

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**JOÃO VITTOR DE MOURA BATISTA**

**Do Mainframe ao Desktop:** História dos SIGs dos Anos 60 ao Início do Século XXI

**From Mainframe to Desktop:** History of GIS from the 1960s to the Beginning of the 21st  
Century

São Paulo

2024

JOÃO VITTOR DE MOURA BATISTA

**Do Mainframe ao Desktop:** História dos SIGs dos Anos 60 ao Início do Século XXI

Trabalho de Graduação Integrado (TGI)  
apresentado ao Departamento de Geografia da  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências  
Humanas, da Universidade de São Paulo, como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Bacharel em Geografia

Orientador:

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

São Paulo

2024

BATISTA, João Vittor de Moura. **Do Mainframe ao Desktop**: História dos SIGs dos Anos 60 ao Início do Século XXI. Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia. 2024.

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e amor incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família pelo apoio durante todo o curso. Expresso também minha gratidão ao professor Reinaldo, pois esse trabalho não seria possível sem as experiências compartilhadas por ele.

## RESUMO

BATISTA, João Vittor de Moura. **Do Mainframe ao Desktop: História dos SIGs dos Anos 60 ao Início do Século XXI**. Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia. 2024.

O estudo "Do Mainframe ao Desktop: História dos SIGs dos Anos 60 ao Início do Século XXI" aborda a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desde a década de 1960 até o início dos anos 2000. O objetivo é investigar a trajetória histórica e tecnológica dos SIGs, destacando inovações, integração de dados de sensoriamento remoto, desenvolvimentos de software e suas implicações em várias áreas. A metodologia utilizada foi qualitativa e exploratória, baseada em uma revisão bibliográfica detalhada de artigos científicos, livros e patentes. Os resultados indicam uma evolução significativa dos SIGs, com avanços tecnológicos que transformaram essas ferramentas em sistemas dinâmicos e multifuncionais, democratizando o acesso e ampliando seu uso em diversas áreas, como planejamento urbano, monitoramento ambiental e agricultura. Conclui-se que os SIGs têm um papel fundamental na análise e interpretação de dados espaciais, sendo essenciais para diversas disciplinas e práticas profissionais.

**Palavras-chave:** SIG, Evolução Tecnológica, Sensoriamento Remoto, Democratização do Acesso.

## ABSTRACT

BATISTA, João Vittor de Moura. **From Mainframe to Desktop: History of GIS from the 1960s to the Beginning of the 21st Century.** Integrated Undergraduate Work (TGI) presented to the Faculty of Philosophy, Letters and Human Sciences of the University of São Paulo to obtain the title of Bachelor in Geography. 2024.

The study "From Mainframe to Desktop: History of GIS from the 60s to the Beginning of the 21st Century" addresses the evolution of Geographic Information Systems (GIS) from the 1960s to the beginning of the 2000s. The objective is to investigate the historical trajectory and technological aspects of GIS, highlighting innovations, integration of remote sensing data, software developments and their implications in various areas. The methodology used was qualitative and exploratory, based on a detailed bibliographic review of scientific articles, books and patents. The results indicate a significant evolution of GIS, with technological advances that transformed these tools into dynamic and multifunctional systems, democratizing access and expanding their use in several areas, such as urban planning, environmental monitoring and agriculture. It is concluded that GIS have a fundamental role in the analysis and interpretation of spatial data, being essential for various disciplines and professional practices.

**Keywords:** GIS, Technological Evolution, Remote Sensing, Democratization of Access.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                  |                                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3D</b>        | Três Dimensões                                                                                     |
| <b>ARC/INFO</b>  | Componente de mapeamento e análise espacial / Sistema de gerenciamento de banco de dados associado |
| <b>CAD</b>       | Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)                                           |
| <b>CGIS</b>      | Geographical Information System (Sistema Canadense de Informação Geográfica)                       |
| <b>ESRI</b>      | Environmental Systems Research Institute (Instituto de Pesquisa em Sistemas Ambientais)            |
| <b>FORTTRAN</b>  | Formula Translation (Tradução de Fórmulas)                                                         |
| <b>GPS</b>       | Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)                                       |
| <b>IBM</b>       | International Business Machines Corporation                                                        |
| <b>IBM 360</b>   | International Business Machines Corporation Model 360                                              |
| <b>IBGE</b>      | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                                    |
| <b>INDE</b>      | Infraestruturas Nacionais de Dados Espaciais                                                       |
| <b>INPE</b>      | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                                                          |
| <b>IoT</b>       | Internet of Things (Internet das Coisas)                                                           |
| <b>ISO</b>       | International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização)       |
| <b>KML</b>       | Keyhole Markup Language (Linguagem de Marcação "Keyhole")                                          |
| <b>KMZ</b>       | Keyhole Markup Language Zipped (Linguagem de Marcação "Keyhole" Compactada)                        |
| <b>LANDSAT</b>   | Land Satellite (Satélite da Terra)                                                                 |
| <b>LBS</b>       | Location Based Services (Serviços Baseados em Localização)                                         |
| <b>MAP</b>       | Map Analysis Package (Pacote de Análise de Mapas)                                                  |
| <b>OMS</b>       | OpenStreetMap (Mapa Aberto de Ruas)                                                                |
| <b>OGC</b>       | Open Geospatial Consortium (Consórcio Geoespacial Aberto)                                          |
| <b>PROTO-SIG</b> | Sistema de Informação Geográfica rudimentar                                                        |
| <b>QGIS</b>      | Quantum GIS                                                                                        |
| <b>SAR</b>       | Synthetic Aperture Radar (Radar de Abertura Sintética)                                             |
| <b>SIG</b>       | Sistema de Informação Geográfica                                                                   |
| <b>SPRING</b>    | Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas                                           |



|                  |                                                                              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SPOT</b>      | Satellite Pour l'Observation de la Terre (Satélite Para Observação da Terra) |
| <b>SITIM/SGI</b> | Sistema de Tratamento de Imagens/SGI                                         |
| <b>SYMAP</b>     | Synagraphic Mapping (Sistema de Mapeamento Sintético)                        |
| <b>WFS</b>       | Web Feature Service (Serviço de Feições Online)                              |
| <b>WMS</b>       | Web Map Service (Serviço de Mapas Online)                                    |
| <b>WWW</b>       | World Wide Web (Rede Mundial de Computadores)                                |
| <b>WebGIS</b>    | Sistema SIG Online                                                           |
| <b>ArcGIS</b>    | Sistema de Informação Geográfica da ESRI                                     |
| <b>ArcMap</b>    | Aplicativo de mapeamento da ESRI                                             |

## SUMÁRIO

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                 | <b>11</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....                                                                                       | 13        |
| 1.1.1 Objetivo geral.....                                                                                 | 13        |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                                                                          | 13        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....                                                                                   | 13        |
| 1.3 METODOLOGIA.....                                                                                      | 14        |
| <b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>                                                                             | <b>16</b> |
| 2.1 PRÓLOGO: RAÍZES TEÓRICAS E PRECURSORAS.....                                                           | 16        |
| 2.2 DÉCADA DE 1960: PRIMEIROS PASSOS DOS PIONEIROS .....                                                  | 23        |
| 2.3 DÉCADA DE 1970: INÍCIO DA DEMOCRATIZAÇÃO E DA EXPANSÃO.....                                           | 23        |
| 2.4 DÉCADA DE 1980: A INTERDISCIPLINARIDADE EMERGENTE .....                                               | 27        |
| 2.5 DÉCADA DE 1990: DOMINÂNCIA DO USUÁRIO .....                                                           | 34        |
| 2.6 ANOS 2000/INÍCIO DO SÉCULO XXI: O SURGIMENTO DE UMA NOVA ERA COM<br>A DEMOCRATIZAÇÃO DEFINITIVA ..... | 38        |
| 2.7 HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO BRASIL .....                                        | 42        |
| <b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                        | <b>45</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                  | <b>47</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde sua concepção inicial na década de 1960 até o início dos anos 2000, a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica representa uma jornada através de avanços tecnológicos e intelectuais, refletindo as vastas mudanças ocorridas na prática e na teoria geográfica. Os SIGs foram e continuam a ser um motor de inovação, capacitando profissionais e estudiosos a estudar e entender o mundo ao seu redor de maneiras que antes eram simplesmente inimagináveis.

O trabalho seminal de Ferreira (2006) intitulado “Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do sistema de informação geográfica na geografia” oferece um vislumbre inicial dessa jornada, visto que sublinha como o SIGs surgiram como reação à crescente demanda por um método sistêmico e integrado para gerenciar e analisar as complexas informações espaciais. À medida que a quantidade de dados geográficos disponíveis crescia, ficava cada vez mais claro que seriam necessárias ferramentas para a organização, visualização e auxílio eficaz dos professores dessas informações.

Essa inovação foi significativamente impulsionada pelo advento dos computadores, um marco que é elucidado por Marble (1987) em "The Computer and Cartography". Nessa obra, ressalta-se a fusão crucial entre a cartografia e a computação, que abriu novos horizontes para a análise geográfica através da capacidade sem precedentes de manipular vastos conjuntos de dados espaciais. A integração de tecnologias de computação permitiu não apenas a automatização de tarefas anteriormente manuais e trabalhosas, mas também a criação de novos métodos e técnicas para analisar e representar fenômenos geográficos de maneira mais precisa e eficiente.

Ademais, a perspectiva delineada por Pérez Machado (2014) em "Os novos enfoques da Geografia com o apoio das Tecnologias da Informação Geográfica" complementa de maneira significativa essa narrativa ao elucidar como a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) tem sido intrinsecamente ligada às demandas emergentes da sociedade e aos avanços tecnológicos. O autor destaca a transformação dos SIGs de ferramentas cartográficas estáticas para sistemas dinâmicos e multifuncionais, um processo que tem sido fundamental para expandir significativamente o escopo da análise espacial.

Essa transição não só ampliou as capacidades dos SIGs, mas também redefiniu fundamentalmente a maneira como os geógrafos e outros profissionais abordam, compreendem e interagem com o espaço geográfico. Anteriormente, os mapas eram vistos principalmente como representações estáticas do mundo físico, utilizados principalmente para visualização e

comunicação de informações geográficas básicas. No entanto, com o advento dos SIGs e o desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento, os mapas evoluíram para sistemas dinâmicos e interativos, capazes de integrar e analisar uma ampla gama de dados espaciais em tempo real.

Essa mudança de paradigma abriu novas possibilidades para a análise geográfica, permitindo a exploração de relações complexas e dinâmicas entre variáveis espaciais e temporais. Além disso, os SIGs multifuncionais agora desempenham um papel central em uma variedade de contextos, desde o planejamento urbano e o monitoramento ambiental até a tomada de decisões em situações de emergência.

Portanto, o cerne deste estudo consiste em desvendar a progressão histórica e tecnológica dos SIGs, traçando como eles se desenvolveram de simples instrumentos de mapeamento acoplados aos grandes e caros computadores mainframes da década de 1960, para potentes plataformas de análise espacial com interfaces amigáveis e acessíveis dos anos 2000 formando a espinha dorsal de inúmeras aplicações em geografia e além. Assim, este estudo não só documenta a jornada evolutiva dos SIGs, mas também contempla como essa progressão sinaliza uma era de novas possibilidades ao decorrer da democratização ao acesso aos SIGs, além dos desafios, ampliando assim, a compreensão dos fenômenos geográficos e redefinindo o que é possível no campo da análise espacial. Ao fazê-lo, reitera-se a relevância contínua dos SIGs como instrumentos fundamentais na síntese e na interpretação de dados espaciais, essenciais para o avanço do conhecimento e para a solução de problemas em uma multiplicidade de contextos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Investigar a evolução histórica dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desde sua concepção nos anos 1960 até os anos 2000 destacando sua relevância e impacto na prática do geoprocessamento, bem como sua contribuição para a democratização do acesso às geoinformações.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Objetivos Específicos:

- Analisar as origens e os desenvolvimentos iniciais dos SIGs, identificando os marcos importantes que impulsionaram sua evolução tecnológica e sua aplicação em diferentes áreas da Geografia.
- Avaliar as principais transformações e avanços ocorridos nos SIGs ao longo do tempo, destacando suas aplicações em diferentes setores e as mudanças nas práticas de análise espacial.
- Investigar o papel dos SIGs na democratização do acesso às geoinformações, analisando como essas ferramentas contribuíram para tornar os dados geoespaciais mais acessíveis e ampliar o alcance da análise espacial para uma variedade de usuários.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo da evolução histórica dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é de fundamental importância para a Geografia por diversas razões. Em primeiro lugar, os SIGs representam uma ferramenta essencial para a análise e interpretação do espaço geográfico, permitindo a integração de dados georreferenciados e a produção de mapas digitais detalhados. Compreender como essas ferramentas evoluíram ao longo do tempo nos permite entender não apenas o avanço tecnológico, mas também as transformações nas práticas de análise espacial.

Além disso, os SIGs desempenham um papel crucial na resolução de problemas geográficos complexos, como o planejamento urbano, a gestão ambiental e a análise de riscos naturais. Ao estudar sua evolução histórica, podemos identificar como essas ferramentas foram desenvolvidas para atender às necessidades específicas de diferentes áreas da Geografia, bem como os desafios enfrentados ao longo do processo.

Outro ponto relevante é o impacto dos SIGs na democratização do acesso à informação geográfica. Com o avanço da tecnologia, essas ferramentas tornaram-se mais acessíveis e fáceis de usar, permitindo que um número cada vez maior de pessoas, não apenas especialistas, possam realizar análises espaciais e tomar decisões significativas do ponto de vista territorial com base na análise de dados geoespaciais.

Além disso, a evolução dos SIGs está intrinsecamente ligada aos avanços na área da computação e da ciência de dados, áreas que têm cada vez mais interseções com a Geografia. Compreender como essas tecnologias se desenvolveram ao longo do tempo nos permite contextualizar melhor as práticas geográficas contemporâneas e antecipar futuras tendências na área.

Portanto, estudar a evolução histórica dos SIGs é essencial para os geógrafos, uma vez que nos permite compreender não apenas o passado e o presente dessas ferramentas, mas também seu potencial futuro e seu papel na resolução dos desafios geográficos enfrentados pela sociedade contemporânea.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta pesquisa visa explorar a trajetória e evolução dos Sistemas de Informação Geográfica desde a década de 1960 até o início dos anos 2000, focando nas inovações tecnológicas, integração de dados de sensoriamento remoto, desenvolvimentos de software e as implicações desses avanços em diversas áreas de aplicação. A pesquisa adota uma abordagem documental de natureza qualitativa exploratória, utilizando uma perspectiva histórica para analisar a progressão dos SIGs e seu impacto em várias disciplinas e práticas profissionais. Este estudo visa aprofundar a documentação das mudanças tecnológicas, metodológicas e conceituais que moldaram os SIGs ao longo de quatro décadas.

Os dados foram coletados através de uma revisão bibliográfica extensa, envolvendo a análise de artigos científicos, relatórios técnicos, livros, conferências, teses e patentes. Fontes digitais e físicas foram acessadas em diversas bases de dados acadêmicas, bibliotecas especializadas e arquivos de instituições de pesquisa reconhecidas no campo dos SIGs. A busca

por dados foi estruturada em torno de palavras-chave e combinações delas, incluindo, mas não se limitando a "evolução dos SIGs", "tecnologias de SIG", "SIG e sensoriamento remoto", "softwares de SIG", entre outras. A seleção de fontes foi baseada em critérios como relevância para o tema, contribuição para o entendimento da evolução dos SIGs e reconhecimento acadêmico. A busca foi realizada com um enfoque particular nos desenvolvimentos significativos dos anos 1990 e 2000, um período marcado por uma rápida evolução tecnológica e expansão do uso dos SIGs.

Após a coleta, os dados foram organizados cronologicamente e analisados tematicamente, destacando inovações tecnológicas, marcos metodológicos e a expansão das aplicações dos SIGs. A análise buscou identificar padrões de desenvolvimento, influências recíprocas entre os SIGs e outras tecnologias, e o impacto destas inovações em múltiplas áreas de aplicação. Este estudo reconhece limitações como a possível falta de registros completos sobre certos aspectos dos SIGs, especialmente nas décadas mais recentes, e o desafio de sintetizar uma vasta gama de informações de maneira coesa. Além disso, a interpretação dos dados históricos pode ser influenciada pelas perspectivas contemporâneas do pesquisador.

Foram observadas as diretrizes éticas no uso de fontes bibliográficas, assegurando a correta citação e referência de todos os materiais utilizados, respeitando os direitos autorais e a integridade acadêmica. Nenhum dado pessoal foi coletado, mantendo a pesquisa em conformidade com os padrões éticos aplicáveis.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 PRÓLOGO: RAÍZES TEÓRICAS E PRECURSORAS.

Antes de iniciar a apresentação histórica dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) que se desenrolou dos anos 60 até o início dos anos 2000, é imperativo reconhecer as raízes e os precursores dessas tecnologias durante a era do PROTO-SIG<sup>1</sup>. Esta fase preliminar, marcada por esforços intuitivos de mapeamento e análise espacial, lança luz sobre o potencial inerente da representação geográfica na solução de problemas complexos. Um exemplo emblemático frequentemente citado é a investigação pioneira do Dr. John Snow, que, em meados do século XIX, empregou métodos rudimentares de mapeamento para identificar a fonte de um surto de cólera em Londres (Figura 1). Ao mapear os casos de cólera em relação às fontes de água, o Dr. Snow conseguiu identificar uma bomba de água pública na Broad Street como o epicentro da epidemia, destacando assim a importância crítica da análise espacial na saúde pública e na epidemiologia.

**Figura 1:** Mapa do Dr. Snow (1854)



**Fonte:** ArcGis StoryMaps, 2021.

Essa intervenção histórica do Dr. Snow pode ser considerada uma manifestação primitiva dos princípios que fundamentam os SIGs modernos, demonstrando como a visualização espacial de dados pode revelar padrões e conexões críticas que não são aparentes através de métodos de análise convencionais. Esse episódio prenuncia a capacidade dos SIGs

<sup>1</sup> O termo "PROTO-SIG" é usado para descrever as primeiras tentativas de coletar, armazenar, analisar e visualizar dados geográficos, muito antes da era digital.



de integrar dados geográficos e temáticos para fornecer percepções profundas e direcionar a tomada de decisões eficazes. Portanto, ao refletir sobre o legado do PROTO-SIG e o trabalho visionário do Dr. Snow, se pode apreciar as fundações conceituais sobre as quais os SIGs foram construídos. Esta compreensão histórica enriquece a apreciação da evolução subsequente dos SIGs, desde ferramentas básicas de mapeamento até sistemas computacionais avançados capazes de realizar análises espaciais complexas, modelagem e visualização (Bolfe, Matias e Ferreira, 2008).

Ademais, ao contextualizar os SIGs dentro deste arcabouço histórico mais amplo, este estudo busca não apenas traçar o desenvolvimento tecnológico dos SIGs, mas também destacar a importância duradoura da análise espacial como uma ferramenta fundamental na compreensão e na gestão de fenômenos geográficos e sociais. Ao trilhar o caminho do desenvolvimento histórico dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) desde as primeiras concepções do PROTO-SIG até os avanços tecnológicos dos anos 2000, é crucial reconhecer as teorias fundamentais que antecederam e moldaram o pensamento geográfico e a análise espacial.

Nesse sentido, as contribuições de Max Weber em 1909, com sua teoria da localização industrial, e de Walter Christaller em 1933, com a teoria dos lugares centrais, são pedras angulares que forneceram bases cruciais sobre a distribuição espacial das atividades econômicas e dos assentamentos humanos. De acordo com Silva (2011), Weber explorou os fatores que influenciam a localização das indústrias, destacando a importância de minimizar os custos de transporte e produção para otimizar a localização industrial. Essa análise precoce da interação espacial e econômica prenuncia os tipos de análises que se tornariam centrais nos SIGs modernos, que frequentemente integram dados econômicos e geográficos para informar o planejamento urbano e regional, a gestão de recursos e as estratégias de desenvolvimento econômico.

Por outro lado, a teoria dos lugares centrais de Christaller, segundo Silva (2011), introduziu um modelo para entender a organização espacial e a hierarquia dos assentamentos urbanos, com base em sua função e alcance na prestação de serviços e bens. Essa teoria ressalta a interdependência espacial entre os locais e fornece uma estrutura para analisar padrões de assentamento, planejamento urbano e desenvolvimento regional, aspectos que são frequentemente modelados e analisados por meio de SIGs contemporâneos (Alves, 2015). Consequentemente, a incorporação dessas teorias fundamentais na análise geográfica e, por extensão, nos SIGs, destaca a evolução do pensamento geográfico de conceitos teóricos abstratos para aplicações práticas e análises detalhadas possibilitadas pela tecnologia dos SIGs. Ao reconhecer a importância das contribuições de Weber, Christaller e Snow, este estudo não

apenas traça as raízes intelectuais dos SIGs, mas também enfatiza como as teorias geográficas clássicas continuam a influenciar e a enriquecer as capacidades analíticas dos SIGs na interpretação de padrões espaciais complexos e na tomada de decisões informadas (Chrisman, 2006).

Os comandos específicos usados em aplicativos de geoprocessamento contemporâneos têm raízes em técnicas bem estabelecidas da cartografia tradicional. Um exemplo claro disso é a técnica de superposição de mapas, ou "*map overlay*". Essa técnica, amplamente utilizada nos aplicativos modernos, já era uma prática comum na cartografia tradicional desde o início do século XIX. Na cartografia clássica, o procedimento envolvia a sobreposição de dois mapas distintos, cada um com elementos gráficos como polígonos, linhas e pontos, organizados de maneira específica. O resultado dessa sobreposição, quando relevante do ponto de vista lógico ou temático, era transposto para um terceiro mapa, que representava o produto final da superposição, ou "*overlay*". Esse método não só permitia uma análise mais profunda das interações espaciais, mas também pavimentou o caminho para o desenvolvimento de técnicas digitais que hoje são fundamentais para o geoprocessamento. (Pérez Machado, 2014)

## 2.2 DÉCADA DE 1960: PRIMEIROS PASSOS DOS PIONEIROS

Na década de 1960, uma época de mudança social e inovação, os sistemas de informação geográfica experimentaram um grande avanço. Conforme mencionado por Stevens (1968), a inovação do computador mainframe IBM 360<sup>2</sup> (Figura 2) não apenas tornou a computação de alta capacidade mais difundida, mas também fomentou o caminho para a introdução do primeiro SIG, que se provou um desafio para os sistemas de processamento e armazenamento de dados.

Nesse período, a demanda por processamento de grandes quantidades de dados geográficos e ambientais foi observada. O IBM 360 e sua habilidade para tratar essa complexidade configuraram a nova era da análise espacial e cartográfica, com a capacidade de manipular conjuntos de dados grandes (Teixeira, et al. 1995).

---

<sup>2</sup> O IBM 360 foi um marco na computação, sendo um dos primeiros sistemas a permitir o processamento de diversas tarefas simultâneas, o que revolucionou áreas como a informática e a gestão de grandes volumes de dados.

**Figura 2:** Funcionários operando o computador IBM 360 em um centro de dados na década de 1960



**Fonte:** International Business Machines Corporation (IBM), 1960

No entanto, o caminho do início da inovação foi cheio de desafios importantes. Os primeiros SIGs eram sistemas complexos que necessitavam de não apenas considerável desenvolvimento de hardware, mas também uma grande quantidade de trabalho na esfera de software e algoritmos fundamentais. Por isso, o desenvolvimento de métodos para armazenar, recuperar, analisar e representar dados geoespaciais foi um motor de inovação na torrente da computação, refletindo a variedade de potenciais áreas de uso de SIGs, desde o urbanismo e desenvolvimento humano até a aquisição militar e estudos do ambiente (Duckham, Goodchild e Worboys, 2003).

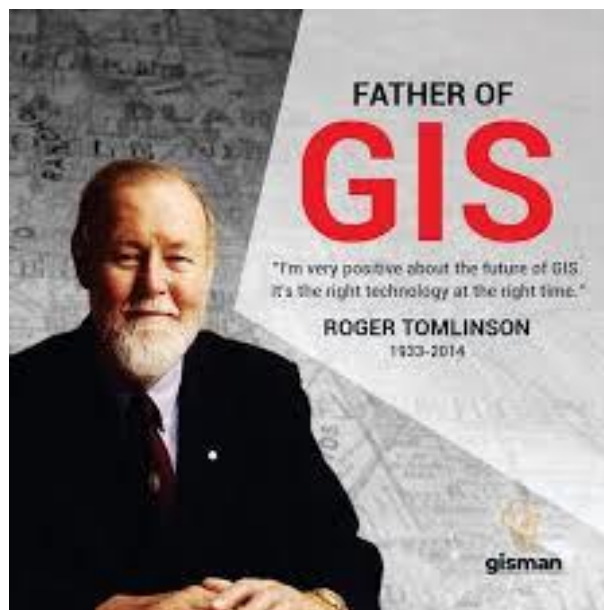
Com o desenvolvimento contínuo da integração e análise de dados espaciais produzidos a partir de múltiplas fontes, expandiu-se a possibilidade de tomar decisões com base nesses dados, alterando o modo como as pessoas compreendiam os fenômenos geográficos. Conforme a década de 1960 se desenvolvia, a tendência de integrar os SIGs em áreas cada vez mais diversas demonstrava seu imenso valor, o que indicava um desenvolvimento contínuo dos aspectos tecnológicos e as necessidades e desafios de uma sociedade em evolução (Alves, 2015).

Adicionalmente, essa confluência de avanços tecnológicos, necessidades emergentes e inovações intelectuais não foi um acidente, mas uma força que empurraria a evolução e a adoção generalizada de SIGs para a próxima década. Não foram apenas os avanços de hardware que alteraram a paisagem do desenvolvimento de SIGs. A década de 1960 também viu revoluções

no desenvolvimento de software, com linguagens de programação como a *FORTRAN*<sup>3</sup>, que pavimentou o caminho para a criação de aplicativos personalizados. Esses aplicativos, como abordado por Wagner (1965), eram essenciais para processar dados espaciais de maneiras anteriormente inimagináveis, abrindo novas avenidas para pesquisas científicas e tomada de decisões informadas por dados geoespaciais.

Paralelamente a essas inovações na metodologia, o trabalho pioneiro de Roger Tomlinson para introduzir o Sistema de Informações Geográficas canadense nas décadas de 1960 marca outro marco importante na história dos SIGs. Tomlinson, frequentemente considerado o “pai do SIG” (Figura 3), projetou o primeiro SIG operacional genuíno, sistematicamente aplicando as capacidades emergentes de computação para armazenar, manipular e analisar dados geográficos. Ele fez isso para atender ao Canadá, que precisava administrar eficientemente suas vastas propriedades e abundantes recursos naturais (Câmara e Davis, 2001).

**Figura 3:** Homenagem ao “pai do gis” Roger Tomlinson devido ao seu falecimento em 2014.



**Fonte:** HardCastle GIS, 2014

Dessa forma, a visão do CGIS (*Canadian Geographical Information System*) de Tomlinson era inovadora; ele previu que a computação emergente poderia ser usada para ultrapassar o impedimento do conhecimento que geram do gerenciamento de informações geográficas. No contexto acima, particular ênfase é colocada no CGIS como um sistema de

<sup>3</sup> Acrônimo de Formula Translation é uma das primeiras linguagens de alto nível, criada na década de 1960 pela IBM. Foi amplamente utilizada para desenvolver algoritmos de modelagem e análise espacial, além de simulações e processamento de dados geoespaciais.

banco de dados avançado para gerenciamento de recursos terrestres, avaliação de recursos naturais e planejamento com base em dados espacialmente precisos. Câmara e Davis (2001) afirmam que CGIS é uma das inovações pioneiras no campo da informação geográfica, estabelecendo novos padrões para processamento e análise de dados geográficos.

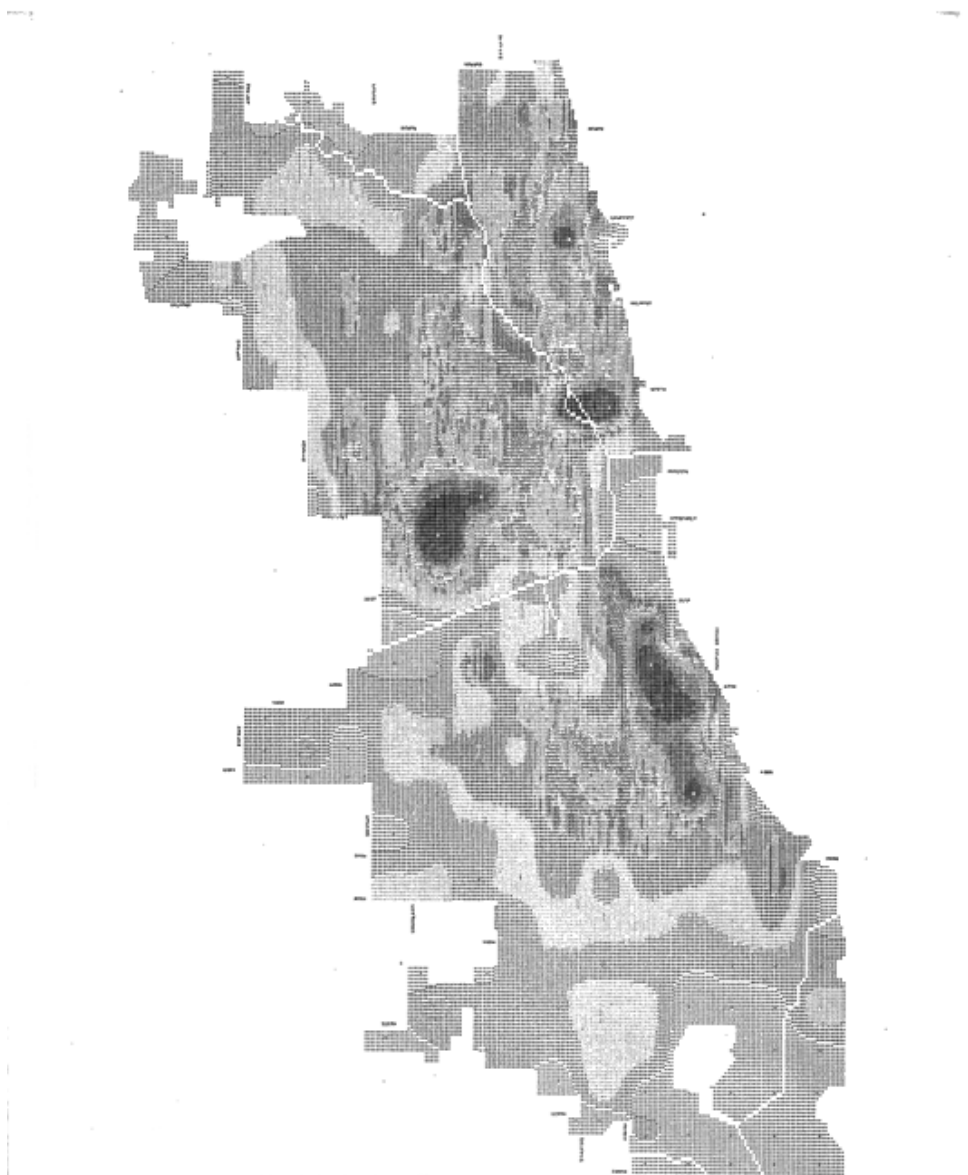
Além disso, dado o design abrangente da interface cognitiva com uma ampla gama de diferentes fontes de dados, o desenvolvedor cumpriu a tarefa de fornecer informações na maioria dos formatos possíveis e âmbitos granulares. Como resultado, uma visão precisa e abrangente dos territórios e seus recursos naturais foi possível. A capacidade analítica espacial avançada do CGIS permitiu desvendar os padrões de uso da terra e investigar como várias práticas de gestão influenciaram esses padrões. Para diversos propósitos, esse aspecto analítico do CGIS veio a se tornar não apenas uma fonte de informações ambientais vital, mas também uma ferramenta importantíssima ao planejar políticas públicas.

Portanto, no final, o impacto do CGIS na aplicação de informações geográficas na tomada de decisões foi profundo. O legado de Roger Tomlinson e do CGIS na história dos SIGs é imensurável. Seu método revolucionário de incorporar a computação ao processamento de dados geográficos não só alterou drasticamente a gestão de terras e recursos naturais, mas também abriu caminho para futuros progressos no campo de SIGs. O CGIS, em particular, se mostrou um protótipo para futuros sistemas, provando que as tecnologias computacionais e de análise tinham um grande potencial de gerenciamento de dados geográficos (Chrisman, 2006).

Ao mesmo tempo, isso inspirou uma nova safra de geógrafos, planejadores e cientistas ambientais a explorar novas possibilidades com informações geográficas. Enquanto isso, na mesma década de sessenta, o acadêmico altamente aclamado Howard Fisher realizava um trabalho notável: a criação do Laboratório de Cartografia Quantitativa da Universidade de Harvard. O laboratório de Fisher iniciou a missão de desenvolvimento de várias formas complexas de representação gráfica de dados espaciais, saindo dos limites dos métodos tradicionais de imagem usando mapas explorados para a mesma finalidade.

Assim, um dos frutos desses esforços foi o SYMAP (*Synagraphic Mapping*), reconhecido por Cowgill (1967) e Nick (2004) como um divisor de águas no desenvolvimento dos SIGs. O SYMAP introduziu uma abordagem cartográfica inovadora, permitindo uma representação dinâmica e interativa de dados geográficos que ultrapassou as capacidades dos métodos convencionais. Sua flexibilidade e interatividade incentivaram uma abordagem mais experimental à análise de dados geográficos, fomentando um entendimento mais profundo dos fenômenos estudados (Figura 4).

**Figura 4:** Mapa de contorno ilustrando as populações de Chicago, Estados Unidos em 1960 feito com o SYMAP.



**Fonte:** Making Agency, 2014

Por conseguinte, a contribuição do Laboratório de Cartografia Quantitativa e do SYMAP foi muito além dos muros de Harvard e se refletiu no desenvolvimento de metodologias em SIG em universidades e empresas de todo o mundo. Como resultado, as perspectivas para o desenvolvimento das tecnologias e aplicações de SIG foram moldadas, criando o terreno para a inovação que durou várias décadas.

Com isso, os SIGs causaram uma revolução não apenas na geografia, mas também em muitos outros ramos científicos, da ecologia ao planejamento da cidade e gestão de recursos, demonstrando claramente a aplicação dessa tecnologia. Novas oportunidades resultantes da interação entre esses ramos e SIG permitiram analisar informações e planejar o que está

acontecendo no espaço com mais detalhes e precisão, tornando a tomada de decisão mais completa (Machado, 2014).

Portanto, os SIGs melhoraram assim a capacidade analítica, revelando complexidades nas relações espaciais que estavam escondidas. Como mencionado por Bolfe et al. (2011), os SIGs não só permitiam a representação, mas também a análise dos dados geográficos, o que, por sua vez, permitia a modelagem do terreno, a análise de redes e a análise do cenário futuro. Essas habilidades redefiniram fundamentalmente a forma como os problemas do nosso ambiente, sociedade e economia são abordados, e redefiniram até certo ponto como entendemos os problemas globais

### 2.3 DÉCADA DE 1970: INÍCIO DA DEMOCRATIZAÇÃO E DA EXPANSÃO

À medida que o movimentado período dos anos 60 chegava ao fim e a década de 70 emergia, várias inovações começaram a aparecer no campo da tecnologia da informação geográfica, prontas para revolucionar o cenário dos Sistemas de Informação Geográfica. Especificamente, houve um grande avanço em termos de hardware e software que abriu espaço para a modificação do SIG, buscando torná-lo mais acessível e eficiente (Câmara e Davis, 2001).

Os computadores mainframes se mostraram centrais na última década, graças ao seu processamento extremamente poderoso e à grande capacidade de armazenamento. No entanto, o alto custo e a grande escala de tais máquinas (ver Figura 5) os tornaram restritos a instituições governamentais e a grandes empreendimentos.

**Figura 5:** Disco rígido usado em mainframes com capacidade de 5 megas (5mb) entregue pela IBM



Fonte: Siege Cloud, 2015



O ponto de inflexão veio nos anos 1970: novas tecnologias computacionais mais acessíveis possibilitaram a aplicação dos SIG em revolucionárias novas disciplinas e aplicações. Os mainframes deixaram de ser a única base de sua computação e a análise espacial, a gestão de recursos e os processos de tomada de decisão baseados em dados se tornaram práticas comuns em áreas como gestão ambiental e planejamento urbano, graças ao surgimento dos minicomputadores (Figura 6).

**Figura 6:** Imagem de divulgação do SYSTEM/3, o primeiro minicomputador da IBM (1970)



**Fonte:** International Business Machines Corporation (IBM), 1970

Além disso, o desenvolvimento do software SIG foi de vital importância nesta década. A mudança para linguagens de programação avançadas e interfaces de usuário simplificadas democratizou o uso do SIG e o tornou uma ferramenta notável para aqueles sem formação em sistemas espaciais. Essa transformação não apenas deu ao SIG um público mais amplo, mas também lhe permitiu ser entendido e glorificado de uma perspectiva mais abrangente do que nunca, transcendendo as fronteiras de agentes governamentais e de pesquisa especializada.

Segundo Câmara e Davis (2001), os anos 70 marcaram o início do que pode ser descrito como o início de uma era de rápida disseminação dessas tecnologias em campos cada vez mais diversificados. Este desenvolvimento expandiu significativamente tanto os espaços com suas aplicações quanto a base para o desenvolvimento subsequente de SIGs que têm como objetivo facilitar o uso, garantir aplicabilidade e promover mais precisão e flexibilidade sistemáticas. Uma das inovações mais marcantes deste período foi o desenvolvimento de sistemas de Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided Design* - CAD), que representaram um



grande avanço no suporte a funções espaciais complexas. Os primeiros sistemas de CAD, apesar de oferecerem capacidades limitadas de manipulação de dados e desenho técnico, foram eles que criaram as bases para a cartografia automatizada e outras funcionalidades avançadas dentro dos SIGs, como apontam Câmara e Davis (2001).

A revolução no processo de representação, marcada pela integração do CAD nos SIGs, trouxe uma nova era de precisão e detalhamento na cartografia digital. A introdução das primeiras coordenadas geográficas digitais, conforme destacado por Bolfe et al. (2011), permitiu representações da Terra com uma fidelidade sem precedentes nas telas. Esta evolução não apenas elevou o nível de precisão dos mapas produzidos, mas também abriu caminho para modelagens geográficas complexas e representações cartográficas digitais, permitindo uma compreensão mais profunda dos fenômenos espaciais.

Ademais, também foram desenvolvidos algoritmos avançados que revolucionaram as tarefas de análise espacial. A capacidade de realizar interpolações de superfície complexas, modelagens de terreno detalhadas e análises de redes complexas mudaram a forma com que os dados geográficos eram lidos e analisados. Utilizou-se, por exemplo, desses algoritmos para a gestão de bacias hidrográficas; por meio da modelagem de terreno, foi possível conhecer a precisão do escoamento superficial e da erosão.

Outro marco importante foi a integração de dados de sensoriamento remoto, especialmente através do programa LANDSAT 1 <sup>4</sup> iniciado em 1972. Como Câmara et al. (1996) argumentam, este desenvolvimento não apenas forneceu o SIG com o primeiro sistema sistemático de imagens de satélite, mas também enriqueceu os SIGs com uma camada adicional de dados multidimensionais. Como resultado, a capacidade de incorporar essas imagens de satélite ampliou as possibilidades de análise geoespacial, desde o monitoramento ambiental até o planejamento urbano, e fortaleceu ainda mais a posição dos SIGs como uma ferramenta multifacetada para a investigação e gestão do planeta.

Entretanto, a combinação de dados de sensores remotos dentro dos SIGs foi um marco na representação e na capacidade de análise do planeta. Contudo, a utilização desses dados enfrentou inicialmente obstáculos consideráveis, entre eles limitações tecnológicas que incluíam altos custos para aquisição e processamento. Essas barreiras inicialmente mantiveram essa vasta camada de informação limitada a poucas instituições privilegiadas. Um exemplo dessa limitação foi a dificuldade encontrada na hora de processar a vasta quantidade de dados

---

<sup>4</sup> Foi o primeiro satélite da série **LANDSAT**, lançado em 1972. Ele marcou o início do uso de imagens de satélite para monitoramento ambiental e mapeamento de recursos naturais, fornecendo dados cruciais para a cartografia digital e a gestão de recursos.

gerados pelo LANDSAT 1, exigindo recursos computacionais avançados que só governos e empresas técnicas poderiam arcar (Zaidan, 2017).

No entanto, a inclusão de imagens de satélite em SIGs ainda desbloqueava novas dimensões para a análise geoespacial. Por exemplo, ecologistas começaram a usar esses dados para examinar a saúde dos ecossistemas globais, e hidrólogos e geólogos desvendaram meios inteiramente novos de identificar recursos hídricos e minerais. Além disso, estava o exemplo marcante de como as imagens de satélite foram usadas para cartografar a extensão e a saúde da floresta tropical, fornecendo, portanto, informações críticas para a conservação, conforme observado por Boyle et al. (2014).

Gradualmente, com o tempo, as barreiras de custo e tecnologia foram em parte superadas, o que tornou os dados do sensoriamento remoto mais acessíveis e integráveis aos SIGs. Como resultado, o acesso aos dados foi relativamente democratizado em relação à última década e o potencial de aplicação dos SIGs numa variedade de campos foi expandido, desde o planejamento urbano até a gestão de desastres, o que claramente demonstra a versatilidade e o poder dos SIGs para entender os sistemas terrestres complexos.

Além disso, dentro deste contexto de inovação e expansão, o papel do Laboratório de Gráficos Computacionais e Análise Espacial de Harvard é central para a evolução dos SIGs. Os líderes de pesquisa visionários do laboratório desenvolveram técnicas como a sobreposição de camadas, que se tornaram fundamentais para a análise geoespacial. Utilizada em muitos campos, incluindo ecologia e planejamento urbano, a técnica permitiu investigar relações entre dois ou mais fenômenos espaciais mais profundamente.

Ademais, o laboratório tornou-se o pioneiro no campo da análise de redes, transformando significativamente a modelagem e a análise de sistemas de transporte e infraestrutura. Esses avanços industriais e acadêmicos levaram a novas oportunidades de planejamento racional e desenvolvimento e otimização de serviços críticos. Além dos benefícios óbvios e diretos da inovação técnica, as conquistas do Laboratório de Harvard estimularam diretamente a futura evolução do campo dos SIG. O legado do Laboratório sublinha a importância do trabalho interdisciplinar e da inovação contínua na melhoria da nossa capacidade de compreender e gerir o espaço geográfico (Archela e Simielli, 2009).

Embora a década de 1970 tenha testemunhado os desenvolvimentos impressionantes de Sistemas de Informação Geográfica, também houve desafios significativos, notadamente relacionados a custos e a necessidade de infraestrutura de computação. Esses desafios restringiram maioritariamente o público acessível ao SIG a entidades que dispunham de recursos substanciais, incluindo grandes organizações do governo, instituições de ensino

superior de prestígio e empresas de tecnologia. De fato, pequenas organizações e instituições de ensino, com baixo financiamento, tiveram dificuldades devido ao custo de hardware e software envolvido.

Reconhecendo os referidos impedimentos, as décadas seguintes registraram esforços de democratização aos SIGs. Da mesma forma, o surgimento dos computadores pessoais e a popularização da internet contribuíram significativamente ao abaixar os custos e simplificar a complexidade relacionada aos SIGs. A promoção da expansão do acesso global aos SIG foi facilitada ainda mais através da cooperação bem-sucedida das instituições acadêmicas, governamentais e do setor privado, que se uniram para tornar as pessoas de todo o mundo interessadas em beneficiar da capacidade de utilização eficaz destas tecnologias. Cursos de treinamento, workshops e cursos on-line tornaram-se cada vez mais comuns, com o uso disseminado de tecnologias avançadas ajudando a capacitar pessoas em múltiplos cenários.

Portanto, em geral, a década de 1970 foi uma das mais importantes para os SIG, pois viu a transição da ideia inovadora para a tecnologia promissora que tinha um enorme potencial. Graças ao aumento da qualidade do hardware e software, os SIG acabaram se tornando mais acessíveis e eficientes, deixando de ser uma prerrogativa apenas de governos e grandes empresas. Assim, a introdução do CAD e do software SIG revolucionou a forma como a cartografia e a análise digital do espaço foram feitas, permitindo investigar a geografia de maneira muito mais detalhada. A implantação da detecção remota nos SIGs por meio do LANDSAT 1 foi particularmente transformadora e forneceu inúmeras novas dimensões à ampla análise do espaço, desde o uso do solo e políticas públicas até o monitoramento do meio ambiente e desenvolvimento urbano. Portanto, independentemente dos episódios de alto custo e problemas de infraestrutura, a década de 1970 foi o centro de uma revolução que estabeleceu os fundamentos para a democratização e expansão dos SIGs, transformando-os em uma ferramenta profissional indispensável para entender o mundo à nossa volta (Duckham, Goodchild e Worboys, 2003).

## 2.4 DÉCADA DE 1980: A INTERDISCIPLINARIDADE EMERGENTE

O ponto de inflexão estratégica para o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas ocorreu nos anos 80, logo após a revolução abrangente nos microcomputadores. Nesse ínterim, a tecnologia foi radicalmente imposta à cena de computação, tornando-a acessível a pequenos negócios. De acordo com Teixeira et al. (1995), a evolução é vista como testemunha da democratização da tecnologia da computação, um dos catalisadores do aumento

colossal do uso e do desenvolvimento dos SIGs. Foi também durante um período no início dos anos 80 que eles se mudaram de caros ambientes de mainframe e minicomputador para plataformas de desktop mais baratas e facilmente acessíveis, trazidas pelo microcomputador<sup>5</sup> (Figura 7). Esta mudança para o ambiente de desktop foi um grande sucesso na barreira para o uso de SIGs, e, portanto, abriu o caminho para se tornar mais comum em toda uma gama de setores além dos redutos tradicionais da academia e do governo (Pérez Machado, 2014).

**Figura 6:** IBM PC, O primeiro microcomputador do mundo (1981)



**Fonte:** International Business Machines Corporation (IBM), 1981

Além disso, foi precisamente a facilidade de uso dos softwares de SIG para desktop e suas capacidades analíticas elementares que os tornaram tão atrativos. Com esses softwares, frequentemente equipados com interfaces intuitivas, os dados geoespaciais tornaram-se padrão em uma série de áreas de aplicação diversificadas: planejamento urbano, gestão ambiental, marketing e logística, entre muitos outros. Essa popularidade crescente dos SIGs estimulou uma onda de inovação de software, com novos algoritmos e técnicas de visualização desenvolvidos para análise espacial – e mais concorrência entre desenvolvedores. Como resultado, os SIGs se tornaram cada vez mais sofisticados, tornando a tecnologia mais acessível e expandindo ainda mais a gama de usos (Peuquet e Marble, 1990).

---

<sup>5</sup> O primeiro microcomputador, o IBM Personal Computer (IBM PC), foi lançado no dia **12 de agosto de 1981**. Este lançamento marcou um momento significativo na história da computação pessoal e contribuiu para a popularização dos computadores pessoais (PCs) em todo o mundo.

Simultaneamente, a revolução no mercado de microcomputadores levou à contínua redução dos custos de hardware e software, enfraquecendo as barreiras e permitindo o desenvolvimento de uma vibrante comunidade de usuários e desenvolvedores de SIG. Isso incentivou a comunidade a colaborar na troca de conhecimento, compartilhamento de dados e desenvolvimento de projetos conjuntos. Portanto, a ascensão dos microcomputadores e os avanços subsequentes em SIGs para desktop tornaram o acesso às tecnologias geoespaciais muito mais democrático, marcando um ponto de inflexão que não só aumentou o leque de aplicações dos SIGs, mas também sua clientela diversificada. Este período de inovação e expansão promoveu os SIGs à posição de ferramenta crucial em nível mundial, pois se tornou essencial para a tomada de decisões informadas e baseadas em localização (Rosa, 2013).

A convergência entre CAD e SIG efetivamente transformou a medição de design assistido na cartografia. A capacidade de criar mapas automaticamente fez com que uma montanha de dados fosse efetivamente traduzida em visualizações complexas, levando a interpretações muito mais diversas e ricas de suas implicações espaciais. A divulgação da capacidade de gerar informações geográficas precisas tornou muito mais fácil para indivíduos e empresas se envolverem no processo de tomar decisões, aumentando assim o horizonte do que era possível em termos de representação e análise geoespacial. Esta aliança tecnológica abriu novas possibilidades para a expressão da realidade geográfica, posicionando, portanto, os SIGs como ferramentas insubstituíveis para a compreensão e gestão do espaço geográfico (Bolfe et al, 2014).

A introdução de interfaces gráficas do usuário transformou a maneira como os seres humanos interagem com os softwares de SIG e permitiu que uma gama muito mais ampla de usuários acessasse plataformas desse tipo. Esse desenvolvimento deu início a uma era de inovação florescente no campo dos SIGs, já que plataformas pioneiras como o ARC/INFO<sup>6</sup> lideraram a criação de softwares comerciais de SIG e se tornaram as primeiras plataformas de modelagem e análise espacial robustas (Waters, 1999).

O ARC/INFO, em particular, destacou-se neste cenário devido às suas capacidades superiores de modelagem e análise de espaço (Imagem 8). Portanto, este software foi útil não apenas para simplificar a produção de mapas detalhados e estudar fenômenos geográficos com precisão, mas também para introduzir muitos atributos inovadores, como a adição de camadas,

---

<sup>6</sup> **ARC/INFO**: Estrutura do software. **ARC**: componente de mapeamento e análise espacial, que denota as linhas (ou arcos) que formam a base dos polígonos em mapas vetoriais. Este componente é usado para criar, editar e analisar dados espaciais. **INFO**: sistema de gerenciamento de banco de dados associado, que é usado para armazenar e manipular os dados tabulares que são associados aos dados espaciais.



softwares de SIG abriu novos horizontes para sua aplicação em análise, planejamento e tomada de decisões em diversas escalas e contextos. O surgimento do ambiente *Windows*<sup>7</sup>, marca registrada da Microsoft, foi um fator crucial na popularização e expansão das possibilidades desses sistemas, sempre buscando maior facilidade de uso através de interfaces de usuário cada vez mais intuitivas e menos dependentes de aspectos técnicos e de programação. É relevante destacar também o desaparecimento gradual dos famosos "analistas de sistemas", que eram extremamente comuns nas grandes empresas durante a década de 1970.

Os anos 80 podem ser considerados um marco histórico no desenvolvimento dos SIGs, período em que os modelos de dados raster e vetor foram plenamente desenvolvidos e adotados globalmente. Esse progresso foi impulsionado por avanços tecnológicos significativos e pelo crescente interesse de indivíduos e comunidades científicas, que reconheceram e exploraram o potencial dessas tecnologias. A distinção e a integração entre os modelos raster e vetor começaram a definir a maneira como os SIGs poderiam oferecer recursos ainda mais avançados (Duckham, Goodchild e Worboys, 2003).

Nesse contexto, Dana Tomlin foi um pioneiro no desenvolvimento do MAP - (*Map Analysis Package*), um sistema de SIG baseado em raster<sup>8</sup> voltado para análise espacial e manipulação de dados geospaciais. Este software se mostrou especialmente útil na representação de variáveis contínuas, como tipos de solo, cobertura vegetal e gradientes climáticos. A capacidade de processamento raster para grandes conjuntos de dados abriu novas possibilidades para análises detalhadas de fenômenos espaciais e modelagem de processos ambientais complexos, solidificando a relevância e a versatilidade dos SIGs na análise e gestão do espaço geográfico (Tomlin, 1990).

Durante a mesma época, Jack Dangermond emergiu como uma figura seminal no desenvolvimento de sistemas de SIG baseados em vetores. Estes sistemas vetoriais transformaram a maneira como características geográficas discretas, como linhas, pontos e polígonos, eram representadas, indo muito além do mapeamento digital para fornecer a mais alta precisão possível. O software ARC/INFO em particular, é frequentemente citado como um exemplo poderoso da capacidade dos SIGs em modelar redes de transporte e padrões de uso da terra de maneira eficaz. Os avanços tanto nos conceitos raster quanto vetor não apenas

---

<sup>7</sup> O ambiente Windows foi lançado pela primeira vez no dia **20 de novembro de 1985**, com o lançamento do **Windows 1.0**. Esse foi o início da popularização da interface gráfica da Microsoft, que evoluiu significativamente ao longo das décadas seguintes.

<sup>8</sup> Em sistemas de informação geográfica, o raster é um formato de dados que representa informações espaciais através de uma matriz de pixels.

aumentaram o poder analítico dos SIGs, mas também ampliaram as possibilidades de aplicação em uma variedade de campos, facilitando a tomada de decisão baseada em dados científicos e informações em áreas tão diversas quanto ecologia, geologia, planejamento urbano e gestão de recursos naturais (Dangermond, 1982).

Essa flexibilidade inaugurou uma relação complementar entre os modelos raster e vetor, permitindo a combinação de uma gama mais ampla de dados e análises em uma abordagem mais integrada do que antes, ampliando assim o leque de problemas que os SIGs poderiam abordar. Além disso, a convergência desses modelos dentro dos SIGs incentivou um aumento no nível de interdisciplinaridade, onde, através de uma abordagem holística, tornou-se possível encontrar soluções para problemas complexos que englobam componentes espaciais muito diferentes. As sinergias entre diferentes áreas do conhecimento, apoiadas pela tecnologia SIG, promoveram inovações metodológicas e o surgimento de novas teorias e práticas em análise espacial (Zaidan, 2017).

Os avanços significativos nos modelos de dados raster e vetor durante os anos 80 tornaram-se marcos na evolução dos SIGs, reforçando ainda mais seu valor como ferramenta essencial nos âmbitos tecnológico e científico. Essa década de inovação e pesquisa não apenas expandiu os horizontes dos SIGs, mas também estabeleceu as bases para os desenvolvimentos analíticos e modelagens que se seguiram, consolidando os SIGs como componentes vitais em uma miríade de aplicações. Um grande desafio tecnológico para os SIG's à época foi a implementação da conversão de dados gráficos do modelo matricial (raster) para o modelo vetorial, especialmente no que diz respeito a conversão de feições lineares.

Além disso, esta era também prenunciou um período significativo de política voltada para um início da padronização de dados e sistemas, facilitando uma integração simbiótica entre sistemas e áreas diversas. Antes disso, a ausência de padrões comuns e as dificuldades de comunicação entre SIGs e as metodologias de outras áreas frequentemente impediam o compartilhamento eficaz e a análise de dados. A falta de compatibilidade entre os vários sistemas de tecnologia da informação era uma barreira significativa para o intercâmbio de informações e colaboração, limitando a capacidade de realizar uma análise espacial abrangente e multidisciplinar (Dueker, 1987).

Os esforços em direção à padronização e interoperabilidade que se intensificaram durante os anos 80 estabeleceram fundamentos sólidos para o desenvolvimento e inovação futuros em SIGs. Muitas dessas iniciativas realçaram a capacidade analítica dos SIGs ao promover o compartilhamento de dados e a colaboração entre diferentes sistemas e



organizações, ampliando ainda mais o impacto dos SIGs nos cenários tecnológicos e científicos atuais e futuros (Bolfe *et al.*, 2008).

Ademais, a rápida diversificação de aplicações dos SIGs já era evidente nos anos 80, abrangendo não apenas campos tradicionais como geografia e planejamento urbano, mas expandindo-se para novas áreas. Waters (1999) destaca essa diversificação, observando como os SIGs são intrinsecamente capazes de reunir informações de diversas fontes para análise. Essa capacidade provou ser extremamente valiosa para várias disciplinas, incluindo a saúde pública, onde os SIGs desempenharam um papel crucial na identificação e gestão de surtos de doenças infecciosas. Integrando dados demográficos, ambientais e de saúde em um único sistema, os SIGs oferecem uma plataforma poderosa para desenvolver estratégias de intervenção, gestão eficaz e medidas preventivas contra doenças, conforme exemplificado por Tello e Jaimes (2015).

Na criminologia, a adoção dos SIGs marcou uma evolução significativa na análise de padrões criminais e na identificação de pontos de alta incidência criminal, fornecendo ferramentas valiosas para o planejamento estratégico e a distribuição eficaz de recursos pelas forças de segurança, conforme destacado por Abreu (2016). Esta aplicação dos SIGs trouxe uma nova perspectiva sobre o uso de dados geoespaciais para aprimorar a segurança pública, permitindo uma compreensão mais profunda e uma resposta mais informada ao crime.

No campo do marketing, os SIGs abriram caminhos para análises inovadoras do mercado e do comportamento do consumidor. As empresas começaram a adotar a tecnologia SIG para segmentar mercados geograficamente, otimizar a localização de pontos de venda e desenvolver campanhas de marketing direcionadas. A capacidade de combinar dados de vendas com informações demográficas e análises espaciais ofereceu às empresas conceitos valiosos para refinar suas estratégias de marketing, maximizar a eficácia de suas campanhas e aumentar o retorno sobre o investimento, conforme ilustrado por Cordeiro *et al.* (2016).

Assim, a diversificação das aplicações dos SIGs em novos campos foi catalisada por sua robusta capacidade analítica, flexibilidade e pela crescente disponibilidade de grandes volumes de dados geoespaciais, juntamente com o desenvolvimento de softwares de SIG mais acessíveis e amigáveis ao usuário. Esse progresso abriu portas para uma nova geração de profissionais e organizações interessadas em explorar o potencial dos dados geoespaciais, facilitando a pesquisa e a tomada de decisões baseadas em evidências em domínios anteriormente inexplorados (Santos *et al.*, 2022).

Portanto, a adaptabilidade dos SIGs para se integrar em condições complexas e diversificadas foi notavelmente demonstrada na década de 80, reforçando sua posição como

uma ferramenta indispensável no ambiente moderno. A ampla gama de aplicações dos SIGs sublinha seu papel essencial no impulsionamento de inovações e no exercício de impactos significativos em diversas áreas. A trajetória dos SIGs desde então ilustra não apenas sua versatilidade, mas também o potencial quase ilimitado que esses sistemas possuem para transformar e enriquecer a maneira como se compreende e interage com o espaço geográfico ao redor.

## 2.5 DÉCADA DE 1990: DOMINÂNCIA DO USUÁRIO

Os avanços dos Sistemas de Informação Geográfica tiveram lugar durante uma nova fase nos anos 90. Os desenvolvimentos na era foram a expansão e a consolidação das plataformas de tecnologia. Como afirma a literatura especializada, esse período pode ser caracterizado como a “era de dominância do usuário”. Nesse contexto, os desenvolvedores competiram diretamente, o que levou ao aumento da concorrência entre as empresas. Por sua vez, tal concorrência conduziu à inovação e melhor acessibilidade de plataformas para o público (Waters, 2017; Bolfe *et al.*, 2011).

Além disso, Waters destacou a acirrada competição entre os fornecedores de softwares de SIG, que levou à predominância de apenas alguns grandes nomes no mercado, como a ESRI com seu ArcGIS<sup>9</sup> e ArcMAP<sup>10</sup> notáveis pela suas adaptabilidades e vasta gama de ferramentas. Tal cenário propiciou um terreno fértil para avanços tecnológicos, tornando os SIGs mais amigáveis e acessíveis ao público, graças à adoção das Interfaces Gráficas do Usuário (*Graphical User Interfaces* - GUIs) melhoradas (Figura 9), em substituição às anteriores interfaces de linha de comando, que eram mais complexas e menos intuitivas (Waters, 1999).

Ainda mais, os anos noventa foram pioneiros para o estabelecimento de que “os SIGs não são uma ferramenta tecnológica isolada, mas sim um terreno interdisciplinar que abrange muitos campos do conhecimento”. De acordo com Bolfe *et al.*, os SIGs “foram reconhecidos e aclamados por sua capacidade de interação e análise de dados, proporcionando suporte efetivo na extração de decisões em diferentes campos, desde o planejamento urbano até as rotinas diárias da agricultura” (Bolfe *et al.*, 2008).

Consequentemente, uma das contribuições mais significativas para o campo dos SIGs durante essa década foi a popularização do uso de dados georreferenciados e a integração de

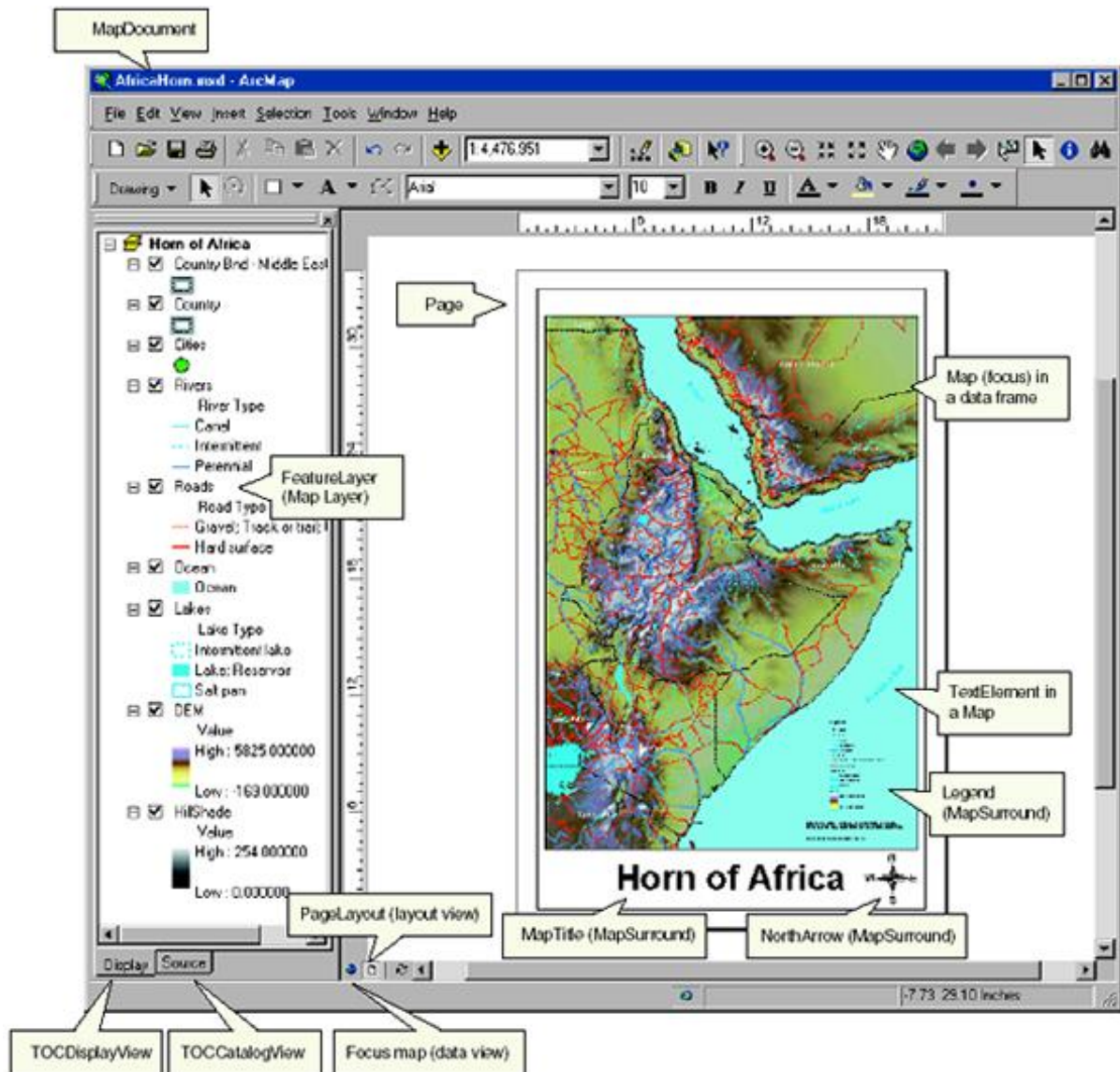
---

<sup>9</sup> Lançado nos anos 90, o ArcGIS permitiu a coleta, análise, visualização e gerenciamento de dados espaciais, oferecendo ferramentas avançadas para mapeamento, análise espacial e gestão de recursos.

<sup>10</sup> É um aplicativo da plataforma ArcGIS mais dirigida ao mapeamento do que à análise espacial.

diferentes tipos de dados em uma única plataforma de análise. Como Bolfe et al. pontuam, isso permitiu uma análise espacial mais sofisticada e multidimensional, superando as limitações das abordagens anteriores que frequentemente se baseavam em dados estáticos e isolados (Bolfe *et al.*, 2011).

**Figura 9:** Interface do ArcMap com a demonstração de suas funções para a construção de mapas



**Fonte:** Adaptado de ArcGIS Desktop Study (2024)

No campo da educação e pesquisa, Waters destaca o desenvolvimento de cursos e materiais didáticos específicos de SIG que começaram a ser amplamente distribuídos e adotados por instituições educacionais em todo o mundo. Isso não só ajudou a formar uma nova geração de profissionais no uso de SIG, mas também estimulou a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações dessas ferramentas (Waters, 2017).

Outro ponto importante é que a revolução provocada pela tecnologia de satélites na década de 1990 foi um marco para os sistemas de informação geográfica (SIG). Waters afirma que houve uma verdadeira explosão na disponibilidade de dados geoespaciais com o lançamento de satélites equipados com sensores avançados como o SPOT 2 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre 2*) em 1991 e o SPOT 4 em 1998, além do EARLY BIRD 1 <sup>11</sup>em 1997. Equipados com tecnologias como Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar - SAR*), imagens multiespectrais e altimetria a laser, estes satélites começaram a capturar imagens da Terra com detalhes sem precedentes. A capacidade de adquirir imagens de diferentes faixas do espectro eletromagnético amplia muito as aplicações possíveis, permitindo desde cobertura vegetal e análise do uso do solo até monitoramento de mudanças ambientais e urbanas (Waters, 2017).

Além disso, Bolfe et al. discutem como a democratização das imagens de satélite e a incorporação dessas imagens nos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) revolucionaram as potenciais utilizações dessas tecnologias. Por exemplo, áreas como gestão de recursos naturais, monitoramento ambiental, planejamento urbano e regional, e agricultura de precisão foram transformadas pela capacidade de acessar dados atualizados e precisos fornecidos por satélites (Bolfe et al., 2011).

Essa democratização coincidiu com a popularização do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System – GPS*), com destaque para a afirmação de Waters de que a incorporação desta tecnologia a esses sistemas facilitou a georreferenciação de dados, o que tornou suas análises muito mais precisas e a representação cartográfica, igualmente, mais exata. O surgimento e consolidação do GPS foi especialmente revolucionário no campo da coleta de dados de campo, uma vez que, agora, pesquisadores e profissionais podiam manter informações específicas a coordenadas geográficas exatas, atualizando constantemente uma base de dados georreferenciados (Waters, 2017).

Assim, os dados obtidos tinham como característica importante não apenas o amplo alcance geográfico, mas também a regularidade da atualização, podendo-se acompanhar quase em tempo real todas as mudanças na superfície da Terra. Tal quantidade de informações era adequada para alta resolução espacial e temporal, indicando a capacidade de descrever fenômenos geográficos de maneira mais precisa e pertinente (Santos et al., 2022).

---

<sup>11</sup> Primeiro satélite comercial de imageamento desenvolvido pela EarthWatch, Inc., lançado em dezembro de 1997. Foi projetado para fornecer imagens de alta resolução da superfície terrestre para aplicações em cartografia, monitoramento ambiental e planejamento urbano.

Além disso, a introdução e expansão da *World Wide Web* <sup>12</sup>(WWW) durante a década de 1990 não são menos memoráveis para todo o mundo do que para os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em particular. Enquanto parte do acesso público à Internet, a WWW mudou a maneira como as informações são divulgadas e arquivadas, e isso, por sua vez, afetou a própria maneira como os SIG existem (Bolfe *et al.*, 2008).

Adicionalmente, Bolfe referem a crescente integração da internet aos SIGs, destacando o surgimento dos SIGs baseados na web, ou *WebGIS*<sup>13</sup>. A internet permitiu o acesso a bancos de dados geográficos de forma remota, colaboração em tempo real por usuários em diferentes localidades e disseminação de informações geoespaciais em uma escala sem precedentes. A capacidade de compartilhar mapas e conjuntos de dados através da web abriu oportunidades sem precedentes para a educação, a pesquisa e o desenvolvimento de políticas em áreas diversas (Bolfe *et al.*, 2011).

Paralelamente, foi uma inovação o fato de que funcionalidades avançadas, como análise espacial detalhada e modelagem 3D, foram incorporadas a esses softwares acessíveis. Antes, essas capacidades estavam disponíveis apenas para profissionais especializados com conhecimento técnico e acesso a recursos computacionais. Foi uma oportunidade para diversos profissionais se beneficiarem com itens-chave e diferenciais dessas capacidades. Por exemplo, planejadores da cidade poderiam usar a modelagem 3D para visualizar e avaliar projetos de desenvolvimento de terrenos urbanos em relação ao ambiente. Gestores ambientais puderam monitorar ecossistemas. Analistas foram capazes de avaliar o impacto das atividades humanas na atmosfera terrestre. Profissionais de marketing puderam usar a análise espacial para otimização da localização dos projetos de venda a varejo ou publicidade transmitida pela geolocalização (Peuquet e Marble, 1990).

Portanto, os anos 1990 consolidaram os SIG como uma ferramenta essencial em diversos campos, marcando uma “era de dominância do usuário” (Waters, 2017; Bolfe *et al.*, 2011). A competição entre fornecedores de software levou à inovação, acessibilidade e interfaces mais amigáveis. A popularização de dados georreferenciados e a integração de diferentes tipos de dados permitiram análises espaciais mais sofisticadas. A revolução dos satélites e a incorporação de imagens de alta resolução nos SIG transformaram áreas como

---

<sup>12</sup> Lançada em 1991, a World Wide Web usa tecnologia de hipertexto para permitir acesso e navegação entre páginas web através de navegadores. A Web revolucionou o compartilhamento de informações, facilitando comunicação global instantânea e o desenvolvimento de uma ampla gama de serviços e aplicações online.

<sup>13</sup> Refere-se a SIGs acessíveis pela internet. Ao contrário dos SIGs tradicionais, que são instalados localmente, o WebGIS usa plataformas online para fornecer ferramentas e dados geoespaciais a usuários em qualquer lugar e a qualquer momento.

gestão de recursos naturais e planejamento urbano. O surgimento da *World Wide Web* e dos *WebGIS* permitiu o acesso remoto a dados, a colaboração em tempo real e a disseminação de informações geoespaciais em escala sem precedentes. Com avanços em modelagem e análise espacial, os SIG tornaram-se acessíveis a uma gama ainda maior de profissionais, permitindo-lhes visualizar, analisar e tomar decisões informadas sobre o mundo ao seu redor. A década de 1990, portanto, não apenas solidificou a importância dos SIG, mas também lançou as bases para seu contínuo desenvolvimento e impacto no século XXI (Casanova *et al.*, 2005).

## 2.6 ANOS 2000/INÍCIO DO SÉCULO XXI: O SURGIMENTO DE UMA NOVA ERA COM A DEMOCRATIZAÇÃO DEFINITIVA

No amanhecer do século XXI, os SIGs entraram em uma nova era de rápido crescimento e transformação onde a tecnologia de movimento rápido e integração cada vez mais densa com a Internet proporcionaram significativo progresso. As tendências que se seguiram na década passada foram estabilizadas e aprofundadas em muitos casos, conforme os SIGs eram geralmente abertos ao público dentro de um ambiente de computação pessoal mais desenvolvido e a Internet emergente como uma plataforma global para a partilha de informação. A capacidade de acessar, analisar e compartilhar dados geoespaciais sofreu uma revolução, democratizando ainda mais a tecnologia SIG e ampliando seu alcance muito além dos especialistas e pesquisadores da área (Pérez Machado, 2014).

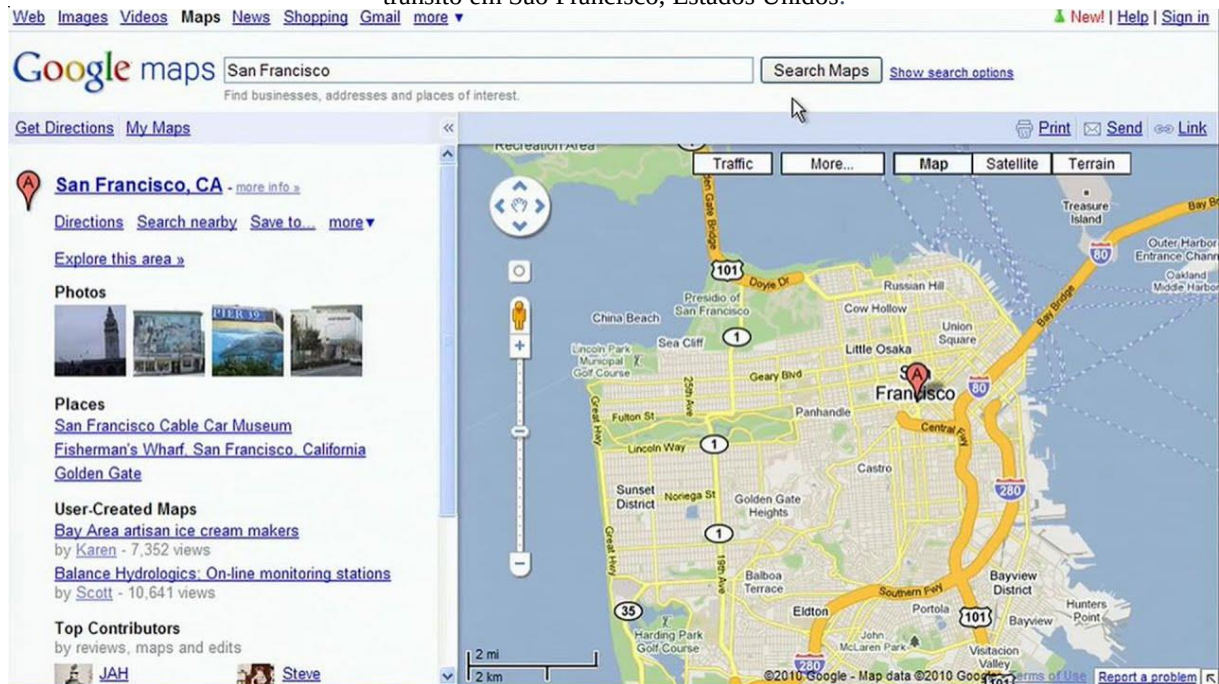
Ademais, hardware e software continuaram a evoluir durante este tempo, resultando na facilidade e velocidade em que grandes e complexos conjuntos de dados geoespaciais pudessem ser manipulados e analisados. A capacidade de processamento dos computadores, o armazenamento de dados e as conexões com a internet aumentaram drasticamente, o que significava que a funcionalidade e a precisão dos SIG fossem significativamente melhoradas. Além disso, a conexão de SIGs com instituições levou ao aumento da importação, exportação e acesso aos dados. Os *WebGISs*, como se tornaram conhecidos, permitiram a pessoas comuns sem treinamento usar um sistema de informação geográfico para acessar, visualizar e interagir com dados geoespaciais apropriados sem o uso de qualquer software especializado (Jing e Ying, 2022).

Além disso, o início do século foi testemunha de uma democratização sem precedentes na história dos SIGs. Softwares SIG de código aberto e o surgimento de plataformas baseadas na Web oferecendo soluções SIG acessíveis ou gratuitas colocaram ferramentas de análise e visualização de dados geoespaciais nas mãos de um público recorde. Pequenas organizações,

acadêmicos e entusiastas individuais ganharam a oportunidade de se envolver ativamente no uso e análise de geodados, acelerando o crescimento das aplicações SIG (Duckham, Goodchild e Worboys, 2003).

Durante o início do mesmo século, a paisagem dos Sistemas de Informação Geográfica foi marcada por uma evolução crucial, impulsionada pela integração com emergentes tecnologias de computação em nuvem e pela popularização dos Serviços Baseados em Localização (*Location Based Services – LBS*), como o *Google Maps* (lançado em 2005) (ver Figura 10). Esta era digital, enriquecida por plataformas inovadoras, começou a redefinir as capacidades e o alcance da análise geoespacial, tornando-a mais interativa e acessível a um público mais amplo. (Huang e Gao, 2018).

**Figura 10:** Pannel da página web do Google Maps de 2010, mostrando sugestões de passeios e condições de trânsito em São Francisco, Estados Unidos.



Fonte: Adaptado de Hughes (2010)

Nesse contexto, a computação em nuvem, ilustrada por iniciativas como o *QGIS Cloud*, disponível desde o final dos anos 2000, transformou os SIGs, viabilizando análises e compartilhamento de dados globalmente, eliminando a restrição física e financeira em que tais atividades eram anteriormente limitadas. Esse acesso democratizado a recursos computacionais de alto desempenho e vastos conjuntos de dados geoespaciais sem suportar o hardware robusto necessário para isso permitiu que os SIGs ultrapassassem as fronteiras das estações de trabalho individuais, facilitando a colaboração e a análise como nunca antes (Panidi *et al.*, 2020).

Paralelamente, os LBS começaram a fazer parte da rotina das pessoas e das operações empresariais, impulsionadas principalmente por dispositivos móveis onipresentes e tecnologias de geolocalização em aprimoramento. O *Google Maps*, com suas rotas e informações de trânsito em tempo real detalhadas, é um exemplo da tendência que alterou completamente a preferência de direção dos indivíduos e organizou operações e incorporou geolocalização ao cotidiano e às atividades empresariais (Waters, 1999).

Consequentemente, a fusão da computação em nuvem com SIGs e LBS, combinada com plataformas colaborativas como o *OpenStreetMap*<sup>14</sup> (OSM), que começou em 2004, fornecendo dados de mapas editáveis e de código aberto, marcou o início de uma nova era de inovação e acessibilidade. A habilidade de processar e analisar grandes volumes de dados geoespaciais na nuvem expandiu significativamente o escopo dos SIGs, tornando pontos baseados em localização disponíveis para um público muito maior de usuários e organizações (Waters, 2017).

Além disso, durante a passagem dos anos 2000, uma das mudanças mais significativas na paisagem do Sistema de Informação Geográfica foi o surgimento do movimento de dados abertos e a disseminação de software SIG de fonte aberta. Essas tendências foram impulsionadas pela necessidade crescente de transparência, acesso e colaboração nos domínios da geografia, planejamento urbano e análise espacial. A convergência dos SIGs e os princípios dos dados abertos não apenas permitiram um maior acesso a informações geoespaciais críticas, mas também criaram um ambiente de inovação e colaboração sem precedentes. A abordagem de dados abertos marcou um afastamento da prática existente de armazenar dados geoespaciais em silos proprietários e inacessíveis. Em vez disso, o movimento sugeriu a ideia de que os dados, especialmente os de interesse público e social, como mapa e informações geográficas nos SIG, deveriam ser livremente acessíveis a todos. Como resultado, comunidades, desenvolvedores e pesquisadores de todo o mundo poderiam contribuir e acessar um depósito central de dados, melhorando a acessibilidade e a qualidade geral das informações (Caldeweyher *et al.*, 2017).

Portanto, nos anos seguintes, o cenário tecnológico foi afetado pelo advento de softwares de SIG de código aberto, como o lançamento do *Quantum GIS*<sup>15</sup>, mais conhecido

---

<sup>14</sup> Iniciado em 2004, o OSM é valioso para SIGs e LBS pois permite a criação e atualização de mapas por usuários globalmente, permitindo a criação e o compartilhamento de mapas personalizados, além de promover a inovação e a acessibilidade na representação geográfica.

<sup>15</sup> Lançado em 2002 na França, o QGIS, com sua natureza de código aberto, permite que usuários contribuam com melhorias no software, promovendo uma comunidade ativa que colabora no desenvolvimento contínuo do software até os dias de hoje.



como QGIS. Até então, o uso de SIGs era restrito a soluções proprietárias e, frequentemente, onerosas. As ferramentas de software livre disponibilizavam aos educadores, às organizações sem fins lucrativos e aos pesquisadores autônomos uma plataforma eficaz e de baixo custo para o processamento e visualização de dados complexos, sem o custo acessório associado aos programas de softwares proprietários (Khan *et al.*, 2011).

Além disso, no geral, esta era de dados abertos e SIGs de código aberto foi marcada por uma sinergia notável entre a tecnologia e a filosofia colaborativa. O dinamismo conferido pela capacidade de modificar, aprimorar e redistribuir software, combinado com o acesso gratuito e aberto a conjuntos de dados, criou um ambiente de inovação compartilhada. Com os usuários e desenvolvedores reunidos em torno de plataformas de código aberto como o QGIS, as comunidades cresceram exponencialmente, criando e contribuindo com plugins, ferramentas e tutoriais que enriqueceram o tecido do SIG (Caldeweyher *et al.*, 2006).

Os esforços de padronização iniciados nos anos 80 abriram caminho para uma nova era de interoperabilidade no início do século XXI, que se tornou uma grande preocupação para garantir que sistemas distintos pudessem trocar, interpretar e manipular dados geoespaciais de forma consistente e rápida. Isso visa evitar a necessidade de conversão ou ajustes manuais que exigem muito trabalho. Nesse sentido, a importância dos formatos KML (*Keyhole Markup Language*), KMZ (*Keyhole Markup Language Zipped*) e do amplamente utilizado *Shapefile*<sup>16</sup> aumentou, já que esses formatos desempenharam um papel crucial na construção da interoperabilidade entre diferentes plataformas e sistemas de SIG, mesmo entre fornecedores concorrentes. Organizações internacionais como o *Open Geospatial Consortium* (OGC), apoiadas pela *International Organization for Standardization* (ISO), foram fundamentais na definição desses padrões, que estão relacionados principalmente à estrutura de dados, formas de arquivo e protocolos de comunicação, além de serviços web geoespaciais como o WMS (*Web Map Service*) e WFS (*Web Feature Service*) que permitem a troca eficaz de informações geoespaciais e a integração simples de programas de SIG (Percivall, 2006).

O início do século XXI marcou uma nova era para os SIGs, impulsionada pela tecnologia em rápida evolução e pela integração com a internet. A democratização do acesso a dados geoespaciais, através de softwares de código aberto, plataformas baseadas na web e serviços como o *Google Maps*, expandiu o alcance dos SIG para além dos especialistas,

---

<sup>16</sup> Formato de arquivo desenvolvido pela ESRI nos anos 90, ainda amplamente utilizado em SIGs devido à sua simplicidade e ampla compatibilidade. No entanto, o Shapefile possui limitações, como a necessidade de vários arquivos para armazenar dados completos: o arquivo .shp (geometria), o arquivo .dbf (atributos) e o arquivo .shx (índice), entre outros.

tornando-os acessíveis a um público mais amplo. A computação em nuvem e os Serviços Baseados em Localização (LBS) revolucionaram a forma como os dados são armazenados, processados e analisados, permitindo a colaboração e a análise em escala global. O movimento de dados abertos e o *software* SIG de código aberto promoveram a transparência, o compartilhamento de informações e a inovação colaborativa. Os esforços de padronização garantiram a interoperabilidade entre diferentes plataformas e sistemas. Com esses avanços, os SIG se tornaram uma ferramenta essencial em diversos setores, desde o planejamento urbano e a gestão ambiental até a navegação pessoal e o marketing baseado em localização. O início do século XXI, portanto, testemunhou a consolidação dos SIG como uma tecnologia transformadora, com um potencial ilimitado para moldar a forma como interagimos com o mundo ao redor (Ferreira, 2006).

## 2.7 HISTÓRIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO BRASIL

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) começaram a ganhar relevância no Brasil a partir das décadas de 1970 e 1980, impulsionados por avanços tecnológicos e a crescente necessidade de gestão eficiente de recursos naturais e urbanos. Nessa época, o país começou a experimentar os primeiros usos de SIGs, principalmente nas áreas de planejamento urbano e rural. Universidades e instituições de pesquisa desempenharam um papel crucial na introdução dessas tecnologias, destacando-se o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) como pioneiros na adoção de SIGs para mapeamento e análise de dados geoespaciais (De Oliveira *et al.*, 2019).

Na década de 1980, começaram a surgir os primeiros softwares de SIG desenvolvidos no Brasil adaptados às necessidades específicas do país. Um exemplo notável é o *Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas* (SPRING)<sup>17</sup>, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),<sup>18</sup> precedido pelo *Sistema de Tratamento de Imagens/Sistema Geográfico de Informações* (SITIM/SGI) (Figura 11), aplicativos mais voltados para as representações cartográficas e sem grande capacidade de processamento digital de imagens. O apoio governamental foi fundamental para a consolidação dos SIGs no Brasil,

---

<sup>17</sup> SPRING representou um marco histórico nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no Brasil. Foi o primeiro SIG a integrar em um único ambiente computacional funcionalidades como processamento de imagens, manipulação de dados vetoriais, análise espacial, modelagem numérica de terrenos e consulta a bancos de dados espaciais, uma abordagem inovadora para a época.

<sup>18</sup> O INPE foi o principal contribuinte para a evolução das tecnologias de mapeamento e análise espacial no Brasil, promovendo avanços em áreas como sensoriamento remoto e geoprocessamento.

com políticas públicas e programas de incentivo estabelecidos para promover o uso de tecnologias geoespaciais no setor público e privado. Paralelamente, universidades brasileiras começaram a oferecer cursos específicos sobre SIGs a partir dos anos 1990, formando uma nova geração de profissionais capacitados para lidar com essas tecnologias (Silva e De Oliveira, 2020).

**Figura 11:** Sistema de Tratamento de Imagem/Sistema de informações geográficas desenvolvido pelo INPE em 1986.



**Fonte:** Bolfe *et. al*, 2011, p 14

Com o avanço da informática e a popularização da internet, os SIGs se expandiram para diversas áreas, incluindo meio ambiente, saúde pública, agricultura e logística, demonstrando sua versatilidade e importância. No setor mineral e ambiental, os SIGs permitiram um mapeamento mais preciso e a gestão sustentável de recursos naturais, auxiliando na tomada de decisões e no monitoramento de áreas de preservação. Nas grandes cidades brasileiras, os SIGs começaram a ser utilizados para o planejamento urbano, ajudando na gestão de infraestruturas e na análise de expansão urbana (Da Costa, Nascimento, e Ometto, 2020).

A evolução tecnológica dos anos 2000 trouxe melhorias significativas nos SIGs, com a integração de imagens de satélite de mediana e alta resolução e a utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens. A iniciativa privada também começou a investir pesado em SIGs, desenvolvendo aplicações comerciais para setores como mercado imobiliário, transporte e marketing. A agricultura de precisão no Brasil viu um grande impulso com a utilização de SIGs, permitindo uma gestão mais eficiente das propriedades rurais e a otimização da produção agrícola (Kuchler *et al.*, 2022).

Os SIGs são componentes chave nas iniciativas de cidades inteligentes, promovendo a integração de sistemas para a gestão urbana eficiente e a melhoria da qualidade de vida nas cidades. Eles também têm se mostrado fundamentais na gestão de desastres naturais, auxiliando na previsão, monitoramento e resposta a eventos como enchentes, deslizamentos e secas. O uso de SIGs no monitoramento ambiental permitiu o acompanhamento detalhado de mudanças no

uso do solo, desmatamento e conservação da biodiversidade, contribuindo para políticas de proteção ambiental (Kuchler *et al.*, 2022).

Vários projetos de inclusão digital no Brasil têm utilizado SIGs como ferramenta educativa, proporcionando a comunidades rurais e urbanas o acesso a informações geoespaciais e capacitação técnica. A colaboração internacional tem sido um aspecto importante na evolução dos SIGs no Brasil, com parcerias estabelecidas entre instituições brasileiras e estrangeiras para o desenvolvimento de projetos conjuntos e intercâmbio de tecnologias (De Oliveira *et al.*, 2019).

A legislação brasileira começou a incorporar normas específicas sobre o uso de dados geoespaciais e a regulamentação de tecnologias de SIG, garantindo a segurança e a privacidade das informações. Como exemplo da aplicação destas normas é importante destacar as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDEs). No Brasil as IDEs referem-se a um conjunto de políticas, tecnologias, dados e pessoas organizadas para facilitar o acesso, o uso, o intercâmbio e a gestão de informações espaciais. As IDEs no Brasil têm como objetivo principal integrar e disponibilizar dados geoespaciais de maneira eficiente, padronizada e acessível, promovendo a interoperabilidade entre diferentes instituições e sistemas.

Essas infraestruturas são fundamentais para apoiar o desenvolvimento sustentável, a gestão territorial, o planejamento urbano, a proteção ambiental e outras áreas que dependem de informações geográficas. No Brasil, a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) é o principal exemplo de IDE, criada pelo Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. A INDE visa organizar e promover o acesso aos dados espaciais produzidos por órgãos públicos e privados, facilitando a tomada de decisões informadas em diversas áreas, como gestão ambiental, planejamento urbano, agricultura, entre outras. (Brasil, 2008).

A integração dos SIGs com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e a Inteligência Artificial (IA), tem ampliado as possibilidades de aplicação desses instrumentos no Brasil (Da Costa *et al.*, 2020).

Apesar dos avanços, ainda existem desafios significativos para a plena implementação e uso dos SIGs no Brasil, incluindo a falta de infraestrutura adequada em algumas regiões e a necessidade de formação contínua de profissionais. No entanto, as perspectivas futuras para os SIGs no Brasil são promissoras, com expectativas de maior integração tecnológica, democratização do acesso a dados geoespaciais e desenvolvimento de novas aplicações para enfrentar os desafios sociais e ambientais do país (Silva e De Oliveira, 2020).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em consideração final, este trabalho sobre a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) teve como objetivo destacar não apenas a trajetória tecnológica desses sistemas, mas também sua forte influência na redefinição das abordagens metodológicas e analíticas em diversas disciplinas. Ao mergulhar nas origens, no desenvolvimento e na expansão dos SIGs, este estudo se empenhou em expor a intersecção entre inovação tecnológica e aplicação prática, através das ilustrações como os SIGs visam transcender o campo da geografia para influenciar áreas tão variadas quanto urbanismo, gestão de recursos naturais, saúde pública, segurança e planejamento estratégico.

Ademais, a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) é uma narrativa multifacetada que espelha não apenas avanços tecnológicos, mas também um entrelaçamento de fundamentos teóricos e exigências práticas. Esse desenvolvimento evidencia a importância da adaptabilidade e interdisciplinaridade na resolução de problemas complexos. Desde suas origens, os SIGs têm sido impulsionados por uma constante busca por melhorias em sua capacidade de processamento, análise e representação de dados geoespaciais.

Além disso, os avanços tecnológicos desempenham um papel fundamental nesse processo, desde a evolução dos algoritmos de análise espacial até a melhoria na qualidade e quantidade de dados disponíveis. Esses avanços não apenas ampliam as capacidades dos SIGs, mas também influenciam diretamente a forma como eles são utilizados e percebidos pelos usuários.

Consequentemente, as bases teóricas subjacentes aos SIGs, incluindo princípios de geografia, ciência da computação, estatística e outras disciplinas relacionadas, fornecem um arcabouço conceitual essencial para o desenvolvimento e aplicação desses sistemas. A integração desses diferentes campos de conhecimento é essencial para a compreensão e solução de problemas geoespaciais complexos, desde o planejamento urbano até a gestão ambiental.

Além disso, a evolução dos SIGs não é apenas uma questão técnica ou acadêmica, mas também está intrinsecamente ligada às necessidades e demandas da sociedade. A democratização do acesso aos SIGs é um exemplo disso, com a crescente disponibilidade de softwares de código aberto e plataformas baseadas na web. Essas iniciativas não apenas reduzem as barreiras de entrada para a utilização de SIGs, mas também promovem uma maior inclusão e colaboração, permitindo que indivíduos de diferentes origens e habilidades participem ativamente na análise e visualização de dados geoespaciais.

Portanto, essa democratização também reflete uma mudança mais ampla em direção a uma cultura de dados abertos e compartilhamento de informações, onde a transparência e a colaboração são valorizadas como ferramentas essenciais para abordar desafios sociais, ambientais e econômicos.

Em conclusão, este trabalho oferece uma análise abrangente da evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), destacando sua trajetória desde os estágios iniciais até o início do século XXI, impulsionada por avanços tecnológicos e uma crescente democratização de acesso. Ao longo de sua história, os SIGs demonstraram uma notável capacidade de adaptação às necessidades em constante mudança da sociedade, integrando princípios de diversas disciplinas e promovendo uma abordagem interdisciplinar na resolução de problemas geoespaciais complexos. Olhando para o futuro, é claro que os SIGs continuarão a desempenhar um papel fundamental na compreensão e enfrentamento dos desafios emergentes do século XXI. Portanto, essa jornada em direção ao futuro exige um compromisso contínuo com a pesquisa, o desenvolvimento e a colaboração, garantindo que os SIGs estejam equipados para enfrentar as demandas em constante evolução da sociedade global.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Mário João Paulino Pais. Sistemas de Informação aplicados à prevenção da criminalidade. **Universidade de Lisboa**, 2016. Tese de Doutorado.
- ALVES, Flamarion Dutra. Questões teórico-metodológicas entre geografia econômica e desenvolvimento regional. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 37, p. 5-21, 2015.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Proceedings of the American Society of Photogrammetry, Annual Meeting. **American Society of Photogrammetry**, 1975.
- ARCHELA, Rosely Sampaio; SIMIELLI, Maria Elena Ramos. Bibliografia analítica da cartografia teórica e técnica. **Portal de Cartografia das Geociências**, v. 2, n. 1, p. 3-72, 2009.
- ARCGIS DESKTOP. **Creating a geoprocessing function tool in Java**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcobjects/latest/java/fa97ce03-cc2d-4b26-bc24-51ef2c19fbdf.htm>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- ASCUNTAR-TELLO, Johana; JAIMES, Fabián. Ronda clínica y epidemiológica: sistemas de información geográfica (SIG) en salud. **Iatreia**, v. 29, n. 1, p. 97-103, 2016.
- BOLFE, É. L. Édson Luis; MATIAS A evolução histórica dos Sistemas de Informações Geográficas. **Infoteca**, 2011.
- BOLFE, Édson Luis; MATIAS, Lindon Fonseca; FERREIRA, Marcos César. Sistemas de informação geográfica: uma abordagem contextualizada na história. **Geografia**, v. 33, n. 1, p. 69-88, 2008.
- BOYLE, Sarah A. et al. High-resolution satellite imagery is an important yet underutilized resource in conservation biology. **PLoS One**, v. 9, n. 1, p. e86908, 2014.
- Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE, dispõe sobre sua implementação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 28 nov. 2008. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/777/39>. Acesso em: 12 ago. 2024.

CABRAL, João Francisco Dias. A utilidade da Geografia. **Revista Contexto Geográfico**, v. 5, n. 9, p. 01-07, 2020.

CALDEWEYHER, Daniel; ZHANG, Jinglan; PHAM, Binh. OpenCIS—Open Source GIS-based web community information system. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 8, p. 885-898, 2006.

CALVANO KUCHLER, Patrick et al. Introdução à análise de dados espaciais na Odontologia: Sistema de Informação Geográfica. **RSBO: Revista Sul-Brasileira de Odontologia**, v. 19, n. 1, 2022.

CÂMARA, Gilberto; CASANOVA, Marco A.; MAGALHÃES, Geovane C. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. INPE, 1996.

CASANOVA, Marco Antonio et al. Integração e interoperabilidade entre fontes de dados geográficos. CASANOVA, MA et al. Banco de dados geográficos. **Curitiba: Mundogeo**, p. 315-352, 2005.

CHANDRAKAR, Abhinav; SONI, Barkha; DAS, Dr Bhumika. **Application of GIS. Available at SSRN 2889630**, 2016.

CHRISMAN, Nick. Charting the unknown. How computer mapping at Harvard became GIS. **Redland, ESRI**, 2006.

DA COSTA, Natan Ruan Machado; NASCIMENTO, Victor Fernandez; OMETTO, Jean Pierre Henry Balbaud. A história da coleta de resíduos em Novo Hamburgo, RS e uma proposta de uma nova roteirização utilizando sistema de informações geográficas. **Oficina do Historiador**, v. 13, n. 2, p. e38033-e38033, 2020.

DE OLIVEIRA, Anderson Gomes et al. Utilização do Sistema de Informação Geográfica–SIG na análise estrutural da vegetação: o exemplo de Salvador, Bahia-Brasil. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 2, p. 1253-1279, 2019.

DUCKHAM, Matt; GOODCHILD, Michael F.; WORBOYS, Michael. Foundations of geographic information science. **CRC Press**, 2003.



DUEKER, Kenneth J. Geographic information systems and computer-aided mapping. **Journal of the American Planning Association**, v. 53, n. 3, p. 383-390, 1987.

EL FHEL, Badr; IDRI, Ali. Quality In-Use of Mobile Geographic Information Systems for Data Collection. **International Journal of Advanced Computer Science e Applications**, v. 14, n. 11, 2023.

ESRI. **Evolution of GIS: from maps to mapping**. Disponível em: <https://storymaps.arcgis.com/stories/886d6272a35b4560994578d792d930fe>. Acesso em: 26 ago. 2024.

FERREIRA, Marcos César. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do sistema de informação geográfica na geografia. VITTE, Antonio Carlos. Contribuições à história e à epistemologia da geografia. **Rio de Janeiro: Bertrand Brasil**, p. 101-125, 2006.

HARDCASLEGIS. Roger Tomlinson, May Rip. **Hardcastle GIS**. Disponível em: <https://hardcastlegis.com/blog/roger-tomlinson-father-of-gis-may-rip/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

HUANG, H.; GAO, S. Location-Based Services. In: WILSON, J. P. (Ed.). **Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge**. 1. ed. 1st Quarter 2018 Edition. [S.l.: s.n.], 2018. DOI: 10.22224/gistbok/2018.1.14.

HUGHES, Neil. **Google Maps introduces new features**. Macworld, 24 Mar. 2010. Disponível em: <https://www.macworld.com/article/201059/googlemaps-11.html>. Acesso em: 27 ago. 2024.

IBM. **IBM System/360**. Disponível em: <https://www.ibm.com/history/system-360>. Acesso em: 26 ago. 2024.

IBM. **Personal computer history**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/history/personal-computer>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

IBM. **System/3 history**. Disponível em: <<http://www.ibmsystem3.nl/hist.html>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

JING, Wen; LI, Yang. Research on Integrated Management Platform of Sports Service Industry Based on WebGIS. In: **2022 International Conference on 3D Immersion, Interaction and Multi-sensory Experiences (ICDIIME)**. IEEE, 2022. p. 130-134.

KARLOVSKA, Linda et al. Redesigning Graphical User Interface of Open-Source Geospatial Software in a Community-Driven Way: A Case Study of GRASS GIS. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 12, n. 9, p. 376, 2023.

KHAN, Khalid Amin; AKHTER, Gulraiz; AHMAD, Zulfiqar. GIS as project manager in geophysical applications software. **Journal of geographic information system**, v. 3, n. 2, p. 166, 2011.

KUČEROVÁ, Silvie R. Geography of Education. **Journal of Pedagogy**, v. 11, n. 1, p. 5-9, 2020.

KUCHLER, Patrick Calvano et al. Introdução à análise de dados espaciais na Odontologia: Sistema de Informação Geográfica. **RSBO**, v. 19, n. 1, p. 279-83, 2022.

LI, Xiao et al. Development of Geographic Information System Architecture Feature Analysis and Evolution Trend Research. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 137, 2023.

MAKING AGENCY. **Grounds for computation in landscape architecture**. Making Agency. Disponível em: <https://makingagency.com/2014/07/04/grounds-for-computation-in-landscape-architecture/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

MARBLE, Duane F. Some thoughts on the integration of spatial analysis and Geographic Information Systems. **Journal of Geographical Systems**, v. 2, p. 31-35, 2000.

MARBLE, Duane F. The computer and cartography. **The American Cartographer**, v. 14, n. 2, p. 101-103, 1987.

MELO, DHCTB et al. Sistema de informação geográfica: uma análise sobre o desenvolvimento técnico, tecnológico, acadêmico e conceitual. **Revista MundoGEO, Curitiba**, v. 17, p. 83, 2015.

PANIDI, E. et al. Cloud-Desktop remote sensing data management to ensure time series analysis, integration of QGIS and Google Earth Engine. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 43, p. 553-557, 2020.

PERCIVALL, George. OpenGIS international standards for GEOSS interoperability arrangements. **In: 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing. IEEE**, 2006. p. 2481-2484.

PÉREZ MACHADO, Reinaldo Paul. Os novos enfoques da Geografia com o apoio das tecnologias da informação geográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 203-241, 2014.

PEUQUET, Donna J.; MARBLE, Duane Francis (Ed.). Introductory readings in geographic information systems. **CRC Press**, 1990.

ROSA, Flávio Sammarco. A restituição digital para um sistema de informações geográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 5, p. 25-28, 1991.

ROSA, Flávio Sammarco. Plano Diretor Ambiental como estratégia de desenvolvimento rural e urbano. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 100, p. 96-111, 2018.

ROSA, Flávio Sammarco. Viabilidade da atualização cartográfica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 7-14, 1994.

ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luis Silva. Introdução ao geoprocessamento. UFU: Apostila. **Uberlândia**, 2013.

SANTOS, Leovigildo Aparecido Costa et al. Uso dos sistemas de informação geográficas (SIG) nas ciências ambientais: entre 2009 e 2019: uma análise cienciométrica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 1715-1731, 2022.

SIGE Cloud. História do disco rígido. **SIGE Cloud Blog**, 2015. Disponível em: <https://blog.sigecloud.com.br/historia-do-disco-rigido/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SILVA, Milena Meira; DE OLIVEIRA, Eduardo Romero. Complexo FEPASA (Jundiaí/SP, Brasil): a contribuição da geotecnologia de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a identificação e análise do patrimônio industrial. In: Patrimônio Industrial Ibero-americano: recentes abordagens. **Publicações do Cidehus**, 2020. p. 15.

STEVENS, Chandler Harrison. A report on the feasibility of GEODATA: a man-machine system for political districting. [Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Center for International Studies, 1968], 1968.

TOMLIN, C. Dana et al. Geographic information systems and cartographic modeling. **Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall**, 1990.

WAGNER, F. V.; GRANHOLM, J. Design of a General-Purpose Scientific Computing Facility. **Information Processing**, p. 283, 1965.

WATERS, Nigel M. et al. Transportation gis: Gis-t. **Geographical information systems**, v. 2, p. 827-844, 1999.

ZAIDAN, Ricardo Tavares. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 2, 2017.

