



CONCEPÇÕES EQUIVOCADAS SOBRE EVOLUÇÃO BIOLÓGICA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE GRADUANDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E PÓS-GRADUANDOS

Misconceptions about evolution: a comparative study between undergraduate biology majors and graduate students

Leonardo Augusto Luvison Araújo [leonardo_luvison@hotmail.com]

Faculdade de Educação

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Paulo Gama, s/n, Prédio 12.201, Porto Alegre, RS, 90046-900, Brasil

Resumo

Os desafios ao ensino de evolução são amplamente discutidos na literatura acadêmica. Quatro décadas de pesquisa revelaram uma prevalência surpreendentemente alta de concepções equivocadas sobre evolução em estudantes de diferentes níveis de ensino. Considerando a relevância deste tema, este trabalho pretende comparar a presença de concepções equivocadas sobre evolução entre estudantes brasileiros de ciências biológicas no início da graduação, avançados no curso e na pós-graduação. Um questionário de pesquisa com afirmações que expressam concepções equivocadas sobre evolução foi desenvolvido e validado, sendo aplicado em duas edições de um curso de extensão frequentado por alunos da área biológica de diferentes Universidades públicas e privadas. Obteve-se 46 respostas de graduandos em ciências biológicas no início do curso, 42 respostas de estudantes avançados na graduação e 34 respostas de pós-graduandos, totalizando 122 questionários preenchidos. A análise comparativa indicou uma redução média nas concepções equivocadas de acordo com o avanço na formação acadêmica dos estudantes. Diferenças significativas entre os graduandos de ciências biológicas e pós-graduandos foram encontradas em alguns itens, com os estudantes de pós-graduação apresentando uma frequência menor de concepções equivocadas sobre seleção natural e adaptação. No entanto, mesmo nestas questões, ainda há uma alta porcentagem de concordância em todos os grupos. Em conjunto, os dados analisados indicam a necessidade de uma atenção especial às concepções equivocadas relacionadas com seleção natural, adaptação e leitura de filogenias na formação de professores, biólogos e mesmo de pós-graduandos da área biológica.

Palavras-Chave: Ensino de evolução; Evolução biológica; Concepções equivocadas; Ensino superior.

Abstract

Challenges to evolution education are widely discussed in the academic literature. Four decades of research have revealed a surprisingly high prevalence of misconceptions about evolution among students at all levels. Considering the relevance of this theme, this paper aims to compare the presence of misconceptions about evolution among Brazilian biology students at different study levels: beginner and advanced undergraduate students and at the post-graduation level. A research questionnaire with statements that express misconceptions about evolution was developed and validated, being applied in two editions of an extension course attended by students from different public and private universities. 46 responses from beginner undergraduate biology students, 42 responses from advanced undergraduates, and 34 responses from post-graduate students were obtained, totaling 122 completed questionnaires. The comparative analysis indicated an average reduction in misconceptions according to the progress in the academic formation of students. Significant differences between undergraduate and graduate students were found in some items, with the post-graduation group presenting a lower frequency of misconceptions about natural selection and adaptation. However, even in these questions, there is a high percentage of agreement in all groups. Together, the data discussed here indicate the need for special attention regarding the misconceptions related to natural selection, adaptation, and interpretation of phylogenies in the education of teachers, biologists, and even graduate students.

Keywords: Evolution education; Evolutionary biology; Misconceptions; Higher education.

INTRODUÇÃO

Os desafios ao ensino de evolução são amplamente discutidos na literatura acadêmica. Quatro décadas de pesquisas na área revelaram uma prevalência surpreendentemente alta de concepções equivocadas sobre evolução entre o público em geral, professores e estudantes em todos os níveis de ensino (Alters & Nelson, 2002; Bishop & Anderson, 1990; Clough & Wood-Robinson, 1985). Este cenário não é diferente no Brasil, como apontam pesquisas com estudantes do ensino básico, superior e professores de biologia (Oliveira & Bizzo, 2015; Oleques, Bartholomei, & Boer, 2011; Pazza, Penteado, & Kavalco, 2010; Tidon & Lewontin, 2004).

Algumas concepções equivocadas se mostraram recorrentes nestas pesquisas, como a ideia de que a evolução implica que a vida tenha evoluído de forma aleatória ou ao acaso. Equívocos relacionados a conceitos evolutivos e conotações de progresso na evolução também são recorrentes. Destacam-se os conceitos de seleção natural e adaptação: os alunos comumente interpretam que a seleção natural atua para beneficiar os indivíduos e/ou produz organismos que estão perfeitamente adaptados ao seu ambiente (Gregory, 2009).

Seria razoável imaginar que os estudantes de ciências biológicas em formação, aqueles já graduados, bem como pós-graduandos da área biológica tenham uma maior compreensão dos processos evolutivos e não mantenham tais concepções descritas na literatura. Supõe-se que o ensino formal sobre evolução biológica ao longo da graduação e pós-graduação desfaça grande parte destes equívocos. As evidências disponíveis, no entanto, não permitem fazer esta inferência (Alters & Nelson, 2002; Gregory & Ellis, 2009).

Deve-se considerar que as pesquisas sobre concepções equivocadas de evolução com estudantes mais avançados na formação acadêmica são ainda escassas, principalmente em relação aos alunos de pós-graduação (Gregory & Ellis, 2009). São estes graduandos e pós-graduandos que acabam atuando no ensino básico e superior, influenciando a formação de novas gerações de estudantes.

Considerando a relevância deste tema, este trabalho pretende comparar a presença de concepções equivocadas sobre evolução entre estudantes brasileiros de ciências biológicas no início da graduação, avançados no curso e na pós-graduação. Esta pesquisa comparativa pôde ser concretizada devido a um projeto de formação continuada denominado “Curso de Biologia Evolutiva na UFRGS” - atividade de extensão oferecida por um grupo de doutorandos e recém-doutores que realizam estudos sobre evolução biológica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As edições ocorrem semestralmente em Porto Alegre, desde 2014, em uma semana condensada e com carga horária de 30 horas. Cada edição possui em torno de 100 participantes, sendo a maioria graduandos e graduados em ciências biológicas (licenciatura e bacharelado), professores de biologia e ciências, bem como alunos de mestrado e doutorado oriundos de programas de pós-graduação da área biológica. Como o Curso de Biologia Evolutiva é frequentado por alunos de diferentes níveis acadêmicos em relação à evolução biológica – desde estudantes do início da graduação em ciências biológicas a pós-graduandos com pesquisa na área -, uma questão interessante de pesquisa é investigar como estes alunos se posicionam em relação a um questionário com afirmações que expressam concepções equivocadas sobre evolução.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é comparar as respostas dos alunos que frequentam o referido curso, considerando a formação acadêmica sobre evolução biológica destes estudantes. Afinal, há alguma diferença nas respostas de alunos que, em princípio, tiveram um tempo maior de ensino sobre evolução biológica? E se há diferença, ela é encontrada em quais concepções equivocadas sobre evolução?

METODOLOGIA

Instrumento de coleta de dados

O questionário de pesquisa foi inicialmente elaborado de forma coletiva pela equipe de proponentes do Curso de Biologia Evolutiva – doutorandos e recém-doutores vinculados a programas de pós-graduação da paleontologia, genética, zoologia, ecologia, botânica e educação na UFRGS. Após a criação das questões de forma conjunta, procurou-se refinar cada item a partir de um levantamento bibliográfico. Artigos sobre evolução, ensino de evolução e livros didáticos de biologia evolutiva para o ensino superior foram consultados, estabelecendo conceitos-chave e equívocos comuns sobre evolução biológica relatados na

literatura (Alters & Nelson, 2002; Amorim, 2002; Baum, Smith, & Donovan, 2005; Freeman & Herron, 2009; Futuyama, 1992; Gregory, 2008; 2009; Meir, Perry, Herron, & Kingsolver, 2007; Nehm & Schonfeld, 2008). Este instrumento foi dividido, a partir destes princípios teóricos, nas seguintes subescalas: *concepções equivocadas sobre evolução* e *conceitos-chave*, sendo apenas a primeira subescala objeto de análise da pesquisa discutida neste trabalho.

Uma estrutura geral do questionário foi desenvolvida e aplicada em duas edições do curso (2018/1 e 2018/2). No primeiro teste realizado o respondente poderia concordar com cada afirmação, discordar ou apontar que não saberia dizer. No segundo teste realizado, optou-se pela construção de uma escala do tipo Likert de 5 pontos, com o intuito de capturar nuances no posicionamento dos estudantes. Nessa escala o respondente deve expressar seu grau de concordância ou discordância de cada afirmação, sendo que cada posição representa um valor numérico. Obtivemos um total de 129 respostas nos dois estudos piloto realizados no ano de 2018. Esses dados estão distribuídos da seguinte forma, segundo a formação acadêmica dos respondentes: 25 pós-graduandos; 90 graduandos/graduados em ciências biológicas; e 14 estudantes de ensino superior de outros cursos.

A partir destas respostas, uma análise foi realizada para verificar se as questões apresentavam problemas de construção. Desse modo, se estudantes de pós-graduação de áreas que são próximas à biologia evolutiva tivessem dificuldades para responder as questões, o instrumento apresentaria problemas. Além disso, se os pós-graduandos pontuassem em uma alta frequência a opção neutra “não concordo nem discordo”, esse dado seria considerado indicativo de problemas na redação da questão.

Os testes piloto apontaram que o instrumento não tinha problemas de construção que dificultassem a resposta por alguém com certo domínio do conhecimento evolutivo. Para o instrumento final, optou-se por retirar a alternativa central “não concordo nem discordo”, a fim de evitar a tendência central nas respostas. A escala do tipo Likert de 4 pontos foi adotada, apresentando uma série de vantagens, como, por exemplo, a não ambiguidade das categorias de respostas e a possibilidade do respondente se posicionar em relação a cada afirmação do instrumento.

Após as reformulações feitas em função destes dois testes piloto, um banco de questões foi criado. Cabe ressaltar que as alterações ocorridas a partir destes dois testes piloto foram feitas pelo autor desta pesquisa, mas em constante discussão com alguns proponentes do Curso de Biologia Evolutiva, que auxiliaram nas modificações. O trabalho conjunto de pós-graduandos oriundos de diferentes tradições de pesquisa sobre evolução biológica se revelou uma rica experiência no aperfeiçoamento do instrumento.

Foram convidados, então, vinte especialistas para a avaliação deste banco de questões, considerando os seguintes critérios: possuir doutorado e pesquisa sobre evolução biológica; ser professor no ensino superior, com pesquisa e ensino na área de evolução há mais de quatro anos; e não ter contato direto com esta pesquisa. A partir da análise teórica de sete especialistas que retornaram a avaliação, calculou-se o coeficiente de validade de conteúdo para cada item, segundo Hernández-Nieto (2002). A confiabilidade deste coeficiente ocorre através de avaliadores especialista no tema do instrumento (Balbinotti, 2005). Apesar do baixo retorno, o número de avaliadores do instrumento foi adequado, uma vez que a literatura aconselha que a avaliação de conteúdo seja feita por um comitê composto por cinco a dez juízes especialistas na área do instrumento de medida (Rubio, Berg-Weger, Tebb, Lee, & Rauch, 2003).

Com base nesta análise e nas sugestões dos juízes, as questões que tiveram o maior coeficiente de clareza e representatividade foram selecionadas, compondo o questionário validado. Os 15 itens validados da subescala *concepções equivocadas sobre evolução* estão discriminados no Quadro 1. A aplicação do questionário validado revelou um coeficiente de alfa de Cronbach de 0,71 para esta subescala, indicando uma consistência interna aceitável (Nunnally, 1978). Este coeficiente mede o grau de covariância dos itens e, quanto mais elevada a contagem entre 0 e 1, maior a confiabilidade da escala.

As questões 11 a 15 são relacionadas com equívocos comuns sobre interpretação de filogenias. O estudante deve se posicionar nestas questões a partir da interpretação de uma árvore evolutiva simplificada dos vertebrados que é apresentada junto ao questionário (Figura 1). Estas afirmativas apresentam concepções equivocadas que são comumente encontradas na literatura, com exceção do item 11, que denota uma leitura correta das relações de parentesco.

Quadro 1 – Questionário validado com as afirmações que expressam concepções equivocadas sobre evolução. Os respondentes pontuam seu grau de concordância/discordância através de uma escala Likert de 4 pontos.

Indique o seu grau de concordância/discordância em relação às declarações abaixo
1) A seleção natural produz organismos perfeitamente adaptados aos seus ambientes.
2) A seleção natural atua nos organismos individuais para adaptá-los ao meio ambiente.
3) A capacidade de correr rapidamente em guepardos evoluiu porque essa espécie precisava ser capaz de pegar as suas presas.
4) As mudanças ao longo das gerações em uma população são sempre adaptativas.
5) A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural
6) As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados.
7) O comportamento dos suricatos de avisar outros indivíduos da aproximação de um predador evoluiu por seleção natural para favorecer a sobrevivência da espécie.
8) Hipóteses científicas tornam-se teorias e, finalmente, com mais evidências, tornam-se fatos bem estabelecidos.
9) A inexistência de registros fósseis para as formas intermediárias, como entre <i>Homo sapiens</i> e outras espécies de hominíneos, pode refutar a teoria evolutiva.
10) A teoria evolutiva atingiu a sua maturidade com a unificação entre o darwinismo e a genética, não sofrendo modificações desde então.
11) Segundo a filogenia, os peixes são igualmente aparentados aos lagartos e aos mamíferos.
12) Segundo a filogenia, os peixes atuais originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos.
13) Podemos inferir a partir da filogenia que os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados.
14) Segundo a filogenia, os anfíbios são parentes mais próximos dos lagartos do que das aves.
15) Podemos inferir a partir da filogenia que os anfíbios são menos evoluídos do que as aves e os mamíferos.

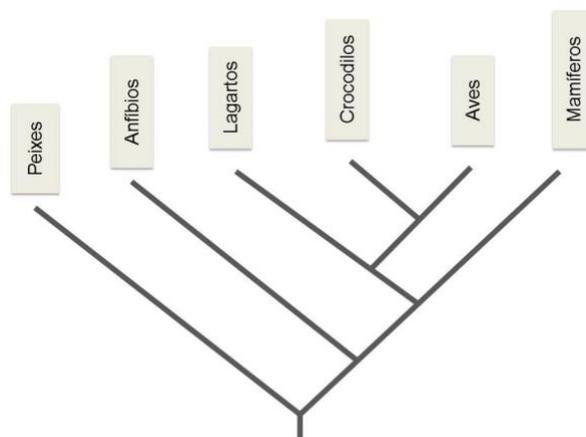


Figura 1 – Filogenia simplificada dos vertebrados utilizada para responder os itens 11, 12, 13, 14 e 15 do questionário validado. Esta filogenia foi entregue aos alunos junto ao questionário de pesquisa.

O Quadro 2 apresenta os equívocos contemplados em cada item e a referência principal consultada para o desenvolvimento e alteração das questões. O questionário finalizado contempla, portanto, uma série de concepções equivocadas sobre evolução comumente descritas na literatura.

Quadro 2 – Concepções equivocadas sobre evolução biológica contempladas no questionário. A questão 11 é a única afirmativa que não expressa um equívoco sobre evolução.

Item	Concepções equivocadas	Referências
1)	A seleção natural gera adaptações ótimas.	Gregory, 2009
2)	Concepção transformacional de evolução.	Caponi, 2005
3)	A seleção natural dá aos organismos o que eles precisam.	Alters & Nelson, 2002
4)	Evolução = seleção natural.	Gregory, 2009
5)	Deriva genética como um mecanismo alternativo à seleção natural.	Nehm & Schonfeld, 2008
6)	Conotação de progresso na evolução.	Shanahan, 2000
7)	A seleção natural atua para beneficiar as espécies.	Gregory, 2009
8)	As teorias tornam-se fatos quando são bem suportadas.	Nehm & Schonfeld, 2008
9)	A ausência de fósseis intermediários refuta a evolução.	Nehm & Schonfeld, 2008
10)	A ciência é imutável.	Gil-Pérez <i>et al.</i> , 2001
11)	Leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum*.	Amorim, 2002
12)	Grupos modernos podem originar outros grupos modernos.	Gregory, 2008
13)	Em uma filogenia, o ramo longo indica que o táxon mudou pouco desde que divergiu.	Gregory, 2008
14)	Correlacionar o parentesco com a proximidade espacial dos nós terminais.	Meir <i>et al.</i> , 2007
15)	Táxons que aparecem perto da ponta ou no lado direito da filogenia são mais evoluídos que os outros grupos da árvore.	Gregory, 2008

Para verificar se há diferenças significativas na média de concepções equivocadas, entre os estudantes com diferentes níveis de formação acadêmica, realizou-se uma Análise de Variância simples (ANOVA). Para analisar cada item individualmente, foram realizados testes Qui-Quadrado (χ^2) comparando as proporções obtidas entre os grupos de estudantes. Estas análises foram realizadas com auxílio do software *Statistical Package for Social Science (SPSS)*, versão 18.0.

Aplicação do questionário e o perfil dos participantes da pesquisa

O questionário validado de pesquisa foi entregue aos alunos no começo das edições 2019/1 e 2019/2 do Curso de Biologia Evolutiva, que ocorreram nos dias 11 de março e 22 de julho, respectivamente. Os participantes foram avisados que tal questionário seria usado para uma pesquisa sobre ensino de evolução. Não foi solicitada qualquer identificação dos participantes, sendo assegurado seu anonimato. A participação era voluntária e aqueles que não desejavam participar da pesquisa poderiam entregar o questionário não preenchido ou então se recusar a recebê-lo, sem que isso acarretasse em qualquer tipo de constrangimento.

O participante era convidado a informar se já participou de alguma edição anterior do Curso de Biologia Evolutiva, sendo solicitadas informações como sexo, religião, curso de formação, instituição de formação, se possuía pós-graduação, se atuava como professor e quais disciplinas sobre evolução biológica já frequentou.

Na segunda parte do questionário, os participantes são convidados a se posicionar em função das afirmações sobre evolução biológica apresentadas no Quadro 1. As opções de respostas estavam no formato de escala Likert de 4 pontos, com as seguintes alternativas: *concordo plenamente*, *concordo parcialmente*, *discordo parcialmente* e *discordo plenamente*. A escolha de questões fechadas, com afirmações em que os respondentes assinalam o seu grau de concordância, considerou a possibilidade de aplicar o questionário a uma amostra ampla.

Os questionários que não foram completamente preenchidos, aqueles preenchidos por estudantes que já participaram de alguma edição anterior da atividade de extensão e os questionários de alunos de graduação de outros cursos (que não seja ciências biológicas) não foram considerados nesta análise. Dessa forma, o número de estudantes respondentes acabou sendo consideravelmente menor que o total de participantes nas edições 2019/1 e 2019/2. Foram obtidas 122 respostas completas a partir da aplicação do questionário nestas edições. A Tabela 1 descreve o perfil dos participantes da pesquisa em relação a sexo, religião, formação acadêmica e instituição de ensino superior (IES).

Tabela 1 – Distribuição dos respondentes em relação a sexo, religião, formação acadêmica e IES de origem (n = 122).

	Variáveis	Numero (%)
Sexo	Feminino	86 (70,5%)
	Masculino	36 (29,5%)
Religião	Nenhuma	99 (81%)
	Católico	10 (8,2%)
	Espírita	5 (4,1%)
	Evangélico	5 (4,1%)
	Outras	3 (2,5%)
Formação acadêmica	Ciências Biológicas (início)	46 (37,7%)
	Ciências Biológicas (avançado)	42 (34,4%)
	Pós-Graduação	34 (27,9%)
IES	Universidade Pública	84 (69%)
	Universidade/Faculdade Privada	38 (31 %)

A formação acadêmica foi classificada segundo o ensino formal sobre evolução biológica, a partir dos seguintes critérios:

(i) *Ciências Biológicas (início)*: são considerados deste grupo os estudantes que estão no máximo até o segundo ano da graduação em ciências biológicas e responderam no questionário que não frequentaram disciplinas sobre evolução;

(ii) *Ciências Biológicas (avançado)*: são considerados avançados os estudantes a partir do terceiro ano de graduação que responderam no questionário já ter frequentado alguma disciplina sobre evolução biológica, assim como os alunos egressos em ciências biológicas;

(iii) *Pós-Graduação*: são considerados os estudantes egressos em ciências biológicas que são vinculados a programas de pós-graduação *stricto sensu* da área biológica e de ensino/educação, assim como os alunos que já possuem mestrado ou doutorado nestas áreas.

É importante ressaltar a disparidade na proporção entre sexo feminino e masculino, como pode ser averiguado na Tabela 1. Há uma procura muito maior ao Curso de Biologia Evolutiva por estudantes do sexo feminino, o que não ocorreu apenas nestas edições. Outro dado interessante é o grande número de cursistas que declararam não possuir religião, demonstrando que os alunos do curso tem um perfil um pouco distinto do encontrado em pesquisas que foram feitas com graduandos e professores diretamente no seu lugar de formação/atuação (p.ex., Oleques, Bartholomei & Boer, 2011; Tidon & Lewontin, 2004).

Estas pesquisas constatarem um número maior de pessoas identificadas a determinadas religiões, principalmente de matrizes cristãs, como católica e evangélica. Como o Curso de Biologia Evolutiva é uma atividade eletiva que atrai interessados em evolução biológica, o perfil dos estudantes que frequentam o curso pode apresentar diferenças significativas em relação a uma amostra com representatividade nacional de graduandos em ciências biológicas.

Além disso, os alunos presentes nesta atividade de extensão são principalmente de Universidades da região sul do país. Os alunos de Universidades públicas compõem a maior parte dos participantes, sendo oriundos de diversas instituições, como da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal de Pelotas e Universidade Federal de Santa Catarina. Em seguida, estão os alunos de Universidades particulares, oriundos principalmente da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Universidade Luterana do Brasil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos e Universidade de Caxias do Sul.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas das afirmativas em escala Likert foram analisadas de forma binária, categorizando os alunos que marcaram concordo plenamente e concordo parcialmente como “concordantes” com o item e aqueles que discordaram parcialmente e totalmente como “discordantes”. Desse modo, pôde-se calcular o número médio de respostas que expressam concepções equivocadas sobre evolução em cada grupo de estudantes, por formação acadêmica (Figura 2).

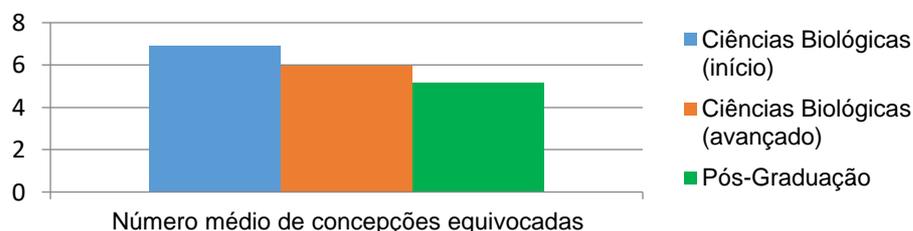


Figura 2 – Os estudantes endossam, em média, menos concepções equivocadas à medida que possuem mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica. A aplicação da análise de variância (ANOVA) indicou diferenças significativas entre as médias ($F = 3.33$; $p = 0.039$).

Este número foi calculado pela média de concordância dos itens, com exceção da questão 11, que endossa uma leitura da filogenia a partir dos ancestrais em comum. A *discordância* deste item foi considerada uma concepção equivocada sobre evolução. Ao todo foram 15 itens analisados, com os graduandos no início do curso apresentando uma média de 6,93 concepções equivocadas.

Há uma redução na média de concepções equivocadas à medida que os alunos apresentam um maior tempo de ensino formal sobre evolução biológica. No entanto, todos os grupos ainda mantêm uma média considerável de concordância, com aproximadamente 30% de concepções equivocadas endossadas pelos alunos de pós-graduação, grupo que apresenta o melhor escore (média de 5,18 em relação aos 15 itens).

Para aprofundar a análise das frequências identificadas em cada item individualmente, foram realizados testes Qui-Quadrado (χ^2) comparando a distribuição das respostas entre os grupos elencados por formação acadêmica. A Figura 3 apresenta a análise individual dos itens 1 a 10, que expressam concepções equivocadas sobre seleção natural, adaptação, deriva genética, natureza da ciência e conotações de progresso na evolução. O bloco de itens 11 a 15 exploram interpretações de filogenias, sendo objeto de análise de modo separado, mais adiante.

Mais de 50% dos alunos de ciências biológicas (início e avançado) concordam com as concepções equivocadas expressas nos itens 2, 3, 7 e 8. Destaca-se o item 7 sobre seleção natural, com uma frequência de concordância acima de 75% em todos os grupos. As diferenças entre graduandos em ciências biológicas (início e avançado) foram surpreendentemente mínimas em praticamente todos os itens. Esta persistência sugere que o ensino de evolução na graduação não desfaz alguns equívocos fundamentais explorados no questionário.

Por outro lado, os pós-graduandos apresentam uma taxa menor de concordância nos itens 2, 3 e 8, diferindo significativamente. Apesar do grupo composto pelos pós-graduandos apresentar um escore mais baixo em relação aos outros grupos nestes itens, a porcentagem de concordância ainda assim é consideravelmente alta, principalmente no item 3, com 47% de prevalência. Além disso, os pós-graduandos não diferem dos outros grupos nos itens 1, 4 e 7, que também são relacionados com seleção natural.

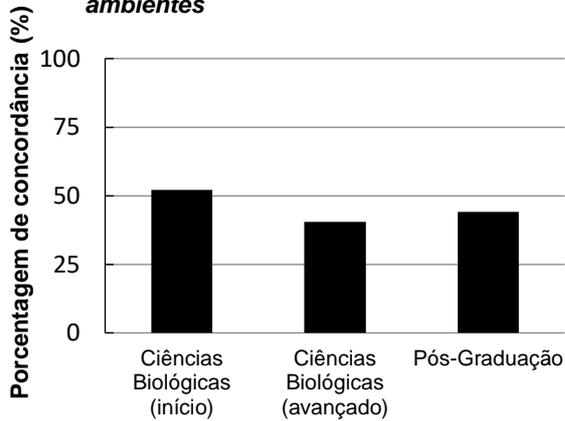
O item 1 do questionário expressa a ideia de que a seleção natural gera soluções adaptativas ótimas. Contudo, há muitas razões pelas quais a seleção natural não resulta em adaptações ótimas em relação ao meio. Os seres vivos são constituídos por características resultantes de um conjunto complexo de *trade-offs*. Uma vez que a fisiologia, anatomia e o desenvolvimento dos organismos são integrados, a evolução adaptativa é geralmente limitada por características vinculadas ao traço sobre seleção (Stearns, 1989). Dessa forma, restrições de vários tipos (genéticas, ontogenéticas, físicas, energéticas, históricas, etc...) limitam a evolução de características complexas.

O item 2 expressa uma conhecida concepção alternativa: a ideia de que os organismos individuais podem evoluir (Caponi, 2005). Para autores como Mayr (2004) e Caponi (2005), uma das rupturas promovidas pelo pensamento darwinista em relação à história natural precedente foi a substituição das explicações transformacionais pelas explicações variacionais de mudança evolutiva. Nas explicações transformacionais, a evolução é entendida como o resultado de transformações ocorridas nos componentes individuais; ou seja, a mudança evolutiva é explicada por meio das transformações de cada indivíduo da espécie. Nas perspectivas variacionais, por sua vez, as mudanças evolutivas são explicadas como consequência das proporções dos componentes das populações. Nesse caso, a evolução biológica é concebida como o resultado das mudanças na proporção de organismos variantes.

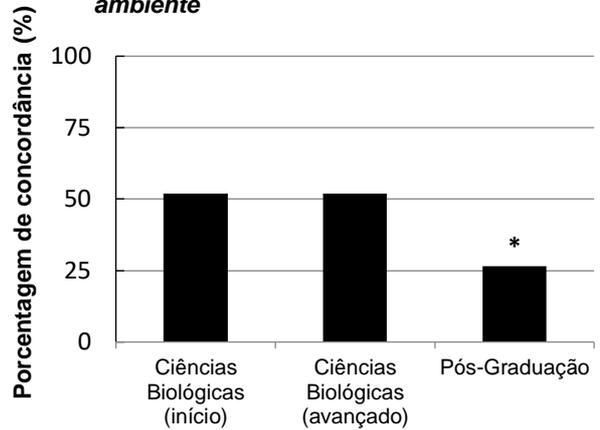
Além de carregar uma concepção transformacional, o item 2 ainda expressa a ideia de que a seleção natural “adapta” os organismos ao meio ambiente, como uma resposta à necessidade dos organismos. Tal concepção não é aceita pelos evolucionistas porque não são os indivíduos que se adaptam através da seleção natural. Em vez disso, a seleção envolve mudanças na proporção de características presentes nas populações ao longo do tempo. Essa modificação na proporção, e não uma alteração dos próprios organismos, gera mudanças no valor médio de um traço particular na população. Em resumo, os organismos são alvos da seleção natural, mas não são eles que evoluem ou se adaptam; são as populações que evoluem (Mayr, 2004).

Os itens 3 e 7 exploram a concepção de que a seleção natural pode prever o que uma espécie ou um indivíduo “precisa” para sua sobrevivência. No entanto, a seleção natural não tem qualquer intenção, nem envolve esforços, tentativas ou vontades. É tentador pensar que a seleção natural promove comportamentos para favorecer a sobrevivência das espécies, mesmo que sejam desfavoráveis ou coloquem em risco indivíduos da população. No entanto, a evolução de comportamentos altruístas (como expressa no item 7) é explicada por modelos como o de seleção de parentesco (Freeman & Herron, 2009).

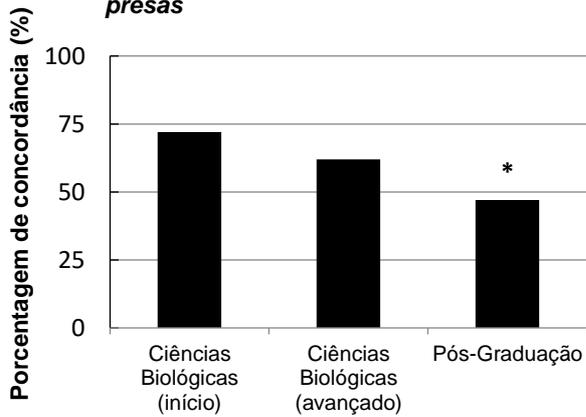
1) **A seleção natural produz organismos perfeitamente adaptados aos seus ambientes**



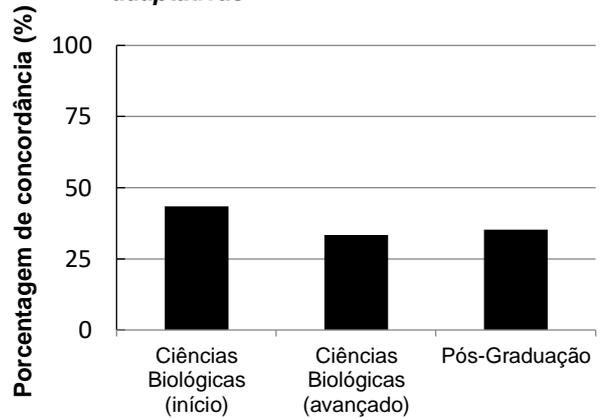
2) **A seleção natural atua nos organismos individuais para adaptá-los ao meio ambiente**



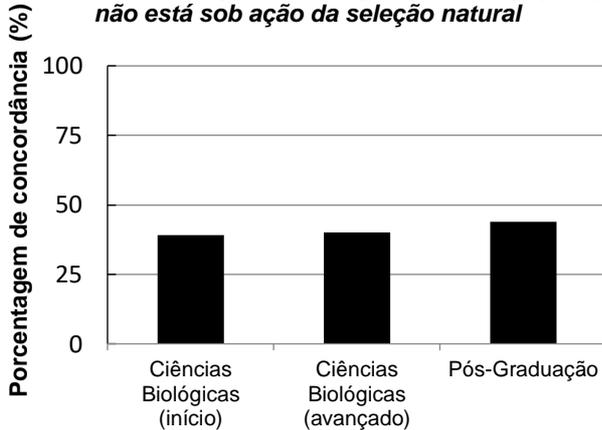
3) **A capacidade de correr rapidamente em guepardos evoluiu porque essa espécie precisava ser capaz de pegar as suas presas**



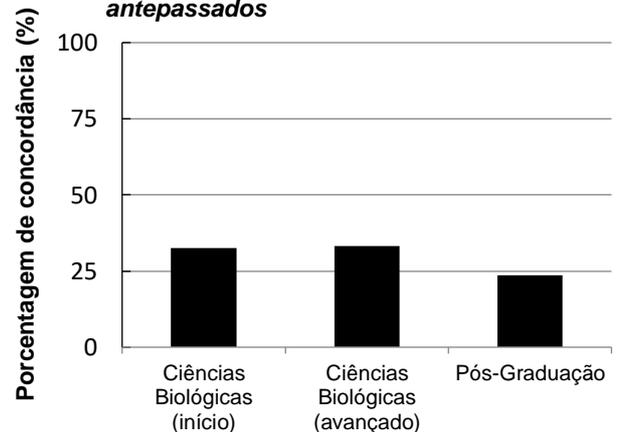
4) **As mudanças ao longo das gerações em uma população são sempre adaptativas**



5) **A deriva genética é um mecanismo evolutivo que ocorre quando uma população não está sob ação da seleção natural**



6) **As espécies atuais evoluíram por um longo período de tempo e, portanto, possuem mais características anatômicas, bioquímicas e fisiológicas do que os seus antepassados**



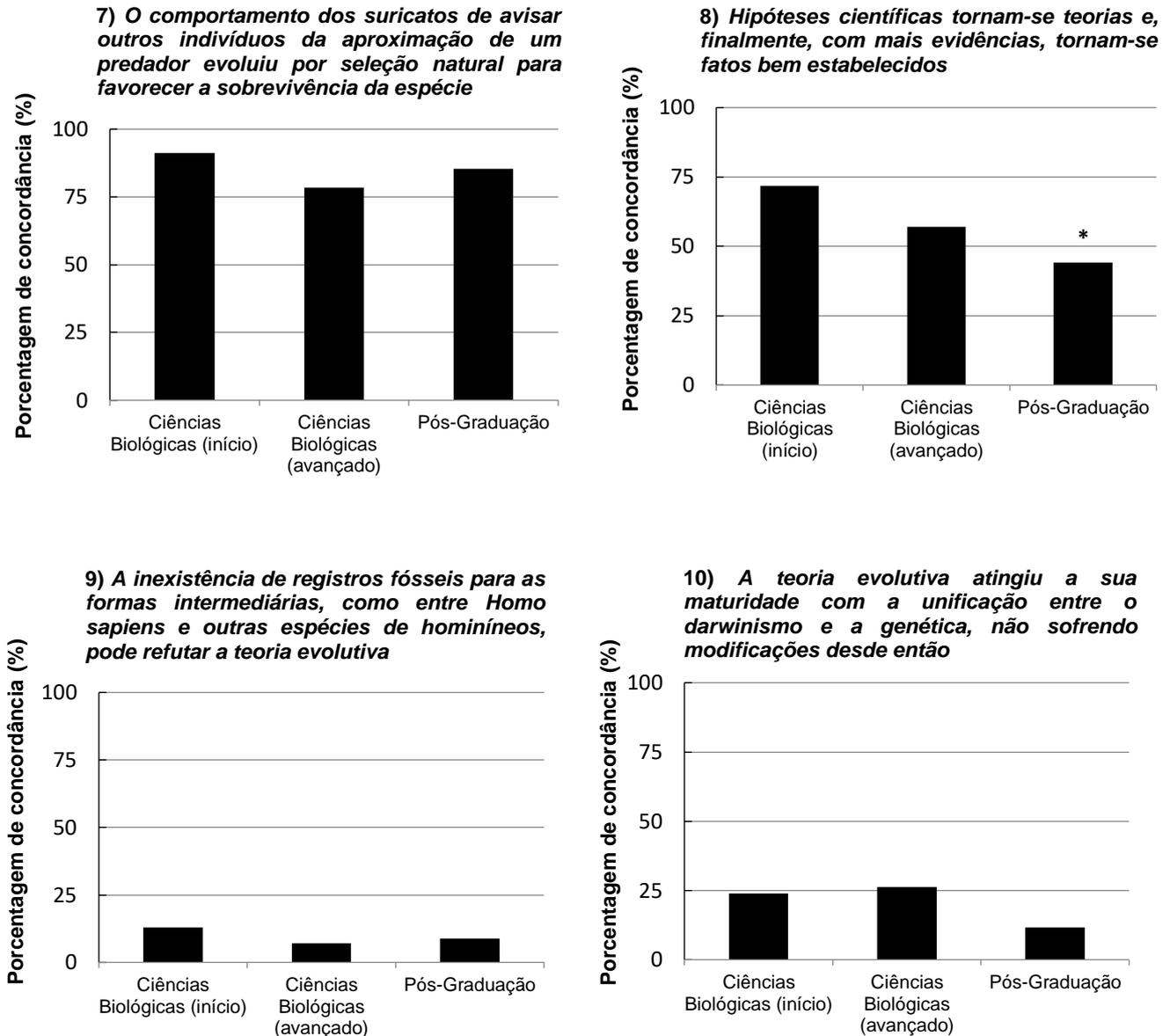


Figura 3 – Porcentagem de concordância dos itens 1 a 10 do questionário, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação aos itens 3 ($\chi^2 = 4.955$; $p = 0.026$) e 8 ($\chi^2 = 6.215$; $p = 0.013$). Os pós-graduandos diferem de ambos os grupos de ciências biológicas (início e avançado) no item 2. *, $p < 0.05$.

O item 4 iguala a ideia de evolução à seleção natural, deixando de lado todas as mudanças populacionais que não são adaptativas. Há uma série de mudanças evolutivas que não ocorrem por seleção natural. Além disso, a afirmação reforça a ideia de que praticamente todas as características dos organismos são adaptações, constituindo um adaptacionismo estrito que é visto como problemático por muitos biólogos e filósofos (Godfrey-Smith, 2001).

O questionário ainda contempla concepções equivocadas sobre deriva genética (item 5), natureza da ciência (itens 8, 9 e 10) e conotações de progresso na evolução (item 6). Mas nenhum destes itens tiveram uma frequência tão alta de concordância quanto o encontrado nas questões sobre seleção natural e adaptação discutidas acima. A única exceção foi o item 8, relacionado com natureza da ciência. Este item estabelece uma série gradual de menor a maior grau de certeza entre teorias e fatos, como se os cientistas, a partir do desenvolvimento teórico, chegassem aos fatos “concretos”. Tal concepção está intimamente relacionada com a ideia de que a evolução é “somente” uma teoria, como se isso delegasse um estatuto epistêmico inferior ao conhecimento evolutivo.

Embora eu discordo que exista uma natureza da ciência (no singular) e reconheça as discordâncias substanciais entre filósofos, sociólogos e historiadores sobre aspectos gerais da ciência, uso esta frase com base na convicção de que tais discordâncias têm pouco ou nenhum lugar nas concepções que o questionário busca avaliar. Creio que a concepção expressa no item 8 seja considerada problemática pela maioria dos pesquisadores que tomam a ciência como objeto de investigação. Dificilmente algum filósofo, sociólogo ou historiador da ciência aceitaria que os fatos “esperam” as teorias para serem estabelecidos.

A afirmação do item 8 justamente expressa tal sobreposição ao afirmar que somente depois que os cientistas determinam que as teorias são bem suportadas eles podem se referir a elas como fatos. E nesta questão, assim como em alguns itens sobre seleção natural e adaptação, os pós-graduandos apresentam uma frequência menor de concordância, diferindo significativamente dos alunos de ciências biológicas do início da graduação. No entanto, esta concepção ainda está longe de desaparecer entre estes estudantes, sendo endossada por 44% dos alunos de pós-graduação.

O questionário também abrange cinco afirmativas feitas para uma árvore evolutiva dos vertebrados. A Figura 4 apresenta a análise individual destes itens.

Além de sua importância para organizar a biodiversidade, as árvores filogenéticas também são a representação mais direta do princípio da ancestralidade comum, cerne da teoria evolutiva, sendo essenciais para interpretar adequadamente padrões e processos evolutivos (Gregory, 2008).

As afirmativas sobre filogenias apresentam concepções equivocadas que são comumente encontradas na literatura, com exceção do item 11, que denota uma leitura correta das relações de parentesco. É interessante notar que em torno de 50% dos alunos *discordam* do item 11, apesar desta questão apresentar uma interpretação das relações de parentesco a partir dos ancestrais em comum. O grupo ciências biológicas (avançado) apresentou o menor escore de discordância, mas ainda alto, com 42,9%.

Em coerência com este dado, mais da metade dos alunos *concordam* com o item 14, que apresenta uma leitura dos ramos que não considera as relações de ancestralidade comum. Ou seja, mais da metade dos alunos, independente da formação acadêmica, *não* faz uma leitura das relações de parentesco a partir dos ancestrais em comum, mas a partir da proximidade espacial dos grupos contemporâneos da filogenia.

Além de resultar em interpretações incorretas sobre as relações de parentesco, a leitura da filogenia a partir dos nós terminais pode gerar uma falsa impressão de tendência evolutiva entre organismos contemporâneos, como se pudéssemos estabelecer a ordem peixes → anfíbios → “répteis” → aves → mamíferos na filogenia apresentada (Figura 1).

O item 12 justamente estabelece esta ideia, ao afirmar que os peixes *atuais* originaram os anfíbios que, por seu turno, originaram os lagartos. Ao concordar com o item 12, fica explícito que os lagartos descendem de um ancestral pertencente a um “estágio anfíbio”, o qual, por sua vez, descende de um ancestral do “estágio peixe”. Contudo, mesmo se os aspectos gerais dos ancestrais destes grupos possuam semelhanças com “anfíbios” e “peixes”, eles não pertencem a estes grupos contemporâneos. Os peixes, anfíbios e lagartos não são descendentes uns dos outros, sendo parentes que surgiram muito tempo depois que suas respectivas linhagens divergiram de um ancestral comum.

Este item foi o único que apresentou diferenças significativas, com os pós-graduandos apresentando uma taxa de concordância menor nesta questão, diferindo dos graduandos em ciências biológicas (início). Relacionada com esta concepção equivocada é a suposição de que o ancestral de dois grupos modernos deve ser muito semelhante ou talvez até o mesmo de um destes grupos. O item 13, neste sentido, afirma que “os peixes mudaram pouco desde que divergiram do ancestral comum de todos os vertebrados”. Alguns autores acreditam que os alunos possuem este tipo de conclusão quando o comprimento do ramo é muito longo e não apresenta ramificações, como é o caso dos grupos externos, posição que os peixes ocupam na filogenia em questão (Gregory, 2008).

No entanto, o comprimento do ramo não indica a quantidade de mudanças evolutivas que ocorreram. E qualquer um dos grupos contemporâneos tem o mesmo tempo de mudanças, uma vez que compartilham o mesmo ancestral comum mais remoto. Como resultado, qualquer noção de que uma das linhagens contemporâneas da árvore é a “mais evoluída”, ou que tenha tido mais tempo para acumular diferenças, não pode ser interpretada pela filogenia (Baum, Smith, & Donovan, 2005).

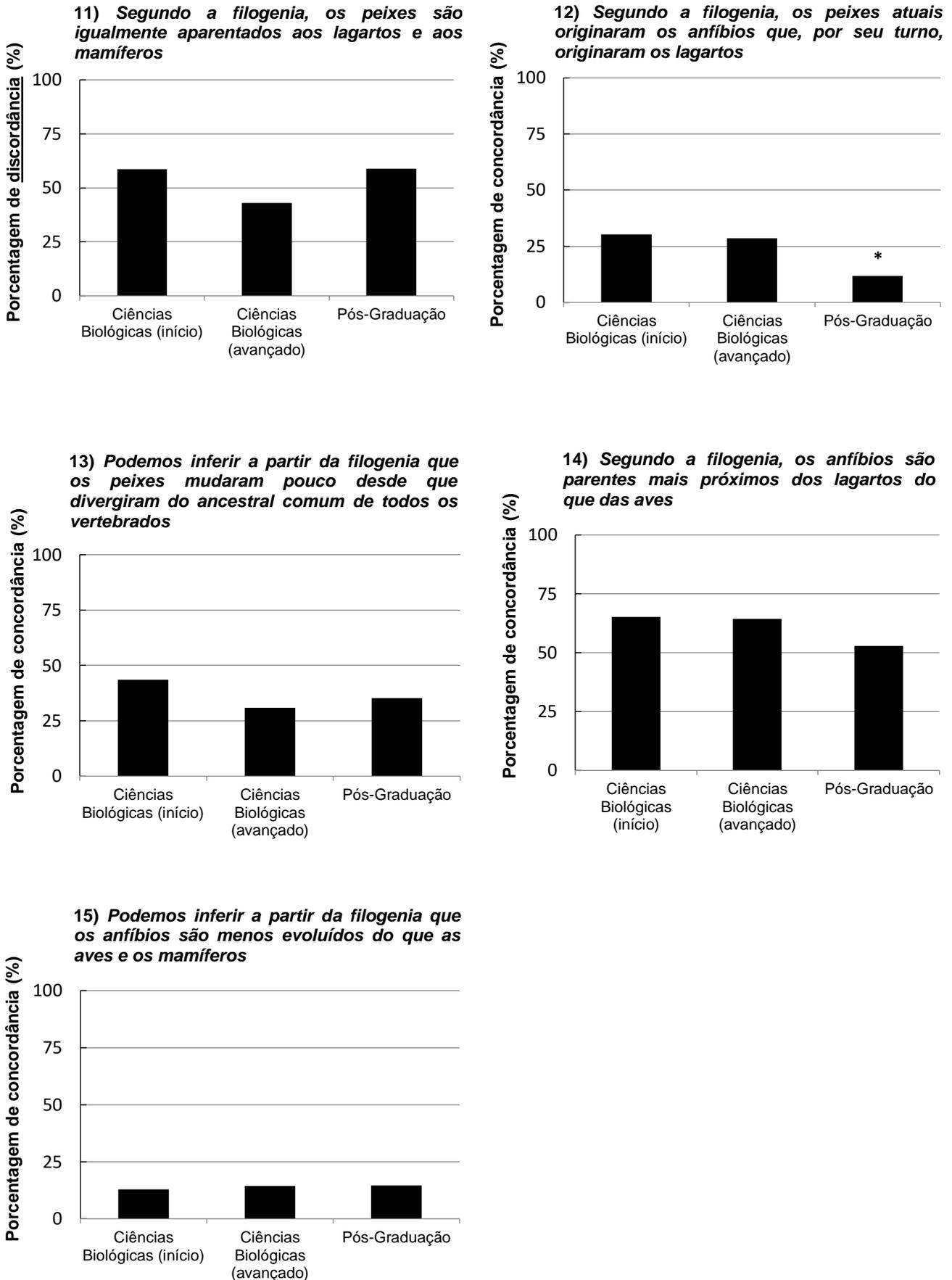


Figura 4 – Porcentagem de concordância nos itens sobre interpretação de filogenias, por grupo de formação acadêmica. Os pós-graduandos diferem dos graduandos em ciências biológicas (início) em relação ao item 12 ($\chi^2 = 3.908$; $p = 0.048$).

Estas concepções não são apenas relacionadas à interpretação de filogenias, mas carregam também conotações de progresso no processo evolutivo. Frequentemente os seres vivos contemporâneos são apresentados “enfileirados”, remontando a ideia influente de uma *Scala Naturae* - como uma sequência linear de modificações dos organismos (Paesi, 2018). Esta influente concepção ainda parece relevante entre os alunos, mesmo para estudantes em níveis mais avançados de formação acadêmica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas considerações finais podem ser destacadas a partir da comparação das respostas dos grupos elencados por formação acadêmica. Em primeiro lugar, as concepções equivocadas sobre seleção natural, adaptação e interpretação de filogenias são as mais frequentes entre os estudantes. A graduação em ciências biológicas (início e avançado) não parece modificar substancialmente as concepções equivocadas sobre seleção natural e adaptação, mas a passagem pela pós-graduação resulta em uma diminuição significativa de equívocos relacionados a estes conceitos.

Por outro lado, estes equívocos ainda se mantêm em uma proporção considerável de estudantes, mesmo considerando os níveis mais avançados de ensino. Além do mais, a formação acadêmica não parece auxiliar consistentemente na leitura das filogenias, uma vez que os pós-graduandos mantêm uma alta taxa de concepções equivocadas, principalmente relacionadas com a interpretação das relações de parentesco.

Alguns estudos buscam associar a presença de concepções equivocadas sobre evolução com a aceitação da teoria evolutiva e com crenças religiosas dos estudantes (p. ex. Buckberry & Silva, 2012). Contudo, entre os alunos participantes desta pesquisa, a questão da aceitação de evolução não é relevante, uma vez que os estudantes buscam o Curso de Biologia Evolutiva de forma voluntária e a grande maioria alega não possuir religião. Mesmo assim, tais estudantes possuem um alto índice de concepções equivocadas sobre evolução em muitos dos itens do questionário.

Cabe também mencionar algumas limitações metodológicas deste estudo. As mais importantes limitações, segundo meu conhecimento, são as seguintes. Há um número relativamente pequeno de estudantes que responderam ao questionário, divididos em três grupos conforme a formação acadêmica (N total = 122). Seria desejável um número maior de respostas para elaborar as comparações aqui desenvolvidas. Além disso, afirmações simples sobre o pensamento evolutivo não fornecem muitas informações sobre o conhecimento dos alunos. A argumentação e os discursos gerados pelos estudantes são essenciais nos contextos educacionais, os quais não são contemplados em um questionário fechado.

Diante de tais limitações, a escolha adotada foi a realização de um estudo comparativo, na esperança de que os resultados apontem novas possibilidades investigativas sobre o tema. E, neste sentido, esta pesquisa também possui algumas qualidades que podem ser elencadas.

A primeira delas é o instrumento de pesquisa, que passou por um processo de desenvolvimento amplo, em que os proponentes do Curso de Biologia Evolutiva, oriundos de diferentes áreas da biologia, uniram esforços para formular as questões. Além disso, o instrumento passou por um processo de validação, com a contribuição de pesquisadores experientes.

Outra característica interessante é a população de estudo. O chamado Curso de Biologia Evolutiva representa uma oportunidade única para elaborar investigações com estudantes em variados graus de formação acadêmica sobre evolução biológica. Frequentam o curso desde graduandos que não tiveram ensino formal de tópicos evolutivos até pós-graduandos com pesquisas na área biológica. Os alunos também são oriundos de diferentes instituições de ensino superior, públicas e privadas, principalmente da região sul do Brasil.

A maior parte dos trabalhos sobre ensino de evolução com alunos de diferentes instituições e graus de formação acadêmica é feito com estudantes da América do Norte (Gregory & Ellis, 2009; Meir *et al.*, 2007; Ziadie & Andrews, 2018). Estes estudos apontam a persistência de concepções equivocadas em alunos com níveis mais avançados de formação acadêmica. No entanto, se compararmos os dados desta pesquisa com os estudos supracitados, averiguamos que os estudantes brasileiros apresentam uma frequência maior de concepções equivocadas sobre interpretação de filogenias e seleção natural. Deve-se considerar, é claro, que as metodologias e os instrumentos de pesquisa são distintos. Mas esta comparação não deve ser negligenciada, servindo como um ponto de partida para investigações mais aprofundadas sobre a compreensão de evolução entre os estudantes brasileiros de ensino superior.

Em conjunto, os dados discutidos neste trabalho indicam a necessidade de uma atenção especial no ensino de conceitos como seleção natural, adaptação e interpretação de filogenias na formação de professores, biólogos e mesmo de pós-graduandos da área biológica. Nesse sentido, alguns autores argumentam que o ensino e a aprendizagem destes conceitos devem incluir esforços para identificar, enfrentar e suplantam concepções equivocadas, muitas das quais são derivadas de vieses conceituais profundamente arraigados (Sinatra, Brem, & Evans, 2008; Gregory, 2009).

O ensino de evolução não pode se limitar apenas a uma adição de novos conhecimentos, mas deve envolver aprendizagens que auxiliem os alunos a revisar seus modelos de entendimento do mundo natural (Sinatra, Brem, & Evans, 2008). Por exemplo, compreender o conceito de seleção natural requer o enfrentamento de questões como intencionalidade e finalidade no processo evolutivo, muitas vezes presentes no discurso dos alunos e mesmo professores (Gregory, 2009). A pesquisa aqui desenvolvida reforça as evidências de que simplesmente descrever o processo de seleção natural e o conceito de adaptação é insuficiente - por mais tempo de ensino formal sobre evolução biológica que o aluno possua -, sendo imperativo o confronto das concepções equivocadas no contexto de ensino.

É necessário o desenvolvimento de uma formação inicial e continuada baseada em evidências – a partir de pesquisas sobre estratégias e atividades de ensino que ajudem a melhorar o nível de compreensão entre os alunos -, evitando que muitos estudantes perpetuem concepções equivocadas em sua futura prática pedagógica como professores do ensino básico e superior.

REFERÊNCIAS

- Alters, B. J., & Nelson, C. E. (2002). Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00115.x>
- Amorim, D. S. (2002). *Fundamentos de Sistemática Filogenética*. Ribeirão Preto, SP: Holos.
- Balbinotti, M. A. (2005). Para se avaliar o que se espera: reflexões acerca da validade dos testes psicológicos. *Aletheia*, 21, 43-52.
- Baum, D. A., Smith, S. D., & Donovan, S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979-980. <https://doi.org/10.1126/science.1117727>
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of research in science teaching*, 27(5), 415-427. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Buckberry, S., & Silva, K. B. (2012). Evolution: improving the understanding of undergraduate biology students with an active pedagogical approach. *Evolution: Education and Outreach*, 5(2), 266-273. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0416-z>
- Caponi, G. (2005). O darwinismo e seu outro, a teoria transformacional da evolução. *Scientiae Studia*, 3(2), 233-242. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662005000200004>
- Clough, E., & Wood-Robinson, C. (1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19(2), 125-130.
- Freeman, S., & Herron, J. C. (2009). *Análise evolutiva*. Porto Alegre, RS: Artmed.
- Futuyma, D. J. (1992). *Biologia evolutiva*. (2a ed.). Ribeirão Preto, SP: SBG.
- Gil-Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(2), 125-153. Recuperada de <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n2/01.pdf>
- Godfrey-Smith, P. (2001). Three kinds of adaptationism. In S. H. Orzack, & E. Sober (Eds.), *Adaptationism and Optimality* (pp. 335-357). Cambridge University Press.
- Gregory, T. R. (2008). Understanding evolutionary trees. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 121-137. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0035-x>
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156-175. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1>

- Gregory, T. R., & Ellis, C. A. (2009). Conceptions of evolution among science graduate students. *BioScience*, 59(9), 792-799. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.9.10>
- Hernández-Nieto, R. A. (2002). *Contributions to Statistical Analysis*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Mayr, E. (2004). *What makes biology unique? Considerations on the autonomy of a scientific discipline*. Cambridge University Press.
- Meir, E., Perry, J., Herron, J. C., & Kingsolver, J. (2007). College students' misconceptions about evolutionary trees. *The American Biology Teacher*, 69(7), 71-76. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[71:CSMAET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[71:CSMAET]2.0.CO;2)
- Nehm, R. H., & Schonfeld, I. S. (2008). Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(10), 1131-1160. <https://doi.org/10.1002/tea.20251>
- Nunnally, J. (1978). *Psychometric methods*. New York, United States of America: McGraw Hill.
- Oleques, L. C., Bartholomei, M. L. S., & Boer, N. (2011). Evolução biológica: percepções de professores de biologia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 243-263. Recuperada de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART2_VOL10_N2.pdf
- Oliveira, G., & Bizzo, N. (2015). Evolução biológica e os estudantes brasileiros: conhecimento e aceitação. *Investigações em Ensino de Ciências*, 20(2), 161-185. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v20n2p161>
- Paesi, R. A. (2018). Evolução humana nos livros didáticos de Biologia: o antropocentrismo em questão. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 143-166. Recuperada de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_1_7_ex1176.pdf
- Pazza, R., Penteado, P. R., & Kavalco, K. F. (2010). Misconceptions about evolution in Brazilian freshmen students. *Evolution: Education and Outreach*, 3(1), 107-113. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0187-3>
- Rubio, D. M., Berg-Weger, M., Tebb, S. S., Lee, E. S., & Rauch, S. (2003). Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. *Social work research*, 27(2), 94-104. <https://doi.org/10.1093/swr/27.2.94>
- Shanahan, T. (2000). Evolutionary progress? *BioScience*, 50(5), 451-459. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0451:EP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0451:EP]2.0.CO;2)
- Sinatra, G. M., Brem, S. K., & Evans, E. M. (2008). Changing minds? Implications of conceptual change for teaching and learning about biological evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 189-195. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0037-8>
- Stearns, S. C. (1989). Trade-offs in life-history evolution. *Functional ecology*, 3(3), 259-268. Recuperada de <https://www.jstor.org/stable/2389364>
- Tidon, R., & Lewontin, R. C. (2004). Teaching evolutionary biology. *Genetics and molecular biology*, 27(1), 124-131. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-47572004000100021>
- Ziadie, M. A., & Andrews, T. C. (2018). Moving evolution education forward: a systematic analysis of literature to identify gaps in collective knowledge for teaching. *CBE—Life Sciences Education*, 17(1), ar11. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-08-0190>

Recebido em: 11.01.2020

Aceito em: 14.07.2020