



Concepções alternativas sobre Tectônica de Placas: estudo de caso na educação técnica de nível médio

ALTERNATIVE CONCEPTIONS ABOUT PLATE TECTONICS: A CASE STUDY FOCUSING HIGH SCHOOL TECHNICAL EDUCATION

YURI RIBEIRO¹, MARISTELLA SANTOS¹, ADILSON RIBEIRO²

1-DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO, INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS (IFMG), CAMPUS CONGONHAS, MG, 36417-050, BRASIL.

2- INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS (IFMG), CAMPUS OURO BRANCO, MG, 36420-000, BRASIL.

E-MAIL: YURI.RIBEIRO@IFMG.EDU.BR, MARISTELLA.SANTOS@IFMG.EDU.BR, ADILSON.RIBEIRO@IFMG.EDU.BR

Abstract: This article presents an assessment of conceptions held by students about Plate Tectonics at a technical course in mining. Using a questionnaire, questions were asked about terminology, motion of plates, plate-related subsurface melting and the occurrence of earthquakes. The aim of this approach was to allow participants to express misunderstandings, partial insight and other alternative conceptions, in order to support further learning. It was observed that the students exhibited some descriptive knowledge of Plate Tectonics, but conceptual explanatory knowledge, which relates the dynamics of plate motion with changes explained by the theory, was weak. It was found that there is a need to use evidences and dynamic connections between plate motion and observable processes to improve learning of the theory. Also highlighted was the importance of conducting a class focused on disproving students' alternative concepts about the theory of Plate Tectonics.

Resumo: Este artigo apresenta uma avaliação do entendimento dos alunos sobre Tectônica de Placas em um curso técnico de Mineração. Por intermédio de um questionário, aplicaram-se perguntas sobre terminologia, movimento relativo de placas, fusão de rochas e ocorrência de terremotos. O objetivo da abordagem foi permitir que os participantes expressassem mal-entendidos, entendimentos parciais e outras concepções alternativas, de modo a auxiliar a aprendizagem posterior. Foi observado que os alunos apresentam algum conhecimento descritivo das Placas Tectônicas, mas é inconsistente o conhecimento explicativo conceitual, que relaciona a dinâmica dos movimentos das placas com as evidências explicadas pela teoria. Constatou-se a necessidade do uso de evidências e conexões dinâmicas entre movimentos de placas e processos observáveis para apoiar o aprendizado da teoria. Ainda, destacou-se a importância de se realizar uma aula focada em refutar concepções alternativas dos alunos sobre a Teoria de Tectônica de Placas.

Citation/Citação: RIBEIRO, Y., SANTOS, M., RIBEIRO, A. (2020). Concepções alternativas sobre Tectônica de Placas: estudo de caso na educação técnica de nível médio. *Terraê Didática*, 16, 1-14, e020022. doi:10.20396/td.v16i0.8659218

Keywords: Geotectonics. Geosciences Teaching. Alternative conceptions.

Palavras-chave: Geotectônica. Ensino de Geociências. Concepções alternativas.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 20/04/2020

Revised/Corrigido: 22/05/2020

Accepted/Aceito: 27/05/2020



Introdução

Os alunos chegam ao ensino médio com entendimentos de fenômenos naturais derivados de suas próprias experiências no mundo. Esses entendimentos muitas vezes diferem das explicações científicas e são resistentes à mudança (Posner et al., 1982, Strike & Posner, 1992), principalmente quando professores utilizam a instrução tradicional em estilo de palestra. Os alunos têm dificuldade de desenvolver explicações geológicas por várias razões: (a) fusão indesejável da terminologia científica com o uso comum (Libarkin & Anderson, 2005, Clark et al., 2011); (b) o fato de que os processos geológicos geralmente ocorrem em escalas de tempo e espaço além das experiências cotidianas, dificultando a compreensão de tais processos (Orion & Ault, 2007) e (c) a tendência de os alunos

projetarem suas experiências cotidianas comuns nos fenômenos geológicos (Sibley, 2005, Clark et al., 2011). Os professores podem contribuir para essa dificuldade quando tomam como certo que os estudantes novatos entendem o vocabulário como é apresentado na aula (Bransford et al., 2000). Além disso, os professores geralmente assumem que os alunos alcançaram um entendimento conceitual básico de uma matéria em um curso introdutório que pode ser expandido em cursos subsequentes. Concordando com tal suposição, está a observação bem conhecida da psicologia cognitiva de que os alunos mantêm persistentemente *concepções alternativas* sobre ideias-chave que são resistentes a muitas formas de instrução (Posner et al., 1982, Bransford et al., 2000). Será utilizada neste artigo a expressão *concepções alternativas* para se referir aos

erros conceituais, ideias intuitivas ou concepções espontâneas, que diferem dos conceitos científicos corretos.

Este artigo apresenta uma avaliação do entendimento conceitual dos alunos sobre Tectônica de Placas em um curso técnico de Mineração, na modalidade Integrado, de uma escola da rede federal de ensino. Os alunos no curso técnico de Mineração aplicam o entendimento conceitual das Placas Tectônicas para compreenderem a formação e distribuição de tipos de rochas e estruturas geológicas provenientes de diversos processos tectônicos, bem como associar os processos à gênese de importantes recursos minerais. No curso técnico de Mineração investigado, a disciplina de Geologia Geral, lecionada no 1º ano do curso, faz uma explanação sobre a Teoria da Tectônica de Placas, cujo entendimento é fundamental para as demais disciplinas do curso. Sendo assim, é comum que os professores das matérias subsequentes presumam que os alunos possuam domínio suficiente dos aspectos causais e dinâmicos da Tectônica de Placas para compreender novas aplicações e extensões da teoria. No entanto, antes de desenvolver as aplicações da Tectônica de Placas, o ideal é identificar as deficiências no entendimento fundamental desse tópico, a fim de se corrigir mal-entendidos que poderiam inibir o aprendizado eficaz dos alunos. Entender como ocorre o funcionamento mental dos alunos e as suas lacunas de conhecimento pode auxiliar os professores em um melhor planejamento didático.

A maioria das pesquisas sobre ensino de Tectônica de Placas se concentrou em catalogar e caracterizar conceitos errôneos comuns encontrados em livros didáticos e mantidos por alunos de todas as idades (Sibley, 2005, Ford & Taylor, 2006, Clark et al., 2011, Francek, 2013) ou na capacidade dos alunos em termos de fatores cognitivos subjacentes, caracterizados como geocognição (Libarkin & Anderson, 2006). Comparando-se a países da Europa e aos Estados Unidos, o Brasil apresenta deficiência expressiva na produção de conteúdo de ensino didático, particularmente quando se trata da área de Geociências (Teixeira et al., 2017, Toscani et al., 2017). Diante da escassez de estudos sobre o ensino de Geociências em escolas públicas brasileiras, este trabalho tem por objetivo fornecer dados para a literatura de desenvolvimento conceitual das Ciências da Terra, a partir de uma pesquisa sobre a real compreensão dos alunos do último ano do curso técnico mencionado, sobre a Tectônica

de Placas. Para tanto, aplicou-se uma atividade que solicita a identificação das principais feições geológicas associadas à dinâmica interna da Terra, mais especificamente às Placas Tectônicas, permitindo reconhecer e refutar concepções alternativas e equivocadas, além de apresentar exemplos nos quais o aprendizado não ocorreu como pretendido. Dessa forma, foi possível propor explicações para os alunos não terem alcançado resultados desejados e sugerir implicações para a melhoria pedagógica de professores da área de Geociências.

Sabe-se que o conteúdo de Tectônica de Placas engloba muitos recursos, componentes e processos inter-relacionados e, portanto, não são facilmente divididos em partes menores sem perder as ideias principais, o que torna a pesquisa a respeito do entendimento dos alunos sobre Tectônica de Placas um desafio. Espera-se que este trabalho possa dar subsídio a diálogos e pesquisas sobre a forma como professores da área de Geociências ensinam seus alunos.

Metodologia

Este estudo de caso qualitativo concentra-se em um grupo de 31 alunos que cursam a disciplina Geologia Aplicada, lecionada no 3º ano de um curso técnico de Mineração Integrado ao Ensino Médio, de uma escola da rede federal de ensino. Embora a natureza qualitativa da investigação limite a capacidade de generalizar sobre a aprendizagem dos alunos, estudos que exploram o pensamento do aluno em profundidade vão além de apenas identificar concepções alternativas ou modelos mentais preferidos, mas informam aos professores sobre o processo de aprendizagem em si (Taber, 2003). O protocolo aplicado neste estudo permite avaliar os processos de criação de significado dos participantes (Clark et al., 2011), identificar em quais situações a construção de modelos mentais pode estar prejudicada e ainda trabalhar para mitigar possíveis barreiras criadas por experiências anteriores (Cheek, 2010, Francek, 2013) ou mudar a estratégia didática usada durante a instrução (Taber, 2003, Libarkin, 2005, Dolphin & Benoit, 2016).

A pesquisa foi realizada em três etapas. A primeira fase, chamada de pré-revisão, consistiu em aplicar um instrumento de pesquisa desenvolvido por Clark & Libarkin (2011) e Clark et al. (2011) e adaptado neste estudo, sendo baseado em uma seção esquemática comum da Terra (Fig. 1). A seção transversal da Terra é de domínio público (Simkin

et al. 1994) e foi modificada para aplicação na pesquisa, removendo-se todo o texto, as setas indicando o movimento relativo das placas e os aspectos que indicavam fusão. As modificações permitiram a elaboração de perguntas sobre terminologia, movimento relativo da placa, fusão e ocorrência de terremotos. O instrumento de pesquisa é constituído por um conjunto de seis questões, que foram aplicadas aos participantes antes de ser realizada qualquer revisão sobre a Teoria da Tectônica de Placas. Essas foram escolhidas porque abordam os fenômenos que são consequência da movimentação das placas. As questões da pesquisa foram:

- Identifique, colocando nomes, as feições relacionadas a Placas Tectônicas que você reconhece.
- Circule as áreas, abaixo da superfície, nas quais você acha que está ocorrendo fusão.
- Indique, com setas, o movimento relativo das Placas Tectônicas.
- Assinale, com ★, os locais onde você acha que ocorre terremoto.
- O que as cores da figura representam?
- Por que ocorre fusão nas áreas da figura que você indicou?

A Figura 1 apresenta a seção esquemática da Terra com os principais ambientes tectônicos. A partir de sua análise, os estudantes responderam ao questionário proposto.

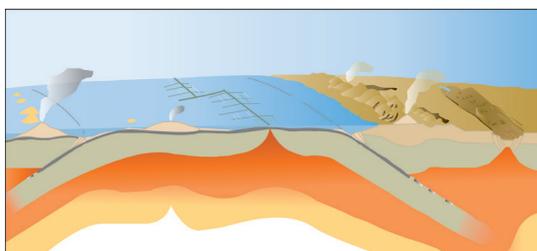


Figura 1. Seção esquemática da Terra, utilizada no instrumento de pesquisa deste estudo (modificada de Simkin et al. 1994)

Nas quatro primeiras perguntas, os alunos foram solicitados a escrever suas respostas na imagem da seção transversal, uma vez que esta atividade pode fornecer informações sobre os conceitos dos participantes (Libarkin, 2006). Nas duas últimas perguntas, os alunos forneceram respostas escritas e curtas, permitindo que os pesquisadores registrassem a interpretação do raciocínio dos participantes. A segunda etapa da pesquisa consistiu em uma

revisão sobre a dinâmica interna da Terra, englobando tópicos a respeito de sua estrutura interna e Teoria da Tectônica de Placas. A aula de revisão foi elaborada com base nos principais conceitos errôneos identificados na primeira etapa deste estudo. Os alunos receberam aproximadamente um total de 4 horas, em 2 semanas, de instrução. A técnica instrucional utilizada foi de aula tradicional (estilo palestra), na qual fez-se uma apresentação oral e objetiva do conteúdo citado. A terceira fase do trabalho, denominada de pós-revisão, consistiu em uma nova aplicação do instrumento de pesquisa utilizado na primeira etapa do estudo, de modo a se verificar quais conceitos foram incorporados aos modelos mentais dos alunos e quais concepções ainda permaneceram equivocadas após a etapa de revisão.

Os alunos foram informados sobre a participação voluntária na pesquisa e que a escolha pela participação não afetaria na nota do curso. Todos os alunos receberam um termo de consentimento para publicação dos dados do estudo.

Codificação do instrumento de pesquisa

Cada uma das questões foi codificada pelos dois primeiros autores deste artigo, os quais simplificaram as categorias, reconciliaram qualquer diferença na codificação e alcançaram 100% de concordância ao codificar todas as respostas.

As respostas à questão 1 foram registradas e agrupadas em categorias, que se referem às principais feições presentes na Figura 1: litosfera, astenosfera, *hotspot*, crosta oceânica, crosta continental, zona de subdução, rifte continental, placas divergentes, placas convergentes, placas transformantes, vulcão, dorsal mesoceânica, trincheira e montanhas. Por exemplo, o termo “movimento divergente” entrou na categoria “placa divergente”. As respostas também foram codificadas nas seguintes classes: acertos, erros, não identificação. Por exemplo, ao identificar a crosta mais a litosfera mantélica como litosfera, a resposta foi codificada como acerto, e indicar apenas a crosta como litosfera foi codificado como erro.

Para as questões 2 e 4, foram codificadas regiões onde os alunos comumente indicaram a presença de fusão (Fig. 3) e de terremotos (Fig. 4). As áreas codificadas são simétricas. Por exemplo, se um aluno colocasse um círculo em cima da cunha mantélica, ao lado da placa descendente direita ou esquerda, esse círculo seria codificado como área

7 de fusão. Para os terremotos, atribuiu-se um mesmo código para asteriscos que representam um mesmo ambiente tectônico. Por exemplo, terremotos indicados em limite de placa divergente receberam o código 5.

Na questão 3, os alunos foram solicitados a indicar o movimento da placa, desenhando setas. As respostas também foram codificadas nas classes de acertos, erros e não identificação. Por exemplo, se a direção, o sentido e a localização das setas para o movimento convergente estivessem corretos, a resposta era codificada como acerto, e se algum dos parâmetros estivesse indicado de maneira incorreta, a resposta era codificada como erro.

Para a pergunta 5, as respostas foram agrupadas nas seguintes categorias, de acordo com as cores presentes na figura: bege, cinza escuro, verde claro, laranja e amarelo, sendo também codificadas nas classes acertos, erros e não identificação. Tomando a cor laranja como exemplo: se esta cor foi identificada como astenosfera, a resposta foi codificada como acerto, enquanto que se o nome atribuído a esta cor fosse “magma”, a resposta era codificada como erro.

Por fim, para a questão 6, categorizaram-se as respostas de acordo com os fatores que influenciam o processo de fusão que mais foram citados pelos alunos: temperatura e pressão. Os códigos de acertos, erros e não identificação também foram utilizados para a pergunta 6, como, por exemplo, para o fator pressão: se a fusão em ambientes de limite divergente foi associada a um processo de despressurização, a resposta foi codificada como acerto, ao passo que a consideração de que um aumento de pressão na dorsal mesoocênica causou fusão foi classificado como erro.

Nas questões 1, 3, 5 e 6 o código “não identificação” refere-se a alunos que não indicaram algum dos itens na figura, ou que citaram alguma feição, mas não assinalaram a localização correta, ou ainda que deram respostas aleatórias.

Resultados

Identificação de feições no desenho

Na primeira etapa da pesquisa (pré-revisão), das 14 feições presentes na Figura 1, sete foram identificadas corretamente, sendo elas: vulcão (29%, n=9), placas divergentes (25,8%, n=8), placas convergentes (19,4%, n=6), zona de sub-

dução (12,9%, n=4), litosfera (6,5%, n=2), crosta oceânica (3,2%, n=1) e montanhas (3,2%, n=1). No entanto, alguns estudantes nomearam de forma equivocada essas sete feições, sendo consideradas como respostas erradas. A litosfera recebeu o termo crosta (n=2); a zona de subdução foi chamada de cisalhamento (n=2) e alguns alunos, apesar de nomearem a feição corretamente, posicionaram-na em região de maior profundidade que a correta (n=2); placas divergentes foram nomeadas como fraturas (n=1) e convergente (n=3); placas convergentes foram identificadas como encontro das placas (n=2) e divergente (n=1); vulcão foi chamado de *gêiser* (n=1); e montanhas identificadas pelo termo convergentes (n=2). Quatro feições não foram identificadas corretamente e receberam nomes errados: astenosfera foi identificada como manto (n=2); *hotspot* recebeu termo *gêiser* (n=1) e saprolito (n=1); dorsal mesoocênica foi a feição que recebeu o maior número de termos incorretos, sendo nomeada como assoalho oceânico (n=1), placa mesoocênica (n=1), funil (n=1), rifte (n=1), cisalhamento (n=1), dique (n=2) e bacia mesoocênica (n=1). Três feições não foram identificadas pelos alunos: a crosta continental, as placas transformantes e a trincheira.

Após a aula de revisão (etapa pós-revisão), foi observada melhora considerável na identificação das feições no desenho apresentado aos alunos (Fig. 2). Todas as 14 feições associadas à dinâmica interna da terra foram citadas pelos estudantes, sendo que a mais frequente continuou sendo vulcão (71%, n=22). As demais feições que foram corretamente citadas, em porcentagem de alunos, são: litosfera, astenosfera, crosta oceânica e rifte continental estiveram em 45,2% das respostas (n=14), trincheira (38,7%, n=12), crosta continental (35,5%, n=11), zona de subdução e dorsal mesoocênica (32,3%, n=10), *hotspot* (29,0%, n=9), placas convergentes (22,6%, n=7), placas divergentes (16,1%, n=5), placas transformantes (9,7%, n=3), e montanhas (6,5%, n=2). No entanto, alguns erros ainda persistiram: litosfera recebeu o termo incorreto de crosta (n=2), crosta oceânica (n=1) e crosta continental (n=1); astenosfera foi nomeada de mesosfera (n=2), manto (n=1) e litosfera (n=1); zona de subdução foi identificada como limite transformante (n=1); rifte continental foi indicado como *hotspot* (n=2) e cadeia de montanhas (n=2); placas divergentes foram nomeadas de placas transformantes (n=1), placas convergentes (n=1) e crosta oceânica em

expansão (n=1); placas convergentes foram identificadas como placas transformantes (n=2) e limites divergentes (n=1); placas transformantes apareceram como falhas (n=1) e cisalhamento (n=1); vulcão foi chamado de *hotspot* (n=1); dorsal mesoceânica foi identificada como rifte (n=2) e fossa (n=1); e montanhas foram chamadas de cadeia de vulcões (n=2) e vulcão (n=1). As montanhas e as placas transformantes foram as menos identificadas entre todas as feições.

Importante pontuar que alguns termos novos surgiram nas respostas dos alunos, quais sejam: placa sul-americana, litosfera oceânica, litosfera continental, isoterma de 1200 °C, fossa, vulcão extinto, núcleo, manto e mesosfera. A figura 2 apresenta o quantitativo de acertos entre as etapas para cada uma das 14 feições avaliadas.

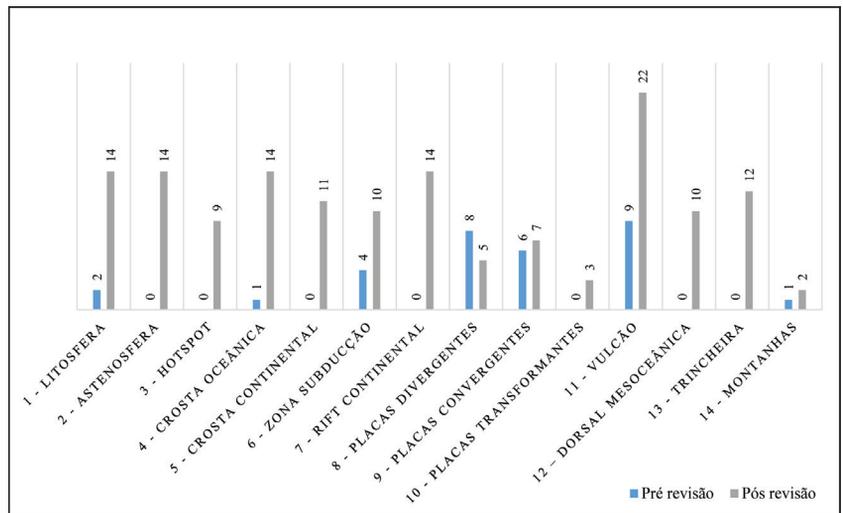


Figura 2. Identificação das feições presentes na Figura 1. Os números acima das barras indicam a quantidade de alunos que identificaram corretamente as feições

das respostas. A área 7, onde ocorre a cunha mantélica e as placas subdividem-se na astenosfera ao final da zona de subdução, recebeu 9,7% (n=3) das respostas. As áreas 8, 9 e 10, que correspondem à trincheira, à base inferior da litosfera e ao centro da astenosfera abaixo da zona divergente continental receberam, cada uma, 3,2% (n=1) das respostas. A Figura 3 mostra onde os alunos indicaram fusão

Fusão em subsuperfície

Um total de dez lugares foram marcados na imagem pelos alunos antes da revisão do conteúdo. As áreas mais citadas foram a 6, em que as placas de subdução parecem desaparecer na imagem, e a 2, zona divergente oceânica, com 51,6% (n=16) e 35,5% (n=11) das respostas, respectivamente. A área 3 (zona divergente continental) recebeu 29% (n=9) das respostas. A área 1 (zona de pluma mantélica) e a área 4 (limite inferior da astenosfera) tiveram 22,6% (n=7) das respostas. A área 5 (fusão da placa diretamente abaixo dos vulcões) foi marcada em 12,9% (n=4)

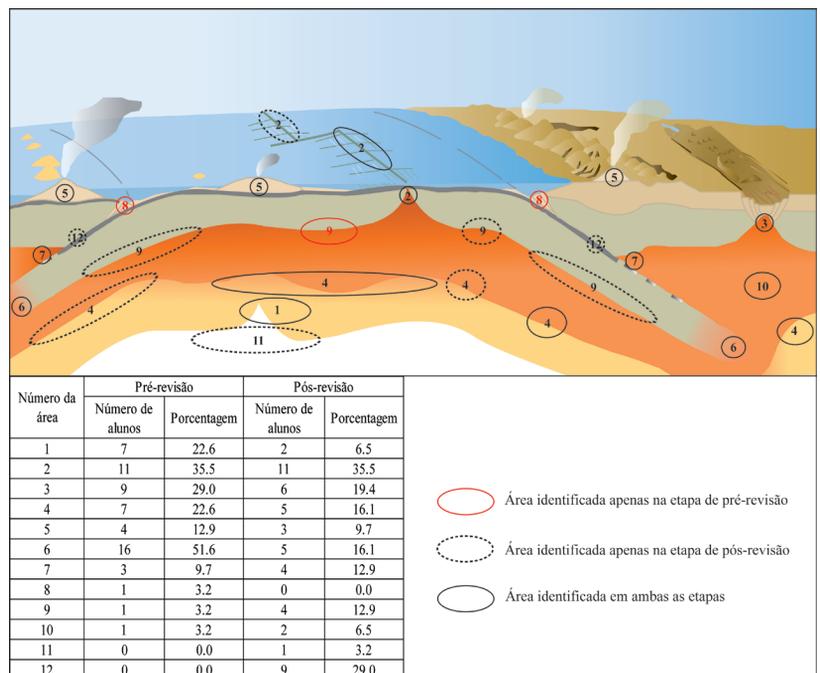


Figura 3. Rubrica de codificação para a pergunta 2, com base nos locais em que os alunos geralmente indicaram fusão

abaixo da superfície da Terra, os círculos delimitam as áreas.

A razão para a fusão em subsuperfície mais comumente citada pelos alunos foi o aumento da temperatura ou o calor (Tabela 1), com 58,1% (n=18) das respostas, sendo senso comum nestas respostas que a temperatura aumenta com o aumento da profundidade. Em 22,6% (n=7) das respostas, os alunos explicaram que esse aumento de temperatura é causado pelo contato com “magma quente em profundidade”. Os alunos citaram também que a composição das rochas influencia a fusão, explicando que aquelas mais densas tendem a descer para regiões mais quentes. A pressão foi discutida por apenas um aluno, o qual explica que a queda da pressão promove a fusão e acrescenta que, em profundidade, as altas pressões impedem fusão, mesmo que as temperaturas sejam elevadas. Respostas de 19,4% (n=6) dos estudantes foram desconexas e sem sentido ou deixadas em branco. Erro comum nas respostas dos alunos foi pensar que existe magma perto do núcleo e 19,4% (n=6) deles demonstraram não entender que magma é rocha líquida, pois em suas respostas escreviam que “magma sólido” sofreria fusão com o aumento de temperatura. Outros erros sobre a causa da fusão das rochas foram: a fusão ocorre quando a temperatura diminui (n=1) e o aumento de pressão leva à fusão da rocha (n=2). Tais resultados podem ser verificados na Tabela 1, a seguir.

Após a revisão, ao repetir o exercício, nove das dez áreas circuladas foram citadas, sendo que foram alterados os valores de porcentagens e o formato destas áreas (Fig. 3). A área 8 foi a única não indicada pelos alunos. Houve o acréscimo de duas novas áreas, a área 11, na região profunda do manto abaixo da área 1, e a área 12, que corresponde ao final

da zona de subdução onde as placas subdividem. As áreas mais citadas foram: 2 (35,5%, n=11), 12 (29%, n=9) e 3 (19,4%, n=6). A área 6, que havia sido a mais frequente nas respostas anteriormente, passou, junto com a área 4, a ter 16,1% (n=5) das respostas. As demais áreas em ordem decrescente foram: áreas 7 e 9 com 12,9% (n=4), área 5 com 9,7% (n=3), áreas 1 e 10 com 6,5% (n=2), e área 11 com 3,2% (n=1).

Foram observadas discussões mais aprofundadas, após a revisão, com expressões mais formais que nas respostas anteriores, como: ponto de fusão das rochas, litosfera, astenosfera, rifte continental, zona de subdução, limite de placas divergente. O fator mais citado para a fusão continuou sendo o aumento da temperatura (71%). Outro fator foi o alívio da pressão ou uma pressão mais baixa (29%). O limite litosfera-astenosfera foi citado por 45,2% (n=14) dos alunos como local principal para fusão em subsuperfície. Erros de explicação na causa da fusão apresentados foram: temperatura baixa (n=1), alívio de pressão na zona de subdução (n=1), aumento de pressão no limite divergente (n=1), pressão alta (n=2), fusão na mesosfera (n=1) e porque as placas estão se contraindo (n=1), conforme se observa na Tabela 1.

Movimentos relativos das Placas Tectônicas

Na etapa de pré-revisão, um total de 10 alunos (32,3%) demonstraram o entendimento integrado dos movimentos das placas, colocando setas sempre em pares nos limites convergentes e divergentes. Outros 12 alunos (38,7%) demonstraram o entendimento parcial dos movimentos das placas, colocando setas apenas em um dos extremos das Placas

Tabela 1. Acertos e erros dos alunos ao responderem sobre as razões que causam fusão em subsuperfície

Fator	Pré-revisão				Pós-revisão			
	Acerto*	Erro *	Acerto (%)	Não identificou *	Acerto*	Erro*	Acerto (%)	Não identificou*
Temp.	18	Temperatura diminuiu (1), Magma no núcleo (1)	58,1	9	19	Temperatura baixa (1)	61,3	11
Pressão	1	Pressão alta (2)	3,2	25	9	Alívio de pressão na subdução (1), aumento de pressão no limite divergente (1), pressão alta (2)	29,0	18

* (nº de alunos)

Tectônicas, ora nos limites convergentes, ora nos limites divergentes. Sete alunos (23%) posicionaram as setas em locais errados. Os erros encontrados foram: indicar movimento em profundidade no manto (n=2), sentido inverso de movimento (n=1) e posicionamento de movimento transformante dentro de uma única placa. Apenas um estudante deixou o exercício sem resposta.

De forma geral, os movimentos convergentes das placas foram os mais representados corretamente, aparecendo em mais da metade das respostas dos estudantes (58,1%, n=18). Neste tipo de limite, os erros encontrados foram: colocar movimento transformante (n=2) e colocar setas com o sentido invertido (n=3). Os demais estudantes (29%, n=9) não identificaram o movimento relacionado aos limites convergentes. O movimento foi indicado em ambas as placas nas zonas convergentes oceano-oceano e continente-oceano, sendo 52% (n=16) e 58% (n=18) das respostas, respectivamente. Dez por cento das outras respostas indicaram movimento de apenas uma placa (n=3).

Nos limites divergentes, 38,7% (n=12) dos estudantes acertaram pelo menos um dos limites, que na figura utilizada pode ocorrer em região oceânica e em região continental, sendo que o movimento foi indicado em ambas as regiões em 32,3% (n=10) e 12,9% (n=4) das respostas, respectivamente. Neste tipo de limite, os erros encontrados foram: inversão do sentido (n=7) e indicação de movimento transformante (n=2). Em 38,7% (n=12) das respostas, não houve a identificação dos limites divergentes.

No limite transformante, 93% dos alunos (n=29) não fizeram qualquer identificação. Um aluno indicou esse limite com direção perpendicular à correta e outro indicou o local onde ocorre o limite transformante como convergente.

Após a revisão, foi possível verificar uma mudança expressiva na resposta dos alunos. Um total de 18 alunos (58,1%) expressaram o entendimento integrado dos movimentos das placas, colocando setas sempre em pares nos limites convergentes, divergentes e transformantes. Outros 11 alunos (35,5%) expressaram o entendimento parcial dos movimentos das placas, colocando setas apenas em um dos extremos das Placas Tectônicas, ora nos limites convergentes, ora nos limites divergentes. Dois alunos (6,5%) posicionaram as setas em locais errados, sendo que os erros foram: indicar movimento divergente na astenosfera abaixo da trincheira, sentido inverso de movimento (n=1)

e posicionamento de movimento transformante ao longo do arco de ilha.

Os movimentos convergentes das placas, que foram os mais representados anteriormente, passaram a ser o segundo mais citado, porém tiveram um aumento de 18 para 24 na resposta dos estudantes (77,4%). Neste tipo de limite, os erros que persistiram foram colocar movimento transformante (n=1) e colocar setas com o sentido invertido (n=1). Um erro novo foi colocar movimento convergente sobre as montanhas na crosta continental. O movimento foi indicado em ambas as placas nas zonas convergentes oceano-oceano e continente-oceano em 77,4% (n=24) e 61,3% (n=19) das respostas, respectivamente.

Os movimentos divergentes foram os mais citados, em que 83,9% (n=26) dos estudantes acertaram pelo menos um dos limites, sendo que 74,2% (n=23) e 51,6% (n=16) das respostas indicaram o movimento na região oceânica e na região continental, respectivamente. Neste tipo de limite, o erro persistente foi a inversão do sentido (n=2). Um novo erro foi nomear o movimento divergente de zona de *hotspot* (n=2). Em 13% (n=4) das respostas não houve a identificação dos limites divergentes.

Por fim, o limite transformante, que antes da revisão não tinha respostas corretas, passou a apresentar duas respostas corretas (6,5%) e houve um erro em que o aluno indicou esse limite com direção perpendicular à correta.

A Tabela 2 resume os dados das respostas dos alunos para a questão 3 desta pesquisa.

Terremotos

Na etapa pré-revisão, foram indicados 13 locais possíveis para os tremores (Fig. 4). A maioria dos estudantes marcou os terremotos exclusivamente na superfície das crostas continental e oceânica (81%, n=25). O restante dos alunos optou por localizá-los apenas em subsuperfície, na zona de subdução (ponto 6, n=4) e astenosfera (pontos 12 e 13; n=3). O ponto 4, marcado ao longo dos limites convergentes, foi a resposta mais frequente, indicado por 58% (n=18) dos alunos; seguido pelo ponto 5, que representa a dorsal mesoocênica, marcado por 39% (n=12) dos alunos. O ponto 3, zona de rifte continental, recebeu 26% (n=8) das respostas; o ponto 2 (cadeia de montanhas) foi indicado em 9,7% (n=2) das respostas; os pontos 1 (arcos de ilha na zona de subdução), 8 (litoral do continente), 9

Tabela 2. Acertos e erros dos alunos ao identificarem os movimentos relativos das Placas Tectônicas

Movimentos	Pré-revisão				Pós-revisão			
	Acerto*	Erro*	Acerto (%)	Não identificou*	Acerto*	Erro *	Acerto (%)	Não identificou*
Convergente	18	Inverteu sentido (3), transformante (2)	58,1	9	24	Indicou movimento em profundidade (1), Inverteu sentido (1), Transformante (1), Fora do limite da placa (1)	77,4	3
Divergente	12	Inverteu sentido (7), localizou em profundidade abaixo do hotspot (1), transformante (2)	38,7	12	26	Fora do limite da placa (1), Inverteu sentido (2)	83,9	4
Transformante	0	Direção (1), convergente (1)	0,0	29	2	Direção (1)	6,5	27

* (nº de alunos)

(vulcão do *hotspot*) e 10 (região continental entre a cadeia de montanhas e o rifte continental) tiveram todos 6,5% (n=2) das respostas. Os pontos 7 (assoalho oceânico a oeste do vulcão do *hotspot*) e 11 (arco magmático na zona de subdução) apareceram cada um em apenas uma resposta. A Figura 4 apresenta a distribuição dos pontos marcados pelos alunos para a ocorrência de terremotos, bem como a porcentagem das respostas.

Após a revisão, ao repetir o exercício, apenas os pontos 7 e 8 não foram mais citados pelos estudantes. No entanto, foram acrescentados mais dois pontos (Fig. 4): ponto 14, sobre o assoalho oceânico (n=1), e ponto 15, no limite transformante sobre dorsal mesoocênica (n=1). Dos onze pontos que foram citados anteriormente, o ponto 4 continuou como o mais frequente, sendo marcado em 64% das respostas, seguido pelos pontos 5 (36%, n=11) e 3 (22%, n=7). Os pontos 1, 9 e 11 foram marcados em 9,7% (n=3), enquanto os pontos 2, 6, 10, 12 e 13 apareceram em apenas uma resposta cada.

Cores da figura

Antes da revisão, 12,9% (n=4) dos alunos escreveram que as cores representam a estrutura da Terra, porém não citaram o nome da cor e o seu significado. Outros 35,5% (n=11) dos alunos disseram que as cores representavam as temperaturas das camadas ou diferentes temperaturas do magma, sendo que as maiores temperaturas ocorreriam em porções mais profundas e afastadas da crosta. As demais respostas apresentaram nome

de cores e seus respectivos significados, as quais, no geral, foram cinco cores, sendo elas bege, cinza escuro, verde claro, laranja e amarelo. A cor bege, correspondente à crosta continental, apareceu em 9,7% (n=3) das respostas, sendo que termos errados para essa cor foram terra (n=1), vulcão (n=1), massas rochosas (n=1) e superfície (n=1). A cor cinza escuro representa a crosta oceânica e ocorreu corretamente em 6,5% (n=2) das respostas e foi equivocadamente chamada também de crosta terrestre (n=1) e massas rochosas (n=1). A cor verde-claro representa a litosfera ou placa tectônica, sendo a cor mais corretamente identificada, presente em 35,5% (n=11) das respostas, sendo que outras respostas consideradas erradas foram: feições relacionadas a placas (n=1) e manto (n=2). A cor laranja representa a astenosfera e não foi corretamente identificada, tendo sido nomeada de: magma (n=7), temperatura do magma (n=6), manto (n=2), núcleo externo (n=2), lava (n=1), alta temperatura (n=1), maior energia (n=1) e rocha (n=1). A cor amarela representa a mesosfera e também não foi nomeada ou identificada corretamente por aluno algum, sendo que os termos apresentados foram: temperatura do magma (n=6), magma (n=6), núcleo interno (n=2), manto (n=2), lava (n=1), alta temperatura (n=1) e maior energia (n=1).

Após a revisão, houve um aumento para 22,6% (n=7) dos alunos que não citaram o nome da cor e o seu significado. Houve redução para 6,5% (n=2) dos alunos que disseram que as cores representavam as temperaturas das camadas ou

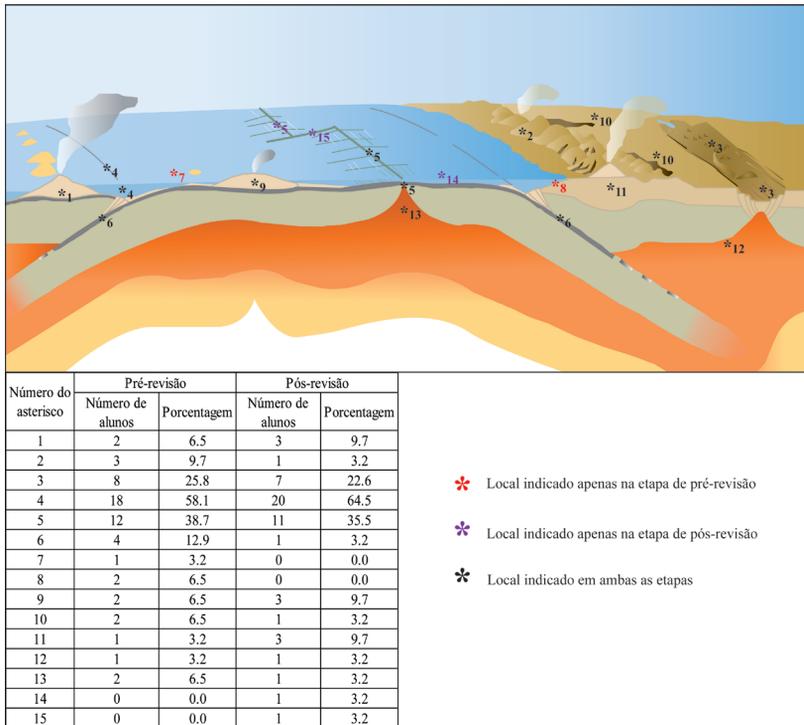


Figura 4. Rubrica de codificação para a pergunta 4, com base nos locais em que os alunos geralmente indicaram a ocorrência de terremoto

maiores temperaturas do magma em porções mais profundas e afastadas da crosta, sendo todos eles os mesmos alunos que insistiram numa resposta sem detalhamento. Os alunos que fizeram o detalhamento das cores apresentaram leve melhora em suas respostas. A cor bege teve 12,9% (n=4) das respostas corretas, termos incorretos para essa cor foram rochas (n=1) e faixa de terra (n=1). A cor cinza-escuro ocorreu corretamente em 9,7% (n=3) das respostas, sendo que um aluno a chamou de crosta continental (n=1). A cor verde-claro manteve 35,5% das respostas corretas e erros relacionados a essa cor foram: astenosfera (n=1), rochas (n=1) e manto (n=2). A cor laranja foi corretamente identificada em 32,3% dos alunos e alguns erros foram: magma (n=2), litosfera (n=2) e núcleo externo (n=1). A cor amarela foi nomeada corretamente em 19,4% (n=6) das respostas e os termos errados apresentados foram: magma (n=2), astenosfera (n=2), fusão da rocha (n=1), núcleo interno (n=1), núcleo externo (n=1) e manto superior (n=1). Importante destacar que, apesar da melhora sutil nos acertos, os alunos diminuíram expressivamente os erros referentes às camadas.

A Figura 5 apresenta o número de alunos que relacionaram corretamente as feições com as cores.

percebendo-se que há um mal-entendido sobre o estado da matéria da astenosfera e da mesosfera por parte dos alunos. Ainda se observou a aplicação de modelos internamente inconsistentes para o movimento das placas. Notou-se a importância de os professores fazerem um levantamento sobre as concepções alternativas dos alunos, de modo a preparar as aulas com conteúdos que auxiliem um correto entendimento por parte dos estudantes.

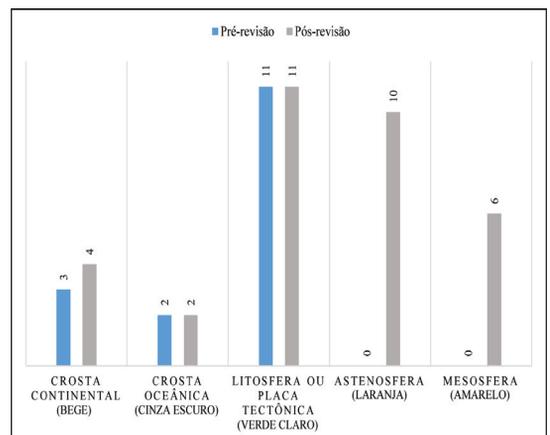


Figura 5. Relação entre as cores e as feições da Figura 1. Os números acima das barras indicam a quantidade de alunos que relacionaram corretamente as feições com as cores

DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa sugerem que os alunos têm dificuldades com vários conceitos científicos relacionados às placas tectônicas. Após a etapa de revisão, os alunos apresentaram considerável melhora em relação ao reconhecimento das feições associadas à Tectônica de Placas, embora, comumente, ainda tenham aparecido conflitos na identificação de camadas composicionais e reológicas da estrutura interna da Terra. Outras dificuldades relacionam-se à identificação equivocada dos locais onde ocorrem terremotos e ao não reconhecimento de onde e por que ocorre fusão na subsuperfície da Terra,

Concepções alternativas dos alunos

Outros estudos (por exemplo, Pushkin, 1997, Sigal, 2002) mostraram que a apresentação de novos conceitos pode representar uma barreira ao entendimento dos alunos. Isto pode ser verificado nesta pesquisa, quando se observa a confusão que eles fazem para reconhecer características tectônicas: os alunos identificavam alguma feição, porém a nomeavam de maneira errada, quando, por exemplo, utilizaram o termo placa mesoceânica para identificar a dorsal mesoceânica.

Concordando com as observações de Libarkin et al. (2005) e Clark et al. (2011), o estudo mostra o uso indevido de algumas terminologias, principalmente quando se trata de termos composicionais e reológicos para a estrutura interna da Terra. Por exemplo, um erro comum encontrado na pesquisa foi o uso do termo crosta na identificação da litosfera, tanto antes quanto depois da etapa de revisão. Porém, percebeu-se uma melhora considerável da identificação destas feições na etapa de pós-revisão, visto que foram utilizados corretamente tanto termos reológicos (litosfera e astenosfera) quanto composicionais (crosta oceânica e crosta continental) por quase metade dos alunos (45%), enquanto que, na etapa de pré-revisão, apenas 6,5% o fizeram.

Vulcão foi a feição mais comumente identificada nas duas etapas, tendo sido citada quase duas vezes e meia a mais na etapa de pós-revisão. Características topográficas, como vulcões, montanhas e trincheiras, são uma chave importante para entender a relação entre processos tectônicos e suas manifestações na superfície, no entanto o reconhecimento de feições pelos alunos não implica necessariamente uma compreensão destes processos.

Antes da etapa de revisão, 23% dos alunos indicaram o movimento de ambas as placas na cordilheira mesoceânica como convergente em vez de divergente. Isso sugere uma má interpretação dos processos tectônicos de placas ou da própria imagem, como observado por Clark et al. (2011). A explicação mais provável é que os alunos que indicaram que as placas estão se juntando na dorsal mesoceânica não entenderam por que a cordilheira é topograficamente mais alta que o fundo oceânico ao redor. A mesma explicação pode ser considerada para o rifte continental, visto que o desenho apresenta pequenas elevações na zona de rifte. Para gerar um modelo consistente internamente, e como estes alunos colocaram setas de movimentos convergentes na dorsal mesoceânica e no rifte

continental, parece que estes desconsideraram as feições de superfície e colocaram setas indicando divergência nas zonas de subdução. Na etapa de pós-revisão, estes mal-entendidos apareceram em uma quantidade menor de respostas, e as indicações acertadas dos movimentos das placas aumentaram consideravelmente.

Embora a imagem incluísse representações dos três principais limites de placas, e a maioria dos alunos ter indicado o movimento relativo destas, foram poucos (média de 21%) os que citaram os termos placas convergentes e placas divergentes, sugerindo que os alunos têm uma maior facilidade em perceber a movimentação das placas do que visualizar tais feições. O limite transformante não foi indicado corretamente por aluno algum na etapa de pré-revisão e apenas por 3 alunos após a revisão. Isso pode ser justificado pelo fato de que os limites transformantes na imagem cortam o limite divergente, como é comum na natureza. Consequentemente, os limites transformantes não são obviamente distintos dos limites divergentes. Após a revisão, um aluno usou o termo “transformante” para indicar placa divergente e dois alunos usaram o mesmo termo para placa convergente, o que mostra a dificuldade dos alunos em interpretar corretamente o processo de movimentação das placas. A confusão pode se dar pelo fato de que professores consideram a movimentação das placas como um tópico óbvio dentro da Tectônica de Placas, não dando o devido enfoque para auxiliar no entendimento correto dos alunos (Clark et al., 2011).

Outras feições, como *hotspot*, zona de subdução, rifte continental, dorsal mesoceânica e trincheira foram reconhecidos por uma maior quantidade de alunos na etapa de pós-revisão, o que mostra que parte dos alunos absorveram estes termos para seus modelos de Tectônica de Placas.

Em relação à fusão em subsuperfície, a análise das respostas dos alunos, na etapa de pré-revisão, sugere que os estudantes não estão retendo ideias cientificamente apropriadas sobre o estado da matéria da estrutura interna da Terra. Como já documentado em outros estudos (por exemplo, DeLaughter et al., 1998, Gobert, 2000, Clark et al., 2011), alguns participantes desta pesquisa adotaram a concepção alternativa de que o manto é líquido, sendo constituído por “magma quente”, ou ainda utilizaram a definição incorreta de que o manto é constituído por “magma sólido”. Após a revisão, alguns alunos enfatizaram que o manto é rochoso e não feito de magma, embora 36% das respostas

ainda se referissem a áreas de fusão em algum dos seguintes locais: astenosfera, limite entre astenosfera e mesosfera, na mesosfera e até abaixo desta camada. Concepções alternativas relacionadas ao estado da matéria do manto e as razões da fusão podem estar associadas à forma como o manto e as placas descendentes são comumente representadas nas imagens utilizadas para o ensino. Seguindo as imagens existentes, utilizaram-se as cores laranja e amarelo para representarem a astenosfera e a mesosfera, respectivamente, na imagem de pesquisa, e mostraram-se as placas descendentes desaparecendo no manto mais profundo (Fig. 1). A grande quantidade de alunos que delimitou áreas de fusão na parte laranja da imagem sugere que esta coloração contribuiu para a confusão dos estudantes tanto em relação ao estado físico da astenosfera quanto à localização da rocha fundida em subsuperfície. Na etapa de pré-revisão, 52% dos alunos interpretaram que as placas descendentes fundem à medida que desaparecem no manto mais profundo. A representação de desaparecimento destas placas em grandes profundidades no manto pode levar os alunos a desenvolverem uma nova concepção alternativa ou reforçar uma ideia existente de que a fusão ocorre em profundidade no manto. Após a revisão, apenas 16% dos alunos ainda delimitaram esta área como porções de fusão no manto profundo.

A questão de como as imagens representam processos tectônicos de placas foi discutida anteriormente por Stern (1998). Este autor citou a concepção alternativa de que a placa descendente é o principal material de origem para magmas relacionados à subdução, o que também foi claramente visto no conjunto de dados deste estudo: apenas 11% das respostas indicaram corretamente fusão na cunha do manto, em comparação com 29% das respostas que indicaram a fusão da placa subduc-tada, após a etapa de revisão (categoria 12, Fig. 3).

Os segundos locais mais comumente escolhidos para a fusão, tanto antes quanto após a etapa de revisão, foram os limites divergentes. Apesar disso, um aumento de temperatura foi a razão mais comumente citada pela qual a fusão ocorre, quando se sabe que grande parte da fusão no manto ocorre em função da despressurização da astenosfera, onde as placas se separam, e à hidratação da cunha do manto, resultante de reações de desidratação que ocorrem nas placas descendentes. Nenhum desses processos requer a adição de calor para gerar fusão. A hidratação da cunha do manto não foi citada pelos alunos em momento algum, enquanto que 29% das

respostas pós-revisão (contra 3% na etapa de pré-revisão) abordaram o processo de despressurização nos limites divergentes.

Diante dos dados sobre fusão, percebe-se que os alunos podem estar utilizando conceitos errôneos sobre as causas da fusão para determinar os locais onde ela ocorre. Estes resultados apontam para a necessidade de concentrar mais esforços instrucionais nos fatores que levam à fusão, como variação da pressão, da temperatura e do teor de água, evitando que os alunos marcassem regiões incorretas, como as regiões 1 e 11 da Figura 3.

Em se tratando da indicação dos locais onde ocorrem terremotos, 88% das respostas dos alunos mostraram a ocorrência de terremotos em superfície, sendo que a grande maioria dos estudantes indicaram corretamente a presença de epicentros nos limites das placas. Tais dados mostram que os alunos não compreendem profundamente que a maior parte da liberação de energia do terremoto ocorre abaixo da superfície. Apenas 13%, na etapa de pré-revisão, e 3,2% dos alunos, na etapa de pós-revisão, marcaram o foco do terremoto em profundidade, na zona de subdução (zona Wadati-Benioff).

Alguns alunos ainda indicaram a presença de focos de terremotos na astenosfera (números 12 e 13, Fig. 4), fato que corrobora o mal-entendido dos alunos, já constatado, em relação ao comportamento reológico das camadas da Terra.

Implicações para o ensino de Geociências

As concepções dos alunos, especialmente de ideias complexas ou grandes, tendem a progredir por meio de ideias parciais, híbridas e incompletas antes de chegarem à aproximação de um entendimento correto (Vosniadou et al., 1994, McDonald et al., 2019). Os alunos que participaram deste estudo foram submetidos a uma revisão sobre a teoria das Placas Tectônicas por meio de uma aula tradicional (estilo palestra). No entanto, outros estudos apontam que mudanças conceituais bem-sucedidas frequentemente requerem aprendizado ativo, durante o qual os alunos podem enfrentar discrepâncias diretamente entre suas próprias ideias e evidências tangíveis (por exemplo, Posner et al., 1982, Guzzetti, 2000). Métodos de aprendizado ativo incluem atividades lúdicas, como jogos em sala de aula (Sawyer et al., 2005), aulas em museus (Lima et al., 2014), uso de animações computadorizadas (Toscani et al., 2017), elaboração de maquetes

(Horta et al., 2018), bem como a utilização de versões preliminares de tutoriais de aulas para Placas Tectônicas, como encontrados no trabalho de Kortz et al. (2008).

Outra tendência que também pode impactar os padrões de instrução é o aumento do acesso a conjuntos de dados de Geociências em tempo real e em larga escala, como pode ser encontrado em *Incorporated Research Institutions for Seismology* (2020). Juntamente com o acesso cada vez maior ao poder da tecnologia nas escolas, por meio de programas de computação individuais e dos dispositivos pessoais dos alunos, é possível pensar em pedagogias de Geociência que se concentram mais em dados e evidências.

O foco desta pesquisa não foi investigar especificamente estratégias instrucionais, no entanto é possível perceber que muitos dos conceitos abordados aqui não são enfatizados por professores de Geociências, muito em função de que os docentes consideram conceitos fundamentais de fácil entendimento (Clark et al., 2011). É importante ressaltar que, se concepções alternativas não forem abordadas adequadamente durante um curso, é provável que os alunos se tornem parte de um público, em geral, que tenha uma compreensão limitada de conceitos científicos fundamentais. Como alguns conceitos de Geociências são extremamente arraigados e difíceis de serem alterados por abordagens de ensino tradicionais ou alternativas (Libarkin & Anderson, 2005, Clark et al., 2011), quanto mais cedo e mais frequentemente forem abordadas as concepções alternativas, maior será o sucesso da intervenção.

Limitações do estudo

Embora o trabalho tenha documentado concepções alternativas relacionadas à Tectônica de Placas, ele foi conduzido usando apenas uma imagem, um número limitado de perguntas e de alunos ($n=31$). O conjunto de dados permitiu observar padrões gerais de resposta; no entanto, uma maior amostragem, aplicando este protocolo de pesquisa para alunos do ensino fundamental e de ensino médio, fortaleceria as constatações do estudo e, ainda, permitiria comparar concepções alternativas existentes em diferentes modalidades de ensino. Outras limitações referem-se ao fato de que a pesquisa não fornece compreensão aprofundada dos pensamentos que levaram os alunos às suas respostas, além de que entrevistas com docentes

de Geociências poderiam auxiliar no levantamento de concepções alternativas geradas em função das explicações dos próprios professores. É preciso um trabalho contínuo, utilizando entrevistas mais aprofundadas, tanto com alunos quanto com professores da área de Geociências, de modo a se verificar, com maior clareza, quais as origens e a durabilidade de concepções alternativas.

Considerações Finais

O estudo permitiu compreender o que estudantes de um curso técnico de Mineração, na modalidade Integrado ao Ensino Médio, de uma escola da rede federal de ensino, extraem da sala de aula, em particular, as ideias sobre recursos de Placas Tectônicas, quais os conceitos que muitos alunos retêm ou se criam um número significativo de concepções alternativas. As concepções alternativas identificadas neste estudo são semelhantes às de trabalhos anteriores realizados em diversos países, o que incentiva professores a realizar levantamentos de mal-entendidos dos alunos, de modo a avaliar a compreensão de conceitos na área de Geociências. Identificar concepções alternativas e confrontá-las explicitamente durante uma aula é essencial para uma mudança conceitual por parte do aluno.

Combinando as constatações desta pesquisa com as de estudos prévios em diversas instituições de ensino, é possível perceber que os alunos podem até apresentar algum conhecimento descritivo das Placas Tectônicas, mas o conhecimento explicativo conceitual, que relaciona a dinâmica dos movimentos das placas com as evidências explicadas pela teoria, é insuficiente. A conclusão sugere a importância do uso de evidências e conexões dinâmicas entre movimentos de placas e processos observáveis para apoiar o aprendizado da teoria em cursos que apresentam conteúdos de Geociências. Portanto, é necessário solidificar explicações, em vez de apenas descrever as concepções alternativas dos alunos, de modo a garantir uma alfabetização científica e a correção destes conceitos. É também importante que professores que lecionam conteúdos dependentes dos conceitos associados à Tectônica de Placas tenham ciência dos fracos elos entre movimentos de placas e outros processos geológicos por parte dos alunos. Professores devem conhecer as concepções alternativas que persistem nos modelos dos alunos, trazendo estes tópicos para suas instruções, em vez de assumirem a existência de um domínio prévio dos conceitos pelos estudantes.

Terremotos e vulcões estão entre os fenômenos mais concretos que os alunos foram capazes de identificar por meio da compreensão das Placas Tectônicas. No entanto, foram muitas as concepções alternativas observadas no estudo, relacionadas aos seguintes aspectos: confusão entre camadas composicionais e reológicas da estrutura interna da Terra; definição de placa tectônica e critérios para reconhecer os limites da placa; localização e processos que causam a fusão parcial do manto; mal-entendido sobre o estado da matéria do manto; localização de terremotos apenas em superfície, desconsiderando as tensões em profundidade provocadas pela movimentação das placas. Além disso, as respostas dos alunos sugerem que aspectos da imagem usada na pesquisa podem criar obstáculos conceituais para eles, causando ou reforçando concepções alternativas, como o manto ser constituído por magma (rocha em estado líquido) ou placas descendentes se fundirem no manto profundo.

Por fim, viu-se a importância de se realizar uma aula focada em refutar concepções alternativas dos alunos, uma vez que se observou uma melhora significativa na identificação de terminologias e outros conceitos associados à tectônica de placas, no entanto, aulas de revisão, em formato de palestra, são insuficientes para a transformação plena dos conceitos dos estudantes. A mudança conceitual depende do desenvolvimento de algum nível de conflito cognitivo que exija descartar crenças incorretas para aceitar novas; sendo assim, o uso de atividades lúdicas e tecnologias pode favorecer o aprendizado da Teoria da Tectônica de Placas. Finalmente, são necessárias mais pesquisas sobre estratégias instrucionais que confrontem e removam concepções errôneas durante o ensino inicial da teoria mais fundamental das Geociências.

Referências

- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school: Expanded edition*. Washington, DC: The National Academies Press. 384p.
- Cheek, K. (2010). Commentary: A summary and analysis of twenty-seven years of geoscience conceptions in research. *Journal of Geoscience Education*, 58(3), 122-134. doi: 10.5408/1.3544294.
- Clark, S. K., & Libarkin, J. C. (2011). Designing a mixed-methods research instrument and scoring rubric to investigate individuals' conceptions of plate tectonics. In: Feig, A., Stokes, A. (Eds.). (2011). *Qualitative inquiry in geoscience education research*. Geological Society of America Special Paper, Volume 474: Boulder, CO, The Geological Society of America, p. 81-96. doi: 10.1130/2011.2474(07).
- Clark, S., Libarkin, J., Kortz, K., & Jordan, S. (2011). Alternate conceptions of plate tectonics held by non science undergraduates. *Journal of Geoscience Education*, 59, 251-262. doi: 10.5408/1.3651696.
- DeLaughter, J. E., Stein, S., Stein, C. A., & Bain, K. R. (1998). Preconceptions about Earth science among students in an introductory course. *EOS*, 79: 429-432. doi: 10.1029/98EO00325.
- Dolphin, G., & Benoit, W. (2016). Students' mental model development during historically contextualized inquiry: how the 'Tectonic Plate' metaphor impeded the process. *International Journal of Science Education*. 38(2), 276-297. doi: 10.1080/09500693.2016.1140247.
- Ford, B., & Taylor, M. (2006). Investigating students' ideas about plate tectonics. *Science Scope*, 30(1), 38-43.
- Francek, M. (2013). A compilation and review of over 500 geoscience misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64. doi: 10.1080/09500693.2012.736644.
- Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22, 937-977. doi: 10.1080/095006900416857.
- Guzzetti, B.J. (2000). Learning counter-intuitive science concepts: What have we learned from over a decade of research? *Reading & Writing Quarterly*, 16(2), 89-98. doi: 10.1080/105735600277971.
- Horta, L. F. C., Muniz, E.S., Assunção, P. H. P., Lima, J. P., Friguetto, B. S., Moreira, G. C., & Ferreira, P. L. F. (2018). The use of geological hand-made models in the teaching of geosciences. *Terrae Didatica*, 14(4), 385-388. doi: 10.20396/td.v14i4.8654108.
- Incorporated Research Institutions for Seismology. (2020). *Recent Earthquake Map*. URL: <http://ds.iris.edu/seismon/index.phtml>. Acesso 14.04.2020.
- Kortz, K.M., Smay, J.J., & Murray, D.P. (2008). Increasing student learning in introductory geoscience courses using lecture tutorials. *Journal of Geoscience Education*, 56, 280-290. doi: 10.5408/1089-9995-56.3.280.
- Libarkin, J. C. (2005). Conceptions, cognition, and change: Student thinking about the earth. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 342. doi: 10.1080/10899995.2005.12028058.
- Libarkin, J.C. (2006). College student conceptions of geological phenomena and their importance in classroom instruction. *Planet*, 17, 1-9. doi: 10.11120/plan.2006.00170006.
- Libarkin, J. C., & Anderson, S.W. (2005). Assessment of learning in entry-level geoscience courses: Results from the geoscience concept inventory. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 394-401. doi:

10.5408/1089-9995-53.4.394

- Libarkin, J., & Anderson, S. (2006). The geoscience concept inventory: Application of Rasch analysis to concept inventory development in higher education. In: Liu, X., Boone, W. (Eds.). 2006. *Applications of Rasch measurement in science education*. Maple Grove, MN: JAM Press. p. 45-73.
- Libarkin, J. C., Anderson, S., Dahl, J., Beilfuss, M., Boone, W., & Kurdziel, J. (2005). College students' ideas about geologic time, Earth's interior, and Earth's crust. *Journal of Geoscience Education*, 53, 17-26. doi: 10.5408/1089-9995-53.1.17.
- Lima, M. M. M., Marques, P. C. F., Nunes, H. A. A., Cavalcanti, E. H. F., & Cavalcanti, J. S. S. (2014). Proposta inovadora na aprendizagem da teoria da Tectônica de Placas no Museu de Oceanografia de Serra Talhada, Pernambuco. *Terræ Didática*, 10(2), 140-150. doi: 10.20396/td.v10i2.8637371
- McDonald, S., Bateman, K., Gall, H., Tanis-Ozcelik, A., Webb, A., & Furman, T. (2019). Mapping the increasing sophistication of students' understandings of plate tectonics: A learning progressions approach. *Journal of Geoscience Education*, 67(1), 83-96. doi: 10.1080/10899995.2018.1550972.
- Orion, N., & Ault, C. R. (2007). Learning earth sciences. In: Abell, S., Lederman, N. (Eds.). 2007. *Handbook on research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. p. 653-688.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227. doi: 10.1002/sce.3730660207.
- Pushkin, D.B. (1997). Scientific terminology and context: How broad or narrow are our meanings? *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 661-668. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199708)34:6<661::AID-TEA8>3.0.CO;2-L.
- Sawyer, D.S., Henning, A.T., Shipp, S., & Dunbar, R.W. (2005). A data rich exercise for discovering plate boundary processes. *Journal of Geoscience Education*, 53, 65-74. doi: 10.5408/1089-9995-53.1.65.
- Sibley, D. F. (2005). Visual abilities and misconceptions about plate tectonics. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 471-477. doi: 10.5408/Sibley_v53p471.
- Sigal, L.H. (2002). Misconceptions about Lyme disease: Confusions hiding behind ill-chosen terminology. *Annals of Internal Medicine*, 136, 413-419. doi: 10.7326/0003-4819-136-5-200203050-00024
- Simkin, T., Ungar, J. D., Tilling, R. I., Vogt, P. R., & Spall, H. (1994). This dynamic planet: World map of volcanoes, earthquakes, and tectonic plates, U.S. Geological Survey in collaboration with the Smithsonian Institution and U.S. Naval Research Lab, p. Map I-2800, scale 1:30000000. doi: 10.3133/i2800.
- Stern, R. J. (1998). A subduction primer for instructors of introductory-geology courses and authors of introductory-geology textbooks. *Journal of Geoscience Education*, 46, 221-228. doi: 10.5408/1089-9995-46.3.221.
- Strike K., & Posner, G. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: Duschl, R., Hamilton, R. (Eds.). 1992. *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press. p. 147-176.
- Taber, K. S. (2003). Mediating mental models of metals: Acknowledging the priority of the learner's prior learning. *Science Education*, 87(5), 732-758. doi: 10.1002/sce.10079.
- Teixeira, D. M., Machado, F. B., & Silva, J. S. (2017). O lúdico e o ensino de Geociências no Brasil: principais tendências das publicações na área de Ciências da Natureza. *Terræ Didática*, 13(3), 286-294. doi: 10.20396/td.v13i3.8651223.
- Toscani, R., França, G. S., Rezende, E. S., & Matos, D. R. (2017). Produção de animações computadorizadas em flash para o ensino básico de Geociências. *Terræ Didática*, 13(3), 271-278. doi: 10.20396/td.v13i3.8651221.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (1994). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In: Vosniadou, S. (ed.). (2008). *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge. p. 11-31.