

Estrutura baseada em Fluxo: sequência de ensino-aprendizagem sobre Relatividade do Tempo

Flow-Based Structure: teaching-learning sequence on Time Relativity

Jorge Nicolau

Universidade de São Paulo - Faculdade de Educação
jlnicolau@hotmail.com

Ivã Gurgel

Universidade de São Paulo – Instituto de Física
gurgel@usp.br

Maurício Pietrocola

Universidade de São Paulo - Faculdade de Educação
mpietro@usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma sequência de ensino-aprendizagem com potencial de apresentar índices mensuráveis sobre as conexões entre as atividades que a integra. A pesquisa desenvolveu uma estrutura didática guiada por *hipóteses de design* relacionadas com obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos associados ao emergente “*protoprincípio de design*” denominado *Fluxo*. Este *protoprincípio* é o resultado da pesquisa e tem como objetivo futuro suportar a aplicação de um instrumento que explicita a relação de coerência e coesão entre as pretensões de desenvolvimento e a percepção dos alunos. A metodologia utilizada foi pesquisa baseada em design (do inglês *design-based research* – DBR) e teve como subproduto uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a Relatividade do Tempo – Paradoxo dos Gêmeos. A produção foi feita em equipe formada por professores e pesquisadores entre os anos de 2011 e 2012.

Palavras chave: estrutura didática, design, relatividade, física moderna, ensino médio.

Abstract

This paper presents the development of a teaching-learning sequence, with potential to provide measurable indices about the connections between activities that integrate that sequence. The research developed a didactical structure headed by design hypothesis relating epistemological and pedagogical obstacles to the emergent “*design protoprinciple*” so-called *Flow*. The *Flow* is the result of the research and will be willing to support an application of another instrument, which will intent to show the correlation of coherence and cohesion

between the intent project and student's perceptions. The methodology employed was design-based research which the by-product was the teaching-learning sequence about Relativistic Time – Twin Paradox. The sequence was produced with the collaboration between a team of teachers and researchers in the years 2011 and 2012.

Key words: design-based research, teaching-learning sequences, modern physics, relativity, didactical structures, high school.

Introdução

Encontra-se na literatura uma quantidade apreciável de materiais que abordam conteúdos modernos e contemporâneos de Física: dualidade onda-partícula, espectroscopia e cores, física da nanotecnologia, radiações, partículas elementares, relatividade, entre outros. Cada qual, em seu eixo de pesquisa, colabora com a criação de instrumentos dedicados a suprir as necessidades de inclusão da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio já discutidas a, pelo menos, duas décadas pela literatura (OSTERMANN e MOREIRA, 2000; OSTERMANN e PEREIRA, 2009; TERRAZZAN, 1992; ZANETIC, 1989). Esta pesquisa possui, como um de seus produtos, a produção de uma sequência didática para ensino médio de Relatividade Restrita.

Procura-se compreender o processo de produção de conhecimento didático em situações reais de sala de aula considerando toda a complexidade com base na metodologia denominada Design-Based Research (DBR). O desenvolvimento de pesquisas que se propõem a trabalhar desta forma em sala de aula é ainda recente na área de ensino, pois contrapõem pesquisas que focam o domínio da aprendizagem para definir sua didática. Neste sentido a pesquisa em DBR é um movimento consistente de pesquisadores que tentam preencher essa limitação atuando com maior intensidade na dimensão do ensino para a produção de conhecimento destinado à sala de aula.

O objetivo de fundo deste trabalho está na construção de uma ferramenta que facilite a produção e evolução de sequências didáticas que sustentem pesquisas em DBR. O resultado é obtido por meio da criação de uma sequência de ensino-aprendizagem, a qual possui potencial para apresentar índices mensuráveis do processo didático assim como sugerida por Collins, Joseph e Bielaczyc (2004) e Lijnse (2004).

Para isso, além de justificativas gerais para a inserção da FMC em salas de Ensino Médio, é necessária atenção quanto à adequação do tema aos contornos de pesquisa. O estudo foi feito com base em conteúdos básicos de Relatividade Restrita.

Referenciais teórico-metodológicos

Design-Based Research (DBR) e Teaching-Learning Sequences (TLS)

Como guia para o desenvolvimento da pesquisa, são utilizadas metodologias que se enquadram num contexto de pesquisa atualmente denominada DBR. Estas metodologias destinam-se à verificação de como, quando e porque inovações educacionais funcionam na prática (COLLECTIVE, 2003). Segundo a *American Educational Research Association* uma boa proposta de pesquisa baseada em DBR exhibe cinco características que guiam o desenvolvimento do projeto em direção a dados e respostas de pesquisa mais confiáveis.

A primeira característica afirma que deve haver associação dos objetivos centrais da

sequência de ensino-aprendizagem às teorias, “*protoprincípios de design*” e *hipóteses de design* revelando uma atitude de desenvolvimento ativa e atenta ao controle dos parâmetros que serão observados na sequência de ensino-aprendizagem. Isso significa que a abordagem de pesquisa utilizada focaliza o olhar sobre parâmetros específicos delimitados apenas pelas “protoprincípios” claramente consideradas no desenho e intimamente relacionadas com os objetivos centrais. A segunda característica diz respeito aos procedimentos gerais para a geração de resultados de pesquisa. Os conhecimentos são validados por processos cíclicos de desenho, aplicação, análise e redesenho permitindo que os resultados da modificação ou inclusão de parâmetros sejam analisados ciclo a ciclo, produzindo um conjunto de respostas restritas e transferíveis a contextos distintos. A terceira característica qualifica estes resultados ao afirmar que eles devem ser compartilháveis e relevantes a professores e demais pesquisadores. A quarta característica refere-se ao contexto de aplicação das sequências. Estas devem ser genuínas para que os resultados possam ser expressivos e compatíveis com a realidade de ensino que se deseja promover, no nosso caso, o Ensino Médio público. Mas, mais do que isso, a recomendação é que a pesquisa ultrapasse a simples observação das hipóteses e resultados abarcando também os processos interativos que ocorrem na produção e aplicação. A quinta característica recomenda a utilização de métodos que documentem e garantam uma conexão entre os resultados e as aplicações das sequências de ensino-aprendizagem.

Nesta linha de pesquisa, Lijnse (2004) iniciou uma busca defensora da existência de uma noção de *qualidade didática*. Esta seria teoricamente sustentável se os resultados produzidos a partir das intervenções fossem feitas com base em estruturas didáticas. Isso porque, por um lado tais estruturas seriam operacionalizadoras dos pontos básicos que produzem os resultados aplicáveis à pesquisa e, por outro, porque apresentariam materiais práticos que representam o caminho mais conveniente para ensinar/aprender determinado assunto (LIJNSE, 2004).

Collins, em postura muito parecida, defende a necessidade de abertura de uma linha de pesquisa de design em educação de ciências que promova investigações sobre quais variáveis seriam importantes e como os processos de ensino-aprendizagem dependeriam dessas variáveis (COLLINS; JOSEPH; BIELACZYK, 2004). Corroborando com Lijnse (2004), ele afirma ser necessário que a comunidade se preocupe com produção padrões que promovam pesquisas de design reconhecidas e acessíveis a outros pesquisadores. É neste sentido que este trabalho procura oferecer resultados.

Para abranger o conjunto de condições de contorno e perspectivas de pesquisa adotadas pela DBR, utiliza-se complementarmente trabalhos baseadas em metodologia denominada TLS as quais se dedicam especificamente ao ensino de ciências.

Em 2004, um grupo francês de pesquisas de ensino de ciências, publicou uma sequência de artigos que condensava uma perspectiva de pesquisa que teve início nos anos 80 e foi aos poucos se estruturando em forma de conhecimentos sobre o ensino de ciências focado em tópicos. Méheut & Psillos (2004) afirmam que as TLSs são sequências didáticas que visam dois objetivos simultâneos: o primeiro é permitir e desenvolver pesquisa de intervenção que aborde aspectos de ensino e aprendizagem de conteúdos, como ótica ou relatividade. O segundo, desenvolver um produto compreendido como uma ferramenta de ensino que engloba não só os conteúdos, mas também objetivos específicos, ambos potencializados pelos resultados desenvolvidos durante as intervenções. Tal abordagem segue a tradição que utiliza da construção de sequências didáticas como ferramentas de pesquisa. (MÉHEUT & PSILLOS, 2004)

Hipóteses de Design

O desenvolvimento de uma sequência de ensino-aprendizagem pode ser entendido como a busca pela sua própria determinação frente àqueles que se relacionam com ela. A importância de pivôs ou padrões que guiam as discussões, desenvolvimento e aplicação surge da grande quantidade de facetas e interpretações que a sequência em construção pode assumir para aqueles envolvidos no processo.

Embora a pesquisa produza material didático, o importante para a comunidade científica não são os materiais em si, mas aquilo que é aprendido no processo de sua construção. Os conhecimentos de natureza didática que emergem da pesquisa são denominados de *princípios de design* e acreditamos servirem como guias para a construção de outras sequências em outros contextos. Entretanto, para vislumbrar tais princípios, a pesquisa precisa ser efetivamente feita em pelo menos um contexto específico bem definido por *hipóteses de design*.

Assim, foram desenvolvidas e selecionadas hipóteses de design que guiassem o contexto de desenvolvimento da sequência de ensino-aprendizagem com base nas noções de obstáculos epistemológicos, obstáculos didático-pedagógicos e justificativas específicas relacionadas aos conteúdos e práticas didáticas.

Os obstáculos epistemológicos de Bachelard (1938) estão relacionados às dificuldades que cientistas enfrentam durante o desenvolvimento do conhecimento científico geral. Como a epistemologia pode ser tratada também nos domínios escolares, considera-se os obstáculos epistemológicos de modo ampliado e adaptado ao uso de FMC em contexto escolar (PIETROCOLA, 2008). Os obstáculos didático-pedagógicos, por sua vez, são dificuldades que normalmente são enfrentadas pelos professores ao implementarem sequências didáticas inovadoras. Originalmente propostos por Brousseau, eles também foram adaptados por Pietrocola (2008) para se enquadrarem no estudo de FMC em contexto escolar.

Esses obstáculos foram considerados *hipóteses de design* conforme os quadros 1 e 2.

O último conjunto de hipóteses está relacionado ao conteúdo utilizado no desenvolvimento da sequência de ensino-aprendizagem. Considera-se que os conceitos básicos de Relatividade possuam linguagem matemática relativamente simples e acessível à compreensão dos alunos (OGBORN, 2005; RUBY, 2009). A existência de detalhes críticos apresentados por Viennot et al. (2005) é considerada, assim como a perspectiva de Karam e Pietrocola (2009) da matemática como estruturante do conhecimento físico. Com base em tentativas na produção de sequências de relatividade elaboradas pelo nosso grupo de pesquisa em 2007 e em conhecimento local sobre o conteúdo, considera-se que o subtema Paradoxo dos Gêmeos seja apropriado para o desenvolvimento da pesquisa. Todo esse conjunto de hipóteses de design está relacionado no quadro 3.

<i>Fenomenologia</i> – pode existir dificuldade em explorar os fenômenos de Física Moderna e Contemporânea por meio de experimentos simples em classe.
--

<i>Linguagem/formalização</i> – pode existir dificuldade em encontrar transposições didáticas que simplificam a linguagem matemática relacionada aos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea.

<i>Estruturação conceitual</i> – pode não existir um caminho analógico para a construção de alguns conceitos com base na vivência ou conhecimentos clássicos dos alunos.
--

<i>Ontologia de base</i> – pode existir uma relação contra intuitiva durante o estudo de conceitos modernos.
--

Quadro 1: obstáculos epistemológicos presentes em FMC considerados durante a produção da sequência.

<i>Hierarquia conceitual de pré-requisitos</i> – Associação entre história do desenvolvimento da Física e complexidade dos conteúdos. O obstáculo é gerado pela hipótese de que conceitos "menos complexos", que surgiram primeiro na história da física, devem vir antes dos "mais complexos", os quais são associados aos conceitos modernos.
<i>Didática intuitiva dos professores</i> – Resistência natural vinda da tradição que define como ensinar e o que é física.
<i>Seleção de conteúdos</i> – Resistência à quebra dos currículos escolares sedimentados historicamente pelo uso e pela necessidade de assumir riscos com a nova abordagem.
<i>Tipos de atividades propostas</i> – Obstáculo associado à incompatibilidade das metodologias de ensino tradicionais na abordagem de conteúdos modernos e contemporâneos.
<i>Avaliação</i> – Resistência a novas formas de avaliação e seus valores.

Quadro 2: obstáculos didáticos presentes em FMC considerados durante a produção das atividades.

Os conceitos básicos de Relatividade podem ser sustentados por uma linguagem matemática relativamente simples e acessível à compreensão dos alunos permitindo modelização estruturante dos conceitos físicos.
A incompatibilidade da realidade física com a realidade cotidiana é potencialmente promotora de argumentos em direção à necessidade do conhecimento científico para a explicação do mundo.
A epistemologia da Relatividade pode ser explorada para evidenciar o modo como a comunidade científica reage e modifica fundamentos conceituais frente a novas ideias e experiências.
Podem existir detalhes críticos associados ao ensino de Relatividade.
O subtema Paradoxo dos Gêmeos é facilitador para esta abordagem.

Quadro 3: hipóteses relacionadas ao conteúdo base da sequência.

Desenvolvimento da sequência e dinâmicas de trabalho

O grupo de desenvolvimento foi inicialmente composto por 4 professores de escolas públicas da cidade de São Paulo, 2 mestrandos, 2 doutorandos e 3 professores doutores. As atividades de desenvolvimento se iniciaram efetivamente em agosto de 2011 em encontros semanais de aproximadamente 3h. Ao longo das pesquisas, intervenções piloto e completas foram feitas. A sequência foi desenvolvida em duas etapas.

A primeira etapa do projeto ocorreu no segundo semestre de 2011 se constituindo do desenho inicial e na aplicação de uma versão piloto¹. Essa etapa foi fundamental para elucidar as formas de trabalho da equipe e as fronteiras conceituais da sequência.

Na segunda etapa ocorreram avanços na representação da estrutura didática e sua finalidade. A definição da ideia de Fluxo (melhor apresentado adiante) se tornou consistente sendo reconhecida coletivamente como um guia no desenvolvimento da sequência. Foram aprimoradas as atividades 5, 6 e 7 e criadas as atividades 8 e 9. Aplicações completas foram feitas em duas classes de escolas públicas alemãs por dois professores locais alheios à produção do material em colaboração com instituição de pesquisa na Alemanha. Aplicações completas foram feitas posteriormente em turmas de professores participantes da primeira etapa na cidade de São Paulo.²

¹ Quatro professores aplicaram a sequência piloto em 6 classes de 3º EM e 2 classes do 2º EM em escolas públicas urbanas da cidade de São Paulo. O curso piloto possuía 7 atividades e apenas duas turmas completaram o processo devido à evasão escolar no fim do ano.

² Quatro professores aplicaram a sequência completa em 2 classes de 3ºEM, 1 classe de 2ºEM, 1 classe grade 11 Grundkurs, 1 classe grade 11 Leistungskurs (tanto a modalidade Grundkurs quanto a Leistungskurs

A sequência propõe os primeiros passos rumo à compreensão do conceito relativístico de Tempo sem adentrar na relatividade do Espaço, algo que não se encontra em livros sobre o assunto e que diverge fortemente da estrutura deste conhecimento na esfera do saber científico. As três atividades iniciais fazem um movimento que define e problematiza a parte do mundo do aluno que a sequência de ensino-aprendizagem tratará. A ideia foi distinguir o tempo físico newtoniano de concepções de tempo que não se relacionam ao problema. As situações foram produzidas com componentes concretos, cotidianos e sociais associadas a interpretações “estranhas” advindas da relatividade. A quarta e a quinta atividade vão em direção à abstração e generalização do conceito de diferenciação do tempo buscando um modelo para raciocinar situações relativísticas. Elas se afastam do mundo das percepções e exigem a construção de situações híbridas juntando elementos do cotidiano a situações não usuais de alta velocidade e mudança de referencial num grau de abstração maior. Nas últimas atividades, busca-se uma especificação do uso do relativismo temporal no problema do paradoxo dos gêmeos o qual permeia todas as atividades, mas passa a ser efetivamente abordado nas atividades finais.

Resultados obtidos

Considera-se que num processo de produção de material didático, a sequência obtida, embora vinculada à situação dada, permita abstrair ou induzir uma estrutura com grau de generalidade maior.

A busca pela estrutura didática que indicaria quais seriam os elementos fundamentais da sequência de relatividade e como deveriam ser encadeados levou ao desenvolvimento e estudo da ideia de Fluxo. O diagrama na figura 1 é a estrutura didática resultante dessa ideia. Ele apresenta como as hipóteses de design associadas ao trabalho em grupo se materializaram nas atividades.

Na atual definição, considera-se que o Fluxo seja parte da intenção didática responsável pela fluência das atividades sendo caracterizado por transcender as atividades tomadas na individualidade. Ele reflete a pretensão idealizada por seus criadores incorporando informações sobre a maneira que cada uma destas atividades se relaciona com as atividades anterior e posterior permitindo que isso seja qualificado pelos alunos por meio de questionários curtos aplicados em sala.

Defende-se que a ideia de Fluxo convirja para uma ferramenta útil na criação de estruturas didáticas coesas (no sentido de possuir transições lisas entre atividades, que não fragmentam os objetivos centrais em um mosaico de informações) e coerentes (no sentido de manter uma lógica perceptível aos integrantes envolvidos na interação didática).

A representação do Fluxo se dá graficamente por meio do Diagrama de Fluxo. Os retângulos representam a “moral da história” que cada atividade deve garantir ao seu término. Estes são encadeados por conectores hexagonais compostos por uma questão simples que caracteriza a fluência esperada. As atividades são lateralmente dispostas em circuitos sugeridos para que as aulas convirjam para o Fluxo proposto. Na figura 1 é possível observar parte do diagrama de Fluxo associado à sequência de relatividade do tempo.

possuem equivalência aproximada ao segundo ano do ensino médio - ISCED 3 (International Standard Classification of Education. A aplicações nestes casos precisaram ser adaptadas ao contexto local).

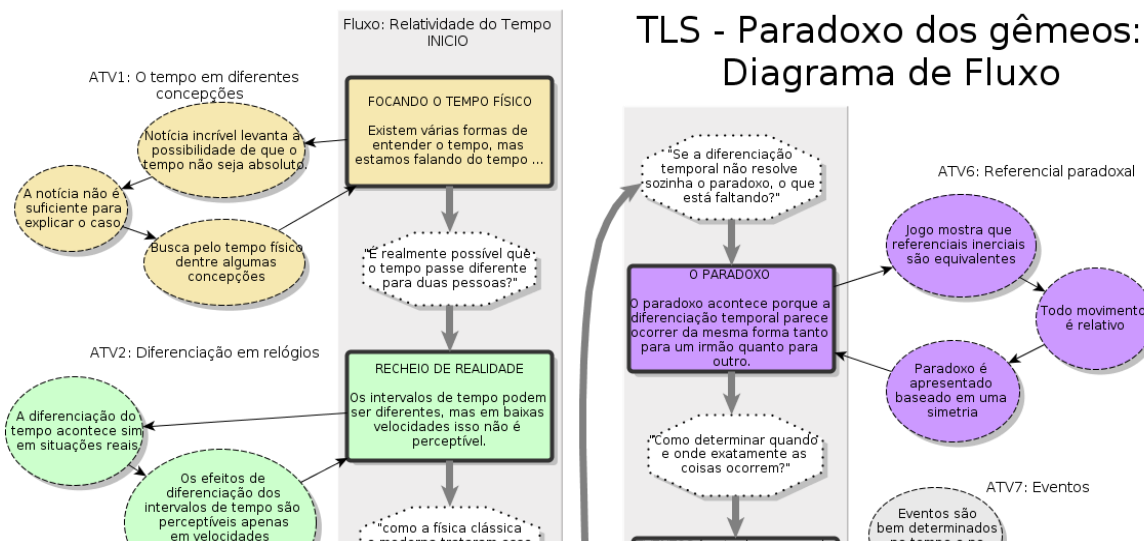


Figura 1: Estrutura didática baseada em Fluxo da sequência de ensino-aprendizagem.

Conclusão

Hoje, com uma tendência muito grande de se valorizar pesquisas aplicadas que envolvam algum tipo de produto, é importante destacar a diferença que este tipo de pesquisa tem em relação a outras. Neste estudo, se pretende um grau de universalidade um pouco maior. Para tanto, dois requisitos são importantes: o primeiro é que existe um grupo de design e de avaliadores que não são unicamente os professores que aplicam. Isso quer dizer que a pesquisa está desvinculada das idiossincrasias de um único ponto de vista; segundo, procura-se atingir maior grau de generalidade da estrutura do que da sequência de ensino-aprendizagem resultante.

O trabalho procurou definir um princípio de design relacionado ao Fluxo de modo a servir como princípio de desenvolvimento em outros contextos. Este princípio pretende ser um facilitador para aqueles que pretendam produzir sequências didáticas objetivando maior atenção à coesão presente nas conexões entre as atividades.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio e estrutura dados pelo Grupo de Atualização da Física Escolar - Grafie, pelo Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares - NuPIC, pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo - FEUSP, pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo - IFUSP, pela Technische Universität Dresden - TUD e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Fapesp.

Referências

- BACHELARD, G. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. **Contraponto** (traduzido por Abreu, E. S.), 1ª Edição. Rio de Janeiro, 1938.
- COLLECTIVE. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, v.32, n.1: p.5-8, 2003.

COLLINS, A.; JOSEPH, D.; BIELACZYK, K. Design Research: Theoretical and Methodological Issues. **The Journal of learning sciences**, v.13, n.1: p. 15-42, 2004.

KARAN, R. A.; PIETROCOLA, M. Habilidades técnicas versus habilidades estruturantes: resolução de problemas e o papel da matemática como estruturante do pensamento físico. **Alexandria (UFSC)**, v.2: p.181-205, 2009.

LJINSE, P. Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? **International Journal of Science Education**. v.26, n.5: p.537-554, 2004.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v.26, n.5: p.515-535, 2004.

OGBORN, J. Introducing relativity: less may be more. **Physics Education**, v.40:p.213 – 222, 2005.

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: p.23-48, 2000.

PIETROCOLA, M. A transposição da física moderna e contemporânea para o ensino médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: Regina Borges. (Org.). **Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica**. Porto Alegre: EDUC, p. 159-180, 2008.

PEREIRA, A.P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.14, n.3:, p. 393-420, 2009.

RUBY, L. Teaching Special Relativity Without Calculus. **The Physics Teacher**. California: University of California, 2009.

TERRAZZAN, E.A. A inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º Grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v.9, n.3: p.209-214, 1992.

VIENNOT, L.; CHAUVET, F.; COLIN, P.; REBMANN, G. Designing strategies and tools for teacher training: The role of critical details, examples in optics. **Science Education**, v.89, n.1: p.13-27, 2005.

ZANETIC, J. Física Também é Cultura. **Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo**. São Paulo. Tese de doutorado, 1989