



Definindo diretrizes para a elaboração de um produto educacional para o ensino de Tempo Geológico na educação básica brasileira

Drafting guidelines towards an educational product to teach Geologic Time in Brazilian basic education

Rafaela Santos Chaves

Universidade Federal da Bahia
rafaschaves@gmail.com

Simone Souza de Moraes

Universidade Federal da Bahia
smoraes@ufba.br

Rejâne Maria Lira-da-Silva

Universidade Federal da Bahia
rejanelirar2@gmail.com

Resumo:

Tempo geológico é um conceito central para Geociências e importante para Biologia, na qual a perspectiva geológica de tempo é crucial para o entendimento de evolução. No entanto, a complexidade da noção de tempo geológico dificulta sua compreensão, ocasionando problemas no entendimento adequado de processos geológicos e evolutivos. Investigações têm sido realizadas a fim de entender as causas das dificuldades de apreensão deste conceito por estudantes e propor formas de ensinar Tempo Geológico em contexto escolar, embora o Brasil careça de pesquisas nesse sentido. Este estudo tem por objetivo analisar o desenvolvimento de diretrizes para a abordagem de Tempo Geológico na educação básica brasileira e apresentar uma proposta de sequência didática para ensino de Tempo Geológico em aulas de Biologia do ensino médio, construídos de acordo com a abordagem metodológica da *Design Research*. Nossas diretrizes e sequência didática são histórico-orientadas, baseadas na perspectiva de Burchfield (1998) e orientações de Pedrinaci e Berjillos (1994), além de outras investigações sobre ensino de Tempo Geológico, Geociências e Evolução. Sugerimos, principalmente, estimular o debate sobre a idade da Terra; abordar a história da Geologia; trabalhar conhecimentos básicos de Geologia, Paleontologia, Estratigrafia e Geocronologia; evidenciar uma imagem dinâmica da Terra; representar espacialmente a escala do tempo geológico; trabalhar com narrativas históricas, em especial, a história da Terra; e discutir as implicações econômica, política e cultural da noção de tempo geológico.

Palavras-chave: Tempo Geológico; sequência didática; Ensino de Biologia; Ensino de Geociências.



Abstract:

Geological Time is a keystone concept to Geosciences and an important one to Biological Sciences, in which geological time perspective is crucial to understand evolution. However, geological time notion complexity hinders its comprehension, causing problems in the appropriate understanding of geological and evolutionary processes. Investigations have been made in order to understand the causes of apprehension difficulties of this concept by students and to propose ways of teaching Geological Time in a high school context, even though Brazil is in serious need of research works on that subject. Our work analyses the development of guidelines to approach Geological Time in Brazilian basic education and it presents a didactic sequence proposal to teach Geological Time in high school Biology classes, built along the methodological approach of Design Research. Our guidelines and didactic sequence are historically oriented, based on Burchfield's (1998) perspective, and on orientations from Pedrinaci and Berillos (1994), in addition to other investigations on Geological Time, Geosciences and Evolution teaching. Our main suggestions are stimulating debate on Earth's age; approaching Geology's history; working basic concepts of Geology, Paleontology, Stratigraphy and Geochronology; highlighting a dynamic image of Earth; spatially representing geological time scale; working with historical narratives, especially Earth's; and discussing Geological Time's economical, political and cultural implications.

Keywords: Geologic Time; teaching sequence; Biology Teaching; Geoscience Education.

Resumen:

El tiempo geológico es un concepto central para las Geociencias e importante para la Biología, en la que la perspectiva geológica de tiempo es crucial para el entendimiento de la evolución. Sin embargo, la complejidad de la noción de tiempo geológico dificulta su comprensión, ocasionando problemas en el entendimiento adecuado de procesos geológicos y evolutivos. Las investigaciones se han realizado para entender las causas de las dificultades de aprehensión de este concepto por los estudiantes y proponer formas de enseñar Tiempo Geológico en contexto escolar, aunque Brasil carece de investigaciones en ese sentido. Este estudio tiene por objetivo analizar el desarrollo de directrices para el abordaje de Tiempo Geológico en la educación básica brasileña y presentar una propuesta de secuencia didáctica para enseñanza de Tiempo Geológico en clases de Biología de la enseñanza secundaria, contruidos de acuerdo con el enfoque metodológico de Design Research. Nuestras directrices y secuencia didáctica son históricas-orientadas, basadas en la perspectiva de Burchfield (1998) y orientaciones de Pedrinaci y Berillos (1994), además de otras investigaciones sobre enseñanza de Tiempo Geológico, Geociencias y Evolución. Sugerimos, principalmente, estimular el debate sobre la edad de la Tierra; abordar la historia de la geología; trabajar conocimientos básicos de Geología, Paleontología, Estratigrafía y Geocronología; evidenciar una imagen dinámica de la Tierra; representar espacialmente la escala del tiempo geológico; trabajar con narraciones históricas, en especial, la historia de la Tierra; y discutir las implicaciones económica, política y cultural de la noción de tiempo geológico.

Palabras clave: Tiempo Geológico; Secuencia Didáctica; Enseñanza de Biología; Enseñanza de Geociencias.



Introdução

A reflexão sobre Tempo é uma das questões primordiais do pensamento filosófico e concepções distintas foram amparadas por diferentes áreas de saber no decorrer da história. Para as geociências, o tempo é examinado na perspectiva das rochas e fósseis; esta concepção é o eixo central da Geologia, impacta diretamente a Biologia, pois é indispensável para a compreensão do processo evolutivo, e reverbera sobre o entendimento do lugar do ser humano no mundo. Dodick e Orion (2003b) consideram a “descoberta” do tempo profundo tão importante para a evolução do pensamento humano quanto as revoluções copérnica e darwiniana, pois limita a existência do ser humano aos últimos segundos da história da Terra. E-an Zen (2001) defende que o conceito de tempo geológico é relevante para que todos, não só geólogos, devam conhecê-lo porque é parte da herança cultural da humanidade e um conhecimento valioso para aqueles que planejam e decidem sobre o uso dos recursos naturais.

A ausência de um significado definido, único e consensual na comunidade científica para a noção de tempo geológico somada à quantidade expressiva de conhecimentos que precisam ser mobilizados para sua adequada compreensão tornam seu conceito demasiado complexo. Dificuldades na compreensão de Tempo Geológico em contexto educativo têm sido largamente discutidas (Trend, 2001a; Dodick & Orion, 2003a; Libarkin, Andreson, Dahl, Beilfuss, & Boone, 2005; Libarkin, 2006; Cotner, Brooks, & Moore, 2010; Bonito et al., 2011; Cheek, 2011), apontando obstáculos para o seu entendimento por estudantes: estar relacionado a eventos e fenômenos cronologicamente muito distantes; exigir a consideração de números de grandeza elevada e a compreensão de processos de grande magnitude; impossibilidade de observação direta do tempo geológico (e vários fenômenos geológicos a ele relacionados), portanto, alto grau de abstração necessário para seu entendimento; requerer a interpretação da escala de tempo geológico, gráfico que não é familiar aos estudantes; envolver perspectivas políticas e religiosas; influência de experiências além da instrução em sala de aula, que podem promover ideias equivocadas.

Pesquisas têm contribuído com propostas para auxiliar professores e pesquisadores na abordagem de Tempo Geológico para contornar ou minimizar os problemas já identificados, sugerindo o uso de analogias; tratamento conjunto da história da Terra e da vida e construção de uma linha do tempo; abordagem da história da Geologia, além da abordagem de conteúdos fundamentais de Geociências (Pedricinaci & Berjillos, 1994; Sequeiros, Pedricinaci & Berjillos, 1996; Zen, 2001; Andersson & Wallin, 2006; Trend, 2009; Parker, 2011).

No Brasil poucos estudos investigam ensino ou compreensão de Tempo Geológico (Oliveira, 2006; Bizzo & Oliveira, 2011; Saraiva Júnior, 2013), sendo mais comuns relatos de intervenções pontuais e propostas de recursos didáticos envolvendo o tema (Melo, Bastos, Rodrigues, & Monção, 2007; Betti & Kulaif, 2007; Bacci, Oliveira & Pommer, 2009; Perez, Rodrigues, Santos, & Andrade, 2011).

As Ciências da Terra, Geociências, Geologia ou Paleontologia não são disciplinas do currículo escolar brasileiro, ainda que conteúdos constituintes dessas áreas do conhecimento estejam presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (Brasil, 2002), na recente Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2017) e em aulas de Geografia, História, Ciências e Biologia. Em termos de ensino básico, o conceito de tempo geológico tem maior importância para



as aulas de Biologia, pois fornece uma perspectiva de tempo coerente para alterações ambientais e processos evolutivos de longo prazo, sendo um conhecimento imprescindível para a compreensão de Evolução (Dodick, 2007).

É preciso reconhecer que, no contexto brasileiro, as dificuldades para abordar na educação básica uma noção tão complexa como Tempo Geológico perpassam problemas que vão além dos já indicados na literatura estrangeira. A formação deficitária dos professores do ensino básico em Geociências, onde Geologia e Paleontologia não são obrigatórias ou são pouco exploradas nas licenciaturas, é um problema. Bizzo e El-Hani (2009) advertem que mesmo para Biologia, a Paleontologia não aparece como uma matéria elementar e o ensino de evolução tem focado muito mais no domínio microevolutivo, tendência que avança até a educação básica. A escassez de materiais didáticos sobre Geociências para o ensino básico, seja visando professores ou alunos, também é um entrave para a inserção dessa temática nas escolas. Para Soares (2015), mesmo os professores que procuram instrumentalização e atualização na área encontram poucos recursos, pois os livros didáticos oferecem pouco espaço à Paleontologia e os de ensino superior são escritos numa linguagem técnica, não adequada ao contexto escolar.

Portanto, é urgente o desenvolvimento de investigações sobre a abordagem de Tempo Geológico na educação básica no Brasil, assim como a divulgação de propostas de ensino e de recursos didáticos que auxiliem e orientem os professores.

Neste artigo propomos diretrizes para o ensino de Tempo Geológico, elaboradas no enquadramento metodológico da *Design Research* (DR), visando o desenvolvimento de uma sequência didática¹ (SD) para o ensino básico. As diretrizes, que têm caráter substantivo e procedimental, têm a função de guiar professores e pesquisadores na construção de novos materiais educacionais e podem ser utilizadas em novas situações pedagógicas, assim, são abrangentes e generalizáveis², podendo ser parcialmente adaptadas (no nível dos procedimentos) às novas situações em que forem empregadas se, na perspectiva docente, houver semelhanças entre o contexto em que o estudo foi realizado e os contextos em que os professores lecionem.

Contextualização teórica

Uma pesquisa de desenvolvimento é uma modalidade de investigação que objetiva gerar um produto para atingir um determinado problema na medida em que são investigadas questões

¹ Segundo Zabala (1998, p.18), uma sequência didática é um “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”.

² Espera-se de uma investigação baseada em *Design Research* a produção de conhecimentos abstraídos dos princípios de *design* relacionados a uma determinada intervenção, do processo de elaboração deste produto e até mesmo do desenvolvimento da investigação como um todo. Estes conhecimentos devem ser passíveis de serem utilizados por outros professores ou investigadores em contextos similares ao da pesquisa que os originou. Entretanto, essa transposição a outros contextos tem seus limites e a generalização pode ser alcançada por vias distintas.



relativas à sua produção e/ou utilização. Além de promover a produção e compartilhamento de produtos educacionais, é oportuna no sentido de possibilitar o crescimento profissional-científico dos participantes da pesquisa e fortalecer o vínculo entre as culturas de pesquisa, desenvolvimento e prática escolar (Barbosa & Oliveira, 2015). O desenvolvimento de um produto educacional para abordagem de Tempo Geológico em contexto real de ensino, ou seja, uma intervenção educativa integrada ao currículo escolar, não em caráter extraclasse ou extracurricular, é uma tarefa inovadora no Brasil.

Numa abordagem baseada em DR, o conhecimento teórico assume a forma de orientações ou diretrizes sistematizadas, que são associadas ao produto educacional em desenvolvimento, dessa forma, é proveitoso que na fase inicial da pesquisa de desenvolvimento, busquem-se intervenções já disponíveis consideradas modelos úteis ou fontes de inspiração para o problema em questão, pois a análise desses exemplos somada à revisão da literatura produz novas ideias para a elaboração do produto (Plomp, 2010).

Nesta primeira fase de desenvolvimento da SD e, associados a ela, princípios orientadores do ensino de Tempo Geológico, fez-se primordial estruturar três meios de abordagem do problema no contexto escolar brasileiro: definir a perspectiva de Tempo Geológico adotada, ou seja, a que nos referimos ao propor o ensino desse tema; explorar e selecionar estratégias, conhecimentos e sugestões para auxiliar sua abordagem em contexto educativo; e demarcar quando o ensino de Tempo Geológico terá lugar, ou seja, definir o momento mais adequado do currículo escolar para a intervenção proposta ocorrer.

Perspectiva de Tempo Geológico

Tempo Geológico tem aparecido na literatura com sentidos variados e, em geral, seu significado precisa ser interpretado intuitivamente pelo leitor, pois não aparece definido nos textos. É comum que tempo geológico e tempo profundo sejam empregados como sinônimos. Diferentes autores imprimem ao conceito atributos consoantes às suas áreas de formação. Pode-se assumir que Tempo Geológico é finito e sua duração pode ser mensurável e testável através de observações de campo (Zen, 2001), pode-se advogar que é o tempo decorrido no processo evolutivo, estimado pelas mudanças na configuração do planeta e dos grupos de organismos que o habitam. A falta de consideração dos filósofos da ciência com a Geologia resultou no pouco cuidado com o conceito de tempo geológico (Frodeman, 1995), acarretando a ausência de um significado bem definido e consensual para a perspectiva geológica de tempo.

A comunidade científica compartilha uma noção de Tempo Geológico que resulta da aceitação de determinadas ideias no decorrer da história da ciência, junto com a acolhida da Geologia como ciência, que culminaram na “invenção” do Tempo Geológico. O conceito foi ganhando significado considerando pelo menos cinco passos essenciais, alguns em andamento, segundo Burchfield (1998):

- i. Reconhecimento que o registro geológico evidencia uma sucessão de acontecimentos passados;



- ii. Aceitação que a idade da Terra é significativamente maior que o registro histórico da humanidade, ou seja, a noção, embora vaga, de tempo profundo³;
- iii. Desenvolvimento de um sentido histórico do passado da Terra através da construção de uma escala de tempo geológico heurística;
- iv. Criação de métodos quantitativos para calcular a duração da escala do tempo geológico;
- v. Aceitação de um limite quantitativamente determinável para a idade da Terra.

Assumimos que essas etapas foram cruciais para a anuência pela comunidade científica do que é Tempo Geológico e representam as ideias fundamentais que precisam ser trabalhadas para sua compreensão adequada em contexto escolar. Consideramos nossa perspectiva de Tempo Geológico histórico-orientada, pois está fundamentada na trajetória histórica de construção deste conceito. Em termos didático-metodológicos, essa perspectiva determina os propósitos de nossas diretrizes e os objetivos de nosso produto educacional.

Portanto, entendemos que uma SD para ensino de Tempo Geológico deve oferecer aos estudantes a oportunidade de experimentar e perceber os passos essenciais de "invenção" do Tempo Geológico se pretende desenvolver este conceito de uma maneira mais autêntica.

Estratégias, conhecimentos e sugestões para abordagem de Tempo Geológico em contexto educativo

Escritos com o intuito de serem orientadores de um programa de ensino para Tempo Geológico ao longo da educação secundária espanhola, os artigos de Pedrinaci e Berjillos (1994) e Sequeiros, Pedrinaci e Berjillos (1996) oferecem diretrizes para abordagem de Tempo Geológico e configuram uma fonte valorosa de ideias para a construção de uma intervenção educacional sobre o tema. Os autores assumem que Tempo Geológico é um conceito inclusor, integrado por um conjunto de noções básicas que se inter-relacionam, e o conhecimento de cada uma por si só não garante a compreensão do conceito, somente o entendimento de todas elas e suas interações. Nesse sentido, elaboram sugestões e propostas de atividades referenciadas pela história da geologia, epistemologia e concepções prévias dos estudantes.

Das principais contribuições destes trabalhos, destaca-se a recomendação sobre a necessidade de apresentar perspectivas mais dinâmicas sobre o planeta e seus processos a fim de relacionar tempo geológico com mudança, afinal, em uma Terra estática (sem alterações geológicas contínuas) não seria possível dividir sua história em períodos geológicos, assim não haveria sentido falar em tempo geológico (Pedrinaci & Berjillos, 1994). Os autores enfatizam a

³ Burchfield (1998) assume que tempo profundo e tempo geológico têm significados distintos. Para o autor, tempo profundo refere-se à noção de que a história da Terra é muito mais antiga que a história do homem; tempo geológico apresenta um sentido mais amplo, que contém a ideia de tempo profundo unida a outros conhecimentos.



importância de promover a concepção das rochas como "arquivos históricos", ou seja, providas de informações, tanto sobre as condições em que se originaram como sobre as alterações que sofreram ao longo do tempo, capazes de fornecer pistas sobre o passado do planeta. Para conduzir os estudantes a adotarem estes novos pontos de vista, sugerem o tratamento conjunto de rochas e fósseis e a abordagem de princípios básicos que envolvem Geologia, Estratigrafia e Cronologia.

Trabalhos sobre ensino de evolução também apresentam propostas interessantes para abordagem de Tempo Geológico (Evans, 2000; Andersson & Wallin, 2006; Dodick, 2007; Dolphin, 2009; Van Dijk & Kattmann, 2009; Cotner, Brooks & Moore, 2010). Dado o vínculo entre Tempo Geológico e Evolução, sugere-se o trato da história da vida no planeta a partir de narrativas históricas e construção de linhas do tempo para ilustrar a evolução da vida no decorrer dessa história.

A inclusão da história da Geologia para facilitar a apropriação de Tempo Geológico também é uma sugestão, pois os conteúdos de Geociências são importantes principalmente ao esclarecer os procedimentos que fundamentam a concepção geológica de tempo. A introdução da História das Geociências possibilita a reflexão sobre como se deu a construção desse conhecimento (Zimmermann, 2012).

Numa aproximação filosófica, Cervato e Frodeman (2012) defendem o tratamento da noção de tempo geológico a partir das abordagens econômica, política e cultural, trazendo à tona questões como o impacto das taxas de consumo e uso de recursos naturais pela sociedade atual, perspectiva fundamental para que os estudantes apreendam uma concepção de tempo geológico mais usual e relevante.

O momento adequado: um diálogo com o currículo de Biologia

Segundo Pedrinaci e Berjillos (1994), o conceito de tempo geológico não pode ser adquirido de uma só vez, num processo linear, mas a partir de aquisições parciais que se integram ao longo de vários episódios curriculares; defendem sua abordagem ao longo de todo o ensino secundário espanhol. Igualmente, admitimos que a abordagem de tempo geológico em nossas escolas também precisa acontecer em episódios curriculares diversos, de preferência sob o olhar de disciplinas variadas, ao longo da educação básica.

Nossa proposta é o desenvolvimento de uma sequência didática para a abordagem de Tempo Geológico em um desses momentos curriculares. Nosso produto e orientações refletem nossa vivência e bagagem teórica e prática no ensino de Biologia, Paleontologia e Geociências.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) aponta para a importância da integração do conhecimento das geociências às Ciências da Natureza, especificamente, à Biologia; destaca que a compreensão da vida implica no reconhecimento de que os sistemas orgânicos estão em constante transformação e interação com o ambiente, assim, é preciso considerar as diferentes escalas temporais em que os processos biológicos ocorrem para uma compreensão adequada da vida; nesse sentido, o ensino de Biologia deve contemplar tanto os processos



que ocorrem no tempo de vida de um organismo quanto os que compreendem um intervalo de tempo muito maior, filogenético (Brasil, 2017). Entende-se que a perspectiva geológica de tempo deve figurar, sobretudo, no ensino de Evolução.

Prevalece na BNCC a tendência mundial, também presente nos PCN (Brasil, 2002), da evolução como eixo integrador do currículo de Biologia, que deve permear todos os assuntos deste campo, evitando sua abordagem concentrada numa única unidade curricular. A noção de Tempo Geológico deve ser ensinada em Biologia ao discutir processos evolutivos, de modo que a apreensão da perspectiva geológica de tempo possa amparar a compreensão satisfatória de evolução.

Assim, entendemos que uma SD para abordagem de Tempo Geológico na educação básica tenha lugar durante o desenvolvimento da unidade didática com foco em Evolução. O objetivo deste artigo é analisar o desenvolvimento dos princípios de *design* que orientaram a elaboração de uma sequência didática a ser aplicada no ensino médio, integrada ao currículo de Biologia e inserida na unidade didática sobre Origem e Evolução da Vida.

Metodologia

No âmbito do *Desing Research*, parte-se de problemas educacionais para os quais nenhuma ou poucas orientações estão disponíveis para apoiar o desenvolvimento de materiais educacionais (intervenções, jogos, livros, etc.) sobre determinado tema (Plomp, 2010). A partir da análise do(s) problema(s) e apoiadas em pesquisas prévias e na experiência prática dos desenvolvedores são elaboradas diretrizes iniciais para a construção de um produto educacional. Esse produto em desenvolvimento é testado sucessivamente em seu contexto alvo, podendo ser modificado no decorrer das fases de teste (prototipagem). Refletindo sobre todas as etapas do processo, os desenvolvedores seguem elaborando novas diretrizes, ou princípios de *design*, e protótipos até que seja obtido um equilíbrio satisfatório entre o planejado e o alcançado durante os testes. O resultado final é o material educacional e os construtos teóricos (princípios de *design* finais) que guiaram o seu desenvolvimento.

Assim, uma investigação de DR é focada na concepção de intervenções para o contexto real de ensino, orientada para o processo de desenvolvimento desta intervenção e para a construção dos construtos teóricos que sustentam este processo (Plomp, 2010). Esses princípios de *design* têm caráter orientador e possuem uma faceta chamada substantiva, referindo-se ao conhecimento sobre as características essenciais da intervenção desenvolvida, ou seja, indica “o que fazer”; e uma faceta chamada procedimental, que se refere ao conjunto de atividades promissoras para se atingir o que está sendo proposto, ou seja, sugere “como fazer”.

Os princípios de *design* têm mais robustez para serem utilizados e testados por outros pesquisadores e professores em novas situações pedagógicas quando são mais diretos e articulados com a teoria e sustentados cada vez mais por evidências empíricas. Os critérios de validação podem variar entre as investigações e até mesmo dentro de uma mesma investigação. Em geral, considera-se o quanto o *design* da intervenção está fundamentado no estado da



arte do conhecimento e se seus componentes estão relacionados uns aos outros de maneira coerente; a convicção dos usuários (ou especialistas) da intervenção sobre a atratividade e utilidade do produto em questão; e se as experiências e resultados são consistentes com os objetivos propostos (Van Den Akker, 1999).

Apropriamo-nos da perspectiva histórica de Burchfield (1998) sobre a “invenção do Tempo Geológico”; nas diretrizes didáticas de Pedrinaci e Berjillos (1994); e na experiência prática de ensino das autoras e colaboradoras desta pesquisa (Chaves, Moraes, & Lira-da-Silva, 2013; Chaves, Moraes, & Lira-da-Silva, 2015; Chaves, Moraes, & Lira-da-Silva, 2016), para a elaboração de nossos princípios de *design* iniciais, que foram concebidos para auxiliar a produção de uma sequência didática para abordagem de Tempo Geológico em aulas de Biologia no ensino médio.

A SD foi inicialmente construída pela pesquisadora principal desta investigação e posteriormente foi ajustada pela professora de Biologia colaboradora da investigação, que adequou a SD às suas expectativas e limitações, à capacidade cognitiva dos estudantes de suas turmas de 1º ano do ensino médio, onde a intervenção seria aplicada, e ao planejamento curricular da disciplina e da escola.

Nesta pesquisa de desenvolvimento, que tem caráter qualitativo, valoriza-se a natureza descritiva do processo de *design*, que é cíclico e iterativo, favorecendo o ajuste do produto e princípios, aumentando a qualidade do material final. Este artigo abrange a etapa inicial da investigação - a pesquisa preliminar e a elaboração de princípios de *design* iniciais para formulação do primeiro protótipo da sequência didática.

Apresentamos os princípios de *design* iniciais desenvolvidos segundo o formato a seguir, adaptado de Van Den Akker (1999):

“Se você deseja construir uma intervenção X para o propósito/função Y em um contexto Z, é aconselhável: (1)Adotar a característica A, para o propósito/função y1, realizando o procedimento K, em razão do argumento P. (2)Adotar a característica B, para o propósito/função y2, realizando o procedimento L, em razão do argumento Q. (3)Adotar a característica C, para o propósito/função y3, realizando o procedimento M, em razão do argumento R. (...)” (Sarmiento, 2015, p.23)

Resultados

Os princípios de Design

Dez diretrizes para orientar a elaboração de uma sequência didática visando a abordagem de Tempo Geológico no ensino médio foram elaboradas. Apresentamos os propósitos, características, procedimentos e argumentos principais de cada uma, enquanto a estrutura inicial do enunciado é a mesma para todas. Se deseja desenvolver uma sequência didática para abordagem de Tempo Geológico com o propósito de beneficiar o ensino de Evolução no contexto do ensino médio, é aconselhável:



1. Estimular o debate sobre a idade da Terra, com os propósitos de apresentar e discutir relações entre assuntos e métodos de Biologia e Geociências associados a Tempo Geológico que serão trabalhados ao longo da SD e levantar concepções prévias dos alunos sobre ideias e conceitos relacionados ao tema para identificar dificuldades e interesses, possibilitando a adequação do produto educacional a fim de melhor atender a essas demandas, realizando isso através do emprego de perguntas motivadoras e promovendo discussões durante as aulas. A questão da idade da Terra é uma excelente oportunidade pedagógica para discussão e exposição de ideias sobre Tempo Geológico porque é um tópico interdisciplinar que envolve Física, Geologia e Biologia e se configura também como uma questão social e ideológica, servindo como contraponto para a discussão da relação entre ciência e sociedade (Tort & Nogarol, 2013). Nesse caso, a interdisciplinaridade do debate permite que os estudantes exponham conhecimentos prévios sobre dimensões variadas que compõem a noção de Tempo Geológico, oportunizando a identificação de tendências que justifiquem alterações no produto educacional para melhor atender os objetivos de ensino. Outro argumento importante é que antes de oferecer respostas precisas sobre a idade da Terra, é conveniente apresentar a questão como um problema e refletir sobre possíveis métodos disponíveis que ofereçam respostas (Pedrinaci & Berjillos, 1994).
2. Realizar uma abordagem da história da Geologia com foco na construção da noção de Tempo Geológico, com o propósito de promover o entendimento de que Tempo Geológico é produto do empreendimento científico, portanto, uma criação do ser humano, e fazer isso através de aulas expositivas dialogadas que destaquem as contribuições (e respectivos contextos históricos em que se desenvolveram) de Thomas Burnet, James Hutton e Charles Lyell para consolidação da Geologia como ciência e para o surgimento da noção de Tempo Geológico. Isso porque só a história da Geologia pode apresentar elementos que expliquem como o conceito de Tempo Geológico se desenvolveu; o tratamento histórico ajuda a entender a relação que existe entre um procedimento de investigação, o cálculo e a teoria em que ele se baseia, ajuda a valorizar a teoria, sua potencialidade explicativa e limitações e a entender porque se obteve resultados que não correspondem ao que aceitamos como certo hoje, ou seja, mostra como se constrói a ciência (Pedrinaci & Berjillos, 1994).
3. Realizar a abordagem de conhecimentos básicos de Geologia, com os propósitos de favorecer o reconhecimento de que o registro geológico evidencia uma sucessão de acontecimentos passados e suscitar a percepção das rochas como "arquivos históricos", e fazer isso através de aula expositiva dialógica sobre conteúdos básicos de Geologia Geral, com auxílio de esquemas e imagens que facilitem a interpretação dos processos geológicos e uso de fotografias e kit didático de rochas. Isso porque é necessário um grande esforço para compreender a reconstrução de uma história a partir da observação e interpretação de um objeto inanimado (rocha) sem o conhecimento profundo de Geologia, portanto, é fundamental que os estudantes conheçam teorias, princípios e métodos de trabalho que ajudam a interpretar o registro geológico e reconstruir a sua história (Sequeiros, Pedrinaci & Berjillos, 1996; Zen, 2001).



4. Realizar a abordagem de conhecimentos básicos de Paleontologia, com o propósito de favorecer o desenvolvimento de um sentido histórico do passado da Terra - destacando a importância do registro fóssil (aliado ao registro geológico) para revelar o passado do planeta, e fazer isso através de aula expositiva dialógica sobre conteúdos fundamentais de Paleontologia, com auxílio de esquemas e imagens que auxiliem a compreensão do processo de fossilização e fotografias e réplicas de fósseis, empregando estratégias didáticas que possibilitem a reflexão e discussão sobre a utilização de fósseis para explicar acontecimentos pretéritos, por exemplo, atividades que simulem estudos de caso e atividades que solicitem a reconstrução de histórias a partir de pistas deixadas por fósseis. Isso porque a abordagem contextualizada de rochas e fósseis pode ser de grande ajuda nas aulas (Pedrinaci & Berjillos, 1994) e a ênfase no papel de rochas e fósseis na indicação de idades absolutas e relativas de acontecimentos pretéritos clarifica a perspectiva geológica de tempo (Sequeiros, Pedrinaci & Berjillos, 1996). A realização de atividades que encorajem os estudantes a solucionar problemas usando o raciocínio lógico e o conhecimento de Paleontologia pode facilitar a percepção do intervalo temporal necessário para que mudanças significativas em organismos e paisagens terrestres ocorram.
5. Realizar a abordagem dos princípios básicos de Estratigrafia e Geocronologia, com os propósitos de oportunizar a compreensão da importância dos métodos quantitativos para calcular a duração da escala do Tempo Geológico e favorecer a aceitação de um limite quantitativamente determinável para a idade da Terra, fazendo isso através de aula expositiva dialogada com exibição de imagens e esquemas que auxiliem no entendimento de princípios estratigráficos e com a aplicação de atividades sobre sobreposição de camadas e sucessão faunística (cronologia relativa) e decaimento radioativo e meia-vida (cronologia absoluta). Isso porque é necessário que se compreenda os métodos científicos que guiaram os pesquisadores na definição de idades para a Terra e de muitos eventos e fenômenos pretéritos, pois assegura que estas não são decisões arbitrárias e carentes de evidências. Os princípios estratigráficos básicos, se trabalhados adequadamente, abarcam pouca complexidade terminológica e conceitual e permitem a compreensão da cronologia relativa (Pedrinaci & Berjillos, 1994). A datação absoluta apresenta maiores entraves, pois os estudantes, em geral, sentem-se desconfortáveis ao lidar com números de grandeza elevada (Trend, 2001; Libarkin, Kurdziel & Aderson, 2007; Bonito et al., 2011;). É importante investir em estratégias de ensino que esclareçam os métodos de datação absoluta, facilitando a sua compreensão. O conhecimento dos princípios estratigráficos é imprescindível para a compreensão adequada das taxas de mudança geológica, fundamental para se entender as transformações geológicas que ocorrem longo do tempo (Dodick & Orion, 2003a).
6. Empregar estratégias que evidenciem uma imagem dinâmica, não estática, da Terra, explicando os processos internos e externos que regulam tais modificações, com o propósito de relacionar Tempo Geológico com mudança geológica, acentuando a ideia de que a Terra está em constante alteração, fazendo isso através de aula expositiva dialógica com exibição de esquemas, imagens e fotografias e aplicação de atividades que auxiliem os estudantes a compreenderem os agentes causadores das alterações e perceber os estágios



de mudança geológica, como também através de discussões de textos jornalísticos em grandes grupos sobre casos recentes de atividades geológicas de grande impacto que causaram alterações significativas no ambiente (terremotos e tsunamis, por exemplo). Isso porque, para favorecer uma perspectiva mais dinâmica (menos fixista) dos estudantes sobre o planeta, é preciso uma abordagem em que se estabeleça de maneira explícita a posição inicial (antes da alteração), a situação resultante, o que foi modificado e o que permanece inalterado, o agente causador e em que consiste sua ação, e quais as consequências da mudança (Pedrinaci & Berjillos, 1994).

7. Realizar o ensino com enfoque na representação espacial da escala do tempo geológico, reproduzindo os períodos da história da Terra, seus principais acontecimentos e marcações temporais, com o propósito de facilitar a compreensão da escala de tempo geológico e ressaltar sua importância para o desenvolvimento de um sentido histórico do passado da Terra, fazendo isso através da construção conjunta, em grupos, de linhas do tempo da história da Terra baseada na escala do tempo geológico. Isso porque a representação espacial de grandes períodos de tempo auxilia na construção de uma representação mental pelos estudantes desse tempo (Pedrinaci & Berjillos, 1994), tornando mais "concreta" a noção abstrata de Tempo Geológico. A reconstrução da história da Terra pelos estudantes com a utilização de imagens e suas próprias reflexões e conhecimentos para estabelecer uma sequência de eventos (antes de se preocuparem com idades absolutas) é uma atividade que estimula a percepção de Tempo Geológico (Kastens et al., 2009). A utilização de um modelo linear que relacione a escala do tempo geológico e marque a duração de processos geológicos diferentes pode ajudar os estudantes a perceberem a duração de eventos específicos (Cheek, 2012) e permite a visualização da antiguidade da Terra e magnitude da perspectiva geológica de tempo (Dolphin, 2009).
8. Realizar a narrativa da história da Terra, com o propósito de consolidar a noção de tempo profundo, ou seja, a aceitação que a idade da Terra é significativamente maior que o registro histórico da humanidade, fazendo isso através de aula expositiva com a narração da história da Terra no formato de "contação de história", utilizando imagens representativas de paisagens, organismos e eventos pretéritos da Terra como suporte narrativo, caracterizando cada grande período que representa a escala do tempo geológico e localizando o homem nessa história. Isso porque a narrativa da história evolutiva do planeta Terra pode auxiliar os estudantes a compreenderem a vastidão de tempo necessária para que a Terra assumisse sua configuração atual; a história evolutiva da Terra é apresentada, assim, como uma cadeia de acontecimentos únicos e integrados que ocorreram ao longo do tempo, sendo que o surgimento do homem é uma das etapas mais recentes dessa narrativa. O tratamento conjunto da história da Terra e da vida é relevante porque o conhecimento de eventos importantes da história do planeta ajuda a construir o conceito de Tempo Geológico na medida em que tais acontecimentos atuam como "faróis" iluminando nossa visão sobre o passado da Terra (Pedrinaci & Berjillos, 1994).
9. Empregar narrativas históricas de eventos significativos da história da Terra, com o propósito de associar Tempo Geológico e Evolução, fazendo isso através de aula expositiva dialógica e promoção de discussões coletivas, estimuladas por questões



orientadoras e material audiovisual, sobre episódios de grande impacto evolutivo, como a conquista do ambiente terrestre pelas plantas e pelos vertebrados, a extinção dos dinossauros no fim do Cretáceo, entre outros acontecimentos que também fascinam os estudantes. Isso porque as narrativas históricas mais detalhadas podem informar os estudantes sobre a história da vida e podem ajudá-los a entender melhor os processos evolutivos e a entender a estrutura temporal da evolução (Van Dijk & Kattmann, 2009).

- Um enfoque mais abrangente da noção de tempo geológico, sobretudo as dimensões econômica, política e cultural, com o propósito de suscitar raciocínios mais reais e práticos sobre tempo geológico, fazendo isso através da discussão em grupos de textos de divulgação científica, provocando a reflexão sobre o papel do homem na história evolutiva do planeta e as perspectivas futuras possíveis para a Terra. Isso porque é importante posicionar Tempo Geológico nos âmbitos humanístico e político, afinal, esta noção não é meramente científica, mas se relaciona também com o contexto social em que se apresenta (Cervato & Frodeman, 2012). Cada vez mais, os recentes debates sobre questões ambientais têm incluído a perspectiva temporal, portanto, para o desenvolvimento de uma cidadania mais exigente é fundamental refletir em termos de escala temporal (Rebelo et al., 2011).

Os objetivos dos princípios 6 e 9, relacionar tempo geológico com mudança geológica e relacionar Tempo Geológico e Evolução, estão intencionalmente associados à nossa proposta de inserir o produto educacional a ser desenvolvido em aulas de Biologia, estabelecendo amarrações entre tempo geológico e o processo evolutivo.

Admitimos que o propósito final do produto educacional deve ser promover reflexões práticas sobre Tempo Geológico, ou seja, possibilitar não só a apropriação desta noção, mas o uso deste conhecimento nos desafios cotidianos, portanto, uma das diretrizes (princípio 10) enfatiza esta finalidade.

Apesar de independentes, em geral, as diretrizes propostas são complementares e o desenvolvimento de uma implica no progresso da outra. A realização de uma narrativa única sobre a história da Terra e a abordagem e discussão de alguns eventos significativos dessa história, a partir de narrativas históricas, por exemplo, são características que, apesar de poderem ser empregadas de forma separada, devem funcionar melhor se conduzidas juntas num mesmo episódio didático.

Uma sequência didática para ensino de Tempo Geológico no Ensino Médio

Na medida em que os princípios de *design* foram elaborados, tornou-se claro que o produto educacional resultante deveria mobilizar conhecimentos que extrapolam o perfil do campo de Ciências Biológicas, como conteúdos de história das Geociências, Geologia e Estratigrafia. A literatura reforça a necessidade de se trabalhar estes conhecimentos para uma abordagem adequada de Tempo Geológico. Toledo (2005) enfatiza a necessidade de inclusão de Geociências no currículo de forma integradora e interdisciplinar, e, particularmente dentro de Biologia, mobilizando conteúdos que evidenciem as condições geológicas que dirigiram a evolução, pois a organização curricular atual priva o estudante do pertinente estudo conjunto da História da Terra e História da Vida associadas ao longo do tempo geológico.



Os conteúdos tipicamente trabalhados em Biologia, que também devem ser tratados ao longo da SD, não são detalhados aqui porque dependem em grande medida do planejamento curricular das escolas e da prática pedagógica dos professores, e não temos pretensão de avaliar ou orientar o ensino dos mesmos. No entanto, destacamos que esta SD contempla também os seguintes conteúdos: evolução, seres vivos, ecologia, sistema Terra, educação ambiental e procedimentos e métodos em ciências.

Na SD produzida a partir das diretrizes apresentadas, as aulas chamadas expositivas dialogadas não implicam em aulas tradicionais com mera exposição de conteúdos. Os objetivos de aprendizagem e procedimentos devem favorecer a abertura de canais de diálogo entre professor(a) e estudantes para que o conhecimento seja construído a partir da interação de ambos, numa abordagem comunicativa dialógica (Mortimer & Scott, 2002), embora em muitos momentos também prevaleça o discurso de autoridade do professor.

Assim, para a integração satisfatória desta SD ao currículo de Biologia do ensino médio, prevemos duas saídas: o(a) professor(a) de Biologia deve ser instrumentalizado para apropriar-se dos conteúdos de Geociências necessários e/ou é preciso realizar uma aplicação colaborativa e interdisciplinar da sequência didática, mobilizando professores de outras disciplinas obrigatórias, como Geografia e História.

Conclusões

Adotando a perspectiva de Burchfield (1998) sobre a "inveção" do Tempo Geológico e com base em nossa pesquisa bibliográfica e experiência prática, entendemos que um produto educacional voltado para o ensino de Tempo Geológico no ensino médio deve possuir características essenciais, tais como: estimular o debate sobre a idade da Terra; abordar a história da Geologia com foco na construção do conceito de Tempo Geológico; abordar conhecimentos básicos de Geologia e Paleontologia; abordar princípios básicos de Estratigrafia e Geocronologia; empregar estratégias que evidenciem uma imagem dinâmica da Terra; focar na representação espacial da escala do tempo geológico; empregar a narrativa da história da Terra; utilizar narrativas históricas de eventos significativos da história da Terra; e realizar um enfoque mais amplo da noção de Tempo Geológico, abordando suas dimensões econômica, política e cultural.

A sequência didática que elaboramos a partir dos princípios de *design* constitui-se de 10 aulas a serem aplicadas, preferencialmente, numa unidade didática de Biologia associada ao ensino de Evolução. Os conteúdos dessas aulas avançam as fronteiras das ciências biológicas, exigindo conhecimentos do campo das geociências. Nesse sentido, é fundamental que o(a) professor(a) de Biologia - que não está sendo preparado nos cursos de licenciatura para tratar de assuntos de Geociências que tenham relação com sua área (Guimarães, 2004), procure instrumentalizar-se, seja através de cursos de atualização e formação continuada ou de maneira autodidata, podendo, ainda, trabalhar conjuntamente com professores de Geografia e História.

Este produto educacional deverá ser aplicado em contexto real de ensino para que os testes indiquem ajustes necessários tanto na sequência didática quanto nos princípios de *design* a ela relacionados.



Referências

- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28(6), 673-695.
- Bacci, D., Oliveira, L.A., & Pommer, C. (2009). Contribuição da abordagem geocientífica no ensino fundamental: tempo geológico, origem do petróleo e mudanças ambientais. *Enseñanza de las Ciencias*, Núm. Extra, 3447-3451. Disponível em: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/294705>.
- Betti, A., & Kulaif, Y. (2007) O tempo geológico nas aulas de História – Uma experiência no ensino fundamental. *Anais do Primeiro Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra*, Campinas, São Paulo. CD-ROM.
- Bizzo, N., & Oliveira, J. (2011). Tempo Geológico nas perspectivas histórica, epistemológica e sócio-cultural: resultados de uma pesquisa transnacional. *Atas do Oitavo Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Campinas, São Paulo. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiiienpec/resumos/R1667-1.pdf>.
- Bizzo, N., & El-Hani, C.N. (2009). O arranjo curricular do ensino de evolução e as relações entre os trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. *Filosofia e História da Biologia*, 4, 235-257.
- Bonito J., Rebelo D., Morgado, M., Monteiro G., Medina J., Marques L., Martins, L. (2011). A Complexidade do Tempo Geológico e a sua Aprendizagem com Alunos Portugueses (12-13 anos). *Terrae Didactica*, 7(1), 60-71.
- Brasil. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. (2000). Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC.
- Brasil. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. (2002). PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC.
- Brasil. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular. Proposta preliminar. Terceira versão. Brasília: MEC. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>.
- Burchfield, J.D. (1998). The age of the Earth and the invention of geological time. In D.J. Blundell & A.C. Scott (Eds.), *Lyell: the Past is the Key to the Present* (pp.137-143). London: Geological Society Special Publications.
- Cervato, C., Frodeman, R. (2012). The significance of geologic time: cultural, educational and economic frameworks. *The Geological Society of America Special Papers*, 486, 19-27.
- Chaves, R.S., Moraes S.S., & Lira-da-Silva, R.M. (2013). O jogo 'Viagem no Tempo Geológico' como recurso didático na educação básica. In Ribeiro A.M., Lana C.C., Abdala F., Coimbra, J.C., Leme, J., & Garcia, M.J (Eds.), *Paleontologia em Destaque: Edição Especial. Boletim de Resumos XXVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia* (pp. 61).
- Chaves, R.S., Moraes S.S., & Lira-da-Silva, R.M. (2015). Quando estudantes agem como paleontólogos: importância do uso (e não apenas demonstração) de réplicas de fósseis. In: *Paleontologia em Destaque: Edição Especial. Boletim de Resumos XXIV Congresso Brasileiro de Paleontologia* (pp. 82).
- Chaves, R.S., Moraes S.S., & Lira-da-Silva, R.M. (2016). A Terra revela a sua história para estudantes do ensino fundamental em uma escola municipal da Bahia (Brasil). In: Veiga F. et al (Orgs.),



Atas do II Congresso Internacional Envolvimento dos Alunos na Escola: Perspetivas da Psicologia e Educação Motivação para o Desempenho Académico (pp. 683-697).

- Cheek, K. (2012). Students' Understanding of Large Numbers as a Key Factor in their Understanding of Geologic Time. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 10(5), 1047-1069.
- Cotner, S., Brooks, D.C., & Moore, R. (2010). Is the age of the Earth one of our "sores troubles?" Students' perceptions about deep time affect their acceptance of evolutionary theory. *Evolution*, 64(3), 858-864.
- Dodick, J. (2007). Understanding evolutionary change within the framework of geological time. *McGill Journal of Education*, 42(2), 245-264.
- Dodick, J., Orion, N. (2003a). Cognitive factors affecting student understanding of geological time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 415-442.
- Dodick, J., Orion, N. (2003b). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87(5), 708-731.
- Dolphin, G. (2009). Evolution of the Theory of the Earth: A Contextualized Approach for Teaching the History of the Theory of Plate Tectonics to Ninth Grade Students. *Science & Education*, 18(3-4), 425-441.
- Evans, M.E. (2000). The emergence of beliefs about the origins of species in school-age children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 46(2), 221-254.
- Fisher, D.C., Tikhonov, A.N., Kosintsev, P.A., Rountrey, A. N., Buigues, B., van der Plicht, J. (2012). Anatomy, death, and preservation of a woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) calf, Yamal Peninsula, northwest Siberia. *Quaternary Internacional*, 255, 94-55.
- Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107(8), 960-968.
- Guimarães, E. M. (2004). A contribuição da Geologia na construção de um padrão de referência do mundo físico na educação básica. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1), 87-94.
- Kastens, K.A., Manduca, C.A., Cervato, C., Frodeman, R., Goodwin, C., Liben, L.S., Mogk, D.W., Spangler T.C., Stillings, N.A., Titus, S. (2009). How Geoscientists Think and Learn. *Eos*, 90(31), 265-272.
- Libarkin, J.C., Anderson S.W., Dahl, J., Beilfuss, M., & Boone W. (2005). Qualitative Analysis of College Student's Ideas about Earth: Interviews and Open-Ended Questionnaires. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 17-26.
- Libarkin, J.C. (2006). College Student Conceptions of Geological Phenomena and their Importance in Classroom Instruction. *Planet*, 17(1), 6-9.
- Libarkin, J.C., Kurdziel, J.P., & Anderson S.W. (2007). College Student Conceptions of Geological Time and the Disconnect Between Ordering and Scale. *Journal of Geoscience Education*, 55(5), 413-422.
- Melo, D.J., Bastos, A.C.F., Rodrigues, V.M.C., & Monção, V.M. (2007). Desenvolvimento de atividade lúdica para o auxílio do ensino e divulgação científica da Paleontologia. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 30(1), 73-76.



- Mortimer, E.F., & Scott, P. (2002) Atividade discursiva das salas de aula de Ciências: Uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 283-306.
- Oliveira, J.B.de. (2006). O Tempo Geológico no Ensino Fundamental e Médio: os estudantes e os livros didáticos (Tese de doutorado, USP, São Paulo, Brasil). Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-12052015-144412/pt-br.php>.
- Parker, J.D. Using Google Earth to Teach the Magnitude of Deep Time. (2011). *Journal of College Science Teaching*, 40(5), 23-27.
- Pedrinaci, E., Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1), 240-251.
- Perez, C.P., Rodrigues, M.F., Santos, T.T., & Andrade, L.C. (2011). O túnel do tempo geológico: Ferramenta didática para o ensino de Geociências no ensino fundamental e médio. In I.S. Carvalho, N.K. Srivastava, O. Strochschoen, C.C. Lana. (Eds.), *Paleontologia: Cenários da Vida* (pp. 709-718), Vol. 4. Rio de Janeiro: Interciência.
- Plomp, T. (2010). Educational Design Research: an Introduction. In T. Plomp, N. Nieveen (Eds.), *An Introduction to Educational Research* (pp. 9-35), Vol. 3. Enschede: SLO - Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Rebello, D., Morgado, M., Monteiro G., Bonito, J., Medina J., Martins, L., Marques L. (2011). O tempo geológico na formação de professores: das concepções de alunos à construção de materiais didáticos. Artigo apresentado no XI Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogía, La Coruña, Galiza. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/4346>
- Saraiva Júnior, J.C. (2013). Tempo Geológico, Sociedade e Ensino de Geografia Física. *Holos*, 5: 219-233.
- Sarmiento, A.C.H. (2015). Como ensinar citologia e promover uma visão informada da ciência no nível médio de escolaridade (Dissertação de mestrado, UFBA/UEFS, Bahia, Brasil).
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., & Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del Tiempo Geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 113-119.
- Soares, M.B. (2015). *A Paleontologia na sala de aula*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia. Disponível em: <https://www.paleontologianasaladeaula.com>.
- Toledo, M.C.M. (2005). Geociências no Ensino Médio Brasileiro – Análise dos Parâmetros Curriculares Nacionais. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, (3), 31-44.
- Tort, A.C., & Nogarol, F. (2013). Revendo o debate sobre a idade da Terra. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(1), 1-9.
- Trend, R.D. (2001). An Investigation into the Understanding of Geological Time among 17-year-old Students, with Implications for the Subject Matter Knowledge of Future Teachers. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 10(3), 298-321.
- Trend, R.D. (2009). The power of deep time in geoscience education: linking 'interest', 'threshold concepts', and 'self-determination theory'. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai: Geologia*, 54(1), 7-12.
- Van den Akker, J. (1999). Principles and Methods of Development Research. In J. Van den Akker, R.M. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, T. Plomp (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 1-14). Boston: Kluwer Academic.



- Van Dijk, E.M., & Kattmann, U. (2009). Teaching Evolution with Historical Narratives. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 479-489.
- Zen, E. (2001). What is deep time and why should anyone care? *Journal of Geoscience Education*, 49(1), 5-9.
- Zimmermann, N. (2012). Para além da seleção natural: algumas considerações sobre as contribuições de 'Darwin como Geólogo' para o ensino de Biologia. *Terrae*, 9(1-2), 2-11.