

A PESQUISA BASEADA EM DESIGN: VISÃO GERAL E CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

The Design-based research: overview and contributions to science education

Fabiana Botelho Kneubil [fkneubil@gmail.com]

Departamento de Física

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Maurício Pietrocola [mpietro@usp.br]

Faculdade de Educação

Universidade de São Paulo

Av. da Universidade, 308 - Butantã, São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

A pesquisa baseada em design (DBR) envolve uma nova metodologia intervencionista que busca aliar aspectos teóricos da pesquisa em educação com a prática educacional. Na área de pesquisa em ensino de ciências, a DBR tem sido usada para planejar, implementar e avaliar sequências de ensino-aprendizagem (TLS) de conteúdos específicos. No presente artigo, apresentamos um quadro geral sobre a DBR e as TLS, descrevendo a metodologia envolvida. A partir de um olhar sobre a literatura disponível, entendemos que a metodologia DBR e os estudos envolvendo TLS são abordagens que podem contribuir com a construção e consolidação de conhecimentos didáticos específicos, ou mesmo mais gerais, relacionados com a prática docente e os processos de ensino e aprendizagem em sala de aula.

Palavras-Chave: Pesquisa Baseada em Design; Sequências de Ensino-Aprendizagem; Desenho Didático; Conhecimento Didático.

Abstract

The Design-Based Research (DBR) involves a new interventionist methodology that seeks to combine theoretical aspects of educational research to educational practice. In the research area of science education, the DBR has been used to plan, implement and evaluate Teaching-Learning Sequences (TLS) with specific content. In this article, we present a general framework on the DBR and TLS, describing the involved methodology. From a glance at the available literature, we support that both the DBR methodology and the studies involving TLS are potential approaches which can contribute to the construction and consolidation of specific didactic knowledge, or even, more general knowledge related to teaching practice and the processes of teaching and learning in the classroom.

Keywords: Design-Based Research; Teaching-Learning Sequences; Didactic Design; Didactical Knowledge.

INTRODUÇÃO

A temática da inovação de conteúdos curriculares tem aparecido de maneira recorrente nos últimos anos na literatura internacional na área de pesquisa em ensino de ciência. No início dos anos 2000 aparece uma série de artigos que visam tratar as inovações de conteúdo curriculares. Isto porque, segundo os autores destes trabalhos, as inovações de conteúdo são particularmente importantes no contexto dos currículos de ciências (Meheut & Psillos, 2004). Propõem que uma forma de tratar as inovações curriculares nessa área seria por meio de estudos em pequena e média escala de tempo, contrariamente às pesquisas mais tradicionais que envolvem estudos de longa duração (Kariotoglou & Tselfes, 2000).

Estas pesquisas se relacionam a emergência de projetos de atualização/renovação de currículos de ciências nos últimos anos, principalmente na Europa. Os trabalhos normalmente se propõem a avaliar o impacto de inovações curriculares (Pinto, 2002 e 2005; Ogborn, 2005; Piers, 2008; Chang et al., 2009;

Mansour, 2010; Kahveci, 2010). Tais projetos se organizam normalmente em torno de propostas visando inovações, sejam elas de conteúdo, metodologia, ou organização das atividades de ensino-aprendizagem. Muitas se dedicam a estudar o papel dos professores e de suas crenças (Couso & Pinto, 2009; Henze, I., Driel, J. H. V., & Verloop, N., 2007; Van Driel, J., Bulte, A., & Verloop, N., 2005; Viennot et al., 2005) durante processos de inovação.

O *International Journal of Science Education* dedica um número especial (volume 24, nº3) às pesquisas relacionadas ao projeto STTIS¹. A editora convidada, Roser Pintó, escreve da seguinte maneira sobre a importância da coletânea de trabalhos de pesquisa relacionadas ao projeto:

“O projeto STTIS pretende entender o processo de adaptação de professores de ciências às suas circunstâncias quando inovações específicas tem de ser implementadas. Em particular, a prática de instrumentos de informática nas salas de aula ou algumas novas imagens ou gráficos ou ainda algumas novas estratégias de ensinar conteúdos específicos.” (ibid, p. 228).

E mais adiante, uma das três áreas de atuação do projeto é descrita como a

“implementação de novas estratégias para alguns itens específicos de conteúdo e transformação de conteúdos quando ‘adotando’ novas estratégias de ensino” (p.229).

Uma conclusão razoável a esta avalanche de pesquisas ligadas ao tema inovação seria a resposta institucional de algumas nações ao que Fourez (2003) anunciava como a crise no ensino de ciências. Ou seja, governos cientes da fragilidade da educação científica que oferecem desenvolveram uma política de financiamento de projetos dedicados a investigar a inovação do ensino de ciências.

A característica mais importante deste tipo de pesquisa é a de se aproximar dos condicionantes das escolas e das práticas dos professores de ciências de modo a entender os limites e as possibilidades de propostas educacionais que gerem melhorias no ensino e na aprendizagem. Essas pesquisas podem ser entendidas como

“...uma pesquisa desenvolvimentista envolvendo o entrelaçamento do design, desenvolvimento e aplicação de sequências de ensino sobre tópicos específicos, usualmente não durando mais do que algumas semanas, em um processo cíclico evolucionário de clareamento pela riqueza dos dados de pesquisa.” (Meheut & Psillos, 2004, p.512).

Estes estudos tomaram por base teórico-metodológica o Design-Based Research - DBR que se definem como uma metodologia de pesquisa capaz de associar perspectiva teórica com aplicações educacionais práticas.

A PESQUISA BASEADA EM DESIGN

A pesquisa baseada em design é uma linha que surgiu na década de 1990 para desenvolver uma nova metodologia intervencionista que busca aliar aspectos teóricos da pesquisa com a prática. Essa linha de pesquisa foi introduzida na educação por Brown (1992) e Collins (1992) e, a partir deles, outros autores passaram a usar os termos assemelhados para definir seus próprios tipos de pesquisas, tais como *design experiment* (Brown, 1992), *developmental research* (Richey et al., 2004), culminando com o documento manifesto onde se introduz a terminologia que passou a identificar a linha de pesquisa como *design-based research* (DBR-Collective, 2003).

DBR-Collective (2003) define a DBR como uma pesquisa que combina empiricamente a pesquisa educacional teórica com ambientes de aprendizagem, sendo uma metodologia importante para a compreensão de como, quando e por que inovações educacionais funcionam (ou não) na prática. A metodologia DBR consiste numa espécie de gerenciamento de controle do processo de produção e implementação de uma inovação educacional em contextos escolares reais. Assim, a DBR pode ser considerada numa espécie de teoria sobre a metodologia e organiza de maneira coerente o processo de levar à sala de aula uma inovação curricular e/ou pedagógica.

¹ *Science Teacher Training in an Information Society*. Website acessível pelo endereço <http://crecim.uab.es/websttis/index.html>

A pesquisa baseada em *design* gerencia o processo como um todo, desde a ideia da inovação/criação até sua efetiva implementação em um ambiente real. Além disso, é essencial que haja uma análise do processo inteiro e não apenas do produto final, pois os resultados tirados dessa análise deverão ser incorporados na própria metodologia visando seu aprimoramento. Por isso, uma importante característica da DBR é seu funcionamento em ciclos, já que o que é aprendido de um primeiro design deve ser utilizado nos próximos designs. Collins, Joseph e Bielaczyc (2004) comparam a pesquisa DBR com o processo em indústrias de carro. Segundo eles,

"[...] experimentos de design foram desenvolvidos como uma forma de realizar uma pesquisa formativa para testar e aperfeiçoar projetos educacionais com base em princípios teóricos derivados de prévia pesquisa. Esta abordagem de refinamento progressivo em 'design' envolve a colocação de uma primeira versão de um projeto para o mundo ver como ele funciona. Em seguida, o projeto é constantemente revisado baseado na experiência, até que todos os erros sejam trabalhados. O refinamento progressivo na indústria de carros foi lançado pelos japoneses, que ao contrário dos fabricantes americanos de automóveis, atualizam seus projetos com frequência, ao invés de esperar anos por um modelo de transição para aperfeiçoar projetos passados. A abordagem é também a base do estudo das aulas japonesas, onde grupos de professores se reúnem para aperfeiçoar suas práticas de ensino." (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004, p.18, tradução nossa).

É importante ressaltar que, pelo caráter intervencionista que a metodologia DBR tem, ela promove uma ligação entre as dimensões teórica e prática, buscando fazer contribuições em ambas as dimensões. Van den Akker (1999) enfatiza que a inter-relação entre a teoria e a prática é muito complexa e dinâmica e que a aplicação direta da teoria muitas vezes não é suficiente para resolver alguns tipos de problemas relacionados à prática. Ele ainda afirma que *"sem o envolvimento cooperativo de pesquisadores e profissionais não é possível ganhar uma clareza sobre os problemas advindos da implementação e gerar medidas efetivas para reduzi-los"* (Van den Akker, 1999, p.9, tradução nossa).

Podemos representar, de maneira simplificada, a ideia da metodologia DBR como na Figura 1. O processo de implementação de uma inovação nasce de um desejo de aplicar algum princípio teórico (tomados como princípios de design na metodologia) a um ambiente real, que poderia, por exemplo, ser a sala de aula. O gerenciamento do processo inteiro é feito pela metodologia DBR, incluindo a implementação do produto desenvolvido no processo de design.

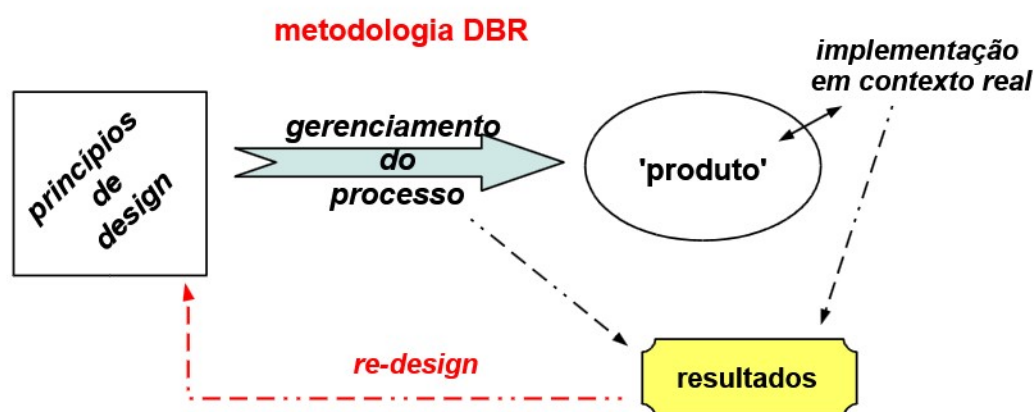


Figura 1 - Metodologia DBR

Os *princípios de design* estão associados a uma dimensão teórica do conhecimento e podem ter diferentes status. Para uma intervenção educacional, por exemplo, pode-se tomar como princípio aspectos de uma teoria de aprendizagem cognitivista ou ainda premissas epistemológicas sobre o conteúdo a ser aprendido e desenvolver um material ou um currículo para ser aplicado num ambiente escolar para reforçar, testar ou tirar algum resultado desses princípios. No caso da engenharia, pode-se tomar algum aspecto teórico da física dos materiais para desenvolver, por exemplo, uma peça de avião que resista à diferença de temperatura e pressão e submetê-la a situações reais. Para qualquer área do conhecimento, a metodologia DBR fornece ferramentas para gerenciar o desenvolvimento/*design* de um *produto*, aplicável numa situação real. Assim, essa metodologia possui interfaces com ambas as dimensões: a teórica e a prática. Em

resumo, os *princípios de design* norteiam o processo e fazem parte da dimensão teórica. Eles funcionam como *pilares* ou hipóteses fortes apoiadas em uma teoria qualquer. A metodologia DBR não se apoia em uma única teoria. Muito pelo contrário, ela pode adotar vários elementos de várias teorias de modo a eleger os princípios de design que irão nortear toda produção, implementação e avaliação. Por outro lado, o processo de *design* deve também ser subsidiado por informações de natureza mais concreta e real, ou seja, de natureza prática, pois se espera que o produto final seja o mais adequado possível a uma dada realidade.

O processo de desenvolvimento é feito, em geral, por uma equipe que, no contexto da educação é composta por pesquisadores da área e professores, que estão efetivamente nas escolas. A participação de professores no *design* é fundamental e torna o processo mais rico, pois eles trazem fatores da sua prática diária que podem ser levados em conta para uma melhor adequação daqueles princípios a um contexto específico onde o "produto" será implementado.

Sendo uma teoria sobre a metodologia, a pesquisa baseada em *design* pressupõe uma análise **sobre o processo** tanto quanto **sobre o produto**. Isso significa que usando a DBR para se desenvolver algum produto, aprende-se sobre o processo e produz-se, assim, **conhecimento**. A análise sobre o processo e sobre a implementação deve gerar conhecimentos que serão usados num *design* posterior. Esses resultados são incorporados na própria DBR e permitem reiniciar o ciclo através do re-*design*, o que torna a metodologia muito dinâmica. Collins, Joseph e Bielaczyc (2004) ressaltam que

"[...] a análise do processo leva ao refinamento no design, mas também alimenta um refinamento na teoria. A pesquisa em design deve sempre ter o objetivo duplo de aprimorar tanto a teoria² quanto a prática³. [...] Quando alguns aspectos do design não funcionam, a equipe de design, incluindo o professor, deve considerar diferentes opiniões para melhorar o design na prática e instituir mudanças no design tão frequentemente quanto necessário." (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004, p.19, tradução nossa).

Assim, a metodologia DBR oferece ferramentas para analisar um problema e gerenciar o desenvolvimento de intervenções. Ao final do processo, além dos produtos obtidos que podem ser materiais didáticos, estruturas curriculares, propostas de cursos, espera-se a construção de novos conhecimentos teóricos (Van den Akker, 1999; Wang & Hannafin, 2005; Edelson, 2002; DBR-Collective, 2003) e princípios que possam ser transferíveis para outros contextos onde se deseja promover uma intervenção.

A metodologia DBR é considerada muito abrangente e pode ser usada em muitas áreas do conhecimento com o objetivo de implementação de algum produto ou inovação. Na área de educação, ela pode ser empregada em estudos que investigam estratégias mais adequadas no uso de recursos educacionais, estudos relacionados a inovações curriculares ou que versam sobre a ação docente, entre outros. Como exemplo, Ramos (2010) analisou o processo de *design* de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino da medicina e da psicologia. Ela analisou um projeto que desenvolveu estratégias pedagógicas para superar o problema educativo do ensino tecnicista da saúde que prioriza a transmissão de grande quantidade de conteúdos, não valorizando a dimensão subjetiva do paciente do Instituto de Psiquiatria e da Faculdade de Medicina da UFRJ. Seu trabalho consistiu em compreender as fases de implementação do projeto, suas particularidades, especificamente, no que diz respeito à dinâmica do trabalho da equipe, e os fatores que influenciaram esse processo. Em outro estudo, Thein et al. (2012) empregaram a metodologia DBR para investigar o ensino de literatura em uma perspectiva multicultural. Os autores consideraram a experiência docente dos professores participantes na definição de princípios de *design*, e investigaram alguns aspectos relacionados ao desenvolvimento profissional dos professores. Outro estudo que pode ser citado, de natureza mais teórica, Wang e Hannafin (2005) buscaram identificar características da metodologia DBR que poderiam ser empregadas na pesquisa e no *design* de ambientes de aprendizagem assistidos por tecnologia, definindo alguns princípios de *design* que poderiam ser explorados e destacando desafios na implementação da metodologia DBR.

Especificamente no ensino de ciências, a metodologia DBR gerou uma sub-linha de pesquisa que leva em consideração a implementação de inovações curriculares vinculadas a conteúdos específicos. Essa sub-linha ficou conhecida como *Teaching-Learning Sequences* (TLS) que, a seguir, descrevemos alguns preceitos.

² Teoria aqui entendida como a dimensão Teórica do desenvolvimento, que contem o conhecimento adquirido no processo.

³ Aqui entendida como a dimensão prática do desenvolvimento, que contem os produtos.

AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS: TEACHING-LEARNING SEQUENCES

No contexto do ensino de ciências, a DBR tem sido usada para planejar, implementar e avaliar sequências de ensino-aprendizagem (*Teaching-Learning Sequences* – TLS) de conteúdos específicos de ciências. Essa iniciativa teve seu início na virada do século com pesquisadores que argumentavam que teorias gerais de educação e aprendizagem não eram suficientes para resolver problemas ligados à prática e garantir o sucesso no processo de ensino (Van den Akken, 1999; Lijnse & Klaassen, 2004). Esses autores enfatizaram que tradicionalmente na pesquisa em educação em ciências faltava o interesse em ampliar os resultados para além dos limites estritos das teorias gerais, deixando-se de lado o desenvolvimento de conhecimento didático de conteúdos específicos, esses que de fato seriam determinantes nas mudanças no ensino e na aprendizagem. Esses autores lamentam a fuga de pesquisas que pudessem focar o ensino de conteúdo específico, e afirmam haver uma lacuna no conhecimento sobre o ensino e a aprendizagem necessário ao *progresso didático* (Lijnse & Klaassen, 2004, p.538). Esse conhecimento poderia descrever e ajudar a entender o que ocorre em aulas de ciências, em termos de interações do professor, do aluno e de conteúdo específico. Seria, segundo estes autores, uma *teoria didática* que ajudaria a interpretar os fenômenos educacionais presentes em sala de aula.

Para caracterizar essa linha de pesquisa, baseada numa dimensão didática, Lijnse (2010) argumenta que, num passado distante, os educadores faziam seu ensino usando livros recém elaborados por desenvolvedores profissionais de currículos. Esses desenvolvedores de currículo, por sua vez, eram inspirados por pesquisadores em educação que tentavam entender e explicar a aprendizagem e o ensino formulando teorias de aprendizagem com implicações para o ensino. No entanto, o sucesso desta estratégia era muito limitado, pois se tentava entender e explicar a instrução de campos específicos, como a física e a biologia, em termos de ideias mais gerais, tiradas, por exemplo, de teorias como o construtivismo, como a semiótica das ciências cognitivas, etc. Do ponto de vista da didática, entretanto, essa estratégia prática não é suficiente, pois existia “*muita teoria e muito pouca ação*”, conforme Lijnse (2010) afirma.

Entre o nível teórico e a prática didática propriamente dita existe um nível intermediário deixado de lado pelos pesquisadores em ensino de ciências. Em geral, essa dimensão que envolve aspectos e situações reais de sala de aula é deixada para o professor. Para Lijnse (2010), a pesquisa baseada em *design* viria a preencher essa lacuna pela possibilidade de produção de conhecimento didático, relacionado a um conteúdo específico. A figura 2 ilustra essa ideia.

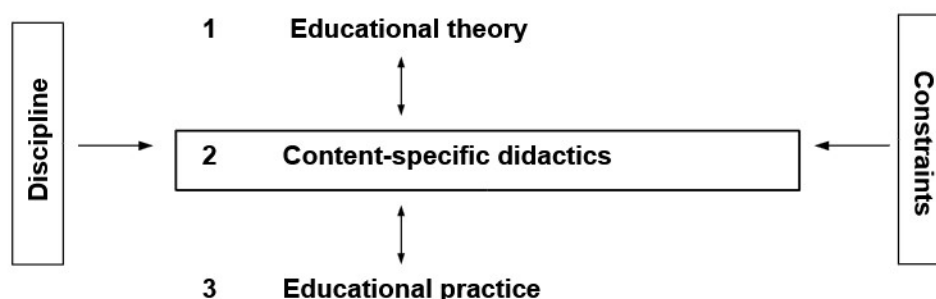


Figura 2 - Dimensão didática do conhecimento - extraída de Lijnse (2010, p.145). Tradução: Nível 1: teoria educacional, nível 2: conteúdo didático específico (disciplina e limitações) e nível 3: prática educacional.

O nível 2 da figura é o ‘gap’ sugerido pelos autores a ser preenchido pela dimensão didática. Ele envolve estratégias e conhecimentos educacionais relacionados a conteúdos específicos de uma disciplina e, por isso, limitados a esse conteúdo.

A partir dessas ideias, vários pesquisadores europeus têm se dedicado a produzir sequências didáticas, argumentando que a produção de atividades direcionadas à sala de aula de um tema específico é um tipo de pesquisa de desenvolvimento, envolvendo uma inter-relação entre projeto, desenvolvimento e aplicação de sequências de ensino sobre um assunto, geralmente destinado às poucas semanas, num processo cíclico evolucionário ilustrado por ricos dados de pesquisa (Lijnse, 1994, 1995).

Eles ainda criticam a restrição do número de trabalhos dedicados a desenvolver conhecimento didático de tópicos específicos e definem a noção de qualidade didática afirmando que:

"[...] embora conceber a melhor maneira de ensinar um tópico seja uma ilusão, nós acreditamos que alguns caminhos são melhores do que outros; e então seria importante buscar evidências sobre o 'como' e sobre o 'por que' " (Lijnse & Klaassen, 2004, p.538, tradução nossa).

Embora o termo 'sequência de ensino-aprendizagem' tenha sido usado no passado em pesquisas de caráter investigativo, acerca da aprendizagem cognitiva de alunos e professores, nessa atual linha TLS, o termo agora é utilizado para denotar uma estreita ligação entre o ensino proposto e a aprendizagem do estudante esperada, com uma característica distinta de ser uma pesquisa inspirada em uma sequência orientada por um tópico específico de conteúdo (Méheut & Psillos, 2004). Deste modo, uma TLS é tanto uma atividade de pesquisa intervencional como um produto, que inclui atividades desenvolvidas de ensino-aprendizagem empiricamente adaptadas ao raciocínio dos estudantes e a um contexto real de sala de aula.

O desenvolvimento de uma TLS pode ser baseado em princípios de design diversos, tais como, a concepção dos estudantes, as características restritas do conteúdo específico, suposições epistemológicas, perspectivas de aprendizagem, abordagens pedagógicas e características do contexto educacional e mesmo uma combinação delas. Ao final do processo, espera-se obter resultados que contribuam para um corpo de conhecimento na dimensão didática, conforme Lijnse (2010) afirma existir e haver uma lacuna a ser preenchida (imagem ilustrada na figura 2).

No Brasil, algumas pesquisas têm se alinhado com as *Teaching and Learning Sequences*, valendo-se do referencial DBR. Pietrocola (2010) descreve as pesquisas realizadas no *Núcleo de Pesquisa em Inovação Curricular* – NUPIC, que se pretenderam atualizar os currículos de física por meio da introdução de conteúdos de teorias modernas e contemporâneas. Dentre elas, encontram-se os trabalhos de Lawall et al. (2009), Rodrigues et al. (2012), Siqueira et al. (2007), Pietrocola (2005), Azevedo et al. (2006). Também as teses e dissertações de Azevedo (2007), Brockington (2005), Siqueira (2006), Souza (2006), Pessanha (2014), Kneubil (2014) e Forato (2009).

Rêgo e Ferreira (2013) fazem um levantamento sobre a produção científica nacional em ensino das ciências relacionadas às TLSs e concluem:

"Consideramos, inicialmente, que houve avanço na produção da pesquisa científica brasileira nos últimos anos. No entanto, em relação à tendência que estamos investigando fica evidente que o surgimento dessa área de pesquisa ainda é muito recente. Isso pode ser o reflexo de que o surgimento dessa área de pesquisa ainda é muito recente. Os dados demonstram claramente que o número ainda reduzido de publicações na área, revela que os grupos de pesquisa tem uma formação muito recente, em distintos programas de pós-graduação no Brasil." (Rêgo & Ferreira, 2013, p.3252).

O PAPEL DO PESQUISADOR

Na pesquisa baseada em design, o papel do pesquisador é diferente daquele que é comum na pesquisa educacional tradicional. Neste último caso, na maioria das vezes o investigador é primariamente um observador externo e intérprete do que está acontecendo nas salas de aula. Na DBR, por outro lado, ele é um participante ativo do projeto. Ele não é apenas o que estuda o que está acontecendo do lado de fora, mas é o primeiro a moldar seu objeto de dentro do processo. Na verdade, ele realiza um experimento de ensino, no qual ele é responsável pelo design didático, pela formação de professores, pelos testes, pela implementação e assim por diante. Como consequência, o principal resultado desta pesquisa é o processo de aprendizagem do conhecimento didático relativo aquele conteúdo 'alvo' de ensino. O pesquisador deve ter conhecimento sobre as abordagens didáticas usuais a respeito daquele tema e, também, da literatura relevante e ideias teóricas que ele quer aplicar. Além disso, ser capaz de desenvolver e justificar uma nova abordagem didática e, acima de tudo, projetar uma sequência de ensino de tal forma que os professores sejam capazes e dispostos a colocar suas ideias em prática como deveria (Lijnse, 2010, p.146). Em resumo, o pesquisador tem o papel de gerenciar o processo como um todo, desde a criação de uma ideia inovadora até a sua implementação efetiva no contexto real.

Mas diferentemente da pesquisa educacionais participativas, onde o professor se torna pesquisador de sua própria prática, aqui o pesquisador, em geral, não adentra a sala de aula como o professor implementador. Embora não haja um impedimento metodológico, o lugar onde o pesquisador melhor

contribui com o '*developmental design*' é tendo papel ativo na elaboração e avaliação das sequências didáticas.

No desenvolvimento de uma TLS, o pesquisador deve levar em consideração os elementos: professor, alunos, mundo material e o conhecimento científico. Méheut e Psillos (2004) propõem um modelo que negocia esses elementos através de duas dimensões, uma pedagógica e outra epistêmica, conforme mostramos na figura 3. A dimensão epistêmica relaciona os conteúdos científicos da sequência didática, os problemas oriundos do mundo material que fundamentaram a prática científica e o contexto histórico. Considera ainda os processos de elaboração, os métodos e a validação do conhecimento científico e sua significação com o mundo real. A dimensão pedagógica leva em conta os aspectos relacionados ao papel do professor, às interações entre professor-aluno e aluno-aluno, bem como às restrições do próprio funcionamento da instituição de ensino por meio de programas, cronogramas, dentre outros.

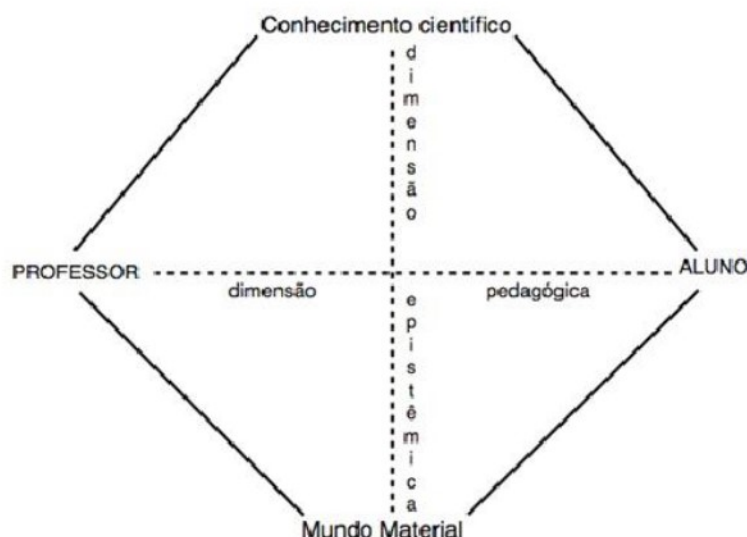


Figura 3 - Losango didático, adaptado de Méheut e Psillos (2004, p.517).

Os autores ainda enfatizam que no processo de *design* de uma TLS várias questões emergem sobre as situações de ensino-aprendizagem, problemas, atividades, decisões tomadas pela variedade de considerações incluindo análise do conteúdo, epistemologia, concepções e motivações dos estudantes, teorias de aprendizagem e pedagógicas e restrições educacionais. Essas questões motivam a pesquisa e acabam por gerar resultados que deverão fazer parte de um conhecimento pertencente à dimensão didática, relativo, portanto, a um conteúdo específico.

Kattmann et al. (1995) trabalham em uma perspectiva semelhante, apresentando um modelo por eles intitulado de *reconstrução educacional*. Neste modelo, os conteúdos científicos didáticos são sustentados por um processo que ele chama de *elementarização* das ideias centrais a serem ensinadas. Para ele, as principais características da reconstrução educacional é que a análise do conteúdo de ciência leva em conta não apenas as dimensões epistêmicas, mas também o contexto, as aplicações e implicações éticas e sociais. Ademais, o seu modelo considera uma estrutura do conceito de ciência com base no significado educacional do conteúdo em questão e os estudos empíricos do processo de aprendizagem dos estudantes, pois as concepções dos estudantes são relevantes nessa perspectiva de reconstruir educacionalmente um conteúdo da ciência.

Assim como a ideia de reconstrução educacional, várias outras perspectivas de pesquisa poderiam ser citadas tendo relação com o processo de elaboração, implementação e avaliação de sequências didáticas. Artigue (1988), por exemplo, desde os anos 80, desenvolve estudos sobre os condicionantes que permitem que conceitos, princípios, representações e demais conteúdos matemáticos sejam ensinados/aprendidos. Ela define esse processo em termos de *engenharia didática*, cujo modelo propõe que o *design* de uma sequência didática leve em consideração a resolução de problemas, que Artigue (1988, 1994) chama de *learning by problem-solving* (aprendizagem por resolução de problemas). Ela ainda sugere que uma análise a priori deva ser feita sobre três dimensões: *epistemológica*, sobre o conteúdo a ser ensinado e sua origem histórica; *psico-cognitiva*, sobre as características cognitivas dos estudantes; e *didática*, sobre o funcionamento da instituição de ensino.

CARACTERÍSTICAS DE UM TLS

O processo de desenvolvimento de TLS (*Teaching-Learning Sequences*) envolve, basicamente, 5 etapas: a seleção do tema e proposição dos princípios de design, o design propriamente dito, a implementação, a avaliação e o re-design. Essas etapas são gerenciadas por uma equipe de pesquisa composta por especialistas e professores da instituição escolar onde acontecerá a implementação.

i) Seleção do tema/proposição dos princípios de design

A seleção do tema pode ser motivada por diferentes perspectivas, tais como a melhoria da qualidade do que se ensina e a aprendizagem dos alunos. Particularmente, a expectativa de inserir algum tipo de inovação no ensino de determinada área científica tem sido a motivação de várias das pesquisas nessa tradição do ensino de ciências europeu. Tal inovação pode ser tanto de natureza didática, ou seja, uma inovação em relação à forma e à maneira como se ensina e aprende determinado conteúdo curricular, quanto de natureza científica, isto é, a inserção de um tema científico que tradicionalmente não é abordado em determinado nível de ensino.

Os princípios de *design* são os norteadores da elaboração da intervenção que será produzida na etapa do *design*. Embora a pesquisa DBR tenha uma forte ênfase metodológica, não há como desconsiderar o papel de pressupostos teóricos na definição 'do que' e 'de como' será ensinado. São estes pressupostos teóricos, os princípios de *design*, que servem de base no planejamento de uma intervenção, podendo ser epistemológicos, didáticos, axiológicos, de aprendizagem ou, ainda, uma combinação deles. Existe uma forte ligação entre o tema selecionado e os princípios de *design*, pois ambos precisam estar harmonizados de modo a ser possível produzir uma intervenção coerente.

Na área de ensino de física, por exemplo, esforços têm sido feitos no sentido de analisar estratégias e recursos úteis à inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do ensino médio. Os conteúdos do currículo brasileiro de física são sugeridos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e, na prática, tem abrangido em sua maioria, conteúdos de física clássica. Por muitas décadas, os professores brasileiros têm ensinado tais conteúdos, o que gera um acúmulo de experiências e resultados didáticos advindos da prática docente em relação a apenas estes temas, como por exemplo, os de mecânica newtoniana. Com essas vivências repetidas de gerações e gerações de professores, o conhecimento relacionado à prática (que pertence à dimensão didática) de ensino de mecânica é bem estabelecido. O corpo de conhecimento em educação relativo aos conteúdos clássico se desenvolveu ao longo de muitas décadas. Por isso, encontramos muitos tipos de pesquisa sobre os conteúdos tradicionais, tais como concepções espontâneas, obstáculos epistemológicos, perfil epistemológico, concepções alternativas, dificuldades de aprendizagem, etc. Com isso, dificilmente um pesquisador na área de ensino fará uma sequência didática sobre, por exemplo, leis de Newton, já que a motivação e necessidade atuais são para desenvolver um conhecimento didático de conteúdos inovadores.

Os temas das TLS podem ser, portanto, diversos. No quadro 1, apresentamos alguns exemplos de temas de sequências didáticas produzidas baseadas na metodologia DBR.

Quadro 1- Exemplos de TLS

Referência	Tema	Contexto / público alvo
Arriasecp e Greca (2010)	Relatividade Especial	Argentina / alunos EM
Buty e Tiberguien (2004)	Óptica	França / alunos EM
Méheut (2004)	Modelo de Partículas	França / alunos EM
Psillos, Tselfes e Kariotoglou (2004)	Fluídos	Grécia / alunos EM
Kabapinar, Leach e Scott (2004)	Solubilidade	Turquia / alunos EM
Komorek e Duit (2004)	Sistemas não-lineares	Alemanha / alunos EM
Nicolau Junior (2014)	Paradoxo dos Gêmeos	Brasil / alunos EM
Hernández e Pintó (2012)	Propriedade acústica	Espanha / alunos EM

	dos materiais	
Colombo Jr (2014)	Física solar	Brasil / alunos EM
Kneubil (2014)	O conceito de Massa: de Newton a Higgs	Brasil / professores de física
Pessanha (2014)	Estrutura da matéria	Brasil/ alunos EM
Rodrigues e Ferreira (2011)	Estados da matéria	Brasil / alunos EM

ii) Design

O desenvolvimento da intervenção, neste caso da TLS, é feito nessa etapa chamada *design*. Nesse processo, uma equipe é formada para realizar o *design*, que pode durar alguns meses. A equipe é composta por especialistas, profissionais da educação (em geral professores de ciência do nível ao qual a TLS se destina), estudantes de pós-graduação, etc. Um ou mais professores participantes da equipe de pesquisa é designado para ser o “professor implementador” da sequência.

Não existe uma regra específica para a implementação, no entanto, é desejável que o professor implementador participe dessa etapa do processo, pois o *design* é considerado também uma preparação ao processo de implementação. Além disso, é uma oportunidade do professor participar da produção do material, colaborando com ideias e estratégias que ele julgue serem pertinentes àquele contexto. No caso das TLSs elaboradas no *Núcleo de Pesquisas em Inovação Curricular* (NUPIC) da Faculdade de Educação da USP, professores da rede pública participavam ativamente do design e da implementação das sequências didáticas. (Pietrocola & Oliveira, 2005; Brockington et al., 2008).

Uma característica importante dessa etapa é o *design* ser norteado por *princípios de design* estabelecidos anteriormente (ver item anterior). Esses princípios funcionam como *pilares teóricos*, ou hipóteses, sobre as quais a TLS se apoia enquanto é produzida. Eles representam um conhecimento já disponível e que será usado como fio condutor do processo de didatização. Por exemplo, Hernández (2012) desenvolveu uma sequência didática sobre propriedades acústicas dos materiais partindo de alguns princípios de *design*, entre os quais podemos destacar: (i) o processo de modelização desempenha um papel central no entendimento da ciência por relacionar a descrição de objetos e eventos do mundo material para o mundo das teorias e modelos; (ii) a contextualização e a problematização do conteúdo a ser aprendido, promove nos alunos uma significância do que é ensinado. Pode-se perceber que o primeiro princípio é de natureza epistemológica e o segundo, didática. Estes princípios, entre outros, guiaram o *design* da TLS desenvolvida e apresentada pela autora.

Os princípios de *design*, por estarem numa dimensão teórica do processo de produção da TLS, são muito gerais, não estando relacionados a um conteúdo específico, isto é, eles não estruturam ou ditam formas para que a TLS seja desenvolvida. Por isso, além deles, é necessário também estabelecer *objetivos específicos* que deverão ser cumpridos com aquela proposta de TLS. Esses objetivos têm um status menos teórico-abstrato e se relacionam ao conteúdo específico, devendo estar presentes no processo de *design*. Eles são os primeiros a darem uma forma de abordagem daquele conteúdo. Os objetivos específicos podem ser relacionados também às habilidades que se pretende desenvolver com aquela sequência. Em geral, os objetivos são definidos com **verbos** ou **ações** que a TLS deve promover como, por exemplo, **mostrar** como o som se propaga dentro da matéria, **distinguir** as características inercial e gravitacional da massa, **aprofundar** no significado da relação massa-energia, etc.

É interessante notar que os objetivos específicos são traçados pela equipe de pesquisa e refletem um desejo que ela tem de inserir/ensinar um aspecto particular daquele conteúdo. Assim, é possível produzir duas ou mais TLS completamente diferentes, porém, com o mesmo tema e com os mesmos princípios de *design*. A diferença entre elas está nos objetivos traçados que, de uma certa forma, acabam por delinear a intervenção. Por exemplo, é possível existirem duas TLSs baseadas nos princípios de *design* de Hernández (2012), citados acima. As duas sequências seriam sobre propriedades acústicas do som, porém, uma com o objetivo de mostrar a propagação do som dentro da matéria e outra com o objetivo específico de entender como se dá a reflexão do som nos materiais.

Assim, a proposição do tema e os princípios de *design* somados aos objetivos específicos são estabelecidos no início do processo e alimentam a etapa de *design*. Ao final desta etapa, é esperado que o

grupo tenha desenvolvido um produto, ou seja, um material didático concreto com uma série de instruções para o professor implementador. Esse material pode ser considerado uma espécie de guia para o professor, contendo um roteiro da sequência didática inteira, os objetivos específicos, os conteúdos abordados, as atividades sugeridas para os alunos, outras leituras, gabaritos, além de comentários sobre aspectos a serem valorizados, formas de abordagem, etc. Esse material pode, inclusive, ser disponibilizado para que outros professores o utilizem⁴, mesmo aqueles que não tenham participado do *design*.

Se a metodologia da TLS parasse nessa etapa, ela seria comparável a uma editora onde se produz material didático. No entanto, ela é uma metodologia aplicada à pesquisa e, por isso, as outras etapas são essenciais para gerar os resultados advindos da implementação e novos conhecimentos pertencentes à dimensão didática.

As etapas do processo de confecção de uma TLS podem ser melhor entendidas por meio de um esquema, como o apresentado na figura 4. A etapa seguinte ao *design* é a implementação.

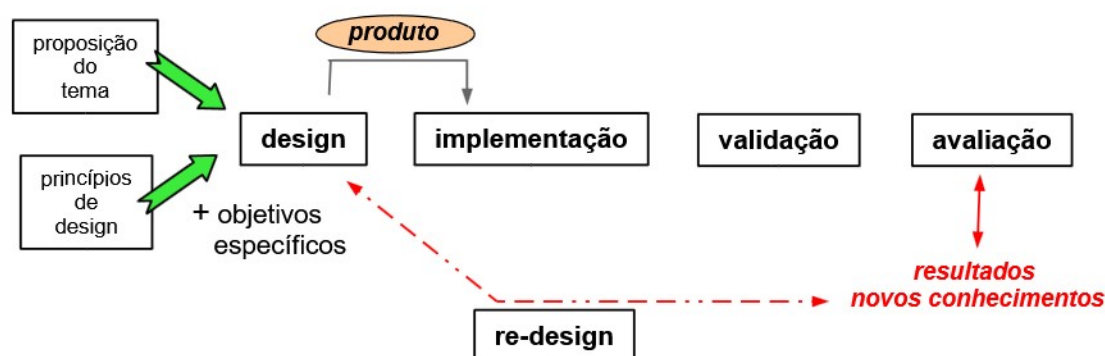


Figura 4 - Etapas do processo de design

iii) Implementação

A implementação da sequência produzida deve ser feita por um ou mais professores, participante ou não da etapa de *design*. Ter sido participante da etapa do design acaba sendo extremamente positivo para o processo como um todo. Em particular, a futura avaliação da TLS ganha em qualidade quando o professor aplicador teve a oportunidade de participar do *design*. O tempo que o processo de *design* dura é, na verdade, um tempo para aquele professor se preparar e se apropriar das ideias e objetivos da TLS. Ele é um protagonista real do sistema de ensino que fará parte da inovação proposta e, por isso, deve ser preparado de maneira adequada para essa implementação. Além disso, a intenção desse preparo também é transformar a TLS em objeto de análise. Ou seja, considerando que o professor implementador domine aquele conteúdo e tenha se preparado bem, a avaliação do sucesso ou fracasso do processo se limita apenas à avaliação da TLS e das estratégias de ensino incorporadas nela.

Essa etapa é muito importante na TLS, pois ela pode gerar todo o material que se transformará em dados para a análise. Por isso, a coleta de dados não pode ser tratada sem cuidado na etapa da implementação. A questão de fundo, colocada anteriormente, deve nortear a coleta de dados e a análise e, dependendo da sua natureza, qualitativa ou quantitativa, instrumentos de avaliação complementares devem ser buscados em referenciais externos com outras metodologias.

iv) Avaliação

As três etapas anteriores dão o caráter de *produção*, baseada em resultados existentes de pesquisa. Contudo, a etapa de avaliação da TLS é feita com base nos objetivos traçados inicialmente e nos princípios de *design*. De maneira geral, pretende-se avaliar se a TLS produzida é fiel aos princípios definidos e se atende aos objetivos pretendidos. Um parâmetro importante nessa avaliação também é se a implementação transcorreu de modo que os resultados se aproximaram do que era esperado, em termos de ensino e aprendizagem obtidos.

⁴ Isso acontece, por exemplo, com todos os materiais produzidos pelo NUPIC, os quais podem ser acessados em <http://www.nupic.fe.usp.br>.

A avaliação está fortemente relacionada a três dimensões: a validade, a efetividade e a praticidade da sequência. Van den Akker (1999) define estes três conceitos como critério de qualidade de uma sequência, dizendo que a

“validade refere-se ao grau em que o projeto de intervenção se baseia no conhecimento (estado da arte do conhecimento), e em que vários componentes da intervenção estão constantemente ligados uns aos outros (validade de constructo) e pode adequadamente ser avaliada por peritos em avaliação. Praticidade refere-se ao grau com que os usuários (e outros especialistas) consideram a intervenção atraente e utilizável para condições “normais”. Eficácia refere-se ao grau em que as experiências e os resultados da intervenção são consistentes com os objetivos pretendidos.” (Van den Akker, 1999, p.10, tradução nossa).

Consequentemente, a qualidade de uma sequência depende de uma especificação e deve levar em conta uma *coerência interna* entre o *design*, os princípios de *design*, a percepção da equipe de *design* e do professor implementador e a atuação dos estudantes durante a implementação.

Essa etapa do processo está intimamente relacionada à coleta de dados que serão analisados visando o *re-design*. Durante o processo de *design* é necessária a elaboração de instrumentos de avaliação para serem aplicados durante a implementação da TLS. Esses instrumentos devem ser criados baseados no objetivo principal da TLS, uma vez que a sequência deve ser avaliada em relação a ele.

Méheut e Psillos (2004) sugerem dois tipos de avaliação, uma anterior à implementação e outra posterior. Eles chamam de avaliação *interna* e *externa*, respectivamente. A eficácia da abordagem pode ser verificada através da comparação destes resultados com os obtidos pelos mesmos alunos antes da sequência (avaliação interna) ou com os resultados de um grupo de alunos considerado do mesmo nível e que não tenham participado da mesma sequência. O objetivo da avaliação interna (posterior) é testar a eficácia da sequência em relação aos objetivos iniciais e a avaliação externa permite verificar se o trabalho feito em conjunto com os alunos é mais eficaz do que outros tipos de ensino tomado como referência.

Nicolau Junior (2014) desenvolveu uma TLS sobre o paradoxo dos gêmeos baseada na ideia de *fluxo*. O encadeamento dos conceitos e a inserção das atividades desenhadas na sua TLS tem a finalidade de garantir que os alunos entendam o enredo global da sequência. Para isso, ele analisou o encadeamento das atividades e desenvolveu *instrumentos de fluxo*, entre eles uma *filipeta* que foi aplicada ao final de cada atividade da sequência. Essa ideia foi testada no processo de *design* da sua TLS e se constitui num resultado de pesquisa. Portanto, a *ideia de fluxo* pode ser transferida para outras sequências e outros contextos e não o fluxo específico do paradoxo dos gêmeos.

Linjse e Klaassen (2004) desenvolveram uma TLS sobre radioatividade e pensaram em focar não apenas no aprendizado dos estudantes, mas também no do professor. Para eles, o caminho conceitual (organização das ideias) inter-relacionado com a motivação para com o conteúdo são refletidos e sintetizados no que eles chamam de *estrutura didática* de um determinado tópico. Essa estrutura é um resultado de pesquisa e sua transferibilidade reside no fato de que ela fornece uma forma de pensar que pode também ser aplicada ao desenvolvimento de uma estrutura similar para o ensino de outros tópicos. Para os autores, um relatório adequado sobre o processo pode ser considerado o principal resultado científico da pesquisa didática deles, no sentido que esse relatório deveria refletir um progresso no conhecimento didático, que é fundamentado tanto teoricamente quanto suportado empiricamente (Linjse & Klaassen, 2004, p. 541).

Assim, a avaliação de uma TLS está relacionada com os objetivos iniciais e com questões de pesquisa que nortearam o processo como um todo. Pessanha (2014), no desenvolvimento de sua sequência didática sobre estrutura da matéria, buscou identificar os obstáculos de aprendizagem que aparecem no ensino deste tema, baseado na teoria das situações didáticas de Brousseau. Outro resultado de avaliação advindo de uma implementação que pode ser citado é o da pesquisa feita por Kneubil (2014), que levantou cinco habilidades requeridas a um professor para ensinar tópicos de relatividade. De acordo com suas questões de fundo, a implementação da sua sequência didática teve como objetivo analisar a atuação do professor implementador e identificar estas habilidades, que são necessárias para lidar com conteúdos inovadores.

Assim, a etapa de avaliação da metodologia TLS é muito importante para gerar o conhecimento didático, pois ele é resultado de natureza prática-didática, aliado ao conteúdo, advindo da implementação e, conforme dita a própria metodologia, deve ser incorporado num próximo *design*, o *re-design*, para futuras implementações.

v) Re-design

Essa última etapa da TLS consiste em fazer um *re-design*, ou seja, re-projetar, re-planejar a TLS com base na avaliação feita. Essa etapa é posterior à avaliação e só pode ser executada após a análise do material coletado durante a implementação. Esse material pode ser bastante diversificado, tal como atividades escritas pelos alunos, gravação das aulas e entrevistas com alunos e o professor aplicador.

O processo de implementação deve ser analisado com foco no sucesso e fracasso das atividades e estratégias didáticas inseridas na TLS. Após essa análise, espera-se que as alterações necessárias sejam feitas para uma nova implementação. Por isso, o processo é cíclico, também chamado de *processo iterativo*, podendo ser implementado inúmeras vezes. O conhecimento didático deve ser gerado após a implementação da TLS quantas vezes forem necessárias. Claro que essa necessidade é vinculada à questão de pesquisa e aos objetivos iniciais.

As alterações e o redesenho da TLS podem ser considerados como sugestões para uma próxima implementação. Assim, o redesenho assemelha-se a um *manual preventivo*, alertando o professor, para as futuras implementações, de dificuldades e obstáculos que aparecem em sala de aula, tanto em relação ao conteúdo, como em relação à aprendizagem dos alunos e à dificuldade do professor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A DBR enquanto metodologia de pesquisa e intervenção educacional traz a vantagem de se aproximar dos problemas reais oriundos do campo escolar. A possibilidade de tratar problemas como a atualização curricular, o ensino-aprendizagem de conteúdos inovadores ou outras novas demandas no campo do social fazem dela uma poderosa ferramenta de pesquisa.

Sua força e ao mesmo tempo sua fraqueza residem na ambição de tratar os “fenômenos” educacionais em seu *locus* de origem, lidando com os elementos a ele relacionados, como a escola, a sala de aula, os currículos reais, a relação aluno-aluno, aluno-professor, etc. Por isto, muitas vezes é difícil separar o aspecto pesquisa do aspecto intervenção, produto do processo, conhecimento didático das estratégias didáticas obtidas. Tais pares são vistos como partes de um mesmo todo e as dificuldades em um pólo se manifestam como dificuldades em outro.

Desta forma, pesquisa DBR se distingue da pesquisa tradicional ao **definir** um cenário/contexto de implementação. Esse cenário, embora seja inédito por trazer aspectos do ensino-aprendizagem ainda em processo de validação, tem um caráter totalmente real, porque se trata de uma implementação em ambiente naturalizado, ou seja, a escola ou a sala de aula. Ao implementar a sequência de ensino, esse cenário se apresenta como um terreno fértil para a pesquisa, pois é nele que se apoiam as observações e interpretações sobre o processo. É a partir desse contexto/cenário que são extraídos os dados de pesquisa. Essa característica é a que preenche a dimensão prática-metodológica do ensino de ciências e, portanto, faz a ponte entre a teoria em educação e a sala de aula.

Do ponto de vista prático, desenvolver um projeto de pesquisa com base na metodologia DBR exige também um esforço organizacional. As equipes em geral são numerosas, visto haver a necessidade de abarcar os diversos aspectos do contexto real sob o foco da pesquisa. A participação de profissionais da educação, em especial professores, acaba por ser fundamental. A tradição de pesquisa educacional tem incluído esses profissionais como coparticipantes ou implementadores, na medida em que a pesquisa ocorre em suas salas de aula e em suas escolas.

Além disso, existe uma série de barreiras institucionais para que tais profissionais possam de fato integrar as equipes de pesquisa. Um problema que pode parecer pequeno diz respeito à necessidade de reuniões que, em geral, acontecem nas universidades e centros de pesquisa. Muitos professores não tem espaço na sua grade horária profissional para este tipo de atividade, o que obriga o professor a fazer este tipo de atividade em suas horas de lazer/descanso e sem remuneração. No entanto, os resultados obtidos pagam os esforços de viabilizar uma equipe de multi-especialistas, pois o conhecimento e os produtos didáticos obtidos se vinculam ao ambiente natural de onde emergiram os problemas que motivaram a pesquisa.

Especificamente na linha TLS, a avaliação dos produtos, ou seja, das sequências didáticas produzidas, está interligada aos princípios de *design*, os objetivos iniciais e, principalmente, com a(s) **questão(ões) de pesquisa** que motivaram a sua elaboração. As questões de pesquisa devem estar bem

claras no início do processo e servem como referência em relação a toda e qualquer uma das etapas da TLS e não apenas em relação à aprendizagem dos alunos. A aprendizagem dos alunos é apenas mais um dos possíveis aspectos a ser investigado. Isto implica que, se a pergunta de pesquisa que norteará a TLS está centrada na capacidade do professor em lidar com novos conteúdos científicos em sala de aula, é aceitável que a aprendizagem dos alunos seja um aspecto de menor importância nas análises. Não se pretende com isso sugerir que se pode descartar a aprendizagem, mas que a aprendizagem estará sendo considerada dentro da perspectiva definida pela questão de pesquisa. Ainda porque a aprendizagem ocorre em várias dimensões, embora muitas vezes a consideremos apenas em relação à aprendizagem de conteúdos e habilidades conceituais.

O conhecimento didático produzido numa TLS se transforma em produto passível de ser transferido para outros pesquisadores e professores. Na verdade, a avaliação e interpretação dos resultados, com base na questão de pesquisa, gera um novo conhecimento didático que é transferido para outros contextos. Embora cada situação educacional seja singular, o conhecimento didático produzido sobre elas alimenta um repositório de saberes que auxiliarão pesquisadores e professores a lidar com a difícil tarefa de educar.

As pesquisas em ensino de ciências teriam vários benefícios em adotar a metodologia DBR/TLS. Simplificar, isolar, limitar ou mesmo idealizar a situação de ensino a ser estudada, implica em fazer desaparecer o problema original que motivou a pesquisa. Nestas situações, devemos parar e pensar se não é melhor nos mantermos alinhados com o problema original em toda sua complexidade. Substituir o problema real por uma miragem abarcada pela pesquisa pode acabar sendo uma armadilha na qual troca-se o primordial pelo disponível e corre-se o risco de, ao final, não termos satisfeito nossas pretensões como educadores.

REFERÊNCIAS

- Arriasecq, I., & Greca, I. M. (2010). A teaching-learning sequence for the Special Relativity Theory at high school level historically and epistemologically contextualized. *Science and Education*, 21(3), 827-851. DOI:10.1007/s11191-010-9231-5
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des Mathématiques*, 9(3), 281-308.
- Artigue, M. (1994). Didactical engineering as a framework for the conception of teaching products. In Biehler, R. E. A. *Didactics of Mathematics as a Scientific Discipline*. (pp.27-39). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Azevedo, M. C. P. S. (2007). *Ensino de Física: entendendo a construção de atividades de ensino (SP)*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
- Azevedo, M. C. P. S., Andrade, R., & Pietrocola, M. (2006). O Ensino de Física: Busca de parâmetros para análise de situações em sala de aula. In *Anais do X EPEF - Encontro de Pesquisa e Ensino de Física*. Londrina, PR. Recuperado de <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/oensinodefisicabuscadepa.trabalho.pdf>
- Brockington, G., Gurgel, I., Siqueira, M., Forato, T. C. M., Azevedo, M. C. P. S., & Ueta, N. (2008). Pietrocola, M. A project to update the physics curriculum in the secondary school in Brazil. In *Girep conference*. Nicosia: Cy. Recuperado de <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/ComprehensiveView.htm>
- Brockington, J. G. (2005). *A realidade Escondida: representações físicas do microcosmo para estudantes do ensino médio (SP)*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Brown, A. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Science*, 2(2), 141-178. DOI:10.1207/s15327809jls0202_2
- Buty, C., & Tiberguien, J-F. M. (2004). Learning hypotheses and an associated toll to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604. DOI:10.1080/09500690310001614735
- Chang, C. Y., Chang, Y. H., & Yang, F. Y. (2009). Exploring Secondary Science Teachers' Perceptions on the Goals of Earth Science Education in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2315-2334. DOI:10.1080/09500690802314868

- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In Scanlon, E., & O'Shea, T. (Orgs.). *New directions in educational technology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Collins, A., Joseph, D.; & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42. [DOI:10.1207/s15327809jls1301_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2)
- Couso, D., & Pinto, R. (2009). Analisis del contenido del discurso. *Enseñanza De Las Ciencias*, 27(1), 5–18.
- DBR-Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. [DOI:10.3102/0013189X032001005](https://doi.org/10.3102/0013189X032001005)
- Edelson, D. C. (2002). Design research: what we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Science*, 11(1), 105-121. [DOI:10.1207/S15327809JLS1101_4](https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4)
- Forato, T. C. de M. (2009). *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. (Tese de Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-24092009-130728/pt-br.php>
- Fourez, G. (2003). Crise no Ensino de Ciências? *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 109-123.
- Henze, I., Driel, J. H. V., & Verloop, N. (2007). Science Teachers' Knowledge about Teaching Models and Modelling in the Context of a New Syllabus on Public Understanding of Science. *Research in Science Education*, 37(2), 99–122. [DOI:10.1007/s11165-006-9017-6](https://doi.org/10.1007/s11165-006-9017-6)
- Hernández, M. I. (2012). *Desenvolupament iteratiu d'una seqüència d'ensenyament i aprenentatge sobre Propietats Acústiques dels Materials*. Tese de Doutorado. Universitat Autònoma de Barcelona, Espanha.
- Kabapinar, F., Leach, J., & Scott, P. (2004). The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635-652. [DOI:10.1080/09500690310001614000](https://doi.org/10.1080/09500690310001614000)
- Kahveci, A. (2010). Quantitative Analysis of Science and Chemistry Textbooks for Indicators of Reform: A Complementary Perspective. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1495–1519. [DOI:10.1080/09500690903127649](https://doi.org/10.1080/09500690903127649)
- Kariotoglou, P., & Tselfes, V. (2000). Science Curricula: Epistemological, Didactical and Institutional Approach. *Epitheorisi Fisikis*, 31, 9-28.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1995). A model of Educational Reconstruction. In *The NARST annual meeting*. San Francisco, CA.
- Kneubil, F. B. (2014). *O Percurso Epistemológico dos Saberes e a Equivalência Massa-Energia (SP)*. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-16032015-151339/pt-br.php>
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633. [DOI:10.1080/09500690310001614717](https://doi.org/10.1080/09500690310001614717)
- Lawall, I., Siqueira, M., Pietrocola, M., & Ricardo, E. (2009). Desenvolvimento Profissional durante a implementação de inovações curriculares por professores do ensino secundário. *Enseñanza de las Ciencias*, v.extra, 3217-3220.
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554. [DOI:10.1080/09500690310001614753](https://doi.org/10.1080/09500690310001614753)
- Lijnse, P. (1995). "Developmental research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, 79(2), 189-199. [DOI:10.1002/sce.3730790205](https://doi.org/10.1002/sce.3730790205)
- Lijnse, P. (2010). Methodological aspects of design research in physics education. In Kortland, K., & Klaassen, K. (Orgs.). *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp.144-155). Utrecht: CDBeta Press.

- Mansour, N. (2010). Impact of the Knowledge and Beliefs of Egyptian Science Teachers in Integrating a STS Based Curriculum: A Sociocultural Perspective. *Journal of Science Teacher Education*, 21(5), 513–534. DOI:10.1007/s10972-010-9193-0
- Méheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26(5), 605–618. DOI:10.1080/09500690310001614726
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. DOI:10.1080/09500690310001614762
- Nicolau Junior, J. (2014). *Estrutura Didática baseada em fluxo - sequência de ensino aprendizagem de Relatividade Restrita: Paradoxo dos Gêmeos - SP*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-30042015-161931/pt-br.php>
- Ogborn, J. (2005). Introducing relativity: less may be more. *Physics Education*, 40(3), 213–222. DOI:10.1088/0031-9120/40/3/001
- Pessanha, M. C. R. (2014). *Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais (SP)*. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-28042014-202005/pt-br.php>
- Piers, M. (2008). "New Physics Curricula in the Netherlands". In *Girep Conference*, Cyprus. Recuperado de <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/ComprehensiveView.htm>
- Pietrocola, M. (2005). Modern Physics in Brazilian Secondary Schools, In *International Conference on Physics Education*. Nova Delhi, Índia.
- Pietrocola, M. (2010). *Inovação Curricular e Gerenciamento de Riscos Didático-Pedagógicos: o ensino de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na escola média*. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. Recuperado de <http://docplayer.com.br/22288236-Inovacao-curricular-e-gerenciamento-de-riscos-didatico-pedagogicos-o-ensino-de-conteudos-de-fisica-moderna-e-contemporanea-na-escola-media.html>
- Pietrocola, M., & Oliveira, R. C. (2005). A. Análise do Sucesso das Estratégias e Recursos Didáticos Utilizados em uma Proposta Curricular de Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio. In *Anais V ENPEC – SP*. Bauru, SP. Recuperado de <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/oral.htm>
- Pinto, R. (2002). Introduction to the Science Teacher Training in an Information Society (STIS) project. *International Journal of Science Education*, 24(3), 227–234. DOI:10.1080/09500690110078888
- Pinto, R. (2005). Introducing curriculum innovations in science: Identifying teachers' transformations and the design of related teacher education. *Science Education*, 89(1), 1–12. DOI:10.1002/(ISSN)1098-237X
- Psillos, D., Tsifli, V., & Kariotoglou, P. (2004). An Epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555–578. DOI:10.1080/09500690310001614744
- Ramos, P. (2010). *Ambiente Virtual de Vivências: análise do processo de desenvolvimento na perspectiva da pesquisa baseada em design (RJ)*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Recuperado de http://objdig.ufrj.br/55/teses/NUTES_D_%20PaulaRamos.pdf
- Rêgo, K., & Ferreira, H. S. (2013). Uma análise da produção comunicacional científica nacional em ensino das ciências relacionadas às sequências de ensino aprendizagem (teaching learning sequences - TLS) na perspectiva de méheut. In *IX Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Girona. Recuperado de http://die.udistrital.edu.co/ix_congreso_internacional_sobre_investigacion_en_didactica_ciencias
- Richey, R. C., Klein, J. D., & Nelson, W. A. (2004). Development research: studies of instructional design and development. In Jonassen, D. H. *Handbook of research on educational communications and technology*. New Jersey: LEA.

- Rodrigues, A. G., Pietrocola, M., & Piqueira, J. (2012). Elaboração de uma sequência didática de ensino-aprendizagem com tópicos de mecânica quântica para cursos de engenharia. In *Atas do Cobenge – PA*. Belém, PA. Recuperado de http://198.136.59.239/~abengeorg/cobenges-antiores/2012/artigos-2012/artigos-publicados_13
- Rodrigues, G. M., & Ferreira, H. S. (2011). Elaboração e análise de Sequências de Ensino-Aprendizagem sobre os estados da matéria. In *Atas VIII ENPEC- Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – SP*. Campinas, SP. Recuperado de <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiiienpec/resumos/R0234-2.pdf>
- Siqueira, M. (2006). *Do visível ao indivisível: uma proposta de ensino de Física de Partículas Elementares para Educação Básica (SP)*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Recuperado de <http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/teses/DissertMAXWELL.pdf>
- Siqueira, M., Pietrocola, M., & Ueta, N. (2007). A Física Moderna e Contemporânea em sala de aula; uma atividade com os raios-X. In *Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física – MA*. São Luiz, MA. Recuperado de <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/atas/resumos/T0410-1.pdf>
- Souza, W. B. (2006). *Transpondo o conteúdo de Radiações para a Física do Ensino Médio (SP)*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
- Thein, A. H., Barbas, P., Carnevall, C., Fox, A., Mahoney, A., & Vensel, S. (2012). The Affordances of Design-Based Research for Studying Multicultural Literature Instruction: Reflections and Insights from a Teacher-Researcher Collaboration. *English Teaching: Practice and Critique*, 11(1), 121-135.
- Van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. In Van den Akker, J. et al. (Org.) *The Design methodology and developmental research in education and training* (pp.1-14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Van Driel, J., Bulte, A., & Verloop, N. (2005). The Conceptions of Chemistry Teachers about Teaching and Learning in the Context of a Curriculum Innovation. *International Journal of Science Education*, 27(3), 303–322. DOI:10.1080/09500690412331314487
- Viennot, L., Chauvet, F. O., Colin, P., & Rebmann, G. R. (2005). Designing strategies and tools for teacher training: The role of critical details, examples in optics. *Science Education*, 89(1), 13–27. DOI:10.1002/1098-237X
- Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments, *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23. DOI:10.1007/BF02504682

Recebido em: 18.08.2016

Aceito em: 24.05.2017