

Conhecimento sobre Paleontologia Molecular entre estudantes do Ensino Médio do Sul do Brasil

Knowledge about Molecular Paleontology among High School students in Southern Brazil

Conocimiento sobre Paleontología Molecular entre estudiantes de Secundaria en el Sur de Brasil

Recebido: 31/10/2022 | Revisado: 13/11/2022 | Aceitado: 14/11/2022 | Publicado: 20/11/2022

Everton Fernando Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7876-6274>

PALEOMOL – Laboratório Virtual de Paleontologia Molecular, Brasil

E-mail: efalves.mga@gmail.com

Weliton Augusto Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5222-2738>

PALEOMOL – Laboratório Virtual de Paleontologia Molecular, Brasil

E-mail: augustoweliton0@gmail.com

Thiago Somolinos Soldani

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0480-7488>

MicrA – Laboratório de Micropaleontologia Aplicada, Brasil

E-mail: soldani@geologia.ufrj.br

Marcio Fraiberg Machado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8586-9674>

PALEOMOL – Laboratório Virtual de Paleontologia Molecular, Brasil

E-mail: profmarciofraiberg@gmail.com

Resumo

Este trabalho é fruto de uma pesquisa exploratória e descritiva, de natureza quantitativa de dados, que teve por objetivo investigar o conhecimento de estudantes do Ensino Médio do sul do Brasil sobre aspectos relacionados à Paleontologia em geral e, mais especificamente, aos conceitos básicos da Paleontologia Molecular. O grupo amostral foi composto por 52 estudantes da 2ª série do Ensino Médio, de duas escolas privadas, localizadas nos municípios de Araucária (PR) e Palhoça (SC), região sul do Brasil. Os dados foram obtidos através de questionário estruturado on-line, elaborado via plataforma *Google Forms*, composto de 21 questões objetivas de múltipla escolha. A análise dos questionamentos foi feita utilizando-se de estatística descritiva para exame da frequência de respostas distribuídas nas três categorias de análise: 1) *características socioeconômicas*, 2) *conhecimentos gerais sobre Paleontologia* e 3) *conhecimentos específicos sobre Paleontologia Molecular*. Os resultados demonstram que as respostas dos estudantes sobre conceitos básicos da Paleontologia Molecular encontram-se coerentes com os dados disponíveis na literatura científica, o que demonstra que os alunos do Ensino Médio são capazes de adquirir e aplicar conteúdos complexos vinculados à biologia molecular, fósseis e evolução, em ambiente escolar. Uma vez que são raros os estudos que buscaram investigar a compreensão de alunos da educação básica a respeito de assuntos da Paleogenômica e Paleoproteômica, percebe-se que os dados aqui apresentados poderão suprir uma lacuna do conhecimento existente em nosso país.

Palavras-chave: Ensino de Paleontologia; Educação básica; Preservação excepcional; Biomateriais não mineralizados; Tecidos moles; Biomoléculas fósseis; DNA antigo.

Abstract

This work is the result of an exploratory and descriptive research, with a quantitative nature, which aimed to investigate the knowledge of high school students in southern Brazil about aspects related to Paleontology in general and, more specifically, to the basic concepts of Molecular Paleontology. The sample group consisted of 52 high school 2nd grade students from two private schools located in the cities of Araucária (PR) and Palhoça (SC), southern Brazil. Data were obtained through a structured online questionnaire, prepared via the Google Forms platform, composed of 21 objective multiple-choice questions. The analysis of the questions was performed using descriptive statistics to examine the frequency of responses distributed in the three categories of analysis: 1) socioeconomic characteristics, 2) general knowledge about Paleontology and 3) specific knowledge about Molecular Paleontology. The results demonstrate that the students' answers on basic concepts of Molecular Paleontology are consistent with the data available in the scientific literature, which demonstrates that high school students are able to acquire and apply complex contents related to molecular biology, fossils and evolution in a school environment. Since there are few studies that sought to investigate the understanding of basic education students about Paleogenomics and Paleoproteomics subjects, it is noticed that the data presented here may fill a gap in the existing knowledge in our country.

Keywords: Teaching Paleontology; Basic education; Exceptional preservation; Nonmineralized biomaterials; Soft tissue; Fossil biomolecules; Ancient DNA.

Resumen

Este trabajo es el resultado de una investigación exploratoria y descriptiva, con una naturaleza cuantitativa de datos, que tuvo como objetivo investigar el conocimiento de estudiantes de secundaria en el sur de Brasil sobre aspectos relacionados con la Paleontología en general y, más específicamente, con los conceptos básicos de la Paleontología Molecular. La muestra estuvo compuesta por 52 estudiantes de 2º grado de secundaria de dos escuelas privadas ubicadas en las ciudades de Araucária (PR) y Palhoça (SC), sur de Brasil. Los datos se obtuvieron a través de un cuestionario online estructurado, elaborado por medio de la plataforma Google Forms, compuesto por 21 preguntas objetivas de opción múltiple. El análisis de las preguntas se realizó mediante estadística descriptiva para examinar la frecuencia de respuestas distribuidas en las tres categorías de análisis: 1) características socioeconómicas, 2) conocimientos generales sobre Paleontología y 3) conocimientos específicos sobre Paleontología Molecular. Los resultados demuestran que las respuestas de los estudiantes sobre conceptos básicos de Paleontología Molecular son consistentes con los datos disponibles en la literatura científica, lo que demuestra que los estudiantes de secundaria son capaces de adquirir y aplicar contenidos complejos relacionados con biología molecular, fósiles y evolución en un ambiente escolar. Dado que son pocos los estudios que buscaron investigar la comprensión de los estudiantes de educación básica sobre temas de Paleogenómica y Paleoproteómica, se nota que los datos aquí presentados pueden llenar un vacío en el conocimiento existente en nuestro país.

Palabras clave: Enseñanza de Paleontología; Educación básica; Preservación Excepcional; Biomateriales no mineralizados; Tejido blando; Biomoléculas fósiles; ADN antiguo.

1. Introdução

Informações referentes às mais recentes descobertas científicas no campo da Biologia, Paleontologia, Química e áreas afins das geociências, disseminam-se amplamente do ambiente acadêmico para o público em geral por meio da mídia e da cultura pop (Jones, 2019), esta última aqui entendida como experiências e produtos que se tornam populares a partir da lógica midiática, estando atrelados às indústrias da cultura e da cibercultura (Soares, 2014).

Sabe-se que a abordagem de conceitos biogeocientíficos, no ambiente escolar, é muito mais influenciada pelas imagens veiculadas pelo cinema e pela mídia do que pelas publicações científicas, que ficam, em sua maioria, restritas à comunidade acadêmica (Schwanke & Silva, 2010). O ensino de genética e biologia molecular, por exemplo, têm se destacado, quando associado à Paleontologia, pelo aumento de informações biotecnológicas divulgadas pela indústria cinematográfica (Machado & Meirelles, 2018; Jones, 2019).

Neste contexto, filmes de ficção científica como os das franquias *Jurassic Park* e *Jurassic World* continuam sendo uma inspiração para muitos futuros cientistas (Jones, 2019). Apesar da presença de certas inconsistências (Haupt & Traer, 2017), as trilogias têm servido como excelentes recursos didáticos para a apropriação e ressignificação de conceitos científicos complexos, uma vez que elas fornecem informações paleobiológicas essenciais relacionadas a conteúdos educacionais estruturantes, como “Mecanismos Biológicos” e “Manipulação Genética”, presentes em Diretrizes Curriculares Estaduais (Lazzarin et al., 2020), além de, principalmente, fazerem a promoção das Competências específicas 2 e 3, da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT), orientadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Alves et al., 2021; Brasil, 2018).

Tomemos como exemplo o primeiro filme da franquia *Jurassic Park*, lançado em 1993, baseado no livro homônimo de Michael Crichton. Em uma cena clássica demonstra-se, quase como numa previsão científica, a possibilidade de se encontrar moléculas preservadas de DNA de dinossauros. No filme, essas moléculas, coletadas em um mosquito pré-histórico aprisionado por uma resina vegetal (fossilizada como âmbar), são utilizadas para reconstruir o genoma dos dinossauros e dar vida novamente a esses bichos (Crichton, 1990; Gomes-Maluf & Souza, 2008).

No entanto, essa previsão não era aleatória; pelo contrário, baseava-se em evidências já disponíveis na década de 1980 referentes a achados de moléculas orgânicas, encontradas em fósseis de mamíferos (Higuchi et al., 1984), e a especulações independentes em contextos profissionais e na mídia (Pellegrino, 1985), bem antes do lançamento, em 1990, do agora famoso livro *Jurassic Park*, que ganhou vida nos cinemas a partir de 1993. Logo, os filmes subsequentes das trilogias *Jurassic Park* e *Jurassic World* foram e ainda são baseados em conceitos da Paleontologia Molecular (Alves, 2022), e, à propósito, ajudaram a desenvolver a ciência e a tecnologia por trás da pesquisa de DNA antigo (Jones, 2019; Chimes & Vieira, 2021).

A Paleontologia Molecular, campo de estudo interdisciplinar emergente, relacionado à área da Tafonomia, tem como objetivo a recuperação, identificação e caracterização de vestígios de moléculas orgânicas encontrados no registro fóssil, com o auxílio de distintas técnicas moleculares avançadas de detecção ultraestruturais (Alves, 2022; Buckley, 2018; Boskovic et al., 2021). Essa área de pesquisa pode ser trabalhada a partir de duas possíveis abordagens de investigação a nível molecular: Paleogenômica, que estuda os DNAs antigos (aDNA), e Paleoproteômica, que estuda as proteínas antigas (Alves, 2022). Dessa forma, ela contribui, por exemplo, no entendimento da biologia da fauna e da flora pretéritas, na identificação de espécies e na análise das relações evolutivas de grupos de seres extintos.

De certa forma, a importância desse tópico de estudo contrasta-se com as dificuldades enfrentadas na assimilação do mesmo por estudantes pré-universitários. Ao mesmo tempo em que o ensino de conceitos gerais de Paleontologia Molecular para alunos de níveis mais básicos (Ensino Fundamental e Médio) é incentivado e visto com bons olhos por pesquisadores da área (Alves, 2021a, 2021b), outros apontam que a absorção de conceitos relacionados à fossilização, como processos biogeoquímicos e escalas de tempo, pode ser desafiadora, principalmente se os estudantes não estiverem familiarizados com aspectos de fisiologia e ecologia de organismos, além do conceito de tempo geológico (Kortz & Murray, 2009; Martindale & Weiss, 2020). Por isso, para que métodos de abordagem sobre o tema sejam desenvolvidos e aplicados de forma satisfatória, é imprescindível um entendimento prévio acerca do nível de conhecimento que os estudantes possuem em relação a esses tópicos.

Nesse sentido, observa-se que são poucos os estudos disponíveis que priorizaram a investigação do nível de conhecimento dos estudantes da Educação Básica acerca de assuntos da Paleontologia Molecular. Essa é uma problemática que merece atenção, uma vez que esses dados permitem conhecer o perfil do aluno e seus interesses, a fim de se estabelecer orientações para professores mediante um conteúdo básico que explicita o que é a Paleontologia Molecular e qual é sua importância para a compreensão da evolução e/ou diversificação da vida ao longo da história do planeta (Alves et al., 2021). A partir disso, torna-se possível mediar um processo de aprendizagem significativo para os alunos, com vista à construção de competências e habilidades que devem compor a bagagem de conhecimento dos futuros estudantes universitários.

Diante disso, objetivou-se, neste estudo, investigar o conhecimento de estudantes do Ensino Médio do sul do Brasil sobre os aspectos relacionados à Paleontologia em geral e, mais especificamente, aos conceitos básicos da Paleontologia Molecular.

2. Materiais e Métodos

Realizou-se um estudo exploratório e descritivo, de natureza quantitativa de dados. Segundo Gil (2010), pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito ou construir hipóteses, incluindo busca de informações por meio de levantamento bibliográfico e instrumentos de coleta de dados.

O caráter descritivo do estudo, por sua vez, tem como objetivo principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno (Gil, 2010). Para tanto, no caso, os procedimentos incluem coleta sistemática de informações, seguindo etapas de registro, descrição, análise e interpretação de fenômenos complexos, a partir de uma perspectiva social sem, no entanto, interferir nos fatos (Moreira, 2011; Ramírez-Montoya et al., 2021).

Foram atendidos os princípios éticos disciplinados pela Resolução 466/2012, do Conselho Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP; Brasil, 2012), na medida em que os participantes da pesquisa foram esclarecidos quanto aos objetivos do estudo, sendo-lhes assegurados a confidencialidade, o anonimato, a voluntariedade quanto a participar ou não do estudo e as permissões para uso das informações com fins acadêmicos.

2.1 Instrumentos e procedimentos de coleta de dados

A coleta de informações se deu por meio de um questionário estruturado on-line, elaborado via plataforma *Google Forms*. O link do formulário eletrônico foi compartilhado com os estudantes nos dias 20 e 23 de junho.

O instrumento foi composto de 21 questões objetivas de múltipla escolha, que exploraram três unidades de análise: (1) características socioeconômicas dos participantes, (2) conhecimentos gerais sobre Paleontologia e (3) conhecimentos específicos sobre Paleontologia Molecular.

Os dados coletados foram armazenados em banco de dados no programa Microsoft Excel para posterior análise.

2.2 Participantes

A população-alvo foi composta por alunos do 2º ano do Ensino Médio de duas escolas privadas, localizadas em áreas centrais dos municípios de Araucária-PR (n=22) e Palhoça-SC (n=30). Os critérios de inclusão adotados neste estudo foram os seguintes: 1) os estudantes deveriam ter uma conta de e-mail ativa e 2) estarem regularmente matriculados na segunda série da última etapa da Educação Básica. Este último justifica-se porque, na última década, autores de livros didáticos vêm inserindo alguns elementos da Paleontologia Molecular associados a conteúdos de evolução e biotecnologia (Paleoproteômica e Paleogenômica) em livros-textos de Biologia para os anos finais (2ª e 3ª séries) do Ensino Médio (Linhares et al., 2016; Lopes & Rosso, 2016).

Ademais, entende-se que os alunos que se encontram nesta etapa de estudo já tenham visto previamente conteúdos fundamentais das disciplinas de Química da vida, Biologia celular, Evolução, Genética e Biologia molecular (Alves et al., 2021). Os conhecimentos oriundos dessas disciplinas são essenciais para a compreensão de conceitos básicos paleomoleculares e da composição, estrutura e função dos objetos de estudo dessa área, uma vez que, grosso modo, “a Paleontologia Molecular é apenas a identificação da Biologia Molecular de materiais antigos, com algumas modificações sofridas no processo de formação das rochas” (Ibid., p. 124).

2.3 Análise de dados

Para a avaliação das questões, foi utilizado um gabarito padrão do que se esperava como resposta. Utilizou-se estatística descritiva para examinar a frequência de respostas nas questões de pesquisa distribuídas nas três categorias de análise. A análise dos itens examinados foi descrita em gráficos, utilizando percentuais simples.

3. Resultados e Discussão

A frequência de respostas do corpo estudantil para as categorias selecionadas na pesquisa encontra-se descrita a seguir.

3.1 Aspectos socioeconômicos

Dos 52 participantes envolvidos no estudo, 30 (57,7%) identificam-se como sendo do sexo feminino e 22 (42,3%), do sexo masculino. Observou-se que, do total de alunos, 84,6% deles não possuem um emprego, enquanto o restante (15,4%) trabalha, embora ainda dependam financeiramente dos seus responsáveis. Quanto à pretensão de cursar o Ensino Superior, 73,1% deles afirmam querer cursar uma graduação, enquanto 26,9% consideram não saber responder no momento. Em relação aos hábitos de leitura sobre assuntos gerais, 40,4% dos estudantes relatam ler ocasionalmente, seguidos daqueles que leem diariamente (28,8%), semanalmente (9,6%) e os que não cultivam o hábito da leitura (21,2%).

3.2 Conhecimentos gerais sobre Paleontologia

3.2.1 Contato prévio com conteúdos da Paleontologia

Observou-se que 80,8% dos alunos declaram ter estudado em alguma etapa escolar assuntos paleontológicos, seguidos daqueles que não se recordam (13,5%) e os que declaram não ter estudado temas paleontológicos em nenhuma etapa escolar (5,7%).

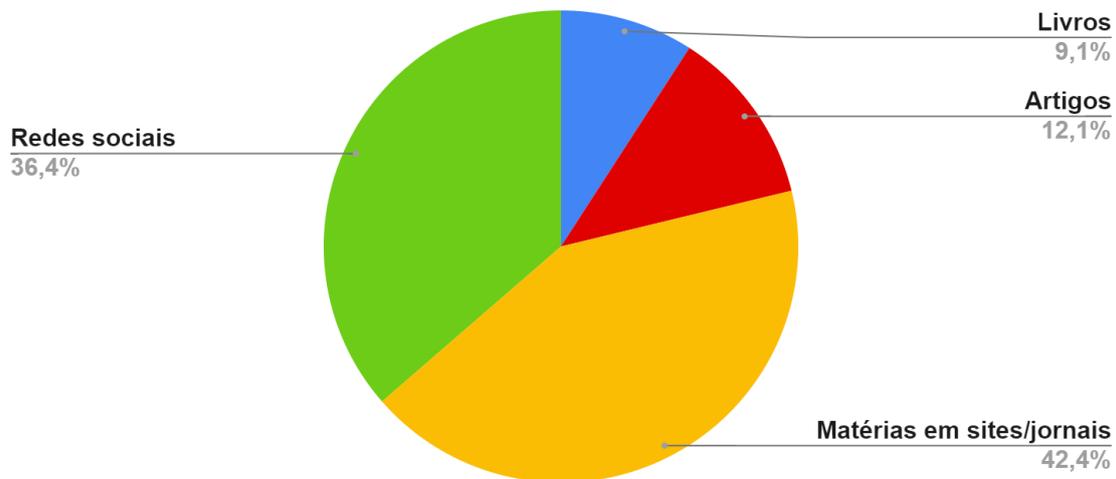
Esses resultados se destacam quando comparados com dados disponíveis na literatura científica, que mostram que a maioria dos estudantes do Ensino Médio de escolas públicas de outras regiões do país nunca ouviram falar de paleontologia na escola (Mendes, Nunes & Pires, 2015; Duarte et al., 2016; Santos, Moreira & Fernando, 2018).

Uma possível explicação para este estudo ter encontrado um número tão alto, quando comparado a estudos prévios, é a de que sua realização se deu em instituições privadas de ensino, o que poderia refletir a disparidade existente ainda hoje no nível de aprendizagem entre os perfis de alunos da rede pública e os da rede privada de ensino brasileiro (Brasil, 2021; França & Feijó, 2021), além da possibilidade de os próprios docentes dessas escolas terem previamente planejado as suas aulas com intuito de abordar questões bio-paleontológicas.

3.2.2 Fontes e hábito de leitura sobre assuntos paleontológicos

Os alunos também foram questionados a respeito de seu hábito de ler informações sobre assuntos paleontológicos. Os resultados mostram que, quando questionados diretamente sobre isso, 78,8% dos discentes responderam que não costumam ler sobre Paleontologia, enquanto os 21,2% restantes são aqueles que buscam informações sobre a temática. Ao responderem sobre o local preferido para leitura sobre Paleontologia, 36,5% não indicou nenhum, enquanto 63,5% dos alunos identificam um local preferido de leituras. Destes 63,5%, a maioria (42,4%) relata encontrar informações em matérias de sites e/ou jornais, seguido de redes sociais (36,4%), artigos (12,1%) e livros (9,1%) (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo fontes de aquisição de conhecimento sobre Paleontologia (n=33).



Fonte: Autores (2022).

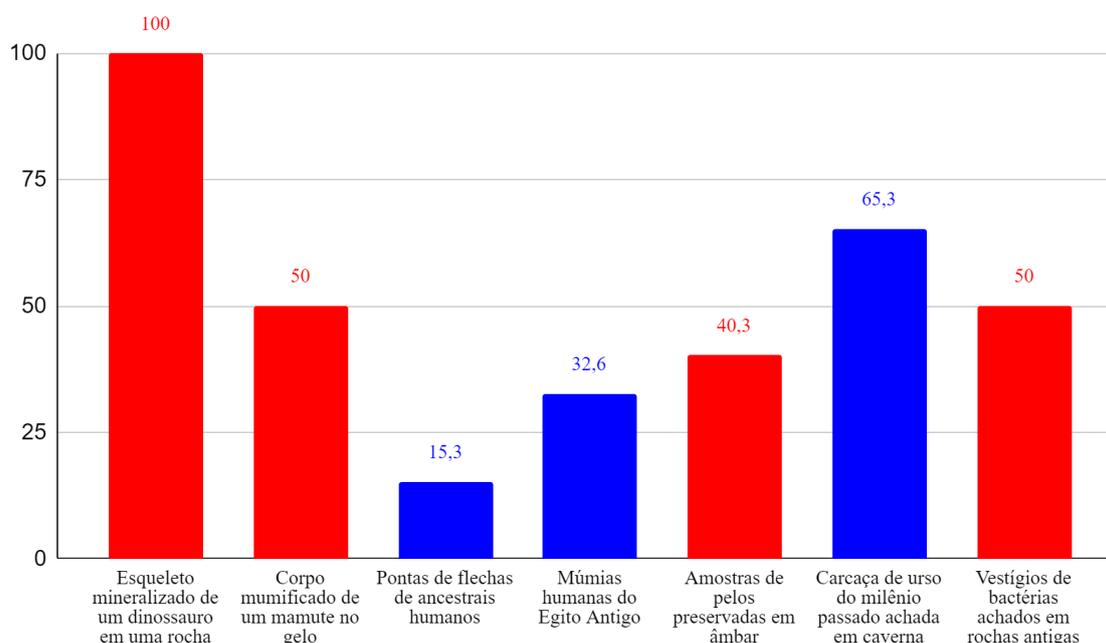
Estudos prévios realizados com estudantes de Ensino Médio da região nordeste do Brasil mostraram que a maioria dos participantes dessa região do país obtém informações sobre paleontologia a partir de documentários e filmes (Santos et al., 2018; Araújo & Siqueira, 2020), deixando como secundário o hábito da leitura. A explicação para a diferença encontrada em relação aos dados deste estudo poderia estar na disparidade socioeconômica, uma vez que os estudos foram realizados com estudantes de escolas públicas de pequenos municípios nos quais o incentivo à leitura pode não estar sendo priorizado.

3.2.3 Capacidade de identificação de um fóssil

Quando os estudantes foram questionados se eles sabem o significado do termo *fóssil*, a grande maioria (98,1%) deles respondeu ser capaz de distinguir o que é ou não um fóssil, enquanto apenas 1,9% declararam desconhecer o termo.

Também foi solicitado aos alunos que selecionassem, dentre tópicos pré-determinados, os elementos que eles consideram ser um fóssil, com a possibilidade de indicar mais de uma opção por resposta. Os resultados mostraram que, para os estudantes, os fósseis podem ser representados por esqueletos mineralizados de um dinossauro em rocha (100%), seguidos daqueles que entendem os fósseis como uma carcaça de urso do milênio passado achada em caverna (65,3%), um corpo mumificado de um mamute no gelo (50%), vestígios de bactérias achadas em rochas antigas (50%), amostras de pelos preservados em âmbar (40,3%), múmias humanas do Egito Antigo (32,6%) e pontas de flechas de ancestrais humanos (15,3%) (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição relativa de estudantes do Ensino Médio segundo percepção sobre o conceito de fóssil (n=52). Legenda: colunas em vermelho: fósseis; colunas em azul: não fósseis; eixo y em porcentagem.



Fonte: Autores (2022).

Em geral, percebe-se, nas respostas dos estudantes, uma divergência quanto aos seus conceitos prévios adquiridos sobre os fósseis, pois ao mesmo tempo em que metade (50%) deles indicou o corpo preservado de um mamute no gelo como sendo um fóssil, outros 65,3% associaram à carcaça de urso do milênio passado achada em uma caverna, e 32,6% consideraram também as múmias humanas do Egito Antigo. Isso revela o que alguns autores (Novais, 2018; Borsonelli & Rodrigues, 2019; Duarte et al., 2019) já mencionaram, o fato de que conceitos arqueológicos e paleontológicos acabam se confundindo na mente de estudantes do Ensino Médio e até entre professores.

Dentre esses resultados, algumas concepções se destacam, como no caso dos dinossauros em rocha, em que 100% deles associam corretamente essa opção a um tipo de fóssil. A razão disso pode ser explicada pelo foco que se dá ao elemento biológico associado à rocha, isto é, os dinossauros, por serem bichos que já fazem parte da cultura popular devido à sua ampla representação midiática (Gomes-Maluf & Souza, 2008; Schwanke & Silva, 2010; Lucena, 2013; Borsonelli & Rodrigues, 2019).

Essa influência que a mídia exerce no processo de apropriação cultural de conceitos científicos é importante para a mediação do aprendizado dos estudantes (Gomes-Maluf & Souza, 2008), apesar de nem sempre os conceitos retratados na mídia serem apresentados com exatidão científica (Schwanke & Silva, 2010). Por exemplo, uma problemática envolvida na representação dos dinossauros em animações é a convivência entre dinossauros não avianos e humanos no mesmo tempo e espaço, o que gera dúvidas e confusões conceituais a respeito da correlação entre fósseis e o tempo profundo (Rosa et al., 2018; Borsonelli & Rodrigues, 2019).

Com isso, o aprendizado de conceitos paleontológicos por parte de estudantes do Ensino Médio acaba por se tornar fragmentado (Santos et al., 2018). Neste estudo, observa-se, por exemplo, que os alunos cometem erros conceituais ao associarem os fósseis a elementos de estudo da Arqueologia, tais como a carcaça de urso do milênio passado em caverna, as múmias humanas do Egito Antigo e as pontas de flecha de ancestrais humanos.

Portanto, frente a esses resultados, entende-se que é essencial que os docentes desenvolvam estratégias de ensino que busquem incorporar recursos midiáticos às práticas pedagógicas cotidianas em ambientes de aula (Schwanke & Silva, 2010), com rigor na seleção, análise científica e crítica dos conteúdos (Schwanke & Silva, 2010; Lucena, 2013), e trabalhem o tema a partir de uma abordagem interdisciplinar (Calheiros & Maia, 2022), a fim de alcançar uma aprendizagem significativa quanto aos conceitos de fósseis.

3.2.4 A experiência com a trilogia *Jurassic Park*

Quanto à experiência de ter assistido filmes da franquia *Jurassic Park*, 82,7% dos estudantes responderam ter tido a oportunidade de ver pelo menos um dos filmes, enquanto apenas 17,3% responderam ainda não ter assistido nenhum deles.

Observa-se que, mesmo sendo uma trilogia lançada no início da década de 1990, ainda hoje exerce influência sobre as gerações atuais, inclusive a *geração Z* (Gen Z) analisada neste trabalho. Esta geração é caracterizada por indivíduos nascidos entre os anos de 1996 e 2012 (Fernández-Cruz & Fernández-Díaz, 2016). Os estudantes dessa geração são conhecidos por serem nativos digitais, sendo suas principais características: 1) especialistas no entendimento da tecnologia; 2) multitarefa; 3) socialmente abertos a partir de plataformas digitais e redes sociais; 4) gostam de respostas e soluções instantâneas; e 5) são interativos.

É por isso que nem sempre é fácil entender a posição que a escola deve adotar no processo de ensino e aprendizagem desses jovens (Fernández-Cruz & Fernández-Díaz, 2016). Contudo, estudos que visam investigar os níveis de conhecimento da Gen Z sobre concepções científicas atreladas à cultura pop tornam-se úteis para traçar estratégias de aprendizagem, com fins de transporte dessa cultura para as salas de aula (Añez, 2017; Rodrigues, 2020).

No caso deste estudo, percebe-se que *Jurassic Park*, como elemento da cultura pop, segue sendo fonte de informação relevante para ser utilizado por docentes brasileiros em ambientes de aula como estratégia para discussão e aprimoramento de conceitos inovadores da Paleontologia (Borsonelli & Rodrigues, 2019).

3.3 Conhecimentos sobre Paleontologia Molecular

3.3.1 Familiaridade com os termos *Paleontologia Molecular* e *Tecidos moles*

Quando inquiridos se já ouviram falar em Paleontologia Molecular, a maioria (61,5%) do corpo estudantil declarou desconhecer esse termo, ao passo que o restante (38,5%) indicou conhecê-lo. Por outro lado, quando questionados se eles já leram ou ouviram sobre os achados de “tecidos moles”, isto é, vestígios de tecidos, vasos sanguíneos, células, proteínas e/ou DNA, entre outras biomoléculas originais, em fósseis de animais extintos, a maioria (67,3%) dos estudantes respondeu afirmativamente, enquanto o restante (32,7%) nunca leu ou ouviu falar a respeito.

A expressão *tecidos moles* é um termo informal generalizado que foi incorporado na linguagem pública devido à influência da mídia na sua aplicação em matérias e *releases* (Alves, 2022). O termo técnico equivalente que tem sido utilizado em comunicações científicas da área de Paleontologia Molecular é *biomateriais não mineralizados* (Thomas & Taylor, 2019; Alves & Machado, 2021a, 2021b, 2021c; Gomes et al., 2022).

Os *biomateriais não mineralizados* podem ser definidos como

um conjunto de materiais biológicos que incluem os tecidos moles, células, moléculas orgânicas e/ou seus produtos de degradação, em nível de grupos funcionais úteis para rastreamento da molécula original, que não são tecidos

originalmente biomineralizados (e.g., ossos e dentes) e, de alguma forma, não foram substituídos por minerais durante a fossilização (Alves & Machado, 2021a, p. 2).

No entanto, para esta investigação, optou-se pelo uso da expressão *tecidos moles* por se tratar de um conceito que caiu no gosto popular sob influência da mídia, para verificarmos se os estudantes conheciam, de fato, os objetos de estudo da Paleontologia Molecular, ou seja, os vestígios de materiais orgânicos endógenos e originais, porém, a partir de um nome comum mais próximo de suas realidades.

Isso porque, atualmente, sabe-se que a mídia não exerce o papel apenas de difusora de informação, mas também o de formadora de opinião e conceitos (Schwanke & Silva, 2010). No caso da educação, as concepções dos estudantes são predominantemente marcadas pelo que lêem em veículos de informação e pelas imagens cinematográficas.

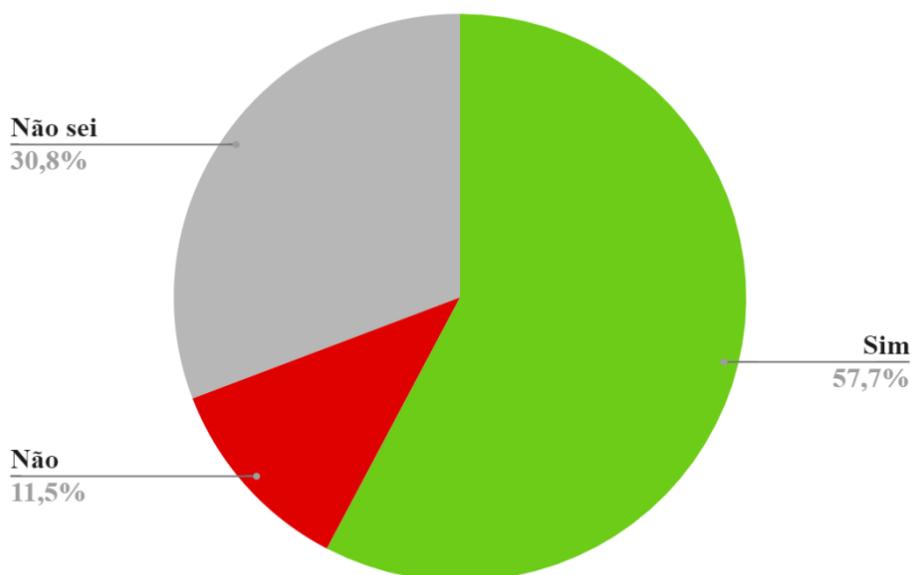
Nesse contexto, as respostas dos alunos permitiram entender que a estratégia aqui estabelecida funcionou, uma vez que a maioria deles demonstrou conhecer o termo popular *tecidos moles*, ao contrário do que ocorreu quando foram questionados acerca do termo técnico *Paleontologia Molecular*, nome do campo científico do qual eles, em sua maioria, nunca ouviram ou leram a respeito.

Ao longo do restante deste trabalho, usaremos os termos “tecidos moles”, “biomateriais originais” e “biomateriais não mineralizados” de forma intercambiável para nos referirmos aos achados excepcionalmente preservados de diferentes tipos de vestígios de materiais orgânicos (tecidos, células e moléculas) endógenos e originais.

3.3.2 Possibilidade de recuperação de material orgânico em fósseis

Os estudantes também foram questionados se eles acreditam ser possível recuperar vestígios de “tecidos moles” a partir de fósseis excepcionalmente bem preservados. A maioria (57,7%) dos alunos afirma ser possível encontrar indícios desses materiais orgânicos no interior de restos fossilizados, seguida dos que não souberam responder (30,8%) e os que realmente não acreditam nessa possibilidade (11,5%) (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de possibilidade de recuperação de vestígios de biomateriais endógenos em fósseis (n=52).



Fonte: Autores (2022).

Embora quase 60% dos estudantes entendam ser possível encontrar “tecidos moles” em fósseis bem preservados, sabe-se que os assuntos de Paleontologia Molecular ainda não fazem parte do cotidiano dos alunos em ambiente escolar.

Quando entrevistados, os especialistas da área sugerem algumas ideias simples, porém eficazes, para serem utilizadas por professores em sala durante as aulas de biologia, na ausência de abordagem desse conteúdo em livros didáticos. Por exemplo, o tafônomo molecular polonês, Dawid Surmik, professor assistente e membro do Grupo de Pesquisa em Paleoecologia e Tafonomia, do Instituto de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências Naturais da Universidade da Silésia, propõe que

As disciplinas de [...] Biologia [...] devem trazer elementos que possibilitem ao aluno entender que o registro fóssil, às vezes, preserva mais do que tecidos duros – ossos e dentes. Isso certamente tornará o currículo mais atraente! Os jovens têm vontade de aprender e, com certeza, cada um gostaria de encontrar DNA de dinossauro (Alves, 2021a, p. 3-4).

Para o paleontólogo molecular colombiano, Edwin Cadena, professor associado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Sistema Terrestre e membro do Grupo de Pesquisa de Paleontologia Neotropical Tradicional e Molecular, da Universidad del Rosario (Bogotá),

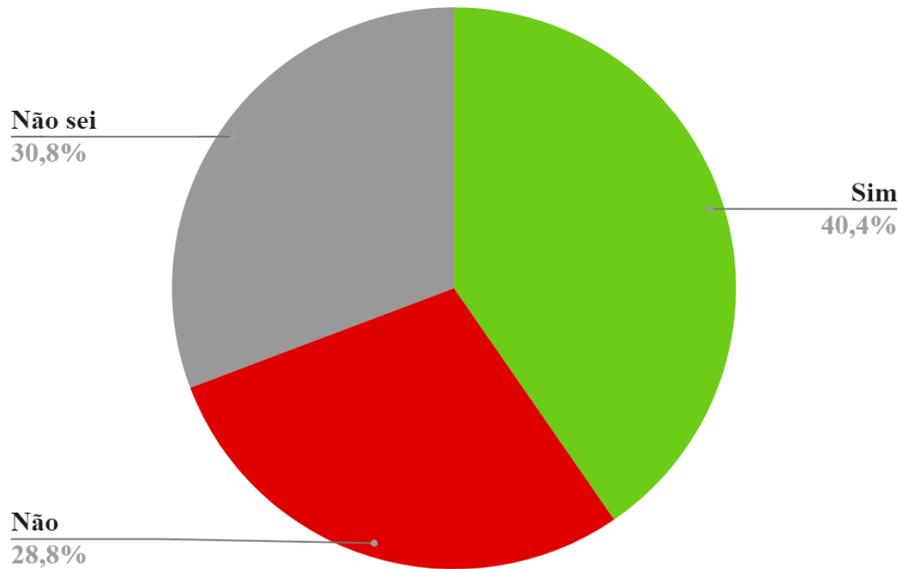
os achados da Paleontologia Molecular fazem parte da informação que foi preservada nos fósseis e, portanto, faz parte da sua essência, assim como estudamos sua variabilidade morfológica, sua diversidade, seu tamanho entre outros, devemos também ensinar às crianças e adolescentes que, em alguns casos, a preservação da vida passada pode atingir uma escala anteriormente impensável. [...] Poderia ser trabalhada com eles a ideia de que somos moléculas! Nosso corpo, nosso cérebro, tudo funciona graças a células e componentes orgânicos, e podemos jogar futebol porque nossos ossos são uma máquina inteligente de certa forma, e tudo isso pode ser preservado em alguns casos no registro fóssil. Esta poderia ser uma ideia de como conectar a Paleontologia Molecular com algo cotidiano dos alunos (Alves, 2021b, p. 33,34).

Diante disso, entendemos que, se a temática sobre a possibilidade de recuperação de vestígios paleomoleculares for trabalhada em sala de aula, de modo a utilizar-se de analogias e exemplos mais próximos da realidade do estudante, o assunto pode vir a tornar-se instigante e significativo para o seu aprendizado, a partir desse conteúdo inovador, que passará a compor a sua bagagem de conhecimento.

3.3.3 Possibilidade de recuperação de DNA de dinossauros não avianos

Outra questão ainda mais específica apresentada aos estudantes diz respeito à possibilidade de os cientistas, na vida real, em comparação com a ficção no filme *Jurassic Park*, já terem recuperado vestígios de DNA em fósseis de dinossauros não avianos. Para 40,4% dos aprendizes, essa façanha já foi concretizada e os cientistas já têm armazenado essa molécula em laboratório, enquanto 28,8% deles afirmaram não acreditar nessa hipótese, e 30,8% não souberam responder (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de possibilidade de já terem sido recuperados vestígios de DNA em fósseis de dinossauros não avianos (n=52).



Fonte: Autores (2022).

Quando somadas as respostas, observa-se que a maioria (59,6%) dos estudantes se posiciona como aqueles que ou não acreditam ou ainda não têm uma posição definida a respeito do tema. Estas respostas encontram-se dentro do que se espera para o conjunto de conhecimentos de alunos do Ensino Médio sobre o tema (Añez, 2017; Rodrigues, 2020).

Por ser uma dúvida comum que desperta a atenção dos alunos, é importante esclarecer essas questões. Para tanto, inicialmente é essencial estabelecer um comparativo de tempo para os diferentes pontos abordados. Deve-se considerar que as evidências apontam que os dinossauros não avianos foram extintos há cerca de 66 milhões de anos (Alvarez et al., 1980; Chiarenza et al., 2020). Por sua vez, os dados disponíveis mostram que moléculas de aDNA poderiam sobreviver em um limite temporal médio de 1 milhão de anos (Allentoft et al., 2012).

Foram encontradas, por exemplo, sequências de aDNA em um equídeo datado entre 560-780 mil anos (Orlando et al., 2013), em vestígios de floresta do sul da Groenlândia em núcleos de gelo de 700 mil anos (Willerslev et al., 2007), e em mamutes datados de mais de 1 milhão de anos (van der Valk et al., 2021).

É fato que, ao longo das últimas décadas, algumas alegações sobre a recuperação e sequenciamento de segmentos de DNA de fósseis de dinossauros acabaram por se demonstrar como contaminantes de outros organismos (Li et al., 1995; Wang, Yan & Jin, 1997; Woodward et al., 1994; Young et al., 1995). No entanto, apesar de não ter sido possível, até o momento, extrair, amplificar e tampouco sequenciar trechos de DNAs de dinossauros, isso não quer dizer que marcadores químicos de DNAs antigos originais não tenham sido identificados em fósseis desses bichos (Alves, 2022). Entende-se como marcadores químicos os resíduos químicos da estrutura (esqueleto) de uma molécula orgânica.

Alguns métodos de identificação de sequências de aDNA, como a *Microscopia*, *Histoquímica*, *Cromatografia Líquida de Alta Performance*, *Técnicas imunológicas [anticorpos]* e *Espectrometria de massas*, já foram aplicados com sucesso em amostras fósseis do clado Dinosauria, na busca dessa importante molécula preservada, e os resultados confirmaram a presença de marcadores químicos de ácidos nucleicos em um dinossauro *Tarbosaurus bataar* (Pawlicki, 1995), em *Tyrannosaurus rex* (Schweitzer et al., 1997a), em *Brachylophosaurus canadensis* e *Tyrannosaurus rex* (Schweitzer et al., 2013), em um dinossauro bico de pato da espécie *Hypacrosaurus stebingeri* (Bailleul et al., 2020) e em *Caudipteryx* (Bailleul, 2021).

Porém, esses marcadores químicos identificados apenas demonstram que há vestígios ali do que um dia foi uma molécula intacta de DNA. Se há sequências remanescentes desta molécula em fósseis datados de milhões de anos, provavelmente elas estariam hoje em pequenos fragmentos, quimicamente alterados, impossibilitando qualquer técnica de amplificação e sequenciamento, para fins de análise aprofundada e tentativa de reconstrução do DNA dos dinossauros não avianos (Alves, 2022).

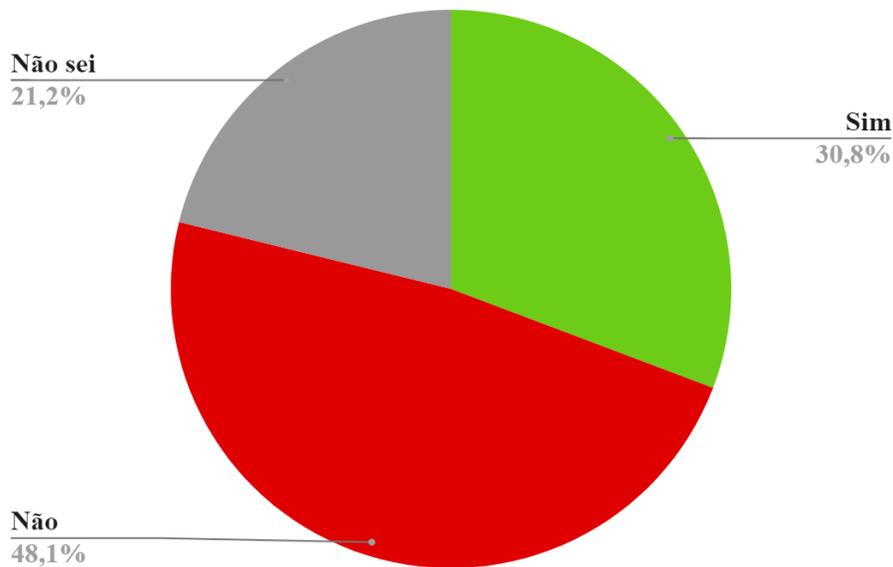
No entanto, em fósseis considerados mais recentes, isto é, dezenas de milhares de anos, as chances de se encontrar sequências de DNA originais aumentam (Prüfer et al., 2014). Por exemplo, recentemente, as pesquisas paleogenômicas aplicadas à Paleoantropologia, ou seja, campo de estudo da evolução humana na interface entre Arqueologia e Paleontologia, ganharam destaque na mídia com o Prêmio Nobel de fisiologia e medicina sendo concedido a Svante Pääbo, pioneiro no estudo do DNA antigo (Nobel Prize, 2022).

Por isso, entendemos que os pesquisadores que estudam aDNA e proteínas antigas têm cada vez mais a responsabilidade social de trabalhar com instituições educacionais, como escolas e museus, para comunicar o significado de suas pesquisas a esse tipo de público, com o objetivo de elucidar dúvidas básicas e promover a aproximação, interesse e popularização de conhecimentos biogeocientíficos inovadores (Brandt et al., 2022).

3.3.4 Possibilidade de desextinção de espécies

Quando questionados se a recuperação de aDNA em fósseis poderia possibilitar a desextinção de espécies, 48,1% dos estudantes responderam que não, seguidos daqueles que entendem ser possível recriar os animais extintos (30,8%) e dos que não souberam responder (21,2%) (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção da possibilidade de desextinção de espécies a partir da recuperação de DNA antigo (n=52).



Fonte: Autores (2022).

O termo *desextinção* refere-se ao processo de recriação de um organismo que é membro ou se assemelha a um membro de uma espécie extinta por meio de retro-criação, clonagem, engenharia genética ou engenharia genética reversa (Soja & Huerta, 2001; Jones, 2014; Shapiro, 2017; Novak, 2018; Jones, 2019).

Quando se fala em *desextinção*, logo vem à memória a história fictícia contada no primeiro filme da trilogia *Jurassic Park*, em que cientistas da fictícia empresa Ingen conseguiram extrair DNA de dinossauros não avianos, que estava armazenado

no interior de um mosquito aprisionado em resina fossilizada (âmbar). Porém, como o material genético havia sido encontrado em pequena quantidade, os biólogos sintéticos utilizaram-se de técnicas de engenharia genética para preencher lacunas no DNA dos dinossauros. Com isso, eles completaram as sequências que faltavam com DNA de algumas espécies viventes, como de anuros e de um tipo de sépia – parente das lulas. Isso deu a eles a habilidade de mudar de sexo (primeiro filme) e a capacidade de se camuflar e controlar a temperatura corporal (trilogia *Jurassic World*).

A questão que surge é: se a vida imita a arte, será possível que os cientistas da vida real já tenham tentado utilizar técnicas da biologia molecular de última geração na busca de recuperar material genético de insetos aprisionados em âmbar? A resposta é sim.

O apelo midiático e a cultura pop são tão influentes que os pesquisadores respondem, positiva ou negativamente, a essa atenção, reinventando a forma como trabalham (Jones, 2019). Pesquisas recentes, por exemplo, buscaram determinar se aDNA está presente em insetos preservados em copal, uma resina subfossilizada precursora do âmbar (Penney et al., 2013; Modi et al., 2021). Porém, os resultados obtidos demonstraram a presença de sequências curtas insignificantes, pouco concentradas e extremamente degradadas que indicam que o aDNA não se preserva em boas condições nesse tipo de material.

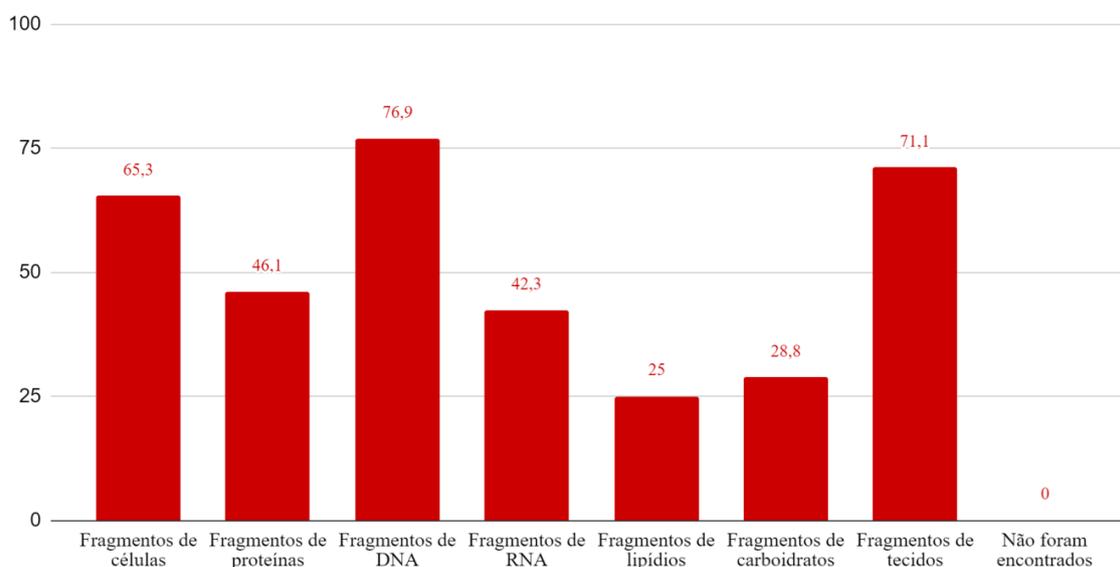
Insetos aprisionados em âmbar são *ocos* por dentro, mesmo no caso daqueles que são envolvidos em resina instantaneamente, porque “bactérias e enzimas continuam trabalhando no intestino, apodrecendo o inseto por dentro” (Ross, 1998, p. 33). Segundo Susannah Maidment, paleontóloga britânica do Museu de História Natural de Londres, quando o âmbar preserva insetos, ele tende a preservar o exoesqueleto externo, não os tecidos moles internos. Logo, sangue não se preserva no interior dos mosquitos em âmbar (Ross, 1998).

Em contrapartida, espécies extintas recentemente no tempo geológico, isto é, numa escala de alguns milhares de anos, que já tiveram uma grande quantidade de aDNA recuperado (acima de 300 pares de bases) e sequenciado, podem figurar entre os candidatos à *desextinção* (Novak, 2018). Para que o projeto dê certo, faz-se necessária também a existência de uma espécie viva fenotipicamente relacionada à extinta, a qual será utilizada como “barriga de aluguel”, como é o caso do extinto mamute-lanoso, que tem elevada proximidade genética com os atuais elefantes-asiáticos (*Elephas maximus*) (Shapiro, 2017).

3.3.5 Tipos de biomateriais originais recuperados de fósseis

Também foi solicitado aos alunos que respondessem, dentre as opções pré-determinadas a serem assinaladas, e com a possibilidade de indicar mais de uma opção por resposta, sobre qual tipo de material orgânico remanescente eles acreditam que já foi encontrado em fósseis excepcionalmente bem preservados. As respostas incluíram fragmentos de DNA (76,9%), fragmentos de tecidos (71,2%), fragmentos de células (65,4%), fragmentos de proteínas (46,2%), fragmentos de RNA (42,3%), fragmentos de carboidratos (28,8%), fragmentos de lipídeos (25%) (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de tipos de material orgânico remanescentes já encontrados em fósseis excepcionalmente bem preservados (n=52). Legenda: eixo y mostra valores em porcentagem.



Fonte: Autores (2022).

As maiores frequências de respostas concentraram-se nas opções a respeito de fragmentos de *DNA*, *tecidos* e *células*. Percebemos que esses tipos de estruturas mencionadas por estudantes do Ensino Médio são os mesmos exemplos de biomateriais que podem ser encontrados na internet, mais especificamente em títulos de matérias de sites de divulgação popular (Figura 7, Quadro 1), que veiculam as notícias sobre os achados orgânicos preservados excepcionalmente no interior de fósseis.

Figura 7 - Nuvem de palavras usadas em títulos de notícias jornalísticas acerca de vestígios de biomateriais originais recuperados de fósseis. *Observação:* os títulos das reportagens foram inseridos no programa Wordart.com. Para que cada nuvem apresentasse um resultado mais informativo, foram retiradas as preposições, artigos, advérbios e interjeições. O tamanho da palavra está relacionado à sua frequência de ocorrência, ou seja, quanto maior a palavra, mais frequentemente ela é usada.



Fonte: Autores (2022).

Quadro 1 - Descrição de notícias jornalísticas relacionadas a vestígios de biomateriais originais recuperados de fósseis. *Observação:* Foi realizada uma busca simples no Google. Como critérios de inclusão, selecionaram-se as reportagens publicadas em português que tinham como temática os achados de materiais orgânicos preservados em fósseis, explícitos no título, e que contivessem as variáveis a serem apresentadas na listagem.

Nº	DATA	SITE	TÍTULO DA MATÉRIA
1	24/03/2005	Estadão	Paleontólogos descobrem tecido mole de osso de dinossauro
2	25/03/2005	Publico.pt	Descobertos tecidos moles, veias e células de dinossauro
3	25/03/2005	Folha de São Paulo	Grupo encontra células em tiranossauro
4	02/05/2009	Ikessauro	Proteínas são encontradas em ossos de <i>Brachylophosaurus</i>
5	04/05/2009	Terra	Cientistas identificam vasos sanguíneos e colágeno em fóssil
6	10/06/2015	Exame.com	Células sanguíneas são encontradas em fósseis de dinossauros com 75 milhões de anos
7	10/06/2015	Hypescience	Cientistas encontram sangue de dinossauro de 75 milhões de anos
8	10/06/2015	UOL	Células de sangue de 75 milhões de anos são encontradas em fóssil de dinossauro
9	10/06/2015	Gazeta do Povo	Fósseis de dinossauros preservam células aparentes de sangue vermelho e colágeno
10	11/06/2015	Canal Tech	Cientistas descobrem células sanguíneas intactas em fósseis de dinossauros
11	21/06/2015	Piauí Hoje	Cientistas encontram restos de sangue de dinossauros
12	22/07/2015	History UOL	Pesquisadores encontram fósseis com sangue de dinossauro
13	31/01/2017	UOL	Costela de dinossauro guarda restos de tecido mole mais antigos já encontrados
14	05/03/2020	Terra Rara	Dna e proteínas de dinossauros encontrados em fósseis afirmam paleontologistas
15	10/03/2020	National Geographic Brasil	Vestígios de DNA fóssil encontrados em crânio de dinossauro
16	09/03/2021	Paleontologia Hoje	Descoberta de tecidos moles e elásticos em fóssil de um <i>Tyrannosaurus rex</i>
17	15/06/2021	Profissão Biotec	Possíveis vestígios de DNA fóssil e câncer encontrados em ossos de dinossauros
18	28/09/2021	SoCientifica	Células de dinossauros altamente conservadas podem conter DNA
19	01/10/2021	UOL	Possível DNA fossilizado de dinossauro divide opiniões entre a comunidade científica
20	02/10/2021	Aventuras na História	Cientistas encontram células de dinossauro de 125 milhões de anos que ainda podem conter DNA

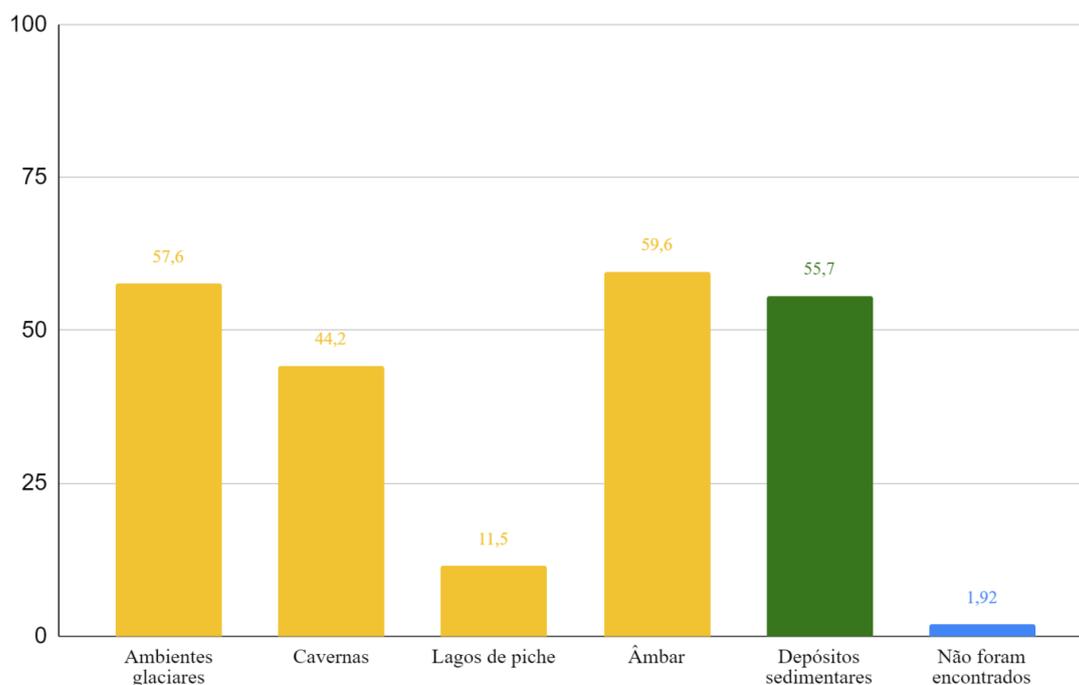
Fonte: Autores (2022).

A partir disso, é possível estabelecer uma relação lógica existente entre o conhecimento produzido por grupos de pesquisa paleontológicos e a disseminação deste conhecimento à população por meio da mídia e de seu papel de informação e formação de opiniões. E, mais especificamente, inferir, a partir dessa busca (Quadro 1), que o conhecimento adquirido por alunos a respeito dos tipos de materiais orgânicos remanescentes encontrados em fósseis poderia estar de alguma forma associado ao que eles leem na internet sobre a temática.

3.3.6 Tipos de paleoambientes de preservação excepcional

Quando questionados em qual tipo de paleoambiente, isto é, ambiente de formação de fóssil, os estudantes achavam que já foram encontrados vestígios de “tecidos moles”, eles responderam, com a possibilidade de indicar mais de uma opção por resposta, os microambientes de âmbares (59,6%), seguidos de ambientes glaciais (57,7%), depósitos sedimentares (55,8%), cavernas (44,2%), lagos de piche (11,5%) e ainda houve aqueles que acreditam que não foram encontrados (1,9%) (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de tipos de ambientes tafonômicos em que já foram encontrados vestígios de “tecidos moles” (n=52).



Fonte: Autores (2022).

Observa-se que as maiores frequências de respostas concentram-se em ambientes tafonômicos relacionados a âmbar e glaciares, bem como a depósitos sedimentares, o que é interessante, porque estes achados são corroborados pelos dados disponíveis na literatura científica.

Tanto os âmbar quanto os ambientes de permafrost (glaciares) proporcionam um tipo de fossilização chamada de *mumificação*, na qual ocorre a preservação parcial ou total de um ser vivo original por meio de congelamento (criopreservação), desidratação ou solidificação através de substâncias impermeáveis (âmbar) (Alves, 2022).

Quanto aos ambientes sedimentares, existem diferentes configurações geológicas formadas a partir de sedimentos (*e.g.*, depósitos fluviais, arenitos, depósitos cársticos, argilitos e depósitos marinhos). Porém, as pesquisas têm evidenciado que, pelo menos para a recuperação de biomateriais não mineralizados (*e.g.*, vasos sanguíneos, tecidos de matriz), o rápido sepultamento em

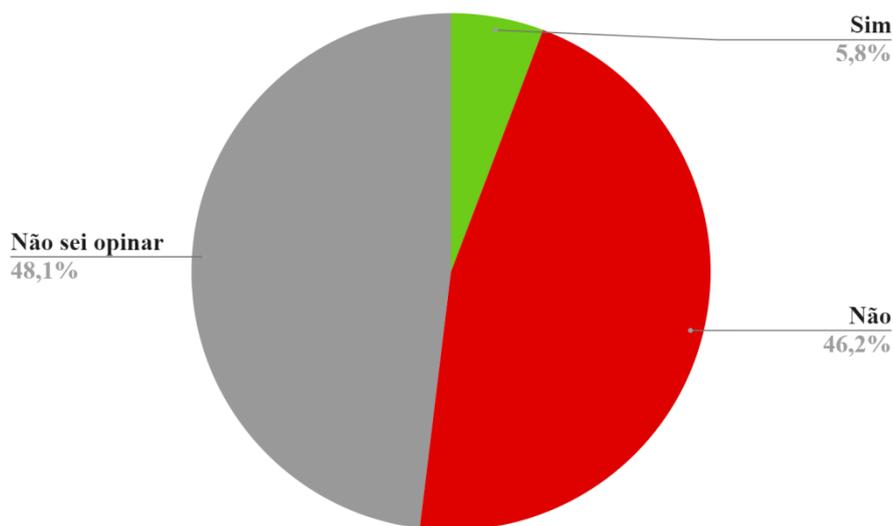
um ambiente deposicional fluvial ou de arenito parece preferível em relação a outros ambientes (Schweitzer et al., 2007, 2009, 2019).

Como afirma Timothy P. Cleland, paleobiólogo molecular, do Instituto de Conservação do Museu Smithsonian, “os fósseis encontrados no arenito parecem ter uma melhor preservação do que os que vêm de xisto ou argila” (Morton, 2017, p. 40, 42). A hipótese levantada é que o fenômeno se deve à natureza porosa da areia, que permitiria que fluidos supurantes, ricos em microrganismos e carregados de enzimas, se dispersassem mais rapidamente, proporcionando um ambiente mais seco e atrasando, assim, a decomposição dos materiais (Schweitzer et al., 2007).

3.3.7 Estado atual das explicações sobre a preservação excepcional

Outra questão investigada relaciona-se à visão dos estudantes sobre a possibilidade de a preservação de vestígios de “tecidos moles” originais já ter sido completamente explicada pelos cientistas. Aproximadamente metade (46,2%) dos estudantes entende que os mecanismos ainda não foram bem explicados, enquanto há aqueles que acham que tudo já está bem resolvido (5,8%) e os que não souberam opinar a respeito (48,1%) (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de possibilidade de a preservação de vestígios de “tecidos moles” originais já ter sido completamente explicada pelos cientistas (n=52).



Fonte: Autores (2022).

Novamente, é curioso o fato de aproximadamente metade das respostas dos alunos irem ao encontro da realidade apresentada pela literatura científica. Os dados mostram que, embora muito esforço tenha sido empreendido para desenvolver diferentes modelos de fossilização nas últimas décadas, a fim de explicar os distintos tipos de preservação fóssil molecular encontrados, ainda hoje tais mecanismos propostos são pouco compreendidos (Parry et al., 2018; Fabbri et al., 2020). Isso porque, como afirmam Schweitzer et al., “poucos desses dispositivos de preservação foram testados experimentalmente” (2014, p.1). Logo, atualmente, ainda existem poucos estudos a respeito de mecanismos rigorosos e testáveis, para explicar razoavelmente a potencial transformação e estabilização da matéria orgânica por meio da diagênese ao longo do tempo profundo (Boatman et al., 2019).

Intuitivamente, é fácil entender que alguns vertebrados extintos, como mamutes e outros mamíferos do último período glacial, podem preservar materiais orgânicos mais facilmente, uma vez que estes frequentemente são noticiados pela mídia como tendo sido encontrados em depósitos glaciais favoráveis à preservação excepcional (Borges, 2006). No entanto, o que dizer de

achados que têm sido encontrados em depósitos sedimentares de ambientes outrora mais quentes e de idades geológicas ainda mais profundas? (Thomas & Taylor, 2019; Alves & Machado, 2020, 2021b, 2021c; Gomes et al., 2022).

Frente a isso, percebeu-se que os alunos de Ensino Médio, em geral, têm a capacidade de compreender o grau de complexidade envolvido na preservação excepcional, incluindo as dificuldades para explicação desse fenômeno, em especial quando eles se utilizam, em conjunto, da lógica e da intuição intelectual (Meneghetti, 2009). Além disso, conforme afirma Matthew Collins, professor de Arqueologia Biomolecular e especialista em paleoproteômica da Universidade de Copenhague, por ser a Paleontologia Molecular uma área de controvérsia, “isso ajuda a fazer os alunos pensarem sobre como a ciência funciona e o fato de que nem tudo é entendido, mas estamos usando métodos e abordagens diferentes para tentar entender” (Comunicação pessoal, 10 de novembro de 2022).

3.3.8 Biomateriais originais encontrados em fósseis brasileiros?

Quando questionados se eles acreditam ser possível já terem sido encontrados vestígios de “tecidos moles” originais em fósseis recuperados no território brasileiro, a maioria (69,2%) deles entende essa opção como uma realidade, enquanto o restante (30,8%) acha que esses biomateriais não mineralizados ainda não foram encontrados no Brasil.

Assim como ocorre em questões anteriores, a resposta da maioria dos alunos para esta questão em análise também é corroborada pela literatura científica. Quanto ao patrimônio paleontológico brasileiro, estudos mostram que estudantes do Ensino Médio de algumas regiões do país reconhecem que o Brasil possui registros fossilíferos, principalmente relacionados a dinossauros (Izaguirry et al., 2013; Borsonelli & Rodrigues, 2019).

No que diz respeito aos “tecidos moles”, por sua vez, sabe-se que o Brasil possui um grande potencial na exploração de biomateriais não mineralizados preservados em fósseis, visto que possui um dos maiores *Konservät-Lagerstätten* do mundo, contendo diferentes espécimes fossilizados e apresentando-se com preservação excepcional de suas estruturas (Kellner, 2015; Kellner & Soares, 2019). Inclusive, já foram encontrados, em solo nacional, vestígios de moléculas orgânicas originais em fósseis vegetais (Pereira et al., 2006, 2009a, 2009b, 2011a, 2011b, 2020; Silva et al., 2018) e em fósseis de animais vertebrados, como no caso de pigmentos orgânicos endógenos em pterossauros (Pinheiro et al., 2019).

Os vestígios de pigmentos encontrados no registro fóssil ao redor do mundo, inclusive no Brasil, podem fornecer informações relevantes para se compreender o padrão de cores de animais extintos (Ghilardi, 2019). Essa questão tem facilitado na resposta ao seguinte questionamento de estudantes: De que cor eram os dinossauros? A resposta é fornecida pela Paleontologia Molecular. Estudos moleculares têm recuperado do registro fóssil diferentes pigmentos, tais como melaninas, porfirinas e/ou carotenoides, que se combinam para formar variadas cores (Alves & Machado, 2021b, 2021c). Esses achados têm auxiliado, em especial, o trabalho da Paleoarte no Brasil e no mundo.

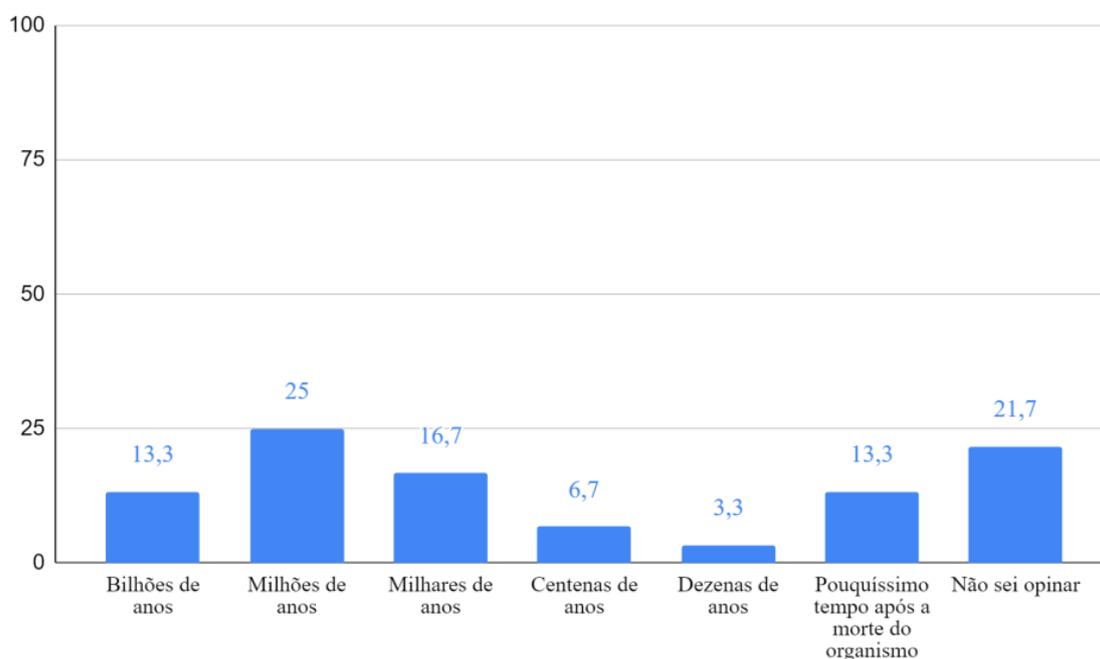
A Paleoarte, campo de estudo que une a arte e a ciência, com o objetivo de reconstruir os aspectos em vida de organismos fósseis e de seus ambientes antigos associados, é hoje uma importante ferramenta de popularização da paleontologia brasileira por atuar como uma ponte de aproximação entre o conhecimento paleontológico e a sociedade (Moro et al., 2021). A Paleoarte tem sido utilizada, inclusive, como uma das estratégias de aprendizagem geocientífica para estudantes do Ensino Médio.

Logo, evidenciou-se que o conhecimento a respeito de moléculas relacionadas à coloração da biota pretérita, quando utilizado de forma interdisciplinar com outras áreas do saber, no caso, a Paleoarte, pode promover um maior interesse de alunos do Ensino Médio em nosso país pelos achados da Paleontologia Molecular, especialmente os realizados em um contexto de fósseis brasileiros. Provavelmente, isso poderia até mesmo explicar a coerência encontrada na maioria das respostas dos participantes para a questão sobre os biomateriais originais encontrados em fósseis brasileiros.

3.3.9 Tempo de sobrevivência de biomoléculas

Em relação ao período máximo de tempo em que os vestígios de “tecidos moles” originais poderiam ser preservados no interior de fósseis, a maioria (25%) das respostas relaciona-se a um intervalo de milhões de anos, seguida daquelas em que a preservação ocorre por no máximo milhares de anos (16,7%), bilhões de anos (13,3%), pouquíssimo tempo após a morte do organismo (13,3%), centenas de anos (6,7%), dezenas de anos (3,3%) e aquelas em que não souberam opinar (21,7%) (Fig. 10).

Figura 10. Distribuição de estudantes do Ensino Médio segundo a percepção de tempo de sobrevivência de vestígios de “tecidos moles” originais no interior de fósseis (n=52). Legenda: eixo y mostra valores em porcentagem.



Fonte: Autores (2022).

Notou-se que as respostas dos alunos se dividem nessa questão. Mas, quando considerados os grupos de respostas daqueles estudantes que entendem que os vestígios de materiais orgânicos se preservam por no máximo milhares ou milhões de anos, chega-se a um total aproximado de 50% dos estudantes cujas respostas estão coerentes com os dados científicos disponíveis.

Conforme apresentado parcialmente em tópico anterior (vide tópico 3. 3. 3), a discussão sobre o limite de tempo máximo em que o material orgânico pode preservar-se no ambiente natural vai depender de vários fatores. Para tornar-se didaticamente compreensível, é importante separar os materiais orgânicos em grupos principais de biomoléculas complexas que têm sido estudadas ao longo do tempo: proteína e DNA.

A literatura mostra que os dados oriundos de testes de cinética teórica e experimentos laboratoriais de decaimento dessas biomoléculas, que buscaram identificar os limites de tempo de sua sobrevivência em relação a variáveis ambientais que simulam condições diversas, como umidade, temperatura, oxigênio e pH, demonstraram, até o momento, que moléculas de DNA se preservam em média por 100 mil anos (Schweitzer & Wittmeyer, 2006; Allentoft et al., 2012), alcançando um limite máximo de até 1 milhão de anos (Allentoft et al., 2012; van der Valk et al., 2021).

As proteínas, por sua vez, por serem mais resistentes, apresentam um limite temporal médio de aproximadamente 1 milhão de anos (Collins et al., 1995; Bada et al., 1999; Wadsworth & Buckley, 2014), podendo alcançar um limite máximo de sobrevivência de dezenas a centenas de milhões de anos (Alves, 2022). Por exemplo, estudos identificaram diferentes tipos de

proteínas em espécimes fósseis das Eras Mesozoica (Schweitzer et al., 1997a, 1997b, 1999a, 1999b) e Paleozoica (Thomas & Taylor, 2019).

Embora esse conjunto de conhecimentos seja bem específico e atual, não surpreende que cerca de metade dos alunos tenha respondido dentro do esperado para essa questão, uma vez que o tempo de sobrevivência de biomoléculas também é um tema frequentemente abordado pela mídia (vide tópico 3. 3. 5). Quanto à outra metade, correspondente aos alunos que pensam que vestígios de biomoléculas poderiam sobreviver pouco tempo na natureza e aos que não souberam opinar, essa situação reflete de igual modo a resistência ainda hoje por parte de alguns da comunidade científica em aceitar que moléculas orgânicas poderiam sobreviver em tempo profundo (Kaye et al., 2008; Bern et al., 2009; Saitta et al., 2019; Korneisel et al., 2021; Saita et al., 2021).

Por outro lado, os achados de biomateriais originais se acumulam e se apresentam geologicamente extensos, geograficamente globais e taxonomicamente abrangentes, tornando-se, portanto, cada vez mais difíceis de serem explicados por quem ainda não os aceita (Schweitzer, 2011; Thomas & Taylor, 2019; Alves & Machado, 2020, 2021b, 2021c; Gomes et al., 2022).

3.3.10 Mudança do paradigma científico

Quando questionados se os achados de "tecidos moles" em fósseis poderiam mudar o pensamento anteriormente consolidado na ciência sobre o limite de tempo em que esse tipo de material biológico pode ficar preservado, a grande maioria (98,1%) dos estudantes acredita que sim, ao passo que apenas um (1,9%) respondeu não acreditar nessa possibilidade.

Uma *mudança de paradigma* é uma expressão utilizada por Thomas Kuhn no seu livro, *Estrutura das Revoluções Científicas*, publicado em 1962, para representar uma mudança nas concepções básicas, ou paradigmas, dentro de uma determinada teoria científica dominante (Alves & Valente, 2020).

Observa-se que isso tem ocorrido com o surgimento da *Tafonomia molecular*. A *Tafonomia molecular* é uma ferramenta de estudo sobre os processos de modificação que ocorrem em um organismo, desde o momento da morte até a análise laboratorial, com foco nos mecanismos que facilitam ou impedem a preservação de biomoléculas endógenas e/ou de seus fragmentos alterados (Alves, 2022).

Esse campo emergente tem levado, nas últimas duas décadas, a uma maior compreensão da natureza do registro fóssil, exigindo que os paleontólogos repensem as noções tradicionais sobre como ocorre a fossilização, principalmente na busca de caracterizar as vias de decaimento e estabilização biomolecular em diversas configurações paleoambientais e diagenéticas (Ullmann et al., 2022).

Porém, refletir sobre uma mudança de pensamento que ocorre de vez em quando na comunidade científica, à medida que um conjunto de evidências se acumula em determinada área e passa, então, a questionar certas visões anteriormente aceitas, não é um processo fácil, porém, é um exercício necessário.

Frente a isso, percebe-se nas respostas dos estudantes que eles entendem, provavelmente de forma intuitiva, o processo de mudança que está se iniciando na Paleontologia, com as novas descobertas de vestígios de "tecidos moles" em fósseis excepcionalmente bem preservados, e novamente seguem alinhados com o que os dados mais recentes mostram a esse respeito.

Por fim, também vale enfatizar que, embora cada vez mais pesquisas estejam investigando a percepção e/ou nível de conhecimento de estudantes do Ensino Médio sobre conteúdos da Genética e da Biologia molecular (Rotbain et al., 2008; Martins et al., 2020; Simão et al., 2022), raros são aqueles estudos que buscaram investigar a compreensão de alunos a respeito de assuntos paleogenômicos e paleoproteômicos. Logo, torna-se igualmente necessária uma mudança de paradigma a respeito da inserção e valorização de aspectos do ensino e aprendizagem associados aos conhecimentos básicos atuais da Arqueologia Molecular, que visa, por exemplo, aplicar técnicas proteômicas para identificação e análise de proteínas em objetos e/ou ossos antigos (Brandt et al., 2022), e da Paleontologia Molecular.

4. Considerações Finais

Consideramos que os objetivos previamente estabelecidos foram alcançados, na medida em que identificamos e extraímos aspectos do conhecimento de estudantes do Ensino Médio relacionados à Paleontologia, em geral, e mais especificamente aos conceitos básicos da Paleontologia Molecular, tornando-se possível fornecer dados que virão a suprir uma lacuna do conhecimento existente em nosso país.

Quanto às questões específicas da categoria *Conhecimentos sobre Paleontologia Molecular*, observamos que, em geral, a maioria das respostas dos alunos encontra-se coerente com os dados disponíveis na literatura científica. A explicação para esse fenômeno pode estar no fato de que a pesquisa foi realizada em instituições privadas de ensino, consideradas, no Brasil, como tendo uma qualidade de educação superior às públicas ou devido aos docentes dessas escolas terem previamente planejado as suas aulas com intuito de abordar questões bio-paleontológicas.

Tendo em consideração que a amostragem deste estudo apresenta, em geral, um nível de conhecimento adequado a respeito de conceitos básicos da Paleontologia Molecular, isso sugere que os alunos do Ensino Médio são capazes de adquirir e aplicar conteúdos complexos vinculados à biologia molecular, fósseis e evolução, em ambiente escolar.

Diante disso, uma questão de pesquisa surge: Seria a Paleontologia Molecular, ou pelo menos as questões fundamentais a ela associadas, como as que foram aqui discutidas, intuitiva? Sugestões de estudos futuros incluem o aprofundamento dessa questão, a partir da busca de mecanismos potenciais envolvidos nesse fenômeno da aprendizagem, e de outras, relacionadas à comparação do nível de conhecimento da Paleontologia Molecular entre estudantes de escolas públicas e privadas e à inserção de outras variáveis e tópicos essenciais para uma melhor cobertura da área.

Quanto às limitações do estudo, reconhecemos que a amostragem é pequena e restrita a padrões regionais, logo, sugerimos aos futuros pesquisadores a inclusão de uma amostragem maior que possa abranger turmas da 2ª e 3ª séries do Ensino Médio, além da ampliação do estudo para outras regiões do país.

Por outro lado, os dados aqui apresentados fornecem de imediato uma base útil para o estabelecimento de estratégias, metas e objetivos educacionais para se elevar a qualidade do ensino deste campo científico interdisciplinar na educação básica em todo país, além de servir como um guia para novas pesquisas sobre o ensino paleomolecular, ainda pouco explorado na literatura científica e educacional.

Referências

- Allentoft, M. E., Collins, M., Harker, D., Haile, J., Oskam, C. L., Hale, M. L., Campos, P. F., Samaniego, J. A., Gilbert, M. T., Willerslev, E., Zhang, G., Scofield, R. P., Holdaway, R. N., & Bunce, M. (2012). The half-life of DNA in bone: measuring decay kinetics in 158 dated fossils. *Proceedings. Biological sciences*, 279(1748), 4724–4733. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1745>
- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial cause for the cretaceous-tertiary extinction. *Science*, 208(4448), 1095–1108. <https://doi.org/10.1126/science.208.4448.1095>
- Alves, E. F. (2021a). Uma entrevista com Dawid Surmik: pesquisa e ensino da Paleontologia Molecular. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 5, e1651. <http://dx.doi.org/10.29215/pecen.v5i0.1651>
- Alves, E. F. (2021b). Uma entrevista com Edwin Cadena: “somos moléculas”, uma abordagem de ensino para a Paleontologia Molecular. *Disciplinarum Scientia. Série: Naturais e Tecnológicas*, 22(1), 31-35. <http://dx.doi.org/10.37779/nt.v22i1.3768>
- Alves, E. F. (2022). Introdução à Paleontologia Molecular: um guia básico para estudantes e professores universitários. Maringá: edição independente.
- Alves, E. F., & Machado, M. F. (2020). Perspectivas atuais sobre tecidos moles não mineralizados em fósseis de dinossauros não avianos. *Terræ Didática*, 16, 1-14, e020028. <https://doi.org/10.20396/td.v16i0.8659539>
- Alves, E. F., & Machado, M. F. (2021a). Proposta de Plano de Aula sobre Paleontologia Molecular para inserção em disciplina de Paleontologia de cursos de graduação em Ciências Biológicas. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 5, e1695. <http://dx.doi.org/10.29215/pecen.v5i0.1695>
- Alves, E. F., & Machado, M. F. (2021b). Frequência de preservação de biomateriais não mineralizados no registro fóssil de répteis mesozoicos: uma abordagem sobre pterossauros e répteis marinhos. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 44797-44821. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-076>
- Alves, E. F., & Machado, M. F. (2021c). Preservação excepcional de biomateriais não mineralizados em fósseis do clado Avialae. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44, 37908. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37908

- Alves, E. F., Gomes, W. A., & Machado, M. F. (2021). Proposta de um Plano de Aula simplificado sobre Paleontologia Molecular para a inserção em disciplina de Biologia do Ensino Médio. *Revista Brasileira do Ensino Médio*, 4, 115-136. <https://phprbraem.com.br/ojs/index.php/RBRAEM/article/view/119>
- Alves, M. A., & Valente, A. R. (2020). A estrutura das revoluções científicas de Kuhn: uma breve exposição. *Griot: Revista de Filosofia*, 20(1), 173-192. <https://doi.org/10.31977/grirfi.v20i1.1336>
- Araújo, M. dos S., & Siqueira, S. S. (2020). Investigações sobre o ensino de paleontologia e evolução no ensino médio. *International Journal Education and Teaching (PDVL)*, 3(1), 1-19. <https://ijet-pdvl.com/index.php/pdvl/article/view/113/372>
- Añez, F. (2017). *Reflexões sobre o uso de filmes no ensino de Biologia*. 54f. TCC (Licenciatura em Ciências Biológicas) — Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. <http://hdl.handle.net/11449/156454>
- Bada, J. L., Wang, X. S., & Hamilton, H. (1999). Preservation of key biomolecules in the fossil record: current knowledge and future challenges. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 354(1379), 77-87. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0361>
- Bailleul, A. M., Zheng, W., Horner, J. R., Hall, B. K., Holliday, C. M., & Schweitzer, M. H. (2020). Evidence of proteins, chromosomes and chemical markers of DNA in exceptionally preserved dinosaur cartilage. *National Science Review*, 7(4), 815-822. 68. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz206>
- Bailleul, A. M. (2021). Fossilized cell nuclei are not that rare: Review of the histological evidence in the Phanerozoic. *Earth-Science Reviews*, 216, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103599>
- Bern, M., Phinney, B. S., & Goldberg, D. (2009). Reanalysis of *Tyrannosaurus rex* Mass Spectra. *Journal of Proteome Research*, 8(9), 4328-4332. <https://doi.org/10.1021/pr900349r>
- Boatman, E. M., Goodwin, M. B., Holman, H. N., Fakra, S., Zheng, W., Gronsky, R., & Schweitzer, M. H. (2019). Mechanisms of soft tissue and protein preservation in *Tyrannosaurus rex*. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51680-1>
- Borges, J. C. (2006). Parque Pleistocênico. *Ciência Hoje*. <https://cienciahoje.org.br/coluna/parque-pleistocenoico/>
- Borsonelli, M., & Rodrigues, T. (2019). Paleontologia na escola: detecção de lacunas e uma proposta de complementação ao ensino da evolução biológica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(2), 424-438. <https://fisica.ufmt.br/eencijs/index.php/eenci/article/view/166/>
- Boskovic, D. S., Vidal, U. L., Nick, K. E., Esperante, R., Brand, L. R., Wright, K. R., Sandberg, L. B., & Siviero, B. C. T. (2021). Structural and protein preservation in fossil whale bones from the Pisco Formation (Middle-Upper Miocene), Peru. *PALAIOS*, 36(4), 155-164. <https://doi.org/10.2110/palo.2020.032>
- Brandt, L., Lillemark, M., Rytter, M., Collins, M., & Tøttrup, A. (2022). Next Generation Lab puts Denmark's past in the hands of its future. *Antiquity*, 96(385), 221-228. doi:10.15184/aqy.2021.170
- Brasil. (2012). Conselho Nacional de Saúde. *Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012*. Brasília: CNS. <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>
- Brasil. (2018). *Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação. <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio>
- Brasil. (2021). Ministério da Educação. *Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB*. Resumo técnico: resultados do índice de desenvolvimento da educação básica. Brasília: INEP. <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/ideb/resultados>
- Buckley, M. (2018). *Paleoproteomics: An Introduction to the Analysis of Ancient Proteins by Soft Ionisation Mass Spectrometry*. In: Lindqvist, C., & Rajora, O. (Eds.). *Paleogenomics. Population Genomics*. Springer, Cham. (pp. 31-52). https://doi.org/10.1007/13836_2018_50
- Calheiros, L. F., & Maia, A. F. (2022). Newton e os Dinossauros: uma proposta de aplicação da paleontologia no ensino das Leis de Newton. *Scientia Plena*, 18(8). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.084806>
- Chiarenza, A. A., Farnsworth, A., Mannion, P. D., & Allison, P. A. (2020). Asteroid impact, not volcanism, caused the end-Cretaceous dinosaur extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(29), 17084-17093. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006087117>
- Chimes, F. G., & Vieira, V. da S. (2021). A ficção científica e o ensino de ciências: uma incursão biológica no mundo Jurassic Park. *Acta Scientiae et Technicae*, 9(1), 87-108. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v9i1.323>
- Collins, M. J., Riley, M. S., Child, A. M., & Turner-Walker, G. (1995). A basic mathematical simulation of the chemical degradation of ancient collagen. *Journal of Archaeological Science*, 22(2), 175-183. <https://doi.org/10.1006/jasc.1995.0019>
- Crichton, M. (1990). *Jurassic Park*. New York: Alfred A. Knopf. 448p.
- Duarte, S. G., Arai, M., Passos, N. Z. G., & Wanderley, M. D. (2016). Paleontologia no Ensino Básico das escolas da rede estadual do Rio de Janeiro: uma avaliação crítica. *Anuário do Instituto de Geociências*, 39(2), 124-132. http://dx.doi.org/10.11137/2016_2_124_132
- Duarte, S. G., Santos, N. de M. dos., Bandeira, L. G., Martins, C. M. M. R., Pereira, M. G., & Caetano, L. C. (2019). Conhecimento prévio de Paleontologia e Geologia de ingressantes em cursos de Ciências Biológicas e Geologia de universidades do Rio de Janeiro. *Terrae Didática*, 15, e019033-e0190339. <https://doi.org/10.20396/td.v15i0.8654529>
- Fabbi, M., Wiemann, J., Manucci, F., & Briggs, D. E. G. (2020). Three-dimensional soft tissue preservation revealed in the skin of a non-avian dinosaur. *Palaeontology*, 63(2), 185-193. <https://doi.org/10.1111/pala.12470>
- Fernández-Cruz, F. J., & Fernández-Díaz, M. J. (2016). Los docentes de la Generación Z y sus competencias digitales. *Comunicar*, 46(22), 97-105. <https://doi.org/10.3916/C46-2016-10>

- França, J. M. S. de., & Feijó, J. R. (2021). Diferencial de desempenho entre jovens das escolas públicas e privadas. *Estudos Econômicos*, 51(2), 373-408. <https://doi.org/10.1590/0101-41615126jff>
- Ghildardi, A. (2019). Melanina é encontrada em fóssil de pterossauro brasileiro. *Blog Colecionadores de Ossos*. <https://www.blogs.unicamp.br/colecionadores/2019/11/04/melanina-e-encontrada-em-fossil-de-pterossauro-brasileiro/>
- Gil, A. C. (2010). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas.
- Gomes, W. A., Machado, M. F., & Alves, E. F. (2022). Preservação excepcional de biomateriais não mineralizados em fósseis cenozoicos do clado Mammalia. *Research, Society and Development*, 11(14), e533111436739. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36739>
- Gomes-Maluf, M. C. S., & Souza, A. R. de. (2008). A ficção científica e o ensino de ciências: o imaginário como formador do real e do racional. *Ciência & Educação (Bauru)*, 14(2), 271-282. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132008000200006>
- Haupt, R. J., & Traer, M. M. (2017). InGen Inconsistencies: The “Dinosaurs” Of Jurassic Park May Not Be What The Corporation Claims. In *American Geophysical Union Fall Meeting*, New Orleans: AGU. Abstract #PA13C-0245. <https://agu.confex.com/agu/fm17/meetingapp.cgi/Paper/296837>.
- Higuchi, R., Bowman, B., Freiberger, M., Ryder, O. A., & Wilson, A. C. (1984). DNA sequences from the quagga, an extinct member of the horse family. *Nature*, 312(5991), 282-284. <https://doi.org/10.1038/312282a0>
- Izaguirry, B. B. D., Ziemann, D. R., Muller, R. T., Dockhorn, J., Pivotto, O. L., Costa, F. M., Alves, B. S., Ilha, A. L. R., Stefenon, V. M., & Dias-da-Silva, S. (2013). A paleontologia na escola: uma proposta lúdica e pedagógica em escolas do município de São Gabriel, RS. *Cadernos da Pedagogia*, 7(13), 2-16. <https://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/view/569>
- Jones, K. E. (2014). From dinosaurs to dodos: who could and should we de-extinct? *Frontiers of Biogeography*, 6(1), 20-24. <http://dx.doi.org/10.21425/F5FBG19431>
- Jones, E. D. (2019). Ancient genetics to ancient genomics: celebrity and credibility in data-driven practice. *Biology & Philosophy*, 34, e27. <https://doi.org/10.1007/s10539-019-9675-1>
- Kaye, T. G., Gaugler, G., & Sawlowicz, Z. (2008). Dinosaurian soft tissues interpreted as bacterial biofilms. *PLoS one*, 3(7), e2808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002808>
- Kellner, A. (2015). Apresentação: para onde caminha a paleontologia brasileira? *Ciência e Cultura*, 67(4), 20-24. <https://doi.org/10.21800/2317-66602015000400009>
- Kellner, A. W. A., & Soares, M. B. (2019). EDITORIAL NOTE: Collection of Paleontology Papers in honor of the Centenary of the Brazilian Academy of Sciences. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(suppl. 2), e20191434. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920191434>
- Korneisel, D. E., Nesbitt, S. J., Werning, S., & Xiao, S. (2021). Putative fossil blood cells reinterpreted as diagenetic structures. *PeerJ*, 9, e12651 <https://doi.org/10.7717/peerj.12651>
- Kortz, K. M., & Murray D. P. (2009) Barriers to College Students Learning How Rocks Form. *Journal of Geoscience Education*, 57(4): 300-315. <https://doi.org/10.5408/1.3544282>
- Lazzarin, A. A., Christofoletti, J. F., & Scheifele, A. (2020). Jurassic Park e a ficção científica no ensino de Genética. In *XIV Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"*, 8., São Cristóvão [online]: Universidade Federal de Sergipe. <http://dx.doi.org/10.29380/2020.14.08.05>
- Li, Y., An, C.-C., & Zhu, Y.-X. (1995). DNA isolation and sequence analysis of dinosaur DNA from Cretaceous dinosaur egg in Xixia Henan, China. *Acta scientiarum naturalium Universitatis Pekinensis*, 31(2), 148-52.
- Linhares, S., Gewandszajder, F., & Pacca, H. (2016). *Biologia hoje*. 3. ed. V. 2. São Paulo: Ática.
- Lopes, S., & Rosso, S. (2016). *Bio*. 3. ed. V. 3. São Paulo: Saraiva. 285p.
- Lucena, B. K. P. (2013). *Concepções de estudantes sobre dinossauros: um estudo na educação básica de Picuí - PB*. 52f. TCC (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10692>
- Machado, M. H., & Meirelles, R. M. S. de. (2018). Proposta de atividade didática utilizando o filme Jurassic World como recurso para o ensino de Genética. In: *V Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente*, Niterói: Universidade Federal Fluminense. <http://www.enecienciasanais.uff.br/index.php/venecienciasubmissao/VENECiencias2018/paper/viewFile/577/516>.
- Martindale, R. C., & Weiss, A. M. (2020). “Taphonomy: Dead and fossilized”: A new board game designed to teach college undergraduate students about the process of fossilization. *Journal of Geoscience Education*, 68(3), 265-285. <https://doi.org/10.1080/10899995.2019.1693217>
- Martins, A., Fonseca, M. J., Lemos, M., Lencastre, L., & Tavares, F. (2020). Bioinformatics-Based Activities in High School: Fostering Students’ Literacy, Interest, and Attitudes on Gene Regulation, Genomics, and Evolution. *Frontiers in Microbiology*, 11, 578099. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.578099>
- Mendes, L. A. S., Nunes, D. F., & Pires, E. F. (2015). Avaliação Do Conhecimento Paleontológico Com Intervenção Em Escolas De Ensino Médio: Um Estudo De Caso No Estado Do Tocantins. *Holos*, 8, 384-396. <https://doi.org/10.15628/holos.2015.1991>
- Meneghetti, R. C. G. (2009). O Intuitivo e o Lógico no Conhecimento Matemático: análise de uma proposta pedagógica em relação a abordagens filosóficas atuais e ao contexto educacional da matemática. *Boletim de Educação Matemática*, 22(32), 161-188. <https://www.redalyc.org/pdf/2912/291221889010.pdf>
- Modi, A., Vergata, C., Zilli, C., Vischioni, C., Vai, S., Tagliacucchi, G. M., Caramelli, D., & Taccioli, C. (2021). Successful extraction of insect DNA from recent copal inclusions: limits and perspectives. *Scientific Reports*, 11, 6851. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86058-9>

- Moreira, M. A. (2011). *Metodologias de pesquisa em ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Moro, D., Hohemberger, R., & Paniz, C. M. (2021). Paleoarte no ambiente escolar: uma ferramenta para difusão do ensino sobre a paleobiodiversidade da região central do Rio Grande do Sul. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(1), 349-365.
- Morton, M. C. (2017). Cretaceous collagen: Can molecular paleontology glean soft tissue from dinosaurs? *Earth*, 62(11), 36–45. <https://www.earthmagazine.org/article/cretaceous-collagen-can-molecular-paleontology-glean-soft-tissue-dinosaurs/>
- Nobel Prize. (2022). Press release: The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2022. The Nobel Assembly at the Karolinska Institutet. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2022/press-release/>
- Novais, R. F. (2018). Arqueologia na sala de aula: propostas para um trabalho interdisciplinar na disciplina de ciências. 29f. TCC (Especialização em Práticas Educacionais em Ciências e Pluralidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29137>
- Novak, B. J. (2018). De-extinction. *Genes*, 9(11), 548. <https://doi.org/10.3390/genes9110548>
- Orlando, L., Ginolhac, A., Zhang, G., Froese, D., Albrechtsen, A., Stiller, M., Schubert, M., Cappellini, E., Petersen, B., Moltke, I., Johnson, P. L., Fumagalli, M., Vilstrup, J. T., Raghavan, M., Korneliusson, T., Malaspinas, A. S., Vogt, J., Szklarczyk, D., Kelstrup, C. D., Vinther, J., ... & Willerslev, E. (2013). Recalibrating Equus evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. *Nature*, 499(7456), 74–78. <https://doi.org/10.1038/nature12323>
- Parry, L. A., Smithwick, F., Nordén, K. K., Saitta, E. T., Lozano-Fernandez, J., Tanner, A. R., Caron, J. B., Edgecombe, G. D., Briggs, D. E. G., & Vinther, J. (2018). Soft-Bodied Fossils Are Not Simply Rotten Carcasses - Toward a Holistic Understanding of Exceptional Fossil Preservation: Exceptional Fossil Preservation Is Complex and Involves the Interplay of Numerous Biological and Geological Processes. *Bioessays*, 40(1), 1700167. <https://doi.org/10.1002/bies.201700167>
- Pawlicki, R. (1995). Histochemical demonstration of DNA in osteocytes from dinosaur bones. *Folia Histochemica et Cytobiologica*, 33(3), 183–186.
- Pellegrino, C. (1985). Dinosaur capsule. *Omni*, 7, 38–40.
- Penney, D., Wadsworth, C., Fox, G., Kennedy, S. L., Preziosi, R. F., & Brown, T. A. (2013). Absence of Ancient DNA in Sub-Fossil Insect Inclusions Preserved in ‘Anthropocene’ Colombian Copal. *PLoS ONE*, 8(9), e73150. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073150>
- Pereira, R., Carvalho, I. S., & Azevedo, D. A. (2006). Afinidades paleobotânicas de âmbares cretácicos das bacias do Amazonas, Araripe e Recôncavo. *Geociências*, 25(2), 217-224.
- Pereira, R., Carvalho, I. S., Simoneit, B. R. T., & Azevedo, D. A. (2009a). Molecular composition and chemosystematic aspects of Cretaceous amber from the Amazonas, Araripe and Recôncavo basins, Brazil. *Organic Geochemistry*, 40(8), 863-875. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.05.002>
- Pereira, R., Carvalho, I. S., Fernandes, A. C. S., & Azevedo, D. A. (2009b). Composição molecular e origem paleobotânica de âmbares da bacia do Araripe, Formação Santana. *Química Nova*, 32(6), 1528-1533. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600032>
- Pereira, R., Carvalho, I. S., Fernandes, A. C. S., & Azevedo, D. A. (2011a). Chemotaxonomical aspects of lower Cretaceous amber from Recôncavo Basin, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22(8), 1511-1518. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000800015>
- Pereira, R., Carvalho, I. S., Fernandes, A. C. S., & Azevedo, D. A. (2011b). Composição molecular, aspectos quimiotaxonômicos e origem botânica de âmbares brasileiros. *Revista Virtual de Química*, 3, 145-158. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110020>
- Pereira, R., De Lima, F. J., Simbras, F. M., Bittar, S. M. B., Kellner, A. W. A., Saraiva, A. A. F., Bantim, R. A. M., Sayão, J. M., & Oliveira, G. R. (2020). Biomarker signatures of Cretaceous Gondwana amber from Ipubi Formation (Araripe Basin, Brazil) and their palaeobotanical significance. *Journal of South American Earth Sciences*, 98, 102413. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102413>
- Pinheiro, F. L., Prado, G., Ito, S., Simon, J. D., Wakamatsu, K., Anelli, L. E., Andrade, J. A. F., & Glass, K. (2019). Chemical characterization of pterosaur melanin challenges color inferences in extinct animals. *Scientific Reports*, 9, 15947. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52318-7>
- Prüfer, K., Racimo, F., Patterson, N., Jay, F., Sankararaman, S., Sawyer, S., Heinze, A., Renaud, G., Sudmant, P. H., de Filippo, C., Li, H., Mallick, S., Dannemann, M., Fu, Q., Kircher, M., Kuhlwilm, M., Lachmann, M., Meyer, M., Ongyerth, M., Siebauer, M., Theunert, C., Tandon, A., Moorjani, P., Pickrell, J., Mullikin, J. C., Vohr, S. H., Green, R. E., Hellmann, I., Johnson, P. L., Blanche, H., Cann, H., Kitzman, J. O., Shendure, J., Eichler, E. E., Lein, E. S., Bakken, T. E., Golovanova, L. V., Doronichev, V. B., Shunkov, M. V., Derevianko, A. P., Viola, B., Slatkin, M., Reich, D., Kelso, J., & Pääbo, S. (2014). The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature*, 505, 43-49. <https://doi.org/10.1038/nature12886>
- Ramírez-Montoya, M. S., Loaiza-Aguirre, M. I., Zúñiga-Ojeda, A., & Portuguese-Castro, M. (2021). Characterization of the Teaching Profile within the Framework of Education 4.0. *Future Internet*, 13(4), 91. <https://doi.org/10.3390/fi13040091>
- Rodrigues, F. I. (2020). *Mutações genéticas: percepção docente/discente e prática em escola pública na planície litorânea do Piauí*. 103f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Biologia) — Centro de Ciências da Natureza, Universidade estadual do Piauí, Teresina. https://www.profbio.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/09/TCM_homologado.pdf
- Rosa, C. A., Oliveira, A. D. A. de., & Rocha, D. C. (2018). Utilizando desenhos animados no ensino de Ciências. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(2), 2018. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/193/>
- Ross, A. (1998). *Amber*. Cambridge: Harvard University Press. 73p.
- Rotbain, Y., Stavay, R., & Marbach-Ad, G. (2008). The Effect of Different Molecular Models on High School Students’ Conceptions of Molecular Genetics. *Science Education Review*, 7(2), 59-64. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1050891.pdf>

- Saitta, E. T., Liang, R., Lau, M. C., Brown, C. M., Longrich, N. R., Kaye, T. G., Novak, B. J., Salzberg, S. L., Norell, M. A., Abbott, G. D., Dickinson, M. R., Vinther, J., Bull, I. D., Brooker, R. A., Martin, P., Donohoe, P., Knowles, T. D., Penkman, K. E., & Onstott, T. (2019). Cretaceous dinosaur bone contains recent organic material and provides an environment conducive to microbial communities. *eLife*, 8, e46205. <https://doi.org/10.7554/eLife.46205>
- Saitta, E. T., Liang, R., Lau, M. C., Brown, C. M., Longrich, N. R., Kaye, T. G., Novak, B. J., Salzberg, S. L., Donohoe, P., Dickinson, M. R., Vinther, J., Bull, I. D., Brooker, R. A., Martin, P., Abbott, G. D., Knowles, T. D., Penkman, K., & Onstott, T. C. (2021). Life Inside a Dinosaur Bone: a Thriving Microbiome. *bioRxiv*, 400176. <https://doi.org/10.1101/400176>
- Santos, F. M. M. dos., Moreira, A. de L., & Fernando, E. M. P. (2018). Análise dos conhecimentos prévios de alunos do ensino médio sobre o tema "paleontologia". In *Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido - CONADIS*, Campo Grande: Realize Editora. <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/50530>
- Schwanke, C., & Silva, M. A. J. (2010). Educação e Paleontologia. In: Carvalho, I. S. (Ed.). *Paleontologia: conceitos e métodos*. Vol. 1., 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. (pp. 681-688).
- Schweitzer, M. H., Johnson, C., Zocco, T. G., Horner, J. R., Starkey, J. R., (1997a). Preservation of biomolecules in cancellous bone of *Tyrannosaurus rex*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 17, 349–359. <https://doi.org/10.1080/02724634.1997.10010979>
- Schweitzer, M. H., Marshall, M., Carron, K., Bohle, D. S., Busse, S. C., Arnold, E. V., Barnard, D., Horner, J. R., & Starkey, J. R., (1997b). Heme compounds in dinosaur trabecular bone. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 94, 6291–6296. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.12.6291>
- Schweitzer, M. H., Watt, J. A., Avci, R., Forster, C. A., Krause, D. W., Knapp, L., Rogers, R. R., Beech, I., & Marshall, M. (1999a). Keratin specific immunoreactivity in the Cretaceous bird *Rahonavis ostromi*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19(4), 712–722. <https://doi.org/10.1080/02724634.1999.10011183>
- Schweitzer, M. H., Watt, J. A., Avci, R., Knapp, L., Chiappe, L., Norell, M., & Marshall, M. (1999b). Beta-keratin specific immunological reactivity in feather-like structures of the Cretaceous alvarezsaurid, *Shuvuuia deserti*. *Journal of Experimental Zoology*, 285, 146–157. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990815\)285:2%3C146::AID-JEZ7%3E3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990815)285:2%3C146::AID-JEZ7%3E3.0.CO;2-A)
- Schweitzer, M. H., & Wittmeyer, J. L. (2006). Dinosaurian soft tissue taphonomy and implications. In: *AAAS Annual meeting, Abstracts with Programs*, St. Louis, Missouri, USA, 16-20 Feb.
- Schweitzer, M. H., Suo, Z., Avci, R., Asara, J. M., Allen, M. A., Arce, F. T., & Horner, J. R. (2007). Analyses of soft tissue from *Tyrannosaurus rex* suggest the presence of protein. *Science*, 316(5822), 277–280. <https://doi.org/10.1126/science.1138709>
- Schweitzer, M. H., Zheng, W., Organ, C. L., Avci, R., Suo, Z., Freimark, L. M., Lebleu, V. S., Duncan, M. B., Vander Heiden, M. G., Neveu, J. M., Lane, W. S., Cottrell, J. S., Horner, J. R., Cantley, L. C., Kalluri, R., & Asara, J. M. (2009). Biomolecular characterization and protein sequences of the Campanian hadrosaur *B. canadensis*. *Science*, 324(5927), 626–631. <https://doi.org/10.1126/science.1165069>
- Schweitzer, M. H. (2011). Soft Tissue Preservation in Terrestrial Mesozoic Vertebrates. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39, 187–216. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040610-133502>
- Schweitzer, M. H., Zheng, W., Cleland, T. P., & Bern, M. (2013). Molecular analyses of dinosaur osteocytes support the presence of endogenous molecules. *Bone*, 52(1), 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.10.010>
- Schweitzer, M.H., Zheng, W., Cleland, T.P., Goodwin, M.B., Boatman, E., Theil, E., Marcus, M.A., & Fakra, S.C. (2014). A role for iron and oxygen chemistry in preserving soft tissues, cells and molecules from deep time. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1775), 20132741. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2741>
- Schweitzer, M. H., Schroeter, E. R., Cleland, T. P., & Zheng, W. (2019). Paleoproteomics of Mesozoic Dinosaurs and Other Mesozoic Fossils. *Proteomics*, 19(16), 1800251. <https://doi.org/10.1002/pmic.201800251>
- Shapiro, B. (2017). Pathways to de-extinction: how close can we get to resurrection of an extinct species?. *Functional Ecology*, 31(5), 996-1002. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12705>
- Silva, K. S. Da., Fambrini, G. L., Neumann, V. H. M. L., Bezerra, V. S., Silva, L. G. Da., & Pereira, R. (2018). Investigação de moléculas orgânicas preservadas em fósseis vegetais carbonificados da Formação Crato, Bacia do Araripe. In: *III PALEO NE 2018*, Recife: Sociedade Brasileira de Paleontologia. (pp. 75-76). <https://sbpbrasil.org/publications/index.php/paleodest/issue/view/115/68>
- Simão, M., Conceição, N., Imaginário, S., Amaro, J., & Cancela, M. L. (2022). Lab-It Is Taking Molecular Genetics to School. *BioChem*, 2(2), 160-170. <https://doi.org/10.3390/biochem2020011>
- Soares, T. (2014). Abordagens Teóricas para Estudos Sobre Cultura Pop. *Logos: comunicação e universidade*, 2(24), e41. <https://doi.org/10.12957/logos.2014.14155>
- Soja, C. M., & Huerta, D. (2001). Debating Whether Dinosaurs Should Be “Cloned” From Ancient DNA To Promote Cooperative Learning In An Introductory Evolution Course. *Journal of Geoscience Education*, 49(2), 150-157. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-49.2.150>
- Thomas, B., & Taylor, S. (2019). Proteomes of the past: the pursuit of proteins in Paleontology. *Expert Review of Proteomics*, 16(11-12), 881-895. <https://doi.org/10.1080/14789450.2019.1700114>
- Ullmann, P. V., Ash, R. D., & Scannella, J. B. (2022). Taphonomic and Diagenetic Pathways to Protein Preservation, Parte II: The Case of *Brachylophosaurus canadensis* Specimen MOR 2598. *Biology*, 11(8), e1177. <https://doi.org/10.3390/biology11081177>

van der Valk, T., Pečnerová, P., Diez-Del-Molino, D., Bergström, A., Oppenheimer, J., Hartmann, S., Xenikoudakis, G., Thomas, J. A., Dehasque, M., Sağlıcan, E., Fidan, F. R., Barnes, I., Liu, S., Somel, M., Heintzman, P. D., Nikolskiy, P., Shapiro, B., Skoglund, P., Hofreiter, M., Lister, A. M., ... Dalén, L. (2021). Million-year-old DNA sheds light on the genomic history of mammoths. *Nature*, 591(7849), 265–269. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03224-9>

Wadsworth, C., & Buckley, M. (2014). Proteome degradation in fossils: investigating the longevity of protein survival in ancient bone. *Rapid Communications in Mass Spectrometry: RCM*, 28(6), 605–615. <https://doi.org/10.1002/rcm.6821>

Wang, H. L., Yan, Z. Y., & Jin, D. Y. (1997). Reanalysis of published DNA sequence amplified from cretaceous dinosaur egg fossil. *Molecular Biology and Evolution*, 14(5), 589–591. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a025796>

Willerslev, E., Cappellini, E., Boomsma, W., Nielsen, R., Hebsgaard, M. B., Brand, T. B., Hofreiter, M., Bunce, M., Poinar, H. N., Dahl-Jensen, D., Johnsen, S., Steffensen, J. P., Bennike, O., Schwenninger, J. L., Nathan, R., Armitage, S., de Hoog, C. J., Alfimov, V., Christl, M., Beer, J., ... Collins, M. J. (2007). Ancient biomolecules from deep ice cores reveal a forested southern Greenland. *Science*, 317(5834), 111–114. <https://doi.org/10.1126/science.1141758>

Woodward, S. R., Weyand, N. J., & Bunnell, M. (1994). DNA sequence from Cretaceous period bone fragments. *Science*, 266(5188), 1229–1232. 96. <https://doi.org/10.1126/science.7973705>

Young, D. L., Huyen, Y., & Allard, M. W. (1995). Testing the validity of the cytochrome B sequence from cretaceous period bone fragments as dinosaur DNA. *Cladistics*, 11(2), 199–209. 97. [https://doi.org/10.1016/0748-3007\(95\)90011-X](https://doi.org/10.1016/0748-3007(95)90011-X)