

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
NOME DA UNIDADE ACADÊMICA

JOÃO VITOR CALEGARI BORGES

Evolução dos Amniotas

Contribuições da paleontologia para o ensino de Ciências Biológicas

Uberlândia

2024

JOÃO VITOR CALEGARI BORGES

Evolução dos Amniotas

Contribuições da paleontologia para o ensino de Ciências Biológicas

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
licenciado em Ciências Biológicas

Área de concentração: Paleontologia

Orientador: Victor Alberto Tagliacollo

Uberlândia

2024

JOÃO VITOR CALEGARI BORGES

Evolução dos Amniotas

Contribuições da paleontologia para o ensino de Ciências Biológicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de licenciado em
Ciências Biológicas

Área de concentração: Paleontologia

Uberlândia, 13 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Victor Alberto Tagliacollo – Doutor (UFU)

André Barcelos-Silveira – Doutor (UFU)

Daniela Franco Carvalho – Doutora (UFU)

Dedico este trabalho a meus pais e à minha esposa, cuja presença constante e apoio incondicional têm sido fundamentais em minha trajetória acadêmica e pessoal. Agradeço o estímulo, carinho e compreensão que sempre demonstraram, incentivando-me a perseguir meus sonhos e proporcionando-me a motivação necessária para buscar a evolução contínua em todas as minhas empreitadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Ronaldo Pereira Borges e Heloisa Helena Guilherme Calegari, que me proporcionaram a educação e o direcionamento que foram essenciais para minha formação. Eles trouxeram para minha vida os recursos e a estabilidade necessários para que eu pudesse fazer minhas próprias escolhas e seguir o caminho que escolhi. Ao meu irmão, Lucas Calegari Borges, um companheiro incrível e paciente ouvinte das muitas conversas sobre temas biológicos durante minha graduação.

À minha esposa, Amanda Machado Martins Pereira, com quem compartilho mais de 9 anos de vida e que me acompanha no meu crescimento, ajudando-me a ser uma pessoa melhor. Sua presença é uma fonte constante de inspiração, pois, ao me espelhar em seus atos e pensamentos, ela traz à tona o melhor de mim em todos os aspectos. Ela está sempre ao meu lado, oferecendo apoio incondicional nos momentos difíceis e celebrando comigo cada conquista, seja ela grande ou pequena. É sua presença que me dá forças para enfrentar os desafios.

Agradeço ao professor Victor Alberto Tagliacollo, por sua orientação, incentivo e motivação ao longo desta caminhada acadêmica, e pela flexibilidade e compreensão diante das adversidades enfrentadas ao longo do percurso.

Ao amigo Otávio Augusto Ferreira de Castro, meu sincero agradecimento pela amizade e pelas contribuições que tanto auxiliaram no meu crescimento e evolução durante o curso.

Por fim, expresso minha gratidão à Universidade Federal de Uberlândia, à coordenação do Instituto de Biologia e ao Colegiado do curso de Biologia da UFU por todo o serviço e suporte ao longo dessa trajetória.

"Nada em biologia faz sentido, exceto à luz da
evolução"

(DOBZHANSKY, 1973)

RESUMO

Esta revisão explora a evolução dos amniotas, abordando grupos taxonômicos como mamíferos, lagartos e tartarugas, com foco nas mudanças ecológicas e evolutivas desencadeadas pela extinção em massa no Permo-Triássico. Esse evento levou a uma reorganização significativa dos ecossistemas terrestres, favorecendo o surgimento de novos grupos, como os arcossauros (incluindo dinossauros e crocodilos), em detrimento dos sinapsídeos, ancestrais dos mamíferos. Com a evolução de posturas eretas entre os dinossauros e crurotarsanos, a locomoção tornou-se mais eficiente, favorecendo maior atividade e possivelmente a evolução da endotermia. Os dinossauros demonstraram uma adaptação superior ao clima árido do Triássico Superior, apresentando características como pele impermeável e urina semilíquida, o que os favoreceu sobre os mamíferos, que requeriam mais água para a homeostase. Além disso, esta revisão aborda a evolução dos primeiros mamíferos, que coexistiram com os dinossauros e exploraram estilos de vida variados, apesar de pequenos e pouco abundantes no Mesozoico. Foram desenvolvidas especializações notáveis, como escavação (*Fruitafossor*), planagem (*Volaticotherium*) e modos de vida aquáticos (*Castorocauda*). A origem das tartarugas também é examinada, com destaque para características evolutivas singulares, como a carapaça dorsal e o plastrão ventral, e para a complexidade de sua ancestralidade, ilustrada por fósseis como *Chinlechelys* e *Odontochelys*. O texto examina ainda a trajetória evolutiva dos crocodilos, que inicialmente ocupavam habitats terrestres, mas se adaptaram ao meio aquático após a extinção de fitossauros e anfíbios temnospondilos no final do Triássico, consolidando-se como predadores aquáticos a partir do Jurássico. A transição do Triássico para o Jurássico marca um período crucial para a evolução dos vertebrados terrestres e marinhos. No Triássico Superior, surgem os primeiros peixes ósseos modernos, os teleósteos, representados por *Pholidophorus*, com adaptações como escamas reduzidas e nadadeiras caudais eficientes, que facilitaram sua expansão em ecossistemas aquáticos. Paralelamente, os neosseláquios substituíram os hibodontes como principais predadores, beneficiando-se de colunas vertebrais calcificadas que aprimoraram sua resistência e velocidade. Mudanças nos ecossistemas terrestres também são discutidas, incluindo a extinção em massa de herbívoros especializados, como dicinodontes e rincossauros, e o sucesso adaptativo de dinossauros generalistas em condições áridas. No ambiente marinho, apesar da estabilidade geral, houve uma diversificação acelerada de teleósteos e tubarões modernos em resposta às condições do mar da Réia, um cenário propício para o surgimento dessas linhagens. Este período é caracterizado pela ascensão de novas

linhagens adaptadas à velocidade e agilidade, tanto em vertebrados terrestres quanto marinhos. Esta revisão sintetiza descobertas paleontológicas recentes sobre as principais transformações evolutivas dos vertebrados no Triássico e Jurássico, oferecendo um material de apoio atualizado para cursos superiores em Ciências Biológicas e promovendo uma compreensão ampla das dinâmicas evolutivas que moldaram a fauna do Mesozóico.

Palavras-chave: revisão, evolução, adaptação, amniota, extinção, arcossauro, sinapsídeo, dinossauro, endotermia, habitat, nicho ecológico, ecossistemas, paleozoico, mesozoico e postura ereta.

ABSTRACT

This review explores the evolution of amniotes, focusing on taxonomic groups such as mammals, lizards, and turtles, with an emphasis on the ecological and evolutionary shifts triggered by the mass extinction at the Permo-Triassic boundary. This event led to a significant reorganization of terrestrial ecosystems, promoting the emergence of new groups like archosaurs (including dinosaurs and crocodiles) over synapsids, the ancestors of mammals. The evolution of upright postures among dinosaurs and crurotarsans made locomotion more efficient, facilitating greater activity and possibly favoring the evolution of endothermy. Dinosaurs showed superior adaptation to the arid climate of the Late Triassic, exhibiting traits like waterproof skin and semi-solid urine, which advantaged them over mammals, whose physiology required more water for homeostasis. Additionally, this review discusses the evolution of early mammals, which coexisted with dinosaurs and explored varied ecological niches, despite being small and rare in the Mesozoic. Notable specializations included burrowing (*Fruitafossor*), gliding (*Volaticotherium*), and aquatic lifestyles (*Castorocauda*). The origin of turtles is also examined, highlighting their unique evolutionary features, such as the dorsal carapace and ventral plastron, and the complexity of their ancestry, illustrated by fossils like *Chinlechelys* and *Odontochelys*. The text further examines the evolutionary trajectory of crocodiles, which initially occupied terrestrial habitats but adapted to aquatic environments after the extinction of phytosaurs and temnospondyl amphibians at the end of the Triassic, establishing themselves as aquatic predators from the Jurassic onward. The Triassic-Jurassic transition marks a crucial period for the evolution of both terrestrial and marine vertebrates. In the Late Triassic, the first modern bony fishes, the teleosts, represented by *Pholidophorus*, emerged with adaptations like reduced scales and efficient caudal fins, facilitating their expansion in aquatic ecosystems. Simultaneously, neoselachians replaced hybodonts as primary predators, benefiting from calcified vertebral columns that enhanced their strength and speed. Changes in terrestrial ecosystems are also discussed, including the mass extinction of specialized herbivores such as dicynodonts and rhynchosaurs, and the adaptive success of generalist dinosaurs in arid conditions. In marine environments, despite overall stability, there was an accelerated diversification of teleosts and modern sharks in response to the conditions of the Tethys Sea, providing an ideal setting for the emergence of these lineages. This period is marked by the rise of new lineages adapted for speed and agility in both terrestrial and marine vertebrates. This review synthesizes recent paleontological findings on major

evolutionary transformations of vertebrates in the Triassic and Jurassic, offering updated support material for advanced courses in Biological Sciences and fostering a broad understanding of the evolutionary dynamics that shaped Mesozoic fauna.

Keywords: Review, evolution, adaptation, amniote, extinction, archosaur, synapsid, dinosaur, endothermy, habitat, ecological niche, ecosystems, Paleozoic, Mesozoic, and erect posture.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 DESENVOLVIMENTO.....	14
3 METODOLOGIA.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1. O Surgimento e a Diversificação dos Amniotas.....	17
4.1.1. - Sinapsídeos e Sauropsida: Principais Grupos e Diferenças.....	17
4.1.2. Postura E reta: Uma Adaptação Evolutiva para a Endotermia.....	19
4.1.3. Evolução d os Crurotarsans (Crocodilos): Da Terra à Água.....	21
4.2 - Dinossauros: Surgimento, Diversificação e Sucesso Evolutivo.....	24
4.2.1. A Origem dos Dinossauros: Gondwana e os Primeiros Fósseis.....	24
4.2.2. Dinossauros Saurísquios e Ornítisquios: Diferenças Morfológicas.....	26
4.2.3. Terópodes e Sauropodomorfos: Diversificação e Estratégias de Locomoção.....	30
4.2.4. O Impacto da Endotermia nos Dinossauros: A Evidência do Plateossauro.....	32
4.2.5. A Radiação dos Dinossauros: Extinção e Oportunidade no Final do Triássico.....	33
4.3 Aves: Os Descendentes Vivos dos Dinossauros.....	34
4.3.1 O Surgimento das Aves: De Dinossauros Terópodes a Archaeopteryx.....	34
4.3.2. A Hipótese de Evolução do Voo: "De Cima para Baixo" ou "De Baixo para Cima"?.....	36
4.3.3. Diversificação das Aves no Cretáceo: Enantiornithes e Ornithurae.....	38
4.3.4. Pássaros Modernos: O Clado dos Ornithurae.....	40
4.3.5. A Evolução das Tartarugas: Morfologia Única e Debate Filogenético.....	41
4.3.6. Pterossauros: Os Primeiros Animais Alados.....	43
4.4 - As Extinções em Massa e Seus Efeitos no Mesozóico.....	45
4.4.1. A Extinção em Massa do Triássico: Consequências para os Amniotas.....	45
4.4.2. O Evento Cretáceo-Paleógeno: Impacto nos Vertebrados.....	47
4.4.3. A Extinção dos Pterossauros e Dinossauros Não-Avianos.....	50
4.4.4. A Recuperação dos Ecossistemas: A ascensão das Aves e Mamíferos	51
4.5. A Coexistência de Mamíferos e Dinossauros.....	54
4.5.1 Os Primeiros Mamíferos: Adelobasileus e Suas Características.....	54
4.5.2. A Diversificação dos Mamíferos no Mesozóico: Fruitafossor, Volaticotherium e Castorocauda.....	55

4.5.3. Predadores Mesozóicos: O Repenomamus e Seu Impacto no Nicho Ecológico.....	59
5 CONCLUSÃO	61
5.1. A Evolução e Adaptação dos Amniotas: Um Sucesso de 250 Milhões de Anos.....	61
5.2. A Importância das Extinções em Massa no Processo Evolutivo.....	63
5.3. A Transição para o Paleógeno: O Papel das Aves e Mamíferos no Pós-Cretáceo.....	65
6. GLOSSÁRIO.....	66
7. QUESTÕES.....	72
8. REFERÊNCIAS.....	74
ANEXO I - PLANO DE AULA.....	78

1. INTRODUÇÃO

O uso da literatura científica primária como recurso educacional é amplamente reconhecido como essencial para a alfabetização científica, especialmente por promover um aprendizado autêntico e atualizado (ARCHILA et al., 2024). As revisões sistemáticas, especialmente, são ferramentas de grande relevância para a ciência e a educação, pois sintetizam, organizam e apresentam os achados mais recentes, facilitando o acesso a informações essenciais e atualizadas para estudantes, educadores e pesquisadores. (MULROW, 1994) destaca como as revisões sistemáticas e meta-análises são essenciais para a ciência, sintetizando e organizando informações de modo a apoiar decisões racionais. Embora enfatize a utilidade das revisões para profissionais da saúde, pesquisadores e formuladores de políticas, ele também menciona como essas revisões facilitam a integração de achados científicos e a verificação de consistência em diferentes contextos. Em um contexto educacional, o uso dessas revisões permite que os estudantes acompanhem as mudanças nos paradigmas científicos, oferecendo uma visão dinâmica que reflete as incertezas e a natureza progressiva da ciência. As revisões sistemáticas são consideradas o padrão ouro para sintetizar evidências e tomar decisões informadas em diversos campos, incluindo a educação (GUSTAFSSON, 2020). Além disso, revisões científicas elaboradas com propósitos específicos podem servir como material de apoio para alunos e docentes, pois apresentam uma visão ampla de um campo de estudo, permitindo que os discentes desenvolvam competências como a análise crítica e a interpretação de dados, essenciais para a formação de futuros docentes e cientistas. "Estudar essas revisões profissionais pode ajudar os alunos a identificar os aspectos mais importantes do artigo, a avaliar criticamente a qualidade dos dados e a identificar áreas onde a informação não é comunicada de forma eficaz."(SCHEIFELE; TSOTAKOS; WOLYNIAK, 2021). Um estudo sobre práticas educacionais na área das ciências biológicas destaca que o engajamento dos alunos com revisões científicas aprimora habilidades de pesquisa e promove uma compreensão aprofundada de temas complexos, como a ecologia e a evolução. Segundo GUSTAFSSON (2020) a importância das revisões é reforçada pelo fato de que elas permitem um acesso eficiente a uma grande quantidade de estudos, ajudando a identificar tendências, lacunas no conhecimento e novos questionamentos a serem explorados. Para os educadores, elas oferecem um recurso consolidado para o ensino de conteúdos complexos, possibilitando o planejamento de aulas mais informativas e integradas ao avanço da ciência.

Em áreas como a paleontologia, onde o conhecimento sobre a história da vida no planeta Terra é continuamente expandido por novas descobertas fósseis e avanços nas técnicas de análise, as revisões científicas tornam-se indispensáveis. Elas possibilitam uma reavaliação sistemática de conceitos previamente estabelecidos e incentivam novas interpretações do passado, promovendo uma compreensão mais aprofundada e detalhada da evolução biológica na Terra. De acordo com CUNNINGHAM (2014) a visualização e análise de fósseis auxiliadas por computador revolucionaram o estudo de organismos extintos, fornecendo *insights* sobre sua anatomia, desenvolvimento e preservação. Essas revisões contribuem para a reinterpretação das narrativas evolutivas, agora enriquecidas com avanços tecnológicos como as técnicas de datação, que permitem a calibração de nós e ramos nas árvores filogenéticas utilizando combinação entre fósseis e dados moleculares. Segundo LAUTENSCHLAGER (2016) reconstruções digitais de estruturas de tecidos moles em fósseis podem fornecer novas informações e ajudar a elucidar a paleobiologia de organismos extintos. Isso resulta em uma árvore evolutiva com escala temporal absoluta, que aprimora a interpretação dos fósseis ao longo das suas linhagens evolutivas. Consequentemente, surgem novas perspectivas sobre a evolução, oferecendo *insights* sobre padrões de diversificação e extinção ao longo do tempo evolutivo. Tais descobertas também servem como base para previsões sobre as consequências de futuras extinções para a humanidade. DESCOMBES et al. (2018) diz que modelos que ligam processos de especiação, extinção e dispersão às mudanças paleoambientais ajudam a entender a origem da biodiversidade atual, como demonstrado em estudos com manguezais. Realizar revisões amplas e sistemáticas na paleontologia é uma estratégia essencial para promover um aprendizado contínuo, reflexivo e atualizado. Essa prática enriquece a formação acadêmica ao valorizar tanto o conhecimento consolidado quanto as descobertas emergentes, fomentando uma visão dinâmica e evolutiva da ciência.

Esta revisão foi desenvolvida para atender à demanda por recursos que integrem as contribuições da paleontologia à compreensão da evolução dos amniotas, com um enfoque específico para estudantes de Ciências Biológicas. Mais do que uma simples síntese de conteúdo, o material integra um esforço coletivo do Laboratório de Paleontologia (LAPALEO), do Instituto de Biologia (INBIO), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), visando compor um capítulo de um livro didático, destinado a servir como material de apoio para as aulas da disciplina de Paleontologia do curso de Ciências Biológicas. Ao ser incluída nesse livro, essa revisão oferecerá uma ferramenta didática, capacitando futuros profissionais a

compreender, de forma aprofundada, a trajetória evolutiva dos tetrápodes amniotas. Esse capítulo que será apresentado nessa monografia explora a evolução dos amniotas, abordando grupos taxonômicos como mamíferos, lagartos, aves, crocodilianos e tartarugas, com foco nas mudanças ecológicas e evolutivas desencadeadas pela extinção em massa no Permo-Triássico e nas adaptações que permitiram a consolidação desses grupos durante o Mesozoico. A metodologia adotada inclui uma pesquisa sistemática bibliográfica no Google Acadêmico, utilizando termos-chave como “evolução dos amniotas” e palavras associadas aos grupos taxonômicos envolvidos na revisão (ex. mamíferos, lagartos e tartarugas), além de uma revisão de livros didáticos utilizados em cursos de Paleontologia como os de Benton e Harper (2020), Soares (2015) e Carvalho (2010).

Além do texto principal, esta monografia inclui, como anexo, um plano de aula sobre a Evolução dos Amniotas, um glossário com termos-chave e questões avaliativas voltadas para reforço e revisão, oferecendo suporte tanto aos docentes quanto aos alunos. Espera-se que esses recursos auxiliem os professores na preparação das aulas e ofereçam aos alunos ferramentas eficazes para o estudo dos conceitos fundamentais e a revisão do conteúdo, enriquecendo a experiência em sala de aula e promovendo a aplicação prática do material em diferentes contextos educativos. Ao explorar os principais conceitos, técnicas e descobertas da paleontologia, esta monografia proporciona aos alunos uma visão abrangente e fundamentada da história evolutiva dos amniotas. Dessa forma, pretende-se que a monografia fomente uma compreensão crítica e profunda sobre a história evolutiva dos amniotas, com destaque nos grupos fósseis, consolidando uma base de conhecimento científico essencial para a formação de futuros biólogos.

2. DESENVOLVIMENTO

Os amniotas representam um marco importante na história evolutiva dos vertebrados, abrangendo os tetrápodes que incluem répteis(incluindo as aves) e mamíferos e constituindo o clado mais biodiverso e abundante de vertebrados terrestres. Caracterizam-se pela presença do ovo amniótico, uma adaptação que permitiu a colonização definitiva de ambientes terrestres, ao proporcionar ao embrião proteção e nutrientes, eliminando a necessidade de um ambiente aquático para a reprodução. O desenvolvimento do ovo amniótico, com membranas

especializadas como o âmnio, representa um divisor de águas na adaptação dos vertebrados ao ambiente terrestre, possibilitando que os amniotas realizassem nichos ecológicos anteriormente inexistentes.

A origem dos amniotas data do período Carbonífero, na era Paleozoica, há aproximadamente 318 milhões de anos, quando começaram a divergir dos ancestrais anfíbios, inaugurando a conquista definitiva dos continentes. Essa divergência permitiu a exploração de novos habitats longe das fontes de água e a ampliação das dietas, incluindo, por exemplo, o consumo de artrópodes terrestres como os hexápodes em rápida diversificação. Com isso, os amniotas puderam sobreviver e se reproduzir em uma grande variedade de habitats, anteriormente inóspitos para seus ancestrais. A capacidade dos amniotas de se adaptarem a uma ampla gama de condições ambientais foi, sem dúvida, crucial para seu sucesso evolutivo. A evolução de características como a postura ereta e a endotermia (regulação da temperatura corporal) possibilitou a exploração de diferentes habitats terrestres, resultando na dominância de clados como os dinossauros, que prosperaram em ecossistemas terrestres por milhões de anos, e dos primeiros mamíferos, que coexistiram com os dinossauros durante o Mesozoico.

Outro evento decisivo na trajetória evolutiva dos amniotas foi a extinção em massa do Permo-Triássico, ocorrida há aproximadamente 250 milhões de anos. Considerado o maior evento de extinção da história do planeta, esse cataclismo eliminou cerca de 96% das espécies marinhas e 70% das espécies terrestres, encerrando a era Paleozoica e inaugurando a era Mesozoica. Esse evento extinguiu grupos que, até então, dominavam os ecossistemas, criando oportunidades para a ascensão de novos grupos, como os arcossauros (que incluem dinossauros e crocodilos) e os sinapsídeos (ancestrais dos mamíferos). A recuperação ecológica foi gradual, levando cerca de 10 milhões de anos para restaurar os níveis de biodiversidade. Durante esse período de reorganização, os amniotas desempenharam um papel central na recolonização dos ecossistemas terrestres, expandindo-se para novos nichos e diversificando-se ao preencher os espaços deixados pelas extinções.

Especificamente no ambiente terrestre, a extinção levou à substituição de sinápsidos dominantes no Paleozoico (como pelicossauros e terápsidos) pelos arcossauros, que emergiram como os principais vertebrados do Triássico. Dinossauros e outros arcossauros desenvolveram adaptações como a postura ereta, que aumentou significativamente sua mobilidade e eficiência respiratória, favorecendo seu predomínio nos ecossistemas terrestres do Mesozoico. Essas

características, somadas à resistência a climas áridos, permitiram que os dinossauros se tornassem os principais habitantes terrestres da época. Nos ecossistemas marinhos, a extinção também foi devastadora, eliminando diversas linhagens de peixes e invertebrados e alterando profundamente a fauna. Apenas alguns grupos, como os teleósteos (os primeiros peixes ósseos modernos), emergiram e se diversificaram após o evento, eventualmente dominando os mares do Triássico.

Este contexto apresentado acima ressalta a importância dos amniotas como protagonistas em uma das fases mais transformadoras da história evolutiva no planeta Terra, destacando-os como um grupo-chave na conquista dos ecossistemas terrestres e na diversidade que observamos entre os vertebrados. Desenvolver uma revisão sobre a evolução dos amniotas para uso educacional é, portanto, de grande valia, pois permite uma compreensão aprofundada sobre as origens e extinções dos vertebrados terrestres que já existiram, além de estabelecer uma conexão com a nossa própria linhagem evolutiva, os mamíferos. Ao fornecer um texto científico atualizado, esta revisão oferece uma visão abrangente sobre os processos de diversificação e adaptação dos amniotas ao longo de grandes catástrofes naturais, ilustrando como eventos de extinção em massa, embora devastadores, podem abrir novas oportunidades de evolução para outros grupos taxonômicos. Esse texto complementar às aulas de paleontologia constitui um recurso didático importante, permitindo que futuros biólogos compreendam as bases evolutivas da biodiversidade moderna, de maneira atualizada, e a importância de adaptações das espécies às mudanças ambientais para a sobrevivência e o sucesso evolutivo em um planeta em constante transformação. A narrativa evolutiva que será apresentada a seguir abrange os principais grupos de amniotas, as espécies fósseis emblemáticas e os marcos evolutivos que deram origem tanto aos grupos extintos quanto aos observados atualmente, cujas ocojo ancestral comum surgiu há milhões de anos.

3. METODOLOGIA

A elaboração do capítulo foi desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa, fundamentada na análise de textos acadêmicos, resumos, livros didáticos e artigos científicos

disponibilizados pelo professor orientador. A metodologia adotada consistiu nas seguintes etapas:

- Seleção de fontes: inicialmente, foi realizada pelo professor orientador uma seleção cuidadosa das fontes de informação, priorizando aqueles que apresentavam rigor científico e relevância para o tema abordado.
- Análise de conteúdo: os textos selecionados foram analisados de forma crítica, buscando identificar conceitos-chave, avanços na área e diferentes abordagens teóricas. Essa análise permitiu a extração de informações pertinentes para a construção do texto de apoio.
- Organização das ideias: com base na análise realizada, as principais ideias foram organizadas em tópicos, possibilitando uma estrutura clara e coerente para o texto de apoio. Foram definidos os principais subtemas a serem abordados, garantindo uma progressão lógica do conteúdo apresentado.
- Redação e revisão do capítulo: a redação do capítulo foi realizada de forma colaborativa, com revisões constantes para garantir a clareza e a precisão das informações apresentadas. O texto foi estruturado em seções que contemplam a introdução do tema, o desenvolvimento dos conceitos e as considerações finais. Após a finalização de cada versão, uma revisão minuciosa foi conduzida, incorporando as sugestões e críticas do professor orientador. Essa etapa foi fundamental para aprimorar a qualidade do conteúdo apresentado.

Esse processo metodológico garantiu que o texto de apoio elaborado não apenas refletisse o conhecimento atual sobre paleontologia, mas também servisse como um recurso valioso para docentes e alunos interessados na evolução dos amniotas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Surgimento e a Diversificação dos Amniotas

4.1.1. - Sinapsídeos e Sauropsida: Principais Grupos e Diferenças

Os Amniota, grupo que inclui entre as linhagens viventes os répteis, aves e mamíferos, se diversificaram em dois principais ramos evolutivos: os Synapsida e os Sauropsida. Esses dois grupos divergiram ainda no período Paleozoico, especificamente no período Carbonífero,

há aproximadamente 312 milhões de anos. Entretanto, passaram a dominar os ecossistemas terrestres após a extinção do Permo-Triássico, cada um desenvolvendo características adaptativas distintas que garantiram seu sucesso em diferentes ambientes. Os Synapsida são o clado que deu origem aos mamíferos. Durante o final do Permiano, esses animais eram os principais vertebrados terrestres, ocupando diversas funções ecológicas, principalmente como grandes herbívoros. No entanto, após a extinção do Permo-Triássico, muitos dos sinapsídeos desapareceram, sendo que apenas algumas linhagens, como os Cynodontia, sobreviveram e eventualmente deram origem aos mamíferos. Uma característica marcante dos sinapsídeos é a presença de uma única abertura temporal no crânio, que permite uma maior fixação dos músculos mandibulares, contribuindo para uma mordida mais poderosa.

Por outro lado, os Sauropsida, que incluem a subdivisão entre os clados Lepidosauria e Archosauria, evoluíram e diversificaram-se amplamente após a extinção do Permo-Triássico. Dentro dos Archosauria, encontram-se os dinossauros, crocodilos e aves. A principal característica dos arcossauros é a presença de duas aberturas temporais no crânio, o que lhes confere uma estrutura craniana mais leve e eficiente. A diferença fundamental entre os sinapsídeos e os arcossauros não se restringe apenas à morfologia craniana, mas também envolve estratégias de sobrevivência e reprodução. Os sinapsídeos evoluíram características que eventualmente levariam ao desenvolvimento de mamíferos endotérmicos, com maior controle da temperatura corporal e reprodução interna. Já os arcossauros, especialmente os dinossauros, desenvolveram características que lhes permitiam sobreviver em ambientes áridos, como pele impermeável e um metabolismo mais eficiente na retenção de água.

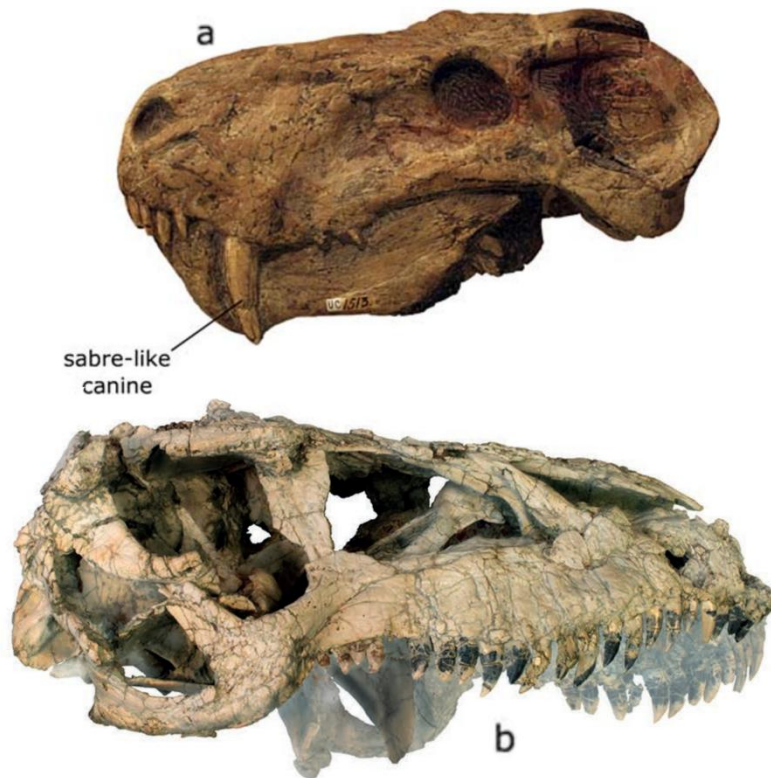


Figura 1 – Comparação entre crânios de sinapsídeos e arcossauros respectivamente para observar suas fenestras temporais. a) Lado esquerdo do crânio e mandíbula de *Lycaenops*. b) Lado direito do crânio de *Spectrovenator ragei*. Obs.: as imagens não estão em escala

No início do Triássico, os arcossauros passaram a dominar os ecossistemas terrestres, substituindo os sinapsídeos como os principais tetrápodes. Dentro dos arcossauros, surgiram dois subgrupos principais: os dinossauros e os crocodilos. Enquanto os crocodilos mantiveram uma forma mais próxima de seus ancestrais, os dinossauros desenvolveram inovações evolutivas significativas, como a postura ereta e a endotermia. Essas adaptações conferiram aos dinossauros uma vantagem evolutiva única, permitindo-lhes realizar uma vasta gama de estilos de vida e dominar os ecossistemas terrestres por mais de 160 milhões de anos. Essa diversificação dos amniotas em sinapsídeos e arcossauros pavimentou o caminho para a evolução de diferentes formas de vida que dominariam os ecossistemas terrestres durante o Mesozoico, com os dinossauros liderando como os maiores predadores e herbívoros, enquanto os sinapsídeos remanescentes evoluíram para os primeiros mamíferos durante o período dominado pelos dinossauros.

4.1.2. Postura Ereta: Uma Adaptação Evolutiva para a Endotermia

A evolução da postura ereta foi uma adaptação fundamental na história dos amniotas, estreitamente ligada ao desenvolvimento da endotermia, que é a capacidade de manter a temperatura corporal constante, independentemente das condições ambientais externas. No

início do Triássico, dois importantes grupos de amniotas no clado Sauropsida, especificamente no clado dos Archosauria, que inclui os dinossauros e os crurotarsans (ancestrais dos crocodilos), desenvolveram essa postura de forma independente. Essa mudança evolutiva foi essencial para aumentar a eficiência locomotora e energética desses animais. Nos dinossauros, a evolução da postura foi alcançada por meio de alterações na estrutura óssea: o úmero e o fêmur apresentaram cabeças voltadas para dentro, o que fez com que os membros ficassem diretamente abaixo do corpo, proporcionando maior suporte e permitindo uma locomoção mais rápida e eficiente. Nos crurotarsans, como o *Poposaurus*, as cinturas escapular e pélvica mudaram de orientação, resultando em membros posicionados diretamente abaixo do corpo, o que melhorou a sustentação do peso e a eficiência locomotora.

A relação entre a postura ereta e a endotermia é evidente. Em animais com postura semi-ereta, como os sinapsídeos do Permiano (por exemplo, o *Moschops*) ou com membros dispostos lateralmente, a locomoção exige flexão lateral do corpo, como observado em lagartos. Essa flexão limita a eficiência respiratória, pois a expansão de um pulmão comprime o outro durante a caminhada. Com a postura ereta, essa limitação é eliminada, permitindo que os pulmões funcionem de maneira mais eficaz e melhorando a respiração. Essa eficiência respiratória é importante para a produção de energia necessária à manutenção de uma temperatura corporal estável. Assim, a evolução da postura ereta foi uma adaptação crucial que possibilitou o surgimento de animais mais ativos e rápidos, capazes de sustentar um metabolismo endotérmico. Essa característica foi fundamental para o sucesso evolutivo de grupos como os dinossauros, que se tornaram os principais vertebrados terrestres do Mesozoico, e, posteriormente, dos sinápsidos, como os mamíferos, que sobreviveram à extinção do Cretáceo-Paleógeno e se diversificaram após a extinção dos dinossauros não-avianos.



Figura 2 – Exemplos de diferentes posturas como de crurotarsans com membros posicionados diretamente abaixo do corpo melhorando a sustentação do peso e a eficiência locomotora, e de um sinapsídeo do Permiano com membros dispostos lateralmente limitando a eficiência respiratória. a) Diagrama e fóssil de *Poposaurus gracilis*. B) Reconstrução de um esqueleto de *Moschops capensis*. Obs.: as imagens não estão em escala.

4.1.3. Evolução dos Crurotarsi (Crocodilos): Da Terra à Água

A evolução dos crocodilos é uma história fascinante de adaptação que transformou esses animais, originalmente terrestres, em predadores aquáticos especializados. Os crocodilos pertencem ao grupo dos Crurotarsi, um clado dentro dos Archosauria, que também inclui dinossauros e pterossauros. Os primeiros crocodilos surgiram durante o final do Triássico, há aproximadamente 228 milhões de anos, quando eram pequenos animais terrestres, como o *Terrestrisuchus*, encontrado na Grã-Bretanha, que media cerca de 50 centímetros de comprimento. Esses primeiros crocodilos tinham corpos leves e delicados, bastante diferentes

dos robustos predadores aquáticos que conhecemos hoje. No Triássico, os crurotarsanos estavam bem adaptados à vida em terra, competindo com outros tetrápodes arcossauros. A transição para o ambiente aquático não foi imediata, pois o nicho de grandes predadores aquáticos era realizado por outros grupos, como os anfíbios Temnospondyli e os fitossauros, que eram parentes mais distantes dos crocodilos. Os temnospôndilos dominavam rios e lagos, apresentando crânios maciços armados com dentes afiados, enquanto os fitossauros, um outro grupo de crurotarsans, tinham focinhos alongados e eram especializados na vida aquática, lembrando superficialmente os crocodilos modernos.

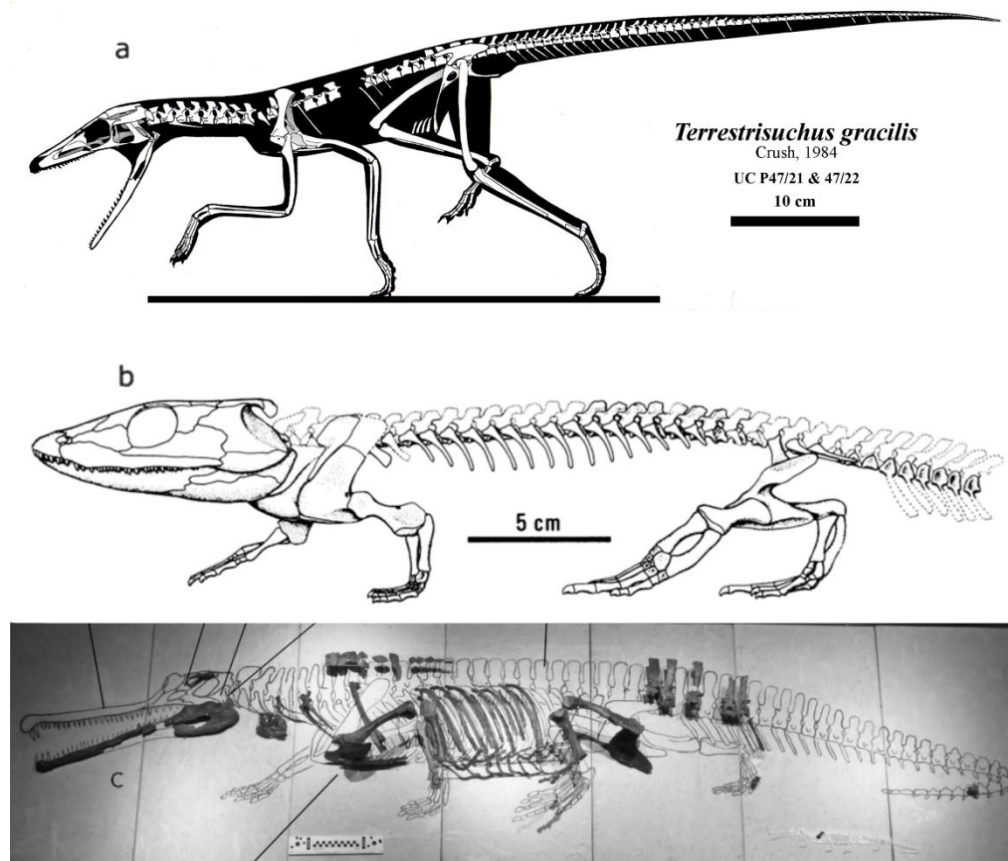


Figura 3 – As imagens representam representantes de crurotarsans, como temnospôndilos e fitossauros. a) Esquema ósseo de um *Terrestriisuchus gracilis*. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Terrestriisuchus.jpg> b) Esquema ósseo de um *Denderpreton acadianum*. c) Esquema com partes do esqueleto fossilizado de *Mystriosuchus* sp.

A verdadeira transição dos crocodilos para o ambiente aquático só ocorreu após o evento de extinção em massa no final do Triássico, que eliminou muitos dos temnospôndilos e todos

os fitossauros, abrindo novos espaços ecológicos. Durante o Jurássico, os crocodilomorfos começaram a se diversificar, incluindo formas semiaquáticas e totalmente aquáticas. Alguns mantiveram um estilo de vida terrestre, como o *Anatosuchus*, do Cretáceo Inferior da África, enquanto outros, como o *Metriorhynchus*, evoluíram para a vida marinha. Este último desenvolveu uma cauda em forma de nadadeira semelhante à de peixes, que o tornava um nadador eficiente. Não está claro se o *Metriorhynchus* voltava à terra para pôr ovos, como fazem as tartarugas marinhas, ou se teria evoluído à viviparidade e passava toda a vida no mar. No Cretáceo, uma linha de crocodilianos completamente aquáticos, chamada Thalattosuchia, emergiu com adaptações impressionantes para a vida oceânica, como nadadeiras no lugar de patas e uma cauda semelhante a um leme. Durante esse período, os crocodilos coexistiram com os dinossauros e ocupavam espaços ecológicos distintos, predando principalmente peixes e outros animais aquáticos.

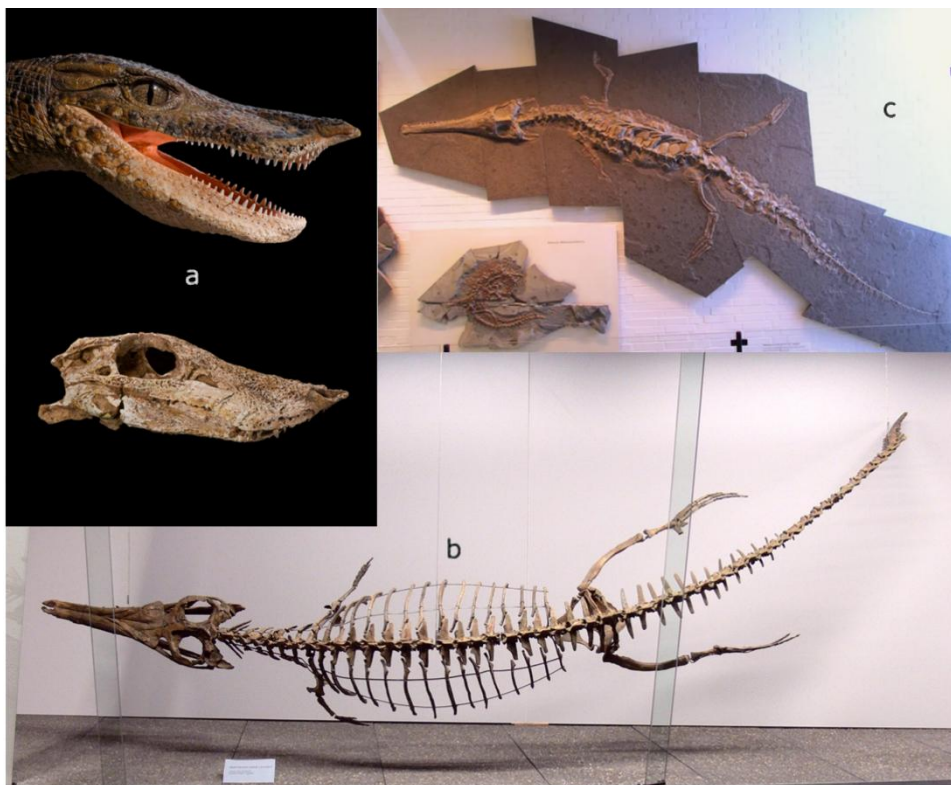


Figura 4 – Exemplos de Crocodilomorfos de vida terrestre e aquática. a) Paeoarte e fóssil de crânio e mandíbula de *Anatosuchus minor*.

https://paulsereno.uchicago.edu/exhibits_casts/african_crocs/anatosuchus/ b) Reconstrução de esqueleto de *Metriorhynchus superciliosus*. <https://www.flickr.com/photos/126576470@N07/39994927692> c) Fóssil do esqueleto de *Steneosaurus bollensis*. https://www.researchgate.net/figure/Skeleton-of-Steneosaurus-bollensis-Lower-Jurassic-early-Toarcian-Posidonienschiefer_fig3_324862133 Obs.: As imagens estão fora de escala.

A extinção em massa no final do Cretáceo-Paleógeno, que eliminou os dinossauros não-avianos, também impactou várias linhagens de crocodilomorfos, mas abriu caminho para o surgimento dos primeiros Eusuchia, grupo que inclui os crocodilos modernos e seus parentes mais próximos. Os eusúquios eram predominantemente aquáticos e desenvolveram características essenciais para emboscadas, como o focinho alongado e maxilares potentes, adaptados a uma vida em rios e pântanos. A partir do Cenozoico, os crocodilos modernos se dividiram em três famílias: Crocodylidae (verdadeiros crocodilos), Alligatoridae (jacarés e aligátors) e Gavialidae (gaviais). Esses grupos atuais refinaram características como a capacidade de regular a temperatura corporal por ectotermia, o que os torna predadores altamente eficientes. Diferente de seus antecessores terrestres e semi-erectos, os crocodilianos modernos possuem um corpo adaptado ao ambiente aquático, com olhos e narinas posicionados no topo da cabeça, facilitando a visualização e respiração enquanto permanecem submersos. Os crocodilos coronais se mantiveram morfologicamente estáveis nos últimos 80 milhões de anos. Essa estabilidade se deve em grande parte às adaptações especializadas para a caça de emboscada em ambientes aquáticos, ao sistema digestivo eficiente e à capacidade de passar longos períodos sem se alimentar.

4.2 - Dinossauros: Surgimento, Diversificação e Sucesso Evolutivo

4.2.1. A Origem dos Dinossauros: Gondwana e os Primeiros Fósseis

A origem dos dinossauros remonta ao período Triássico Médio, há aproximadamente 240 milhões de anos, e está estreitamente ligada ao supercontinente Gondwana, que incluía as atuais América do Sul, África, Antártica, Austrália e Índia. Esse supercontinente apresentava características geológicas e climáticas peculiares, com vastas áreas de planícies e regiões semiáridas, além de florestas e lagos, ambientes que foram essenciais para sustentar os primeiros dinossauros e permitir sua rápida expansão e diversificação.

Os primeiros fósseis de dinossauros foram descobertos em regiões como Argentina e Brasil, evidenciando que a origem desses répteis ocorreu na porção sul da América do Sul, uma área integrante de Gondwana. Entre os primeiros representantes estão os terópodes, carnívoros bípedes como o *Herrerasaurus*, e os sauropodomorfos, herbívoros quadrúpedes como o *Eoraptor*. Esses exemplares eram relativamente pequenos, medindo cerca de seis metros de comprimento, e exibiam características anatômicas exclusivas, como membros posteriores robustos e adaptações cranianas, que os diferenciavam dos répteis contemporâneos. Essas

formas primitivas demonstram uma das principais inovações evolutivas dos dinossauros: a postura ereta, que permitiu uma locomoção mais eficiente e uma maior capacidade de responder às demandas ambientais.

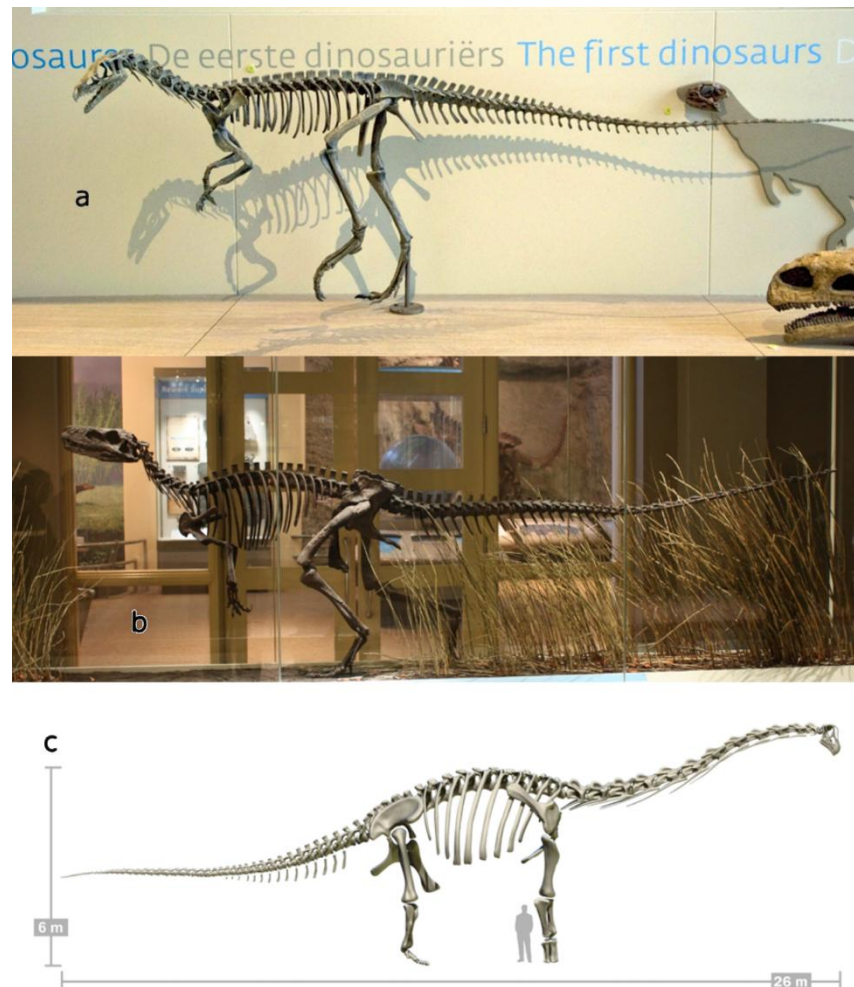


Figura 5 – Estas imagens demonstram exemplares de Herressaurideos e Sauropodomorfos. a) Reconstrução do esqueleto de *Eoraptor lunensis*. <https://fossil.fandom.com/wiki/Eoraptor?file=EoraptorBrussels.jpg> b) Reconstrução do esqueleto de *Herrerasaurus ischigualastensis*. <https://archosaurmusings.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/herr2.jpg> c) Reconstrução de esqueleto de *Uberabatitan ribeiroi*. <https://jornal.usp.br/ciencias/encontrado-em-minas-gerais-o-maior-dente-de-titanossauro-do-mundo/> Obs.: As imagens estão fora de escala.

Fósseis encontrados em Gondwana revelam que os primeiros dinossauros desenvolveram adaptações específicas que os beneficiaram na ocupação de novos espaços ecológicos. A postura ereta, associada a uma estrutura óssea leve mas robusta, indicava um alto potencial para movimentação ágil e sustentada, favorecendo a exploração de variados habitats

terrestres. Além disso, essas adaptações corporais sugerem um metabolismo elevado, um diferencial que permitiu aos dinossauros suportar diferentes condições climáticas e prosperar em ambientes variados. A evolução dos dinossauros foi marcada por um processo contínuo de adaptação e diversificação. Embora inicialmente fossem animais de pequeno porte, muitas linhagens evoluíram para formas gigantescas, como os icônicos sauropodomorfos. Possuidores de longos pescoços e caudas, eles desenvolveram estruturas esqueléticas especializadas para alcançar vegetação em árvores altas e pastar em áreas densamente vegetadas, o que os estabeleceu como herbívoros altamente eficientes e diversificados. Essa radiação evolutiva não foi abrupta, mas sim gradual e oportunista, aproveitando as condições criadas por eventos de extinção em massa que abriram novos espaços ecológicos e eliminaram competidores.

Um evento especialmente importante para a evolução do clado Dinosauria foi a extinção em massa no final do Permo-Triássico, que eliminou uma gama de sinápsidos dominantes e causou uma reorganização ecológica. A ausência desses competidores permitiu que os dinossauros ocupassem novos espaços ecológicos e estabelecessem predominância entre os vertebrados terrestres. Durante o Triássico Superior, os dinossauros expandiram-se rapidamente, diversificando-se e adaptando-se a uma ampla variedade de habitats e estilos de vida, o que culminou em seu estabelecimento como os principais vertebrados terrestres do período Mesozoico.

4.2.2. Dinossauros Saurísquios e Ornitísquios: Diferenças Morfológicas

Os dinossauros são tradicionalmente divididos em dois grandes grupos com base na estrutura da cintura pélvica: os saurísquios e os ornitísquios. Essa distinção morfológica, fundamentada na disposição dos ossos pélvicos, foi estabelecida por Harry Seeley no século XIX e permanece como base na classificação desses animais. A configuração distinta da cintura pélvica não apenas reflete variações anatômicas, mas também diferencia as adaptações funcionais desses grupos, que evoluíram para ocupar diferentes nichos ecológicos ao longo do Mesozoico.

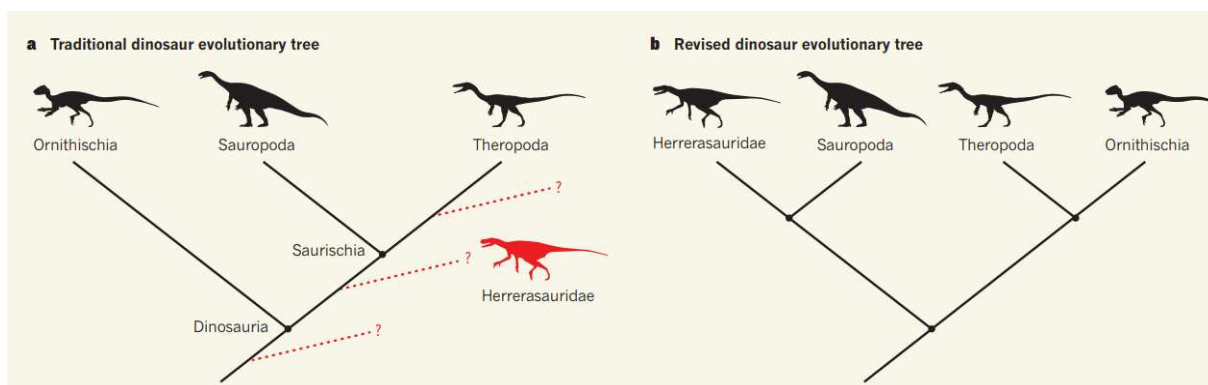


Figura 6 – Representação de um clássico cladograma que coloca os Sauropoda e Theropoda no ramo Saurischia. O grupo Herrerasauridae é potencialmente colocado como terópodes basais, saurísquios basais ou dinossauros basais. <https://www.newsweek.com/roundup-5-incredible-things-paleontologists-learned-about-dinosaurs-2017-760471>

Os saurísquios, cujo nome significa "quadril de lagarto", possuem um púbis orientado para a frente, uma disposição que lembra a dos répteis modernos, como lagartos e crocodilos. Esse grupo inclui dois subgrupos principais: os terópodes, que eram predominantemente carnívoros e bípedes, e os sauropodomorfos, herbívoros quadrúpedes conhecidos por seus longos pescoços e caudas. Os terópodes incluem alguns dos predadores mais icônicos da história, como o *Tyrannosaurus rex*, e os sauropodomorfos incluem gigantes como o *Diplodocus* e o *Brachiosaurus*, que estavam entre os maiores animais terrestres que já existiram. Uma característica evolutiva importante dos saurísquios, particularmente dos terópodes, é sua postura ereta, que permitiu uma locomoção ativa e rápida, beneficiando a caça e o deslocamento em grandes territórios. Além disso, pesquisas recentes indicam que alguns terópodes desenvolveram penas, sugerindo uma relação evolutiva com as aves modernas. Hoje se considera que as aves são descendentes diretas de terópodes, o que faz com que a linhagem dos saurísquios ainda tenha representantes vivos. Esse vínculo com as aves evidencia a complexidade e a longevidade evolutiva dos saurísquios.



Figura 7 – As imagens comparam os Terópodes e Saurópodes e suas posturas distintas. a) reconstrução do esqueleto de *Tyrannosaurus rex*.

<https://www.amnh.org/exhibitions/permanent/saurischian-dinosaurs/tyrannosaurus-rex> b) Representação do esqueleto de *Diplodocus Longus*.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Diplodocus_longus_Denver_12.jpg Obs.: as imagens estão fora de escala.

Os ornitísquios, ou "quadril de pássaro", exibem uma estrutura pélvica em que o púbis é voltado para trás, paralelo ao ísquio, uma disposição que lembra a das aves modernas. Contudo, ao contrário das aves, os ornitísquios eram exclusivamente herbívoros e apresentavam uma grande diversidade de formas, desde dinossauros bípedes até quadrúpedes fortemente armados. Esse grupo inclui dinossauros como os estegossauros, com placas dorsais características; os anquilossauros, equipados com armaduras corporais e caudas com clavas; os hadrossauros, ou "dinossauros de bico de pato", adaptados para pastar em grandes rebanhos; e os ceratopsianos, como o Triceratops, que possuíam crânios ornamentados com chifres e colares ósseos.

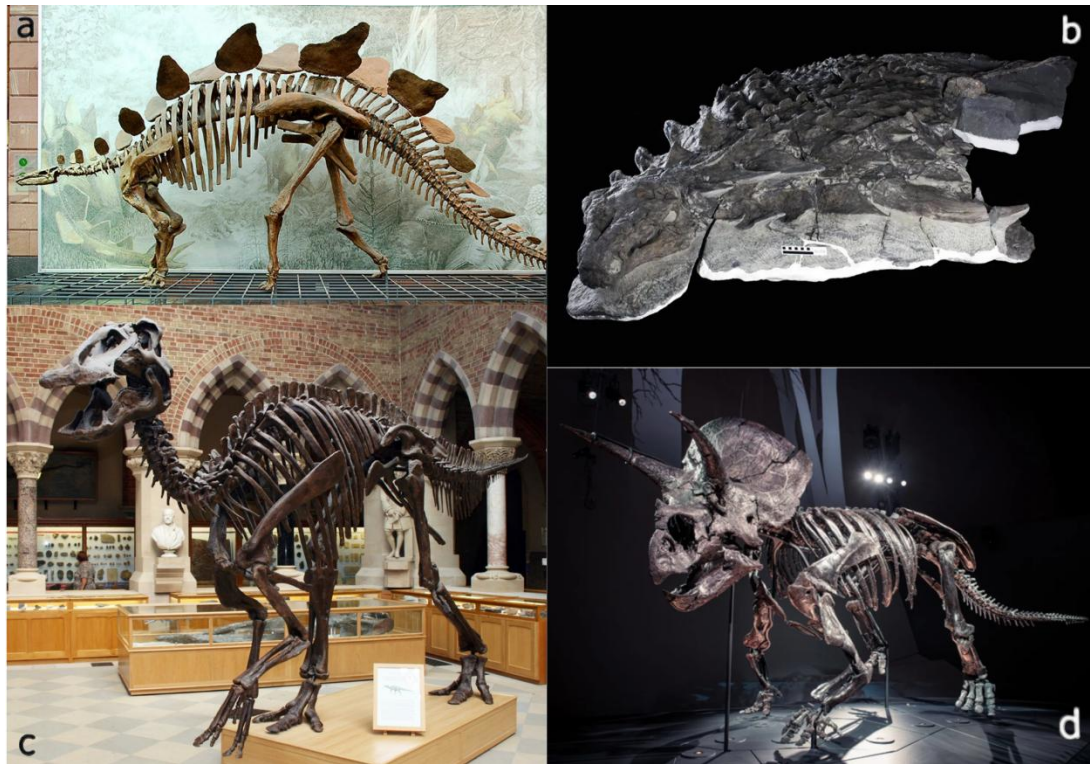


Figura 8 – As imagens representam quatro exemplares do grupo Ornithischia. a) Representação de esqueleto de *Bashanosaurus primitivus*. <https://www.notibras.com/site/nova-especie-de-estegossauro-e-descoberta-na-asia/> b) Fóssil excepcionalmente preservado de *Borealopelta markmitchelli*. c) Reconstrução de esqueleto de *Edmontosaurus annectens*. https://pt.wikipedia.org/wiki/Hadrosauridae#/media/Ficheiro:Oxford_Edmontosaurus.jpg d) Reconstrução de esqueleto de *Triceratops horridus*. <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/conheca-horridus-um-dos-fosseis-de-triceratops-mais-completos-do-mundo/> Obs.: As imagens não estão em escala.

Uma das principais diferenças entre esses grupos é a adaptação funcional da pélvis. Nos saurísquios, a pélvis era ideal para uma locomoção rápida e ativa, especialmente nos terópodes

predadores, que caçavam suas presas. Já nos ornitísquios, a pélvis voltada para trás proporcionava maior espaço para o trato digestivo, facilitando a digestão de grandes quantidades de plantas fibrosas. Essa adaptação foi importante para a sobrevivência dos ornitísquios em ambientes variados, permitindo-lhes explorar uma ampla gama de dietas herbívoras. Além do quadril especializado, muitos ornitísquios desenvolveram outras adaptações, como armaduras corporais, caudas com clavas e bicos cortantes para alimentação em plantas duras. Tais especializações diferenciam-nos dos saurísquios herbívoros, como os sauropodomorfos, que eram geralmente maiores e especializados em se alimentar de vegetação alta e em acessar folhas inacessíveis a outros herbívoros.

4.2.3. Terópodes e Sauropodomorfos: Diversificação e Estratégias de Locomoção

Os terópodes e os sauropodomorfos são dois dos subgrupos mais importantes de dinossauros saurísquios, cada qual com características próprias e estratégias de locomoção que lhes permitiram ocupar diferentes espaços ecológicos ao longo do Mesozoico. Os terópodes foram grandes carnívoros terrestres e se diversificaram amplamente em resposta a diferentes pressões ambientais e oportunidades de caça. Os primeiros terópodes surgiram no final do Triássico e, geralmente, eram predadores de pequeno porte, com menos de dois metros de comprimento. Um dos mais antigos e bem conhecidos, *Coelophysis*, foi encontrado no sudoeste dos Estados Unidos, exemplificando a diversificação inicial dos terópodes. Com a extinção em massa no final do Triássico, os terópodes continuaram a evoluir e se diversificar, alcançando tamanhos maiores e explorando uma variedade de estratégias predatórias, desde emboscadas a caçadas ativas.



Figura 9 – Fossil de *Coelophysis* do Triássico superior. <https://www.meisterdrucke.pt/impressoes-artisticas-sofisticadas/Prehistoric-Prehistoric/947679/Pré-história:-fóssil-do-dinossauro-Coelophysis.-Período-do-Triássico-Superior.-Museo-civico-di-storia-naturale,-Milão.html>

Caracterizados por uma postura bípede, os terópodes tinham membros posteriores longos e robustos, adaptados para uma locomoção ágil e rápida, o que lhes conferia uma grande vantagem na caça de presas. Esse bipedalismo permitia que seus membros anteriores fossem utilizados para capturar ou manipular alimentos. Entre os terópodes mais icônicos está o *Tyrannosaurus rex*, famoso por seu tamanho e força, mas a diversidade desse grupo é imensa, incluindo espécies variadas em tamanho e forma, como o pequeno e ágil *Velociraptor* e o *Spinosaurus*, que era adaptado para ambientes aquáticos. Recentemente, fósseis de terópodes têm revelado que muitos desenvolveram penas e estruturas semelhantes às das aves modernas, como sacos aéreos, ossos pneumatizados, sugerindo uma relação evolutiva direta com as aves e indicando que esse grupo conseguiu explorar uma ampla gama de ambientes, desde florestas até zonas costeiras.

Os sauropodomorfos, por outro lado, eram herbívoros, no seu princípio bípedes e posteriormente quadrúpedes, que evoluíram para suportar corpos massivos, com longos pescoços e caudas, adaptações que lhes permitiram acessar fontes de alimento em alturas elevadas e em extensas áreas de vegetação. A locomoção quadrúpede desses animais era sustentada por membros robustos, especialmente adaptados para suportar o peso colossal de seus corpos. Exemplos icônicos de sauropodomorfos incluem o *Diplodocus* e o *Brachiosaurus*,

ambos conhecidos pelo tamanho imenso e pela postura altamente eficiente para alcançar vegetação elevada. Entre os primeiros representantes do grupo estavam os *Plateosauridae*, dinossauros herbívoros menores que podiam alternar entre posturas bípedes e quadrúpedes. O *Plateosaurus*, um dos prossaurópodes mais conhecidos do final do Triássico, podia atingir até 10 metros de comprimento e representava um grau evolutivo importante na transição para os saurópodes de grande porte.



Figura 10 - Reconstrução do esqueleto de *Plateosaurus trossingensis* do grupo dos prossaurópodes.
https://en.wikipedia.org/wiki/Plateosaurus#/media/File:Plateosaurus_Skelett_2.jpg

Com o tempo, os prossaurópodes foram gradualmente substituídos pelos saurópodes, que desenvolveram uma postura completamente quadrúpede e atingiram tamanhos gigantescos, como exemplificado pelo *Isanosaurus*, um dos saurópodes primitivos que podia alcançar entre 12 e 15 metros de comprimento. A locomoção dos sauropodomorfos estava intimamente ligada à sua dieta herbívora; o longo pescoço permitia que se alimentassem de grandes volumes de vegetação sem a necessidade de movimentar seus corpos pesados constantemente. Essa especialização também contribuiu para a eficiência energética, já que a alimentação a partir de uma posição estável minimizava o gasto de energia. A estrutura dos membros, aliada à longa cauda, proporcionava equilíbrio e uma locomoção relativamente eficiente, apesar do tamanho colossal, o que permitiu aos sauropodomorfos prosperar em uma grande variedade de ambientes terrestres.

uma produção constante de energia para sustentar o metabolismo elevado. Além disso, a postura ereta e o porte robusto do Plateosaurus indicam uma locomoção eficiente e uma melhor oxigenação corporal, fatores que favorecem uma alta taxa metabólica, essencial para a manutenção de uma temperatura constante e para o suporte de atividades intensas. O desenvolvimento da endotermia em dinossauros herbívoros, como o Plateosaurus, também foi um fator para sua expansão em diferentes tipos de habitat. A capacidade de permanecer ativo em climas mais frios e de sustentar uma digestão mais eficaz permitiu que os sauropodomorfos colonizassem novas regiões e aproveitassem uma variedade de fontes alimentares. Isso foi especialmente importante na medida em que esses dinossauros se estabeleceram como um dos grupos mais diversificados e bem-sucedidos do Mesozoico, dominando ecossistemas de diferentes climas e formas de vegetação.

4.2.5. A Radiação dos Dinossauros: Extinção e Oportunidade no Final do Triássico

A radiação dos dinossauros, ou seja, sua diversificação e expansão para uma gama de espaços ecológicos, foi amplamente impulsionada pelas oportunidades surgidas após os eventos de extinção em massa no final do Triássico. Esses eventos eliminaram muitos dos principais competidores dos dinossauros, permitindo que eles predominassem nos ecossistemas terrestres dos períodos Jurássico e Cretáceo. No final do Triássico, os ecossistemas terrestres eram ocupados por uma diversidade de tetrápodes, incluindo sinápsidos e crurotarsanos, além de grandes anfíbios temnospôndilos e fitossauros, que se destacavam em ambientes aquáticos. Houve duas fases de extinção em massa: a primeira ocorreu no final do Triássico Médio, cerca de 234 milhões de anos atrás, e a segunda no final do Triássico, há aproximadamente 201 milhões de anos. Essas extinções eliminaram diversos grupos, em especial os fitossauros e temnospôndilos, liberando espaços que os dinossauros rapidamente ocuparam. A extinção dos crurotarsanos, que eram grandes predadores terrestres, permitiu que os dinossauros carnívoros, como os terópodes, explorassem novos territórios e aumentassem sua diversidade e tamanho. Os dinossauros, que já haviam surgido como pequenos animais bípedes no Triássico Médio, eram inicialmente limitados em termos de diversidade e abundância. Porém, com a eliminação de grandes tetrápodes herbívoros e predadores crurotarsanos, os dinossauros encontraram a oportunidade para expandir-se. Esse processo de radiação não ocorreu de forma repentina, mas sim gradual e oportunista. Dinossauros como os terópodes, que eram predominantemente carnívoros, e os sauropodomorfos, herbívoros de grande porte, começaram a ocupar nichos

anteriormente dominados por outros arcossauros, ampliando sua diversidade e especialização ao longo do início do Jurássico.

ERA (OR EON)	SYSTEM (OR PERIOD, SUBSYSTEM (OR SUBPERIOD))		SERIES (OR EPOCH)	Age estimates of boundaries, in mega-annum (Ma)
Cenozoic (Cz)	Quaternary (Q)		Holocene	0.0117
			Pleistocene	2.58
	Tertiary (T)	Neogene (N)	Pliocene	5.33
			Miocene	23.03
		Palaeogene (P)	Oligocene	33.9
			Eocene	56.0
			Paleocene	66.0
	Mesozoic (Mz)	Cretaceous (K)		Upper / Late
Lower / Early				~145
Jurassic (J)			Upper / Late	161.5±1.0
			Middle	174.7±0.8
			Lower / Early	201.4±0.2
			Triassic (Tr)	
Middle		247.2		
Lower / Early		251.9±0.7		

Figura 12 - Tabela atualizada das divisões do tempo geológico, com base no Comitê de Nomes Geológicos do USGS (2018) e na Comissão Internacional de Estratigrafia (2022). A tabela mostra as principais unidades cronoestratigráficas e geocronológicas aprovadas pelo USGS e seus limites de idade. As alturas das caixas refletem a duração relativa dos períodos, com escalas ajustadas para alguns intervalos (ex.: o Quaternário é muito mais curto que o Terciário). Os símbolos de idade estratigráfica, aprovados como padrão federal, são exibidos entre parênteses.

Além da eliminação dos competidores, a mudança climática associada às extinções do final do Triássico também favoreceu os dinossauros. O início do Jurássico foi marcado por condições mais áridas, uma característica ambiental que beneficiou os dinossauros devido a suas adaptações fisiológicas. Essas adaptações, como uma pele mais impermeável que reduz a perda de água e a produção de urina semilíquida, tornavam-nos mais aptos a sobreviver em ambientes secos em comparação com os primeiros mamíferos, que eram mais suscetíveis à desidratação. A habilidade dos dinossauros de suportar climas secos e variados foi importante para que eles assumissem um papel dominante em uma ampla variedade de ecossistemas terrestres. Ou seja, a radiação dos dinossauros foi o resultado de uma combinação de extinções em massa, mudanças ambientais significativas e a notável capacidade de adaptação dos dinossauros a essas novas condições.

4.3 Aves: Os Descendentes Vivos dos Dinossauros

4.3.1 O Surgimento das Aves: De Dinossauros Terópodes a Archaeopteryx

As aves modernas são os descendentes da linhagem dos dinossauros terópodes, um grupo de dinossauros carnívoros que incluiu famosos predadores como o *Tyrannosaurus rex* e o *Velociraptor*. O surgimento das aves foi um dos momentos mais interessantes na evolução dos vertebrados, marcando uma transição de dinossauros terrestres para animais voadores. Essa transformação ocorreu de maneira gradual, iniciando-se com modificações nos terópodes, como o desenvolvimento de penas e mudanças anatômicas nas extremidades, adaptações que eventualmente culminaram na evolução das aves e em sua habilidade de voo. Os primeiros terópodes com características que prenunciavam o voo surgiram durante o Jurássico, quando começaram a desenvolver penas semelhantes as observadas atualmente. As penas podem ter surgido como uma adaptação para o isolamento térmico, ajudando esses dinossauros a regular a temperatura corporal. No entanto, as penas também desempenhavam um papel importante na exibição, sendo possivelmente coloridas e utilizadas para atrair parceiros, o que implica uma visão bem desenvolvida e uma percepção de cores nesses animais, adaptando-os não apenas ao voo, mas também a uma comunicação visual complexa.

O *Archaeopteryx* destaca-se como um fóssil icônico e frequentemente citado como elo evolutivo entre dinossauros e aves. Este animal viveu há aproximadamente 150 milhões de anos, no Jurássico Superior, e exibe uma combinação notável de características de ambos os grupos. Embora possuísse penas e asas, típicas das aves, o *Archaeopteryx* ainda mantinha diversas características de dinossauros terópodes, como dentes afiados, garras funcionais nas asas e uma longa cauda óssea formada por várias vértebras. Essas características indicam que o *Archaeopteryx* era um intermediário evolutivo, reunindo tanto sinapomorfias, ou seja, características compartilhadas e derivadas que o aproximam do grupo das aves modernas, quanto características plesiomórficas, traços ancestrais presentes nos dinossauros. Por essa combinação única de características, o *Archaeopteryx* se tornou um dos fósseis de transição mais emblemáticos, evidenciando as etapas graduais na aquisição de adaptações essenciais para o voo ativo, como a estrutura das penas e o desenvolvimento de membros superiores adaptados para a locomoção aérea.

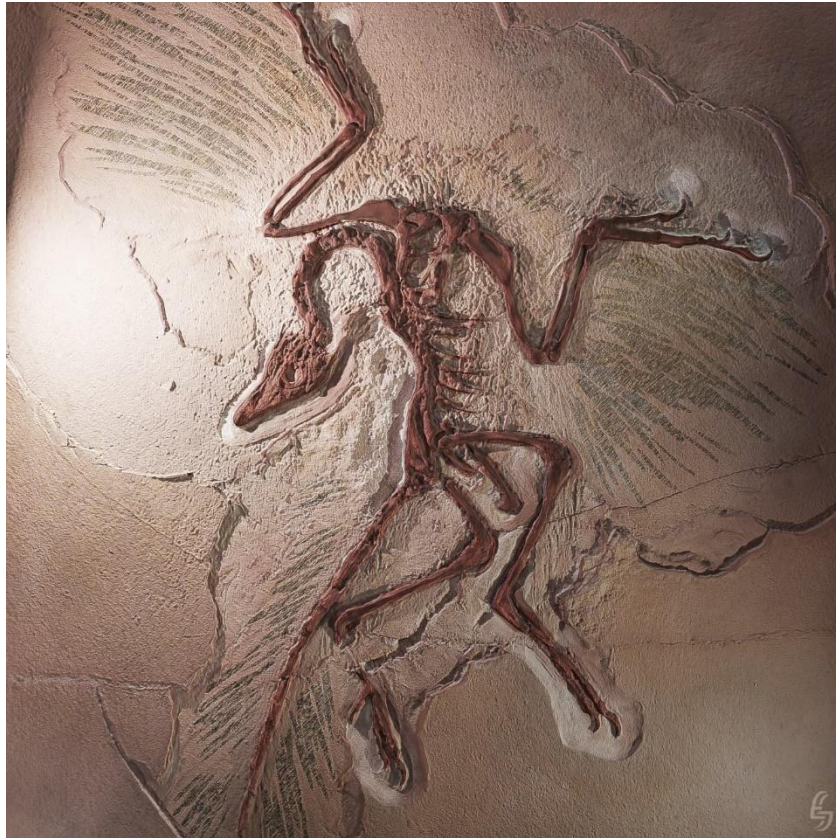


Figura 13 – Reconstrução digital em 3D do fóssil de *Archaeopteryx lithographica* a partir de duas fotos do fóssil original e utilizando de edição, deslocamento, e ferramentas de escultura texturizado no photoshop. <https://blenderartists.org/t/archaeopteryx-fossil-it-took-150-million-years-to-render/1322468>

O *Archaeopteryx* e outros fósseis descobertos mais recentemente fornecem evidências sólidas de que as aves evoluíram gradualmente a partir de pequenos terópodes, com adaptações progressivas no esqueleto, especialmente nas cinturas escapular e pélvica, e um sistema respiratório especializado com sacos aéreos. Essa estrutura respiratória permitiu uma ventilação eficiente, essencial para um alto metabolismo e a atividade intensa exigida pelo voo. À medida que as penas se tornaram mais complexas e versáteis, esses dinossauros terópodes puderam explorar novos nichos, contribuindo para a radiação adaptativa das aves durante o Cretáceo. O surgimento das aves representa um exemplo de evolução em mosaico e adaptação a novos modos de vida. O *Archaeopteryx*, com sua mistura de características de dinossauros e aves, marca um ponto crucial nessa transição, evidenciando como os dinossauros terópodes deram origem a um dos grupos de vertebrados de maior diversidade da atualidade: as aves.

4.3.2. A Hipótese de Evolução do Voo: "De Cima para Baixo" ou "De Baixo para Cima"?

A evolução do voo nas aves é um dos temas mais debatidos na paleontologia, com duas principais hipóteses que tentam explicar como essa capacidade surgiu nos descendentes dos dinossauros terópodes. Essas hipóteses, conhecidas como “de cima para baixo” e “de baixo para cima”, buscam esclarecer de que maneira as adaptações necessárias para o voo surgiram a partir de dinossauros originalmente terrestres.

A hipótese “de cima para baixo” sugere que o voo evoluiu a partir de dinossauros terópodes arborícolas, ou seja, que viviam em árvores. Segundo essa teoria, esses dinossauros usavam suas penas inicialmente para planar de galho em galho, aproveitando o impulso da gravidade para se locomover e escapar de predadores ou capturar presas. Com o tempo, à medida que as penas se tornavam maiores e mais aerodinâmicas, esses dinossauros desenvolveram a capacidade de voar ativamente. Fósseis como o Microraptor, um pequeno dinossauro terópode que possuía penas longas nos membros anteriores e posteriores, apoiam essa hipótese. O Microraptor poderia usar suas quatro asas para planar eficientemente entre as árvores, sugerindo que o voo motorizado pode ter sido precedido por adaptações de planeio. A hipótese “de baixo para cima” propõe que o voo evoluiu a partir de dinossauros terrestres que utilizavam suas penas para outras funções, como capturar presas ou realizar saltos durante a caça. De acordo com essa teoria, as penas inicialmente estabilizavam o corpo e aumentavam a agilidade durante a corrida ou em saltos, permitindo saltos mais altos ou longos ao perseguir presas. Com o tempo, as penas e músculos ligados ao esterno teriam evoluído para formar asas capazes de gerar força suficiente para o voo. A hipótese sugere que o voo começou no solo, com os dinossauros correndo e batendo as asas para criar sustentação, o que, com o avanço da seleção natural, levou ao desenvolvimento do voo ativo.

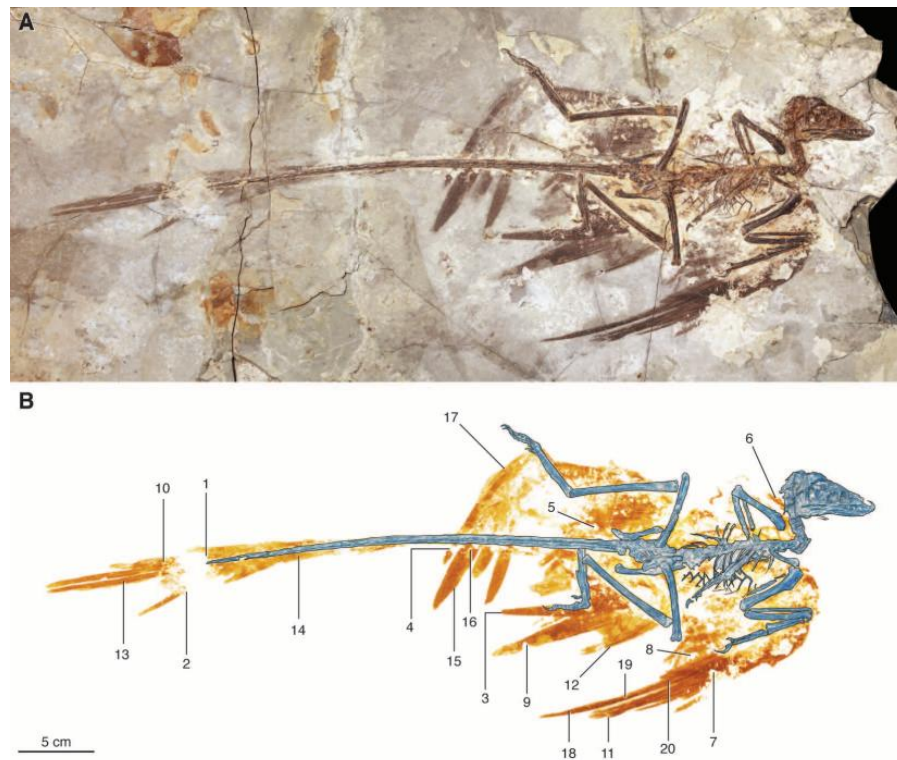


Figura 14- Espécime de *Microraptor* BMNH PH881. (A) Imagem fotográfica e (B) imagem com código de cores (cinza-azulado, osso; laranja, penas). https://www.researchgate.net/figure/Microraptor-specimen-BMNH-PH881-A-Photographic-image-and-B-color-coded-image_fig1_221689269

Embora ambas as hipóteses tenham argumentos sólidos, a descoberta de fósseis como o *Microraptor*, que apresenta adaptações de planeio e voo, oferece maior suporte à hipótese “de cima para baixo”. O *Microraptor* possuía penas longas nos membros anteriores e posteriores, o que dificultaria sua locomoção no solo, indicando um estilo de vida mais arborícola. A estrutura de suas asas e suas adaptações anatômicas favoreciam o planeio, o que reforça a ideia de que o voo pode ter surgido como uma adaptação ao ambiente arborícola. Independentemente de qual hipótese seja mais parcimoniosa, é evidente que as penas, originalmente desenvolvidas para funções como isolamento térmico ou exibição visual, desempenharam um papel na evolução do voo. A capacidade de adaptar estruturas pré-existentes para novas funções é um exemplo clássico de "exaptação" na evolução, permitindo que essas adaptações iniciais fossem cooptadas para o voo e abrissem novas possibilidades evolutivas para os ancestrais das aves. Assim, a evolução do voo provavelmente envolveu uma combinação de fatores ambientais e comportamentais, com o ambiente terrestre e arborícola desempenhando papéis nesse processo.

4.3.3. Diversificação das Aves no Cretáceo: Enantiornithes e Ornithurae

Durante o Cretáceo, as aves passaram por uma diversificação significativa, resultando no surgimento de dois grandes grupos: os Enantiornithes e os Ornithurae. Essas linhagens representaram os principais grupos de aves primitivas que coexistiram e se diversificaram amplamente antes da extinção em massa do final do Cretáceo, moldando o futuro das aves modernas. Os Enantiornithes, cujo nome significa "pássaros opostos", foram um dos grupos de aves mais bem-sucedidos durante o Cretáceo. O nome reflete uma característica em sua anatomia: a articulação côncava-convexa inversa dos ossos do ombro, em relação àquela encontrada nas aves modernas. Essa configuração oferecia uma manobrabilidade aprimorada no voo, essencial para explorar ambientes variados. Os Enantiornithes apresentavam uma ampla variedade de tamanhos, desde espécies do tamanho de pequenos pássaros até aquelas com envergaduras de até 12 metros, como o *Avisaurus*. Apesar de seu sucesso evolutivo, a maioria dos Enantiornithes mantinha traços primitivos (ou plesiomórficos), como a presença de dentes, sugerindo que a perda dos dentes nas aves ocorreu independentemente em diferentes linhagens. Mesmo com características ancestrais, os Enantiornithes introduziram inovações importantes, como as alulas – um pequeno conjunto de penas no primeiro dedo das asas, que permitia maior controle no voo, principalmente em manobras e pousos precisos. Essa estrutura, presente em todas as aves modernas, indica que os Enantiornithes foram pioneiros no desenvolvimento de mecanismos avançados de voo.



Figura 15 – Fossil de *Liaoningornis longidigitris*. https://dinodata.de/animals/family_pages/enantiornithes.php

Os Ornithurae formaram o grupo que daria origem às aves modernas. Além das espécies que sobreviveriam à extinção do Cretáceo, os Ornithurae incluíam duas ordens extintas: os Hesperornithiformes e os Ichthyornithiformes. Os Hesperornithiformes eram aves adaptadas ao ambiente aquático que, embora incapazes de voar, eram mergulhadores ágeis, usando os pés para a propulsão, de modo semelhante aos pinguins modernos. Essas aves, que podiam atingir até um metro de comprimento, eram piscívoras e capturavam peixes com seus dentes pontiagudos. Os Ichthyornithiformes, por outro lado, eram aves marinhas voadoras com uma aparência que lembrava as gaivotas modernas, mas que ainda possuíam dentes. Essas aves eram caçadoras habilidosas, utilizando suas asas para planar sobre o oceano e capturar presas na superfície da água. As linhagens de Enantiornithes e Ornithurae, juntas, dominavam os céus e os ambientes aquáticos durante o Cretáceo, exibindo uma notável variedade de formas e adaptações.

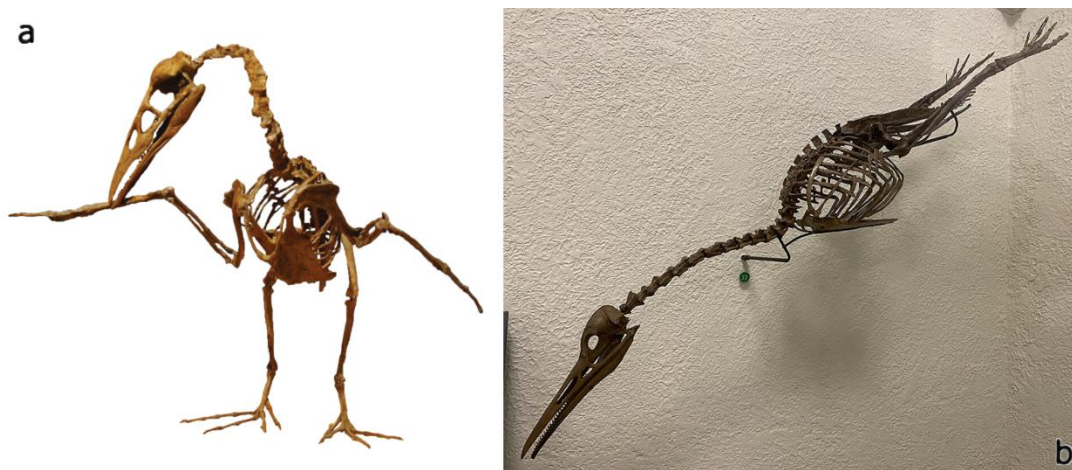


Figura 16 – a) Reconstrução de esqueleto de *Ichthyornis dispar*. https://en.wikipedia.org/wiki/Ichthyornithes#/media/File:Ichthyornis_Clean.png b) Resconstrução de esqueleto de *Hesperornis regalis*. https://en.wikipedia.org/wiki/Hesperornis#/media/File:Hesperornis_at_AMNH.jpg Obs.: as imagens não estão em escala

No final do Cretáceo, a extinção em massa que também eliminou os dinossauros não avianos levou ao desaparecimento dos Enantiornithes, dos Hesperornithiformes e dos Ichthyornithiformes. Apenas as aves pertencentes aos Ornithurae sobreviveram, dando origem às aves modernas. A extinção dos Enantiornithes e de outras linhagens de aves primitivas foi um marco na evolução das aves, pois abriu caminho para a radiação adaptativa e a diversificação das aves modernas no Paleógeno. Com a liberação de espaços ecológicos e a ausência de competidores como os dinossauros e as aves primitivas, as aves modernas

floresceram e diversificaram-se, evoluindo para ocupar praticamente todos os tipos de habitat disponíveis, dos mares abertos às florestas e regiões árticas. A extinção do Cretáceo-Paleógeno, portanto, não só determinou o fim de várias linhagens de aves primitivas, mas também lançou as bases para a impressionante diversidade das aves atuais, fazendo do Paleógeno uma era de expansão e inovação para a avifauna terrestre.

4.3.4. Aves Modernas: O Clado dos Ornithurae

Os Ornithurae constituem o clado que abrange as aves modernas e seus ancestrais mais próximos, sendo o último grande grupo de aves a surgir durante o Mesozoico. A evolução dos Ornithurae representou um passo crucial na transição dos dinossauros terópodes para os pássaros modernos, formando uma linhagem de vertebrados altamente adaptável que sobreviveu à extinção em massa do final do Cretáceo e continua a prosperar até os dias atuais.

Uma das principais características que distingue os Ornithurae das aves primitivas, como os Enantiornithes, é a perda gradual de traços dinossaurianos, como os dentes e as garras nas asas. Os Ornithurae desenvolveram um esqueleto mais leve, com ossos pneumáticos (ocos), um bico adaptado a variados tipos de alimentação e uma cauda reduzida, consolidada em uma estrutura conhecida como pigóstilo. Essas modificações foram essenciais para o sucesso dos Ornithurae, pois possibilitaram maior eficiência no voo, facilitando a exploração de uma vasta gama de nichos ecológicos e adaptando-se a diferentes tipos de dieta, habitats e estilos de vida. Com a extinção em massa no final do Cretáceo, causada por eventos como a queda de um asteroide e erupções vulcânicas intensas, os Ornithurae foram o único grupo de aves a sobreviver, enquanto linhagens primitivas como os Enantiornithes, Hesperornithiformes e Ichthyornithiformes desapareceram.

A sobrevivência dos Ornithurae pode ter sido facilitada por sua versatilidade e capacidade de adaptação, que lhes permitiu sobreviver às mudanças climáticas e ecológicas pós-extinção. Sua dieta variada e a habilidade de se adaptar a ambientes menos afetados pelas mudanças catastróficas foram fatores cruciais para sua resiliência. Com o início do Paleógeno, os Ornithurae se diversificaram rapidamente, ocupando nichos deixados vagos pelas espécies extintas e dando origem a muitas linhagens das aves modernas. Com quase 10.000 espécies vivas, os descendentes dos Ornithurae formam um dos grupos de vertebrados mais diversos e

amplamente distribuídos do planeta. Essa evolução representa um exemplo de adaptabilidade e inovação evolutiva, que possibilitou a sobrevivência e prosperidade dos Ornithurae após a extinção em massa.

4.3.5. A Evolução das Tartarugas: Morfologia Única e Debate Filogenético

As tartarugas representam um dos grupos mais enigmáticos de amniotas, com uma morfologia única que as distingue de todos os outros vertebrados. O traço mais característico das tartarugas é o seu casco, uma estrutura composta pelo plastrão ventral (parte inferior) e a carapaça dorsal, fundida às costelas – uma adaptação sem paralelo em outros amniotas. Esse design corporal especializado levanta questões significativas sobre a origem evolutiva das tartarugas e sua posição filogenética. A estrutura corporal das tartarugas é notavelmente distinta, especialmente pela posição interna da escápula, que, ao contrário da maioria dos vertebrados, está localizada dentro da caixa torácica. Essa posição é resultado de uma reorganização esquelética extrema, onde as costelas se fundem à carapaça, formando uma proteção rígida ao redor do corpo. Essa configuração morfológica é visível em fósseis como o *Proganochelys*, uma das tartarugas mais antigas, datada do período Triássico. Esse fóssil já apresenta a carapaça bem desenvolvida, mas ainda não possuía a capacidade moderna de retrair a cabeça sob a carapaça, indicando uma evolução gradual das características típicas das tartarugas.



Figura 17 – Reconstrução do esqueleto de *Proganochelys quenstedti*.
https://pt.wikipedia.org/wiki/Proganochelys#/media/Ficheiro:Proganochelys_Quenstedti.jpg

A origem exata dessa morfologia única continua a ser amplamente debatida. A principal questão envolve o processo evolutivo da carapaça e como ela foi integrada ao esqueleto. Fósseis como o *Chinlechelys*, encontrados no Novo México, mostram que a carapaça dorsal ainda não estava totalmente fundida às costelas, sugerindo que a carapaça evoluiu a partir de uma fusão gradual de ossos dérmicos que cobriam o corpo dos ancestrais das tartarugas. Em contrapartida, o fóssil de *Odontochelys* (Figua 18), descoberto na China, exibe um plastrão ventral completo, enquanto a carapaça dorsal é parcialmente formada. Essa combinação sugere que o plastrão pode ter surgido primeiro como uma estrutura de defesa, com a carapaça dorsal evoluindo de maneira diferente e possivelmente adaptada para a proteção contra predadores ou para suportar pressões ambientais específicas.

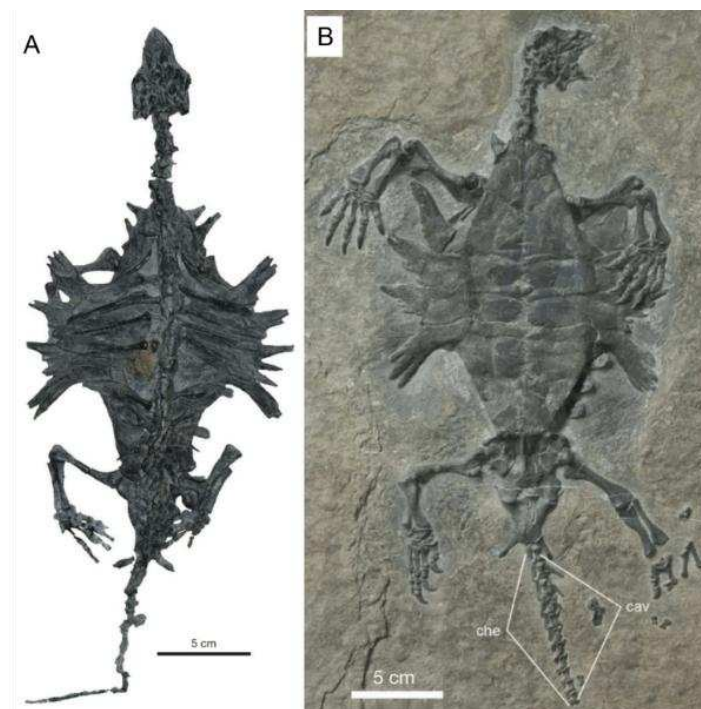


Figura 18 – Fósseis de *Odontochelys semitestacea* em vista dorsal e ventral, respectivamente. A) Holótipo. B) Parátipo. <https://www.darwinsdoor.co.uk/prehistoricplanet/the-evolution-of-turtles-and-their-shells.html>

Outro ponto de debate na filogenia das tartarugas é sua relação com outros grupos de amniotas. Estudos fósseis e moleculares apresentaram evidências conflitantes. Algumas hipóteses filogenéticas, baseadas em dados genéticos e características morfológicas de fósseis, posicionam as tartarugas como diápsidos, relacionadas a lagartos, crocodilos e aves, sugerindo que elas compartilham um ancestral comum com esses grupos. Outras hipóteses, por sua vez, defendem que as tartarugas são anapsídeos, descendentes de linhagens mais primitivas de

tetrápodes, como os pareiassauros (Figura 19), devido à falta de aberturas temporais no crânio. As descobertas recentes de fósseis aquáticos, como *Odontochelys*, e terrestres, como *Chinlechelys*, adicionam complexidade a essa discussão, sugerindo que as tartarugas podem ter evoluído inicialmente em ambientes aquáticos, mas que suas adaptações permitiram a colonização de ambientes variados.



Figura 18 – Reconstrução do esqueleto de *Scutosaurus karpinskii*, um pareiassauo. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Pareiasauria#/media/Ficheiro:Scutosaurus.jpg>

Essa complexidade no entendimento da evolução das tartarugas torna esse grupo um dos mais intrigantes temas na paleontologia. Embora grandes avanços tenham sido alcançados nas últimas décadas, muitas questões sobre a origem, adaptação e desenvolvimento das tartarugas permanecem em debate. Estudos genéticos modernos, aliados às novas descobertas fósseis, continuam a moldar e desafiar nosso conhecimento sobre a trajetória evolutiva das tartarugas, destacando a importância de futuras pesquisas para esclarecer a história desse grupo de amniotas altamente especializado.

4.3.6. Pterossauros: Os Primeiros Animais Alados

Os pterossauros foram os primeiros vertebrados a desenvolver a capacidade de voo ativo, surgindo no final do Triássico, há cerca de 228 milhões de anos. Embora muitas vezes confundidos com dinossauros, os pterossauros pertenciam ao grupo dos arcossauros, que

também inclui os dinossauros e crocodilos, mas não eram dinossauros. A adaptação ao voo representou uma inovação evolutiva significativa, permitindo que esses animais explorassem o espaço aéreo e se diversificassem durante o Mesozoico, inaugurando a ocupação dos céus em uma era dominada por répteis terrestres e marinhos.

A característica mais marcante dos pterossauros era sua asa, sustentada principalmente por um único dedo extremamente alongado, o quarto dedo da mão. Essa asa era formada por uma membrana de pele e músculos, que se estendia do quarto dedo até o corpo e, em algumas espécies, alcançava as patas traseiras, conferindo grande envergadura e um excelente controle aerodinâmico. Além disso, os pterossauros possuíam uma estrutura óssea exclusiva, o pteróide, ligado ao pulso e responsável por sustentar uma membrana adicional, o propatágio, entre o punho e o ombro. Essa estrutura dava mais estabilidade durante o voo, tornando-os voadores eficientes e adaptáveis a uma variedade de condições de voo.

Os primeiros pterossauros do Triássico eram relativamente pequenos, com envergaduras que não ultrapassavam 1 metro. No entanto, ao longo do Jurássico e Cretáceo, esse grupo experimentou uma notável diversificação e aumento de tamanho. Espécies gigantes como o *Quetzalcoatlus*, que possuía envergaduras superiores a 15 metros, exemplificam a impressionante variedade de tamanhos e formas dos pterossauros. Essa diversidade permitiu que eles ocupassem nichos ecológicos variados, desde pequenos caçadores de insetos até grandes planadores e predadores aquáticos, que se alimentavam de peixes e outras presas aquáticas. Apesar de sua adaptação extraordinária ao voo, os fósseis de pterossauros são relativamente raros devido à sua estrutura óssea oca e leve. Essa característica era essencial para o voo eficiente, pois reduzia o peso corporal, mas também tornava seus ossos mais frágeis e menos propensos à fossilização. Evidências indicam que os primeiros pterossauros eram animais de vida arbórea, possivelmente utilizando suas asas inicialmente para planar de árvore em árvore, antes de desenvolverem um voo ativo. Esse comportamento sugere uma evolução gradual do voo, em que a seleção natural favoreceu adaptações progressivas para o domínio dos céus.



Figura 19 – Reconstruções de *Quetzalcoatlus northropi*. a) Reconstrução do esqueleto. <https://ncsciencetrail.org/science-blog/encounter-quetzalcoatlus-at-the-schiele-museum/> b) Palearte em escultura. <https://blog.xcaret.com/en/quetzalcoatlus-pterodactyl/> Obs.: as imagens não estão em escala

O surgimento dos pterossauros teve implicações evolutivas importantes para outros vertebrados voadores, como as aves, que só surgiriam muito mais tarde, no Jurássico. A diversificação dos pterossauros pode ter criado pressões evolutivas que incentivaram o desenvolvimento de diferentes estratégias de voo entre os vertebrados. Isso contribuiu para a radiação adaptativa das aves e para o surgimento de métodos de voo distintos, como o uso de penas e ossos pneumáticos, também observados nos pterossauros, adaptando-se a diferentes ambientes e necessidades ecológicas. Os pterossauros continuaram a dominar os céus até o final do Cretáceo, quando desapareceram durante a extinção em massa do Cretáceo-Paleógeno, junto com os dinossauros não-avianos.

4.4 - As Extinções em Massa e Seus Efeitos no Mesozóico

4.4.1. A Extinção em Massa do Triássico: Consequências para os Amniotas

A extinção em massa do final do Triássico, ocorrida há aproximadamente 201 milhões de anos, foi um dos eventos mais importantes na história evolutiva dos amniotas, pois abriu caminho para a ascensão dos dinossauros e de outros grupos que viriam a dominar o Mesozoico.

Esse evento marcou a transição entre o Triássico e o Jurássico, eliminando cerca de 50% das espécies da Terra, em ecossistemas terrestres e marinhos. Acredita-se que as causas da extinção estejam relacionadas a intensas atividades vulcânicas na província magmática do Atlântico Central, que desencadearam uma série de efeitos climáticos, como aquecimento global, acidificação dos oceanos e aumento de dióxido de carbono, alterando drasticamente os habitats globais. Os amniotas, presentes desde o período Carbonífero, foram profundamente impactados por essa extinção. Antes do evento, os ecossistemas terrestres eram dominados por uma diversidade de tetrápodes, como os grandes sinapsídeos e arcossauros primitivos, incluindo rincossauros e fitossauros, que desempenhavam papéis como herbívoros e predadores. A extinção devastou várias dessas linhagens, resultando na perda de tetrápodes herbívoros dominantes, como os dicinodontes e rincossauros, e também de predadores aquáticos, como os fitossauros, que ocupavam os habitats costeiros e de água doce.

A extinção no final do Triássico criou uma oportunidade única para os dinossauros, que até então eram pequenos e relativamente limitados em número e diversidade. Com a eliminação de muitos competidores, pequenos dinossauros terópodes e outros dinossauros herbívoros começaram a expandir-se e a ocupar os nichos deixados vagos. Além disso, as condições climáticas mais áridas favoreciam os dinossauros, que possuíam adaptações importantes, como pele impermeável e maior eficiência na retenção de água, que lhes conferiam uma vantagem competitiva sobre os primeiros mamíferos. Esses mamíferos, ainda pequenos e poucos numerosos, não possuíam as adaptações fisiológicas necessárias para prosperar em ambientes áridos, ao contrário dos dinossauros que gradualmente dominaram a paisagem. Nos ambientes marinhos, a extinção teve um impacto profundo, embora a recuperação dos amniotas fosse mais rápida em comparação com a dos ecossistemas terrestres. Muitos répteis marinhos primitivos, como os notossauros e placodontes, foram extintos, deixando nichos de predadores abertos. Isso possibilitou que outros grupos marinhos, como os ictiossauros e plesiossauros, se expandissem e ocupassem esses espaços dominantes, mantendo a diversidade de predadores aquáticos ao longo do Jurássico. Os teleósteos, ou peixes ósseos, e os primeiros tubarões neosseláquios também sobreviveram a esse evento e continuaram a se diversificar, contribuindo para a recuperação e a complexidade dos ecossistemas marinhos.



Figura 20 – Imagens que demonstram exemplos de placodonte, ictiossauro e plesiossauro. a) Reconstrução do esqueleto de *Placodus gigas*. https://pt.wikipedia.org/wiki/Placodontia#/media/Ficheiro:Placodus_gigas_2.JPG b) Fossil de *Shonisaurus popularis*. <https://canaltech.com.br/ciencia/leito-fossil-de-ictiossauros-gigantes-marinhos-preservados-era-um-bercario-233760/> c) Fossil de *Plesiosaurus dolichodeirus*. <https://www.flickr.com/photos/7230309@N05/3725893090> Obs.: as imagens não estão em escala

4.4.2. O Evento Cretáceo-Paleógeno: Impacto nos Vertebrados

O evento de extinção do Cretáceo-Paleógeno (K-Pg), ocorrido há cerca de 66 milhões de anos, foi um dos maiores e mais conhecidos eventos de extinção em massa na história da Terra. Esse evento marcou o fim do Mesozoico e resultou na extinção de aproximadamente 75% das espécies, incluindo os dinossauros não avianos, que haviam predominado nos ecossistemas terrestres por mais de 160 milhões de anos. O impacto sobre o reino dos vertebrados foi extenso, alterando as dinâmicas ecológicas e abrindo caminho para a ascensão de mamíferos e aves modernas, que passariam a predominar no Cenozoico.

A causa principal da extinção K-Pg é atribuída ao impacto de um asteroide que formou a cratera de Chicxulub, localizada na atual Península de Yucatán, no México, com quase 200 quilômetros de diâmetro. O impacto liberou uma quantidade colossal de energia, equivalente a bilhões de bombas atômicas, lançando detritos e poeira na atmosfera e bloqueando a luz solar por meses, talvez anos, resultando em um inverno global. Esse bloqueio da luz solar interrompeu a fotossíntese, colapsando cadeias alimentares e causando a morte em massa de plantas, herbívoros e, consequentemente, dos carnívoros. A queda brusca das temperaturas globais e a escassez de alimentos criaram um ambiente hostil para a maioria das espécies.

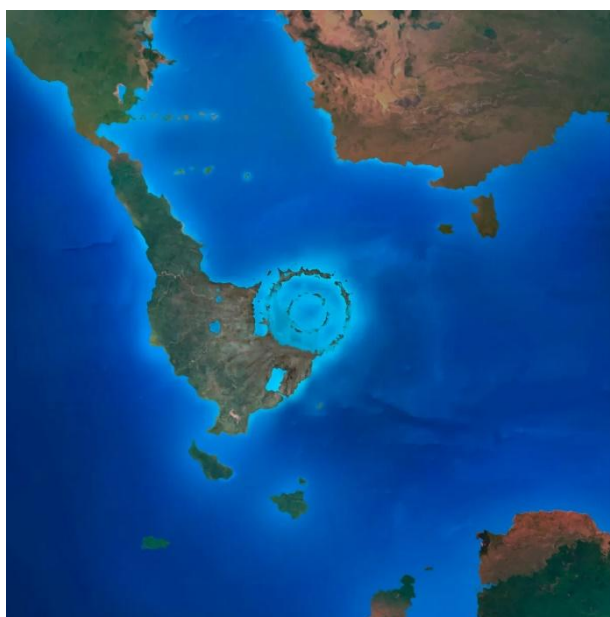


Figura 21 – Uma ilustração apresenta a localização da cratera de Chicxulub logo após sua formação.
<https://www.skyatnightmagazine.com/space-science/chicxulub-asteroid-killed-dinosaurs>

O evento K-Pg foi particularmente devastador para os tetrápodes terrestres. Praticamente todos os animais terrestres com mais de 50 kg desapareceram, incluindo os dinossauros não avianos, que até então eram os vertebrados terrestres dominantes. Entre os répteis voadores, os pterossauros também foram extintos, assim como várias linhagens de aves primitivas, como os Enantiornithes, que não sobreviveram às drásticas mudanças ecológicas. Esse desaparecimento abriu nichos ecológicos críticos que mais tarde seriam preenchidos por outros grupos, principalmente mamíferos e aves. Nos ambientes marinhos, o impacto do evento foi igualmente severo. Grandes répteis marinhos, como os plesiossauros e mosassauros, foram eliminados, assim como diversas espécies de peixes, incluindo os últimos hibodontes (um grupo

de tubarões primitivos). No entanto, alguns grupos de vertebrados marinhos, como os teleósteos (peixes ósseos) e certos tubarões, foram menos afetados e continuaram a se diversificar no início do Paleógeno, mantendo a continuidade e resiliência dos ecossistemas marinhos.



Figura 22 – a) Fóssil de *Tylosaurus skeleton*, o maior esqueleto de mosassauro completo com 13,3m apelidado de "Bruce". <https://www.fossilera.com/pages/how-large-did-mosasaurs-get> b) Fóssil de *Egertonodus fraasi*. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Hybodontidae#/media/Ficheiro:Hybodus_fraasi_\(fossil\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Hybodontidae#/media/Ficheiro:Hybodus_fraasi_(fossil).jpg) Obs.: as imagens não estão em escala

Embora o impacto do asteroide seja considerado a principal causa do evento de extinção, evidências sugerem que o ecossistema global já estava sob estresse devido a outros fatores climáticos e geológicos. A intensa atividade vulcânica nas armadilhas de Deccan, na atual Índia, liberou grandes volumes de lava e gases, resultando em aquecimento global, acidificação dos oceanos e chuvas ácidas, o que já vinha modificando os ecossistemas do final do Cretáceo. Mudanças nos níveis do mar e a fragmentação dos continentes também contribuíram para a desestabilização ecológica, tornando as espécies mais vulneráveis ao impacto do asteroide e seus efeitos catastróficos. Apesar da destruição, o evento K-Pg marcou um ponto de virada na evolução dos vertebrados. Com a extinção dos dinossauros não avianos, dos pterossauros e de várias aves primitivas, espaços ecológicos foram desocupados, permitindo que mamíferos e

aves sobreviventes se diversificassem e adaptassem a uma variedade de habitats. Os mamíferos, que durante o Mesozoico tinham se mantido pequenos e principalmente noturnos, rapidamente começaram a ocupar os nichos de grandes herbívoros e predadores, evoluindo para formas maiores e mais especializadas ao longo do Paleógeno. Da mesma forma, as aves, tecnicamente dinossauros que sobreviveram ao evento, continuaram a se diversificar e preencheram nichos deixados pelos dinossauros terópodes, adaptando-se a uma gama de ecossistemas e contribuindo para a radiação adaptativa dos vertebrados modernos.

4.4.3. A Extinção dos Pterossauros e Dinossauros Não-Avianos

A extinção dos pterossauros e dos dinossauros não-avianos foi um dos aspectos mais dramáticos do evento de extinção Cretáceo-Paleógeno (K-Pg), ocorrido há aproximadamente 66 milhões de anos. Os pterossauros, os primeiros vertebrados a desenvolver a capacidade de voo ativo, haviam se diversificado amplamente durante o Jurássico e o Cretáceo. Eles evoluíram para formas que variavam desde pequenos planadores até espécies de grande porte (como o *Quetzalcoatlus*, que possuía uma envergadura superior a 10 metros), adaptando-se a uma variedade de nichos e estratégias de alimentação. Apesar dessa diversidade e de suas adaptações para o voo, os pterossauros desapareceram completamente durante o evento de extinção K-Pg. Acredita-se que sua extinção esteja relacionada às mudanças nos ecossistemas causadas pelo impacto do asteroide, que resultaram em um colapso nas cadeias alimentares e em condições ambientais desfavoráveis, incluindo um "inverno nuclear" que limitou gravemente o acesso ao alimento e alterou drasticamente seus habitats.

Os dinossauros não-avianos, que dominaram os ecossistemas terrestres por milhões de anos, incluíam uma ampla variedade de formas e tamanhos, desde gigantes herbívoros, como os saurópodes, até predadores de topo, como os terópodes. O impacto do asteroide em Chicxulub foi um golpe fatal para esses dinossauros, pois o bloqueio da luz solar causado pela poeira e pelos detritos lançados na atmosfera interrompeu a fotossíntese, levando à morte em massa de plantas e, consequentemente, dos herbívoros e dos predadores. A queda abrupta nas temperaturas e a escassez de alimentos inviabilizaram a sobrevivência dos dinossauros não-avianos, resultando em sua extinção total.

Enquanto os pterossauros e dinossauros não-avianos desapareceram, suas linhagens mais próximas conseguiram sobreviver. As aves, descendentes de pequenos dinossauros terópodes, sobreviveram ao evento K-Pg graças a adaptações como o tamanho corporal reduzido e uma dieta variada, que incluía sementes e pequenos invertebrados – recursos que permaneceram disponíveis mesmo em condições adversas. Durante o Cenozoico, as aves se diversificaram e ocuparam muitos dos espaços ecológicos deixados vagos pelos pterossauros e dinossauros não-avianos. Os mamíferos, que também sobreviveram ao evento, começaram a expandir-se rapidamente e a diversificar-se, aproveitando a ausência dos grandes predadores e herbívoros para se tornarem um dos grupos de tetrápodes predominantes nos ecossistemas terrestres.

A magnitude do impacto ambiental foi tamanha que a maioria dos dinossauros não-avianos e pterossauros não conseguiu se adaptar às novas condições. Além disso, evidências sugerem que o ecossistema global já enfrentava pressões antes do impacto do asteroide, em parte devido ao vulcanismo maciço de Deccan, na Índia, que liberou grandes quantidades de gases de efeito estufa e contribuiu para o aquecimento global. Esse estresse ambiental prolongado pode ter tornado os ecossistemas mais vulneráveis, amplificando os efeitos devastadores do impacto do asteroide e levando à extinção em massa desses grupos de vertebrados. A extinção dos pterossauros e dinossauros não-avianos representou o fim da era de domínio desses grandes vertebrados e abriu novas oportunidades evolutivas para aves e mamíferos. O impacto do asteroide marcou um dos pontos de transição mais significativos na história da vida na Terra, dando início ao Cenozoico – um período em que os vertebrados sobreviventes se adaptaram e prosperaram, moldando a diversidade ecológica que conhecemos atualmente, dominada pelas aves e mamíferos.

4.4.4. A Recuperação dos Ecossistemas: A ascensão das Aves e Mamíferos

A reorganização dos ecossistemas gerada pela extinção K-Pg abriu janelas de oportunidades evolutivas para as linhagens que conseguiram sobreviver, principalmente aves e mamíferos, que até então ocupavam nichos relativamente restritos. A ausência dos dinossauros não-avianos e dos grandes predadores marinhos permitiu que essas linhagens emergentes passassem a ocupar os espaços vagos, expandindo suas formas. No ambiente terrestre, as aves

se tornaram os principais vertebrados voadores, enquanto os mamíferos passaram por uma intensa radiação adaptativa, aumentando em tamanho, diversidade e complexidade morfológica. Essa recuperação não foi apenas um período de expansão de formas já existentes, mas também de inovação evolutiva. As linhagens de aves e mamíferos adaptaram-se rapidamente a novos habitats e desenvolveram novas estratégias de sobrevivência, como especializações alimentares e adaptações morfológicas para ocupar diferentes camadas ambientais, de florestas a ambientes aquáticos. Assim, o evento K-Pg pavimentou o caminho para a ascensão dos mamíferos e aves como os vertebrados dominantes, um processo que moldou a estrutura básica dos ecossistemas modernos e permitiu a grande diversificação da vida que caracteriza a era Cenozoica.

As aves, uma linhagem de dinossauros terópodes, foram um dos grupos que sobreviveram ao evento K-Pg e se diversificaram rapidamente no Paleógeno. Durante o Cretáceo, várias linhagens de aves primitivas coexistiram com os dinossauros não-avianos, incluindo os Enantiornithes e os Ornithurae. No entanto, apenas as aves pertencentes ao clado Ornithurae conseguiram resistir ao evento de extinção. Com a extinção dos pterossauros e dos dinossauros terópodes, as aves ocuparam os nichos aéreos e terrestres desocupados, tornando-se os principais vertebrados voadores. Grandes aves carnívoras, como o *Diatryma*, que eram incapazes de alçar voo, dominaram ecossistemas terrestres, ocupando o nicho ecológico que anteriormente pertencia aos dinossauros terópodes. Paralelamente, alguns crocodilos terrestres, como o *Sebecus*, que possuíam dentes serrilhados semelhantes aos dos dinossauros carnívoros, adaptaram-se à vida de predadores terrestres em determinados ecossistemas. A diversificação das aves no início do Paleógeno foi marcante, com a expansão de espécies aquáticas e terrestres para uma ampla gama de habitats, desde florestas densas até ecossistemas costeiros e o mar aberto. Durante esse período, muitas aves desenvolveram características adaptativas, como maior manobrabilidade no ar e especializações alimentares variadas. Algumas perderam secundariamente a capacidade de voar, tornando-se herbívoras de grande porte (p. ex., os avestruzes, moas e aves-elefantes – as maiores aves que já existiram), ou mergulhadoras altamente especializadas como os pinguins.

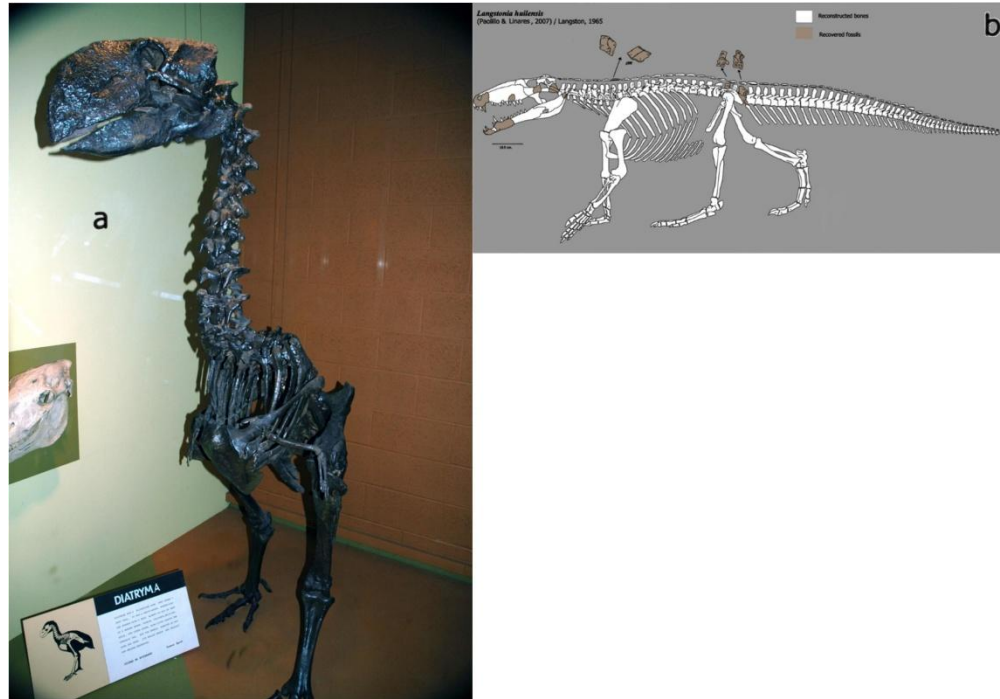


Figura 23 – a) Reconstrução do esqueleto de *Gastornis giganteus*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Diatryma_fossil_bird_%28Eocene%2C_Wyoming%29_1.jpg b) Esquema do esqueleto de *Langstonia huilensis* com ênfase nos fragmentos de ossos recuperados. https://en.wikipedia.org/wiki/Langstonia#/media/File:Langstonia_skeleton.svg Obs.: as imagens não estão em escala

4.5. A Coexistência de Mamíferos e Dinossauros

Os mamíferos também se beneficiaram das oportunidades criadas pelo evento de extinção, ampliando sua diversidade e dominância nos ecossistemas terrestres. Antes do K-Pg, os mamíferos eram pequenos e pouco numerosos, em grande parte devido à predominância dos dinossauros não-avianos. Com o desaparecimento desses grandes predadores e herbívoros, os mamíferos passaram por uma rápida radiação adaptativa, diversificando-se em uma gama de formas e tamanhos. No Paleógeno, surgiram novas linhagens de mamíferos que ocuparam os nichos ecológicos deixados pelos dinossauros. Mamíferos herbívoros começaram a se expandir, assumindo o papel de pastadores nos ecossistemas, enquanto mamíferos carnívoros evoluíram para preencher o papel de predadores de topo. Alguns mamíferos desenvolveram adaptações para a vida aquática, enquanto outros evoluíram para formas voadoras, como os primeiros morcegos, que surgiram no final do Paleoceno.

4.5.1 Os Primeiros Mamíferos: Adelobasileus e Suas Características

Os primeiros mamíferos surgiram no final do período Triássico, aproximadamente ao mesmo tempo em que os dinossauros iniciavam sua ascensão como os principais vertebrados terrestres. Este período foi marcado por uma diversidade de linhagens sinapsídeas que precederam os mamíferos e desempenharam um papel fundamental na transição evolutiva dos sinapsídeos para mamíferos. Entre os registros fósseis mais antigos de mamíferos está o *Adelobasileus*, um pequeno animal cujos restos foram encontrados na América do Norte, datados de cerca de 225 milhões de anos. O *Adelobasileus* (Figura 24) é considerado um dos primeiros mamíferos verdadeiros e fornece informações sobre as características iniciais que definiram essa transição dos sinapsídeos para a linhagem dos mamíferos.



Figura 24 – Paleoarte de *Adelobasileus cromptoni*.

https://prehistopedia.fandom.com/wiki/Adelobasileus?file=Adelobasileus_20150922_2.jpg

O *Adelobasileus* é classificado como um dos primeiros mamíferos devido à sua anatomia craniana, que exibe traços intermediários entre répteis sinapsídeos ancestrais e mamíferos derivados. A principal característica distintiva desse grupo é a configuração dos ossos do ouvido médio e da mandíbula. Em sinapsídeos pertencentes a linhagens mais antigas, como os terápsidos, ossos que hoje compõem o ouvido médio dos mamíferos ainda faziam parte da estrutura da mandíbula, refletindo uma organização anatômica menos especializada para a audição fina. No *Adelobasileus*, observa-se um deslocamento gradual desses ossos para o ouvido médio, uma transformação evolutiva que representou um marco na diferenciação dos

mamíferos modernos e proporcionou uma sensibilidade auditiva aprimorada, particularmente para sons de alta frequência, o que seria útil em seu estilo de vida noturno. Além da modificação nos ossos do ouvido, outra característica importante do *Adelobasileus* é a estrutura de seu cérebro e crânio. Evidências fósseis sugerem que ele possuía uma cavidade craniana maior do que a de seus antecessores sinapsídeos, o que indica um cérebro mais desenvolvido. Esse aumento do cérebro é um dos indicadores da transição para os mamíferos, uma vez que o desenvolvimento cerebral está relacionado a capacidades sensoriais, comportamentais e cognitivas mais sofisticadas. Tal adaptação seria vantajosa para um pequeno animal vivendo em um ambiente dominado por predadores, permitindo-lhe processar informações sensoriais de forma mais eficiente e talvez desenvolver comportamentos mais complexos de sobrevivência, como habilidades de forrageamento mais apuradas e instintos de cuidado parental mais complexos.

Essas adaptações anatômicas e sensoriais foram essenciais para a sobrevivência e diversificação do *Adelobasileus* e de outros primeiros mamíferos em um ambiente dominado pelos dinossauros. A coexistência entre os primeiros mamíferos e os dinossauros não foi marcada por uma competição direta; ao contrário, os primeiros mamíferos ocupavam nichos específicos, como o noturno e o de pequenos invertebrados. Estes nichos, de menor competição, mantinham-nos afastados dos predadores dinossauros e permitiram que essas espécies desenvolvessem adaptações evolutivas sem competir diretamente com as espécies dominantes diurnas. A adoção de hábitos noturnos também pode ter sido uma resposta às condições ambientais e às limitações impostas pela presença dos dinossauros, favorecendo assim o desenvolvimento de uma visão mais sensível à baixa luminosidade e a um olfato apurado, traços que definiriam muitas linhagens de mamíferos posteriores.

4.5.2. A Diversificação dos Mamíferos no Mesozoico: *Fruitafossor*, *Volaticotherium* e *Castorocauda*

Durante o Mesozoico, enquanto os dinossauros dominavam os ecossistemas terrestres, os primeiros mamíferos coexistiam e se diversificavam em nichos menores, muitas vezes noturnos e discretos, longe da competição direta com esses grandes vertebrados. Os mamíferos do Mesozoico desenvolveram uma impressionante variedade de adaptações morfológicas e ecológicas, explorando nichos específicos e mostrando uma resiliência evolutiva notável. Entre

esses mamíferos destacam-se *Fruitafossor*, *Volaticotherium* e *Castorocauda*, que exemplificam a diversidade de formas e modos de vida alcançados por esses primeiros mamíferos.

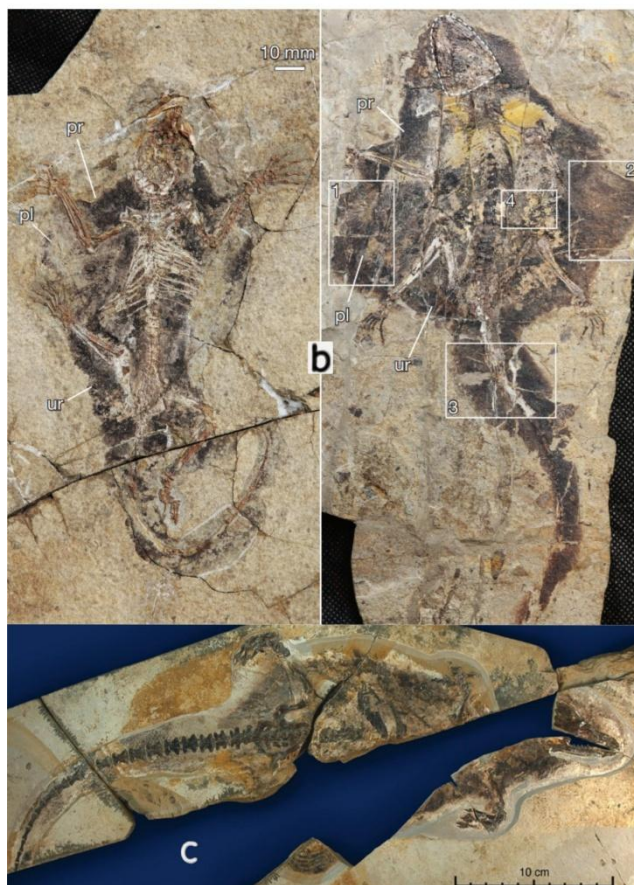
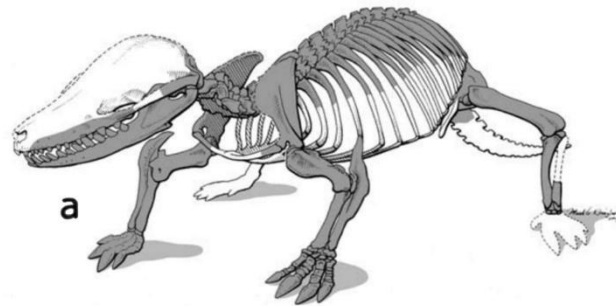


Figura 25 – a) Restauração de *Fruitafossor windscheffeli* (Holótipo: LACM 150948). b) Fósseis de *Arboroharamiya allinhopsoni* podendo ser observado no fóssil esquerdo o Holótipo (HG-M017-B) e no direito o Parátipo (HG-M018-A), ambos com impressões da membrana de voo e dos pelos. c) Fósseis de *Castorocauda lustrasimilis*.

<https://natuurwijzer.naturalis.nl/files/2019-07/fossil-Castorocauda%20lustrasimilis%20fossil-Luo%20-%20CMNH-KL.jpg>

Fruitafossor (Figura 25), um pequeno mamífero do Jurássico Superior, foi descoberto na América do Norte e é notável por suas adaptações para uma dieta insetívora altamente especializada. Com garras poderosas e dentes simples, robustos e sem esmalte, o *Fruitafossor* exibe uma anatomia adaptada para cavar e triturar insetos, o que sugere uma alimentação baseada principalmente em cupins ou formigas, semelhante aos hábitos dos tatus e tamanduás modernos. Essa especialização revela sua capacidade de ocupar o nicho de insetívoro escavador no

ecossistema jurássico e também demonstra uma tendência precoce dos mamíferos para a especialização ecológica, permitindo-lhes explorar recursos distintos em um ambiente repleto de competidores maiores e mais dominantes.

Figura 26 - Paleoarte de *Fruitafossor windscheffeli*.

<https://www.nbcnews.com/id/wbna7348897>



Outro exemplo de inovação adaptativa entre os mamíferos mesozoicos é o *Volaticotherium*, do Jurássico Superior, encontrado na China. Este mamífero desenvolveu a habilidade de planar, uma adaptação notável para um animal de sua época. Seus fósseis mostram uma membrana de pele entre os membros dianteiros e traseiros, semelhante às membranas dos esquilos-voadores e demais mamíferos planadores modernos, permitindo-lhe deslizar entre as árvores. Essa capacidade de locomoção aérea pode ter oferecido vantagens significativas, como a evasão de predadores terrestres e o acesso a fontes de alimento localizadas em diferentes partes das árvores, mostrando que, mesmo em um mundo dominado por dinossauros, os mamíferos possuíam capacidade de desenvolver formas de locomoção complexas e inovadoras.



Figura 27 - Paleoarte de *Volaticotherium antiquus*.
<https://www.nbcnews.com/id/wbna16188914>

O *Castorocauda*, do Jurássico Médio, também encontrado na China, representa um dos primeiros exemplos de mamíferos semiaquáticos. Com uma cauda achatada e membros adaptados para a natação, ele lembra superficialmente os castores modernos. Sua morfologia sugere um estilo de vida aquático, um traço evolutivo inusitado entre os mamíferos do Mesozoico. Além disso, o *Castorocauda* possuía incisivos longos e curvados, indicando uma dieta que provavelmente incluía peixes ou outros pequenos organismos aquáticos. Essa adaptação indica a habilidade dos primeiros mamíferos para explorar ambientes aquáticos, uma inovação que demonstra a flexibilidade adaptativa dos mamíferos em habitar nichos ainda pouco explorados e que se tornariam importantes para a diversificação dos mamíferos posteriores.



Castorocauda lutrasimilis diving for food during the Age of Dinosaurs, 165 m.y.a.
Reconstruction Art: Mark A. Klingler / CMNH

Figura 28 - Paleoarte de *Castorocauda lutrasimilis*.

<https://dinooftheweek.blogspot.com/2017/09/fur-anatomy.html>

A diversidade de formas e comportamentos exibida por *Fruitafossor*, *Volaticotherium* e *Castorocauda* demonstra como os mamíferos do Mesozoico foram capazes de se especializar em uma ampla gama de nichos ecológicos, apesar da predominância dos dinossauros. Essas adaptações mostram que, desde o início, os mamíferos desenvolveram habilidades para ocupar diferentes ambientes e modos de vida, desde escavadores e planadores até

nadadores. Esse conjunto de inovações ecológicas e comportamentais estabeleceu uma base sólida para a diversificação dos mamíferos no Paleoceno, após a extinção dos dinossauros não-avianos no final do Cretáceo, quando os mamíferos finalmente puderam expandir-se para ocupar novos nichos em ecossistemas mais abertos. Assim, a coexistência de mamíferos e dinossauros no Mesozoico não representa uma simples história de competição direta, mas sim um testemunho da especialização e adaptação dos mamíferos a diferentes nichos ecológicos. A variedade de estratégias desenvolvidas por mamíferos como *Fruitafossor*, *Volaticotherium* e *Castorocauda* exemplifica essa diversidade e a extraordinária capacidade dos mamíferos de evoluir e prosperar mesmo em um mundo dominado por gigantes, consolidando-se como um grupo de grande potencial evolutivo que viria a se diversificar ainda mais após o desaparecimento dos dinossauros.

4.5.3. Predadores Mesozóicos: O *Repenomamus* e Seu Impacto no Nicho Ecológico

Durante o Mesozoico, os mamíferos eram geralmente pequenos e ocupavam espaços ecológicos menos explorados pelos dinossauros dominantes, muitas vezes restritos a habitats noturnos e subjacentes às atividades diurnas dos grandes répteis dinossaurianos. No entanto,

algumas linhagens de mamíferos se destacaram por adotar um comportamento predatório mais ativo, desafiando a ideia de que todos os mamíferos mesozoicos eram exclusivamente caçadores de insetos ou forrageadores noturnos. Entre esses mamíferos, um exemplo é o *Repenomamus*, um predador carnívoro que viveu durante o Eocretáceo, na atual China. Este fóssil exemplifica como alguns mamíferos começaram a expandir seu papel nos ecossistemas, impactando o nicho ecológico e interagindo diretamente com espécies de dinossauros.



Figura 29 – Fossil de *Repenomamus robustus* e *Psittacosaurus mongoliensis*. <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/fossil-revela-improvavel-ataque-de-mamifero-do-tamanho-de-um-gato-a-dinossauro/>

O *Repenomamus* era consideravelmente grande para os padrões dos mamíferos mesozoicos, alcançando até 1 metro de comprimento e pesando aproximadamente 14 kg, características que o colocam entre os maiores mamíferos conhecidos desse período. Pertencente ao grupo dos triconodontes, o *Repenomamus* possuía uma dentição especializada para o corte de carne, com pré-molares e molares robustos e afiados. Esses traços dentários, aliados ao seu porte, indicam que ele era um predador ativo e oportunista, apto a capturar e consumir pequenas presas vertebradas, incluindo dinossauros juvenis e outros pequenos animais.

Um dos achados fósseis mais surpreendentes do *Repenomamus* foi a descoberta do conteúdo estomacal preservado em um espécime, no qual foram identificados restos de um pequeno dinossauro, possivelmente um *Psittacosaurus* juvenil. Esse fóssil é uma evidência direta de que o *Repenomamus* não apenas coexistia com pequenos dinossauros, mas também os predava, lançando uma nova luz sobre a complexidade das interações ecológicas entre mamíferos e dinossauros. Esse comportamento predatório desafia a visão tradicional dos

mamíferos mesozoicos como pequenos animais subordinados aos dinossauros, demonstrando que alguns mamíferos já ocupavam nichos de predadores ativos e apresentavam estratégias de alimentação diversificadas, o que indica uma maior complexidade nos ecossistemas do Cretáceo do que antes se pensava.

O surgimento de mamíferos predadores como o *Repenomamus* teve um impacto nos ecossistemas mesozoicos. Sua habilidade para caçar pequenos dinossauros juvenis sugere que os mamíferos estavam começando a explorar nichos ecológicos mais diversificados e interagir de forma mais direta e complexa com os dinossauros. Além disso, o porte relativamente grande e a dieta carnívora do *Repenomamus* indicam que ele poderia representar uma ameaça para dinossauros menores, competindo com eles e alterando a dinâmica predatória local. Esta adaptação a um nicho predatório específico pode ter permitido que mamíferos como o *Repenomamus* influenciassem a estrutura das comunidades mesozoicas, contribuindo para uma diversidade que se expandiria ainda mais após a extinção dos dinossauros não-avianos.

O sucesso do *Repenomamus* e de outros mamíferos predadores primitivos demonstra a capacidade dos mamíferos mesozoicos de se diversificar em diferentes estratégias de alimentação e sobrevivência, desafiando a noção de que os dinossauros dominavam todos os aspectos dos ecossistemas mesozoicos. A variedade de comportamentos observada, desde estratégias predatórias até o uso de nichos diversificados, indica que os mamíferos já ocupavam papéis ecológicos semelhantes aos dos dinossauros. Embora muitas linhagens de mamíferos tenham sido extintas durante o evento K-Pg, quatro principais — Multituberculata, Monotremata, Metatheria e Eutheria — sobreviveram, permitindo a radiação adaptativa que ocorreu no início do Cenozoico. Esse processo possibilitou que os mamíferos explorassem nichos antes ocupados pelos dinossauros, levando à diversificação das linhagens que moldaram a fauna cenozoica..

5. CONCLUSÃO

5.1. A Evolução e Adaptação dos Amniotas: Um Sucesso de 250 Milhões de Anos

Os amniotas, um grupo de vertebrados que inclui répteis, aves e mamíferos, representam uma das linhagens mais bem-sucedidas e diversificadas na história da vida na Terra. Surgidos no período Carbonífero, há cerca de 312 milhões de anos, os amniotas evoluíram e se adaptaram a uma ampla gama de habitats, colonizando a terra firme em uma escala que seus parentes

evolutivos próximos, os anfíbios, jamais conseguiram alcançar. O desenvolvimento do ovo amniótico foi um marco evolutivo essencial, pois forneceu uma membrana protetora que criou um ambiente aquático seguro dentro do ovo, possibilitando a reprodução em ambientes secos e eliminando a dependência de corpos d'água para a reprodução. Essa inovação permitiu a diversificação dos amniotas, abrindo o caminho para o desenvolvimento de linhagens que habitariam praticamente todos os ambientes terrestres e, posteriormente, retornassem a muitos ambientes aquáticos.

Ao longo dos últimos 250 milhões de anos, os amniotas demonstraram uma impressionante capacidade de adaptação frente a mudanças ambientais e a diferentes desafios evolutivos. Desde os primeiros répteis que desenvolveram o ovo amniótico até a diversificação de sinápsidos e saurópsidos, cada grande grupo de amniotas evoluiu características únicas que os tornaram bem-sucedidos em ecossistemas distintos. Os sinápsidos, por exemplo, que eventualmente dariam origem aos mamíferos, evoluíram a capacidade de regular a temperatura corporal por meio da endotermia, o que lhes conferiu uma adaptabilidade superior a diferentes condições climáticas e nichos ecológicos variados. Esse desenvolvimento também foi acompanhado pela evolução de estruturas especializadas, como pelos e glândulas mamárias, que proporcionaram aos mamíferos uma vantagem reprodutiva e adaptativa, especialmente em climas mais frios e variáveis.

Por sua vez, os saurópsidos, o grupo que inclui lagartos, cobras, dinossauros, pterossauros e crocodilos, desenvolveram importantes inovações morfológicas e fisiológicas. A postura ereta, por exemplo, permitiu maior eficiência na locomoção terrestre entre os arcossauros, clado que inclui os crocodilos e aves modernas. Em algumas linhagens, como os dinossauros terópodes, o desenvolvimento da endotermia possibilitou a expansão para uma variedade de habitats. Esse grupo também inclui as primeiras formas de voo ativo entre os vertebrados, com os pterossauros abrindo o caminho para a exploração do espaço aéreo. A transição dos dinossauros terópodes para as aves exemplifica a continuidade das inovações evolutivas dentro dos amniotas, com o surgimento de adaptações como penas, estruturas ósseas leves e um sistema respiratório altamente eficiente, permitindo a ocupação de novos ambientes e nichos.

Os amniotas também demonstraram uma resiliência notável frente a eventos de extinção em massa, como as do Permo-Triássico e do Cretáceo-Paleógeno. Em vez de serem eliminados,

esses eventos funcionaram como pontos de virada evolutivos para o grupo, desencadeando novas radiações adaptativas. Após a extinção do Permo-Triássico, os dinossauros aproveitaram o vácuo deixado por outros grupos extintos, expandindo-se rapidamente e tornando-se os vertebrados terrestres dominantes. De forma similar, a extinção do Cretáceo-Paleógeno abriu novas oportunidades para os mamíferos e as aves, que se diversificaram amplamente e começaram a ocupar nichos anteriormente dominados pelos dinossauros e pterossauros. Essas radiações adaptativas contribuíram significativamente para a estruturação dos ecossistemas modernos, moldando a biodiversidade que conhecemos atualmente.

O sucesso dos amniotas ao longo de centenas de milhões de anos pode ser atribuído à sua flexibilidade evolutiva e capacidade de desenvolver inovações estruturais e comportamentais adaptativas. A evolução de características complexas como o ovo amniótico, a endotermia, o voo e a diversificação de estratégias reprodutivas e alimentares permitiu que os amniotas prosperassem em quase todos os tipos de ambientes, desde desertos áridos até regiões polares e florestas tropicais densas. Essas inovações foram acompanhadas por adaptações comportamentais, como o cuidado parental, que foi especialmente significativo nos mamíferos e nas aves, assegurando maior sobrevivência da prole e favorecendo o desenvolvimento de comportamentos sociais complexos. Os amniotas continuam a ser um dos grupos mais diversos e ecologicamente dominantes de vertebrados, com aves, mamíferos e répteis ocupando e diversificando-se em ecossistemas terrestres e aquáticos de praticamente todos os continentes. A capacidade dos amniotas de responder e adaptar-se a mudanças ambientais, explorar novos habitats e desenvolver inovações adaptativas demonstra sua resiliência e sucesso como grupo evolutivo. Esse legado de adaptação e inovação continua a moldar os ecossistemas modernos e a biodiversidade global, mostrando a importância dos amniotas na construção da vida como a conhecemos.

5.2. A Importância das Extinções em Massa no Processo Evolutivo

As extinções em massa desempenharam um papel decisivo na história da vida na Terra, atuando como agentes de mudança e catalisadores da evolução. Esses eventos catastróficos resultaram na eliminação de grandes porcentagens das espécies então existentes, o que abriu espaço para novas radiações adaptativas e remodelou a composição do planeta. Ao longo dos últimos 500 milhões de anos, pelo menos cinco grandes extinções em massa ocorreram, incluindo aquelas do final do Permiano, Triássico e Cretáceo, todas deixando marcas profundas

no desenvolvimento dos amniotas e de outros grupos de vertebrados. A extinção em massa do Permo-Triássico, ocorrida há cerca de 250 milhões de anos, foi o maior evento de extinção da história da Terra, eliminando aproximadamente 96% das espécies marinhas e 70% das espécies terrestres. Esse evento catastrófico teve um impacto devastador sobre os amniotas e outros vertebrados, resultando na extinção de muitos tetrápodes dominantes, como grandes sinápsidos herbívoros e anfíbios temnospôndilos. Para os amniotas, porém, essa extinção marcou o surgimento de novas oportunidades evolutivas: com a redução de competidores, grupos como os arcossauros e os primeiros mamíferos puderam expandir-se e diversificar-se. Esse período de recuperação foi um ponto de virada que levou ao domínio dos dinossauros e à emergência das linhagens de mamíferos, cada um ocupando espaços ecológicos desaparecidos com os grupos extintos, o que preparou o terreno para a diversificação dos ecossistemas mesozoicos.

Outro marco na evolução dos vertebrados foi o evento de extinção do Cretáceo-Paleógeno (K-Pg), ocorrido há cerca de 66 milhões de anos. Esse evento catastrófico, atribuído ao impacto de um asteroide em Chicxulub, no México, e possivelmente intensificado por intensas atividades vulcânicas de Deccan, resultou na extinção de aproximadamente 75% das espécies, incluindo todos os dinossauros não-avianos e os pterossauros. Com a eliminação desses grupos dominantes, novos espaços ecológicos foram abertos, permitindo a radiação e diversificação de aves e mamíferos. Enquanto os mamíferos começaram a ocupar papéis de grandes herbívoros e predadores terrestres, as aves se tornaram os principais vertebrados voadores, explorando uma diversidade de ambientes e recursos. Esse processo de diversificação foi essencial para a formação dos ecossistemas do Cenozoico e para a expansão de linhagens que viriam a dominar o mundo após a extinção dos dinossauros. Para os mamíferos, que até então não eram maiores do que um cão de médio porte, o K-Pg representou uma janela evolutiva importante. Nos milhões de anos seguintes, os mamíferos evoluíram rapidamente em termos de tamanho, forma e modos de vida, assumindo papéis anteriormente ocupados pelos grandes répteis. A diversidade de estratégias de alimentação, locomoção e reprodução desenvolvida pelos mamíferos nesse período pós-extinção proporcionou-lhes uma base sólida para se expandirem para diversos ecossistemas. Já as aves, descendentes dos dinossauros terópodes, diversificaram-se tanto morfológica quanto comportamentalmente, estabelecendo-se como os principais vertebrados aéreos e ocupando variados nichos ecológicos.

As extinções em massa, além de eliminar espécies, também funcionaram como "filtros" evolutivos, reorganizando os ecossistemas e fornecendo novas oportunidades para os

sobreviventes. Esses eventos criaram condições para radiações adaptativas em momentos de baixa competição e abundância de recursos, permitindo que novas linhagens se diversificassem rapidamente. Para sobreviver e prosperar, as espécies remanescentes tiveram de se adaptar a condições ambientais muitas vezes novas e desafiadoras, o que impulsionou inovações evolutivas, como o desenvolvimento de novas formas de locomoção, adaptações anatômicas e estratégias alimentares. Essas inovações possibilitaram aos amniotas ocupar nichos que antes não eram acessíveis, incluindo áreas terrestres e aéreas que exigiam especializações específicas.

Assim, de maneira paradoxal, as extinções em massa foram cruciais para moldar a trajetória evolutiva dos amniotas e da biota restante, desempenhando um papel essencial na redefinição dos ecossistemas e na orientação da evolução. Esses eventos catastróficos levaram ao surgimento de novas formas de vida e à diversificação de grupos que continuam a dominar os ecossistemas modernos. Sem essas extinções, a composição atual da vida na Terra seria drasticamente diferente, e muitos dos grupos de sucesso que conhecemos hoje, como mamíferos e aves, talvez nunca tivessem surgido. A resiliência e a adaptabilidade dos amniotas diante das extinções em massa são um testemunho de sua capacidade de sobreviver e prosperar em um planeta em constante mudança, o que garantiu sua presença duradoura e seu papel central na biodiversidade atual.

5.3. A Transição para o Paleógeno: O Papel das Aves e Mamíferos no Pós-Cretáceo

As aves, descendentes diretos dos dinossauros terópodes, foram um dos grupos mais bem-sucedidos a sobreviver à extinção K-Pg. No início do Paleógeno, as aves modernas começaram a se diversificar em uma ampla gama de formas e tamanhos, adaptando-se a estilos de vida desaparecidos com a extinção dos dinossauros não-avianos e dos pterossauros. Durante esse período, linhagens de aves aquáticas, terrestres e arbóreas emergiram, ocupando novos tipos de habitats e evoluindo para explorar diferentes recursos. A extinção dos pterossauros permitiu que as aves se tornassem os principais vertebrados voadores. As inovações anatômicas desenvolvidas durante o Cretáceo, como o bico adaptável, também foi crucial para expandir sua diversidade. A diversificação das aves no início do Paleógeno foi acompanhada por um aumento nas adaptações comportamentais e morfológicas, como especializações de voo, comportamento social e dietas variadas. Esse período de diversificação não apenas permitiu que as aves emergissem como um dos grupos de vertebrados mais diversos e amplamente

distribuídos, mas também moldou a paisagem ecológica, ocupando papéis ecológicos cruciais, como polinização e dispersão de sementes.

Enquanto as aves prosperavam nos céus, os mamíferos começaram a dominar os ecossistemas terrestres. Antes do evento de extinção K-Pg, os mamíferos eram geralmente pequenos e viviam em nichos limitados, frequentemente noturnos, evitando competição com os dinossauros. Após o desaparecimento dos dinossauros não-avianos, os mamíferos se diversificaram rapidamente em uma gama de tamanhos e formas, ocupando nichos ecológicos que variavam de herbívoros pastadores a grandes predadores. Os primeiros mamíferos do Paleógeno desenvolveram várias adaptações que lhes permitiram explorar novos recursos e habitats. Algumas linhagens de mamíferos evoluíram para ambientes aquáticos, como os ancestrais das baleias, enquanto outras desenvolveram capacidades para o voo, como os primeiros morcegos. Além disso, surgiram grandes mamíferos herbívoros, que começaram a desempenhar um papel na transformação dos ecossistemas terrestres, substituindo os grandes dinossauros herbívoros extintos. No Jurássico Médio foi observado o surgimento dos primeiros mamíferos placentários, que se tornaram predominantes nas novas condições ecológicas.

A transição para o Paleógeno foi marcada pela reestruturação dos ecossistemas e pela emergência de novas dinâmicas ecológicas. Sem a presença de grandes dinossauros não-avianos, aves e mamíferos preencheram rapidamente os espaços ecológicos desocupados, levando a um período de rápida radiação adaptativa. Essa fase de experimentação evolutiva resultou em uma diversificação sem precedentes de formas e comportamentos, moldando os ecossistemas terrestres e aquáticos do Paleógeno e estabelecendo as bases para a biodiversidade moderna. Os mamíferos se tornaram os principais predadores e herbívoros terrestres, enquanto as aves desenvolveram novas adaptações que lhes permitiram explorar uma vasta gama de ambientes, desde florestas até áreas costeiras e corpos d'água. A coevolução de aves e mamíferos durante o Paleógeno ajudou a estabelecer novas interações ecológicas, como a polinização e a dispersão de sementes, fundamentais para a diversificação das plantas angiospermas e a expansão das florestas tropicais e temperadas.

O desenvolvimento de ovos amnióticos permitiu que os amniotas se reproduzissem em uma variedade de habitats, garantindo a sobrevivência de suas proles em ambientes diversos. A transição do Cretáceo para o Paleógeno foi um momento de transformação crucial para os ecossistemas terrestres e aquáticos, permitindo que aves e mamíferos emergissem como os principais vertebrados. As oportunidades criadas pelo evento de extinção K-Pg resultaram na diversificação desses grupos e na reestruturação completa dos ecossistemas, lançando as bases

para a biodiversidade que vemos atualmente. A evolução dos amniotas, com suas adaptações únicas, foi uma das chaves para essa transição, demonstrando como as pressões ambientais podem moldar a trajetória evolutiva de grupos inteiros de organismos.

6. GLOSSÁRIO

Adelobasileus: Um dos primeiros mamíferos conhecidos, datado do final do Triássico, que exhibe características anatômicas intermediárias entre répteis sinapsídeos e mamíferos verdadeiros. Sua estrutura craniana e adaptação do ouvido médio são significativas na compreensão da evolução dos mamíferos.

Aves: Descendentes diretos dos dinossauros terópodes, as aves são um grupo de vertebrados adaptados ao voo.

Amniotas: Grupo de vertebrados tetrápodes que inclui répteis, aves e mamíferos. Caracterizados pela presença do ovo amniótico, que permite o desenvolvimento embrionário fora da água.

Anapsídeos: Vertebrados primitivos sem aberturas temporais no crânio, teoricamente incluindo as tartarugas, embora sua posição filogenética ainda seja debatida.

Ancestralidade Comum: Conceito de que todos os seres vivos compartilham ancestrais em algum ponto da história evolutiva.

Arcossauros: Grupo de amniotas que inclui os dinossauros, crocodilos e aves, possuindo duas aberturas temporais no crânio.

Bipedalismo: Postura em que os organismos utilizam apenas dois membros para locomoção, comum em terópodes.

Brachiosaurus: Grande dinossauro sauropodomorfo com membros anteriores mais longos, permitindo alimentação em alturas superiores.

Carniano: Idade do Triássico Superior, marcada por uma extinção em massa que impactou muitos grupos.

Ceratopsianos: Grupo de dinossauros ornitíscuios com chifres e protuberâncias cranianas, como o Triceratops.

Cinodontes: Linhagem de sinapsídeos do Permiano e Triássico que sobreviveu à extinção do Permo-Triássico.

Coelophysis: Pequeno dinossauro terópode do final do Triássico, encontrado nos Estados Unidos.

Cretáceo: Último período da era Mesozoica, famoso pela diversificação dos dinossauros e pela extinção em massa.

Crurotarsans: Subgrupo de arcossauros que inclui os crocodilos e alguns de seus parentes extintos.

Diápsidos: Grupo de amniotas com duas aberturas temporais no crânio, que inclui arcossauros e lepidossauros.

Diplodocus: Grande dinossauro sauropodomorfo herbívoro do período Jurássico, conhecido pelo corpo comprido.

Diversificação: Processo evolutivo pelo qual novos grupos de organismos surgem e se adaptam a diferentes ambientes.

Endotermia: Capacidade de regular a temperatura corporal internamente, independentemente das condições ambientais.

Eoraptor: Um dos primeiros dinossauros conhecidos, pequeno e carnívoro, que viveu no Triássico Superior.

Extinção do Permo-Triássico: O maior evento de extinção em massa da história, ocorrido há cerca de 250 milhões de anos.

Extinção do Triássico: Evento de extinção em massa no final do Triássico que eliminou muitos competidores dos dinossauros.

Fitossauros: Répteis arcossauros aquáticos do Triássico com semelhança superficial aos crocodilos.

Fruitafossor: Um mamífero do Jurássico Superior conhecido por suas adaptações para uma dieta insetívora, com características morfológicas que lembram os tatus modernos. Ele era um escavador especializado que se alimentava principalmente de insetos.

Gondwana: Supercontinente que incluía as atuais América do Sul, África, Antártica, Austrália e Índia.

Hadrossauros: Dinossauros ornitísquios de “bico de pato”, especializados em alimentação vegetal.

Herrerasaurus: Dinossauro primitivo do Triássico Superior, encontrado na Argentina.

Nicho Ecológico: O papel e o espaço que uma espécie ocupa em um ecossistema, incluindo suas interações com outras espécies e o ambiente, que determinam como uma espécie se adapta e sobrevive.

Mesozoico: Era geológica que se estendeu de aproximadamente 252 a 66 milhões de anos atrás, subdividida em três períodos: Triássico, Jurássico e Cretáceo. Foi marcada pela ascensão dos dinossauros e o surgimento dos mamíferos.

Metriorhynchus: Crocodilo marinho do Jurássico com adaptações aquáticas.

Odontochelys: Fóssil de tartaruga do Triássico com plastrão ventral completamente desenvolvido.

Ornitísquios: Grupo de dinossauros herbívoros com “quadril de pássaro”.

Pareiasauros: Grupo de amniotas herbívoros, considerados possíveis ancestrais das tartarugas.

Pterossauros: Primeiros vertebrados a desenvolver voo ativo, pertencentes aos arcossauros.

Plateosaurus: Prossaurópode herbívoro do final do Triássico, considerado um dos primeiros grandes dinossauros.

Proganochelys: Uma das tartarugas mais antigas, do período Triássico.

Prossaurópodes: Primeiros sauropodomorfos que antecederam os grandes saurópodes.

Radiação Evolutiva: Processo de diversificação rápida de uma linhagem em resposta a mudanças ambientais.

Repenomamus: Mamífero carnívoro do Cretáceo Inferior, maior que a maioria de seus contemporâneos, que possuía adaptações dentárias para a predação. Seu comportamento predatório indica que alguns mamíferos estavam se diversificando em nichos ecológicos mais complexos.

Sinapsídeos: Grupo de vertebrados que inclui os mamíferos e seus ancestrais, caracterizados por um crânio com uma única abertura temporal e adaptações que levam à evolução dos mamíferos modernos.

Sauropodomorfos: Subgrupo de dinossauros saurísquios herbívoros, incluindo os maiores dinossauros conhecidos.

Spinosaurus: Grande dinossauro terópode com adaptações aquáticas.

Teleósteos: Grupo de peixes ósseos modernos surgidos após a extinção do Permo-Triássico.

Temnospondilos: Grupo extinto de anfíbios gigantes que dominaram ambientes aquáticos durante o Triássico.

Terópodes: Subgrupo de dinossauros saurísquios carnívoros e bípedes.

Triássico: Primeiro período da era Mesozoica, sucedendo a extinção do Permo-Triássico.

Tyrannosaurus rex: Um dos dinossauros terópodes mais icônicos do período Cretáceo.

Volaticotherium: Mamífero do Jurássico Superior que apresentava adaptações para planar, incluindo membranas entre seus membros. Essa característica permitia que ele se movimentasse entre as árvores, possivelmente como uma estratégia para escapar de predadores.

Zonotrichia: Gênero de aves passeriformes conhecido por suas características morfológicas e comportamento social.

7. QUESTÕES

- 1- Os amniotas representam um marco na evolução dos vertebrados, permitindo a ocupação de ambientes terrestres graças ao desenvolvimento do ovo amniótico. Explique como o ovo amniótico permitiu que os amniotas se adaptassem a habitats terrestres e descreva sua importância evolutiva.
- 2- Os amniotas se dividiram em dois principais grupos evolutivos: os sinapsídeos, que deram origem aos mamíferos, e os arcossauros, que incluem os dinossauros e crocodilos. Identifique a principal diferença entre sinapsídeos e arcossauros e como ela influenciou a evolução de cada grupo.
- 3- A extinção do Permo-Triássico foi o maior evento de extinção da história da Terra, eliminando uma grande porcentagem de espécies. Descreva o impacto dessa extinção nos ecossistemas terrestres e quais grupos emergiram após o evento.
- 4- As aves modernas são descendentes diretos de dinossauros terópodes, que evoluíram diversas adaptações ao longo do tempo. Como o *Archaeopteryx* ilustra a transição evolutiva entre dinossauros e aves?
- 5- Os pterossauros foram os primeiros vertebrados a desenvolver a capacidade de voo ativo. Qual foi a principal característica que permitiu aos pterossauros voarem e qual é a importância dessa adaptação?
- 6- Após a extinção do Permo-Triássico, os amniotas sobreviventes tiveram novas oportunidades de adaptação. Explique como a postura ereta e a endotermia contribuíram para o sucesso dos amniotas em ambientes terrestres após esse evento.
- 7- A carapaça das tartarugas é uma estrutura única, resultado de uma longa evolução. Qual é a origem provável da carapaça das tartarugas, e como os fósseis como o *Odontochelys* contribuem para a compreensão dessa evolução?
- 8- A extinção no final do Triássico eliminou muitos competidores ecológicos dos dinossauros, permitindo sua expansão. De que maneira essa extinção em massa favoreceu a diversificação dos dinossauros no início do Jurássico?
- 9- Os Ornithurae formam o clado das aves modernas, que sobreviveram e se diversificaram após a extinção do Cretáceo. Quais adaptações foram essenciais para a sobrevivência e diversificação das aves modernas após o evento de extinção do Cretáceo-Paleógeno?

10- Durante o Mesozoico, alguns mamíferos, como o Repenomamus, ocuparam nichos predatórios significativos.

Analise a importância ecológica do Repenomamus e como ele contribui para nossa compreensão da diversidade de nichos ocupados por mamíferos durante a era dos dinossauros.

11- Os mamíferos que sobreviveram ao evento de extinção do Cretáceo-Paleógeno possuíam características que os ajudaram a suportar as novas condições ambientais. Discuta como a dieta, o tamanho corporal e o estilo de vida dos mamíferos contribuíram para sua sobrevivência em um ambiente pós-extinção.

12- A evolução do voo nas aves é explicada por duas hipóteses principais: “de cima para baixo” e “de baixo para cima”. Compare as duas hipóteses de evolução do voo e discuta como fósseis como o Microraptor suportam uma dessas hipóteses.

13- A endotermia permitiu que certos dinossauros tivessem taxas metabólicas mais altas, proporcionando vantagens evolutivas. Analise como a endotermia influenciou a distribuição e a dominância dos sauríscios em diferentes ecossistemas do Mesozoico.

14- A extinção do Cretáceo-Paleógeno transformou radicalmente os ecossistemas terrestres e marinhos.

Explique como as aves e os mamíferos preencheram os nichos deixados vagos por dinossauros e pterossauros, e quais fatores ambientais ajudaram na diversificação desses grupos no Paleógeno.

15- Os Enantiornithes, um grupo de aves primitivas do Cretáceo, apresentavam características distintas que influenciaram a evolução das aves modernas. Discuta as inovações anatômicas dos Enantiornithes e como essas características podem ter contribuído para o desenvolvimento de estruturas que vemos nas aves atuais, embora eles tenham sido extintos no final do Cretáceo.

8. REFERÊNCIAS

ANATOSUCHUS. s.d. Disponível em:

https://paulsereno.uchicago.edu/exhibits_casts/african_crocs/anatosuchus/. Acesso em: 29 out. 2024.

ANGIELCZYK, Kenneth D. Dimetrodon is not a dinosaur: using tree thinking to understand the ancient relatives of mammals and their evolution. **Evolution: Education and Outreach**, v. 2, p. 257-271, 2009.

APALDETTI, Cecilia et al. An early trend towards gigantism in Triassic sauropodomorph dinosaurs. **Nature ecology & evolution**, v. 2, n. 8, p. 1227-1232, 2018.

ORNDORFF, Randall C. et al. Divisions of geologic time—major chronostratigraphic and geochronologic units. **US Geol Surv Fact Sheet**, v. 3015, n. 2, 2007.

ARCHAEOPTERYX CAST 3D. Archaeopteryx Cast 3D -3- Berlin Specimen. Disponível em: <https://blenderartists.org/t/archaeopteryx-fossil-it-took-150-million-years-to-render/1322468>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ARCHILA, Pablo Antonio; ORTIZ, Brigitte Tatiana; TRUSCOTT DE MEJÍA, Anne-Marie. Beyond the passive absorption of information: Engaging students in the critical reading of scientific articles. **Science & Education**, p. 1-35, 2024.

BARTON, Michael. Plesiosaur, Natural History Museum, London. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/7230309@N05/3725893090>. Acesso em: 30 out. 2024.

GARLICK, Mark. Ilustração mostrando a localização da cratera de Chicxulub. Disponível em: <https://www.skyatnightmagazine.com/space-science/chicxulub-asteroid-killed-dinosaurs>. Acesso em: 30 out. 2024.

BENTON, Michael J.; HARPER, David AT. **Introduction to paleobiology and the fossil record**. John Wiley & Sons, 2020.

BROWN, Caleb M. Fóssil de anquilossauro com última refeição fossilizada em seu estômago. ScienceDirect/Divulgação. 2019. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/cientistas-encontram-ultima-refeicao-de-dinossauro-fossilizada-em-seu-estomago>. Acesso em: 03 nov. 2024. **Superinteressante**.

CARPENTER, Kenneth. Ictiossauros gigantes marinhos. Disponível em: <https://canaltech.com.br/ciencia/leito-fossil-de-ictiossauros-gigantes-marinhos-preservados-era-um-bercario-233760/>. Acesso em: 30 out. 2024.

CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia: conceitos e métodos**. v. 1. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

CROCODILUS. 2018. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/126576470@N07/39994927692>. Acesso em: 29 out. 2024.

CUNNINGHAM, John A. et al. A virtual world of paleontology. **Trends in ecology & evolution**, v. 29, n. 6, p. 347-357, 2014.

DESCOMBES, Patrice et al. Linking species diversification to palaeo-environmental changes: A process-based modelling approach. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 2, p. 233-244, 2018.

DIPLODOCUS longus. Fotografia de esqueleto de *Diplodocus longus* no Museu de História Natural de Denver. Disponível em:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Diplodocus_longus_Denver_12.jpg.

Acesso em: 03 nov. 2024. **Wikimedia Commons**.

EDMONTOSAURUS. Esqueleto de *Edmontosaurus* exposto no Museu de História Natural de Oxford. 2011. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Hadrosauridae#/media/Ficheiro:Oxford_Edmontosaurus.jpg.

Acesso em: 03 nov. 2024. **Wikimedia Commons**.

Ellison, A. M., Farnsworth, E. J., & Merkt, R. E. (1999). Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly. **Global Ecology and Biogeography**, 8, 95–115.

EORAPTOR. s.d. Disponível em:

<https://fossil.fandom.com/wiki/Eoraptor?file=EoraptorBrussels.jpg>. Acesso em: 30 out. 2024.

FINNIN, D. *Tyrannosaurus rex*. © AMNH. Disponível em:

<https://www.amnh.org/exhibitions/permanent/saurischian-dinosaurs/tyrannosaurus-rex>.

Acesso em: 03 nov. 2024. **Museu Americano de História Natural**.

FOSSILERA. Bruce, o maior esqueleto completo de mosassauro, medindo 13,3 m (43 pés) de comprimento. Disponível em: <https://www.fossilera.com/pages/how-large-did-mosasaurs-get>.

Acesso em: 31 out. 2024.

GUSTAFSSON, Louise. Systematic reviews, scholarly discussion and opportunities.

Australian Occupational Therapy Journal, v. 67, n. 2, p. 99-99, 2020.

HAN, Gang et al. A Jurassic gliding euharamiyidan mammal with an ear of five auditory bones. **Nature**, v. 551, n. 7681, p. 451-456, 2017.

HAN, Gang. Fóssil de 125 milhões de anos mostrando um mamífero pré-histórico

semelhante a um texugo atacando o dinossauro Psittacosaurus; barra de escala igual a 10 centímetros. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/fossil-revela-improvavel-ataque-de-mamifero-do-tamanho-de-um-gato-a-dinossauro/>.

Acesso em: 31 out. 2024.

Harzhauser, M., Kroh, A., Mandic, O., Piller, W. E., Gohlich, U., Reuter, E.

M., & Berning, B. (2007). Biogeographic responses to geodynamics: A

key study all around the Oligo–Miocene Tethyan Seaway. **Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology**, 246, 241–256.

HATTORI, Masato. *Adelobasileus cromptoni*. Disponível em:

https://prehistopedia.fandom.com/wiki/Adelobasileus?file=Adelobasileus_20150922_2.jpg.

Acesso em: 31 out. 2024.

HERRERASAURUS. s.d. Disponível em: <https://archosaurmusings.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/herr2.jpg>. Acesso em: 30 out. 2024.

HESPERORNIS. Hesperornis at AMNH. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Hesperornis#/media/File:Hesperornis_at_AMNH.jpg. Acesso em: 30 out. 2024.

HOLMES, Robert B.; CARROLL, Robert L.; REISZ, Robert R. The first articulated skeleton of *Dendroperpeton acadianum* (Temnospondyli, Dendroperpetontidae) from the Lower Pennsylvanian locality of Joggins, Nova Scotia, and a review of its relationships. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 18, n. 1, p. 64-79, 1998.

HYBODONTIDAE. Hybodus fraasi (fóssil). Disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Hybodontidae#/media/Ficheiro:Hybodus_fraasi_\(fossil\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Hybodontidae#/media/Ficheiro:Hybodus_fraasi_(fossil).jpg). Acesso em: 31 out. 2024.

HYLAND, Eugene. Triceratops no Museu de Melbourne. Reprodução CNN/Museums Victoria. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/conheca-horridus-um-dos-fosseis-de-triceratops-mais-completos-do-mundo/>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ICHTHYORNITHES. Ichthyornis. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Ichthyornithes#/media/File:Ichthyornis_Clean.png. Acesso em: 30 out. 2024.

KLINGLER, Mark A. Ilustração artística mostrando o Fruitafossor em sua toca, alimentando-se de insetos. Disponível em: <https://www.nbcnews.com/id/wbna7348897>. Acesso em: 31 out. 2024.

ZHAO, Chuang; XING, Lida. Concepção artística mostrando mamíferos do tamanho de esquilos, como poderiam ter aparecido há 130 milhões de anos. Disponível em: <https://www.nbcnews.com/id/wbna16188914>. Acesso em: 31 out. 2024.

KLINGLER, Mark A.; CMNH. Reconstrução artística de *Castorocauda lustrasimillis* buscando alimento durante a era dos dinossauros, há 165 milhões de anos. Disponível em: <https://dinooftheweek.blogspot.com/2017/09/fur-anatomy.html>. Acesso em: 31 out. 2024.

LAUTENSCHLAGER, Stephan. Digital reconstruction of soft-tissue structures in fossils. **The Paleontological Society Papers**, v. 22, p. 101-117, 2016.

LI, J. et al. The holotype (A) and paratype (B) of *Odontochelys semitestacea* in dorsal and ventral view, respectively. In: DARWIN'S DOOR. Disponível em: <https://www.darwinsdoor.co.uk/prehistoricplanet/the-evolution-of-turtles-and-their-shells.html>. Acesso em: 30 out. 2024.

LI, Quanguo et al. Reconstruction of *Microraptor* and the evolution of iridescent plumage. **Science**, v. 335, n. 6073, p. 1215-1219, 2012.

IL_GATTO_NERO. Fossil des Liaoxiornis. Disponível em:

https://dinodata.de/animals/family_pages/enantiornithes.php. Acesso em: 30 out. 2024.

LOPEZ ROJA, Victor. **A new phytosaur from the Late Triassic of Jameson Land, Greenland**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora.

LUO, Zhe-Xi; WIBLE, John R. A Late Jurassic digging mammal and early mammalian diversification. **Science**, v. 308, n. 5718, p. 103-107, 2005.

LUO; CMNH. Fóssil de *Castorocauda lustrasimilis*. Disponível em:

<https://natuurwijzer.naturalis.nl/files/2019-07/fossil-Castorocauda%20lustrasimilis%20fossil-Luo%20-%20CMNH-KL.jpg>. Acesso em: 31 out. 2024.

MARJANOVIĆ, David. The making of calibration sausage exemplified by recalibrating the transcriptomic timetree of jawed vertebrates. **Frontiers in Genetics**, v. 12, p. 521693, 2021.

MULROW, Cynthia D. Systematic reviews: rationale for systematic reviews. **Bmj**, v. 309, n. 6954, p. 597-599, 1994.

NCSCIENCETRAIL. Quetzalcoatlus. Disponível em: <https://ncsciencetrail.org/science-blog/encounter-quetzalcoatlus-at-the-schiele-museum/>. Acesso em: 30 out. 2024.

NOGUEIRA, Rodolfo. Representação de um *Uberabatitan* em comparação com um humano. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/encontrado-em-minas-gerais-o-maior-dente-de-titanossauro-do-mundo/>. Acesso em: 03 nov. 2024. **Jornal da USP**.

PADIAN, Kevin. Dividing the dinosaurs. **Nature**, v. 543, n. 7646, p. 494-495, 2017.

PAIVA, Carolina. Imagem de uma nova espécie de estegossauro. Foto Divulgação. 2024.

Disponível em: <https://www.notibras.com/site/nova-especie-de-estegossauro-e-descoberta-na-asia/>. Acesso em: 03 nov. 2024. **Notibras**.

PAOLILLO, Alberto; LINARES, Alfredo. *Langstonia huilensis* (Paolillo & Linares, 2007) / Langston, 1965. Disponível em:

https://en.wikipedia.org/wiki/Langstonia#/media/File:Langstonia_skeleton.svg. Acesso em: 31 out. 2024.

PAREIASAURIA. Scutosaurus. Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Pareiasauria#/media/Ficheiro:Scutosaurus.jpg>. Acesso em: 30 out. 2024.

PLACODONTIA. Placodus gigas. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Placodontia#/media/Ficheiro:Placodus_gigas_2.JPG. Acesso em: 30 out. 2024.

Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C., ... Yong, J. W. H. (2010). The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. **PLoS ONE**, 5, e10095.

PREHISTORIC. Pré-história: fóssil do dinossauro *Coelophysis*. Período do Triássico Superior. Museo civico di storia naturale, Milão. Sem data. ID da imagem: 947679.

Disponível em: <https://www.meisterdrucke.pt/impressoes-artisticas-sofisticadas/Prehistoric-Prehistoric/947679/Pr%C3%A9-hist%C3%B3ria:-f%C3%B3ssil-do-dinossauro-Coelophysis.-Per%C3%ADodo-do-Tri%C3%A1ssico-Superior.-Museo-civico-di-storia-naturale,-Mil%C3%A3o.html>. Acesso em: 03 nov. 2024.

PLATEOSAURUS. Esqueleto de Plateosaurus. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Plateosaurus#/media/File:Plateosaurus_Skelett_2.jpg. Acesso em: 03 nov. 2024.

PROGANOCHELYS. Proganochelys Quenstedti. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Proganochelys#/media/Ficheiro:Proganochelys_Quenstedti.jpg. Acesso em: 30 out. 2024.

Renema, W., Bellwood, D. R., Braga, J. C., Bromfield, K., Hall, R., Johnson, K. G., ... Pandolfi, J. M. (2008). Hopping hotspots: Global shifts in marine biodiversity. **Science**, 321, 654–657.

SCHACHNER, Emma R. et al. Osteology of the late Triassic bipedal archosaur *Poposaurus gracilis* (Archosauria: Pseudosuchia) from western North America. **The Anatomical Record**, v. 303, n. 4, p. 874-917, 2020.

SCHEIFELE, Lisa Z.; TSOTAKOS, Nikolaos; WOLYNIAK, Michael J. Preprint articles as a tool for teaching data analysis and scientific communication. **Plos one**, v. 16, n. 12, p. e0261622, 2021.

SOARES, M. B. (Org.). **A paleontologia na sala de aula**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2015. 714 p.

TERRESTRISUCHUS. s.d. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Terrestrisuchus.jpg>. Acesso em: 29 out. 2024.

WIKIMEDIA COMMONS. Fóssil de *Diatryma* (Eoceno, Wyoming). Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Diatryma_fossil_bird_%28Eocene%2C_Wyoming%29_1.jpg. Acesso em: 31 out. 2024.

XCARET. Quetzalcoatlus. Disponível em: <https://blog.xcaret.com/en/quetzalcoatlus-pterodactyl/>. Acesso em: 30 out. 2024.

YOUNG, Mark T.; SACHS, Sven; ABEL, Pascal. Fossil Focus: Thalattosuchia. **Palaeontology Online**, v. 8, n. 5, p. 1-13, 2018.

ZAHER, Hussam et al. An Early Cretaceous theropod dinosaur from Brazil sheds light on the cranial evolution of the Abelisauridae. 2020.

ANEXO I - PLANO DE AULA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOLOGIA - CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PROFESSORES RESPONSÁVEL: João Vitor Calegari Borges

<u>PLANEJAMENTO DA AULA</u>		DATA
ASSUNTO: A Evolução e Diversificação dos Amniotas CONTEÚDO: O Surgimento e a Diversificação dos Amniotas, A Diversificação e Sucesso dos Dinossauros, Aves e a Continuidade Evolutiva dos Dinossauros e A Evolução das Tartarugas, mamíferos, esquamados, crocodilos e Pterossauros. PERÍODO:		2024
		LOCAL/HORÁRIO:
OBJETIVOS	• Compreender o surgimento dos Amniotas e a importância das adaptações evolutivas; • Analisar as características que diferenciam Sinápsidos e Saurópsidas e seu significado evolutivo; • Discutir a ascensão dos dinossauros, suas adaptações ao ambiente terrestre e os fatores que levaram à sua diversificação; • Entender a relação entre dinossauros e aves e os principais eventos que marcaram a evolução das aves; • Estudar a evolução das tartarugas, mamíferos, esquamados, crocodilos e dos pterossauros, observando suas adaptações únicas e a transição para ambientes distintos.	
PROCEDIMENTO (METODOLOGIA)	1. Apresentação e Contextualização dos Amniotas: • Introduzir o conceito de Amniotas e seus dois grupos principais: Sinápsidos e Saurópsidas; • Comparação entre os crânios de Sinápsidos e Arcossauros, explorando as adaptações estruturais; • Discutir o desenvolvimento da postura ereta e seu papel na endotermia. 2. Evolução dos Crurotarsanos e Dinossauros:	

	• Apresentação dos Crurotarsanos e sua transição da terra para a água; • Explicação sobre a origem dos dinossauros em Gondwana e a importância de suas adaptações morfológicas; • Comparação dos dinossauros Saurísquios e Ornítisquios, abordando a diversidade ecológica entre os grupos. 3. Transição dos Dinossauros para as Aves: • Exposição sobre a relação entre terópodes e aves, com foco no Archaeopteryx; • Debate sobre as hipóteses de evolução do voo (“De Cima para Baixo” e “De Baixo para Cima”); • Apresentação sobre a diversificação das aves no Cretáceo e a evolução dos Ornithurae. 4. Discussão e Análise: • Estudo sobre as tartarugas e o debate filogenético em torno de sua origem; • Discussão das adaptações dos Pterossauros ao voo e sua importância ecológica no Mesozoico. 5. Resumo e Revisão: • Síntese sobre as principais adaptações evolutivas dos Amniotas e o impacto da extinção na ascensão dos dinossauros e na evolução das aves.
RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador e projetor; • Apresentação em slides com imagens; • Quadro e giz/pincel.

AVALIAÇÃO	Discussão em grupo e entrega de relatório individual sobre as adaptações dos Amniotas e a evolução das aves a partir dos dinossauros.
------------------	---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOLOGIA - CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

PROFESSORES RESPONSÁVEL: João Vitor Calegari Borges

<u>PLANEJAMENTO DA AULA</u>		DATA
ASSUNTO: Extinções em Massa e Suas Consequências para a Diversificação dos Vertebrados		2024
CONTEÚDO: Extinção em Massa do Triássico, Extinção Cretáceo-Paleógeno (K-Pg) e Diversificação Pós-Extinção: Mamíferos e Aves Modernas		
PERÍODO:		
		LOCAL/HORÁRIO:
OBJETIVOS	• Analisar o impacto das extinções em massa na evolução dos vertebrados e na organização dos ecossistemas; • Compreender a ascensão dos dinossauros após a extinção do Triássico e o papel da extinção K-Pg no surgimento dos mamíferos e das aves modernas; • Identificar os efeitos ecológicos e evolutivos da perda de grandes grupos vertebrados; • Discutir o conceito de radiação adaptativa e como ele se aplica à diversificação dos mamíferos e das aves após o Cretáceo.	
PROCEDIMENTO	1. Introdução Teórica:	

(METODOLOGIA)	• Apresentação dos principais eventos de extinção em massa no Mesozoico, enfatizando o Triássico e o Cretáceo-Paleógeno. • Contextualização histórica e análise das causas geológicas e climáticas envolvidas em cada evento. 2. Estudo de Caso: Extinção do Triássico: • Descrição do impacto da extinção do Triássico nas faunas terrestres e marinhas. • Discussão sobre como as condições áridas favoreceram os dinossauros. • Análise do sucesso dos dinossauros devido a suas adaptações fisiológicas e competitivas. 3. Extinção Cretáceo-Paleógeno e Suas Consequências: • Apresentação sobre o impacto do asteroide de Chicxulub e suas consequências para os ecossistemas globais. • Estudo sobre a queda das temperaturas e colapso das cadeias alimentares devido ao bloqueio da luz solar. • Análise do desaparecimento de grandes vertebrados como dinossauros e répteis marinhos, e a abertura de novos nichos. 4. Radiação Adaptativa de Mamíferos e Aves Modernas: • Exploração de como a extinção K-Pg impulsionou a diversificação dos mamíferos e das aves no Paleógeno. • Discussão sobre as características dos Ornithurae que possibilitaram sua sobrevivência e expansão evolutiva. • Estudo sobre os fatores que permitiram a rápida adaptação dos mamíferos aos novos ambientes pós-extinção. 5. Debate e Conclusão: • Debate em grupo sobre a importância das extinções na diversidade atual de vertebrados. • Síntese sobre os processos de seleção natural e adaptação a partir das extinções em massa.
----------------------	--

RECURSOS DIDÁTICOS	• Computador e projetor; • Apresentação em slides com imagens; • Quadro e giz/pincel.
AVALIAÇÃO	• Atividade de escrita em que o aluno deverá refletir sobre o papel das extinções em massa como agentes de diversificação, exemplificando com os mamíferos e aves atuais. • Participação e engajamento no debate em grupo.