



LUCAS NASCIMENTO MENDES DOS SANTOS

**PALEOMAP: PLATAFORMA INTERATIVA PARA VISUALIZAÇÃO E
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DE ESPÉCIES**

CAMPINAS
2025

LUCAS NASCIMENTO MENDES DOS SANTOS

**PALEOMAP: PLATAFORMA INTERATIVA PARA VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DA
DISTRIBUIÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DE ESPÉCIES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção do
diploma do Curso Análise e Desenvolvimento
de Sistemas do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia Campus Campinas.

Orientador: Prof. Fabio Feliciano de Oliveira.

CAMPINAS
2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Biblioteca IFSP – Campus Campinas
Tatiane Helena Borges de Salles
CRB8/8946

Santos, Lucas Nascimento Mendes dos.

Paleomap : plataforma interativa para visualização e análise da distribuição paleogeográfica de espécies / Lucas Nascimento Mendes dos Santos. – 2025.

71 f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, Campinas, SP, 2025 .

Orientador(a): Fábio Feliciano de Oliveira.

1. Paleontologia. 2. Visualização de dados. 3. Sistema de informação geográfica . . . I. Orientador(a) Fábio Feliciano de Oliveira. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. III. Título.

ATA N.º 28/2025 - TADS-CMP/DAE-CMP/DRG/CMP/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na presente data, realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado PALEOMAP: Plataforma Interativa para Visualização e Análise da Distribuição Paleogeográfica de Espécies apresentado pelo aluno Lucas Nascimento Mendes dos Santos (CP3024881) do Curso **SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS (Campus Campinas)**. Os trabalhos foram iniciados às 20:00hs pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)
Fábio Feliciano de Oliveira	IFSP	SIM
Zady Castaneda Salazar	IFSP	SIM
José Américo dos Santos Mendonça	IFSP	SIM

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a)

Reprovado(a)

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Campus Campinas, 31 de outubro de 2025

Documento assinado eletronicamente por:

- **Fabio Feliciano de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 31/10/2025 21:07:55.
- **Zady Castaneda Salazar, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 10/11/2025 23:21:40.
- **Jose Americo dos Santos Mendonca, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/11/2025 16:22:10.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/10/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1052941

Código de Autenticação: 9c6a8041f9



*Dedico este trabalho a todos que se mostraram
dispostos a fornecer e auxiliar a minha jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, que todos os dias corre contra o mundo para que eu consiga correr a favor dele.

Aos meus colegas, de dentro e fora do IFSP Campinas, que fizeram essa jornada ser mais leve, e aos meus líderes na AMCHAM Campinas, Matheus e Leonardo, pelo apoio e compreensão que permitiram que eu tivesse a liberdade para trabalhar nessa entrega.

Agradeço especialmente aos artistas Eugenio (PaleoHistoric) e Peter (Paleo Pete) pela gentil permissão de utilizar suas obras como ilustrações neste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Fábio, pelo auxílio e apoio necessários para que eu fizesse essa entrega.

E aos professores do IFSP Campinas, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, em especial a Profa. Zady, um exemplo de empatia, o Prof. Andreiwid, pelo incentivo a esse trabalho, e ao Prof. André, que me ensinou a nunca aceitar menos do que eu sou capaz de entregar.

*"O propósito da computação é
insight, não números".*

Richard Hamming

RESUMO

O acesso a dados paleontológicos é frequentemente dificultado pela fragmentação das informações e pela complexidade técnica de bancos de dados especializados, o que cria barreiras para estudantes, pesquisadores e o público geral. Este trabalho apresenta o desenvolvimento da plataforma PaleoMap, uma aplicação web interativa projetada para superar esses desafios, oferecendo uma ferramenta visual e intuitiva para a exploração da distribuição paleogeográfica de espécies extintas. A metodologia adotada consistiu no desenvolvimento de uma aplicação *client-side*, utilizando tecnologias como HTML, CSS e JavaScript. A plataforma consome dados em tempo real da API (Interface de Programação de Aplicações) pública do Paleobiology Database (PBDB) e emprega a biblioteca Leaflet.js para a renderização de um mapa interativo, sobre o qual as ocorrências fósseis são georreferenciadas. Como resultado, a plataforma permite a filtragem dinâmica dos dados por período geológico, através de uma linha do tempo, por família taxonômica e por gênero. Para otimizar a performance diante do grande volume de registros, foi implementado um sistema de cache para guardar as informações por um período determinado de tempo ou até nova atualização. Conclui-se que o PaleoMap se constitui como uma ferramenta eficaz para a divulgação científica, traduzindo dados científicos complexos em uma experiência de aprendizado visual e acessível, contribuindo para a democratização do conhecimento paleontológico.

Palavras-chave: paleontologia; visualização de dados; sistemas de informação geográfica; Leaflet.js; GIS.

ABSTRACT

Access to paleontological data is often hindered by the fragmentation of information and the technical complexity of specialized databases, which creates barriers for students, researchers, and the general public. This paper presents the development of the PaleoMap platform, an interactive web application designed to overcome these challenges by offering a visual and intuitive tool for exploring the paleogeographic distribution of extinct species. The adopted methodology consisted of developing a client-side application using technologies such as HTML, CSS, and JavaScript. The platform consumes real-time data from the public API (Application Programming Interface) of the Paleobiology Database (PBDB) and employs the Leaflet.js library to render an interactive map, on which fossil occurrences are georeferenced. As a result, the platform allows for dynamic data filtering by geological period, through an interactive timeline, by taxonomic family, and by genus. To optimize performance and visual clarity when dealing with the large volume of records, a cache system was implemented to store information for a specific period of time or until further update. It is concluded that PaleoMap constitutes an effective tool for science communication, translating complex scientific data into an accessible and visual learning experience, thus contributing to the democratization of paleontological knowledge.

Keywords: paleontology; data visualization; geographic information systems; Leaflet.js; GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Especificações do Sistema.....	25
Figura 2 – Arquitetura do Sistema.....	40
Figura 3 – Diagrama de Casos de Uso do PaleoMap.....	44
Figura 4 – Diagrama de Fluxo do PaleoMap.....	45
Figura 5 – Página Inicial do Projeto - Seção Inicial.....	47
Figura 6 – Página Inicial do Projeto - Seção Mapa.....	48
Figura 7 – Página Inicial do Projeto - Seção Eras.....	49
Figura 8 – Página Inicial do Mapa, sem o Menu Lateral.....	50
Figura 9 – Página Inicial do Mapa, com o Menu Lateral.....	51
Figura 10 – Marcador Selecionado.....	52
Figura 11 – Marcador Selecionado, Informações.....	53
Figura 12 – Visualização de Membros da Mesma Família.....	54
Figura 13 – Zoom-In na imagem do marcador selecionado.....	55
Figura 14 – Filtro de período geológico do slider aplicado.....	56
Figura 15 – Filtro de período geológico através da legenda aplicado.....	57
Figura 16 – Filtro de país aplicado.....	58
Figura 17 – Filtro de país aplicado, visualização do menu lateral.....	59
Figura 18 – Filtro de família aplicado.....	60
Figura 19 – Filtro de família aplicado, visualização do menu lateral.....	60
Figura 20 – Filtro de busca de espécie aplicado.....	61
Figura 21 – Filtro de busca de espécie aplicado, visualização do menu lateral....	62
Figura 22 – Modo Comparaçao de Distância.....	63
Figura 23 – Modo Comparaçao de Distância, visualização no menu lateral.....	64
Figura 24 – Curiosidades.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS

- API** — Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicações)
- PBDB** — Paleobiology Database
- GBIF** — Global Biodiversity Information Facility
- SIG** — Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System - GIS)
- CSS** — Cascading Style Sheets (Folhas de Estilo em Cascata)
- HTML** — HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
- JS** — JavaScript
- MVP** — Minimum Viable Product (Produto Mínimo Viável)
- VS Code** — Visual Studio Code
- CDN** — Content Delivery Network (Rede de Entrega de Conteúdo)
- JSON** — JavaScript Object Notation
- GeoJSON** — Geographic JavaScript Object Notation

LISTA DE SIGLAS

API - Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicações)

CSS - Cascading Style Sheets (Folhas de Estilo em Cascata)

GBIF - Global Biodiversity Information Facility

HTML - HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Hipertexto)

JS - JavaScript

MVP - Minimum Viable Product (Produto Mínimo Viável)

PBDB - Paleobiology Database

SIG - Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System - GIS)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVOS	17
3.1 Objetivos Gerais	17
3.1 Objetivos Específicos	17
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
4.1 Paleontologia	18
4.2 Sítios Paleontológicos	18
4.3 Fósseis	19
4.4 Mapa Interativo	20
4.5 Sistema de Informação Geográfica (GIS)	21
4.6 Paleo Informática	22
4.7 Bancos de Dados Abertos	23
5 METODOLOGIA	25
5.1 Ambiente de Desenvolvimento	25
5.2 Ferramentas Utilizadas	25
5.2.1 Visual Studio code	25
5.2.2 Javascript	26
5.2.3 Node.js	27
5.2.4 Python	27
5.2.5 Flask	28
5.2.6 Requests	28
5.2.7 Github	29
5.2.8 Paleobiology Database	30
5.2.9 GeoJSON	31
5.2.10 Leaflet	32
5.2.11 Jinja2	33
5.2.12 Fontes de ícones	34
5.2.13 noUiSlider	34
5.2.14 Turf	35
5.2.15 leaflet.markercluster	36
5.3 Sistema Desenvolvido	36
5.3.1 Metodologia de Desenvolvimento	36
5.3.2 Arquitetura do Sistema	38
5.3.2.1 Camada de Apresentação (Cliente - Front-end)	39
5.3.2.2 Camada de Lógica (Servidor - Back-end)	40
5.3.2.3 Camada de de Dados	42
5.3.3 Diagramas de Casos de Uso e de Fluxo do Sistema	42
5.3.3.1 Diagrama de Casos de Uso	43

5.3.3.2 Diagrama de Fluxo	44
5.3.4 Telas do sistema	45
6 CONCLUSÃO	64
6.1 Dificuldades Encontradas	64
6.2 Trabalhos Futuros	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICES	70
Apêndice A - Termo de Autorização do Artista Eugenio (Paleohistoric).	70
Apêndice B - Termo de Autorização do artista Peter Nickolaus (Paleo Pete) .	71

1 INTRODUÇÃO

A paleontologia desempenha um papel fundamental na compreensão da biodiversidade ao longo do tempo, permitindo que pesquisadores explorem a evolução das espécies e os impactos de mudanças geológicas e climáticas (Schmidt, 2018). Entretanto, o acesso ao conhecimento paleontológico ainda é marcado por uma forte dependência de publicações técnicas e bancos de dados especializados, que, apesar de essenciais, apresentam interfaces complexas e pouco intuitivas (Dillon et al., 2023).

Bases consolidadas, como o Paleobiology Database (PBDB) e o Global Biodiversity Information Facility (GBIF), reúnem grande volume de informações fósseis, mas a ausência de ferramentas de visualização interativas limita sua utilização por estudantes, iniciantes e pelo público geral. Nesse cenário, plataformas mais acessíveis, como a Wikipédia, tornam-se fontes populares de consulta, embora ofereçam apenas informações gerais e pouco integradas (George et al., 2023; Wang, Ma e Chen, 2018).

Diante desse contexto, novas abordagens digitais surgem como oportunidade para aproximar o público dos registros fósseis. Ferramentas interativas capazes de representar a distribuição geográfica e temporal das espécies extintas podem tornar o aprendizado mais acessível e intuitivo. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de visualização paleogeográfica que integre dados dispersos em uma interface interativa, permitindo explorar a evolução da vida na Terra de forma integrada e dinâmica.

2 JUSTIFICATIVA

O estudo da paleontologia desempenha um papel essencial na compreensão da biodiversidade ao longo das eras geológicas, ao permitir a análise da evolução das espécies e dos impactos de mudanças ambientais e climáticas (Schmidt, 2018). Entretanto, a forma fragmentada como essas informações são tradicionalmente apresentadas — distribuídas entre artigos científicos, bancos de dados especializados e publicações acadêmicas — impõe desafios significativos à disseminação do conhecimento (Elewa, 2011).

Com o avanço das tecnologias da informação, a paleontologia passou a incorporar ferramentas computacionais para análise e visualização de dados fósseis. Surgem então campos como a paleontologia digital e a paleo informática, que aplicam sistemas de informação geográfica (SIG), inteligência artificial e bancos de dados relacionais para ampliar o acesso e a interpretação dos registros fósseis (Dolven, Jane K. e Skjerpen, Hans, 2011).

Atualmente, bases de dados como o Paleobiology Database (PBDB) e o Global Biodiversity Information Facility (GBIF) centralizam acervos paleontológicos valiosos. Apesar da relevância, essas plataformas apresentam interfaces técnicas pouco intuitivas e oferecem recursos limitados de visualização interativa, dificultando seu uso tanto para o público geral quanto para pesquisadores iniciantes (Dillon et al, 2023). Além disso, sua visibilidade fora do meio acadêmico é restrita, permanecendo concentradas entre especialistas.

Em contraste, plataformas de acesso rápido e aberto, como a Wikipédia, são amplamente utilizadas pelo público geral. Contudo, embora forneçam uma visão geral dos temas, carecem da profundidade analítica e da integração de dados necessária para estudos mais detalhados (Harvard College Writing Program, 2024).

A ausência de ferramentas interativas que consolidem e visualizem a distribuição geográfica e temporal de espécies extintas configura uma barreira adicional para estudantes, pesquisadores e interessados no tema. Este desafio se agrava devido à complexidade dos registros fósseis, que requerem a correlação de dados espaciais e cronológicos para uma compreensão abrangente da evolução da vida na Terra (George et al., 2023; Wang, Ma e Chen, 2018).

Nesse contexto, os avanços nas tecnologias digitais e a popularização de plataformas interativas oferecem novas possibilidades para a divulgação científica. O desenvolvimento de um mapa interativo que permita a visualização paleogeográfica da distribuição de espécies

extintas, com filtros dinâmicos para período geológico, grupo taxonômico e gênero, além de bibliotecas como o LeafLet, proporciona uma experiência de navegação mais acessível e intuitiva.

A implementação de tais ferramentas possibilitaria não apenas a ampliação do acesso ao conhecimento paleontológico, mas também a promoção de uma compreensão mais profunda dos eventos de extinção, das transformações ecológicas e dos padrões climáticos do passado. Além de atender às necessidades de pesquisadores e estudantes, uma plataforma desse tipo contribuiria significativamente para o fortalecimento da educação científica e do interesse público pela história natural da Terra.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver uma plataforma web interativa, com foco na experiência do usuário, que visualize e analise a distribuição geográfica e temporal de espécies extintas. O objetivo é transformar dados paleontológicos brutos em um mapa acessível, utilizando APIs de dados abertos e bibliotecas de visualização front-end para fornecer filtros dinâmicos e uma interface intuitiva para o público geral, estudantes e pesquisadores.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Coleta e Integração de Dados através de API;
- b) Desenvolvimento do Mapa Interativo utilizando Leaflet.js;
- c) Disponibilização de marcações no mapa para os registros fósseis em suas coordenadas divulgadas;
- d) Implementação de Ferramentas de Filtro e Análise para refinar a visualização;
- e) Criação de Interface e Conteúdo Detalhado.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 PALEONTOLOGIA

A paleontologia é a ciência dedicada a desvendar a história da vida na Terra em épocas remotas. Ela se concentra na análise de vestígios preservados de organismos que viveram no passado, conhecidos como fósseis. O termo, derivado do grego, significa literalmente "estudo da vida antiga" (*paleo*, antigo; *ontos*, ser; *logos*, estudo), e sua prática vai muito além da simples coleta de restos esqueléticos de dinossauros.

Como uma ciência genuinamente interdisciplinar, a paleontologia integra conhecimentos de áreas como a geologia, a biologia, a química e a física. Essa fusão de saberes é o que permite aos paleontólogos não apenas identificar espécies extintas, mas também reconstruir seus ecossistemas, entender suas adaptações e traçar as complexas relações evolutivas entre os seres vivos (Benton, 2015). Através do estudo de fósseis, é possível reconstruir a história da vida no planeta, o que inclui a identificação de eventos de extinção em massa e a compreensão dos mecanismos evolutivos que moldaram a biodiversidade ao longo de bilhões de anos (Shubin, 2008).

O principal objeto de estudo da paleontologia, o fóssil, é qualquer evidência de vida passada, como restos de esqueletos, conchas, pegadas ou até mesmo fezes fossilizadas. Cada fóssil é uma cápsula do tempo que, quando analisada em seu contexto geológico, oferece informações cruciais sobre a idade das rochas e as condições ambientais do passado (Prothero, 2013). Essa abordagem integrada, que une o registro biológico com o contexto geológico, é o que faz da paleontologia uma ferramenta indispensável para a ciência, pois ela nos ajuda a compreender nosso próprio lugar na vasta e complexa história da Terra.

4.2 SÍTIOS PALEONTOLÓGICOS

A paleontologia, em sua busca por desvendar a história da vida na Terra, depende diretamente de locais geológicos específicos onde os vestígios da vida antiga — os fósseis — foram excepcionalmente preservados. Esses locais, conhecidos como sítios paleontológicos, não são meramente pontos no mapa, mas sim "cápsulas do tempo" geológicas que oferecem uma visão detalhada dos ecossistemas e da biodiversidade de épocas remotas.

A importância de um sítio paleontológico reside em sua capacidade de preservar um registro fóssil rico e representativo de um determinado período geológico. Fatores como a sedimentação rápida, a mineralização ideal e a ausência de perturbações geológicas são essenciais para que os organismos, após a morte, se tornem parte do registro fóssil (Kidwell;

Behrensmeyer, 1988). O estudo desses processos de preservação, a tafonomia, é fundamental para os paleontólogos, pois permite que eles entendam como um conjunto de fósseis se formou e o que ele realmente representa do ecossistema original (Benton, 2015).

A existência de sítios paleontológicos notáveis tem sido crucial para a compreensão de eventos-chave na história da Terra. A Hell Creek Formation, localizada nos Estados Unidos, é mundialmente famosa por conter o registro dos últimos dinossauros, incluindo o *Tyrannosaurus rex* e o *Triceratops*, e por preservar a crucial fronteira geológica do evento de extinção em massa K-Pg (Cretáceo-Paleogeno) (Johnson et al., 2008). No Canadá, a Dinosaur Park Formation é outro exemplo de um sítio de imensa relevância, conhecida por sua vasta e diversificada fauna de dinossauros que forneceu evidências inestimáveis para o estudo da paleoecologia e da evolução (Eberth e Evans, 2005).

No Brasil, a Formação Santa Maria, localizada na Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul), é de importância global para a compreensão do Período Triássico. Seus depósitos fossilíferos são cruciais para o estudo da origem e da diversificação inicial dos dinossauros e de seus parentes próximos, como os dinossauroomorfos (Cabreira et al., 2016). A riqueza de fósseis dessa formação ajudou a solidificar o conhecimento sobre como os dinossauros ascenderam como os vertebrados terrestres dominantes.

A visualização da localização e da concentração desses sítios em um mapa interativo é, portanto, mais do que uma simples representação geográfica. É uma forma de contextualizar o registro fóssil, de conectar as descobertas individuais a um panorama global e de demonstrar a importância desses locais como pontos centrais para o avanço da ciência paleontológica, permitindo que acadêmicos e estudantes analisem padrões de distribuição e extinção, mas também serve como uma ferramenta educativa e de combate à desinformação, fortalecendo a ligação entre a ciência e o público em geral.

4.3 FÓSSEIS

Os fósseis representam a principal fonte de evidências para o estudo da paleontologia, servindo como o registro físico da vida que existiu em épocas geológicas passadas. A formação de um fóssil, processo conhecido como fossilização, é um evento raro que depende de condições específicas para ocorrer, como o soterramento rápido do organismo após a morte. Tais processos de preservação, que substituem ou moldam os tecidos originais por minerais, são cruciais para impedir a decomposição (Carvalho, 2011).

A natureza dos fósseis varia amplamente e pode ser categorizada em duas classes principais:

1. **Somatofósseis:** São os restos preservados do corpo de um organismo, como ossos, conchas e dentes. Eles fornecem informações diretas sobre a anatomia e a morfologia das espécies extintas. O Brasil possui um registro riquíssimo de somatofósseis, especialmente da Era Mesozoica, com descobertas que incluem dinossauros, pterossauros e mamíferos pré-históricos (Langer et al., 2010).
2. **Icnofósseis:** Representam vestígios da atividade de um organismo, e não do seu corpo. Incluem pegadas, tocas, rastros e fezes fossilizadas (coprólitos). O estudo de icnofósseis é essencial para entender o comportamento, a locomoção e as interações ecológicas das espécies (Kellner et al., 2011).

A análise dos fósseis em seu contexto geológico é fundamental para a ciência. O registro fóssil, quando associado a técnicas de estratigrafia e datação, permite aos cientistas determinar a idade das espécies e posicioná-las com precisão no tempo geológico. A distribuição geográfica dos fósseis, por sua vez, oferece insights sobre a paleogeografia do planeta e as mudanças climáticas que moldaram a vida na Terra.

Em suma, os fósseis são mais do que meros objetos curiosos; são dados científicos essenciais que nos permitem reconstruir a complexa e longa história evolutiva do nosso planeta, validando teorias e expandindo nossa compreensão sobre a biodiversidade ao longo do tempo.

4.4 MAPA INTERATIVO

Inicialmente, um mapa é uma representação fundamental da cartografia, a ciência que se dedica ao estudo e à representação do espaço geográfico. Um mapa tradicional é uma representação gráfica estática e bidimensional de uma área, que utiliza elementos padronizados como título, escala, legenda e simbologia para comunicar informações sobre a disposição espacial de elementos físicos e culturais (Monica, 2016). Essa abordagem clássica, apesar de eficaz, limita a interação do usuário a uma leitura passiva dos dados.

Com o avanço das tecnologias digitais, a cartografia evoluiu para o conceito de mapa interativo. Conforme definido pela empresa ESRI, uma das líderes em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), um mapa interativo é uma representação virtual que permite ao usuário manipular o estilo e o formato, realizar operações como zoom e navegação, e aplicar filtros ou visualizar informações detalhadas em pop-ups. Em outras palavras, esse tipo de mapa possui funcionalidades que permitem ao usuário interagir tanto com a visualização dos

dados quanto com o próprio mapa, transformando uma ferramenta de consulta estática em uma plataforma de exploração dinâmica.

Essa interatividade é viabilizada por meio de bibliotecas e frameworks de desenvolvimento web. O Leaflet.js, por exemplo, é uma biblioteca de código aberto amplamente utilizada que permite a criação de mapas dinâmicos e responsivos em navegadores. Através dele, dados georreferenciados podem ser transformados em camadas de informação visualmente ricas, como marcadores e clusters, que reagem aos comandos do usuário.

No contexto deste projeto, o sistema utiliza um mapa interativo para disponibilizar dados sobre descobertas paleontológicas. Isso possibilita que os usuários interajam diretamente com esses dados, permitindo-lhes visualizar a distribuição espacial de fósseis, aplicar filtros por período geológico e táxon, e acessar informações detalhadas, como gênero, espécie e imagens ilustrativas, diretamente de pop-ups. Dessa forma, o mapa interativo não é apenas um componente visual, mas a principal ferramenta de análise e disseminação do conhecimento científico sobre a história da vida na Terra.

4.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (GIS)

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um conjunto de ferramentas projetado para coletar, armazenar, analisar e apresentar todos os tipos de dados geográficos ou espaciais. Diferente de um mapa tradicional, que é uma representação estática, um SIG é um sistema dinâmico que integra dados de localização (coordenadas de latitude e longitude) a informações descritivas, permitindo uma análise muito mais aprofundada (Goodchild, 1992). Em essência, um SIG é um sistema de banco de dados onde cada dado possui uma referência geográfica, transformando informações em conhecimento espacialmente contextualizado.

A funcionalidade central de um SIG reside na sua capacidade de identificar padrões, tendências e relações que não seriam evidentes em uma tabela de dados comum. Seus componentes básicos incluem: o hardware e software para processamento; os dados geográficos e descritivos; os métodos de análise; e, fundamentalmente, os usuários (Oliveira, 2018). Ao combinar esses elementos, o SIG viabiliza a realização de operações complexas como consultas espaciais, análise de proximidade e a sobreposição de múltiplas camadas de informação, o que é essencial para o suporte à tomada de decisões em diversas áreas.

Neste projeto, o sistema funciona como um SIG na web. Ele cumpre o ciclo de vida de um SIG ao:

- Coletar dados: Consumindo dados georreferenciados e paleontológicos da API aberta do Paleobiology Database.
- Armazenar e Gerenciar dados: Processando e organizando temporariamente as informações sobre fósseis no lado do servidor.
- Analisar dados: Permitindo que os usuários filtrem e visualizem a distribuição dos fósseis por período geológico e táxon, facilitando a identificação de padrões de ocorrência.
- Apresentar dados: Exibindo os resultados de forma interativa e visual em um mapa dinâmico, utilizando a biblioteca Leaflet.js.

Portanto, o sistema desenvolvido não é apenas um mapa online, mas uma ferramenta de análise espacial que democratiza o acesso a dados complexos sobre a distribuição de fósseis. Ele demonstra como os princípios de um SIG podem ser aplicados em uma plataforma moderna na web para preencher a lacuna na comunicação científica e tornar a paleontologia mais acessível a todos.

4.6 PALEO INFORMÁTICA

A paleontologia, por sua natureza, lida com um vasto e fragmentado conjunto de dados, provenientes de descobertas em sítios fossilíferos ao redor do mundo. A gestão e a análise dessas informações sempre foram um desafio, limitando o acesso e a colaboração científica. No entanto, com o avanço da tecnologia, a ciência passou a integrar ferramentas computacionais, dando origem a um novo campo conhecido como paleo informática ou paleontologia digital (Carvalho, 2011).

A paleo informática é a área da ciência que aplica os princípios e as ferramentas da informática para coletar, gerenciar e analisar dados paleontológicos. Seu objetivo é superar as barreiras físicas e geográficas, transformando dados brutos em informações digitais acessíveis e interativas (George et al., 2023). Isso inclui a digitalização de fósseis através de modelagem 3D, a criação de bases de dados relacionais e, fundamentalmente, a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) para a visualização espacial de ocorrências (Wang, Ma e Chen, 2018)

A aplicação da paleo informática tem gerado uma nova era para a paleontologia. Bancos de dados abertos, como o Paleobiology Database (PBDB), são pilares dessa transformação. Eles centralizam milhões de registros de fósseis, oferecendo APIs (Application Programming Interfaces) que permitem a desenvolvedores e pesquisadores

acessar e integrar esses dados em aplicações personalizadas (Peters e McClenen, 2016). Essa abertura de dados é crucial para a divulgação científica, pois viabiliza a criação de plataformas que traduzem dados complexos para um público mais amplo e para fins educacionais, como é o caso deste projeto.

A utilização de bibliotecas de mapeamento interativo como o Leaflet.js, juntamente com os dados dessas APIs, exemplifica a essência da paleontologia digital. A capacidade de filtrar dados por período geológico, táxon ou família, e de visualizar agrupamentos de ocorrências (clusters), são funcionalidades que só se tornam possíveis com a aplicação de conceitos de paleo informática. Assim, o projeto não só se beneficia dessa revolução tecnológica, mas também contribui para ela, ao transformar um conjunto de dados disperso em uma ferramenta coesa e acessível para a comunidade científica e entusiastas.

4.7 BANCOS DE DADOS ABERTOS

A democratização do acesso à informação é um dos pilares da ciência moderna, e nesse contexto, os bancos de dados abertos emergem como ferramentas cruciais para a pesquisa e a divulgação científica. Um banco de dados aberto é uma coleção de dados que é disponibilizada de forma pública e gratuita, sem restrições de uso, permitindo que qualquer pessoa possa acessá-los, utilizá-los, modificá-los e compartilhá-los. Essa abordagem contrasta com os modelos tradicionais, nos quais os dados científicos permaneciam confinados a artigos, laboratórios e instituições de pesquisa (Timothy e Helen, 2011).

A disponibilização de dados através de APIs (Application Programming Interfaces) é a principal via para tornar essa informação acessível. Uma API funciona como uma ponte, permitindo que diferentes sistemas de software se comuniquem e troquem dados de forma estruturada. Para a paleontologia, isso significa que uma base de dados centralizada pode fornecer informações de ocorrências fósseis para uma variedade de aplicações. Isso elimina a necessidade de bancos de dados locais e complexos, como o PostGIS, e foca na eficiência e na interoperabilidade dos sistemas.

O Paleobiology Database (PBDB) é um exemplo paradigmático da importância desses bancos de dados. Conforme descrito por Peters e McClenen (2016), o PBDB é um repositório digital mantido por uma comunidade global de cientistas, que compila informações sobre a distribuição geográfica e temporal de táxons de organismos extintos. A sua API permite que pesquisadores, educadores e entusiastas obtenham dados sobre a localização, a idade e a taxonomia de milhões de fósseis. Essa característica de ser uma fonte

de dados única e padronizada é o que torna possível a criação de ferramentas que utilizam a API do PBDB para construir um mapa interativo e acessível.

5 METODOLOGIA

5.1 AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da aplicação proposta foi feito em um dispositivo notebook com Sistema Operacional Windows 11 Home Single Language, com processador Intel i5 e 32GB de RAM. Outras especificações do dispositivo podem ser visualizadas na figura 1 abaixo.

Figura 1 – Especificações do Dispositivo

Especificações do dispositivo		Copiar	^
Nome do dispositivo	DESKTOP-TL7PTEP		
Processador	Intel(R) Core(TM) i5-9300H CPU @ 2.40GHz (2.40 GHz)		
RAM instalada	32,0 GB (utilizável: 31,8 GB)		
ID do dispositivo	B02FB771-5D32-4601-AF2E-6BAD2042B323		
ID do Produto	00342-41404-99220-AAQEM		
Tipo de sistema	Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64		
Caneta e toque	Nenhuma entrada à caneta ou por toque disponível para este vídeo		
Links relacionados Domínio ou grupo de trabalho Proteção do sistema Configurações avançadas do sistema			

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O computador também detém placa de vídeo NVIDIA GTX1050 com 3GB dedicada e SSD de 1TB.

5.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

5.2.1 *Visual Studio code*

O Visual Studio Code (VS Code) é um editor de código-fonte amplamente adotado e mantido pela Microsoft. Lançado em 2015, ele se destacou rapidamente por ser uma ferramenta leve e de alta performance, projetada para ser multiplataforma, com versões disponíveis para os sistemas operacionais Windows, macOS e Linux. O VS Code é distribuído sob uma licença de código aberto, com seu repositório de código público no GitHub, o que fomentou o engajamento da comunidade de desenvolvedores (Devmedia, 2016).

Uma das características mais notáveis do VS Code é seu ecossistema robusto de extensões. A comunidade de desenvolvedores desempenha um papel crucial nesse aspecto, criando e mantendo um vasto catálogo de extensões que expandem a funcionalidade do editor.

Essas extensões permitem desde a personalização da interface visual, com a aplicação

de temas e ícones, até a integração com ferramentas de desenvolvimento e linguagens de programação, tornando o VS Code uma ferramenta extremamente flexível e adaptável às necessidades de qualquer projeto. Sua arquitetura modular e extensível o estabeleceu como um padrão no mercado, sendo a escolha preferida de muitos profissionais para o desenvolvimento web e de aplicações modernas.

O Visual Studio Code foi utilizado como ambiente de desenvolvimento do projeto, o que permitiu a utilização de suas funcionalidades de edição para uma confecção acelerada e produtiva da aplicação.

5.2.2 Javascript

O JavaScript é uma linguagem de programação desenvolvida em 1995 por Brendan Eich, inicialmente criada para adicionar interatividade a páginas web. Ao longo dos anos, evoluiu para atuar tanto no front-end quanto no back-end, sendo amplamente utilizada em aplicações web modernas (MDN, 2024). É interpretada, baseada em objetos e integrada nativamente aos navegadores, permitindo manipular elementos da página, processar dados e consumir APIs.

No projeto, o JavaScript foi utilizado no front-end para implementar a interação com o mapa, manipular dados recebidos da API do PBDB e controlar elementos dinâmicos como a linha do tempo e os filtros. A implementação seguiu uma abordagem moderna e modular, baseada em recursos nativos como módulos ES6, funções assíncronas (async/await) e callbacks. O uso de módulos permitiu a separação do código em arquivos lógicos (como api.js e map.js), tornando o projeto mais organizado e de fácil manutenção. As funções assíncronas garantiram que a aplicação se comunicasse com o back-end de forma fluida, sem travar a interface do usuário.

Em conjunto com bibliotecas de terceiros, o JavaScript possibilitou atualizações em tempo real, tornando a navegação mais fluida e interativa. As principais aplicações foram:

- Integração com bibliotecas de mapa: Utilizado para renderizar o mapa interativo com o Leaflet.js, incluindo a adição de marcadores e informações personalizadas. Ele também gerencia a exibição de grupos de marcadores usando o plugin Leaflet.markercluster para otimizar o desempenho.
- Manipulação de filtros interativos: Empregado para controlar a linha do tempo com a biblioteca noUiSlider, permitindo ao usuário filtrar registros por intervalo de tempo

geológico com resposta imediata no mapa. Também realiza análises geoespaciais com o Turf.js para calcular distâncias.

- Interatividade e usabilidade: Constrói a lógica para elementos como o painel lateral retrátil, a atualização instantânea de dados e os efeitos visuais que melhoram a experiência do usuário.

O JavaScript foi executado diretamente no navegador, garantindo que a aplicação funcionasse sem a necessidade de instalação de software adicional pelo usuário.

5.2.3 Node.js

O Node.js é um ambiente de execução criado em 2009 por Ryan Dahl, baseado no motor V8 do Google Chrome, que permite rodar JavaScript fora do navegador. É amplamente utilizado no desenvolvimento de servidores web por sua eficiência em lidar com operações assíncronas e escalabilidade.

O Node.js foi utilizado como ambiente de execução de código JavaScript no lado do servidor. Sua função principal foi permitir a comunicação entre o front-end e serviços externos, além de gerenciar pacotes e dependências do projeto via npm.

No PaleoMap, o Node.js foi responsável por:

- Servir arquivos estáticos da aplicação para o navegador do usuário.
- Gerenciar bibliotecas e dependências utilizadas no front-end, como Leaflet.js e noUiSlider.
- Fornecer suporte ao desenvolvimento com execução local e testes da aplicação antes da publicação.

A utilização do Node.js aumentou a portabilidade e facilitou a manutenção do projeto, garantindo um ambiente controlado para execução e implantação.

5.2.4 Python

O Python é uma linguagem de programação de alto nível criada por Guido van Rossum e lançada em 1991. É reconhecida por sua sintaxe simples e legível, que favorece a produtividade e a manutenção de código. Ao longo dos anos, tornou-se uma das linguagens mais populares do mundo, utilizada em áreas como ciência de dados, inteligência artificial, automação e desenvolvimento web.

Entre suas principais características destacam-se:

- Sintaxe clara e próxima da linguagem humana, facilitando o aprendizado.

- Portabilidade e execução multiplataforma.
- Amplo ecossistema de bibliotecas, abrangendo desde ciência de dados até aplicações web.
- Comunidade ativa e extensa documentação, garantindo suporte e evolução contínua.

No PaleoMap, o Python foi a linguagem base do back-end, servindo como núcleo para o desenvolvimento de toda a lógica no lado do servidor. Com ele, foi implementada a camada de intermediação entre o front-end e a API do PBDB, utilizando o framework Flask para criação de rotas e a biblioteca Requests para o consumo de dados. Essa abordagem permitiu processar e formatar as informações antes de enviá-las ao navegador, além de aplicar filtros e regras de negócio definidas no projeto.

5.2.5 Flask

O Flask é um framework web minimalista para Python, criado por Armin Ronacher em 2010. Ele fornece ferramentas para desenvolvimento rápido de aplicações web, oferecendo rotas, integração com bancos de dados e suporte a templates. Por ser leve e flexível, é indicado para projetos que demandam controle detalhado da lógica do servidor.

No projeto, o Flask foi utilizado no back-end para criar rotas responsáveis por intermediar a comunicação entre o front-end e a API do PBDB. Também foi responsável por processar e formatar os dados recebidos antes de enviá-los ao cliente, garantindo segurança e desempenho.

Suas funções no projeto foram:

- Criação de rotas para comunicação entre o front-end e o servidor.
- Intermediação com a API do PBDB, possibilitando consultas controladas e evitando chamadas diretas que poderiam comprometer a segurança ou a performance.
- Tratamento e formatação dos dados antes de enviá-los ao navegador, garantindo que apenas as informações relevantes fossem repassadas ao usuário.

Essa abordagem permitiu centralizar a lógica de negócios no servidor e reduzir o processamento no lado do cliente.

5.2.6 Requests

A biblioteca Requests, lançada em 2011 por Kenneth Reitz, é uma ferramenta em Python para realizar requisições HTTP de forma simples e intuitiva. Sua sintaxe clara e suporte a métodos como GET, POST, PUT e DELETE a tornaram amplamente adotada.

No projeto, o Requests foi utilizado em conjunto com o Flask para consumir a API do PBDB, buscando registros fósseis conforme os parâmetros definidos pelo usuário. Além disso, foi utilizado para tratar respostas, lidar com erros e enviar ao front-end apenas os dados relevantes, já processados em formato JSON.

Sua aplicação incluiu:

- Realizar requisições HTTP para obter registros fósseis atualizados diretamente da API do PBDB.
- Implementar um mecanismo de cache para armazenar as respostas da API, evitando chamadas repetidas e reduzindo o tempo de espera do usuário.
- Tratar erros e exceções durante o consumo de dados, garantindo maior estabilidade do sistema.
- Enviar dados processados ao front-end de forma estruturada, em formato JSON, para posterior exibição no mapa interativo.

O uso do Requests simplificou a integração com fontes externas, tornando a comunicação entre servidor e APIs mais eficiente e segura.

5.2.7 Github

O GitHub é uma plataforma de hospedagem de código-fonte e arquivos com controle de versão, amplamente utilizada por desenvolvedores para colaboração em projetos de software. Sua função principal é facilitar o desenvolvimento colaborativo através do sistema Git, mas sua arquitetura também o torna uma solução eficaz para a gestão de ativos digitais, como imagens, documentos e outros arquivos de um projeto web.

No contexto deste trabalho, o GitHub foi utilizado especificamente como um repositório de imagens. Essa abordagem estratégica teve como objetivo principal otimizar o desempenho da aplicação e garantir a disponibilidade dos recursos visuais. Em vez de hospedar as imagens ilustrativas de fósseis diretamente no servidor da aplicação, elas foram armazenadas em um repositório GitHub público. Essa técnica permite que o sistema acesse as imagens de forma eficiente por meio de uma URL direta, o que tem várias vantagens:

- Otimização de Desempenho: Ao carregar as imagens de uma CDN (Content Delivery Network) implícita do GitHub, o tempo de carregamento da página é reduzido, pois a entrega dos arquivos é mais rápida e confiável.

- Gerenciamento de Arquivos: O GitHub oferece um ambiente seguro e versionado para o armazenamento dos ativos, facilitando a organização, o controle de alterações e a integração de novas imagens ao projeto.
- Desacoplamento: A separação dos ativos visuais do código principal do servidor (app.py) garante que a aplicação continue leve e focada em suas funcionalidades primárias, como o processamento de dados da API.

Dessa forma, o GitHub não se restringiu a ser uma ferramenta de desenvolvimento de código, mas se tornou parte integral da arquitetura do projeto, servindo como uma solução eficiente e escalável para a gestão dos recursos visuais da plataforma.

5.2.8 Paleobiology Database

A construção da plataforma interativa para a visualização de dados paleontológicos é baseada na integração de três componentes tecnológicos essenciais: a API do Paleobiology Database (PBDB), o formato de dados GeoJSON e a biblioteca Leaflet.js. Juntos, eles formam uma arquitetura coesa e eficiente, transformando dados científicos brutos em uma experiência de usuário rica, interativa e acessível.

O Paleobiology Database (PBDB) é um repositório global e aberto que centraliza uma vasta coleção de registros de ocorrências fósseis. Ele é organizado e operado por um grupo internacional de pesquisadores de paleobiologia, com o objetivo de prover coleções globais baseadas em ocorrência e informações taxonômicas de organismos de todas as eras geológicas, assim como o compartilhamento dessas informações através de sistemas de desenvolvimento independentes, para ferramentas de análises, softwares de visualização e outros tipos de aplicação.

Em vez de utilizar um banco de dados local, a aplicação consome os dados diretamente do PBDB por meio de sua API (Application Programming Interface). O PBDB fornece as coordenadas (latitude e longitude), os nomes das espécies e os períodos geológicos, que são a matéria-prima para todas as funcionalidades do mapa.

O GeoJSON desempenha um papel crucial como o formato de intercâmbio de dados na comunicação entre o servidor e o cliente. É um formato padrão e leve para a codificação de estruturas de dados geográficos (Butler et al., 2008). No projeto, os dados brutos recebidos da API do PBDB são processados no back-end e enviados ao front-end em uma estrutura que se assemelha ao GeoJSON. Essa padronização permite que a biblioteca de mapeamento possa

interpretar facilmente as informações geográficas (coordenadas, limites, etc.) e as associe aos atributos descritivos de cada fóssil (período, espécie).

A escolha por Leaflet.js foi motivada por sua eficiência, leveza e vasta capacidade de personalização. No front-end, o Leaflet.js é a biblioteca JavaScript que consome os dados em formato GeoJSON e os renderiza em um mapa interativo no navegador.. É o motor que transforma os dados em uma experiência visual, permitindo funcionalidades como:

- Visualização de Clusters: Agrupamento de marcadores quando há muitas ocorrências próximas, o que é fundamental para a performance do mapa em grandes volumes de dados.
- Interatividade: Suporte a ações do usuário, como zoom, pan e a abertura de pop-ups informativos com detalhes sobre cada fóssil.
- Controles Dinâmicos: Integração com os filtros do sistema para atualizar a visualização em tempo real, refletindo as escolhas do usuário.

Em resumo, a combinação dessas três tecnologias — o PBDB como a fonte de dados, o GeoJSON como o formato padrão de dados e o Leaflet.js como o motor de visualização — cria uma arquitetura robusta e eficiente. Esse ecossistema tecnológico permite que o projeto atenda aos seus objetivos de transformar dados científicos complexos em uma ferramenta de exploração e aprendizado acessível e intuitiva.

5.2.9 *GeoJSON*

GeoJSON é um formato de dados leve e aberto, baseado na sintaxe JSON (JavaScript Object Notation), que foi projetado especificamente para codificar estruturas de dados geográficos. A sua principal função é atuar como uma linguagem comum para a troca de dados espaciais na web, permitindo que diferentes aplicações e bibliotecas compreendam e interpretem a mesma informação de forma padronizada (Butler et al., 2008). Diferente de outros formatos de dados geoespaciais, o GeoJSON é simples, legível por humanos e facilmente processável por linguagens de programação, tornando-se o formato de escolha para a maioria dos projetos de mapeamento web.

Neste projeto, a utilização do GeoJSON é fundamental para a comunicação entre o back-end e o front-end, servindo como a ponte que conecta os dados brutos da API a uma visualização interativa. O processo ocorre em duas etapas principais:

1. Processamento no Servidor: O back-end, ao consumir os dados da API do Paleobiology Database (PBDB), recebe informações como latitude e longitude de cada

ocorrência fóssil. Esses dados são então organizados em um formato que, embora não seja estritamente um GeoJSON completo, segue a mesma lógica de objetos que contêm coordenadas e propriedades (como gênero, período e imagem).

2. Visualização no Cliente: O front-end, utilizando a biblioteca Leaflet.js, recebe esses dados e os interpreta como pontos geográficos. O Leaflet.js é altamente otimizado para trabalhar com a estrutura do GeoJSON, o que permite que a plataforma renderize rapidamente os marcadores no mapa, crie os agrupamentos (clusters) e associe a cada ponto as informações descritivas que são exibidas nos pop-ups.

Para a representação dos limites geográficos dos países, o projeto utiliza um conjunto de dados em formato GeoJSON de código aberto, disponível no repositório GitHub de Johan Sundström (2014). A adoção de fontes de dados cartográficos abertas e confiáveis é uma prática comum em projetos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na web, pois permite a construção de mapas detalhados sem a necessidade de criar a base cartográfica do zero.

O GeoJSON é uma abordagem técnica eficiente pois garante que os dados georreferenciados sejam transferidos de forma padronizada e otimizada, permitindo que a aplicação converta informações científicas em uma experiência visual e interativa de forma fluída e performática.

5.2.10 Leaflet

O Leaflet.js é uma biblioteca de código aberto, leve e performática, projetada para a criação de mapas interativos na web. A sua arquitetura simples e modular a estabeleceu como a escolha padrão para desenvolvedores que precisam de uma solução robusta e flexível para a visualização de dados geográficos. A principal vantagem do Leaflet.js reside em sua capacidade de operar inteiramente no lado do cliente, o que significa que o processamento e a renderização do mapa ocorrem no navegador do usuário, resultando em uma experiência de navegação mais rápida e fluida.

Neste projeto, o Leaflet.js atua como o motor de visualização que transforma dados georreferenciados em um mapa dinâmico e funcional. Sua aplicação é evidente em várias funcionalidades essenciais:

- Visualização de Marcadores e Clusters: O Leaflet.js permite a rápida renderização de marcadores (L.circleMarker) para cada ocorrência de fóssil. Para lidar com grandes volumes de dados de forma eficiente, o projeto utiliza a funcionalidade de agrupamento de marcadores (L.markerClusterGroup). Essa técnica agrupa marcadores

próximos em um único ícone de cluster, que se expande automaticamente à medida que o usuário se aproxima, evitando a poluição visual do mapa e melhorando significativamente o desempenho.

- Interatividade com Pop-ups: A biblioteca possibilita a criação de pop-ups interativos (bindPopup) que são exibidos ao clicar em um marcador. Esses pop-ups são essenciais para o projeto, pois fornecem informações detalhadas e ricas sobre cada fóssil, como gênero, período e imagens, quebrando a barreira da informação e tornando-a mais acessível.
- Controle e Dinamismo: A integração do Leaflet.js com o restante da interface, incluindo o painel de filtros, permite que o mapa responda dinamicamente às escolhas do usuário. À medida que um filtro é aplicado, o mapa é atualizado em tempo real, exibindo apenas as ocorrências relevantes.

O objetivo para a utilização do Leaflet no projeto é tornar a abordagem técnica alinhada com as melhores práticas de desenvolvimento web. A biblioteca não apenas facilita a criação do mapa, mas também garante uma experiência de usuário otimizada, tornando a exploração de dados complexos sobre a distribuição de fósseis uma tarefa intuitiva e eficiente.

5.2.11 *Jinja2*

O *Jinja2* é um motor de templates moderno e flexível para a linguagem Python. Criado por Armin Ronacher, ele permite separar a lógica do código Python da estrutura do HTML, tornando o desenvolvimento web mais limpo e organizado. O *Jinja2* é amplamente utilizado em frameworks web, como o Flask, por sua simplicidade e poder, permitindo a criação de páginas web dinâmicas a partir de templates estáticos.

Entre suas principais características destacam-se:

- Sintaxe intuitiva, que se assemelha ao código Python, mas é projetada para ser usada em HTML.
- Herança de templates, permitindo que templates reutilizem e estendam a estrutura de outros, reduzindo a repetição de código.
- Inclusão de templates, que possibilita quebrar o código HTML em componentes menores e gerenciáveis (como cabeçalhos e rodapés).
- Filtros e extensões, oferecendo ferramentas poderosas para manipular dados diretamente no template.

No PaleoMap, o Jinja2 foi fundamental na camada de apresentação (front-end). Ele permitiu a criação de uma estrutura modular para a landing page, onde cada componente é construído em arquivos separados e depois incluídos no HTML principal. Essa abordagem melhorou a organização do projeto, facilitou a manutenção e demonstrou uma prática de desenvolvimento moderna e eficiente.

5.2.12 Fontes de ícones

As fontes de ícones são coleções de ícones vetoriais que podem ser usados em projetos web. Diferentemente das imagens, esses ícones são tratados pelo navegador como caracteres de texto, o que os torna leves, escaláveis e fáceis de estilizar. No projeto, foram utilizadas duas das mais populares bibliotecas: Font Awesome e Material Icons. Ambas oferecem uma vasta gama de ícones para uso em interfaces de usuário.

Entre suas principais características destacam-se:

- Qualidade e escalabilidade, já que por serem vetoriais, os ícones mantém a nitidez em qualquer tamanho sem perder a qualidade.
- Fácil estilização via CSS, que permite alterar a cor, o tamanho e a sombra dos ícones de forma simples e rápida.
- Performance aprimorada, pois o uso de fontes de ícones reduz o número de requisições HTTP e otimiza o carregamento da página em comparação com o uso de imagens individuais.
- Semântica clara, facilitando o uso em elementos de interface, como botões de navegação, filtros e marcadores no mapa.

No PaleoMap, o uso de Font Awesome e Material Icons foi crucial para a construção de uma interface visualmente atraente e profissional. Eles foram empregados para adicionar ícones aos elementos de navegação, botões e outros componentes da landing page, garantindo uma experiência de usuário consistente e aprimorada, além de demonstrar uma preocupação com o design e a performance do front-end.

5.2.13 noUiSlider

O noUiSlider é uma biblioteca JavaScript leve e robusta, especializada na criação de sliders (controles deslizantes) dinâmicos e altamente personalizáveis. Diferente dos sliders padrão do HTML, o noUiSlider oferece controle total sobre a aparência e o comportamento, permitindo a criação de filtros de faixas de valores com múltiplos "handles" (pontos de

seleção). Ele não depende de outras bibliotecas e é otimizado para funcionar bem em dispositivos móveis e desktops.

Entre suas principais características destacam-se:

- Customização completa: Permite a estilização via CSS para se integrar perfeitamente ao design da interface.
- Controle de faixa (range): Possibilita a seleção de um intervalo de valores em vez de um único ponto, ideal para filtros de tempo.
- Performance: É otimizado para não impactar o desempenho da página, mesmo em cenários com muitos dados.

No PaleoMap, o noUiSlider foi a ferramenta escolhida para implementar o filtro de Período Geológico. Com ele, os usuários podem selecionar uma faixa de tempo específica arrastando os "handles" em uma barra, o que atualiza dinamicamente os fósseis exibidos no mapa. Isso transformou uma função de filtragem complexa em uma experiência intuitiva e visualmente clara para o usuário.

5.2.14 Turf

O Turf.js é uma biblioteca JavaScript de código aberto para análise geoespacial. Ela fornece um conjunto de funções para realizar operações de GIS (Sistema de Informação Geográfica) em navegadores e servidores. Usando objetos GeoJSON, o Turf.js permite que desenvolvedores manipulem dados geográficos, executando tarefas como cálculos de distância, medição de áreas e identificação de pontos dentro de polígonos, de forma eficiente e sem a necessidade de uma base de dados complexa.

Entre suas principais características destacam-se:

- Análise Geoespacial: Oferece ferramentas para calcular distâncias, encontrar o ponto central de um conjunto de dados e realizar outras análises espaciais.
- Formato GeoJSON: Funciona nativamente com o formato padrão de dados geográficos, facilitando a integração com outras bibliotecas como o Leaflet.
- Modularidade: Permite importar apenas as funções necessárias, mantendo o tamanho do projeto otimizado.

No PaleoMap, o Turf.js é crucial para a funcionalidade de Comparar Distância. Ele foi utilizado para calcular a distância entre os pontos de fósseis selecionados pelo usuário, fornecendo informações valiosas sobre a dispersão de uma espécie ou a proximidade de

diferentes ocorrências. Essa capacidade de análise em tempo real eleva o mapa de uma simples visualização para uma ferramenta de pesquisa interativa.

5.2.15 *leaflet.markercluster*

O Leaflet.markercluster é um plugin popular para a biblioteca Leaflet que resolve o problema de sobreposição de marcadores em mapas com alta densidade de pontos. Em vez de exibir todos os marcadores individualmente, ele agrupa automaticamente os pontos que estão próximos uns dos outros em "clusters". Quando o usuário aproxima o zoom, os clusters se dividem, revelando os marcadores individuais.

Entre suas principais características destacam-se:

- Otimização de performance: Reduz significativamente a carga do navegador ao lidar com grandes volumes de dados.
- Clareza visual: Impede que os marcadores se sobreponham, tornando o mapa mais limpo e fácil de interpretar.
- Navegação intuitiva: A transição de clusters para marcadores individuais é suave e natural, guiando o usuário pela visualização dos dados.

No PaleoMap, o Leaflet.markercluster é um componente essencial para a experiência do usuário. Como o banco de dados do Paleobiology Database contém milhares de ocorrências de fósseis, a exibição de todos os pontos de uma vez sobrecarregaria o sistema. O plugin garante que o mapa funcione de maneira fluida e responsiva, agrupando as ocorrências em clusters e apresentando os detalhes apenas quando o usuário se aproxima de uma área específica.

5.3 SISTEMA DESENVOLVIDO

5.3.1 *Metodologia de Desenvolvimento*

A metodologia de desenvolvimento deste projeto se baseou nos princípios de uma abordagem ágil. Diferente de modelos tradicionais, como o Cascata (Waterfall), que seguem uma sequência rígida de fases (planejamento, análise, projeto, implementação e teste), a metodologia ágil prioriza a flexibilidade, a entrega contínua de valor e a adaptação a mudanças.

Com base no desenvolvimento do projeto, a que melhor se encaixou com o trabalho foi a Kanban, com a abordagem seguindo as filosofias de desenvolvimento:

- Não tem iterações com tempo fixo: Não houveram “sprints” com tempos definidos. Em vez disso, o trabalho foi desenvolvido com base em finalizar as funcionalidades.
- Foco na entrega contínua: A concentração nas entregas de uma funcionalidade por vez, em vez de planejar um grande lançamento.
- Visualização do fluxo de trabalho: Embora não tenha sido utilizado um quadro físico ou digital, o fluxo de trabalho foi claro, onde cada tarefa foi concluída antes da próxima.

Enquanto o Scrum, outra metodologia ágil popular, é ideal para equipes que trabalham em ciclos de tempo fixos, o Kanban é mais flexível e se adapta ao fluxo de trabalho de uma única pessoa, que pode ter outras responsabilidades. Sendo uma abordagem ágil de desenvolvimento, o Kanban se concentra em otimizar o fluxo de trabalho e entregar valor de forma contínua. Diferente das outras, ele não se baseia em ciclos de tempo fixos, mas sim na visualização e na gestão do fluxo de trabalho de um projeto. Seus princípios são baseados em três pilares principais: Visualizar o fluxo de trabalho, limitar o trabalho em andamento e gerenciar o fluxo.

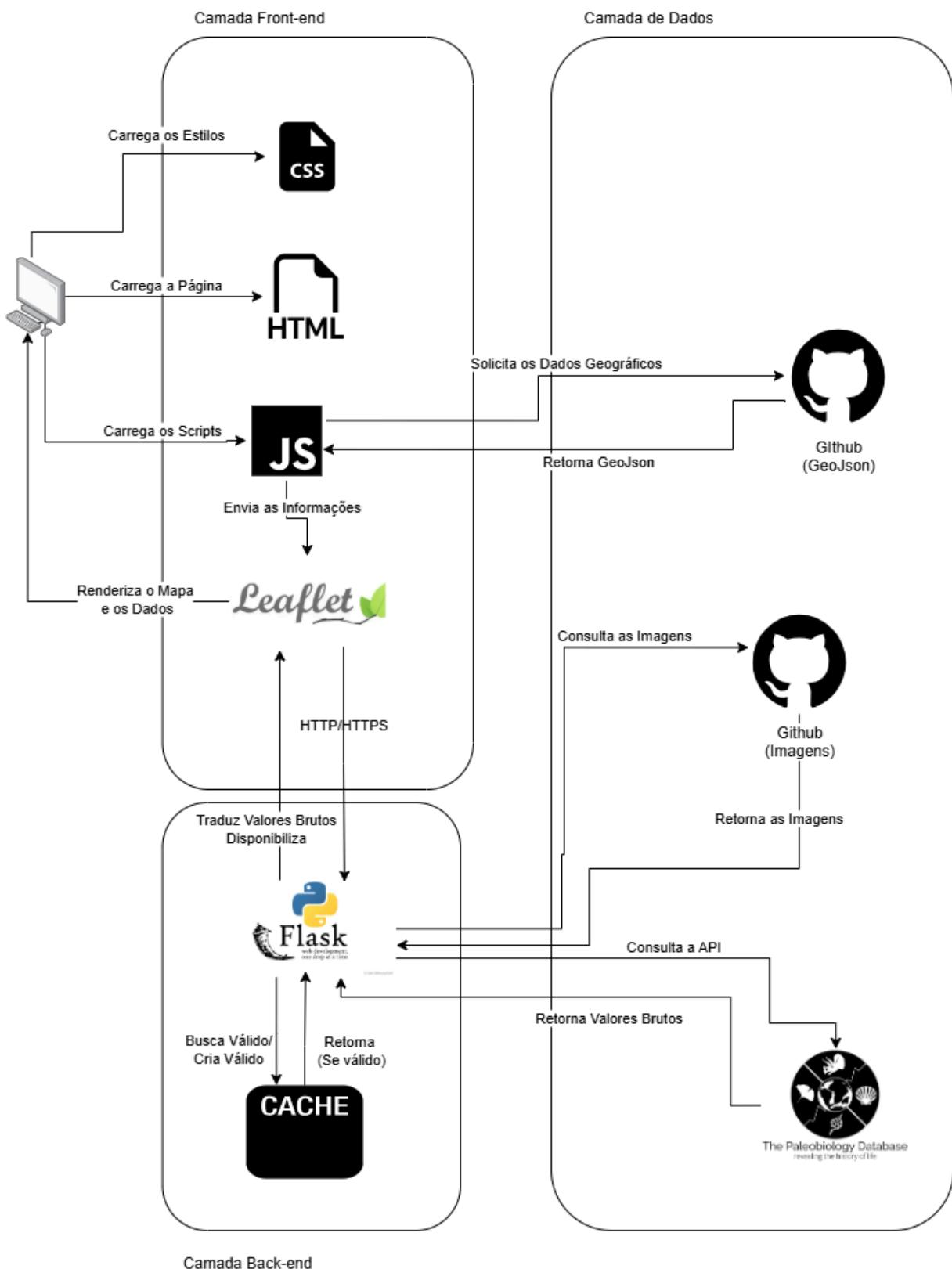
No contexto desse projeto, a aplicação da metodologia Kanban foi intuitiva e natural. Não houve um cronograma rígido, mas uma evolução através da conclusão de cada funcionalidade, da seguinte forma:

1. Visualização do Fluxo: O projeto foi dividido em tarefas claras e gerenciáveis (por exemplo, "Integrar com a API do PBDB", "Desenhar o mapa com Leaflet", "Implementar os filtros"). O foco era em mover cada tarefa da fase de "a fazer" para "em andamento" e, finalmente, para "concluído".
2. Limitar o Trabalho em Andamento (WIP): Como um projeto individual, o trabalho em andamento era naturalmente limitado a uma ou poucas tarefas por vez. Isso evitou a sobrecarga e permitiu uma concentração total em cada funcionalidade, garantindo sua qualidade antes de passar para a próxima.
3. Gerenciar o Fluxo: A prioridade era manter um fluxo de trabalho constante. O projeto evoluiu de forma incremental, com novas funcionalidades sendo adicionadas à medida que a base tecnológica se tornava mais robusta.

Em suma, a metodologia Kanban se adaptou perfeitamente à natureza deste trabalho, um projeto de escopo e cronograma flexíveis. A abordagem focada na entrega contínua de funcionalidades e na otimização do fluxo de trabalho permitiu que o projeto fosse construído de forma eficiente e com alta qualidade, resultando em uma plataforma robusta e completa.

5.3.2 Arquitetura do Sistema

Figura 2 – Arquitetura do Sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado na figura 2, a arquitetura do sistema proposto segue o modelo cliente-servidor de três camadas, um padrão de design de software que distribui as responsabilidades da aplicação entre componentes lógicos distintos. Essa separação permite maior escalabilidade, flexibilidade e organização do código, elementos essenciais para um projeto robusto. As camadas (Front-end, Back-end e Dados) serão apresentadas nas seções abaixo.

5.3.2.1 Camada de Apresentação (Cliente - Front-end)

Esta camada é responsável pela interface do usuário e pela experiência de navegação. Trata-se do front-end do projeto, desenvolvido com HTML, CSS e JavaScript, que se comunica com a camada de lógica (back-end) para exibir os dados paleontológicos no mapa interativo. Sua função é exibir os dados de forma visual e responsiva, processando as interações do usuário (cliques, filtros, zoom, comparação) e enviar requisições ao servidor quando necessário.

Ela detém 3 componentes básicos: O HTML, que define a estrutura e o conteúdo das páginas, incluindo o painel de filtros e o contêiner do mapa, o CSS, que aplica a estilização e o design, garantindo uma interface agradável, e o JavaScript, o motor de interatividade, utilizando a biblioteca Leaflet.js para renderizar o mapa e gerenciar os marcadores, e GeoJSON para interpretar os dados geográficos, como limites dos países e localizações dos fósseis.

Para facilitar a manutenção do código e a atualização da interface, a camada de apresentação foi construída de forma modular, utilizando os recursos de templates do Jinja2. Cada seção da landing page, por exemplo, é um arquivo HTML independente incluído dinamicamente (lp_components/header.html, lp_components/hero.html, etc.).

De maneira análoga, as folhas de estilo foram organizadas em módulos temáticos (ex.: header.css, hero.css, geological-time.css), todos importados pelo arquivo central main.css. Essa abordagem reduz o tamanho dos arquivos individuais, melhora a legibilidade e permite a reutilização de componentes visuais em diferentes páginas do site.

Cada ocorrência é exibida no mapa com um marcador colorido cujo preenchimento indica o período geológico (por exemplo, vermelho para Cretáceo, verde para Jurássico, azul para Triássico etc.). Essa codificação visual facilita a identificação rápida dos períodos e torna a exploração dos registros paleontológicos mais intuitiva.

Por fim, a camada de apresentação oferece funcionalidades avançadas de filtragem e comparação. A partir dela, o usuário pode selecionar períodos geológicos, gêneros ou famílias para filtrar as ocorrências exibidas no mapa, clicar em links de membros da mesma família exibidos nos pop-ups para aplicar automaticamente novos filtros, e ativar um modo de comparação, no qual seleciona diferentes pontos do mapa para comparar distâncias entre suas descobertas.

5.3.2.2 Camada de Lógica (Servidor - Back-end)

O back-end da aplicação foi desenvolvido em Python com o framework Flask. Ele desempenha o papel de intermediário entre as fontes externas de dados (API da *Paleobiology Database* e repositório GitHub com imagens dos táxons) e a camada de apresentação. Essa camada recebe as requisições do front-end, coleta e processa as informações brutas, organiza os resultados e devolve uma resposta estruturada no formato JSON para ser consumida pelo navegador.

Suas principais funcionalidades incluem:

- **Consumir APIs externas:** o script app.py acessa a *Paleobiology Database* para obter registros paleontológicos (coordenadas, estratigrafia, idade, identificação taxonômica etc.) e o repositório do GitHub para recuperar a lista de imagens disponíveis para cada gênero/espécie.
- **Mapear e limpar dados:** a função mapear e limpar dados remove registros incompletos e padroniza campos como gênero, espécie, família e formação geológica.
- **Traduzir eras geológicas:** um dicionário extenso (MAPEAMENTO_DE_ERAS) converte centenas de sub-eras e idades em um número reduzido de períodos principais (Cretáceo, Jurássico, Triássico etc.), permitindo que o front-end use uma paleta de cores consistente.
- **Gerenciar cache:** para reduzir o tempo de resposta e evitar sobrecarga nas APIs externas, os dados processados são armazenados em um arquivo local (paleo_cache.json) válido por até 24 h. Se o arquivo for recente e o script não tiver sido modificado, a API retorna os dados diretamente do cache (“cache hit”); caso contrário, faz nova consulta às APIs (“cache miss”).
- **Tratar erros em lote:** quando um grupo de táxons falha no carregamento, o código executa uma rotina de isolamento (process_lote_com_erro) para identificar e ignorar apenas o registro problemático, mantendo o restante do lote.

O backend trabalha com um fluxo de funcionamento específico:

1. O front-end (mapa Leaflet) chama a rota /api/dados_fosseis/ no servidor.
2. O Flask verifica se existe um cache válido; se sim, responde imediatamente.
3. Se não houver cache válido, o servidor:
 - Obtém a lista atualizada de nomes de imagens do GitHub (obter_lista_de_taxons_do_github).
 - Monta a lista final de táxons a consultar (lista do GitHub + lista manual).
 - Consulta a API da *Paleobiology Database* em blocos de 50 táxons, com tentativas múltiplas em caso de falha.
4. Os registros brutos retornados são processados pela função mapear_e_limpar_dados, que:
 - associa cada ponto a sua imagem no GitHub, se disponível;
 - substitui valores ausentes por “Não definido” ou “Não identificada”;
 - atribui o período geológico principal usando o mapeamento.
5. Os dados processados são salvos no arquivo de cache e enviados ao navegador no formato JSON.

O repositório GitHub atua como um “banco de dados” de imagens estático. Cada arquivo JPG corresponde a um gênero ou espécie. O Python usa a API do GitHub para listar todos os arquivos no repositório, extrai o nome de cada arquivo e cruza essa lista com os registros retornados pela *Paleobiology Database*. Se houver correspondência, o link direto para a imagem é incorporado ao JSON final, permitindo que o front-end exiba o marcador com a foto do táxon.

O arquivo index.html implementa o painel interativo do mapa. Ele inclui:

- Um slider cronológico para filtrar por período geológico (usando noUiSlider), acompanhado de legenda com cores padronizadas (Cretáceo em vermelho, Jurássico em verde etc.).
- Seletores para país e família taxonômica.
- Um campo de busca por gênero/espécie.
- Botões para comparar distâncias, exibir apenas registros selecionados e resetar filtros.

Esses filtros enviam parâmetros ao código JavaScript, que consulta a API Flask /api/dados_fosseis/. O retorno (GeoJSON) já vem processado com as imagens e informações do PBDB + GitHub. O JS então atualiza dinamicamente os marcadores no Leaflet.

As cores dos marcadores e da legenda são definidas no front-end, mas seguem o

mesmo mapeamento do back-end, garantindo que os períodos geológicos estejam sempre representados visualmente de forma coerente.

5.3.2.3 Camada de Dados

A camada de dados tem como responsabilidade armazenar e disponibilizar as informações paleontológicas que alimentam o sistema. Diferentemente de um banco de dados local, ela utiliza fontes externas. Entre os seus principais componentes estão o Paleobiology Database (PBDB), um repositório que fornece os dados brutos sobre os fósseis — como localização, taxonomia, estratigrafia e período geológico — por meio de uma API pública, e o repositório GitHub, que armazena as imagens dos táxons, funcionando como um banco de mídia estático.

O fluxo de operação dessa camada dentro da arquitetura ocorre da seguinte forma:

1. Início: O usuário interage com a interface (Camada de Apresentação), ativando filtros ou ações de visualização. Essa ação dispara uma requisição para a Camada de Lógica (servidor).
2. Verificação do cache: O servidor checa se há dados atualizados em cache. Se houver, responde imediatamente (fluxo rápido / *cache hit*).
3. Atualização de dados: Se o cache estiver inválido (fluxo completo / *cache miss*), o servidor:
 - i. Consulta o repositório do GitHub para obter a lista atualizada de imagens.
 - ii. Utiliza essa lista para solicitar, à API do PBDB, os dados brutos correspondentes.
 - iii. Processa e organiza os dados no formato GeoJSON.
4. Entrega: Os dados já tratados retornam ao front-end, que os exibe no mapa com Leaflet.js, aplicando cores, marcadores e filtros.

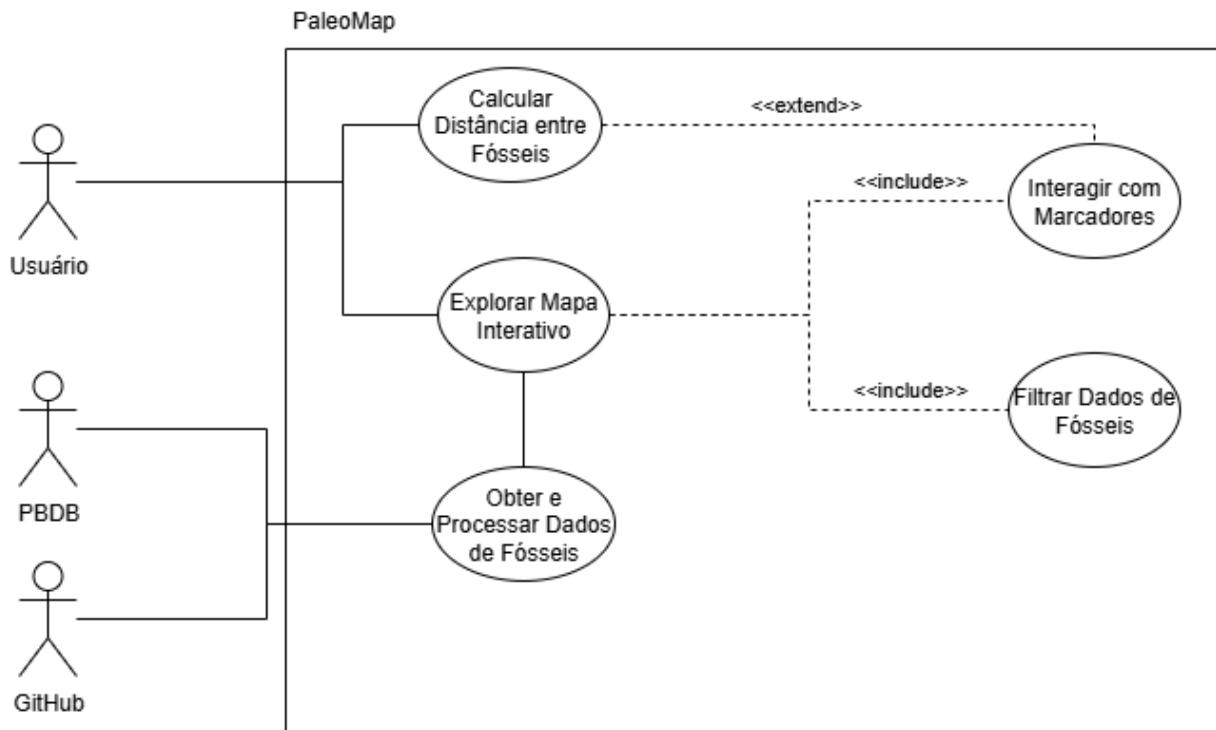
Essa separação de responsabilidades torna o sistema mais eficiente, modular e de fácil manutenção, além de reduzir o tempo de resposta para o usuário.

5.3.3 Diagramas de Casos de Uso e de Fluxo do Sistema

Para ilustrar o funcionamento do sistema PaleoMap, foram elaborados dois diagramas que ajudam a visualizar a interação entre os usuários e os processos realizados pelo sistema: o Diagrama de Casos de Uso e o Diagrama de Fluxo.

5.3.3.1 Diagrama de Casos de Uso

Figura 3 – Diagrama de Casos de Uso do PaleoMap



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

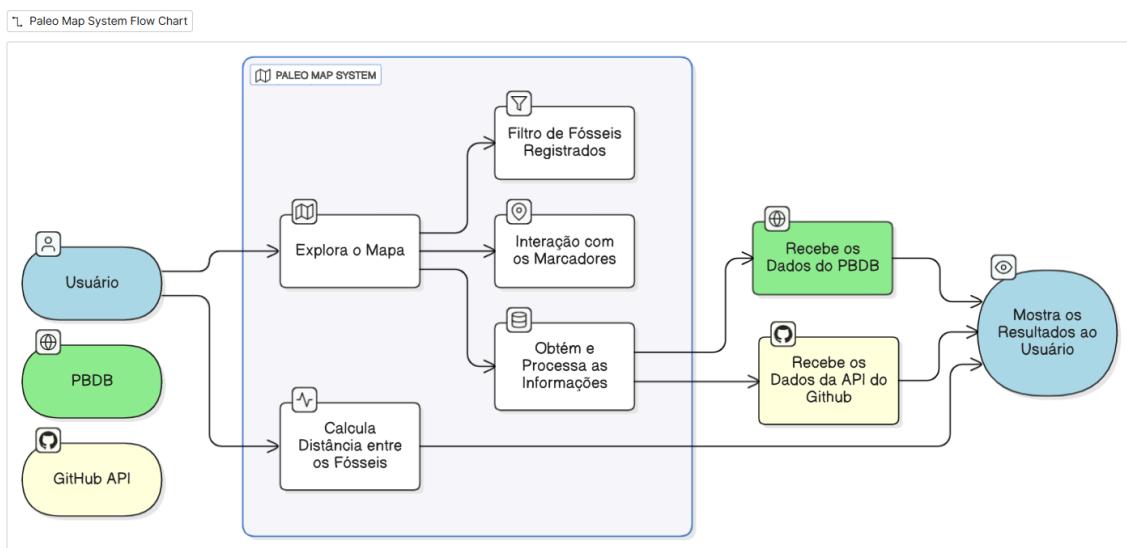
O Diagrama de Casos de Uso do sistema PaleoMap, apresentado na Figura 3, descreve as interações do usuário com o sistema, destacando as funcionalidades principais disponíveis para o usuário e os sistemas externos que contribuem para o processo. O ator principal deste diagrama é o Usuário, que interage diretamente com o sistema para explorar dados fósseis. Além disso, o diagrama inclui dois outros atores externos, o PBDB (Paleobiology Database) e o GitHub, que fornecem dados essenciais para o funcionamento do PaleoMap.

A principal ação realizada pelo Usuário é a exploração do mapa interativo, onde ele pode visualizar a distribuição dos fósseis geograficamente. A partir dessa visualização, o usuário pode realizar algumas tarefas, como calcular a distância entre fósseis, uma funcionalidade que possibilita medir a separação entre diferentes fósseis no mapa. Outra ação importante é o filtragem dos dados de fósseis, permitindo que o usuário refine a pesquisa de acordo com critérios específicos, como o tipo ou a época do fóssil. Adicionalmente, o usuário pode interagir com os marcadores, uma funcionalidade que, presumivelmente, oferece mais detalhes sobre os fósseis ou suas localizações.

O diagrama também apresenta relacionamentos entre os casos de uso. A extensão (<<extend>>) indica que o cálculo da distância entre fósseis pode ser complementado com a interação com os marcadores, sugerindo que, em alguns cenários, o usuário poderá ter mais informações ao interagir com o mapa. O inclui (<<include>>), por sua vez, sugere que as funcionalidades de filtragem de dados e interação com marcadores estão sempre presentes ao explorar o mapa, ou seja, o sistema irá oferecer essas opções automaticamente durante a exploração.

5.3.3.2 Diagrama de Fluxo

Figura 4 – Diagrama de Fluxo do PaleoMap



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O Diagrama de Fluxo, ilustrado na Figura 4, descreve o processo sequencial e as interações do sistema PaleoMap. Neste diagrama, é possível observar como as diferentes partes do sistema interagem para fornecer os resultados desejados ao usuário.

O fluxo tem início com o usuário, que interage com o sistema ao explorar o mapa. A partir dessa ação, o sistema oferece a possibilidade de filtrar fósseis registrados, uma função que permite ao usuário selecionar os dados mais relevantes de acordo com seus critérios de pesquisa. Além disso, o usuário pode interagir com os marcadores no mapa, obtendo informações adicionais sobre as localizações e características dos fósseis.

O sistema, por sua vez, realiza o processo de obter e processar as informações relacionadas aos fósseis. Nesse momento, o PaleoMap interage com fontes externas para garantir que os dados apresentados ao usuário estejam atualizados e corretos. Ele recebe informações do PBDB, o que permite incorporar dados específicos sobre fósseis registrados no banco de dados, e também se conecta à API do GitHub, que pode fornecer recursos adicionais relacionados ao código ou outros dados necessários para o funcionamento do sistema.

Uma vez que as informações foram obtidas e processadas, o sistema realiza o cálculo da distância entre fósseis, utilizando os dados fornecidos para calcular a separação geográfica entre os fósseis no mapa. Após essas operações, o sistema apresenta os resultados ao usuário, que pode visualizar as informações detalhadas sobre os fósseis, suas localizações e as distâncias calculadas.

5.3.4 Telas do sistema

A seguir, as telas pertencentes ao sistema do PaleoMap são apresentadas, juntamente a cada uma de suas funções - identificadas anteriormente neste documento.

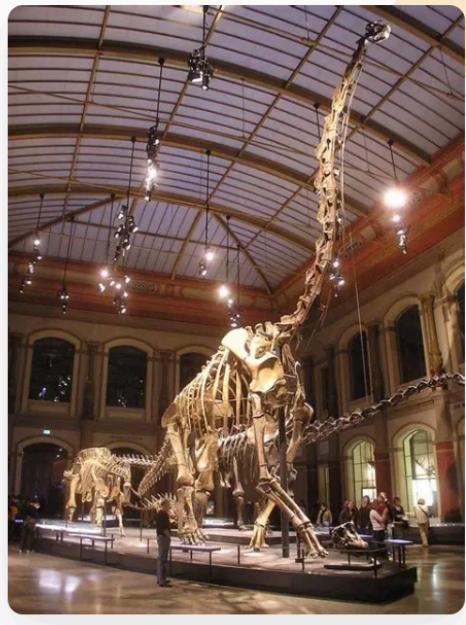
Figura 5 – Página Inicial do Projeto - Seção Inicial

Descubra o Mundo Antigo através dos Fósseis!

Explore o nosso abrangente mapa interativo mostrando as descobertas fósseis e distribuição de espécies pelo mundo. Descubra 4.6 bilhões de anos da história evolutiva da Terra.

 [Explore o mapa interativo](#)

10.000+ Registros Fósseis	1.500+ Species Mapped	195 Países
-------------------------------------	---------------------------------	----------------------



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A página inicial do sistema (Figura 5) tem como objetivo apresentar de forma breve, direta e atrativa as principais funcionalidades do projeto. Nela, o usuário encontra um panorama inicial que evidencia a proposta central: explorar registros fósseis distribuídos pelo mundo ao longo da história geológica. Além da chamada visual em destaque, são apresentados indicadores quantitativos, como o número de registros fósseis catalogados, espécies mapeadas e países contemplados. O botão “Explore o mapa interativo” conduz o usuário diretamente à principal funcionalidade do sistema — o mapa interativo — onde é possível acessar em detalhe todos os recursos de navegação, filtros e visualização.

Figura 6 – Página Inicial do Projeto - Seção Mapa



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A seção do mapa interativo (Figura 6) aprofunda a apresentação inicial do sistema, permitindo ao usuário visualizar de forma direta a principal funcionalidade do projeto: a distribuição geográfica dos fósseis ao longo dos períodos geológicos. Essa etapa cumpre um papel importante no *onboarding* do usuário, pois oferece uma introdução prática e visual às

possibilidades de interação com a plataforma. Por meio do mapa, é possível explorar registros em diferentes continentes, aplicar filtros por períodos geológicos e obter informações detalhadas sobre cada espécie e sua localização. Além disso, os indicadores quantitativos destacados abaixo do mapa reforçam o caráter informativo e exploratório da ferramenta, tornando a navegação mais intuitiva e atrativa. Essa proposta inicial sinaliza o futuro desenvolvimento do PaleoMap, que busca unir visualização científica, interatividade e acessibilidade ao conhecimento paleontológico.

Figura 7 – Página Inicial do Projeto - Seção Eras

Jornada Através das Eras Geológicas

Explore a história da Terra através das maiores eras geológicas e as formas de vida que dominaram cada período.

Era Paleozóica

De 541 a 252 milhões de anos atrás, essa era viu a explosão das formas de vida complexas, dos trilobitas marinhos as primeiras plantas e vertebrados terrestres.

Duração	Espécies-chave
289 milhões de anos	Trilobitas, Brachiopodas



Era Mesozoica

De 252 a 66 milhões de anos atrás, a era dominada pelos dinossauros, répteis marinhos e voadores, e as primeiras plantas com flores e mamíferos.

Duração	Espécies-chave
186 milhões de anos	Dinossauros, Répteis

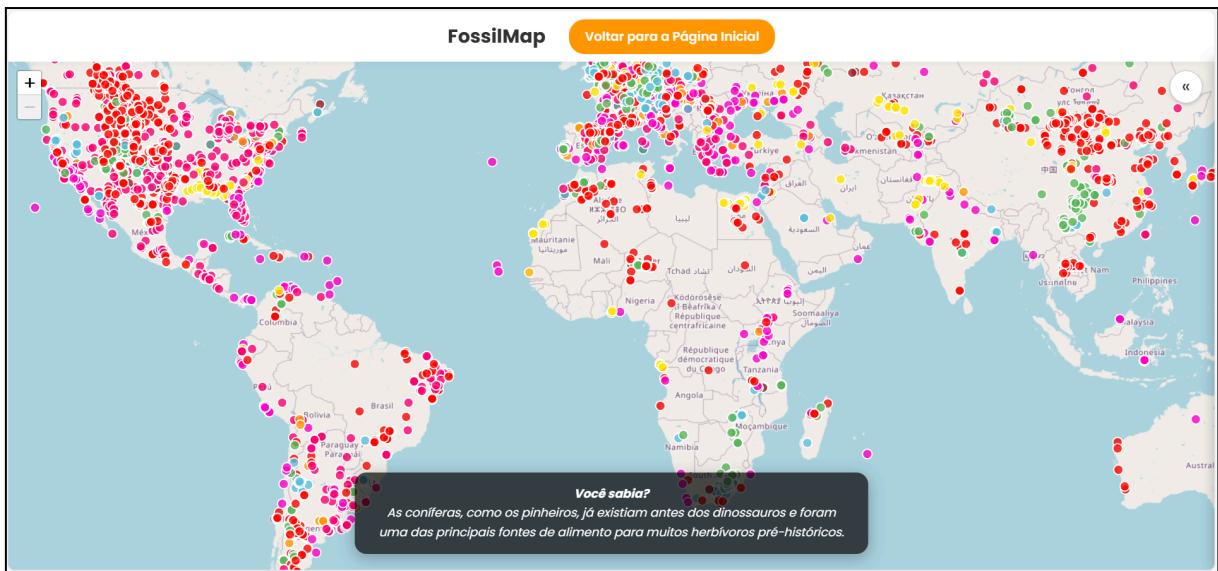


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A seção das Eras Geológicas (Figura 7) tem como objetivo contextualizar o usuário quanto à linha do tempo da Terra e aos principais períodos que compõem a história evolutiva. Diferentemente das seções anteriores, que priorizam a apresentação quantitativa e a exploração interativa, esta etapa foi elaborada com um apelo mais visual e narrativo,

despertando a curiosidade do público em conhecer os diferentes intervalos de tempo e a diversidade de formas de vida que os caracterizam. Dessa forma, o PaleoMap não apenas se limita a mostrar fósseis em um mapa, mas também fornece um recurso educacional que amplia o entendimento sobre a evolução biológica e geológica, aproximando a divulgação científica de um público mais amplo.

Figura 8 – Página Inicial do Mapa, sem o Menu Lateral.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Ao acessar o sistema, o usuário é direcionado para a página principal do mapa (Figura 8), que constitui o núcleo central de interação do projeto. Nessa tela, os registros fósseis são representados por marcadores distribuídos segundo suas coordenadas geográficas, obtidas a partir do back-end. Cada marcador é exibido com uma codificação de cores, definida pelo período geológico correspondente, o que permite ao usuário identificar de forma imediata a era a que pertence cada ocorrência.

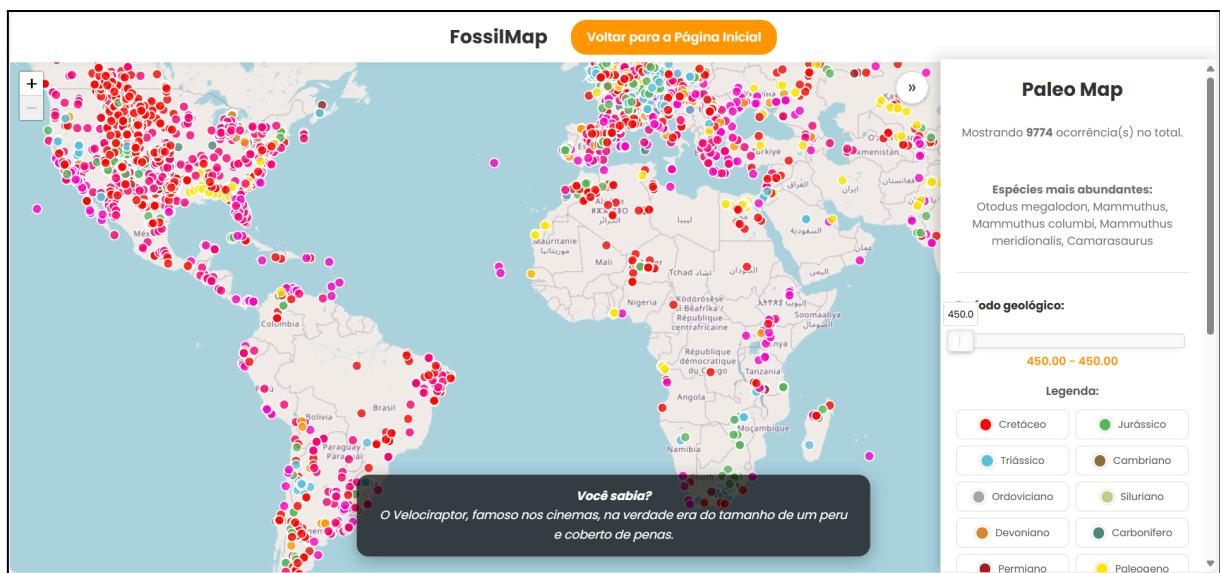
Além da visualização espacial, a interface conta com recursos adicionais de navegação e interação. O painel de curiosidades, localizado na parte inferior, apresenta informações breves e educativas sobre fósseis, espécies e aspectos paleontológicos, sendo atualizado de forma dinâmica e aleatória a cada acesso ou permanência na tela. Essa funcionalidade contribui para o caráter educativo do sistema, aproximando ciência e divulgação para o usuário final.

Na parte superior da interface, destacam-se dois elementos de controle: o botão laranja, que permite retornar rapidamente à página inicial, e o botão de setas duplas, no canto

superior direito, responsável por expandir o menu lateral do sistema, onde são disponibilizados filtros e ferramentas adicionais de análise. Por fim, no canto superior esquerdo, encontra-se a barra de controle de zoom, que inicia no nível mínimo por padrão e possibilita ao usuário ajustar a escala do mapa de acordo com suas necessidades exploratórias.

Essa combinação de elementos — marcadores, painel dinâmico de curiosidades e controles de navegação — torna a tela inicial do mapa uma interface funcional, interativa e acessível, atendendo tanto ao caráter científico quanto ao educacional do PaleoMap.

Figura 9 – Página Inicial do Mapa, com o Menu Lateral.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Ao expandir o menu lateral (Figura 9), o usuário tem acesso à biblioteca de filtros e informações adicionais que complementam a exploração dos registros fósseis no mapa. Nesta seção, os dados são organizados de forma a enriquecer a experiência de análise, permitindo que o usuário refine a visualização de acordo com critérios específicos.

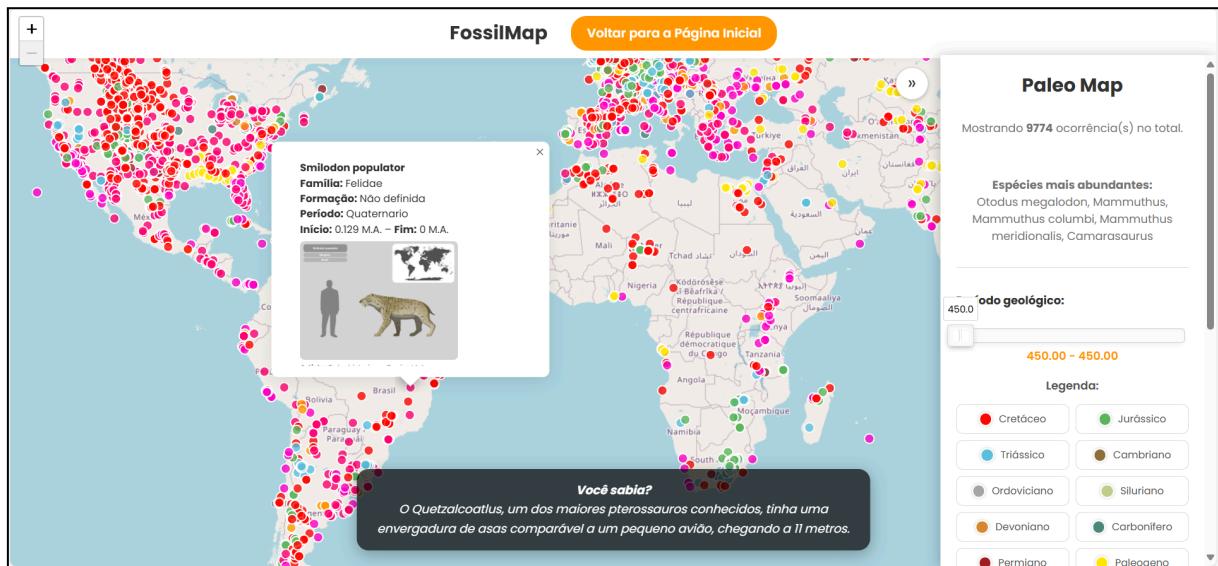
Na parte superior do painel, é exibida a quantidade total de ocorrências fósseis atualmente carregadas no mapa, seguida da listagem das espécies mais abundantes, que variam conforme os filtros aplicados. Por padrão, quando o mapa é carregado em seu estado inicial, o painel já apresenta um resumo com os cinco gêneros ou espécies predominantes dentro do escopo da visualização.

Logo abaixo, encontra-se a seção de filtros por período geológico, representada tanto por um controle deslizante cronológico (slider) quanto por uma legenda com codificação de

cores padronizadas. Essa legenda auxilia na rápida identificação visual dos fósseis, garantindo consistência entre o mapa e os períodos geológicos (como Cretáceo em vermelho, Jurássico em verde e Triássico em azul).

Assim, o menu lateral amplia significativamente a funcionalidade do sistema, permitindo que o usuário vá além da simples observação espacial e passe a realizar análises mais direcionadas e comparativas. Combinado ao painel de curiosidades dinâmicas e aos controles de navegação, este recurso torna o PaleoMap uma ferramenta interativa robusta para exploração paleontológica.

Figura 10 – Marcador Selecionado



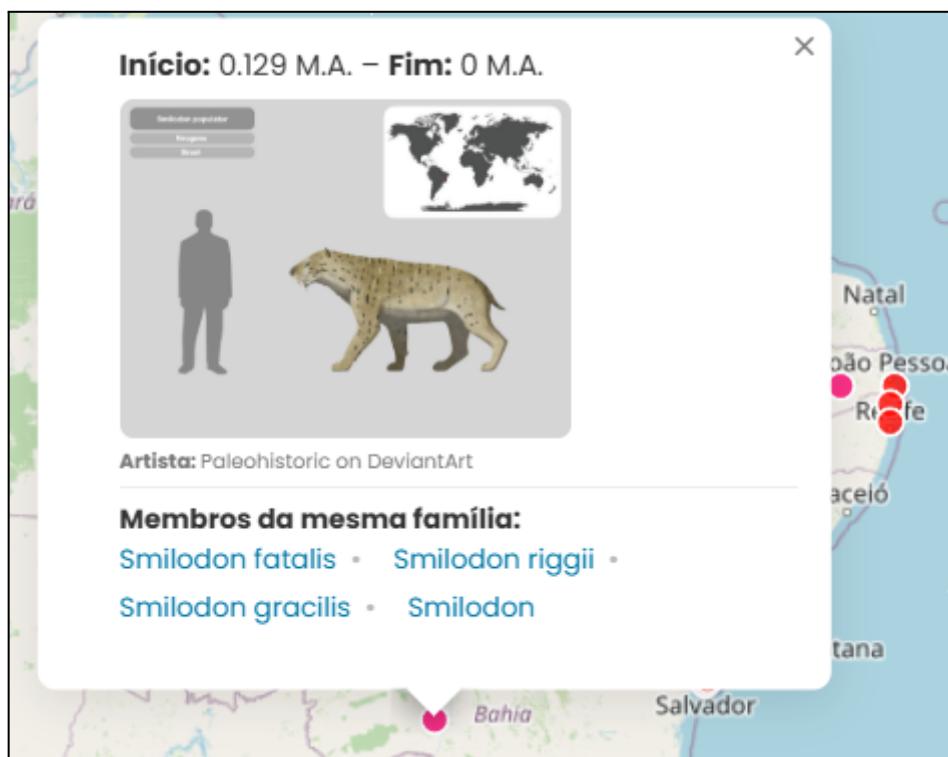
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Ao selecionar um marcador no mapa (Figura 10), o usuário tem acesso a um pop-up informativo que reúne os principais dados paleontológicos daquele registro específico. As informações apresentadas são provenientes do back-end, onde os dados são processados e organizados antes de serem enviados ao front-end.

O pop-up exibe de forma estruturada o Gênero, Espécie, Família, Formação geológica, Período Geológico e os intervalos de tempo de ocorrência (início e fim em milhões de anos). Além disso, sempre que disponível, é apresentada uma imagem representativa do táxon, vinculada ao marcador e recuperada do repositório de imagens mantido no GitHub, que funciona como banco de mídia integrado ao sistema.

Essa funcionalidade reforça a proposta do PaleoMap de aliar a visualização espacial à informação científica, possibilitando que o usuário não apenas observe a distribuição geográfica dos fósseis, mas também acesse rapidamente detalhes contextualizados sobre cada ocorrência. Trata-se, portanto, de um ponto-chave da aplicação, em que a integração entre o front-end interativo (Leaflet.js) e os dados processados pelo back-end (Flask + PBDB + GitHub) se concretiza na experiência de navegação.

Figura 11 – Marcador Selecionado, Informações



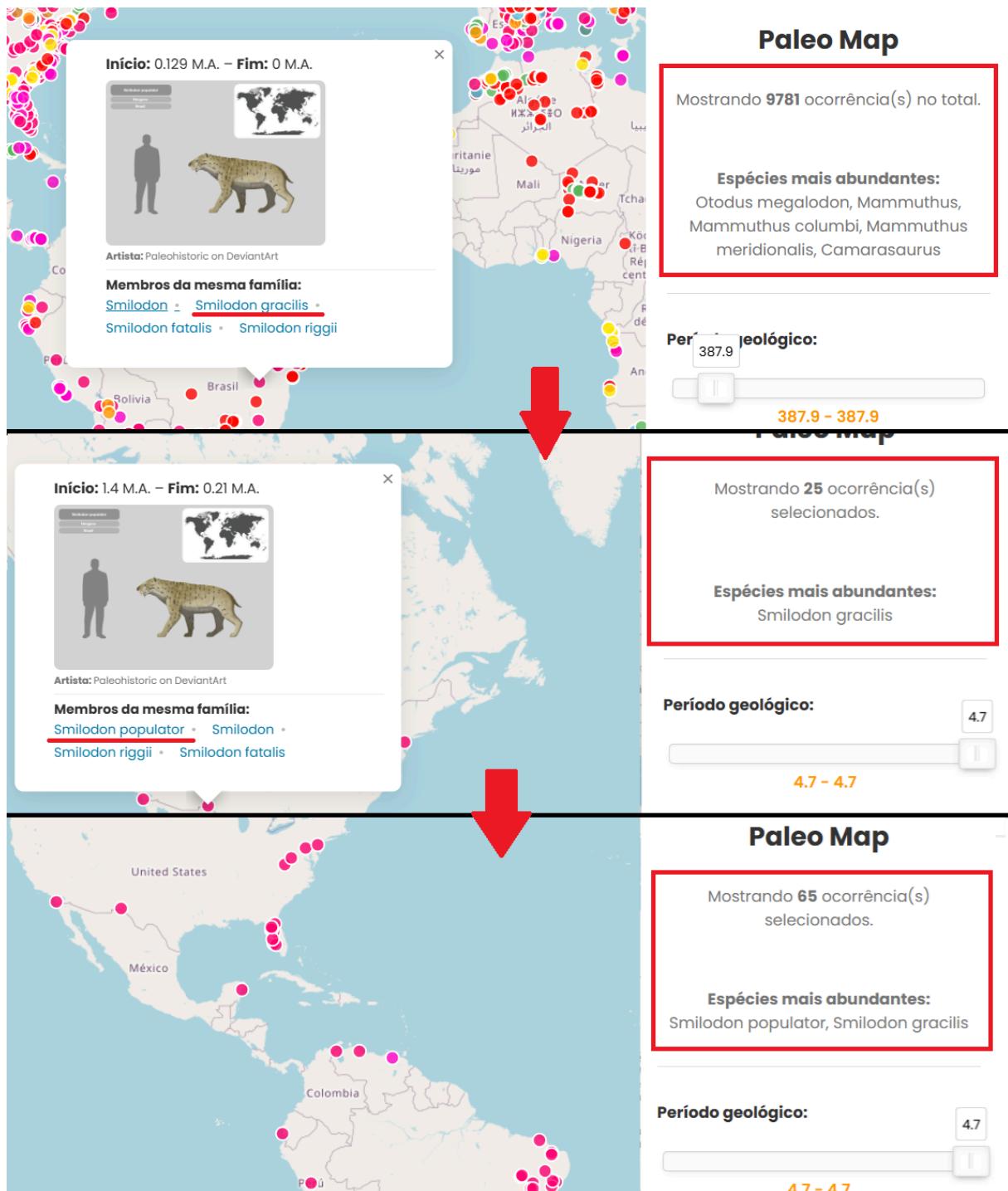
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Na Figura 11 é apresentada uma versão mais detalhada do pop-up exibido ao selecionar um marcador no mapa. Além das informações básicas já destacadas anteriormente (como período geológico e faixa temporal em milhões de anos), esta tela inclui um importante recurso que amplia a experiência de navegação e exploração científica dentro do sistema.

O destaque desta etapa está na função de associação taxonômica, em que o pop-up permite ao usuário explorar outros membros da mesma família. Por meio de links interativos, gêneros e espécies relacionados são unificados no contexto de seus parentes mais próximos, possibilitando que, ao clicar em um desses nomes, o sistema aplique automaticamente um filtro dinâmico para atualizar o mapa com os registros correspondentes.

Dessa forma, esta funcionalidade reforça a proposta do PaleoMap de unir ciência, interatividade e visualização clara, permitindo que o usuário navegue entre conexões evolutivas e comprehenda a distribuição dos fósseis não apenas de maneira geográfica, mas também dentro do seu contexto taxonômico.

Figura 12 – Visualização de Membros da Mesma Família



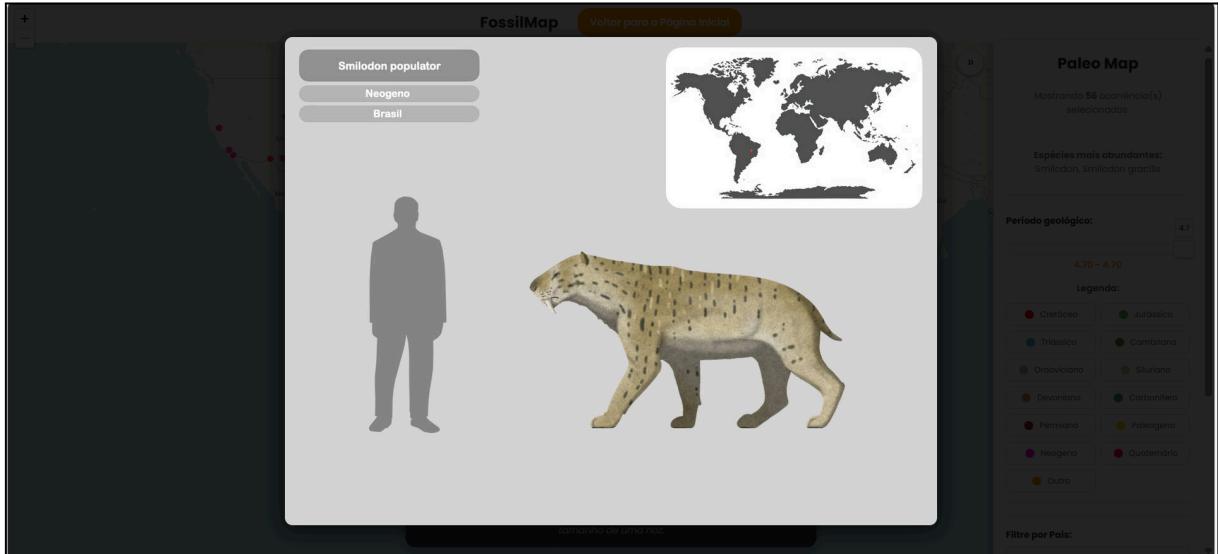
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Na Figura 12 é demonstrada a funcionalidade de visualização de membros da mesma família taxonômica, recurso que amplia a exploração científica e interativa do PaleoMap. Ao selecionar uma espécie em um pop-up, o sistema automaticamente aplica um filtro dinâmico que atualiza o mapa para exibir apenas os registros relacionados àquele grupo taxonômico.

No exemplo ilustrado, a família Felidae foi filtrada, retornando os fósseis associados ao gênero *Smilodon* e suas espécies relacionadas, como *Smilodon populator* e *Smilodon gracilis*. O sistema organiza a exibição de forma hierárquica e quantitativa, destacando primeiramente os táxons mais representativos em termos de número de ocorrências: a espécie *Smilodon populator* aparece com 40 registros, a espécie *Smilodon fatalis* logo após com 39 ocorrências, seguida do gênero *Smilodon* com 31 registros, a espécie *Smilodon gracilis* com 25 registros e por fim, *Smilodon riggii* com 1 ocorrência.

Esse recurso reforça a proposta pedagógica do PaleoMap, permitindo que o usuário estabeleça conexões evolutivas entre espécies relacionadas, compreendendo de forma mais ampla a distribuição paleontológica dos diferentes grupos ao longo do tempo e do espaço.

Figura 13 – Zoom-In na imagem do marcador selecionado.



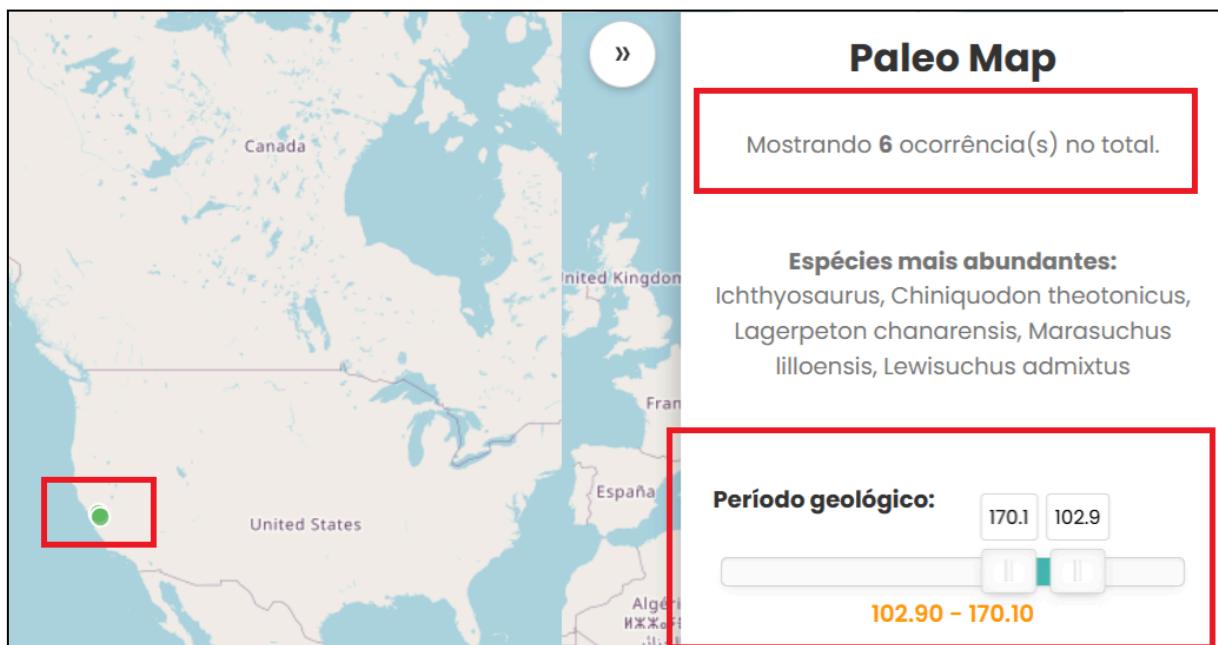
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 13 ilustra a funcionalidade de zoom-in na imagem do marcador selecionado. Esse recurso permite que o usuário visualize em maior detalhe a representação gráfica da espécie exibida no pop-up do mapa. Ao clicar sobre a imagem dentro do marcador, o sistema expande o conteúdo para ocupar o centro da tela, escurecendo o fundo de forma automática.

Esse efeito de destaque melhora a experiência de navegação, direcionando a atenção exclusivamente para a espécie selecionada.

A interação é reversível e intuitiva: ao clicar em qualquer área da tela, o sistema retorna ao estado original (zoom-out), restaurando a visualização normal do mapa e de seus elementos de interface.

Figura 14 – Filtro de período geológico do slider aplicado.



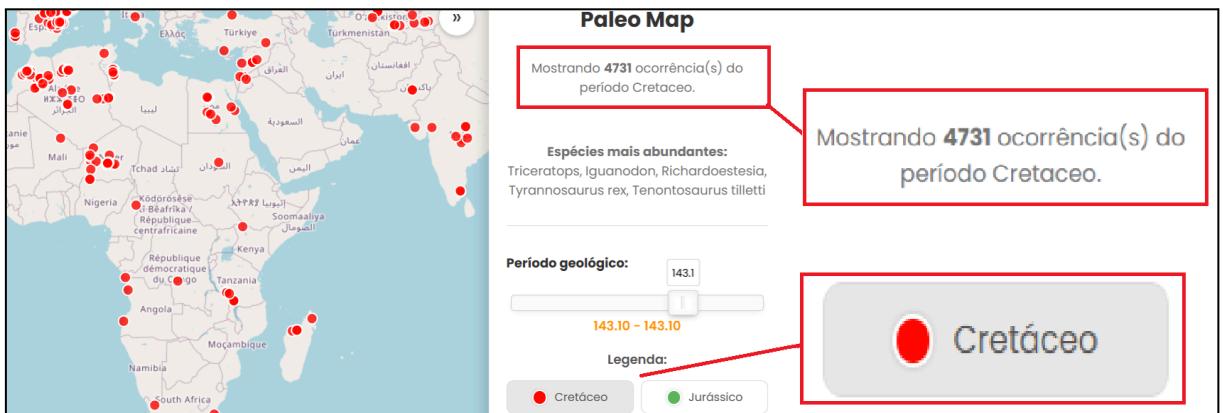
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 14 demonstra a aplicação do filtro de período geológico por meio do slider interativo disponível no menu lateral. Esse recurso permite ao usuário delimitar um intervalo específico dentro da escala temporal geológica, exibindo no mapa apenas as ocorrências fósseis correspondentes ao período selecionado.

No exemplo apresentado, foi escolhido o intervalo entre 170,10 e 102,90 milhões de anos atrás, resultando na exibição de seis ocorrências fósseis (2 na América do Norte e 4 na América do Sul). Além da representação geográfica no mapa, o sistema lista automaticamente as espécies relacionadas ao período filtrado, fornecendo uma visão mais direcionada e personalizada.

Essa funcionalidade amplia a capacidade de análise do usuário, permitindo investigar padrões temporais na distribuição fóssil e explorar a relação entre táxons e eras geológicas específicas.

Figura 15 – Filtro de período geológico através da legenda aplicado

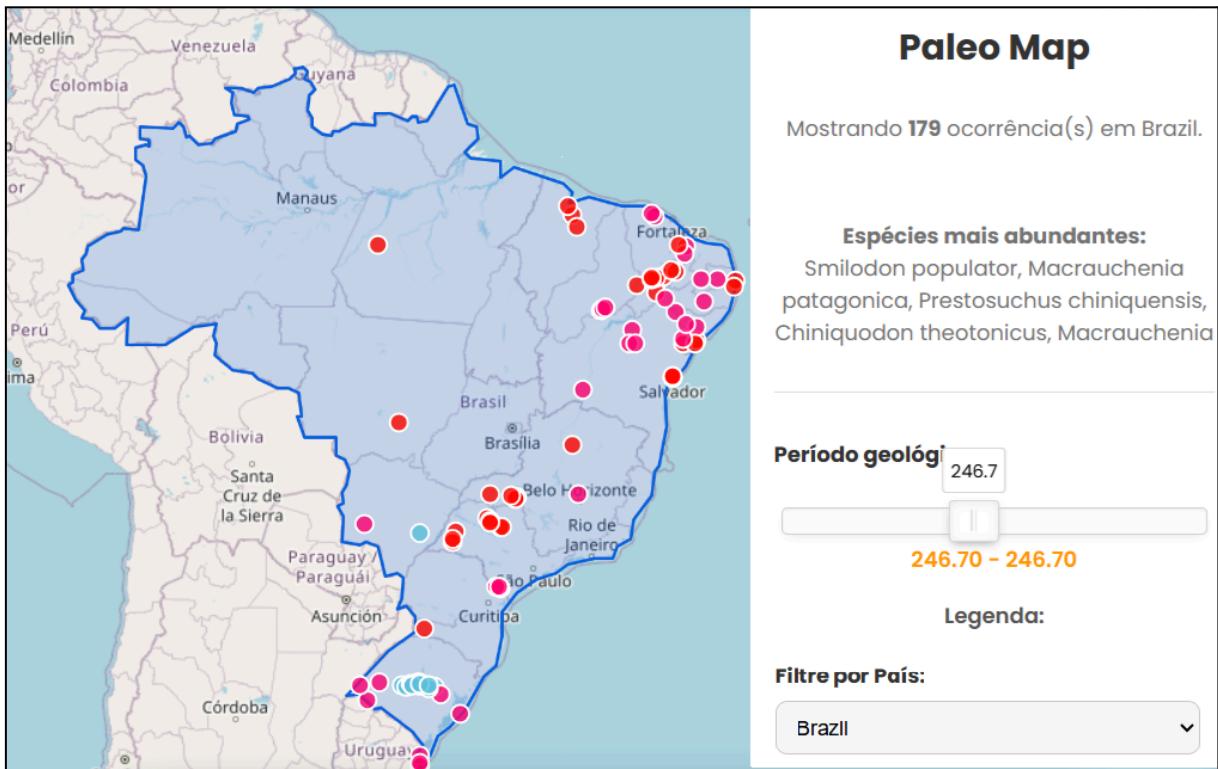


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 15 ilustra a aplicação do filtro de período geológico por meio da legenda interativa localizada no menu lateral direito. Esse recurso permite ao usuário selecionar diretamente um intervalo temporal específico, como o período Cretáceo, destacando no mapa apenas as ocorrências fósseis registradas em formações rochosas correspondentes a esse período.

Ao selecionar o Cretáceo, o sistema ajusta automaticamente tanto os marcadores exibidos no mapa quanto as informações adicionais do painel lateral, como a lista de espécies associadas, possibilitando uma análise mais precisa e contextualizada. Essa funcionalidade é essencial para o cruzamento de dados paleobiológicos, pois permite identificar padrões espaciais de distribuição fóssil e compreender melhor a evolução da vida ao longo das eras geológicas.

Figura 16 – Filtro de país aplicado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 16 apresenta a aplicação do filtro por país, funcionalidade que permite ao usuário delimitar a visualização das ocorrências fósseis com base no território nacional onde os registros foram realizados. No exemplo ilustrado, o Brasil foi selecionado, resultando na exibição exclusiva das descobertas paleontológicas associadas ao seu território.

Ao aplicar esse filtro, o sistema ajusta automaticamente a visualização do mapa, destacando a área geográfica selecionada com um contorno azul, bem como atualizando os marcadores e informações exibidas conforme a localização escolhida. Esse recurso pode ser utilizado em conjunto com outros filtros — como período geológico, família ou espécie — permitindo uma análise mais refinada e personalizada dos dados.

A combinação desses filtros contribui para investigações mais direcionadas, facilitando a identificação de padrões espaciais e temporais específicos dentro de determinadas regiões geográficas.

Figura 17 – Filtro de país aplicado, visualização do menu lateral



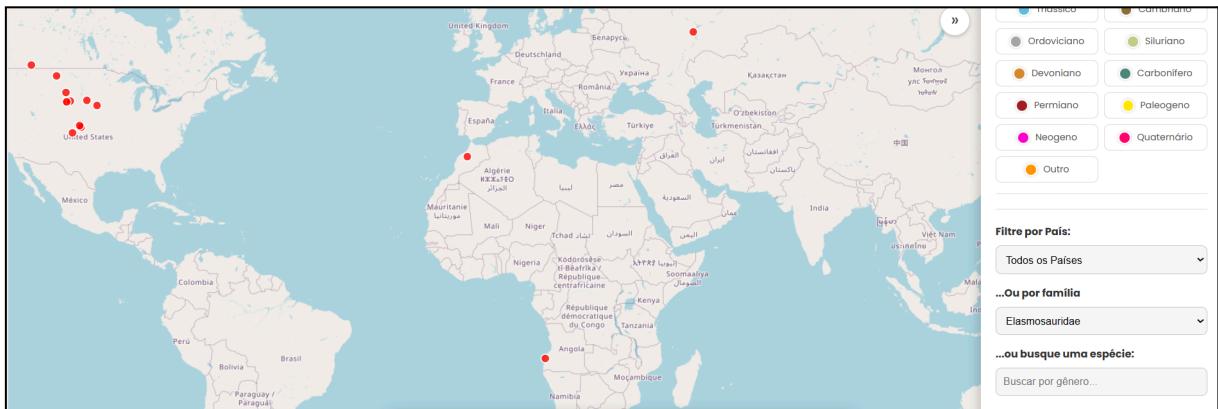
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 17 evidencia a atualização automática do menu lateral após a aplicação do filtro por país. Com o Brasil selecionado, o sistema exibe informações detalhadas relacionadas às 179 ocorrências fósseis registradas no território nacional, incluindo as espécies mais abundantes, o intervalo temporal correspondente na escala geológica e um resumo quantitativo das descobertas.

Nesse exemplo, destacam-se espécies como *Smilodon populator* e *Macrauchenia patagonica*, listadas em ordem decrescente de frequência. O período geológico com registros também é representado por meio de um controle deslizante, permitindo ao usuário identificar a faixa temporal das ocorrências encontradas no país selecionado.

Essa integração entre filtros e painel informativo reforça a proposta do sistema de oferecer uma experiência interativa, personalizada e orientada por dados, otimizando a análise paleobiogeográfica ao disponibilizar informações relevantes de forma acessível e visualmente organizada.

Figura 18 – Filtro de família aplicado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 18 apresenta a aplicação do filtro por família, recurso que possibilita a organização das ocorrências de acordo com a classificação taxonômica. Ao selecionar uma família específica, o sistema exibe exclusivamente os gêneros vinculados a essa categoria, permitindo uma análise direcionada das distribuições fósseis.

Nesse contexto, o usuário pode identificar de forma clara os grupos taxonômicos de interesse, facilitando a correlação entre ocorrências, áreas geográficas e possíveis padrões evolutivos. Esse tipo de filtragem contribui para a redução da complexidade dos dados apresentados e aprimora a experiência de exploração interativa, ao disponibilizar informações estruturadas de acordo com a hierarquia taxonômica.

Figura 19 – Filtro de família aplicado, visualização do menu lateral.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

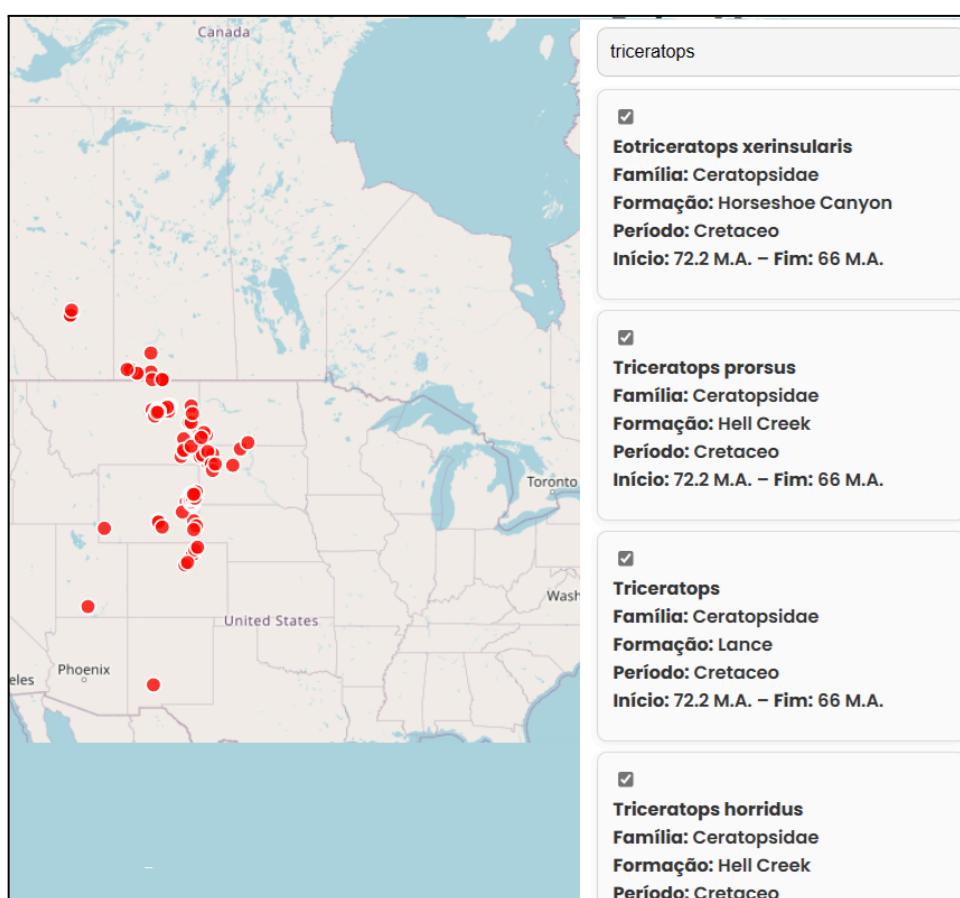
A Figura 19 ilustra a atualização automática do menu lateral após a aplicação do filtro por família. Nesse caso, a família *Elasmosauridae* foi selecionada, resultando na exibição de

informações específicas relacionadas às 50 ocorrências fósseis atribuídas a esse grupo taxonômico.

O painel apresenta um resumo dos gêneros e espécies mais abundantes, como *Elasmosaurus*, *Aristonectes* e *Styxsosaurus snowii*, organizados de forma a destacar sua representatividade dentro da família selecionada. Essa funcionalidade proporciona ao usuário uma visão detalhada e direcionada, reduzindo a complexidade dos dados gerais e favorecendo a análise comparativa entre diferentes grupos taxonômicos.

Assim como observado na aplicação do filtro por país, a integração entre o recurso de filtragem e o painel lateral reforça a proposta do sistema de disponibilizar informações relevantes de maneira estruturada e interativa, auxiliando na compreensão da distribuição e diversidade paleobiogeográfica.

Figura 20 – Filtro de busca de espécie aplicado

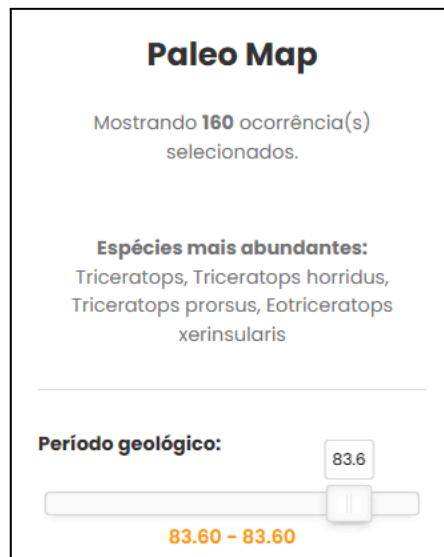


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 20 apresenta a aplicação do filtro de busca por espécie, recurso que permite ao usuário selecionar especificamente os gêneros e espécies de interesse. Nesse exemplo, o sistema atualiza a visualização do mapa e do painel lateral de acordo com as escolhas realizadas, exibindo apenas os registros correspondentes às espécies selecionadas.

Esse mecanismo de filtragem oferece flexibilidade ao possibilitar a inclusão ou exclusão de diferentes táxons, favorecendo a análise comparativa entre ocorrências fósseis. Além disso, a interação dinâmica entre o filtro e a exibição dos dados contribui para a identificação de padrões de distribuição espacial e temporal, aprimorando a capacidade investigativa do usuário no processo de análise paleobiogeográfica.

Figura 21 – Filtro de busca de espécie aplicado, visualização do menu lateral



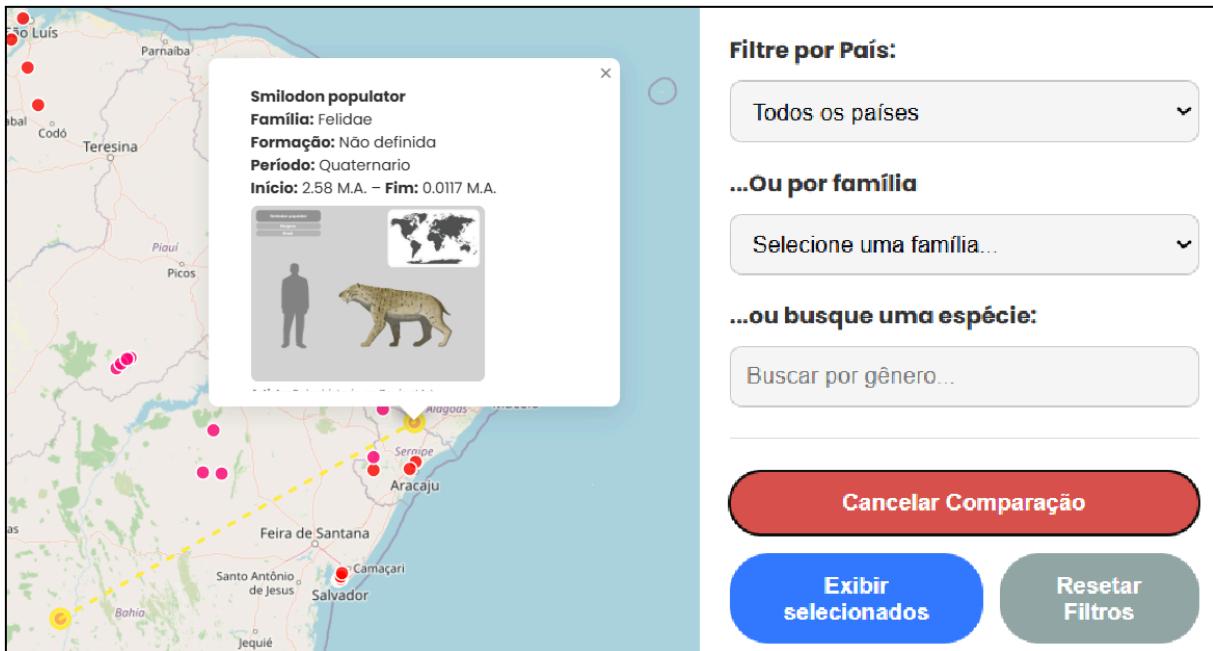
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 21 ilustra o detalhamento do menu lateral após a aplicação do filtro de busca por espécie. Nesse exemplo, foram selecionados o gênero *Triceratops* e as espécies *Triceratops horridus*, *Triceratops prorsus* e *Eotriceratops xerinsularis*, totalizando 160 ocorrências fósseis.

O painel apresenta de forma resumida as espécies mais abundantes, além de indicar o intervalo geológico correspondente, representado por meio de um controle deslizante. Essa funcionalidade permite ao usuário restringir a análise temporal das ocorrências selecionadas, favorecendo uma compreensão mais precisa da distribuição cronológica e da diversidade dentro do grupo taxonômico em estudo.

Assim, a integração entre a filtragem por espécie e os recursos de visualização reforça a proposta do sistema de fornecer dados organizados, interativos e cientificamente relevantes, otimizando o processo de investigação paleobiogeográfica.

Figura 22 – Modo Comparação de Distância



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 22 apresenta o modo de comparação de distância, funcionalidade desenvolvida para avaliar a proximidade espacial entre diferentes ocorrências fósseis. Nesse exemplo, dois pontos distintos do mapa são selecionados pelo usuário por meio do botão Comparar Distância, o que ativa temporariamente essa função.

O sistema calcula a distância entre os registros escolhidos e exibe o resultado de forma imediata na interface, permitindo identificar padrões de dispersão ou proximidade entre as espécies analisadas. Essa ferramenta amplia as possibilidades de exploração espacial dos dados, auxiliando na identificação de relações paleobiogeográficas que podem estar associadas a fatores evolutivos ou paleoambientais.

O modo permanece ativo até que o usuário opte por cancelar a operação ou até a finalização automática da comparação, reforçando a proposta de oferecer recursos interativos que apoiam a análise detalhada e orientada por dados.

Figura 23 – Modo Comparaçāo de Distāncia, visualizaçāo no menu lateral



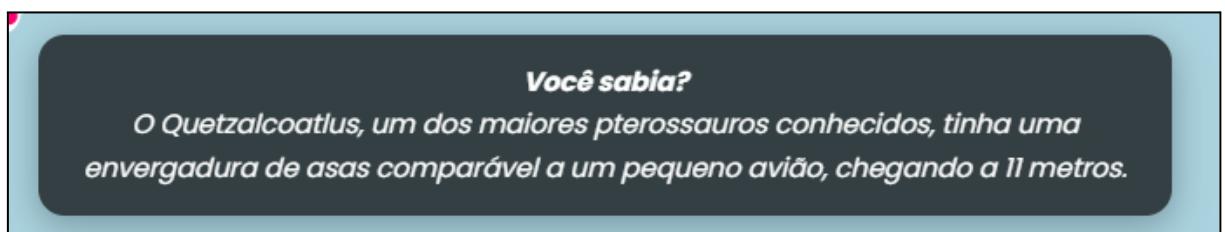
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 23 apresenta o detalhamento do modo de comparação de distância exibido no menu lateral. Nesse exemplo, o sistema calcula automaticamente a distância entre as espécies *Smilodon populator* e *Doedicurus clavicaudatus*, resultando em um valor de 2667,70 km.

Essa informação é disponibilizada de forma clara e direta ao usuário, permitindo avaliar a dispersão espacial entre diferentes táxons. A exibição no menu lateral complementa a visualização no mapa, reforçando a utilidade da ferramenta para análises paleobiogeográficas comparativas.

A integração entre os pontos selecionados e a representação numérica da distância contribui para a interpretação das relações espaciais entre espécies fósseis, favorecendo a identificação de possíveis padrões de distribuição em escala continental.

Figura 24 – Curiosidades



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A Figura 24 apresenta o recurso de exibição de curiosidades, implementado no sistema como uma funcionalidade adicional de caráter informativo. O container permanece fixo no mapa e atualiza automaticamente seu conteúdo a cada 20 segundos, exibindo mensagens pré-selecionadas de forma aleatória.

As informações apresentadas incluem fatos paleontológicos de interesse geral, como dimensões, características ou relevância de determinadas espécies fósseis. Esse mecanismo contribui para enriquecer a experiência do usuário, combinando a exploração interativa dos dados científicos com a divulgação de aspectos educativos e de popularização do conhecimento.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do PaleoMap alcançou seu objetivo principal de criar um módulo de visualização geoespacial interativo, robusto e eficiente para dados de ocorrências fósseis. Mais do que uma ferramenta de exibição, o sistema foi concebido com uma arquitetura otimizada, capaz de garantir alta performance, estabilidade e usabilidade para o público final.

A aplicação representa uma contribuição significativa para a área da Paleo Informática, ao facilitar o acesso, integração e análise de dados. Por meio do processamento de informações provenientes de fontes abertas, o PaleoMap transforma grandes volumes de dados brutos em conhecimento estruturado e visualmente acessível. Dessa forma, pesquisadores e usuários podem explorar a dispersão global de táxons, avaliar a extensão temporal e territorial das ocorrências fósseis e utilizar recursos avançados, como cálculo de distâncias, filtragem por contexto geológico, taxonômico ou geográfico, além da possibilidade de comparações específicas entre registros.

Este projeto demonstra grande potencial de aperfeiçoamento, tanto para pesquisa quanto para ensino, sobretudo com a integração a bancos de dados espaciais que possibilitem o uso de polígonos em representações geográficas, a ampliação da ferramenta de comparação de distâncias e a visualização direta de sítios paleontológicos em escala global.

Desde sua concepção, o PaleoMap foi projetado como uma plataforma aberta e acessível, capaz de dialogar com diferentes níveis de público — de especialistas a entusiastas. No futuro, busca-se consolidar a aplicação como um hub de paleontologia digital, promovendo o compartilhamento de conhecimento acumulado por pesquisadores ao longo dos anos e fomentando a formação de comunidades compostas por cientistas, professores e estudantes. Para viabilizar tal expansão, prevê-se a implementação de um sistema de curadoria colaborativa, destinado a gerenciar a inserção, atualização e validação de novos registros.

6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durante o processo de desenvolvimento do PaleoMap, algumas dificuldades se mostraram significativas. Entre elas, destacou-se a necessidade de aprendizado de novas linguagens de programação, assim como o aperfeiçoamento daquelas que já eram conhecidas, mas ainda não dominadas de forma plena. Além disso, a organização e estruturação adequada de cada função e script exigiu um esforço considerável, de modo a garantir a consistência e a

eficiência do sistema. Outro ponto relevante esteve relacionado à gestão de ideias, uma vez que a limitação de tempo e recursos demandou escolhas estratégicas, forçando a priorização de funcionalidades essenciais em detrimento de propostas mais complexas ou demoradas.

A integração de APIs externas também apresentou desafios técnicos, especialmente na adaptação de seus recursos às necessidades específicas do projeto. Por fim, o desenvolvimento de um design responsivo e funcional, que equilibrasse clareza visual com eficiência no uso, constituiu outra etapa de complexidade que exigiu atenção e refinamento ao longo do processo.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Em relação às funcionalidades planejadas para o futuro, o PaleoMap apresenta diversas possibilidades de expansão e aperfeiçoamento. Entre os principais pontos, está prevista a melhoria na integração entre os filtros existentes, permitindo que possam atuar de forma combinada e mais eficaz, além da criação de ferramentas voltadas à comunidade científica e ao sistema de curadoria, ampliando a interação colaborativa entre usuários. Outra meta importante consiste na substituição do atual banco de dados de imagens, atualmente vinculado ao GitHub, por uma solução mais escalável e adequada a longo prazo.

Também está em perspectiva a implementação da busca por espécies ainda não cadastradas no sistema e a contínua ampliação do catálogo disponível, de forma a enriquecer o conjunto de informações oferecidas. A médio e longo prazo, almeja-se consolidar o PaleoMap como um verdadeiro hub de informações digitais em paleontologia, reunindo conteúdos científicos, artigos, webinars e conexões com bases de dados externas, possibilitando a atualização em tempo real de descobertas fósseis e fortalecendo sua contribuição como ferramenta interdisciplinar para pesquisa, ensino e divulgação científica.

REFERÊNCIAS

- ANEMONE, R. L.; CONROY, G. C.; EMERSON, C. W. GIS and paleoanthropology: incorporating new approaches from the geospatial sciences in the analysis of primate and human evolution. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 146, p. 19-46, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ajpa.21609>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- BENTON, Michael J. **Vertebrate palaeontology**. 4. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015.
- BUTLER, H. et al. **The GeoJSON Format**. IETF, RFC 7946, 2008. Disponível em: <https://tools.ietf.org/html/rfc7946>. Acesso em: 4 set. 2025.
- CABREIRA, Sérgio F. et al. **A new dinosauromorph from the Triassic of southern Brazil**. Journal of Vertebrate Paleontology, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/325402898_A_new_dinosaur_Saurischia_Sauropodomorpha_from_the_Late_Triassic_of_Brazil_provides_insights_on_the_evolution_of_sauropodomorph_body_plan. Acesso em: 4 set. 2025.
- CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia: conceitos e métodos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- CHENG, C.; MA, X.; CHEN, J. **Ontology-driven data integration and visualization for exploring regional geologic time and paleontological information**. Computers & Geosciences, v. 115, p. 12-19, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.03.004>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- DILLON, E. M.; DUNNE, E. M.; WOMACK, T. M. **Challenges and directions in analytical paleobiology**. Paleobiology, v. 49, n. 3, p. 377-393, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/pab.2023.3>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- DEVAMEDIA. **Visual Studio Code: o que é e como usar**. 2016. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/visual-studio-code-o-que-e-e-como-usar/32890>. Acesso em: 3 set. 2025.
- DOLVEN, Jane K.; SKJERPEN, Hans. **Paleoinformatics: past, present and future perspectives**. In: ELEWA, Ashraf M. T. (org.). Computational paleontology. Berlin; Heidelberg: Springer, 2011. p. 45-52. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233865017_Paleoinformatics_Past_Present_and_Future_Perspectives. Acesso em: 3 set. 2025.
- EARTH TIME DATABASE. **EarthTime**. Disponível em: <https://earthtime.org/>. Acesso em: 11 maio 2025.
- Goonetilleke, M. et al. **A lithofacies-coupled palynofacies model for meandering river floodplains in the Late Cretaceous: Insights from the Dinosaur Park Formation**,

Alberta, Canada. International Journal of Coal Geology. v. 304, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2025.104768>. Acesso em 3 set. 2025.

ELEWA, Ashraf M. T. Future insights in computational paleontology: with special spotlight on visual paleontology, 2011. p. 221-223.

ESRI. What is an interactive map? Redlands, CA: ESRI, [s.d.]. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/interactive-map>. Acesso em: 30 ago. 2025.

GEORGE, A. K. et al. Range Mapper: an adaptable process for making and using interactive, animated web maps of Late-Quaternary open paleoecological data. Open Quaternary, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5334/oq.114>. Acesso em: 26 mar. 2025.

GIT. The Git Community Book. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://git-scm.com/book/en/v2>. Acesso em: 4 set. 2025.

GITHUB. About GitHub and Git. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://docs.github.com/pt/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>. Acesso em: 4 set. 2025.

GOODCHILD, Michael F. Geographical information science. International Journal of Geographical Information Systems, v. 6, n. 1, p. 31-45, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>. Acesso em: 30 ago. 2025.

HARVARD UNIVERSITY. What's wrong with Wikipedia? Cambridge, MA: Harvard College Writing Program, [20--]. Disponível em: <https://usingsources.fas.harvard.edu/what%E2%80%99s-wrong-wikipedia>. Acesso em: 26 mar. 2025.

JOHNSON, Kirk R. et al. The Hell Creek Formation and the Cretaceous-Tertiary boundary in the northern Great Plains: An Integrated continental record of the end of the Cretaceous, 2002. Disponível em: [10.1130/SPE361](https://doi.org/10.1130/SPE361). Acesso em: 25 mar. 2025.

Saraiva, A. et al. Guia de fósseis da Bacia do Araripe, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383305045_Guia_de_fosseis_da_Bacia_do_Araripe. Acesso em: 25 mar. 2025.

KIDWELL, S. et al. Taphonomy and paleobiology. v. 4, n. 26, p. 103-147, 2000. Disponível em [10.1017/S0094837300026907](https://doi.org/10.1017/S0094837300026907). Acesso em: 25 mar. 2025.

LANGER, Max C. et al. A sauropodomorph dinosaur from the Upper Triassic (Carnian) of southern Brazil, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242216148_A_sauropodomorph_dinosaur_from_the_Upper_Triassic_Carnian_of_southern_Brazil_Un_dinosaure_sauropodomorphe_dans_le_Trias_supérieur_Carnien_du_sud_du_Brasil. Acesso em: 25 mar. 2025.

LAUTENSCHLAGER, S.; RÜCKLIN, M. **Beyond the print—virtual paleontology in science publishing, outreach, and education.** Journal of Paleontology, v. 88, n. 4, p. 727-734, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1666/13-085>. Acesso em: 26 mar. 2025.

LEAFLET.JS. **An open-source JavaScript library for interactive maps.** [S.l.]: Leaflet, [s.d.]. Disponível em: <https://leafletjs.com>. Acesso em: 30 ago. 2025.

MESCHINI, F. O.; FRANCELIN, M. M. **Organização do conhecimento e suas contribuições em um contexto Big Data.** Transinformação, v. 34, e210075, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0889202234e210075>. Acesso em: 26 mar. 2025.

NEOTOMA PALEOECOLOGY DATABASE. **Explorer – Interactive Data Tool.** [S.l.]: Neotoma Paleoecology Database, [20--]. Disponível em: <https://apps.neotomadb.org/explorer/>. Acesso em: 11 maio 2025.

NUNES, Mônica Balestrin. **Cartografia e paisagem: o mapa como objeto de estudo.** Revista do Instituto de Estudos Brasileiros, n. 65, p. 96-119, 2016. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rieb/article/view/125162>. Acesso em: 30 ago. 2025.

COUCLELIS, H.; MCMASTER, Robert B.; NYERGES, Timothy.. In: COUCLELIS, H.; MCMASTER, Robert B.; NYERGES, Timothy (org.). **The SAGE Handbook of GIS and Society.** Thousand Oaks, CA: SAGE, 2011. p. xx-xx. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/sage_handbook.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.

OXFORD UNIVERSITY. **Large-scale fossil study reveals origins of modern-day biodiversity gradient 15 million years ago.** Oxford: University of Oxford, 2023. Disponível em: <https://www.earth.ox.ac.uk/article/large-scale-fossil-study-reveals-origins-modern-day-biodiversity-gradient-15-million-years>. Acesso em: 26 mar. 2025.

PETERS, Shanan E.; MCCLENNEN, Michael A. **The Paleobiology Database application programming interface.** Paleobiology, v. 42, n. 1, p. 1-7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/pab.2015.39>. Acesso em: 30 ago. 2025.

PROTHERO, Donald R. **Bringing fossils to life: an introduction to paleobiology.** 3. ed. New York: Columbia University Press, 2013.

SCHMIDT, D. N. **Determining climate change impacts on ecosystems: the role of palaeontology.** Palaeontology, v. 61, n. 1, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pala.12335>. Acesso em: 26 mar. 2025.

SILVA, Bruno Camilo. **Sistema de informação geográfica aplicado à paleontologia.** 2018. 00f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/76436600/Sistema_de_Inform%C3%A7%C3%A3o_Geogr%C3%A1fica_APLICADO_%C3%A0_Paleontologia. Acesso em: 30 ago. 2025.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de software**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2019.

SUNDSTRÖM, Johan. **world.geo.json**. GitHub, 2014. Disponível em: <https://github.com/johan/world.geo.json>. Acesso em: 4 set. 2025.

SUTTON, M.; RAHMAN, I.; GARWOOD, R. **Virtual paleontology—an overview**. The Paleontological Society Papers, v. 22, p. 1-20, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/scs.2017.5>. Acesso em: 26 mar. 2025.

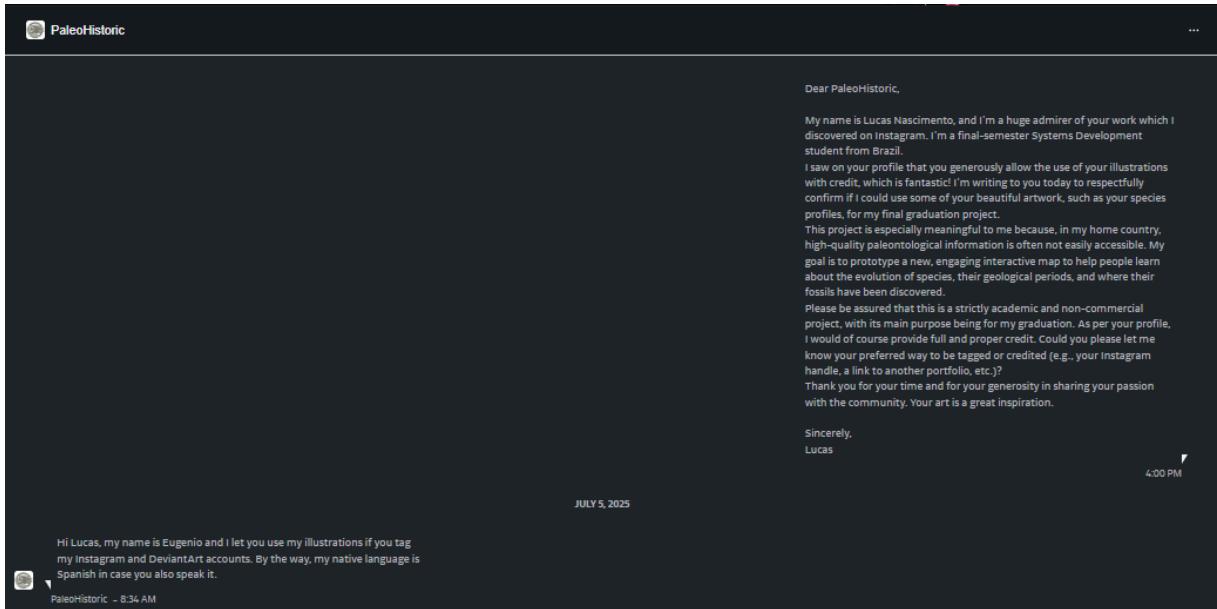
SUTTI, Shrine. **Geographic information systems (GIS)**. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/381109950_Geographic_Information_Systems_GIS. Acesso em: 30 ago. 2024.

VALLE MELÓN, José M. et al. **The use of new web technologies for the analysis, preservation, and outreach of paleontological information and its application to La Rioja (Spain) paleontological heritage**. Palaeontologia Electronica, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.26879/918>. Acesso em: 26 mar. 2025.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). **HTML Living Standard**. [S.l.]: W3C, 2023. Disponível em: <https://html.spec.whatwg.org/>. Acesso em: 3 set. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO ARTISTA EUGENIO (PALEOHISTORIC).



APÊNDICE B - TERMO DE AUTORIZAÇÃO DO ARTISTA PETER NICKOLAUS (PALEO PETE).



Lucas

Dear Peter, My name is Lucas Nascimento, and I'm a final semester Brazilian student in System Analysis and Development. I'm writing to you today because I'm a g



Paleo Pete <contact.paleopete@gmail.com>

para mim ▾

sex., 19 de set., 20:14 (há 10 dias)



dom., 21 de set., 05:58 (há 8 dias)



Dear Lucas,

that sounds like an amazing project! Thanks for your kind words and thanks for asking! I hereby grant you permission to use my artwork for your project. Please credit me by using my name (Peter Nickolaus).
Good luck with the graduation project!

Best wishes

Peter

--
[Art by Peter Nickolaus](#)

Paleoart, environmental illustrations, infographics and more.

www.peternickolaus.com