa UFSC.

ARRUDA S. M. e FILHO, D. O. T. **Laboratório Caseiro de Física Moderna**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 21, edição especial: p. 390-394, nov.2004.

BRASIL. **LDB : Lei de diretrizes e bases da educação: lei n. 9.394/96.** Apresentação Esther Grossi. 3a. ed. Brasília: DP&A, 2000.

CARVALHO JR., G. D. **Trajetória de aprendizagem de estudantes de ensino médio: produção de significados em um curso introdutório de Física Térmica.** 2005. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte.

CASTORINA, J. A., FERREIRO, E., LERNER, D. e OLIVEIRA, M. K. **Piaget-Vygotsky: Novas contribuições para o debate.** São Paulo: Ática. 2008.

CLEMENT, J. **Model based learning as a key research area for science education.** International Journal of Science Education, v. 22, n. 9, p. 1041-1053. 2000.

FANARO, M. A., ARLEGO, M. e OTERO, M. R. (2007) **El Método de Camiños Múltiples de Feynman como Referencia para Introducir los Conceptos Fundamentales de la Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 2: p. 233-260, ago.

HESTENES, D. **Modeling methodology for physics teachers.** In: Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education, College Park, August 1996.

KAPER, W. H. e GOEDHART, M. F. **“Forms of Energy”, an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I.** International Journal of Science Education. V.24, n. 1, p. 81-95. 2002

MEC. **PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS PARA O ENSINO MÉDIO - Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.** Brasília, 2000.

MEC. **PCN+ - Ensino Médio. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais.** Disponível em <<  
[http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN\\_FIS.pdf](http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf). Acesso em 18.fev.2009. 2002.

MEC. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** v. 2, Brasília: 2006.

MOREIRA, M. A. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 7, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>

MORTIMER, E. F. **Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos?** Investigações em Ensino de Ciências. v.1. n.1. Publicação Eletrônica: [www.if.ufrgs.br/public/ensino](http://www.if.ufrgs.br/public/ensino).1996.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências.** 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000. v. 1.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio"**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, mar. 2001.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. **Relatividade Restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 83-102, abr. 2004.

PIAGET, J. **A Noção de Tempo na Criança**. São Paulo: Record. 1978.

PIAGET, J. **The equilibration of cognitive structures**. Chicago: The University of Chicago Press, 1985.

PLAISANCE, E. e VERGNAUD, G. **As Ciências da Educação**. São Paulo: Edições Loyola, 2003.

TERRAZAN, Eduardo A. (1994), **Perspectivas Para a Inserção da Física Moderna na Escola Média**. Tese de Doutorado – FEUSP – USP.

VERGNAUD, G. **La théorie des champs conceptuels**. Recherches en Didactique des Mathématiques. v. 10, n. 23, p. 133-170, 1991.

VERGNAUD, G. **Teoria dos campos conceituais**. In: NASSER, L. (Ed.). SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 1, 1993, Rio de Janeiro. Anais do Seminário Internacional de Educação Matemática. p. 1-26.

VERGNAUD, G. **A comprehensive theory of representation for Mathematics Education**. Journal of Mathematical Behavior, v. 2, n. 17, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. **¿En qué Sentido la Teoría de los Campos Conceptuales Puede Ayudarnos para Facilitar Aprendizaje Significativo?** Investigações em Ensino de Ciências. V12(2), pp.285-302, 2007

VERGNAUD, G. et al. **Epistemology and psychology of mathematics education**. In : NESHER, P. ; KILPATRICK, J. (Eds.) Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

VIGOTSKI, L.S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes. 2009.

VIGOSTSKI, L.S. **A Formação Social da Mente**. São Paulo: Martins Fontes. 2005.

WERTSCH, J.V. **Vygotsky's Genetic Method**. In: Vygotsky and the social formation of mind. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1985.

---

<sup>1</sup> Não há consenso sobre a abrangência do termo. Utilizaremos, nesse trabalho, FMC como sendo toda a produção da Física a partir do século XX.

---

<sup>ii</sup> Zona de Desenvolvimento Proximal (VIGOTSKI, 2009).

<sup>iii</sup> Os múons são partículas subatômicas cujo tempo de vida é da ordem de  $2 \mu\text{s}$ . Eles podem ser gerados pela colisão entre raios cósmicos e moléculas nas altas camadas atmosféricas.

<sup>iv</sup> Uma consequência da relatividade do tempo em relação ao movimento é a diferença entre as idades biológicas de dois irmãos gêmeos, um que fica fixo na Terra e o outro que viaja no espaço em velocidades compatíveis com a da luz. Esse fenômeno é chamado de Paradoxo dos Gêmeos.

### **Anexo 1 – Questões de pesquisa.**

#### **1º Grupo de problemas**

1) Raios cósmicos, colidindo com partículas da atmosfera superior (cerca de 10 km da superfície da Terra), criam, entre outras partículas, mésons  $\pi$ , que decaem, originando mésons  $\mu$ , que também decaem, produzindo outras partículas. O tempo de vida de um méson  $\mu$  é cerca de  $2 \times 10^{-6}$  s. Esse méson é detectado na superfície da Terra. DETERMINE a menor velocidade que o méson deveria ter para percorrer os 10 km em  $2 \times 10^{-6}$  s.

2) Na verdade, o méson citado possui uma velocidade bem menor que a calculada anteriormente, cerca de  $2,94 \times 10^8$  m/s. PROPONHA um modelo explicativo para o fato de, mesmo com a velocidade menor, o méson ser criado a 10 km de altura e ser detectado na superfície.

#### **2º Grupo de problemas**

1) Raios cósmicos, colidindo com partículas da atmosfera superior (cerca de 10 km da superfície da Terra), criam, entre outras partículas, mésons  $\pi$ , que decaem, originando mésons  $\mu$ , que também decaem, produzindo outras partículas. O tempo de vida de um méson  $\mu$  é cerca de  $2 \times 10^{-6}$  s. Esse méson é detectado na superfície da Terra. DETERMINE a menor velocidade que o méson deveria ter para percorrer os 10 km em  $2 \times 10^{-6}$  s.

2) Um dos aspectos mais interessantes da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein, é o fato de que a velocidade da luz,  $3,0 \times 10^8$  km/s, ser a maior velocidade possível no universo. EXPLIQUE como é possível ser coerente com essa regra da Teoria da Relatividade Especial e, ao mesmo tempo, explicar a detecção do múon na superfície da Terra.