

# Inteligência Artificial e Geografia

---

27  
2025

# INFOGEO



Inteligência artificial e Geografia. Imagem gerada pelo chatGPT, 19 de fevereiro de 2025

# INFORGEO

## **Ficha técnica**

### **Direção**

Eusébio Reis

### **Assistente de Redação**

Pedro Rego

### **Propriedade do Título**

Associação Portuguesa de Geógrafos

### **Correspondência**

Avenida Professor Aníbal Bettencourt, 9 – 1600- 189 Lisboa [www.apgeo.pt](http://www.apgeo.pt)

### **Edição**

Associação Portuguesa de Geógrafos

### **ISBN**

978-989-35579-0-7

### **Revista de distribuição gratuita Edição online**

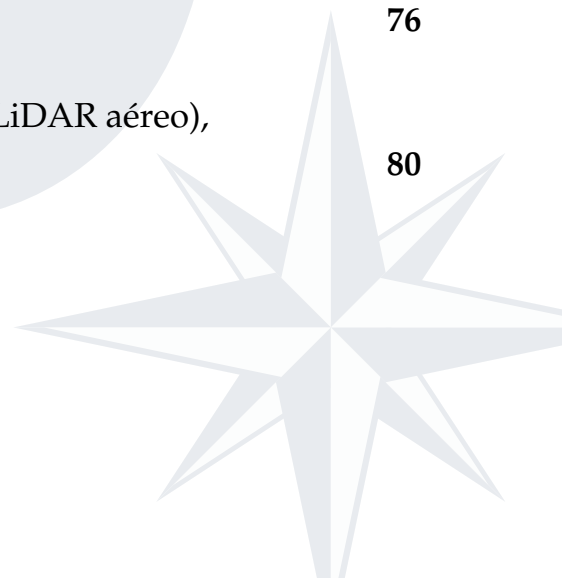
A opinião expressa nos artigos é da exclusiva responsabilidade dos autores



# Índice

## PÁGINA

Eusébio REIS - “Nota Introdutória: Inteligência Artificial e Geografia”	5
Rui FERREIRA - “Da Inteligência Artificial à Inteligência Geográfica”	8
Guilherme TORRES - “A questão social e metodológica da Inteligência Artificial na Geografia”	17
Sandro LAUDARES - “Geograf-IA: Inteligência artificial e o raciocínio geográfico”	22
Cláudia VIANA & Jorge ROCHA - “GeoAI: Entre Métodos Tradicionais e Novos Paradigmas Espaciais”	28
Joaquim PATRIARCA - “Integração da Inteligência Artificial em estudos geográficos: oportunidades e desafios”	38
Max WENDELL DOS ANJOS - “Afiml, como fica o ensino de Geografia na era da Inteligência Artificial?”	44
Camila TELES - “A Inteligência Artificial e a Geografia na Educação”	53
Vítor REIS - “Professores de Geografia e a Inteligência Artificial Generativa: Um Estudo Exploratório”	57
Elisabete LEAL & Vítor REIS - “Ferramentas de IA e a Evolução das Competências Digitais no Ensino Superior de Geografia”	65
Raquel FARIA DE DEUS - “Transformação de uso e ocupação do solo, Inteligência Geográfica e Sustentabilidade Territorial”	76
Nelson MILEU & Bernardo SARGENTO - “Medir (com LiDAR aéreo), descrever (com inteligência artificial) e fazer a Terra”	80



# NOTA INTRODUTÓRIA

## Inteligência Artificial e Geografia



### Eusébio REIS

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Laboratório Associado TERRA; vice-presidente da Associação Portuguesa de Geógrafos.; [eusebioreisdu.ulisboa.pt](mailto:eusebioreisdu.ulisboa.pt)

A “Inteligência Artificial” (IA) é um dos temas do momento! São constantes as notícias sobre desenvolvimentos em novas aplicações, em novos estudos e, até, em novas ferramentas. A IA tem-se integrado rapidamente em quase todos os setores e atividades – na indústria, na ciência, na arte, etc. – e passou a ser uma parte integrante e permanente das nossas vidas. Veio para ficar, suscitando expectativas, incertezas, desafios e, também, receios.

De forma recorrente somos confrontados com as suas enormes potencialidades, em particular na análise a grandes volumes de informação, na identificação de padrões e na previsão

de fenómenos complexos. São relativamente conhecidos os casos da utilização da IA na astronomia – por exemplo, descoberta de exoplanetas, com base nos dados dos telescópios TESS e Kepler, e a classificação automática e galáxias –, na medicina – por exemplo, diagnósticos médicos assistidos, descoberta e desenvolvimento de medicamentos e processamento de dados clínicos e investigação –, e na atividade industrial – por exemplo, automatização de processos de produção e pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e produtos –, impulsionando a chamada indústria 4.0. Na maior parte destes casos, assiste-se

à análise de enormes volumes de dados com o uso de diversos métodos e algoritmos, enquadrados em sistemas de aprendizagem automática (*machine learning*) e de aprendizagem profunda (*deep learning*) que se apoiam em IA. Na verdade, muitos deles – por exemplo, autómatos celulares, redes neuronais artificiais, *Random Forest*, etc. –, tal como se encontra referido e descrito em alguns dos artigos aqui publicados, são usados há várias décadas e amplamente conhecidos no âmbito da Ciência de Informação Geográfica.

Nestes métodos, assentes em IA, os algoritmos “aprendem” a partir de conjuntos de dados, muitas vezes dinâmicos, complexos e com âmbitos territoriais extensos, incrementando a eficiência e a precisão dos processos de análise, com vista à modelação de fenómenos, identificação de padrões e previsão de comportamentos, sem que para tal sejam explicitamente programados. O nível de complexidade que tem atingido a IA em algumas áreas ultrapassa já a compreensão dos próprios programadores, pelo que se assiste hoje ao desenvolvimento de estudos, realizados essencialmente por matemáticos, que visam compreender, através da identificação de padrões, o próprio comportamento da IA.

Obviamente, tudo isto diz imenso à Geografia!

Embora ainda incipiente em algumas áreas e, por isso, com enorme potencial

de crescimento, nos ramos do conhecimento em que tem sido usada a IA tem-se mostrado uma ferramenta poderosa na Geografia, permitindo processar grandes volumes de dados espaciais (por exemplo, imagens de satélite) para gerar previsões mais precisas e identificar tendências que dificilmente seriam alcançáveis através de processos manuais, oferecendo novas formas de análise e compreensão dos territórios. Vários exemplos podem ser encontrados nos artigos aqui publicados.

A realidade tem mostrado que a IA tem um papel transformador na Geografia, oferecendo ferramentas poderosas para analisar e resolver problemas geográficos complexos. As suas aplicações vão desde a monitorização ambiental (por exemplo, previsão de padrões climáticos, permitindo respostas antecipadas a desastres naturais) até ao planeamento urbano inteligente (por exemplo, análise de padrões de mobilidade urbana, planeamento de transportes e otimização de infraestruturas), passando pela gestão de riscos naturais (por exemplo, uso de veículos aéreos não tripulados equipados com IA para avaliar danos em áreas afetadas por sismos).

As potencialidades da IA no âmbito da Geografia residem na sua capacidade para processar grandes volumes de dados, gerar análises pre-

ditivas e apoiar decisões estratégicas. Mas, também, podem ser um formidável suporte para o ensino das matérias geográficas, tal como se perspectiva pelos conteúdos de alguns artigos aqui apresentados.

Todavia, o uso da IA na Geografia também apresenta desafios significativos. Questões éticas, privacidade de dados, desigualdade no acesso à tecnologia e riscos operacionais precisam ser minimizados para garantir uma adoção responsável e sustentável. Além disso, a adulteração de dados geográficos é uma preocupação crescente, exigindo o desenvolvimento de sistemas de validação e autenticação robustos. São cada vez mais os exemplos, tal como acontece em outros domínios, da capacidade da IA para falsear dados geográficos de forma realista (por exemplo, Zhao et al., 2021).

A cada vez maior integração entre IA e Geografia, nas áreas da investigação, da técnica e do ensino, motivou o lançamento deste número da *Inforgéo*. Nele encontram-se publicados onze artigos, propositadamente de pequena dimensão, dos quais cinco são essencialmente de retrospectiva, reflexão e discussão sobre a integração da IA e da Geografia, quatro incidem na utilização da IA para a educação e ensino da Geografia, e os restantes dois, um deles de natureza mais técnica, possuem carácter de aplicação ao território.

Zhao, B., Zhang, S., Xu, C., Sun, Y., & Deng, C. (2021). Deep fake geography? When geospatial data encounter Artificial Intelligence. *Cartography and Geographic Information Science*, 48(4), 338–352. <https://doi.org/10.1080/15230406.2021.1910075>

## Da Inteligência Artificial à Inteligência Geográfica



### Rui FERREIRA

Departamento de Geografia e Turismo, Faculdades de Letras, Universidade de Coimbra;  
[rff@uc.pt](mailto:rff@uc.pt)

**Resumo:** A Inteligência Artificial (IA) tem recebido nos últimos anos uma enorme atenção, não apenas no contexto académico ou das empresas tecnológicas, mas também do público em geral que, de modo crescente, tem vindo a tomar contacto com a sua aplicação concreta e a sentir, direta ou indiretamente, os efeitos indeléveis da expansão destas tecnologias. A integração da IA na Geografia potencia o desenvolvimento de abordagens inovadoras para lidar com uma variedade de problemas no ambiente e na sociedade humana. Neste artigo temos oportunidade de concretizar uma breve reflexão sobre o processo de evolução da IA no contexto histórico e das implicações que a sua integração nos métodos específicos da investigação geográfica acarretará a curto prazo para a identidade científica dos geógrafos.

**Palavras-chave:** GeoInteligência Artificial (GeoIA); *Machine Learning* (ML); *Deep Learning* (DL).

## Introdução

Por boas ou más razões, a Inteligência Artificial (IA) é hoje um tema incontornável, tanto nos domínios académicos (pedagógicos, científicos e técnicos), como na esfera sociopolítica de discussão pública quotidiana. Ainda que muito deste ruído mediático esteja relacionado com receios gerados por um contexto social extremado e confrontacional, amplificados e retroalimentados pela omnipresença nas redes sociais, a verdade é que muitas das admiráveis capacidades da IA propaladas na última meia dúzia de anos traduzem mais o ultrapassar de uma barreira técnica do que a concretização de grandes avanços científicos nesta área de investigação. De facto, como recentemente ficou demonstrado pela surpreendente efusão da plataforma DeepSeek, é cada vez mais fácil e barato (em termos relativos) dispor da capacidade de processamento e do volume de dados necessário para se desenvolver uma ferramenta com capacidades que lhe permitem competir com os grandes gigantes da data economy.

Ou seja, o sucesso de ferramentas como ChatGPT, OpenAI ou Gemini não está propriamente centrado nas características intrínsecas da sofisticação do modelo usado ou nos notórios avanços técnicos dos métodos que lhes são subjacentes, mas sim numa muito mais prosaica capacidade de recolher, armazenar e processar gigantescos volumes de dados. Em síntese, na digitalização massiva das ações que sustentam o funcionamento da nossa sociedade suportada numa rede global de computadores. Esta é uma constatação que faz cair por terra uma certa mística frequentemente associada à IA e que, para uns, causa espanto e admiração (ou, em casos extremos, adoração) e, para outros, é motivo de pavor irracional e fatalismo auto e heterodestrutivo.

Neste pequeno texto reflexivo, procuraremos contribuir para uma compreensão racional desta tecnologia, focando a atenção em 3 pontos específicos: a) o contexto de evolução histórica e o quadro epistemológico da IA; b) a relação entre IA e a ciência geográfica; c) algumas referências sobre os modos de assimilação desta tecnologia em diversos ramos da ciência geográfica.

### **Breve sistematização histórico-metodológica da Inteligência Artificial**

Embora a noção especulativa ou ficcionada de uma inteligência artificial, manufaturada por humanos ou, como prefere Harari (2024), a criação de uma “inteligência alienígena”, possa ser identificada em tempos bastante mais remotos (Poole & Mackworth, 2023), o horizonte temporal da IA situa-se no pós-II Guerra Mundial (Buchanan, 2005). Aliás, Moor (2006) propõe um momento bastante específico como “o evento que iniciou a IA como disciplina de investigação”: o Dartmouth Summer Research Project, realizado no Dartmouth College, New Hampshire, em 1956 e onde foi cunhado o termo “Inteligência Artificial”.

Estes primeiros anos (finais da década de 1950/inícios da de 60) constituem uma época fervilhante de ideias sobre a compreensão dos processos de raciocínio, inteligência e formação de conhecimento, envolvendo múltiplos domínios científicos que começam a reconhecer as vantagens da cooperação interdisciplinar. Mas são também marcados por fortes constrangimentos tecnológicos, tanto ao nível do hardware, como das linguagens de programação.

É neste contexto contrastante que, em 1956, o psicólogo A. Newell, o cientista político H. A. Simon e o programador de sistemas J. C. Shaw apresentaram o programa LT (*Logic Theorist*) (McCorduck, 2004). O LT foi o primeiro *software* criado para mimetizar as destrezas dos humanos na resolução de problemas, tendo sido aplicado para provar teoremas no cálculo proposicional, expressos na obra *Principia Mathematica*, de Whitehead e Russell, demonstrando assim a possibilidade de automatizar processos de aprendizagem envolvendo inteligência não humana e uma certa criatividade, indispensável para se alcançar as soluções dos teoremas.

Se nas décadas de 1950/1960 o foco de investigação estava centrado nos processos de raciocínio e no desenvolvimento de metodologias heurísticas para suportar a aprendizagem, ao longo da década de 1960 e inícios dos anos de 1970, ocorreu uma mudança de paradigma, ganhando importância a ideia de que o conhecimento é também fundamental para o comportamento inteligente. Em 1967, surgem os primeiros programas baseados em conhecimento aplicados em diversas áreas específicas (Ex.: DENDRAL, no raciocínio científico; MACSYMA, no raciocínio matemático; MacHack, nos desafios de xadrez) (McCorduck, 2004).

É também por esta altura que surge o programa LOGO, orientado para a criação de um ambiente dinâmico e interativo de aprendizagem e que ainda hoje é possível experienciar através do NetLOGO, uma evolução direcionada para múltiplas audiências, mas, em particular, para ajudar a desenvolver as capacidades de raciocínio algorítmico em crianças (Wilensky & Rand, 2015).

Durante as décadas de 1970 e 1980, vão surgindo novos avanços na compreensão dos métodos comuns de raciocínio que não são estritamente dedutivos, como o raciocínio baseado em casos, a analogia, a indução, o raciocínio sob incerteza e raciocínio por defeito. Ganham importância os métodos automatizados que permitem incorporar lógicas difusas, constrangimentos de dados ou que de alguma forma permitem lidar com a imperfeição ou as limitações dos processos de raciocínio.

Talvez não por acaso, em 1978, o prémio Nobel de Economia foi atribuído a Herbert A. Simon, pelo seu trabalho pioneiro sobre os processos de tomada de decisão dentro das organizações económicas. A sua investigação desafiou a noção clássica de "homem económico racional", propondo o conceito de racionalidade limitada, que preconizava que os indivíduos e as organizações tomam decisões com base em informações limitadas e capacidade cognitiva restrita. Assim, o mais

comum é chegarem a soluções "suficientemente boas" e não, necessariamente, ideais ou ótimas. Estas ideias, que ficaram associadas ao conceito de "satisficing" tiveram um impacto profundo em múltiplas áreas da sociedade, incluindo no desenvolvimento da inteligência artificial.

O final da década de 1980 é marcado pelos primeiros desenvolvimentos da *World Wide Web* e também pela tomada de consciência de que o comportamento inteligente pode ser exponenciado se for colocado numa perspectiva colaborativa. O desenvolvimento das redes de computadores à escala global, durante os anos de 1990, irá criar a infraestrutura necessária para se avançar nessa direção. A entrada no novo milénio marca uma nova etapa neste percurso, com os primeiros esforços para a criação de uma *web* semântica, capaz de incorporar lógica, inferência, representação de conhecimento e ação. Se quisermos traçar o Estado da Arte da Inteligência Artificial, estes continuam a ser os domínios mais salientes, não apenas em termos de inovação associada, mas também em termos de impacto direto nas nossas vidas quotidianas.

Tendo por base este esboço histórico, salientando os principais marcos evolutivos da IA, podemos agora tentar esboçar uma definição mais concreta sobre o que é e como é utilizada a IA. Como referem Choi et al. (2020), numa definição simplificada, podemos conceptualizar a Inteligência Artificial como um campo de investigação científica focado na automatização de tarefas intelectuais normalmente realizadas por humanos. Este é, portanto, um conceito abrangente, com uma infinidade de áreas de aplicação e que envolve múltiplos processos funcionando de forma sistémica. Frequentemente, para o leigo ou iniciante, o conceito de Artificial Intelligence é facilmente confundido com outros conceitos associados, como por ex.: *Machine Learning* (ML) ou *Deep Learning* (DL).

De facto, todos estes conceitos podem ser enquadrados num termo ainda mais genérico que corresponde à Ciência dos Dados, que é um domínio científico híbrido ou transdisciplinar, e que integra métodos estatísticos, ciência computacional, visualização e técnicas de engenharia e de validação de dados para realizar tarefas de simplificação e limpeza, processamento, análise, visualização e interpretação, geralmente, em grandes volumes de dados.

O objetivo principal da Ciência dos Dados é identificar padrões e pontos de interesse nos dados que permitam tomar decisões ou realizar previsões probabilísticas. A IA corresponde aos sistemas-máquina complexos que procuram replicar o processo de raciocínio humano escalado várias ordens de magnitude. Esta replicação pode assentar em processos de Aprendizagem Automática (*Machine Learning*) ou de Aprendizagem Profunda (*Deep Learning*).

Os processos de ML, tal como a própria designação sugere, envolvem procedimentos automatizados de aprendizagem através da experiência sem que seja necessária grande intervenção ou assistência de um ser humano.

Estes processos permitem que os computadores possam operar autonomamente, melhorando o seu desempenho e rigor de decisão através da experiência adquirida pelo processamento de novos dados.

Em termos operativos, os processos de ML podem ser segmentados em diversas fases:

### 1. Entrada de Dados:

Todo o processo inicia com a recolha e incorporação dos dados, que podem ser estruturados (Ex.: tabelas com colunas regularmente definidas) ou não estruturados (imagens, áudio, texto, etc.). Para que o agente analítico seja mais eficaz, tanto quanto possível, os dados devem ser expurgados de erros e inconsistências.

### 2. Divisão de Dados

Nesta fase, o agente analítico separa os dados em três partes: o conjunto de treino (usado para treinar o modelo); o conjunto de validação (usado para afinar os parâmetros de ponderação e avaliar o desempenho durante a fase de treino); o conjunto de teste (usado para avaliar o desempenho final do modelo quando aplicado a novos dados).

### 3. Escolha do Modelo

Existem múltiplos tipos de algoritmos que podem ser utilizados no contexto de Machine Learning, mas podemos sistematizá-los em 3 categorias principais: A) Modelos de Aprendizagem Supervisionada (*Supervised Learning*), em que a aprendizagem é feita com base nos rótulos associados aos dados. São exemplos deste tipo os modelos a Regressão Linear, as Árvores de Decisão ou as Redes Neurais. B) Modelos de Aprendizagem Não Supervisionada (*Unsupervised Learning*), em que a aprendizagem é feita sobre dados não rotulados. São exemplos deste tipo os modelos de Agrupamento (*Clustering*) ou da Redução de Dimensionalidade (*Dimensionality Reduction*) (Ex.: Análise de Componentes Principais). C) Modelos de Aprendizagem por Reforço (*Reinforcement Learning*), em que a aprendizagem é feita através de tentativa e erro, com recompensas ou penalizações com base nas ações implementadas (Ex.: Treinar um robô para caminhar).

### 4. Treino do Modelo

O algoritmo é “treinado” através do ajustamento dos seus parâmetros internos de controlo, visando minimizar os erros em relação aos resultados esperados. Geralmente, este é um processo iterativo, utilizando uma função de perda para avaliar a diferença entre os resultados previstos e os reais.

## 5. Avaliação e Ajuste

Durante a fase de treino, o modelo é avaliado com os dados que formam o conjunto de validação, para garantir que não esteja a memorizar as características expressas nos dados do conjunto de treino (sobreajustamento). É este mecanismo que permite ajustar os parâmetros de controlo do modelo (ex.: a taxa de aprendizagem) para melhorar o seu desempenho quando exposto a novos dados.

## 6. Teste e Implantação

Depois de treinado e ajustado, o modelo é testado no conjunto de teste por forma a verificar o seu grau de desempenho em dados novos. Se o desempenho for aceitável, o modelo tem condições para ser implementado, passando a produzir resultados com base em novos conjuntos de dados estáticos ou, preferencialmente, recolhidos em tempo real.

## 7. Aprendizagem Contínua

Alguns modelos de ML podem ser continuamente ajustados à medida que recebem novos dados, melhorando assim seu desempenho com a utilização.

Os processos de *Deep Learning* (DL) correspondem a uma subárea dos métodos de *Machine Learning* (ML), concretamente, aqueles que se baseiam na utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA). Em termos simplistas, uma RNA funciona imitando o comportamento dos neurónios no cérebro humano, com base numa estrutura que integra, no mínimo, três "camadas" de neurónios artificiais conectados entre si. A camada de entrada destina-se à receção dos dados, enquanto a camada de saída é responsável pela produção dos resultados do modelo. Entre estas pode existir uma ou várias camadas ocultas que transformam os dados através de operações matemáticas e ativam neurónios com base nos pesos e funções de ativação. Na fase de treino do modelo, são calculados pesos e desvios (bias) para cada neurónio como base em funções de perda, retropropagação ou descida de gradiente que possibilitam um processo iterativo de ajustamento dos parâmetros e, conseqüentemente, um ajuste dinâmico da rede, o que melhora significativamente os resultados produzidos.

Através de agentes analíticos de *Deep Learning* é possível extrair padrões complexos a partir de grandes volumes de dados, tornando este método numa ferramenta poderosa e eficiente, especialmente, em tarefas de reconhecimento de voz ou de padrões visuais (visão computacional) ou ainda na tradução automática. Mas as áreas potenciais de aplicação destes modelos são, necessariamente, muito mais amplas e ganham um nível adicional de importância quando se associam ao estudo de fenómenos que possuem uma dimensão espacial ou espaço-temporal, como é o caso da generalidade dos objetos de estudos da ciência geográfica.

## Inteligência Artificial e Geografia

A combinação de Inteligência Artificial (IA) com a Geografia deu origem a um nicho de investigação, geralmente, reconhecido como *Geographic Artificial Intelligence* (GeoAI), que aqui traduziremos para GeoInteligência Artificial (GeoIA). Esta integração tem permitido novas abordagens na análise de problemas espaciais, combinando processos de *Machine Learning* (ML), *Deep Learning* (DL) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Ainda que a utilização do termo GeoInteligência Artificial seja relativamente recente (cfr. Hu et al., 2019), a verdade é que o reconhecimento da importância dos métodos analíticos de *Machine Learning* associados à informação digital espacializada e integrada em Sistemas de Informação Geográfica tem uma pegada histórica bastante mais profunda remontando, pelo menos, à última década do século passado (por ex.: Hewitson & Crane, 1994; Lee; Cho & Wong, 1998; Dimuccio; Ferreira; Cunha, 2006; Dimuccio et al., 2008). Paralelamente, se o leque de aplicações iniciais estava predominantemente focado nas características e fenómenos físicos dos territórios, atualmente, existe uma maior diversidade de temáticas abordadas, que passam pelos domínios da geografia da saúde, da análise de padrões socioeconómicos, análise das redes sociais, geotextos/semântica geoespacial e *social sensing*, etc. (cfr. Hu et al., 2019; Liu & Biljecki, 2022; Song & Yingjie, 2024).

Pese embora esta maior diversidade, há duas áreas que, tendo em conta o volume de referências bibliográficas disponível, continuam a evidenciar uma exploração mais intensiva destes recursos metodológicos nas análises realizadas: o processamento de imagens geoespaciais e a modelação e análise dos sistemas de transportes (Arundel et al. 2024; Cheng et al., 2024). No primeiro caso, a explicação dessa tendência deverá estar relacionada com o enorme volume de dados facilmente acessíveis, provenientes de uma plethora de plataformas e sensores para obtenção de imagens remotas, a par com a morosidade dos processos tradicionais de fotointerpretação. No segundo, os fatores causais não parecem ser tão evidentes, mas uma das causas poderá ser a intrínseca complexidade do funcionamento dos sistemas em questão, nomeadamente, no que diz respeito à sua dinâmica espaço-temporal, o que obriga à aplicação de metodologias sofisticadas com capacidade para dar respostas eficazes em tempo útil (Cheng et al, 2024).

Podemos encarar a GeoIA como uma área de saber dedicada ao desenvolvimento de modelos informáticos inteligentes que mimetizam os processos associados à perceção geográfica do território, o que envolve um raciocínio espacial intrínseco e uma abordagem de interação escalar na identificação dos fenómenos e dinâmicas que aí ocorrem. Através destes sistemas poderemos fazer avançar o conhecimento geográfico e ter uma visão mais atualizada e abrangente sobre as dinâmicas e interações dos sistemas físicos e humanos.

Contudo, para se ser competente nestes domínios de investigação não basta um bom conhecimento empírico da realidade local, regional ou nacional, é necessário um leque mais amplo de destrezas que passam pela compreensão de aspetos teóricas da IA e pelas capacidades práticas no âmbito computacional e de programação informática. Esta linha de formação continua a estar arredada das aspirações de boa parte, senão da maioria, dos jovens estudantes nos cursos de Geografia das universidades nacionais, o que levanta um sério entrave à expansão e à exploração de todo o potencial competitivo da ciência geográfica no domínio da GeoIA, acabando este vazio por ser preenchido por especialistas noutras áreas, especialmente, as que se relacionam com as tecnologias de informação digital.

### **A GeoInteligência Artificial está aqui! E agora?**

A chegada da GeoInteligência Artificial (GeoIA) marca uma nova era na investigação em Geografia e impõe profundas transformações no modo como lidamos com os problemas espaciais. A GeoIA não é apenas mais uma ferramenta tecnológica, é uma nova forma de pensar sobre o território e de tomar decisões com impactos diretos na sua gestão e sustentabilidade.

A massificação da *Internet of Things* (IoT) irá dar origem a um crescimento, ainda mais acelerado, do volume disponível de dados georreferenciados; a expansão das tecnologias de Realidade Aumentada e Virtual irá proporcionar (literalmente) novas formas de ver a realidade; a automação de Decisões Espaciais com recurso a GeoIA irá transformar profundamente o modo como tomamos decisões baseadas na localização, como gerimos as infraestruturas ou planeamos para situações de risco natural ou tecnológico. Todos estes cenários permitem imaginar o potencial que os modelos de *Machine Learning* e *Deep Learning* poderão vir a ter brevemente no contexto da Geografia.

A adaptação a estas novas realidades, que se aproxima a passos largos, gera já e, certamente, irá gerar no futuro próximo, muitos receios, dúvidas e críticas que não devem ser ignoradas ou menosprezadas. Todos os períodos de intensas mudanças criam tensões e disrupções nos tecidos sociais, políticos, económicos, institucionais, geracionais, relacionais e mentais, com impactos individualizados e coletivos.

Estas tecnologias disruptivas colocam muito poder nas mãos dos indivíduos que as criam e/ou dos governos que as controlam, poder que pode ser mal usado. Por isso, concordamos com Ray Solomonoff, um dos organizadores do Dartmouth Summer Research Project, quando afirma (cit. em Moor, 2006) que o principal perigo do desenvolvimento da IA é político. Há um aspeto na aplicação destes instrumentos tecnológicos, tanto em meio académico, empresarial ou outro, que vai muito para além da dimensão técnica dos processos analíticos. Cada vez mais, é necessário estar consciente para as questões éticas e os impactos políticos, sociais e humanos do (mau) uso destas ferramentas.

## Referências

- Buchanan, Bruce G. (2005). "A (Very) Brief History of Artificial Intelligence", *AI Magazine* 26(4): 53-60.
- Cheng, Tao; Haworth, James; and Ozkan, Mustafa Can (2024). "Spatiotemporal AI for Transportation" In Song, Gao & Yingjie, Hu (Ed.). *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Boca Raton: CRC Press.
- Choi, Rene Y.; Coyner, Aaron S.; Kalpathy-Cramer, Jayashree; Chiang, Michael F.; and Campbell, J. Peter (2020). Introduction to Machine Learning Neural Networks and Deep Learning. *Translational Vision Science & Technology*, 9 (2), 14. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.14>
- Dimuccio, LA; Ferreira, R, Cunha, L e Campar de Almeida, A (2008). Susceptibilidade aos incêndios florestais na Região Centro de Portugal. Utilização de ferramentas SIG e de um Modelo de Redes Neurais para ponderar os factores condicionantes. *Cadernos de Geografia*, (26/27), 179-188.
- Dimuccio, Luca António; Ferreira, Rui; Cunha, Lúcio (2006). "Aplicação de um modelo de redes neuronais na elaboração de mapas de susceptibilidade a movimentos de vertente. Um exemplo numa área a sul de Coimbra (Portugal Central)" In *Actas do II Congresso Nacional de Geomorfologia - Geomorfologia, ciência e sociedade*, Vol. III, APGeom, Coimbra, pp. 281-289.
- Hewitson, Bruce C; Crane, Robert G (1994). *Neural Nets: Applications in Geography*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Lee, S; Cho, S & Wong, P M (1998). Rainfall Prediction using Artificial Neural Networks. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.528>
- Liu, Pengyuan; Biljecki, Filip (2022). A review of spatially explicit GeoAI applications in Urban Geography. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 112, 102936. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102936>
- McCorduck, Pamela (2004). *Machines Who Think. A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence*. Natick, Massachusetts: A K Peters, Ltd.
- Moor, James (2006). The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years. *AI Magazine*, 27 (4), 87-91.
- Poole, David L. & Mackworth, Alan K. (2023). *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*, (3<sup>a</sup> ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Samantha T. Arundel; Kevin G. McKeegan; Wenwen Li, and Zhining Gu (2024). "GeoAI forSpatialImageProcessing" In Song, Gao & Yingjie, Hu (Ed.). *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Boca Raton: CRC Press.
- Song, Gao; Yingjie, Hu (2024). *Handbook of geospatial artificial intelligence*. Boca Raton: CRC Press.
- Wilensky, Uri & Rand, William (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling. Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Yingjie Hu, Song Gao, Dalton Lunga, Wenwen Li, Shawn Newsam, Budhendra Bhaduri (2019). GeoAI at ACM SIGSPATIAL: progress, challenges, and future directions. *SIGSPATIAL Special*, 11 (2), 5-15. <https://doi.org/10.1145/3377000.3377002>
- Yuval Noah Harari (2024). *Nexus. A Brief History of Information Networks From The Stone Age to AI*. New York: Random House.

# A questão social e metodológica da Inteligência Artificial na Geografia



## Guilherme Almussa Leite TORRES

Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil; [guialmussa@gmail.com](mailto:guialmussa@gmail.com)

**Resumo:** Nos últimos anos, a Inteligência Artificial (IA) tem causado uma revolução sem precedentes na história da humanidade. O fácil acesso a IA capazes de resolver com facilidade questões complexas para os seres humanos, tem provocado um impacto profundo na forma como a ciência geográfica é concebida e na maneira como a sociedade produz o espaço em que habita. Essa última questão, que relaciona a produção do espaço e do território usado na era da IA, leva a Geografia à necessidade de analisar seu objeto de estudo sob uma nova perspectiva. O presente ensaio buscou investigar de que maneira a Inteligência Artificial pode potencializar o trabalho em Geografia e como essa tecnologia está alterando as questões socioterritoriais, além de considerar a necessária ênfase do espectro temporal na abordagem metodológica a ser adotada para que a Geografia possa analisar as dinâmicas espaciais emergentes induzidas pela IA com maior acurácia.

**Palavras-chave:** epistemologia da geografia; futuro da ciência; revolução tecnológica; meio ambiente.

## Introdução

Há um caminho evidente que conduz a humanidade a um futuro no qual a convivência com a Inteligência Artificial (IA) será rotineira. Muito se debate sobre os fatores que nos levaram a esse cenário. Contudo, pouco importa se foram as grandes corporações tecnológicas (Big Techs) ou a rápida popularização da Internet que nos inseriram em um mundo de constante transformação. O fato é: a IA já está aí.

Refletir sobre os impactos da IA no cotidiano das pessoas pode ser feito a partir de arcabouços teóricos e metodológicos de diversas ciências sociais e humanas. A Geografia, entretanto, possui a capacidade ímpar de compreender a dinâmica territorial de determinada localidade, inferindo e prospectando os efeitos que um fenômeno pode produzir na sociedade dentro de seu contexto espacial.

É fundamental destacar que, assim como a Geografia pode analisar os efeitos da IA sobre a sociedade, ela também é influenciada diretamente pelas mudanças produzidas por essa tecnologia.

Dessa forma, a integração da IA na Geografia remodelará as formas pelas quais interagimos e interpretamos o espaço geográfico. Em um mundo cada vez mais interconectado e dinâmico, a aplicação de tecnologias como aprendizado de máquina (*machine learning*), redes neurais artificiais e algoritmos de processamento de linguagem natural – exemplificados pelo popular ChatGPT e recentemente pela chinesa DeepSeek – tem o potencial de trazer avanços significativos à análise, modelagem e tomada de decisões no âmbito da Geografia.

Partindo desses pressupostos, o presente ensaio buscou investigar de que forma a Inteligência Artificial pode amplificar as possibilidades de pesquisas na Geografia, bem como as potenciais transformações socioterritoriais que esta pode induzir, abrindo caminho para uma reflexão metodológica que permita a análise das dinâmicas espaciais emergentes impulsionadas pela IA.

## O potencial da IA na Geografia

Por sua essência, a Geografia é uma ciência multidisciplinar que explora as relações entre espaço, tempo e sociedade. A IA amplia essas possibilidades ao permitir a análise de grandes volumes de dados espaciais, incluindo imagens de satélite, dados de sensores remotos, registros de localização em tempo real e informações socioeconômicas. Além disso, algoritmos de IA conseguem identificar padrões complexos e detectar anomalias que seriam imperceptíveis por métodos convencionais ou por análises humanas analógicas, por mais detalhadas que fossem feitas.

Um exemplo do impacto da IA na Geografia está na pesquisa ambiental. Áreas promissoras incluem o monitoramento de desastres naturais, a avaliação de impactos ambientais e a modelagem climática. Tecnologias como redes neurais e

aprendizado de máquina processam e classificam imagens de satélite com eficiência, identificando mudanças no uso e ocupação do solo, desmatamento e expansão urbana.

Na modelagem climática (tema em alta na Geografia por conta das mudanças ambientais que vivemos), a IA pode potencializar a precisão da previsão de padrões atmosféricos, a análise de cenários futuros e a identificação de eventos extremos. Modelos baseados em redes neurais, por exemplo, são utilizados para prever eventos climáticos a partir de séries temporais de dados meteorológicos. Esses modelos podem integrar informações de diversas fontes, como satélites, estações meteorológicas e sensores ambientais, permitindo uma análise mais abrangente, com resultados mais precisos e em tempo real.

Outro uso significativo é a detecção precoce de fenômenos como furacões, secas e inundações. Por meio da combinação de dados de sensores remotos e algoritmos de IA, é possível identificar sinais de alerta e fornecer previsões com maior antecedência, reduzindo os impactos sociais e econômicos desses eventos.

É bem provável que a próxima geração de modelos de mudanças climáticas seja acoplada a mecanismos de IA que já demonstram melhorias na precisão e confiabilidade das projeções. Algo que, sem sombra de dúvidas, fará parte e será a grande novidade dos próximos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Não será mais possível conceber modelos preditivos sem IA.

### **Uma nova metodologia para um novo espaço**

Além da potencial integração da Inteligência Artificial na Geografia, as transformações no espaço geográfico induzidas pela IA também tendem a ocorrer de maneira rápida e incisiva, gerando incertezas sobre os impactos sociais, especialmente nas áreas marcadas por desigualdades territoriais preexistentes. A curto prazo, há o risco de ampliação dessas desigualdades, embora, a longo prazo, a tecnologia possa contribuir para sua redução – uma hipótese que, no presente, é apenas especulativa.

Essa linha de raciocínio, que considera impactos socialmente desiguais com a chegada de uma nova tecnologia no curto prazo e revisita seus efeitos a longo prazo, é fundamental para a interpretação das dinâmicas socioterritoriais e deve fazer parte dos aspectos metodológicos do trabalho em Geografia.

Como exemplo, pode-se citar a introdução de veículos autônomos nas cidades. Inicialmente, essa inovação tende a beneficiar áreas mais ricas, onde a infraestrutura necessária será instalada primeiro, deixando bairros periféricos menos acessíveis à tecnologia. A curto prazo, isso pode aumentar as desigualdades no transporte urbano. Contudo, a longo prazo, a expansão da infraestrutura e a redução de custos podem democratizar o acesso a essas tecnologias, promovendo maior equidade.

Na zona rural, tecnologias como drones e sensores para agricultura de precisão favorecem, inicialmente, grandes produtores, que possuem maior capacidade de investimento, ampliando a disparidade em relação aos pequenos agricultores. Entretanto, políticas públicas ou parcerias podem, ao longo do tempo, democratizar o acesso, permitindo que pequenos produtores também se beneficiem.

Esses exemplos demonstram a necessidade de incorporar uma perspectiva temporal à análise socioterritorial para avaliar os impactos desiguais de novas tecnologias. A Figura 1 ilustra como a linha de raciocínio aqui exposta deve ser observada para uma nova abordagem metodológica.

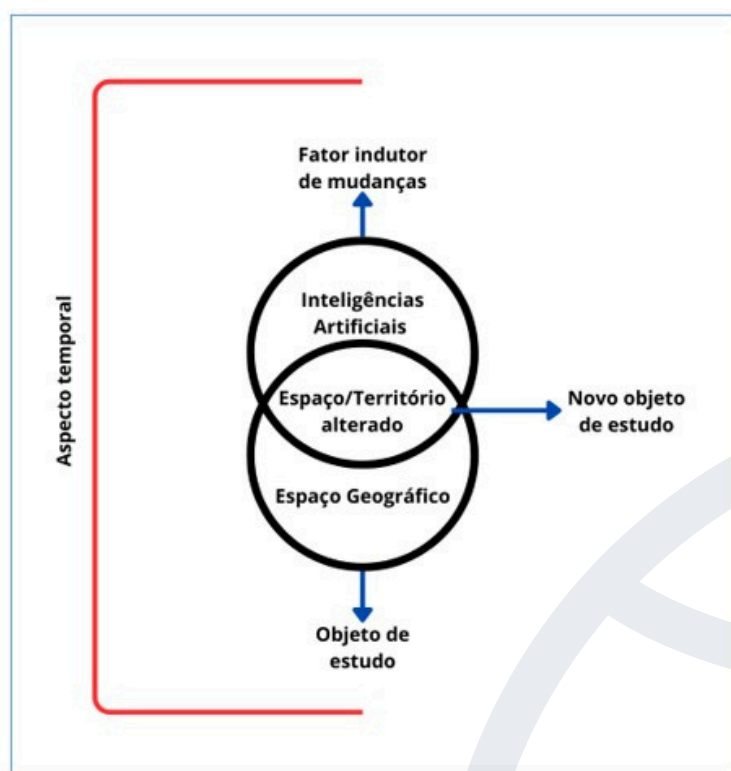


Figura 1: Aspectos metodológicos em Geografia perante uma nova forma de produção espacial induzida pela Inteligência Artificial.

Um exemplo contemporâneo de como as tecnologias, a princípio, podem ampliar desigualdades sociais e depois, se popularizarem, é o acesso a celulares com Internet. Quando esses dispositivos foram lançados, sua aquisição estava restrita às camadas mais abastadas da sociedade, que possuíam os recursos financeiros necessários para comprá-los. No entanto, com o passar das décadas, esses aparelhos se tornaram mais acessíveis, e hoje uma parcela significativa da população dispõe de celulares com conexão à Internet, o tornando um item exemplo de democratização da tecnologia.

Assim, ressalta-se aqui novamente o fato de que a IA possui potencial de melhorar a vida cotidiana da população à medida que seu uso e acesso são democratizados para todas as camadas socioeconômicas. Sendo exatamente neste contexto que o presente ensaio defende uma abordagem pragmática da questão da IA nos estudos em Geografia.

### **Considerações finais**

O avanço da IA na Geografia impõe desafios que exigem reflexões críticas e adaptações metodológicas constantes. A dependência excessiva de algoritmos, a possível redução da autonomia analítica dos pesquisadores e a necessidade de acesso equitativo às tecnologias são questões que não podem ser negligenciadas. Assim, a incorporação da IA à ciência geográfica deve ocorrer de forma ética e estratégica, garantindo que seu uso amplie a capacidade de análise sem comprometer a essência crítica e social desta ciência. Para isso, se faz necessário uma abordagem metodológica que seja honesta e coerente com os fatos ocorridos no espaço/tempo.

Em suma, apesar das incertezas futuras quanto ao desenrolar dos impactos da Inteligência Artificial na sociedade, a IA se apresenta como um fator remodelador do espaço geográfico no século XXI. Assim, é inegável que, como ferramenta, suas potencialidades podem levar a Geografia a um novo patamar científico. A história e a epistemologia da Geografia demonstram o quão robusta é sua trajetória de compromisso social contra as desigualdades e injustiças. Isso evidencia que a Geografia possui um arcabouço teórico e metodológico apto a incorporar a IA na otimização e na maior eficiência de análises, com foco na formulação de estratégias políticas, sociais, econômicas e territoriais para um futuro melhor.

## Geograf-IA: Inteligência artificial e o raciocínio geográfico



### Sandro LAUDARES

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais; [Laudares@pucminas.br](mailto:Laudares@pucminas.br)

**Resumo:** O artigo aborda a integração da Geografia com a inteligência artificial demonstrando três exemplos práticos para acesso via referências disponibilizadas, demonstrando que tal integração está revolucionando o modo como planejamos, construímos e gerenciamos nossas cidades atualmente. Embora os benefícios sejam evidentes, é importante reconhecer os desafios e preocupações associados ao uso da inteligência artificial, de forma a destacar a necessidade de garantir que os dados sejam imparciais e proteger a privacidade dos cidadãos. Apesar dos desafios, as possibilidades são muitas. As abordagens apresentadas inovam no processo e articulam um número de metodologias compatíveis para identificar, de maneira rápida e precisa, os pontos de maior necessidade de trabalho com a inteligência artificial associados a análise espacial que possam construir um processo de aprendizado de máquina capaz de fazer inferências cada vez mais precisas para as necessidades e ações de geógrafos e profissionais que trabalham com geoprocessamento.

**Palavras-chave:** inteligência artificial; raciocínio geográfico; geoprocessamento; análise espacial

A Inteligência Artificial (IA), com sua capacidade de possibilitar aprendizado, raciocínio e reconhecimento de padrões, está revolucionando o modo como planejamos, construímos e gerenciamos nossas cidades. No contexto da gestão urbana, a IA não apenas promete benefícios substanciais, mas também desafia as tradicionais abordagens, gerando uma nova era de possibilidades e oportunidades. Em metrópoles como Barcelona e Singapura, tem sido aplicada com sucesso em diversas áreas-chave da gestão das cidades. Por exemplo, o gerenciamento inteligente de resíduos em Barcelona, com latas de lixo equipadas com sensores, está otimizando as rotas de coleta, contribuindo para cidades mais limpas e eficientes (Barros & Laudares, 2024). Além disso, em mobilidade urbana, também melhora a gestão do tráfego e reduz congestionamentos em vias públicas. Em Singapura, algoritmos avançados estão ajustando horários de transporte público e sincronizando semáforos, resultando em deslocamentos mais rápidos e eficientes para os cidadãos (Barros & Laudares, 2024). A segurança urbana também se beneficia dos avanços da IA, com sistemas de reconhecimento facial e análise de imagens ajudando a prevenir infrações e manter as cidades seguras para seus habitantes (Libório et al., 2022).

Cito aqui como exemplos alguns projetos realizados por grandes empresas de tecnologia da informação que atuam globalmente. Em maio de 2023, o Google Research lançou um novo conjunto de dados com edificações extraídas de imagens de 50 cm de resolução. O conjunto de dados, que consiste em contornos de edifícios inicialmente tratava de uma área de 58 milhões de quilômetros quadrados na África, América Latina, Caribe, sul da Ásia e sudeste da Ásia e, com o passar dos meses, a área restituída aumentou bastante. A Figura 1 demonstra o formato e sua referência na *web*.



Figura 1 - Open Buildings

Fonte: <https://sites.research.google/gr/open-buildings/>

As restituições dos edifícios são úteis para uma série de aplicações importantes, desde estimativas populacionais, planejamento urbano e resposta humanitária, até ciências ambientais e climáticas. Este conjunto de dados abertos em grande escala contém contornos de edifícios derivados de imagens de satélite de alta resolução, a fim de apoiar estes tipos de usos. O conjunto de dados atual está em sua 3ª versão. Para cada edifício neste conjunto de dados a empresa inclui o polígono que descreve a sua pegada no terreno e uma pontuação de confiança que indica o quão certo temos de que se trata de um edifício. Uma evolução deste trabalho pode ser alcançada com o uso de algoritmos generativos, que são ferramentas de inteligência artificial que criam novos conteúdos, como textos, imagens, músicas e vídeos (Ribeiro et al., 2024). Esses algoritmos aprendem padrões a partir de dados existentes e usam esse conhecimento para gerar novos dados semelhantes, ao contrário dos algoritmos tradicionais que analisam e classificam dados, os algoritmos generativos são projetados para produzir novos dados originais. Tais códigos se baseiam em modelos estatísticos e técnicas de aprendizado de máquina para gerar conteúdo novo e criativo (Libório et al., 2023).

Complementar ao exemplo da Google, existem diversas iniciativas que trabalham com produtos de IA generativa como o ChatGPT para converter elementos textuais de uma matrícula de registro de um imóvel rural, por exemplo, baseados em azimute e distância, em um arquivo vetorial com a extração dos dados textuais, como coordenadas iniciais, distâncias e azimutes, seguido do cálculo das novas coordenadas cartesianas e, finalmente, a geração de um arquivo DXF georreferenciado com o desenho da área. A Figura 2 demonstra tal iniciativa e sua referência publicada em uma rede social.

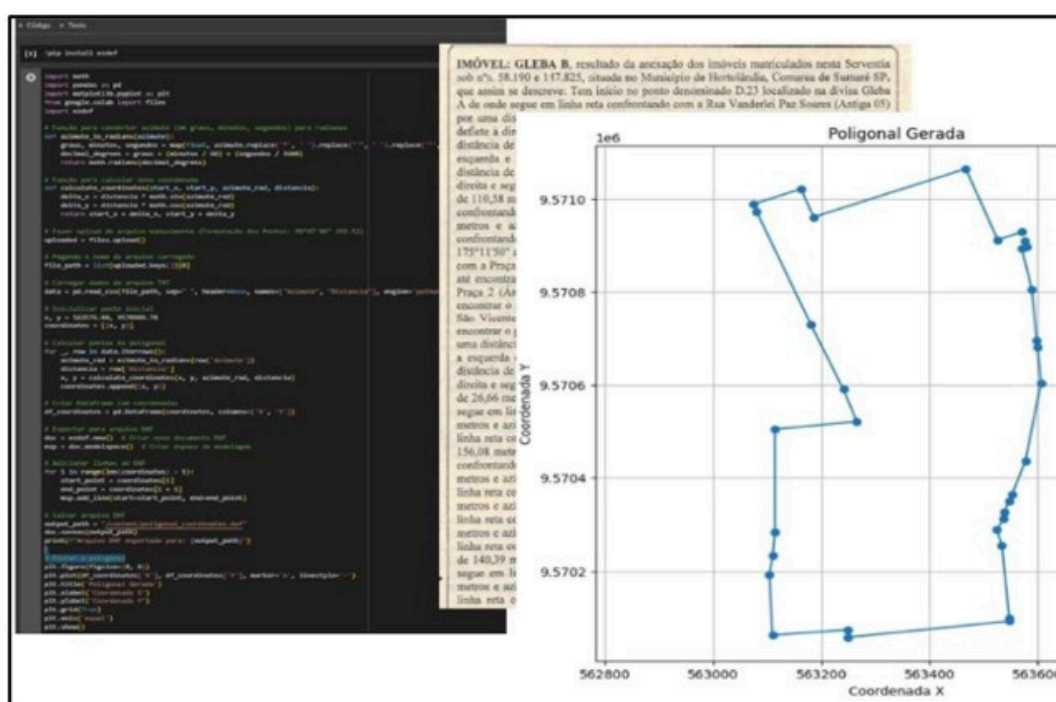


Figura 2 – Conversão de elementos textuais de uma matrícula de registro de um imóvel rural em arquivo georreferenciado.

Fonte: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7272396306273161218/>

Uma das tecnologias de IA generativa mais populares, o ChatGPT é conhecido por sua capacidade de gerar texto similar ao humano. Pode-se adaptar seus resultados a diferentes estilos, formatos e propósitos, atendendo a diversas demandas e usos na Geografia. Adicionalmente, é usada para simular cenários e realizar pesquisas em diversas subáreas como cartografia, topografia, sensoriamento remoto e análise espacial. E pode ajudar na criação de novos conteúdos e soluções, impulsionando a criatividade humana em diferentes áreas. E tais tecnologias de IA aumentam a eficiência de trabalho com a automação de tarefas repetitivas e complexas, liberando tempo e recursos para tarefas mais estratégicas.

Com a expansão dos sistemas *WebGIS*, muito tem sido feito em prol da integração de dados obtidos por IA generativa. Autores destacam que o usuário de mapas deixou de ser um ator passivo, passando a atuar interativamente com as representações cartográficas, o que foi possível com o uso do *WebGIS* integrado à inteligência artificial (Longley et al., 2015). Assim, a critério do projetista do *WEBGIS*, eles podem ser construídos para fornecer uma informação rápida e direta ou para possibilitar uma investigação subjetiva mais detalhada a respeito dos dados que são representados na tela, conforme apresentam as referências Barbosa e Silva (2010). Adicionalmente, partir de abordagens apresentadas por outros autores (Rodríguez, Palomino & Mondaca, 2017; Lobben & Lawrence, 2015), o uso da IA artificial, possibilita a obtenção de resultados mais eficientes e identificação de critérios e padrões em tempo muito menor. Outros abordam a aplicabilidade da inteligência artificial e análise espacial em serviços públicos (Senić, 2017). A crescente exposição aos produtos cartográficos leva os usuários a geovisualizarem a informação de maneira mais consciente, por meio da exploração ativa e interativa permitida pelos *WebGIS*. A IA auxilia na interpretação de dados geográficos complexos. Por exemplo, contadores de pessoas são dispositivos eletrônicos que contam o número de indivíduos que passam por um espaço geográfico definido e insights recolhidos a partir de tais tecnologias são valiosos para abordar riscos potenciais a serem evitados através da definição de limites de ocupação e da implementação de um sistema para monitorar os seus dados. Portanto, há muitos motivos para contar pessoas, como considerações de segurança, para otimizar operações, encontrar eficiência para lucratividade e muito mais, que podem ser abordados com uma ampla gama de aplicações diferentes. A Figura 3 ilustra tal processo.



Figura 3 - Contadores de pessoas.

Fonte: <https://www.genetec.com/blog/products/what-are-people-counters-and-why-are-they-important>

O raciocínio geográfico é uma forma de pensar espacialmente, que permite compreender a realidade para entender a dinâmica do espaço, a distribuição de fenômenos e o ordenamento territorial (Longley et al., 2015). O exemplo apresentado impacta a forma de pensar espacialmente e permite compreender a realidade, como a distribuição de fenômenos e a localização das pessoas. Entretanto, os procedimentos usados para a coleta de informações na maioria das organizações que ainda não usam IA muitas vezes não são integrados à geovisualização através de aplicativos *web* e *mobile* e, por isso, são usados diversos *softwares* para captura, conversão de dados, importação e publicação online. O processo atual não é falho, mas pode ser melhorado com a inovação dos processos introduzindo-se algoritmos de inteligência artificial para predição e aprendizado de máquina. Assim, tal integração pode se tornar importante para o desenvolvimento de ações e análise espacial para órgãos responsáveis e consequente redução do volume de trabalho humano. Os resultados da integração Geografia - IA impactam na melhoria das condições de vida das pessoas e da sociedade. Embora os benefícios sejam evidentes, é importante reconhecer os desafios e preocupações associados ao uso da IA. A necessidade de garantir que os dados sejam imparciais e proteger a privacidade dos cidadãos são questões urgentes que exigem atenção cuidadosa. Apesar dos desafios, as possibilidades são muitas. A IA continuará a impulsionar inovações positivas nas cidades do mundo, criando espaços urbanos mais inteligentes, eficientes e inclusivos para todos os seus habitantes. O futuro das cidades está sendo moldado e as oportunidades estão apenas começando a se desdobrar.

## Referências

- Barbosa, S.; Silva, B. (2010). *Interação humano-computador*. Elsevier Brasil.
- Barros, A. J.; Laudares, S. (2024). *Geotecnologias na Web: geografia do século XXI em sala de aula*. 1.ed. São Paulo: Dialética, v.1., 256 p.
- Libório, M. P.; Martinuci, O. S.; Machado, A. M. C.; Ekel, P. I.; Abreu, J. F.; Laudares, S. (2022). Representação Espacial de Fenômenos Multidimensionais: benefício da dúvida ou análise de componentes principais? In: Oseias da Silva Martinuci; Matheus Pereira Libório (Org.). *Desigualdades Intraurbanas: metodologias para produção e análise de indicadores compostos*. 1ed. Curitiba: Editora CRV, v. 1.
- Libório, M. P.; Martins, C. A. P. S.; Laudares, S.; Ekel, Petr I. (2023). Method of preparing an international and national literature review for novice researchers. *MethodsX*, v. 10, p. 102165.
- Lobben A; Lawrence M. (2015). Synthesized model of geospatial thinking. *The Professional Geographer*. vol nº 3, p. 307-18.
- Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems*. John Wiley & Sons, 560.
- Ribeiro, L. C.; Libório, M. P.; Mannan, H.; Laudares, S.; Ekel, P. I.; Vieira, D. A. G.; Nobre, C. N. (2024). Software for building and measuring the quality of composite indicators using ordered weighted averaging: So-called S-CI-OWA. *SoftwareX*, v. 26, p. 101660.
- Rodríguez, P.; Palomino, N.; Mondaca, J. (2017). *Using Big Data and its Analytical Techniques for Public Policy Design and Implementation in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank.
- Senić, V. (2017). The use of Geographic Information Systems in public services. *Ekonomski horizonti*, 19 (3).

# GeoAI: Entre Métodos Tradicionais e Novos Paradigmas Espaciais

**Cláudia M. VIANA**

Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território,  
Universidade de Lisboa; [claudiaviana@edu.ulisboa.pt](mailto:claudiaviana@edu.ulisboa.pt)

**Jorge ROCHA**

Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território,  
Universidade de Lisboa; [jorge.rocha@edu.ulisboa.pt](mailto:jorge.rocha@edu.ulisboa.pt)

**Resumo:** A Inteligência Artificial Geoespacial (GeoAI) representa um avanço crucial na interseção entre inteligência artificial (IA), geografia e geomática, proporcionando novas abordagens para a análise e modelação de dados geoespaciais. Desde os primeiros debates nos anos 1980 sobre a sua aplicação em geografia, o campo evoluiu significativamente, integrando técnicas avançadas como aprendizagem automática e redes neuronais profundas. Estas metodologias permitem a identificação de padrões espaciais complexos e a projecção de fenómenos geográficos, com aplicações que vão desde o planeamento urbano sustentável até à monitorização ambiental e análise de mobilidade. No entanto, a GeoAI enfrenta desafios metodológicos e éticos, incluindo a transparência dos modelos, frequentemente considerados "caixas negras". A Inteligência Artificial Explicável (xAI) surge como uma resposta a estas limitações, tornando os processos de decisão mais compreensíveis e promovendo maior equidade e confiança. Apesar das resistências, a GeoAI tem o potencial de transformar a geografia quantitativa, promovendo uma abordagem interdisciplinar que combina ciência computacional e análise espacial. A sua capacidade de processar grandes volumes de dados e extrair conhecimento significativo faz dela uma ferramenta indispensável para a investigação científica e para a tomada de decisão informada em múltiplos domínios.

**Palavras-chave:** inteligência artificial; geografias digitais; ciência da informação geográfica; Geografia; dados geoespaciais

Em 1986 – sim, 1986, e não é um erro tipográfico – Helen Couclelis, uma das precursoras da Ciência da Informação Geográfica (CIG) e especialista em modelação e planeamento urbano e regional, cognição espacial e geografia da sociedade da informação, indicava que a inteligência artificial (IA) e a geografia estavam interligadas num contexto amplo que abordava questões fundamentais de teoria, epistemologia e método científico. À época, o ainda pouco conhecido contexto lógico-matemático da IA foi explorado, demonstrando ter implicações substanciais para a modelação em geral, a predição, a interpretação das estruturas teóricas e, além disso, para a nossa compreensão da ciência enquanto processo. Estes aspetos mais abstratos da "revolução computacional", da qual a IA é um produto, poderiam, segundo a autora, trazer consequências de longo alcance para a investigação geográfica (Couclelis, 1986).

A IA tem vindo a transformar profundamente a geografia, ao oferecer métodos avançados para analisar, modelar e interpretar os dados geoespaciais. Como ciência que estuda a relação entre os humanos e o espaço, a geografia beneficia significativamente da capacidade da IA de processar grandes volumes de dados espaço-temporais (*Big Data*), produzindo novos insights sobre dinâmicas territoriais e fenómenos geográficos complexos (Encalada-Abarca, Boavida-Portugal, Cardoso Ferreira, & Rocha, 2017; Encalada-Abarca, Ferreira, & Rocha, 2022, 2023).

Com contributos significativos no processamento de dados geoespaciais, a IA tem promovido uma abordagem inovadora que preenche lacunas no tratamento e análise destes dados (Mohamad Alshiha, 2024). Técnicas como as redes neuronais profundas (*deep Learning*), algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine Learning*) e sistemas de decisão automatizada tornaram-se ferramentas essenciais para processar e interpretar grandes volumes de informação geográfica. Estas metodologias permitem identificar padrões, projetar tendências e desenvolver soluções robustas para desafios urbanos, ambientais e sociais. Atualmente, as metodologias baseadas em IA estão amplamente desenvolvidas no contexto da análise e interpretação de dados geoespaciais, elucidando as conexões entre os princípios da IA e os desafios geográficos (Mohamad Alshiha, 2024; Pierdicca & Paolanti, 2022).

Esta sinergia é também evidente na aplicação da IA à geomática, uma área que integra tecnologias como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensores remotos e cartografia digital. Estas tecnologias facilitam a recolha, análise e visualização de dados geoespaciais, promovendo avanços significativos no estudo de dinâmicas espaciais (Viana, Encalada, & Rocha, 2019; Viana, Girão, & Rocha, 2019; Viana & Rocha, 2020). Neste artigo, é importante notar a utilização do termo "geoespacial" em detrimento de "espacial" ou "geográfico" para designar uma região tridimensional que engloba a superfície da Terra, o subsolo e o espaço próximo ao planeta (Longley, Goodchild, Maguire, & Rhind, 2015). Este rigor ter-

minológico reflete a complexidade e abrangência dos fenômenos estudados pela geomática em conjunto com a IA.

É indiscutível que o avanço das tecnologias de IA no campo das ciências geográficas tem revolucionado a forma como os dados em larga escala e a informação espaço-temporal são recolhidos, analisados e aplicados (Li, Xu, Liu, Zhang, & Sun, 2024). A geocomputação, como campo dedicado ao uso de métodos computacionais aplicados à Geografia, desempenha um papel essencial neste contexto. Ao fornecer suporte algorítmico e metodológico, a geocomputação permite explorar eficazmente os vastos conjuntos de dados geográficos disponíveis atualmente, ampliando a capacidade de análise e descoberta (Birkin, 2009; Fontanella & Xiao, 2018). A integração entre IA e computação espacial oferece oportunidades sem precedentes para compreender e abordar fenômenos e comunidades de forma mais eficaz e sustentável, proporcionando uma plataforma promissora para enfrentar desafios complexos na interação entre humanos e o ambiente (Chauhan & Shekhar, 2021).

É neste seguimento que a Inteligência Artificial Geoespacial (*Geospatial Artificial Intelligence* - GeoAI) surge como uma área interdisciplinar inovadora, integrando a geografia, ciências da terra e IA. Esta sinergia permite aprimorar a percepção dinâmica dos processos espaciais, o raciocínio inteligente e a identificação de padrões complexos e conhecimentos relacionados a fenômenos geográficos e naturais (Gao, 2020). Com a capacidade de realizar análises em larga escala, automatizar processos e detectar mudanças subtis com elevada precisão, a GeoAI apresenta vantagens significativas em relação aos métodos tradicionais de análise espacial. Além disso, a sua tolerância ao ruído nos dados torna-a particularmente eficaz em cenários com informações incompletas ou imperfeitas (Li & Hsu, 2022). Estas características consolidam a GeoAI como uma ferramenta essencial para enfrentar desafios contemporâneos na investigação geográfica e nas ciências da terra. Entre as suas aplicações destacam-se a predição de padrões de urbanização e a avaliação de cenários de mobilidade sustentável, promovendo o planejamento urbano eficiente (Wang & Zhu, 2024). A GeoAI também é utilizada para prever cheias, deslizamentos de terra e incêndios florestais, baseando-se em dados geoespaciais (Rezvani, Gonçalves, Silva, & de Almeida, 2024; Wang & Brenning, 2023; Zou et al., 2023). Além disso, a tecnologia tem sido empregue na análise de padrões espaciais relacionados à propagação de doenças e às desigualdades no acesso a infraestruturas de saúde, contribuindo para estratégias mais equitativas de gestão pública (Ahmad, Zahid, & Khan, 2024).

A emergência da GeoAI reaviva um antigo paradoxo epistemológico. Por um lado, assistimos ao aparecimento da neogeografia e à proliferação de conteúdos geográficos gerados por utilizadores, em especial a Informação Geográfica Voluntária (*Volunteer Geographic Information* - VGI). Por outro lado, há uma nova incursão da física nas ciências sociais, com crescente interesse na aplicação de mo-

delos físicos à análise de sistemas sociais (Miller & Tolle, 2016). Esta dualidade reflete uma tensão histórica entre a macrogeografia, focada na formulação de princípios gerais e leis (conhecimento nomotético), e a microgeografia, voltada para descrições detalhadas e específicas (conhecimento ideográfico). Esta divisão, que marcou grande parte do século XX, reaparece agora no contexto das novas tecnologias e abordagens científicas (Conte et al., 2012; Miller & Goodchild, 2015). Esta tensão é particularmente relevante para os geógrafos, cujo trabalho se ancora na importância do contexto espacial. Apesar dos avanços no campo, a geografia humana tem tradicionalmente negligenciado a importância dos modelos baseados em princípios físicos. No entanto, é evidente que as interações entre componentes de sistemas de baixo nível podem gerar características emergentes imprevisíveis, mesmo quando as leis fundamentais que regem o sistema são bem compreendidas. Este fenómeno, conhecido como emergência, é especialmente relevante nos sistemas humanos, que exibem padrões de (auto)organização, complexidade e sofisticados ciclos de feedback - tanto positivos quanto negativos - que frequentemente levam a comportamentos emergentes e efeitos contra-intuitivos (Pollock, 2016). Neste contexto, o papel do espaço é fundamental. O padrão local das interações entre os componentes de um sistema influencia diretamente a dinâmica resultante, moldando o comportamento agregado do sistema. Este fenómeno, que pode ser designado como complexidade agregada, ressalta a importância do contexto espacial na análise de sistemas humanos e das suas dinâmicas emergentes (Miller, 2017). No caso da CIG ambas as perspectivas estão presentes: a macrogeografia manifesta-se nos algoritmos e métodos, enquanto a microgeografia está representada nos dados. Esta relação permite estabelecer conexões claras entre o espaço físico, os SIG e a análise espacial (Barnes & Wilson, 2014).

Embora em Portugal, como em outros contextos, a GeoAI ainda enfrente certa resistência, este campo revela aplicações promissoras em diversas subáreas da geografia humana quantitativa. Entre estas, destacam-se as dimensões culturais, económicas, políticas, históricas, urbanas, sociais, ambientais e de transportes, entre outras (Vale, Ferreira, & Rodrigues, 2024). Estas aplicações evidenciam o potencial da GeoAI para abordar questões críticas, como as dinâmicas populacionais e a sustentabilidade urbana (Wang et al., 2024). Neste seguimento, as geografias digitais (re)emergem como um campo que explora as implicações sociais, culturais e económicas das tecnologias digitais na geografia. Num mundo cada vez mais digital, tornam-se evidentes os impactos das ferramentas digitais e da IA na forma como entendemos e interagimos com o espaço. As geografias digitais oferecem uma perspetiva crítica sobre como as tecnologias digitais moldam as interações humanas e o espaço e como são capazes de refletir as complexas interações entre humanos e ambientes tecnológicos. Questões como a governança de dados, as desigualdades digitais e os impactos das plataformas digitais no espaço urbano são centrais para este campo de estudo.

Além disso, as geografias digitais permitem analisar como a digitalização redefine os conceitos de espaço e lugar, transformando as nossas percepções e experiências (Tenedório & Rocha, 2018; Viana, Abrantes, & Rocha, 2019). Por exemplo, a ubiquidade de tecnologias móveis e redes sociais altera significativamente a forma como interagimos e vivemos o espaço (Encalada, Ferreira, Boavida-Portugal, & Rocha, 2019; Encalada, Ferreira, Rocha, & Boavida-Portugal, 2018). Esta abordagem é especialmente relevante em contextos de rápida urbanização e digitalização, onde fenómenos como gentrificação digital, turismo mediado por plataformas e planeamento urbano baseado em dados emergem como tópicos centrais (Betco & Rocha, 2024b, 2024a).

Neste cenário, a GeoAI atua como um elemento central, transformando dados em conhecimento espacial aplicável. Seja na análise da evolução de fenómenos urbanos, no mapeamento de riscos ambientais ou na melhoria da acessibilidade em cidades inteligentes, a integração entre IA, geografia, geomática, geocomputação e geografias digitais oferece uma abordagem interdisciplinar e integrada para enfrentar os desafios contemporâneos. Estas áreas não apenas convergem, mas complementam-se mutuamente, promovendo avanços significativos na ciência geográfica e ampliando a sua aplicação prática. Ao destacar o papel crítico da GeoAI, estas abordagens contribuem para uma compreensão aprofundada de fenómenos naturais e antrópicos, oferecendo soluções inovadoras e baseadas em dados para problemas globais (Usery et al., 2022).

Apesar dos avanços significativos, a GeoAI ainda enfrenta desafios importantes. Um dos principais entraves é a falta de integração com os contextos metodológicos das ciências geográficas, o que pode comprometer a eficiência e a relevância das soluções de GeoAI (Scheider & Richter, 2023). Para superar este problema, é necessário adotar uma abordagem pragmática que combine avanços tecnológicos com uma compreensão mais profunda dos contextos geográficos. Outro desafio crítico reside nas limitações de estudos em geografia humana, que necessitam de modelos de GeoAI capazes de lidar com a complexidade, monitorizar comportamentos humanos e explorar relações não-lineares entre os comportamentos e os seus determinantes (Wang et al., 2024). Estes modelos são fundamentais para avançar o conhecimento e aprimorar a prática na interface entre humanos e ambiente, permitindo soluções mais robustas e aplicáveis em contextos reais. Adicionalmente, os países em desenvolvimento enfrentam limitações significativas, como o acesso a tecnologias avançadas e dados geoespaciais de alta qualidade, agravando desigualdades tecnológicas e científicas. Além disso, os sistemas de GeoAI, quando treinados com dados enviesados, podem perpetuar preconceitos e desigualdades, reforçando as disparidades já existentes.

Um dos conceitos mais frequentemente mencionados na literatura é o da "caixa negra", que surge como uma preocupação central no uso da GeoAI, frequentemente criticada devido à sua opacidade. Este termo descreve modelos complexos, como redes neurais profundas, cujos mecanismos internos são difíceis de interpretar pelos utilizadores. Esta falta de transparência constitui um obstáculo significativo à confiança e à adoção da GeoAI, particularmente em áreas críticas como a saúde, onde decisões pouco compreendidas podem acarretar graves consequências (Gerlach, Hoppe, Jagels, Licker, & Breitner, 2022; Mersha, Lam, Wood, AlShami, & Kalita, 2024; Meske, Abedin, Klier, & Rabhi, 2024; Moradi & Samwald, 2021; Yen, Wu, & Chen, 2023).

A Inteligência Artificial Explicável (*Explainable AI* - xAI) surge como uma abordagem inovadora para enfrentar o desafio da "caixa negra", tornando os processos de decisão da IA, especialmente no contexto da GeoAI, mais transparentes e compreensíveis. Esta transparência é essencial para promover a confiança dos utilizadores ao fornecer explicações claras sobre como as decisões são tomadas (Gaurav & Tiwari, 2023). A xAI permite que os utilizadores compreendam como os modelos GeoAI processam e analisam dados complexos, o que aumenta a confiança em decisões críticas. Ao identificar preconceitos nos modelos, a xAI promove maior equidade em aplicações como planeamento urbano e alocação de recursos. Explicações claras sobre os modelos podem facilitar a aceitação de tecnologias GeoAI por decisores políticos e comunidades.

Compreender as operações internas dos modelos é fundamental, pois permite esclarecer dúvidas, identificar possíveis erros e garantir níveis adequados de responsabilização (Kuk, Bobek, & Nalepa, 2022; Letrache & Ramdani, 2023). Em aplicações de alto risco, como diagnósticos médicos, esta clareza é indispensável (Aljalaud & Hosny, 2024). Além disso, a xAI contribui significativamente para a justiça, ao possibilitar a identificação e mitigação de preconceitos embutidos nos modelos. Esta característica tem levado os seus algoritmos a serem conhecidos como "modelos agnósticos" devido à sua capacidade de operar de forma neutra e imparcial (Avinash et al., 2024; Viana, Santos, Freire, Abrantes, & Rocha, 2021).

Para alcançar os objetivos da xAI, diversas abordagens foram desenvolvidas e adaptadas a diferentes necessidades e contextos. Métodos independentes da estrutura do modelo, como LIME (*Local Interpretable Model-agnostic Explanations*) e SHAP (*SHapley Additive exPlanations*), oferecem explicações claras sem depender diretamente do funcionamento interno dos modelos (Kim & Joe, 2024; Salih et al., 2024). Outra abordagem consiste na utilização de modelos substitutos mais simples, que imitam o comportamento de modelos complexos para facilitar sua interpretação (Kim & Joe, 2024). Métodos baseados em perturbações, que alteram os dados de entrada para observar as mudanças nas saídas, permitem inferir a

lógica subjacente aos modelos. Adicionalmente, as técnicas baseadas em regras geram explicações fundamentadas em padrões frequentes de determinadas características, tornando previsões complexas mais compreensíveis (Moradi & Samwald, 2021).

Apesar destes avanços, a xAI enfrenta desafios significativos. As explicações precisam ser simultaneamente precisas e acessíveis, o que frequentemente exige um equilíbrio entre a interpretabilidade e a exatidão do modelo, já que simplificações excessivas podem comprometer a qualidade das previsões (Botari, Izbicki, & de Carvalho, 2020; Ghassemi, Oakden-Rayner, & Beam, 2021). Outro obstáculo é a necessidade de adaptar as explicações às diferentes partes interessadas, como programadores, utilizadores finais e reguladores, cada um com requisitos específicos de clareza e detalhe (Yen et al., 2023). Em alguns casos, as explicações geradas podem ser ambíguas ou suscetíveis a interpretações erradas, especialmente por utilizadores sem formação técnica. Além disso, implementar a xAI em sistemas de GeoAI pode aumentar significativamente os requisitos computacionais, elevando os custos operacionais.

Para o futuro, a GeoAI deve avançar na construção de abordagens interdisciplinares e colaborativas, aproveitando as tecnologias emergentes para enfrentar problemas globais como a sustentabilidade urbana, os impactos das alterações climáticas e a desigualdade digital. Assim, este campo não apenas redefinirá o entendimento do espaço, mas também terá um papel crucial na criação de soluções inovadoras e informadas por dados para um mundo em constante transformação.

## Referências

- Ahmad, M., Zahid, R., & Khan, K. M. (2024). From Data to Insights: Harnessing GeoAI for Informed Decision-Making in Healthcare. In J. Gomathi Sankar & A. David (Eds.), *Generative AI and Implications for Ethics, Security, and Data Management* (pp. 350–380). Hershey, PA, USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8557-9.ch012>
- Aljalaud, E., & Hosny, M. (2024). Counterfactual Explanation of AI Models Using an Adaptive Genetic Algorithm With Embedded Feature Weights. *IEEE Access*, 12, 74993–75009. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404043>
- Avinash, A., Harikumar, A., Nair, A., Pai, S. K., Surendran, S., & George, L. (2024). A Comparison of Explainable AI Models on Numeric and Graph-Structured Data. *Procedia Computer Science*, 235, 926–936. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.088>
- Barnes, T. J., & Wilson, M. W. (2014). Big Data, social physics, and spatial analysis: The early years. *Big Data & Society*, 1(1), 2053951714535365. <https://doi.org/10.1177/2053951714535365>
- Betco, I., & Rocha, J. (2024a). A relação entre o ambiente urbano e o bem-estar: Análise em Lisboa, Portugal, utilizando redes sociais. *Revista Cartográfica*, (108 SE-Artículos), 7–28. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i108.4496>
- Betco, I., & Rocha, J. (2024b). Análise de sentimento em ambiente urbano, edificado ou cidadão: Análise bibliométrica, 2009-2023. *Finisterra*, 59(126 SE-Artigos), e33812. <https://doi.org/10.18055/Finis33812>

- Birkin, M. (2009). *Geocomputation* (R. Kitchin & N. B. T.-I. E. of H. G. Thrift, Eds.). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00444-2>
- Botari, T., Izbicki, R., & de Carvalho, A. C. P. L. F. (2020). Local interpretation methods to machine learning using the domain of the feature space. *Communications in Computer and Information Science*, 1167 CCIS, 241–252. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43823-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43823-4_21)
- Chauhan, L. P. S., & Shekhar, S. (2021). GeoAI - Accelerating a virtuous cycle between AI and Geo. *ACM International Conference Proceeding Series*, 355–370. <https://doi.org/10.1145/3474124.3474179>
- Conte, R., Gilbert, N., Bonelli, G., Cioffi-Revilla, C., Deffuant, G., Kertesz, J., ... Helbing, D. (2012). Manifesto of computational social science. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 325–346. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01697-8>
- Couclelis, H. (1986). Artificial intelligence in geography: Conjectures on the shape of things to come. *Professional Geographer*, 38(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1986.00001.x>
- Encalada-Abarca, L., Boavida-Portugal, I., Cardoso Ferreira, C., & Rocha, J. (2017). Identifying Tourist Places of Interest Based on Digital Imprints: Towards a Sustainable Smart City. *Sustainability*, Vol. 9. <https://doi.org/10.3390/su9122317>
- Encalada-Abarca, L., Ferreira, C. C., & Rocha, J. (2022). Measuring Tourism Intensification in Urban Destinations: An Approach Based on Fractal Analysis. *Journal of Travel Research*, 61(2), 394–413. <https://doi.org/10.1177/0047287520987627>
- Encalada-Abarca, L., Ferreira, C. C., & Rocha, J. (2023). Revisiting city tourism in the longer run: an exploratory analysis based on LBSN data. *Current Issues in Tourism*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/13683500.2023.2182669>
- Encalada, L., Ferreira, C. C., Boavida-Portugal, I., & Rocha, J. (2019). Mining Big Data for Tourist Hot Spots: Geographical Patterns of Online Footprints. In K. Koutsopoulos, R. de Miguel González, & K. Donert (Eds.), *Geospatial Challenges in the 21st Century* (pp. 99–123). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04750-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04750-4_6)
- Encalada, L., Ferreira, C. C., Rocha, J., & Boavida-Portugal, I. (2018). Geographical Patterns in the Tourist City: GIS for Spatiotemporal Analysis. In S. Chaudhuri & N. Ray (Eds.), *GIS Applications in the Tourism and Hospitality Industry* (pp. 76–97). Hershey, PA, USA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5088-4>
- Fontanella, S., & Xiao, N. (2018). 1.02 - Geocomputation: Data, Methods, and Applications in a New Era (B. B. T.-C. G. I. S. Huang, Ed.). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09600-7>
- Gao, S. (2020). A Review of Recent Researches and Reflections on Geospatial Artificial Intelligence. *Wuhan Daxue Xuebao (Xinxi Kexue Ban)/Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 45(12), 1865–1874. <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200597>
- Gaurav, D., & Tiwari, S. (2023). Interpretability Vs Explainability: The Black Box of Machine Learning. *ICCoSITE 2023 - International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering: Digital Transformation Strategy in Facing the VUCA and TUNA Era*, 523–528. <https://doi.org/10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127717>
- Gerlach, J., Hoppe, P., Jagels, S., Licker, L., & Breitner, M. H. (2022). Decision support for efficient XAI services - A morphological analysis, business model archetypes, and a decision tree. *Electronic Markets*, 32(4), 2139–2158. <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00603-6>
- Ghassemi, M., Oakden-Rayner, L., & Beam, A. L. (2021). The false hope of current approaches to explainable artificial intelligence in health care. *The Lancet Digital Health*, 3(11), e745–e750. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00208-9)
- Kim, H., & Joe, I. (2024). Explainability Improvement Through Commonsense Knowledge Reasoning. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 910 LNNS, 259–277. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53552-9\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53552-9_24)

- Kuk, M., Bobek, S., & Nalepa, G. J. (2022). Comparing Explanations from Glass-Box and Black-Box Machine-Learning Models. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 13352 LNCS, 668–675. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08757-8\\_55](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08757-8_55)
- Letrache, K., & Ramdani, M. (2023). Explainable Artificial Intelligence: A Review and Case Study on Model-Agnostic Methods. *Proceedings - SITA 2023: 2023 14th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications*. <https://doi.org/10.1109/SITA60746.2023.10373722>
- Li, W., & Hsu, C.-Y. (2022). GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/ijgi11070385>
- Li, Y., Xu, Z., Liu, Y., Zhang, Y., & Sun, F. (2024). AI for geographical sciences: The frontiers. *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica*, 79(10), 2409–2424. <https://doi.org/10.11821/dlxb202410001>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4th ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- Mersha, M., Lam, K., Wood, J., AlShami, A. K., & Kalita, J. (2024). Explainable artificial intelligence: A survey of needs, techniques, applications, and future direction. *Neurocomputing*, 599. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128111>
- Meske, C., Abedin, B., Klier, M., & Rabhi, F. A. (2024). Introduction to the Minitrack on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 1285–1286. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85199775875&partnerID=40&md5=d77cf28baa9673241169a369d0b1dfb3>
- Miller, H. J. (2017). Geographic information science II: Mesogeography: Social physics, GIScience and the quest for geographic knowledge. *Progress in Human Geography*, 42(4), 600–609. <https://doi.org/10.1177/0309132517712154>
- Miller, H. J., & Goodchild, M. F. (2015). Data-driven geography. *GeoJournal*, 80(4), 449–461. <https://doi.org/10.1007/s10708-014-9602-6>
- Miller, H. J., & Tolle, K. (2016). Big Data for Healthy Cities: Using Location-Aware Technologies, Open Data and 3D Urban Models to Design Healthier Built Environments. *Built Environment*, Vol. 42, pp. 441–456. <https://www.ingentaconnect.com/content/alex/benv/2016/00000042/00000003/art00011>
- Mohamad Alshiha, A. A. (2024). A Review of the Integration Between Geospatial Artificial Intelligence and Remote Sensing. *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 5(3), 252–262. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2024.05.03.013>
- Moradi, M., & Samwald, M. (2021). Post-hoc explanation of black-box classifiers using confident itemsets. *Expert Systems with Applications*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113941>
- Pierdicca, R., & Paolanti, M. (2022). GeoAI: a review of artificial intelligence approaches for the interpretation of complex geomatics data. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 11(1), 195–218. <https://doi.org/10.5194/gi-11-195-2022>
- Pollock, K. (2016). Policy: Urban physics. *Nature*, 531, S64. <https://doi.org/10.1038/531S64a>
- Rezvani, S. M. H. S., Gonçalves, A., Silva, M. J. F., & de Almeida, N. M. (2024). Smart hotspot detection using geospatial artificial intelligence: A machine learning approach to reduce flood risk. *Sustainable Cities and Society*, 115, 105873. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105873>
- Salih, A. M., Raisi-Estabragh, Z., Galazzo, I. B., Radeva, P., Petersen, S. E., Lekadir, K., & Menegaz, G. (2024). A Perspective on Explainable Artificial Intelligence Methods: SHAP and LIME. *Advanced Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/aisy.202400304>

- Scheider, S., & Richter, K.-F. (2023). Pragmatic GeoAI: Geographic Information as Externalized Practice. *KI - Kunstliche Intelligenz*, 37(1), 17–31. <https://doi.org/10.1007/s13218-022-00794-2>
- Tenedório, J. A., & Rocha, J. (2018). Introductory Chapter: Spatial Analysis, Modelling, and Planning. In J. Rocha & J. A. Tenedório (Eds.), *Spatial Analysis, Modelling and Planning* (pp. 1–11). Amsterdam, Netherlands: IntechOpen.
- Usery, E. L., Arundel, S. T., Shavers, E., Stanislawski, L., Thiem, P., & Varanka, D. (2022). GeoAI in the US Geological Survey for topographic mapping. *Transactions in GIS*, 26(1), 25–40. <https://doi.org/10.1111/tgis.12830>
- Vale, M., Ferreira, D., & Rodrigues, N. (2024). Introduction: Critical Perspectives on the Geographies of the Platform Economy BT - *Geographies of the Platform Economy: Critical Perspectives* (M. Vale, D. Ferreira, & N. Rodrigues, Eds.). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53594-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53594-9_1)
- Viana, C. M., Abrantes, P., & Rocha, J. (2019). Introductory Chapter: Geographic Information Systems and Science. In P. Abrantes & J. Rocha (Eds.), *Geographic Information Systems and Science* (p. Ch. 1). Rijeka: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86121>
- Viana, C. M., Encalada, L., & Rocha, J. (2019). The value of OpenStreetMap historical contributions as a source of sampling data for multi-temporal land use/cover maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/ijgi8030116>
- Viana, C. M., Girão, I., & Rocha, J. (2019). Long-term satellite image time-series for land use/land cover change detection using refined open source data in a rural region. *Remote Sensing*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/rs11091104>
- Viana, C. M., & Rocha, J. (2020). Evaluating Dominant Land Use/Land Cover Changes and Predicting Future Scenario in a Rural Region Using a Memoryless Stochastic Method. *Sustainability*, Vol. 12. <https://doi.org/10.3390/su12104332>
- Viana, C. M., Santos, M., Freire, D., Abrantes, P., & Rocha, J. (2021). Evaluation of the factors explaining the use of agricultural land: A machine learning and model-agnostic approach. *Ecological Indicators*, 131, 108200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108200>
- Wang, S., Huang, X., Liu, P., Zhang, M., Biljecki, F., Hu, T., ... Bao, S. (2024). Mapping the landscape and roadmap of geospatial artificial intelligence (GeoAI) in quantitative human geography: An extensive systematic review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103734>
- Wang, Y., & Zhu, D. (2024). A hypergraph-based hybrid graph convolutional network for intracity human activity intensity prediction and geographic relationship interpretation. *Information Fusion*, 104, 102149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102149>
- Wang, Z., & Brenning, A. (2023). Unsupervised active-transfer learning for automated landslide mapping. *Computers & Geosciences*, 181, 105457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2023.105457>
- Yen, A.-Z., Wu, C.-K., & Chen, H.-H. (2023). Opportunities and challenges of explainable artificial intelligence in medicine: toward causability for physicians, developers, and patients. In *Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Precision Medicine in Liver Diseases: Concept, Technology, Application and Perspectives* (pp. 281–307). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99136-0.00009-X>
- Zou, L., Mostafavi, A., Zhou, B., Lin, B., Mandal, D., Yang, M., ... Cai, H. (2023). GeoAI for Disaster Response. In *Handbook of Geospatial Artificial Intelligence* (pp. 287–304). CRC Press.

## Integração da Inteligência Artificial em estudos geográficos: oportunidades e desafios



### Joaquim PATRIARCA

Estudante de Doutoramento em Engenharia Informática, Departamento de Engenharia Informática; Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores; Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal; [jpatriarca2124@gmail.com](mailto:jpatriarca2124@gmail.com);

**Resumo:** Nos últimos anos, registou-se um grande desenvolvimento dos algoritmos e plataformas que recorrem à Inteligência Artificial (IA). Neste contexto, importa perceber qual a importância, utilidade e interesse das técnicas baseadas em IA para a Geografia. A IA, no geral, e as técnicas de *machine learning* (ML), em particular, podem ser aplicadas a vários subdomínios da Geografia. No entanto, a operacionalização de modelos ML exige conhecimentos avançados relacionados com ciência de dados e informática (e.g., instalação e configuração avançada de software, programação, *feature engineering*, conhecimento sobre diferentes algoritmos de classificação, etc.). Assim sendo, para a Geografia tirar partido do grande volume de dados geoespaciais e dos avanços tecnológicos relacionados com a IA, os Geógrafos devem promover a formação de equipas multidisciplinares que incluem especialistas em ciências geográficas, informáticos e especialistas em ciência dos dados, bem como promover a formação de nível superior em ciência de dados geoespaciais.

**Palavras-chave:** inteligência artificial; geografia; *machine learning*; interdisciplinaridade

Em novembro de 2022, a OpenAI lançou o ChatGPT, um *chatbot* que usa processamento de linguagem natural e *deep learning* para permitir que humanos conversem com um “robô” através de linguagem natural. Esta tecnologia pode ser aplicada a um conjunto diverso de tarefas, tais como: escrever e testar código de um programa informático; traduzir textos; resumir conteúdos; obter informação sobre conceitos técnicos; ou resolver problemas matemáticos complexos. Desde então, surgiram outras plataformas, como o Gemini da Google, o PerplexityAI, ou o CoPilotAI da Microsoft. Estas plataformas têm tido um impacto muito significativo no modo como realizamos várias tarefas do dia-a-dia. Mas que relevância têm para a Geografia? Que benefícios os *chatbots* e, no geral, a Inteligência Artificial (IA) podem trazer para os estudos sobre o espaço geográfico? Este texto tem como propósito apresentar e discutir os aspetos positivos da integração da IA no trabalho do Geógrafo, bem como os desafios que isso acarreta.

Os *chatbots* não são nem mais, nem menos, importantes para a Geografia do que para a Biologia, Antropologia, História ou Psicologia. Tal como qualquer outro profissional, o Geógrafo pode e deve usar tecnologias como o *ChatGPT* para acelerar processos de trabalho. Na realidade, a questão essencial não é saber se os *chatbots* devem ser usados ou não. Não usar estas plataformas seria como ignorar a *Internet/Web*, os motores de busca, como o da Google, ou qualquer outra inovação tecnológica. Claro que os *chatbots* têm um lado negativo, muito associado a utilizações indevidas, porém o problema não é da tecnologia, mas sim das pessoas que a usam de um modo reprovável. Por exemplo, um jovem aluno que use o *ChatGPT* para fazer batota num projeto da escola, se não dispusesse desse meio, provavelmente arranjaria outra forma de trapacear. Aqui, o desafio é educativo, os indivíduos, nomeadamente a população estudante, deve entender que a má utilização destes sistemas acarreta consequências negativas para eles próprios e, em última instância, para a sociedade.

Portanto, o que interessa discutir realmente é se a Geografia retira, ou não, proveito do que a IA tem a oferecer para além das plataformas tipo *ChatGPT*. Após o lançamento do *ChatGPT*, a IA ganhou destaque na opinião pública, apesar de não ser algo novo, basta lembrar que o Teste de Turing foi proposto na década de 50 do século XX. Há muitos anos que diferentes profissionais e cientistas recorrem à IA para executar as suas atividades. É muito do que gravita neste universo interessa à Geografia.

A IA é um ramo das ciências da computação que tem como objetivo desenvolver máquinas capazes de executar tarefas que normalmente exigem inteligência humana. Trata-se de um ramo abrangente que inclui diferentes subdomínios, como a robótica, *machine learning* (ML), ou *computer vision*. Entre os vários subdomínios, o ML é o ramo com o foco no desenvolvimento de algoritmos e modelos capazes de identificar padrões num conjunto de dados e aprender com

eles, de modo a executar tarefas sem terem de ser reprogramados ou adaptados em função do contexto de aplicação. Isto quer dizer que o mesmo algoritmo pode ser usado, tanto para detetar fraudes bancárias, como para determinar a probabilidade de ocorrência de incêndios num determinado lugar e tempo.

As técnicas de ML podem ser usadas para classificar conjuntos de dados, fazer previsões ou produzir conteúdo inédito. Plataformas como o ChatGPT implementam este último tipo de técnica, o *chatbot* fornece respostas inéditas ao utilizador, tendo por base informação disponível na Internet, que é usada para treinar o modelo. Assim sendo, uma solicitação feita e respondida hoje pode gerar um resultado diferente se for repetida amanhã. Os modelos generativos podem ser de grande utilidade em questões que envolvem dados geoespaciais. Por exemplo, existem trabalhos nos quais se aplicam estes modelos com o objetivo de corrigir imagens Sentinel-2 através da remoção de nuvens e atribuição dos valores esperados numa situação de “céu limpo”; há também registo de experiências que têm como objetivo transformar imagens Sentinel-2 em imagens de muito alta resolução espacial. Apesar de pertinentes, estes casos de aplicação não são propriamente problemas de Geografia, embora esta possa beneficiar com os seus resultados. À Geografia interessam sobretudo as técnicas de ML para classificação de dados, regressão estatística e previsão de cenários futuros, as quais podem ser usadas em vários subdomínios da Geografia:

- Geografia da saúde: identificar que determinantes da saúde mais contribuem para os resultados em saúde (mortalidade e morbilidade);
- Riscos naturais: cálculo da perigosidade ou suscetibilidade de ocorrência de incêndios florestais, inundações, movimentos de vertente, entre outros;
- Fitogeografia: identificar áreas com maior aptidão para a instalação de espécies invasoras;
- Topofilia: estudar os tipos de sensações e perceções que os indivíduos têm sobre os lugares que frequentam;
- Estudos de impacto ambiental: mapear a distribuição de partículas poluentes;
- Climatologia: prever cenários climáticos futuros;
- Planeamento e ordenamento do território: análise da variação do uso e ocupação do solo ao longo do tempo e previsão de cenários futuros;
- Geografia dos transportes: ajuste de redes de transportes públicos com base no perfil pessoal e geográfico (territorialidades) da população;
- entre outros.

Ao argumento das aplicações junta-se o da disponibilidade diária de novos dados geoespaciais. Na última década, assistiu-se à consolidação da big geospatial data, consequência do aumento exponencial do volume, qualidade e diversidade de dados geográficos de acesso livre e gratuito (e.g., plataformas de informação geográfica voluntária como o OpenStreetMap; redes sociais como o Facebook ou o Flickr; missões como as Sentinel, adoção de políticas que obrigam os órgãos dos

estados europeus a disponibilizar os seus dados, etc.). A *big geospatial data* apresenta-se como uma oportunidade sem precedentes para produzir mais e melhor informação sobre o espaço geográfico. A análise integrada do grande volume de dados disponível exige, por um lado, a disponibilidade de máquinas com grande capacidade computacional, e, por outro lado, o recurso a técnicas de ML. Assim, o Geógrafo, para tirar total partido da *big geospatial data*, deve recorrer às técnicas de ML.

Não obstante, o exposto não quer dizer que os procedimentos baseados em ML vão resolver todos os problemas da análise geográfica, ou que devem substituir as técnicas tradicionais. Pelo contrário, as metodologias ML podem servir como complemento das metodologias clássicas, sendo particularmente úteis em problemas que envolvem maior complexidade ou um elevado número de variáveis. Quando se trabalha em modelação geoespacial, é frequente ouvir-se a frase “Todos os modelos estão errados...” de George Box. Esta frase aplica-se a qualquer modelo, envolva técnicas de ML ou não, pelo que, para se produzirem modelos úteis, é indispensável avaliar quais os algoritmos mais adequados para dar resposta a uma determinada questão. Muitas vezes, os modelos ML podem causar mais problemas do que aqueles que resolvem, nomeadamente quando acrescentam complexidade ao processo de análise sem tal ser necessário.

Apesar das vantagens claras para a Geografia, e ao contrário do que acontece noutros países, em Portugal, o uso de ML nas análises executadas por Geógrafos não parece ser algo generalizado. É verdade que existem trabalhos desenvolvidos por Geógrafos em que se recorreu a modelos de ML. Não obstante, se se considerarem todos os trabalhos em que se poderia ter usado ML, não se pode dizer que o seu emprego seja a situação mais frequente. Vários fatores podem justificar isto.

Por um lado, grande parte dos problemas típicos de ML exigem conhecimentos de pelo menos uma linguagem de programação. Vários *software* SIG incluem ferramentas de ML e permitem que não-programadores as usem. Todavia, de um modo geral, estas ferramentas apresentam limitações e colocam constrangimentos. Muitas vezes, os parâmetros disponíveis na ferramenta SIG não correspondem à totalidade de parâmetros possíveis (a parametrização dos modelos ML é um fator decisivo no seu sucesso); também constitui um constrangimento, o facto de algumas ferramentas só funcionarem com dados raster, o que inviabiliza o seu emprego quando os dados em análise estão organizados em tabelas associadas a geometrias. Este tipo de problema não se coloca quando se utilizam, por exemplo, bibliotecas Python que implementam várias técnicas de ML, como o Scikit-Learn, PyTorch ou TensorFlow. A estes acrescem os problemas relacionados com instalação e configuração do *software* necessário. Normalmente, a instalação e configuração de todas as bibliotecas necessárias para implementação de metodologias ML sobre dados geoespaciais pode ser uma tarefa morosa para os

utilizadores que não utilizam o computador para desenvolvimento de *software*. Isto é particularmente verdade quando a solução é baseada exclusivamente em *software* livre e ou de código aberto.

Ao mesmo tempo, para se usar ML, é necessário estudar, aprofundar e conhecer vários aspetos e detalhes inerentes a este subdomínio da IA. Quando se utilizam métodos supervisionados para classificação de dados é necessário criar um conjunto de dados que vão ser usados para treinar o classificador, o que implica o estabelecimento de um protocolo para recolha de dados de treino. A constituição deste dataset implica conhecimentos técnicos, relacionados, por exemplo, com: *sampling design*; instalação e controlo de sensores físicos; controlo da qualidade dos dados de treino (análise de separabilidade, *outlier detection*, etc.). São também necessários conhecimentos de *Feature Engineering*, cujas técnicas são essenciais para aumentar o poder explicativo de um modelo de ML. Para além disso, importa conhecer os vários classificadores e regressores disponíveis, saber como funcionam e como aprendem com o treino, de maneira a identificar os mais adequados para o problema em análise. Por fim, tem de se saber como validar os resultados produzidos pelos modelos de ML através da sua comparação com dados reais, adquiridos normalmente através de observação. Adquirir estes conhecimentos é uma tarefa morosa, exige muitas horas de trabalho e estudo. Um Geógrafo, para se especializar em Geomorfologia ou Fitogeografia, tem de gastar quase todo o seu tempo de trabalho nisso. O mesmo acontece com um Engenheiro Informático ou Cientista de Dados que se especializa em ML. Isto faz com seja impraticável dominar conceitos avançados e complexos da Geografia e da Ciência de Dados.

Então, como se pode facilitar a integração das técnicas de ML nos estudos da Geografia? Num mundo ideal, os Geógrafos não deviam ter de se preocupar com a implementação de modelos de ML, mas sim com a proposta de estratégias, ações ou políticas sobre o território, baseadas ou derivadas da informação produzida por especialistas em ML, que, por seu turno, devem ter em consideração orientações e recomendações dos primeiros. Idealmente, o Geógrafo deve promover a criação de equipas multidisciplinares que incluam geógrafos, engenheiros informáticos e especialistas em ciência dos dados. Isto contribuirá para aumentar a celeridade e qualidade dos estudos sobre o território, mas também servirá como modo de afirmação e valorização da classe profissional. São conhecidos casos em que profissionais, com formação em áreas não relacionadas com as ciências geográficas, desenvolvem estudos com uma dimensão geográfica, ignorando características, dados e relações (topológicas ou euclidianas) relevantes sobre os elementos do território. Na maior parte dos casos, esses profissionais não sabem que os Geógrafos estudam aquele tipo de problemática e que podem fornecer informações úteis e pertinentes. A interdisciplinaridade apresenta-se como a resposta à questão colocada no início do parágrafo.

Nesta linha, ao nível da formação superior, os vários departamentos de Geografia

devem promover e contribuir para a formação de cientistas de dados geoespaciais, que posteriormente poderão integrar estas equipas multidisciplinares. Ao contrário de outros países, Portugal não possui uma oferta rica de cursos de ensino superior relacionados com engenharia geoespacial, ciência de dados geoespaciais ou geoinformática. Provavelmente, isso acontece porque não há procura suficiente por este tipo de cursos, apesar de existirem várias instituições e empresas que procuram colaboradores com um perfil misto, que combina competências de Geografia e Informática. Hoje em dia é recorrente falar-se na necessidade de aumentar a literacia digital, financeira ou sobre questões de género, mas também é crucial desenvolver estratégias que contribuam para o aumento da literacia geoespacial. No último ano do secundário, a maior parte dos jovens que pensa no seu ingresso na universidade não faz ideia do muito e da utilidade do que pode fazer enquanto cientista de dados geoespaciais, uma área de charneira entre as Ciências Geográficas e a Ciência dos dados. De algum modo, os Geógrafos devem sensibilizar os jovens para este tipo de percurso misto, bem como apelar a outro tipo de públicos. Como se sabe, o perfil dominante do estudante de ensino superior de Geografia é o do estudante das humanidades e das ciências sociais. É natural que este tipo de aluno não se interesse muito por programação ou computadores no geral, pelo que é preciso trazer para o lado do geoespacial, os estudantes com maior interesse nas áreas das ciências da computação, mostrando-lhes o potencial de uma carreira no domínio da ciência de dados geoespaciais.

Antes de concluir, um apontamento que reforça esta ideia de interdisciplinaridade. Se se substituísse o termo ML por “programação” ou “automatização de procedimentos através de scripting”, o presente texto continuaria a fazer sentido. A cooperação da Geografia com a Informática pode trazer muito mais à Geografia do que apenas a IA ou o ML. Com a introdução da programação nos estudos geográficos, os meses passam a semanas, as semanas a dias ou a horas, e os dias a horas. A produção de centenas de cartogramas a incluir num relatório pode ser feita em poucas horas, se o processo manual de produção dessa representação gráfica for substituído por um programa Python. Mais uma vez, a Geografia não deve deixar ser Geografia, o Geógrafo não tem de se tornar programador, mas pode recorrer-lhe para aumentar a produtividade e ganhar tempo.

Em suma, a utilidade da IA para a Geografia vai muito além da integração dos *chatbots* nos processos de trabalho. Mesmo não sendo uma solução milagrosa, a IA, o ML, a automação e a *big geospatial data* colocam os Geógrafos perante um vasto conjunto de possibilidades, que aparentemente ainda não estão rentabilizadas. A alteração desta realidade passa pela promoção da interdisciplinaridade e da sensibilização dos mais jovens para a necessidade e procura por especialistas em ciência de dados geoespaciais, com competências relacionadas com ciências geográficas (Geografia, Geologia, Engenharia do Ambiente, etc.), engenharia informática e ciência de dados. Fazer isto acontecer não é fácil, trata-se talvez de um dos grandes desafios para a Geografia portuguesa do Século XXI.

## Afinal, como fica o ensino de Geografia na era da Inteligência Artificial?



### Max ANJOS

Climatologista Urbano e Professor Visitante da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil; [maxanhos@campus.ul.pt](mailto:maxanhos@campus.ul.pt)

**Resumo:** A Inteligência Artificial (IA) está transformando profundamente a comunicação, o acesso à informação e as formas de trabalho e aprendizagem, em uma revolução comparável ao impacto da Internet no século XX. Na educação, a IA abre um horizonte de possibilidades e desafios, redefinindo a maneira como ensinamos e aprendemos. No ensino de Geografia, o Aprendizado de Máquinas (ML), um subcampo da IA, pode ser uma abordagem aliada na compreensão de padrões socioespaciais complexos. Este texto explora como os conceitos, fundamentos e técnicas do ML, que envolve a preparação de dados até o treinamento de algoritmos, construção e avaliação de modelos, podem ser integrados ao ensino de Geografia. O objetivo é apresentar estratégias pedagógicas que aproximem, em especial, estudantes de graduação e pós-graduação das potencialidades do ML, aplicando-as a problemas reais da Geografia.

**Palavras-chave:** Ensino de Geografia, Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquinas.

## Aprendizado de Máquinas: uma sinergia entre dados e espaço

A Inteligência Artificial (IA) tem sido uma das maiores inovações tecnológicas do século XX e XXI, impactando diversas áreas do conhecimento. Em 1956, John McCarthy cunhou o termo IA e desenvolveu um programa de computador capaz de deduzir consequências lógicas a partir das informações recebidas, combinando-as com seu conhecimento prévio para agir com base em suas conclusões. Ele observou que essa habilidade se assemelha ao que chamamos de "senso comum" em certos seres humanos (Lifschitz, 2011).

Poucos anos depois, em 1959, Arthur Samuel introduziu um conceito fundamental dentro da IA, o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* – ML, em inglês), definindo-o como a capacidade de computadores "aprenderem sem serem explicitamente programados". Embora essa definição tenha sido amplamente aceita no campo da computação, sua aplicação à análise espacial apresenta desafios conceituais e metodológicos, especialmente para geógrafos que não possuem uma formação computacional sólida. A ideia de que um computador pode "aprender" sem uma programação explícita pode ser complexa e de difícil assimilação para profissionais da Geografia.

Ademais, o ML não é um campo exclusivo da Ciência da Computação. Kate Crawford, em seu livro *Atlas of AI*, sublinha que esses sistemas não são nem "inteligentes" nem "artificiais" em sentido puro (Crawford, 2021). Por trás deles, há infraestruturas energéticas que consomem recursos hídricos de regiões periféricas, trabalho humano subvalorizado (como a rotulação manual de imagens) e decisões políticas que privilegiam certas visões de mundo. Para Crawford, o ML é um fenômeno sociotécnico, entrelaçado a dinâmicas culturais, institucionais e ecológicas. Essa perspectiva é essencial para os geógrafos, pois destaca que o uso do ML não é neutro. Como qualquer ferramenta, seu emprego exige uma abordagem crítica e ética, considerando seus impactos e limitações.

Mas afinal, o que a IA e o ML têm a oferecer ao ensino e à pesquisa geográfica? O ML, em particular, surge como uma poderosa ferramenta para transformar dados brutos em *insights* espaciais, abrindo novas possibilidades para a análise geográfica. Mais do que um jargão tecnológico associado a *chatbots* ou carros autônomos, o ML pode revelar padrões ocultos em fenômenos como a expansão urbana, as mudanças climáticas e os fluxos migratórios. Portanto, tornar esse conceito acessível e aplicável é essencial para integrar o ML a uma Geografia aberta aos desafios socioambientais do século XXI.

O uso do ML no ensino de Geografia não se restringe a capacitar tecnicamente os estudantes, mas a desenvolver um olhar crítico. Significa, por exemplo, usar algoritmos para mapear comunidades vulneráveis e, ao mesmo tempo, denunciar a marginalização desses espaços; prever extremos climáticos e meteorológicos e desafiar as estruturas que os agravam. Por outro lado, utilizá-lo sem reflexão é

ignorar que até mesmo um algoritmo de classificação de imagem pode carregar vieses preconceituosos, a depender de como os dados são coletados e interpretados.

Na prática, o ML se apresenta aos geógrafos como um processador eficiente de padrões espaço-temporais. Ao combinar conceitos e ferramentas de ML com a profundidade espacial, é possível identificar relações em escalas antes inacessíveis. Ele converte imagens de satélite, indicadores socioeconômicos ou outras variáveis em relações quantitativas (números) e consegue identificar correlações não lineares em grandes volumes de dados (Géron, 2022; Chollet, 2018). Algoritmos como Florestas Aleatórias (*Random Forest*) ou redes neurais podem analisar décadas de imagens de sensoriamento remoto para quantificar a perda de vegetação ou detectar mudanças ambientais sutis. Transformar terabytes de dados em mapas de alta resolução espacial e temporal tornou-se uma tarefa frequente, que antes demandaria meses de trabalho manual (Anjos & Meier, 2025). Esses exemplos mostram que o ML, em última análise, é um eficiente aliado na compreensão dos fenômenos geográficos.

### **O ensino orientado pelos dados**

O diferencial do ML em relação às abordagens estatísticas tradicionais, sejam elas básicas ou multivariadas, está em sua capacidade de “aprender” com os dados, adaptando-se a contextos dinâmicos e complexos, inclusive geográficos. Essa característica particulariza o ensino de ML na Geografia, em que algoritmos, alunos e professores passam a aprender juntos a partir dos padrões espaciais e temporais derivados dos dados.

Os dados utilizados no ML são classificados em duas categorias principais: estruturados e não estruturados. Os primeiros são organizados em formato tabular, semelhante a uma planilha do Excel, na qual as colunas representam variáveis preditoras (como precipitação, altitude ou densidade populacional) e a variável resposta (como "probabilidade de inundação"), enquanto as linhas correspondem às observações ou instâncias (Figura 1). Esses dados tabulares são ideais para iniciar o ensino de ML, pois sua estrutura simplifica a compreensão de conceitos e fundamentos como processamento de dados, treinamento de modelos e validação de resultados.

	DisasterPreparedness	DrainageSystems	CoastalVulnerability	Landslides	Watersheds	DeterioratingInfrastructure	PopulationScore	WetlandLoss	InadequatePlanning	PoliticalFactors	FloodProbability
1	5	10	7	4	2	3	4	3	2	6	0.450
2	6	9	2	6	2	1	1	9	1	3	0.475
3	2	7	4	4	8	6	1	8	3	6	0.515
4	9	4	2	6	8	8	8	6	6	10	0.520
5	7	7	6	5	3	3	4	4	3	4	0.475
6	1	10	5	9	5	5	7	3	3	2	0.470
7	6	8	4	5	4	7	7	5	4	8	0.570
8	5	4	6	9	7	10	6	5	4	5	0.585
9	8	2	8	7	5	4	9	6	5	7	0.580
10	5	7	6	5	6	5	7	4	4	8	0.555
11	6	6	4	8	5	5	7	4	2	6	0.455
12	5	8	4	3	5	6	4	6	14	3	0.555
13	4	5	7	7	3	4	2	3	6	3	0.490
14	1	4	5	4	2	3	4	6	7	4	0.525
15	8	4	3	2	6	4	5	4	2	8	0.480
16	5	2	5	3	4	2	8	3	4	5	0.440
17	5	4	5	2	6	1	3	4	4	5	0.465
18	6	3	3	4	7	6	4	5	5	7	0.530
19	9	4	8	5	1	7	3	3	4	6	0.470
20	3	1	6	1	8	8	4	9	4	6	0.485
21	6	4	11	7	4	2	6	3	3	1	0.550
22	6	5	4	4	9	5	10	8	4	6	0.605
23	6	6	6	2	3	6	2	8	4	5	0.495
24	6	3	6	6	5	6	5	9	2	7	0.480
25	7	7	4	8	3	5	9	5	6	4	0.485
26	4	2	6	3	5	1	6	1	2	5	0.445
27	6	5	2	5	4	1	6	5	2	6	0.470
28	7	4	5	4	8	6	4	4	5	8	0.550
29	5	5	2	4	2	5	3	10	9	8	0.485
30	9	1	8	1	4	1	1	8	6	1	0.545

Figura 1 - Amostra de dados sobre a probabilidade de inundação no *software* estatístico R, utilizada para um projeto de aprendizado de máquina (ML). O data frame no R se assemelha a uma planilha do Excel, mas possui características particulares: (1) as colunas são designadas como variáveis (ou preditores), incluindo (2) a variável resposta (rotulada), e (3) as linhas representam as instâncias ou número de observações. Os dados sobre probabilidade de inundação foram extraídos da plataforma Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/naiyakhalid/flood-prediction-dataset/data>).

Os dados não estruturados, por sua vez, incluem textos, imagens, áudio e vídeos, que exigem técnicas e algoritmos avançados, como redes neurais convolucionais (para análise de imagens) e processamento de linguagem natural (para textos). Tarefas como a classificação da cobertura do solo a partir de imagens multiespectrais estão entre as aplicações do Aprendizado Profundo (*Deep Learning* – DL, em inglês).

Plataformas como o Kaggle (<https://www.kaggle.com/>) e o UCI Machine Learning Repository (<https://archive.ics.uci.edu/>) disponibilizam bancos de dados gratuitos, que podem auxiliar o acesso a recursos didáticos. Por exemplo, o famoso conjunto de dados Iris apresenta medidas das pétalas e sépalas de três espécies de flores — setosa, versicolor e virginica — e é amplamente utilizado na construção de modelos preditivos e tarefas de classificação. Já o conjunto de dados Titanic é frequentemente empregado para estudar modelos de classificação. O conjunto Iris, por exemplo, pode ser usado para discutir a relação entre biodiversidade e condições ambientais, enquanto o Titanic abre espaço para debates sobre desigualdade e divisão de classes sociais. Por fim, o banco de *dados Global Land Temperature*, disponível no Kaggle, é amplamente utilizado para analisar tendências de aquecimento global e padrões climáticos em diferentes regiões do mundo. Esses exemplos mostram como dados aparentemente genéricos podem ser contextualizados geograficamente.

## Sistemas de aprendizado de máquina

O tipo de dado e sua aplicação determinam o sistema de aprendizado, que, por sua vez, orienta o algoritmo a ser utilizado. Esses sistemas são classificados com base na forma como os algoritmos aprendem e no tipo de supervisão envolvida no treinamento. Embora existam diversas abordagens, quatro categorias principais se destacam: aprendizado supervisionado, não supervisionado, semi-supervisionado e por reforço (Géron, 2022). Para o ensino de ML, sugere-se focar inicialmente nos sistemas supervisionado e não supervisionado, devido à sua aplicabilidade prática e clareza conceitual.

No aprendizado supervisionado, o conjunto de dados utilizado para treinar o modelo inclui as respostas desejadas, representadas por uma variável-alvo (ou variável resposta). Esses dados são chamados de rotulados, pois já contém o resultado esperado. Esse tipo de aprendizado se divide em duas categorias principais: regressão e classificação. A tarefa de regressão ocorre quando a variável resposta é contínua, ou seja, pode assumir qualquer valor dentro de um intervalo. Exemplos incluem prever temperaturas, preços de imóveis, concentração de poluentes ou probabilidade de inundações. Quando o objetivo é estimar categorias, como tipos de uso do solo ou classes de vegetação, remete-se à tarefa de classificação. Alguns dos algoritmos supervisionados mais comuns são regressão linear e regressão logística, máquina de vetores de suporte (SVM), bem como os algoritmos mais avançados, como *Random Forest* e XGBoost.

No aprendizado não supervisionado, os dados de treinamento não são rotulados, ou seja, não há uma variável resposta definida. O foco está na identificação de padrões ocultos nos dados. Nesse sistema, tanto o professor quanto os alunos não sabem previamente quais padrões existem — eles são descobertos com a ajuda do algoritmo durante o processo de análise. Existem várias técnicas não supervisionadas. A Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*) é uma das mais conhecidas e usadas para identificar grupos nos dados, ao agregar variáveis com características semelhantes. Por meio da clusterização, que combina indicadores como renda, densidade populacional e qualidade do ar, os alunos podem identificar áreas com maior vulnerabilidade socioambiental.

Outra técnica não supervisionada é a redução de dimensionalidade para simplificar dados complexos, mantendo suas características essenciais. A Análise de Componentes Principais (PCA) permite reduzir dezenas de variáveis socioeconômica (renda, idade, níveis educação, raça, ofertas de empregos) a poucos componentes principais, facilitando a visualização e interpretação de padrões espaciais (Figura 2).

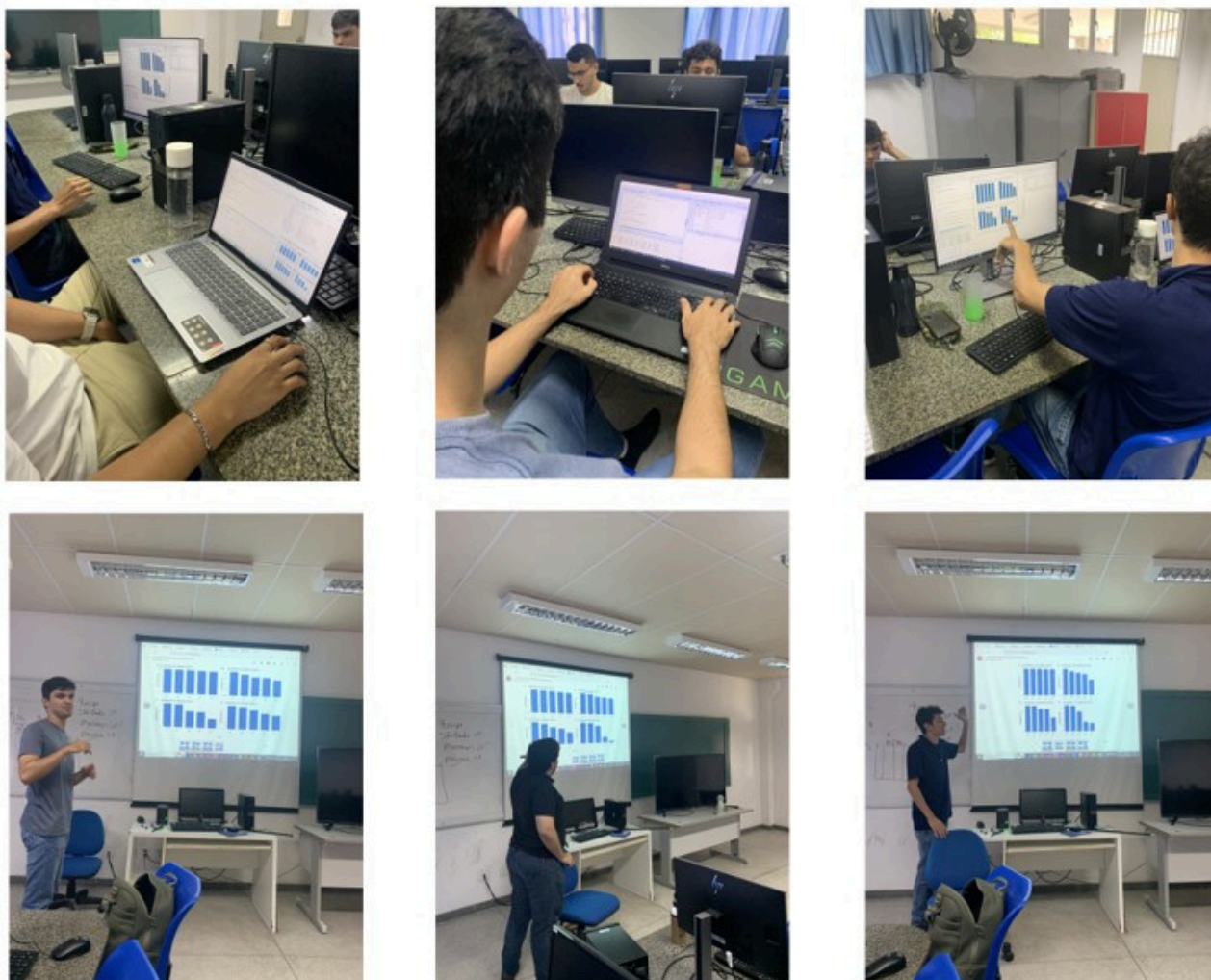


Figura 2: Participantes aplicando a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) na disciplina “Técnicas e Ferramentas de Aprendizado de Máquina Aplicadas à Análise Espacial”, ministrada no programa de pós-graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Brasil, durante o segundo semestre letivo de 2023. O curso contou com a participação de estudantes de graduação e pós-graduação da Geografia e de outros cursos, como Demografia e Engenharia Química.

### Linguagens computacionais e projeto de ML

As linguagens de programação desempenham um papel essencial como ponte entre a teoria e a prática no ML. Enquanto os sistemas de aprendizado abordam os dados para resolver problemas específicos, as linguagens computacionais são as ferramentas que tornam esse processamento possível. Elas permitem que conceitos e fundamentos do ML, tais como preparação de dados, treinamento de algoritmos, construção e avaliação de modelos, sejam incorporados pelos alunos.

Entre as linguagens mais utilizadas no ML estão Python (Python Software Foundation, 2024), R (R Core Team, 2024) e Matlab (MathWorks, 2024). O Python, por exemplo, é amplamente reconhecido por sua versatilidade e facilidade de uso, oferecendo bibliotecas como scikit-learn, TensorFlow e Keras, que atendem tanto a

iniciantes quanto a usuários avançados. Essas bibliotecas contêm coleções de funções pré-escritas que simplificam desde a preparação e o processamento de dados até o treinamento e a implementação de modelos de ML. Ferramentas como o Google Colab tornam esse processo ainda mais acessível, permitindo a execução de código diretamente na nuvem, sem a necessidade de configuração local complexa.

O R, por sua vez, é especialmente popular na análise estatística e na modelagem preditiva, destacando-se com pacotes como *tidymodels*, que oferecem uma abordagem estruturada e intuitiva para a construção e avaliação de modelos. Já o Matlab é frequentemente utilizado em aplicações de engenharia e possui um ambiente integrado com poderosas ferramentas matemáticas.

Além de suas capacidades técnicas, essas linguagens são apoiadas por comunidades ativas e colaborativas, como o Stack Overflow e fóruns especializados, onde pesquisadores e desenvolvedores compartilham códigos, soluções, exemplos práticos e boas práticas, que podem facilitar o aprendizado contínuo de ML.

No contexto da Geografia, essas linguagens desempenham um papel fundamental ao possibilitar a integração do ML com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para fins de análise espacial e temporal de fenômenos complexos. O ensino de ML para geógrafos exigirá, portanto, não apenas o domínio de conceitos estatísticos e de programação, mas também a habilidade de transformar linhas de código em análises aplicadas ao mundo real.

Na prática, um projeto de ML é desenvolvido para atender a um objetivo específico ou resolver um problema. Quais dados estão disponíveis? Como os algoritmos serão treinados? Qual é a confiabilidade dos modelos? Qual é o custo computacional envolvido? Essas questões são fundamentais para o efetivo uso de modelos de ML.

Conforme ilustrado na Figura 3, o desenvolvimento de um modelo preditivo de ML segue um fluxo de trabalho estruturado, composto por etapas interdependentes. A primeira delas é a preparação dos dados, que inclui limpeza, checagem, seleção e exploração das informações disponíveis. Em seguida, a engenharia de variáveis busca criar e transformar atributos que melhorem o desempenho do modelo. Posteriormente, ocorre a divisão dos dados, separando-os em conjuntos de treinamento e teste para garantir uma avaliação adequada do modelo. Na penúltima etapa, ocorre a fase de treinamento e ajuste de hiperparâmetros, onde o modelo aprende padrões a partir dos dados e é otimizado para alcançar melhores resultados. Uma vez treinado, o modelo passa pelo estágio de avaliação, onde algoritmos são aplicados e analisados por meio de métricas como coeficiente de correlação, precisão, *recall* e RMSE (*Root Mean Squared Error* – erro médio quadrático). Por fim, o modelo treinado e avaliado é aplicado para atender à questão em análise.

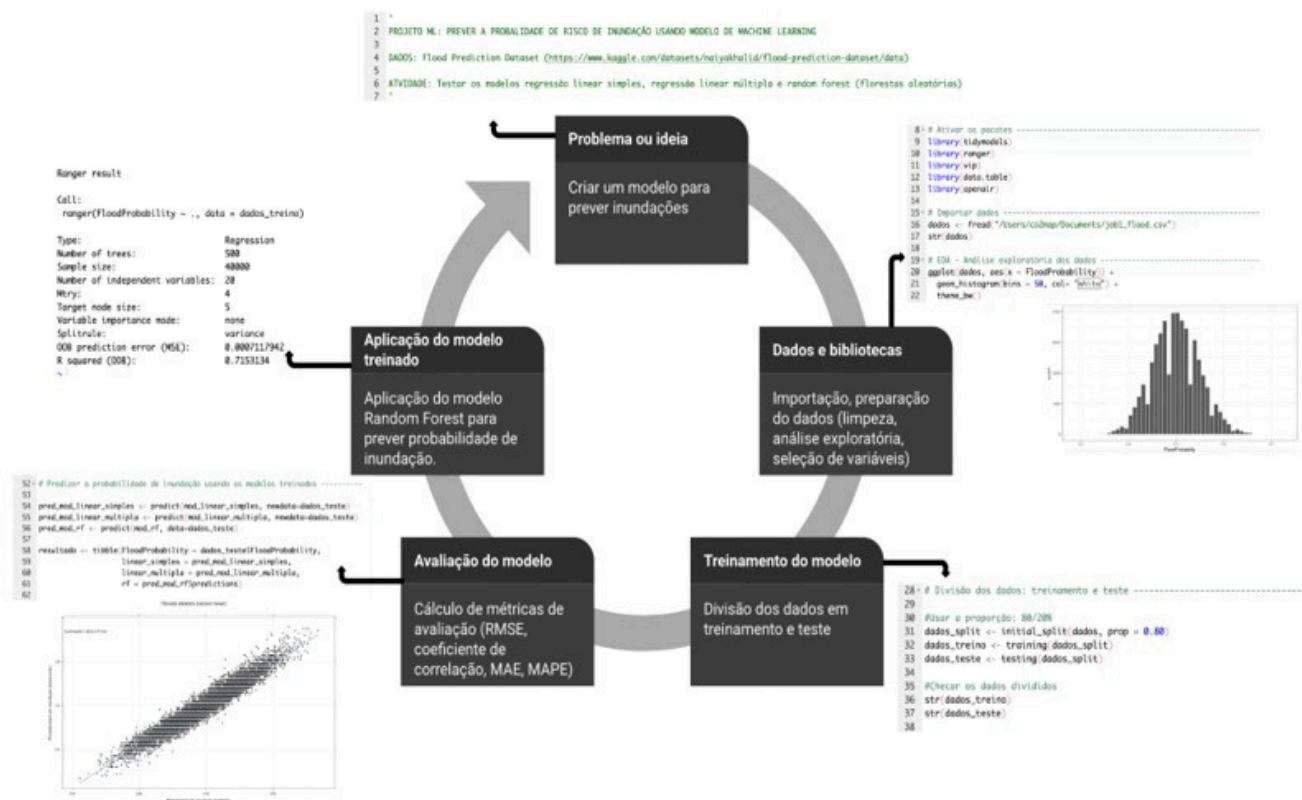


Figura 3: Fluxo de um projeto de ML usado em sala de aula. São apresentados os *scripts* em R utilizados para executar as tarefas necessárias à construção do modelo, que, neste caso, prevê a probabilidade de ocorrência de inundações. Esse modelo preditivo insere-se no contexto do aprendizado supervisionado de regressão, no qual o algoritmo aprende padrões a partir de dados históricos para realizar previsões futuras.

### Desafios e propostas para integrar o ML ao ensino de Geografia

As abordagens de ML se apresentam como um importante aliado na análise e compreensão dos fenômenos geográficos. No entanto, sua adoção no ensino de Geografia enfrenta desafios iminentes no que tange à formação docente e discente, sem desconsiderar questões como infraestrutura, disponibilidade de recursos e desigualdade de acesso digital.

O uso do ML como disciplina exigirá que professores e alunos desenvolvam competências em programação, estatística e análise de dados, o que pode representar um obstáculo para geógrafos que não tiveram uma formação sólida nessas áreas. Para superar essa barreira, torna-se essencial a atualização curricular, de modo a incluir bases teóricas e práticas que permitam a abordagem dos conceitos e fundamentos do ML. Além disso, parcerias interdisciplinares com áreas como Ciência da Computação e Estatística podem ser estratégicas para a formação de geógrafos e a criação de projetos que integrem ensino e pesquisa de maneira inovadora.

Na era da Inteligência Artificial, as linguagens de programação estão se tornando ferramentas indispensáveis para o geógrafo. Todavia, o domínio dessas tecnologias necessita de capacitação contínua. Uma estratégia eficiente para inserir o ML na formação acadêmica é a oferta de disciplinas, oficinas e minicursos sobre R e Python aplicados à Geografia, tanto na graduação quanto na pós-graduação. Essas iniciativas podem ampliar a familiaridade dos estudantes com análise de dados e algoritmos, o que permite a aplicação prática das técnicas e fundamentos do ML aos problemas reais da Geografia.

## Referências

- Anjos, M., & Meier, F. (2025). Zooming into Berlin: Tracking street-scale CO2 emissions based on high-resolution traffic modeling using machine learning. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1461656. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1461656>
- Aurélien Géron. (2022). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media, Inc.
- Chollet, F. (2018). *Deep learning with R* (J. J. Allaire, Ed.) [Book]. Manning Publications.
- Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.
- Lifschitz, V. (2011). John McCarthy (1927–2011). *Nature*, 480(7375), 40. <https://doi.org/10.1038/480040a>
- MathWorks. (2024). *MATLAB and Statistics Toolbox Release 2022b*. MathWorks.
- Python Software Foundation. (2024). *Python language reference, version 3.10*. Python Software Foundation.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.

## A Inteligência Artificial e a Geografia na Educação



### Camila Teles Fernandes Grecco PEREIRA

Universidade Metropolitana de Santos, Licenciatura em Geografia; Centro Universitário Internacional, Pós-Graduação em Gestão Escolar; Professora do Ensino Fundamental II – Prefeitura de Morungaba – SP; autora do site [www.ensinargeografia.com.br](http://www.ensinargeografia.com.br)

**Resumo:** O presente artigo tem o objetivo de levar o leitor/professor a refletir sobre o impacto da Inteligência Artificial no ensino da Geografia, analisando como essa tecnologia pode transformar a aprendizagem e promover maior interação dos alunos com o conhecimento geográfico. São discutidas as possibilidades de aplicação da IA na educação, incluindo personalização do ensino, análise automatizada de dados espaciais e uso de assistentes virtuais. Além disso, aborda-se a adoção da IA em diferentes países e o impacto das diretrizes educacionais brasileiras nesse cenário. Também são apresentados desafios, como a resistência à tecnologia, a formação docente e as restrições ao uso de dispositivos móveis em sala de aula. O artigo propõe um debate sobre a necessidade de equilibrar inovação tecnológica e pedagógica para garantir um ensino geográfico mais dinâmico e eficiente, alinhado às exigências da sociedade contemporânea.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial no Ensino de Geografia; Tecnologias Digitais na Educação Geográfica; BNCC e Cultura Digital

A revolução digital tem transformado significativamente diversas áreas do conhecimento, incluindo a educação. No contexto do ensino de Geografia, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma ferramenta capaz de otimizar processos de ensino-aprendizagem, tornando-os mais dinâmicos e personalizados. A IA facilita o acesso à informação e permite análises espaciais mais precisas e interativas, ampliando as possibilidades de compreensão do espaço geográfico pelos alunos. Diante dessa realidade, é fundamental compreender como as tecnologias baseadas em IA estão sendo aplicadas na disciplina de Geografia e como podem contribuir para um ensino de qualidade.

As metodologias tradicionais de ensino da Geografia baseavam-se predominantemente na memorização de conceitos e na utilização de materiais estáticos, como mapas físicos impressos. Entretanto, com o avanço das tecnologias digitais, novas estratégias têm sido adotadas para ampliar a interação dos estudantes com o conhecimento geográfico. A IA possibilita, por exemplo, a análise automatizada de imagens de satélite para o monitoramento de mudanças ambientais, a personalização do ensino com base nas dificuldades e habilidades dos alunos e a utilização de assistentes virtuais para fornecer retorno em tempo real.

Diferentes países têm adotado estratégias inovadoras para integrar a IA ao ensino da Geografia. Na Finlândia, por exemplo, sistemas baseados em IA são utilizados para criar experiências de aprendizagem imersivas, nas quais os alunos exploram simulações digitais de paisagens geográficas e fenômenos naturais. Já na Coreia do Sul, plataformas de aprendizagem adaptativa analisam o desempenho dos alunos e ajustam o conteúdo de acordo com suas necessidades individuais. Nos Estados Unidos, iniciativas como o uso do Google Earth Education têm sido fundamentais para ensinar conceitos espaciais de maneira interativa, utilizando IA para mapear padrões e mudanças territoriais ao longo do tempo.

No Brasil, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca a importância da cultura digital no ensino e incentiva o uso de ferramentas tecnológicas como parte do processo educativo. A IA tem potencial para contribuir com as diretrizes do contexto educacional brasileiro, promovendo um ensino de Geografia mais dinâmico. A integração de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), realidade aumentada e algoritmos de aprendizado de máquina pode transformar a sala de aula em um espaço interativo, onde os alunos podem absorver informações e participar ativamente na construção do conhecimento.

Entretanto, a inserção da IA no ensino não está isenta de desafios. Um dos debates mais recorrentes gira em torno da proibição do uso de celulares em sala de aula, uma medida já adotada em países como França e China. Embora a justificativa para tais restrições esteja relacionada à redução de distrações e ao aumento do engajamento dos alunos, essa abordagem pode limitar o potencial pedagógico dos dispositivos móveis, que podem ser aliados na implementação de ferramentas IA.

O Brasil recentemente também entrou na lista dos países que proíbem o uso de celulares, tablets e outros dispositivos conectados à Internet. O projeto de lei foi encaminhado ao Congresso Nacional e foi aprovado em 2024 com unanimidade de votos a favor da proibição. Sendo assim, as escolas brasileiras estão diante de um grande desafio a partir de 2025.

Estudos recentes indicam que a IA pode contribuir significativamente para a melhoria da aprendizagem quando utilizada de maneira estruturada e integrada ao currículo escolar. A UNESCO, por exemplo, publicou relatórios apontando que o uso de tecnologias inteligentes pode aumentar a retenção de conteúdo dos alunos, especialmente em disciplinas como Geografia, que dependem de representações gráficas e análise de dados. Além disso, pesquisas desenvolvidas por universidades internacionais demonstram que o uso de IA na educação pode melhorar a capacidade analítica dos estudantes ao permitir que eles interajam com mapas dinâmicos, simulações climáticas e modelos preditivos de urbanização.

A implementação de IA no ensino de Geografia exige, no entanto, um esforço conjunto para capacitar professores e garantir que as tecnologias sejam utilizadas de maneira eficiente. Muitos docentes que iniciaram suas carreiras antes da era digital podem enfrentar dificuldades na adaptação a essas novas ferramentas. Nesse sentido, programas de formação continuada são indispensáveis para que os professores possam incorporar a IA em suas práticas pedagógicas de forma eficaz e alinhada às diretrizes educacionais.

Projetos educacionais como as Olimpíadas Brasileiras de Geografia e a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica também podem se beneficiar da IA. Ao permitir a análise em tempo real dos padrões geográficos e a simulação de cenários futuros, essas tecnologias podem oferecer uma nova dimensão ao ensino e à pesquisa em Geografia.

Diante desse panorama, a reflexão sobre o papel da IA no ensino da Geografia se torna fundamental. A tecnologia não deve ser vista como uma substituta do professor, mas como um recurso complementar capaz de potencializar o aprendizado. Para que sua implementação seja bem-sucedida, é fundamental que haja investimentos em infraestrutura tecnológica, formação docente e desenvolvimento de conteúdos didáticos adaptados às novas realidades educacionais.

A Inteligência Artificial tem o potencial de revolucionar o ensino da Geografia, tornando-o mais dinâmico, interativo e acessível. A aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina, sistemas de georreferenciamento e plataformas digitais inteligentes pode facilitar a compreensão dos fenômenos espaciais e ambientais, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades analíticas e críticas. No entanto, para que essas tecnologias sejam plenamente aproveitadas, é necessário um planejamento cuidadoso, que leve em consideração tanto os benefícios quanto

os desafios da IA na educação. Assim, a integração equilibrada entre inovação tecnológica e pedagógica pode proporcionar um ensino de Geografia mais eficiente e alinhado às demandas da sociedade contemporânea.

### Referências

- Google Earth Education. (2023). Using AI for geography learning. <https://www.google.com/earth/education>
- Ministério da Educação. (2018). Base Nacional Comum Curricular. Brasília, Brasil.
- OECD. (2021). The future of education and skills 2030: Artificial intelligence in schools. <https://www.oecd.org>
- UNESCO. (2022). Artificial intelligence and education: A guide for policymakers. <https://www.unesco.org>
- Universidade de Helsinki. (2020). AI in geography education: Case studies from Finland. <https://www.helsinki.fi>

# INFORGEO

# Professores de Geografia e a Inteligência Artificial Generativa: um Estudo Exploratório



## Vítor REIS

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa;  
[a2021100547@campus.fcsh.unl.pt](mailto:a2021100547@campus.fcsh.unl.pt)

**Resumo:** O papel dos professores de Geografia tem vindo a transformar-se ao longo do tempo em paralelo com os avanços tecnológicos. Este estudo exploratório procura compreender as perceções dos professores de Geografia do 3º ciclo e secundário em Portugal sobre a Inteligência Artificial Generativa e a sua integração no ensino. A partir de um inquérito realizado a 251 professores, foram identificados desafios, benefícios e preocupações. Embora a maioria tenha pouca familiaridade com IA, cerca de metade já a utiliza na preparação de aulas. Os professores mais jovens mostram-se mais recetivos, enquanto os mais experientes mantêm maior reserva. Destaca-se a importância da formação contínua para uma adoção ética, eficaz e verdadeiramente útil da IA.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial Generativa; Ensino da Geografia; Formação de Professores; Processos Ensino-Aprendizagem

## Introdução

O papel do professor nos processos Ensino-Aprendizagem tem sofrido alterações significativas desde o surgimento das primeiras escolas formais em templos sumérios em 3300 a.C. O mero papel de transmissor de conhecimentos não chega para definir a profissão de professor, pois, se assim fosse, o advento da IA Generativa estaria a ditar o fim da profissão, como muitos arautos têm previsto. Este exercício, junto de professores de Geografia do 3.º ciclo e secundário visa compreender como é vista a IA por estes professores e se a sua aplicação está a ser enquadrada nas diferentes aprendizagens dos programas de Geografia.

A plataforma THERE'S AN AI FOR THAT ([www.theresanaiforthat.com](http://www.theresanaiforthat.com)) registava, a 1 de janeiro de 2025, um total de 27 062 ferramentas de IA, acessíveis através da internet. Esta mesma ferramenta estima um impacto de 15 % nas atividades ligadas à profissão de professor. Sendo esta percentagem, uma estimativa do grau em que a IA pode modificar as diferentes tarefas de uma determinada profissão.

Um estudo de 2024, realizado com estudantes do ensino superior, concluiu que há uma "correlação positiva entre a autoaprendizagem com o ChatGPT e a aquisição e aplicação de conhecimento", corroborando pesquisas anteriores sobre ferramentas de aprendizagem baseadas em IA (Jo, 2024). Além disso, outro estudo destaca que a IA generativa tem o potencial de transformar a educação, tornando-a mais acessível, personalizada e prática, ajudando a preparar os alunos para os desafios do século XXI e promovendo inovação e excelência no ensino e na aprendizagem (Folletto, 2023).

Este pioneiro estudo exploratório, pretende perceber tendências e padrões de comportamento dos professores de Geografia do 3.º ciclo e secundário, em Portugal. Através de questionário realizado no último trimestre de 2024, pretende-se analisar as perceções dos professores de Geografia sobre o impacto da IA generativa no processo de ensino-aprendizagem, bem como identificar os desafios e benefícios na utilização de ferramentas de IA generativa em contextos educativos. Por outro lado, perceber e explorar as estratégias e práticas adotadas por professores ao integrar IA generativa no ensino da Geografia.

## Método

São 3975 os professores de Geografia, contabilizados pela Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência (DGEEC, 2024); deste universo, responderam ao inquérito 251 professores de Geografia do 3.º ciclo e Secundário.

O inquérito foi construído utilizando a ferramenta Google Forms, eficaz para a pesquisa académica, permitindo a rápida recolha e tratamento de dados, é uma ferramenta organizada e acessível (Mota, 2019). A sua interface simples e objetiva permite que a construção dos questionários seja rápida e eficiente.

A amostragem seguiu uma abordagem mista, combinando os métodos aleatório

simples e por conveniência. O método aleatório simples assegurou que todos os professores de Geografia tivessem igual oportunidade de participação, promovendo a representatividade. Por outro lado, a amostragem por conveniência permitiu envolver participantes mais acessíveis, facilitando a recolha de dados. Esta estratégia foi utilizada para obter uma amostra diversificada e relevante, equilibrando rigor e praticidade na composição do grupo de estudo.

A recolha de dados quantitativos e qualitativos forneceu uma visão sobre a perspetiva dos docentes sobre a IA Generativa. O inquérito foi distribuído e promovido pela APROGEO através das suas redes sociais, tendo as respostas sido recolhidas durante o último trimestre de 2024.

Os resultados foram tratados estatisticamente também através da Tabelas Cruzadas para estabelecer relações entre os dados recolhidos, fornecendo uma melhor visão sobre tendências e padrões de comportamento. Esta análise estatística teve recurso à ferramenta *Statistics From ANY Documents*, extensão da ferramenta ChatGPT4 na sua versão Plus, versão de assinatura, que recorre a *ChatBot* com Inteligência Artificial. Através da sua interface simples de diálogo com o *ChatBot*, esta ferramenta mostrou-se muito útil e eficaz indo ao encontro das conclusões apresentadas por Huang et al. (2024) no seu estudo comparativo de análises estatísticas efetuadas por diferentes ferramentas como SAS, SPSS e R. “Com o rápido avanço de tecnologias de IA, como os LLM, a sua integração com plataformas de análise de dados promete reduzir barreiras operacionais, permitindo que os investigadores dediquem mais atenção à interpretação detalhada dos resultados” (Huang et al. 2024). Nas conclusões deste estudo os autores acabam por recomendar utilização desta ferramenta como suporte a investigadores de nível médio em análise de dados.

## **Resultados e discussão**

Como já indicado, foram obtidas 251 respostas de professores de Geografia ao inquérito. Os dados revelam que a maioria dos professores de Geografia inquiridos são mulheres, com mais de 51 anos e com uma elevada experiência profissional, ou seja, um perfil predominantemente sénior. A distribuição dos inquéritos entre Mulheres e Homens está em linha com a distribuição por género no número global de professores apresentado pela Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência, (DGEEC, 2024). Assim responderam 66,9 % de Mulheres e 33,1 % de Homens. Também na distribuição etária este estudo acompanha a DGEEC, tendo a grande maioria dos professores mais de 51 anos (60,6 %), 26,3 % têm mais de 60 anos por contraponto com os 6,4 % que têm menos de 30 anos. Estes professores têm muita experiência profissional, a sua maioria tem mais de 31 anos de lecionação (45,4 %). Contrastando com os 9,6 % de docentes com menos de cinco anos de experiência profissional.

No que diz respeito ao conjunto de questões que permitem compreender a

“Familiaridade, Uso e Percepções sobre IA Generativa” os dados também são esclarecedores, mostrando que 60,2 % dos inquiridos afirma que o seu nível de familiaridade com a IA Generativa é “fraco”. Havendo apenas 4,4 % dos professores a indicarem que têm um nível elevado. Pouco mais de metade dos professores, 51 %, confirma já ter utilizado ferramentas de IA Generativa na preparação das suas aulas e 33,1 % utilizaram ferramentas de IA Generativas nas suas aulas.

De uma listagem de 9 ferramentas de IA Generativa (Bing Copilot; Canva Magic Write; ChatGPT; Dall-E; Gemini; MidJourney; Perplexity; Quillionz; Socratic) aquela que mais é reconhecida pelos professores é o ChatGPT, indicada 225 vezes, sendo a única resposta dada por 57 professores, ou seja, 22 % dos inquiridos. O top 5 destas ferramentas mostra em segundo lugar a Canva Magic Write (103), em terceiro a Gemini (90), em quarto o Bing CoPilot (69) e em quinto a Socratic (63). Dezoito professores (17,2 %) não reconheceram qualquer ferramenta. Dada a possibilidade de indicarem outras fora da lista fornecida, foram mencionadas 11, sendo 10 dessas indicadas por um professor. Apesar de a maioria dos professores de Geografia declarar ter pouca familiaridade com a IA Generativa, observa-se um grau significativo de adoção: metade já utilizou essas ferramentas na preparação de aulas, e um terço empregou-as em contexto de sala de aula.

Sobre os “Benefícios Pedagógicos e Impacto nos Alunos” os professores apresentam respostas interessantes. Quando questionados se a IA pode ser uma mais-valia na criação de materiais pedagógicos para as aulas de Geografia a grande maioria acredita que sim, 31,5 % uma grande mais-valia e 47 % uma mais-valia, mas limitada. Os restantes 21,5 % não sabem ou não acham que será uma mais-valia. No que diz respeito a alunos, à pergunta “A IA Generativa pode ajudar os alunos a desenvolver competências críticas, como a análise e interpretação de dados Geográficos?” os professores dividem-se muito nas suas respostas, ainda que a maioria acredita que sim, que pode ajudar: 18,3 % de forma significativa e 45,8 % de forma limitada. De sublinhar os quase 20 % que acham que essas competências devem ser desenvolvidas sem recurso a IA e os 18,3 % que não sabem responder. A resposta em que mais professores efetivamente concordam foi a dada à questão como pode a IA Generativa impactar o desenvolvimento do pensamento crítico nos alunos? Quase 80 % respondeu que pode ter ambos os efeitos, dependendo do uso. Sendo somente 8,4 % os que afirmam que pode estimular e 12 % os que dizem poder prejudicar. Mais de 75 % dos professores concorda que a IA pode facilitar a motivação dos alunos para o estudo da Geografia, 51,8 % de forma limitada e 23,5 % de forma significativa. Este conjunto de respostas reflete algum otimismo, moderado, sobre o papel da IA e que muitos professores têm reservas quanto ao seu impacto.

As respostas indicam que, embora a maioria dos professores veja a IA Generativa

como ferramentas úteis, há ainda um conjunto considerável de professores que demonstra ceticismo quanto à sua relevância na personalização do ensino. São mais de 16 % de professores que não sabem ou não reconhecem utilidade na utilização de ferramentas de IA Generativa no apoio à avaliação dos conhecimentos dos alunos em Geografia. No polo oposto estão os mais de 150 que reconhecem mais-valias para a correção de testes e questionários automáticos ou os 136 que reconhecem a sua utilidade para feedback instantâneo sobre o desempenho dos alunos.

Na análise aos resultados obtidos, há um que é perfeitamente demonstrativo dos principais receios que, de forma informal, os professores vão discutindo entre si, quando o tema é IA e Educação. 202 dos 251 professores indicam que a sua maior preocupação relativamente ao uso da IA Generativa no ensino da Geografia é a “Ética e a veracidade da informação”. Apenas 14 professores indicaram que as suas preocupações englobam a Ética, a Qualidade dos conteúdos gerados, e a Substituição do papel do professor. Poder-se-ia esperar um maior número de respostas na opção “Substituição do papel do professor”, no entanto essa preocupação foi escolhida 42 vezes.

No futuro, a maioria dos professores acredita que a IA Generativa terá um papel de complemento ocasional do ensino da Geografia (54,2 %) e 39 % acredita que será um apoio essencial. Há ainda 6,8 % que considera que esta tecnologia terá pouco impacto ou deve mesmo ser evitada no futuro.

Das respostas dos professores de Geografia ao inquérito podem ser observadas diversas tendências e padrões interessantes, tendo em conta as diferenças de resposta por género e idade. Pois, as análises indicam que género e idade influenciam significativamente as perceções sobre a IA no ensino da Geografia.

São os homens que apresentam maior frequência de respostas "Não sei", enquanto as mulheres mostram maior clareza nas respostas em todas as faixas etárias. As mulheres apresentam então maior convicção nas suas respostas.

A familiaridade com a IA tem um papel importante na aceitação destas ferramentas. Professores com menos de 40 anos, mostram-se mais otimistas e confortáveis com a utilização da IA, enquanto, quem tem acima dos 50 anos, tende a encará-la apenas como um complemento e a sublinhar os seus potenciais riscos. Esta diferença sugere que a abertura ao uso da IA está ligada à idade, com os mais jovens a estarem mais abertos a explorar as ferramentas de IA generativa.

As preocupações éticas e da veracidade de informação, são mais frequentes entre mulheres dos 41 aos 50 anos, que aparentam estar mais suscetíveis a estas questões. Em contraste, homens com mais de 50 anos estão mais preocupados com a possibilidade de a IA vir a substituir o seu papel de professor.

Em relação à formação de professores, são as mulheres entre os 41 e 50 anos que reconhecem amplamente a sua importância para a integração da IA no ensino. Por outro lado, os homens com mais de 51 anos mostram-se mais hesitantes, com uma

maior proporção de respostas negativas ou incertas sobre a necessidade de formar professores sobre IA Generativa. Este contraste sublinha a abertura das mulheres professoras de Geografia, para julgar necessária a formação em IA, enquanto os professores homens, mais velhos, demonstram uma maior resistência ou indecisão.

No que toca à motivação dos alunos, são os professores mais jovens que acreditam no potencial da IA para motivar os estudantes que veem nela uma ferramenta eficaz também para avaliar competências como o pensamento crítico. Relativamente às opiniões sobre o futuro da IA no ensino da Geografia, estas variam, de novo, conforme a idade. Professores com menos de 40 anos veem-na como essencial para o futuro, destacando o seu potencial para personalizar o ensino. Em contrapartida, professores com mais de 50 anos consideram-na um complemento útil, mas insuficiente para substituir métodos tradicionais. Esta divergência mostra, de novo, a existência de uma diferença geracional na perceção do papel da IA.

Em resumo, género e idade influenciam fortemente as perceções sobre a IA generativa. Os professores mais jovens e mulheres tendem a ser mais abertos e otimistas, enquanto os mais velhos e homens demonstram maior reserva e cautela.

#### Conclusões

Este estudo exploratório sobre a utilização da IA generativa no ensino da Geografia em Portugal, realizado com 251 professores do 3.º ciclo e secundário, permitiu antecipar conclusões relevantes sobre aquelas que são as perceções, preocupações e expectativas destes professores. Para potenciar ao máximo os benefícios da IA generativa no ensino da Geografia, sobressai da análise dos dados recolhidos que será essencial investir na formação dos professores. Tal permitirá que estes possam adquirir o conhecimento necessário para compreender de forma clara tanto as vantagens como as limitações das ferramentas de IA Generativa quando aplicadas ao ensino. Os dados mostram variações significativas nas perceções sobre a IA generativa, influenciadas pelo género e a idade. Os professores de Geografia, maioritariamente mulheres com mais de 51 anos e vasta experiência, apresentam uma familiaridade limitada com a IA, embora cerca de metade já a tenha utilizado na preparação de aulas. Reconhecem-na como uma ferramenta útil para personalizar o ensino e aumentar a motivação dos alunos, mas enfatizam a importância de formação específica para garantir um uso adequado e ético. Formação trará novas competências técnicas que permitirá ao professor desempenhar o seu papel de mediador, capaz de conjugar as potencialidades da IA Generativa com as reais necessidades pedagógicas dos alunos. A sua ação informada permitirá manter o foco na dimensão humana e nas interações significativas dentro da sala de aula.

As dificuldades enfrentadas pelos professores de Geografia em Portugal estão longe de ser únicas, apontando, eventualmente, para a tomada de soluções

comuns. Será por isso, essencial implementar programas de formação contínua que não só ensinem o uso técnico destas ferramentas, mas que também ajudem os professores na adaptação de novas estratégias pedagógicas que maximizem os benefícios dessas tecnologias no ensino da Geografia. Estudo de 2022 demonstrou a eficácia de uma estratégia para o ensino da Geografia através de aplicações de Inteligência Artificial. Nesse estudo a autora propõe quatro grandes recomendações das quais se destacam duas: Criação de programas de formação para professores em ferramentas de IA impactantes no seu desempenho pedagógico; a Promoção do uso alargado da IA no ensino da Geografia no secundário, dada a eficácia da estratégia proposta em melhorar o desempenho académico e o pensamento de ordem superior (Almelweth, 2022).

Em futuros trabalhos será relevante perceber até que ponto as ferramentas que estão a ser utilizadas trazem verdadeiras vantagens para professores e alunos no processo Ensino-Aprendizagem. Seria pertinente propor iniciativas piloto que permitam aos professores de Geografia experimentar, em ambientes controlados, diferentes ferramentas de IA Generativa. Esta abordagem eminentemente prática, combinada com momentos de reflexão e partilha entre pares, poderá ser determinante para dar a confiança necessária aos professores para integrarem a utilização destas tecnologias nas práticas letivas. Por outro lado, trazer exemplos concretos da utilização de ferramentas de IA Generativa no ensino da Geografia e explorar as suas vantagens e desvantagens face aos métodos tradicionais, poderá diminuir o grau de incertezas e de ceticismo apresentado pelos professores.

### **Declaração de Interesses**

O autor declara que não possui conflitos de interesse financeiros, comerciais ou pessoais que possam influenciar os resultados ou a interpretação desta pesquisa. Este estudo foi conduzido de forma independente, sem financiamento externo ou qualquer relação que possa gerar potenciais conflitos.

### **Referências**

- Almelweth, H. (2022). The effectiveness of a proposed strategy for teaching geography through artificial intelligence applications in developing secondary school students' higher-order thinking skills and achievement. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 12(3), 169-176. <https://doi.org/10.47750/pegegog.12.03.18>
- Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência. (2024). Perfil do docente 2022/2023. Direção-Geral de Estatísticas da Educação e Ciência.
- Foletto, L. F. (2023). Criação e cultura livre na era da inteligência artificial generativa. *Aurora: Revista de Arte, Mídia e Política*, 16(48), 76-92. <https://doi.org/10.23925/1982-6672.2023v16i48p76-92>
- Huang, Y., Wu, R., He, J., & Xiang, Y. (2024). Evaluating ChatGPT-4.0's data analytic proficiency in epidemiological studies: A comparative analysis with SAS, SPSS, and R. *Journal of Global Health*, 14, 04070. <https://doi.org/10.7189/jogh.14.04070>

- Jo, H. (2024). From concerns to benefits: A comprehensive study of ChatGPT usage in education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(35). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00471-4>
- Mota, J. da S. (2019). Utilização do Google Forms na pesquisa acadêmica. *Revista Humanidades e Inovação*, 6(12), 372-380.
- OpenAI. (2025). Statistics from ANY documents (versão de ChatGPT-4) [Modelo de linguagem AI]. OpenAI. <https://openai.com/>
- There's an AI for That. (n.d.). There's an AI for That. Recuperado em 31 de dezembro de 2024, de <https://theresanaiforthat.com/>

# INFORGEO

## Ferramentas de IA e a Evolução das Competências Digitais no Ensino Superior de Geografia



### Elisabete FIEL

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa; [efiel@fcs.h.unl.pt](mailto:efiel@fcs.h.unl.pt)

### Vítor REIS

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa;  
[a2021100547@campus.fcs.h.unl.pt](mailto:a2021100547@campus.fcs.h.unl.pt)

**Resumo:** A digitalização está a transformar a educação e o mercado de trabalho, exigindo novas competências e a incorporação de tecnologias emergentes. No ensino da Geografia, ferramentas como a Inteligência Artificial (IA), a Realidade Aumentada (RA), a Realidade Virtual (RV) e o Metaverso podem proporcionar experiências de aprendizagem mais interativas e imersivas, facilitando a exploração de fenómenos geográficos complexos através de simulações envolventes. A IA e a GeoAI permitem a rápida análise de grandes quantidades de dados, analisar padrões espaciais e modelar dinâmicas urbanas e ambientais. Apesar do seu potencial, a adoção destas tecnologias exige a formação contínua dos professores, um uso crítico da IA e a garantia de acessibilidade para todos os alunos. A implementação estruturada e eticamente responsável destas ferramentas pode melhorar a aprendizagem, incentivar o pensamento crítico e preparar os alunos para os novos desafios de uma sociedade mais digital e interconectada.

**Palavras-chave:** Ensino; Geografia; Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Inteligência Artificial; Metaverso; GeoAI; Professores; Formação

## Introdução

O relatório *Future of Jobs 2025* do Fórum Económico Mundial prevê que a transformação digital e tecnológica continuará a redefinir o mercado de trabalho nas próximas décadas. O relatório estima que, até 2030, a automação e a Inteligência Artificial (IA) criarão cerca de 69 milhões de novos empregos, mas o outro lado da moeda, é que levarão à eliminação de 83 milhões, ou seja, uma diminuição do número de empregos. O documento mostra a necessidade de se investir na requalificação dos trabalhadores, apostando no desenvolvimento de competências digitais, analíticas e criativas (World Economic Forum, 2025).

Os desafios profissionais do futuro próximo passarão pela capacidade de adaptação dos trabalhadores aos novos paradigmas digitais das diferentes profissões. Apesar dos desafios associados à integração de novas tecnologias, como seja a IA, o setor da educação apresenta um forte potencial de crescimento, com funções cada vez mais alinhadas às exigências de um mercado de trabalho em constante transformação. O *Future of Jobs Report 2025* destaca o crescimento do emprego na área da educação como uma das principais tendências, impulsionado pela necessidade crescente de requalificação e adaptação às transformações tecnológicas. Segundo o relatório, haverá uma maior procura por professores e formadores, especialmente em áreas técnicas e digitais, devido ao foco nas aprendizagens ao longo da vida. Por outro lado, o avanço de plataformas de *e-learning* e tecnologias como a Inteligência Artificial, a Realidade Aumentada e Realidade Virtual também abre novas oportunidades para especialistas em conteúdos digitais e facilitadores de aprendizagem online. Além disso, o foco na requalificação profissional, como literacia digital e competências em tecnologias emergentes, ampliará a necessidade de educadores com formação especializada (World Economic Forum, 2025).

O papel do professor no ensino superior, passa pela preparação dos seus alunos, para os novos mercados de trabalho. Para tal há conjunto de competências que se tornam fundamentais para atingirem esse objetivo. Entre as competências identificadas, destacam-se a criação de recursos digitais, e materiais adaptados a diferentes estilos de aprendizagem. É igualmente importante que os professores consigam trabalhar em ambientes online, utilizando plataformas virtuais e colaborativas. Os professores devem ainda desenvolver competências para a seleção e avaliação crítica de recursos digitais, garantindo a sua relevância para os objetivos pedagógicos. A integração pedagógica de tecnologias completa este conjunto de competências, exigindo uma adaptação dos métodos de ensino e apoio à literacia digital dos alunos (Kiryakova & Kozhuharova, 2024).

Cabe também aos professores de Geografia conseguirem um conjunto diversificado de competências para enfrentar estes novos desafios. A capacidade de adaptação e é amplamente reconhecida aos professores e são estas que permitem ajustar os seus métodos de ensino, incorporar inovações e utilizar

estratégias modernas que respondam às necessidades do seu contexto, em constante mutação. Os professores de Geografia precisam de dominar os processos e dinâmicas geográficas, ser capazes de analisar dados e compreender as inter-relações entre diferentes fatores geográficos. O pensamento crítico surge então como uma competência fundamental. Destaca-se, ao professor de Geografia a capacidade de estimular o pensamento inovador nos alunos, integrando criatividade e inovação no processo de aprendizagem (Nosachenko, 2023). Esta inovação no contexto da modernidade do ensino passa pela exploração de diferentes ferramentas digitais que, são já hoje uma realidade. Ferramentas de IA, Ferramentas de Realidade Aumentada (RA), Ferramentas de Realidade Virtual (RV) ou até a exploração do Metaverso, são formas que permitem aplicar o conhecimento geográfico em sessões estimulantes e desafiadoras para os alunos.

### **Tecnologia na Educação Geográfica**

As ferramentas digitais estão amplamente disseminadas nos diferentes contextos escolares do mundo ocidental. Permitem o acesso a de recursos educativos, eliminando barreiras geográficas e promovendo a inclusão. Ferramentas como plataformas online, bibliotecas digitais e sistemas adaptativos facilitam uma aprendizagem personalizada, ao ajustarem os conteúdos ao ritmo e às necessidades específicas de cada aluno. Além disso, os mais variados recursos multimédia e simulações tornam as aulas mais interativas, incentivando a colaboração entre professores e alunos. Tecnologias como leitores de ecrã e legendas automáticas asseguram que todos os alunos possam beneficiar plenamente dessas inovações (Angwaomaodoko, 2023). A inovação nas metodologias de ensino encontra-se, logicamente, também no ensino da Geografia. Um estudo de 2024, "The Effects of Using Digital Technologies on High School Geography Learning" analisou o impacto da utilização de ferramentas digitais no ensino de Geografia, comparando um grupo que utilizou essas tecnologias com um grupo de controlo que seguiu métodos tradicionais. Entre as ferramentas digitais exploradas destacam-se aplicações educativas interativas, apresentações multimédia, mapas interativos que proporcionaram uma exploração imersiva dos conteúdos e simulações geográficas que ajudaram a visualizar fenómenos complexos como erosão e mudanças climáticas. Também foram explorados vídeos educativos, plataformas de aprendizagem online e ferramentas específicas como o Google Earth, usado para explorar locais e paisagens, e o Seterra, que consolidou conhecimentos sobre mapas e localizações geográficas. Os resultados do estudo indicaram que os alunos do grupo experimental obtiveram um desempenho superior em comparação com os do grupo de controlo, evidenciando os benefícios da integração de tecnologias digitais no ensino de Geografia (Zbereanu, 2024). Outras ferramentas digitais têm contribuído para o ensino de Geografia, tornando-

-o mais interativo e dinâmico. Entre elas, encontram-se as narrativas interativas criadas com Digital Story Mapping, que combinam mapas e conteúdos multimídia, as diferentes plataformas WebSIG e SIG, que permitem manipular dados geográficos em tempo real para melhorar a compreensão espacial. Ferramentas de realidade virtual e geobrowsers oferecem experiências imersivas para explorar conceitos geográficos e questões de sustentabilidade, enquanto sensores com GPS ajudam a estudar dados ambientais, como poluição e qualidade do ar. Aplicações como OpenStreetMap e Google Maps permitem analisar e interpretar estruturas urbanas e rurais. Redes sociais, como Instagram, também são podem ser utilizadas para desenvolver o pensamento crítico em tempo real, enquanto plataformas como o *Digital Atlas WebGIS* promovem o pensamento espacial e a cidadania ativa. Acrescentam-se as plataformas de *e-learning*, como Moodle, que facilitam o acesso ao conhecimento e a colaboração entre instituições. (Panjaitan, Ningrum & Waluya, 2023). O ensino da Geografia apresenta-se, então, na vanguarda da exploração de ferramentas digitais. Os professores de Geografia estarão entre os mais capacitados para incluir nas suas aulas recursos educativos inovadores e quer promovam o desenvolvimento das competências digitais descritas no relatório *Future of Jobs 2025*, do World Economic Forum.

Os passos seguintes encaminham professores e alunos para a “Educação 5.0”. Apresentada como um modelo educativo inovador que explora tecnologias avançadas, como inteligência artificial (IA), *blockchain*, Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*), realidade virtual (VR) e aumentada (AR), *big data* e redes 5G, Metaverso, para criar um sistema de ensino mais eficiente, equitativo e personalizado (Rubeena & Ansari, 2024). Esta abordagem coloca o aluno no centro dos processos Ensino Aprendizagem, permitindo o desenvolvimento de competências como pensamento crítico, criatividade e resolução de problemas. A implementação da Educação 5.0 enfrenta dois grandes desafios. Por um lado, os custos elevados, uma vez que a criação de infraestruturas tecnológicas avançadas, como redes 5G e dispositivos IoT, implica investimentos que muitas escolas e universidades, não conseguem suportar. De sublinhar que as desigualdades no acesso à tecnologia podem, por si só, agravar as disparidades sociais, dificultando a inclusão de alunos de contextos mais vulneráveis. Por outro lado, o desafio é a formação de professores, já que muitos não possuem preparação suficiente para integrar as tecnologias avançadas nas suas práticas pedagógicas, o que irá gerar resistências e limita a eficácia do modelo (Ahmad et al., 2023). Acrescem as questões relacionadas com a privacidade e a segurança de dados, pois estas ferramentas utilizam de plataformas digitais e *big data*.

As tecnologias de realidade imersiva, RA e RV, apresentam múltiplos benefícios no campo da educação. Estas ferramentas oferecem experiências interativas e multissensoriais que captam a atenção dos alunos de forma mais eficaz do que os métodos tradicionais, promovendo um maior envolvimento nas aulas. Por outro

lado, facilitam a compreensão, através da visualização e manipulação digital, de conceitos abstratos ou complexos, como fenômenos científicos e estruturas anatômicas, através da interação com modelos tridimensionais e simulações detalhadas. Promovem a aprendizagem prática, permitindo que os alunos realizem atividades em ambientes simulados e seguros, como laboratórios virtuais, reforçando a retenção do conhecimento. Estas tecnologias também estimulam o desenvolvimento do pensamento crítico e a capacidade de resolver problemas, ao apresentarem cenários desafiadores e realistas (Jantanukul, 2024). São tecnologias que permitem aos alunos trabalharem juntos em tempo real, independentemente de onde estejam. Permitem o estudo e a análise de fenômenos geográficos através da exploração imersiva de cenários moldáveis aos conteúdos programáticos, tornando as aprendizagens ativas e colaborativas. Trata-se de ferramentas que oferecem novas possibilidades para o ensino de Geografia. A RV permite que os alunos explorem ambientes virtuais, como florestas tropicais ou glaciares, tornando conceitos abstratos, como alterações climáticas ou movimentação de placas tectônicas, mais compreensíveis. A RA pode complementar o mundo real, sobrepondo informações digitais, como mapas ou modelos 3D, que enriquecem a aprendizagem. Estas tecnologias ajudam a desenvolver competências espaciais, aumentam a motivação dos alunos e tornam a aprendizagem mais interativa e segura, especialmente ao simular fenômenos naturais, como sismos ou erupções vulcânicas. Ao mesmo tempo, proporcionam ferramentas úteis para os professores personalizarem conteúdos e avaliarem o desempenho dos alunos em tempo real (Matkovič, 2024). São ferramentas que oferecem vantagens únicas face às limitações dos métodos tradicionais. No entanto a sua utilização deve ser avaliada, considerando os objetivos específicos da aprendizagem, o nível de realismo e imersão necessários, bem como recursos disponíveis, como *software* e *hardware* adequados (Pantelidis, 2009).

O Metaverso pode ser definido como um espaço digital imersivo que combina RA e RV para criar ambientes interativos onde os utilizadores podem interagir em tempo real, tanto com elementos virtuais como com outros participantes. Esta tecnologia é apresentada como uma plataforma que tem o potencial de transformar a educação, oferecendo experiências de aprendizagem personalizadas, colaborativas e baseadas em simulações (López-Belmonte et al., 2023). Permite aos alunos explorar de forma realista cenários históricos, científicos e culturais e com o apoio da inteligência artificial, ajusta os conteúdos às necessidades, interesses e ritmos de cada aluno, promovendo uma aprendizagem mais eficaz e envolvente, eliminando barreiras geográficas e culturais, promovendo a colaboração global entre alunos e professores de diferentes partes do mundo. Podem ainda criar ambientes inclusivos para estudantes com necessidades especiais, contribuindo para a sua integração e desenvolvimento de competências. O Metaverso também possibilita a criação e partilha de recursos educativos, incentivando a criatividade

e a autonomia na aprendizagem (Liu, Huang & Saleh, 2024). O Metaverso transforma o ensino da Geografia ao permitir a exploração de ambientes virtuais complexos, como desertos ou cadeias montanhosas submersas. Estas ferramentas ajudam a compreender conceitos complexos, desenvolvem competências espaciais e tornam a aprendizagem mais interativas e seguras, por exemplo, ao simular furacões ou inundações.

O futuro da educação passará obrigatoriamente pela exploração de ferramentas de IA. Também aqui os professores terão de adquirir as competências necessárias para usar e enquadrar as diferentes ferramentas nas suas aulas, na preparação de conteúdos, na avaliação e na gestão da sua atividade. É essencial que os docentes recebam formação necessária para dominar estas ferramentas e acompanhar as rápidas mudanças no panorama educacional. Esta formação deve ir além do uso técnico, deve capacitar os professores a utilizar as diferentes ferramentas de IA para personalizar o ensino, adaptar conteúdos às necessidades dos alunos e realizar avaliações mais detalhadas e precisas. O papel dos órgãos decisores e de iniciativas institucionais, como sejam políticas públicas e quadros de referência, incluindo o DigCompEdu (Quadro Europeu de Competência Digital para Educadores), que ajudam a alinhar e enquadrar as competências pedagógicas com o uso eficiente das tecnologias. Deste modo, as competências digitais são apresentadas como um elemento essencial para transformar a IA numa ferramenta pedagógica fundamental, que contribui para metodologias mais inovadoras e adaptadas às necessidades dos alunos (Scarci, et al., 2024). O Quadro Europeu de Competência Digital para Educadores, define um conjunto de competências digitais necessárias aos educadores para que possam enriquecer o ensino, as aprendizagens e a avaliação, promovendo práticas pedagógicas inovadoras e eficazes. Dividem-se em seis áreas principais: envolvimento profissional, recursos digitais, ensino, aprendizagem, avaliação e promoção da competência digital dos alunos (EU Joint Research Centre, 2017).

A Inteligência Artificial representa um dos principais desafios atuais do ensino, exigindo, mais uma vez, por parte dos professores, de um conhecimento além das suas competências científicas da sua área disciplinar. Formação específica e contínua e a adaptação das suas metodologias pedagógicas. Isto num ambiente de discussão mediática e social sobre questões como a dependência tecnológica, a privacidade de dados, ética e os impactos na equidade e inclusão no acesso à educação digital. A Inteligência Artificial apresenta-se, então, como ferramenta incontornável que pode apoiar os professores na adaptação de conteúdos às necessidades específicas de cada aluno, tornando a aprendizagem personalizada. Irá contribuir para a redução das tarefas administrativas do professor, automatizando-as, permitindo aos docentes dedicar mais tempo à interação pedagógica com os seus alunos. De sublinhar o papel da IA no desenvolvimento

profissional, ao fornecer informações detalhadas sobre o progresso dos alunos ao mesmo tempo que pode sugerir estratégias de ensino mais ajustadas. Isto só será possível formando os professores para um uso consciente e responsável da IA, garantindo uma utilização ética e consciente. (Al-Zahrani & Alasmari, 2024). A literatura tem identificado, de forma recorrente a necessidade de mais formação para docentes como um fator crítico para que haja uma implementação, eficaz, consciente e ética da IA na educação.

O uso da Inteligência Artificial pelos alunos tem levantado grandes preocupações, ao nível do risco de dependência excessiva, na autonomia e na resolução de problemas, na proatividade e na investigação independente. Por outro lado, especula-se sobre os perigos de aprendizagens superficiais, uma vez que a IA permite uma grande facilidade de acesso a respostas rápidas, o que pode reduzir o envolvimento ativo dos alunos com os conteúdos, dificultando a consolidação do conhecimento a longo prazo (O'Donnell, Porter & Fitzgerald, 2024) Acrescem as questões éticas ligadas à realização de tarefas com recurso a ferramentas de IA. Neste campo as instituições terão um papel fundamental na definição de orientações e regras para um uso apropriado e ético por parte dos alunos, bem como redefinir métodos de avaliação que valorizem competências que não possam ser “mascaradas” por ferramentas de IA.

A inteligência artificial tem, já hoje, um potencial significativo na investigação geográfica, permitindo um acesso mais eficiente à informação, permitindo a análise de padrões espaciais e na criação de representações visuais interativas. Pode, também, ser um recurso útil no desenvolvimento de estudos de caso e na colaboração entre investigadores e docentes (Wilby & Esson, 2024). Como sublinhado pela generalidade da literatura, existem riscos na sua utilização, o conhecido “viés algorítmico” e as questões éticas associadas, a possível dependência excessiva, que pode comprometer a qualidade da investigação geográfica ou uso e geração de dados incorretos. Um estudo de 2024, que utilizou a ferramenta DALL E 2 para gerar mapas, aponta exatamente para esta questão. Embora esta ferramenta permita criar imagens realistas, levantou preocupações como distorções nas formas e fronteiras, introdução de elementos fictícios que podem gerar desinformação e falta de reprodutibilidade devido à aleatoriedade do processo de geração, comprometendo a confiabilidade dos mapas produzidos (Zhang, Kang & Roth, 2023). A evolução técnica e científica nas ferramentas suportadas por IA, tenderão a mitigar as limitações e as condicionantes das atuais. Daí que o papel da IA no ensino e na investigação em Geografia cresça exponencialmente, permitindo a análise de grandes volumes de dados espaciais e automatizando processos. Algoritmos avançados contribuem para a identificação de padrões urbanos e ambientais com maior precisão, facilita a interpretação de dados e acelera a obtenção de resultados (Retscher, 2024).

No ensino da Geografia são apresentadas várias vantagens na exploração da IA e de diferentes ferramentas suportadas por IA Generativa. A possibilidade de adaptar os conteúdos às necessidades específicas dos alunos, ajustando materiais e atividades aos diferentes ritmos de aprendizagem. A IA pode contribuir para uma melhor compreensão dos fenómenos geográficos ao integrar, por exemplo, mapas interativos, simulações e outras ferramentas de análise espacial. A análise mais aprofundada de padrões climáticos, mudanças ambientais e dinâmicas urbanas, torna-se mais fácil graças ao processamento de grandes volumes de dados, facilitando a interpretação da informação geográfica. (Mirislomov, 2024). Nas análises espaciais avançadas e na deteção de padrões em imagens espaciais fazemos a integração da IA e Geografia, designada por GeoAI (Geospatial Artificial Intelligence).

A GeoAI pode ser apresentada como uma abordagem inovadora dentro da Geografia, que combina IA, análise de grandes volumes de dados espaciais e computação avançada, com o objetivo de estudar e resolver problemas com uma forte componente geográfica. Distingue-se na forma como incorpora conceitos espaciais nos modelos de IA, permitindo uma análise mais detalhada de fenómenos que ocorrem ao longo do tempo e do espaço, como desastres naturais, padrões de mobilidade ou mudanças ambientais. Para isso, recorre à integração de diferentes fontes de dados, incluindo imagens de satélite e sensores, garantindo uma compreensão mais abrangente das dinâmicas espaciais (Li et al., 2024). A capacidade da GeoAI de trabalhar com dados em tempo real provenientes de diferentes sensores instalados em satélites, leitura e análise de redes sociais, permite monitorizar atividades humanas e antecipar riscos, como por exemplo em situações de desastres naturais. A GeoAI traz ainda diversas vantagens na Geografia Humana ao permitir uma análise mais precisa e detalhada de fenómenos sociais e espaciais, como sejam a identificação e interpretação de padrões espaciais relacionados com a mobilidade humana, a distribuição populacional e no planeamento urbano. O uso desta tecnologia pode facilitar a modelação de dinâmicas urbanas, como o tráfego e a gestão de infraestruturas, auxiliando na evolução urbana para cidades mais sustentáveis. (Wang et al., 2024). Alertas para questões éticas, viés algorítmicos e privacidade de dados devem estar sempre presentes na aplicação da GeoAI.

## **Conclusões**

O futuro da educação, e do ensino da Geografia em particular, depende de uma integração criteriosa das novas tecnologias digitais, desde que estas contribuam para um ensino mais inclusivo, dinâmico e adaptado às necessidades dos alunos. Para isso, é fundamental que os professores desenvolvam as necessárias competências para que possam explorar estas ferramentas de forma crítica e

eficaz. Para os professores de Geografia o grande desafio será utilizar as ferramentas digitais para construir uma educação que promova o pensamento autônomo, a análise crítica e a capacidade de resolução de problemas, orientando os alunos para de um mundo cada vez mais interligado e complexo.

A rápida evolução digital está a transformar o mercado de trabalho e a redefinir as competências exigidas aos profissionais, colocando a necessidade de requalificação e a aprendizagem ao longo da vida no centro das preocupações. No setor da educação, esta mudança reflete-se na utilização crescente de novas tecnologias que personalizam a aprendizagem e ampliam as possibilidades de ensino. A Geografia, enquanto disciplina de análise espacial e da interação entre fenómenos naturais e humanos, pode beneficiar desta transição, recorrendo a diferentes ferramentas para otimizar os processos Ensino-Aprendizagem e na investigação científica. Quer seja através da denominada Educação 5.0 promovendo um modelo de ensino centrado no aluno e baseado na utilização de tecnologias emergentes, como IA o *big data* e a Internet das Coisas (IoT), ou através da exploração de tecnologias imersivas, como a RV, RA ou o Metaverso surgem neste cenário como um espaços digitais interativos, que possibilitam a exploração de ambientes dinâmicos e a visualização de fenómenos complexos, tornando as aprendizagem mais envolventes e estimulando a curiosidade dos alunos.

A IA tem desempenhado um papel cada vez mais relevante na educação, facilitando a personalização da aprendizagem, automatizando processos administrativos e apoiando a criação de conteúdos ajustados às necessidades de cada aluno. Para além disso, a IA tem transformado a investigação geográfica, permitindo a análise detalhada de padrões espaciais, a modelação de dinâmicas urbanas e ambientais e a tomada de decisão baseada em dados.

Os alertas na exploração destas inovações tecnológicas são transversais na literatura. Nenhuma abordagem pode ter sucesso que não passe pela formação dos professores, o custo de implementação destas ferramentas pode ser limitativo na sua implementação generalizada. Questões da fiabilidade dos algoritmos, os vieses nos dados e as implicações éticas do seu uso no contexto educativo constam também na lista de cuidados.

No entanto, considera-se que a implementação planeada, estruturada e bem objetivada destas ferramentas, poderá constituir reais mais valias para os processos Ensino-Aprendizagem. Garantindo que são utilizadas como meios para aprofundar o conhecimento, motivar os alunos, diminuir desigualdades, e que não são apenas elementos digitais atrativos e dispendiosos.

### **Declaração de Interesses**

Os autores declaram que não possuem conflitos de interesse financeiros, comerciais ou pessoais que possam influenciar os resultados ou a interpretação desta pesquisa. Este estudo foi conduzido de forma independente, sem financiamento externo ou qualquer relação que possa gerar potenciais conflitos.

## Referências

- Ahmad, S., Umirzakova, S., Mujtaba, G., Amin, M. S., & Whangbo, T. (2023). Education 5.0: Requirements, enabling technologies, and future directions. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.15846>
- Al-Zahrani, A. M., & Alasmari, T. M. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence on higher education: The dynamics of ethical, social, and educational implications. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, Article 912. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03432-4>
- Angwaomaodoko, E. A. (2023). An appraisal on the role of technology in modern education, opportunities and challenges. *Path of Science*, 9(12), 3019-3028. <https://doi.org/10.22178/pos.99-4>
- EU Joint Research Centre (2017). "European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu"
- Jantanukul, W. (2024). Immersive reality in education: Transforming teaching and learning through AR, VR, and mixed reality technologies. *Journal of Education and Learning Reviews*, 1(2), 51–62. <https://doi.org/10.60027/jelr.2024.750>
- Kiryakova, G., & Kozhuharova, D. (2024). The Digital Competences Necessary for the Successful Pedagogical Practice of Teachers in the Digital Age. *Education Sciences*, 14(5), 507. <https://doi.org/10.3390/educsci14050507>
- Li, W., Arundel, S. T., Gao, S., Goodchild, M. F., Hu, Y., Wang, S., & Zipf, A. (2024). GeoAI for science and the science of GeoAI. *Journal of Spatial Information Science*, 29, 1–17. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2024.29.349>
- Liu, Y., Huang, J., & Saleh, S. (2024). A review of the application of the metaverse in education. *Educational Administration: Theory and Practice*, 30(8), 84-97. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i8.6986>
- López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., Moreno-Guerrero, A. J., & Lampropoulos, G. (2023). Metaverse in education: A systematic review. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 23(73). <https://doi.org/10.6018/red.511421>
- Matkovič, M. (2024). The use of Artificial Intelligence, Virtual and Augmented Reality in teaching Geography in Secondary School. *Gamtamokslinis ugdymas / natural science education*, 21(1), 42-47. <https://doi.org/10.48127/gu-nse/24.21.42>
- Mirislomov, M. M. (2024). Integration of artificial intelligence in geography learning: Challenges and opportunities. *ЭКОНОМИКА И СОЦИУМ*, 4(119), 1055–1061. <https://www.iupr.ru>
- Nosachenko, V. (2023). Methodological approaches to preparing future geography teachers for continuous professional development. *Scientia et societus*, 2(2), 110-118. doi: 10.69587/ss/2.2023.110.
- O'Donnell, F., Porter, M., & Fitzgerald, S. (2024). The role of artificial intelligence in higher education: Higher education students' use of AI in academic assignments. *Irish Journal of Technology Enhanced Learning*, 8(1). <https://doi.org/10.1234/ijtel.2024.001>
- Panjaitan, B. R., Ningrum, E., & Waluya, B. (2023). Digital learning tools in geography education: A systematic literature review. *The Eurasia Proceedings of Educational & Social Sciences (EPESS)*, 33, 135–143. <https://doi.org/10.55549/epess.1413355>
- Pantelidis, V. S. (2009). *Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality*. Klidarithmos Computer Books.
- Retscher, G. (2024). Exploring the intersection of artificial intelligence and higher education: Opportunities and challenges in the context of geomatics education. *Applied Geomatics*, 12, Article 93. <https://doi.org/10.1007/s12518-024-00602-6>
- Rubeena, D., & Ansari, A. B. (2024). Education 5.0: The next frontier in learning. In *Education 5.0: Transforming the Educational Landscape*, p. 227–237. The Lawgical Junction and MJS Publishing House.

- Scarci, A. S., Teixeira, T. M., & Dal Forno, L. F. (2024). Artificial intelligence and its relations with digital competencies and education. *Concilium*, 24(21). <https://doi.org/10.53660/CLM-4374-24V38>
- Wang, S., Huang, X., Liu, P., Zhang, M., Biljecki, F., Hu, T., ... & Bao, S. (2024). Mapping the landscape and roadmap of geospatial artificial intelligence (GeoAI) in quantitative human geography: An extensive systematic review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, 103734. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103734>.
- Wilby, R. L., & Esson, J. (2024). AI literacy in geographic education and research: Capabilities, caveats, and criticality. *The Geographical Journal*, 190, e12548. <https://doi.org/10.1111/geoj.12548>
- World Economic Forum. (2025). *Future of Jobs Report 2025*. World Economic Forum. ISBN 978-2-940631-90-2. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2025>
- Zbereanu, G. (2024). The Effects of Using Digital Technologies on High School Geography Learning. *Journal of Innovation in Psychology, Education and Didactics*, 28(1), 47-60. doi:10.29081/JIPED.2024.28.1.05
- Zhang, Q., Kang, Y., & Roth, R. (2023). The ethics of AI-generated maps: DALL·E 2 and AI's implications for cartography. *Leibniz International Proceedings in Informatics, 12th International Conference on Geographic Information Science*, Article No. 93. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.GIScience.2023.93>

## Transformação de uso e ocupação do solo, Inteligência Geográfica e Sustentabilidade Territorial



### Raquel FARIA de DEUS

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA), Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, (NOVA FCSH), Universidade NOVA de Lisboa; [r\\_deus@fcs.unl.pt](mailto:r_deus@fcs.unl.pt)

**Resumo:** Este artigo discute a relevância dos avanços tecnológicos, da inteligência geográfica e das abordagens de modelação espacial quantitativa de transformação de uso e ocupação do solo para Planeamento e Ordenamento do Território, com base em reflexões, as quais resultam da investigação realizada no âmbito de projetos académicos e científicos, em que a inteligência geográfica e as ideias científicas do core curriculum da Geografia Humana, tais como a ocupação humana dos territórios, a transformação de uso e ocupação do solo e os seus efeitos na gestão e planeamento territorial, são componentes importantes.

**Palavras-chave:** uso e ocupação do solo; modelação espacial; envolvimento social; Ordenamento do Território

A crescente pressão sobre o recurso solo impulsionou a investigação científica em diversas disciplinas ao longo da história da humanidade. A investigação suportada pelas ideias científicas do core curriculum da Geografia Humana, nomeadamente, a ocupação humana dos territórios, a transformação de uso e ocupação do solo (LULC, usando aqui a sigla internacionalmente conhecida derivada de Land-Use and Land-Cover), e os seus efeitos na gestão e planeamento territorial é, num contexto de crise climática, ainda mais importante. Sabe-se que as alterações nas características físicas da superfície da Terra (ocupação do solo) e a sua exploração pelos seres humanos (uso do solo) afetam as dinâmicas de alterações ambientais globais. No entanto, as transformações de LULC podem contribuir para a mitigação e adaptação às alterações ambientais globais (Verburg et al., 2015). Para explorar este potencial, a análise e a modelação espacial de LULC são, portanto, cruciais para compreender e gerir as alterações ambientais globais (Hewitt et al., 2017). A transformação de LULC é, de facto, mais intensa onde a atividade humana está mais densamente concentrada. A investigação nesta temática (Faria de Deus et al., 2012; Faria de Deus, 2015; Faria de Deus et al., 2023) mostra que, tal como no resto do Mundo, em Portugal este fenómeno atingiu maior complexidade e relevância nas áreas costeiras. Os resultados mostram, também, que as áreas costeiras passaram por processos intensivos de urbanização linear, dada a forte dinâmica imobiliária nestas áreas, levando a alterações no mosaico de categorias de uso do solo e ameaçando a resiliência do sistema destas áreas.

A investigação sobre a análise e modelação espacial de LULC tem evoluído muito, passando de um foco principal na investigação exploratória para a compreensão das forças motrizes e dos impactos da transformação de LULC para novas abordagens, as quais utilizam este conhecimento em combinação com a participação ativa das partes interessadas nesta temática para desenvolver práticas sustentáveis de gestão de uso do solo e políticas espaciais (as denominadas abordagens de modelação espacial participativa). Isto sugere que os diferentes papéis que os modelos espaciais quantitativos podem desempenhar na abordagem de fenómenos complexos relacionados com o LULC e, na disseminação do conhecimento social (McCall et al., 2016) são, atualmente, uma característica fundamental dos processos das partes interessadas. No entanto, poucos progressos foram feitos em Portugal no que diz respeito à modelação espacial participativa de transformação do LULC, especialmente a nível local. Além disso, a investigação que combine tais abordagens de modelação espacial participativa com o desenvolvimento de conjuntos de dados de LULC de escala fina, para avaliar e quantificar as transformações do LULC é ainda reduzida. Uma análise precisa da configuração atual do LULC e das simulações futuras em áreas costeiras, as quais enfrentam maiores pressões de urbanização, juntamente com o envolvimento das partes interessadas, é essencial para a sustentabilidade territorial.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável pedem a promoção de abordagens de tomada de decisão participativas, representativas e transparentes, assim como o fortalecimento da governança e da interface ciência e política. Considero que é na resposta aos desafios colocados pela transformação do LULC, que nos podemos diferenciar no panorama nacional, através da aplicação de abordagens metodológicas contextualizadas na área da Inteligência Geográfica —a capacidade de processar dados geográficos visuais, produzir simulações futuras e agir com base nessas simulações— interdisciplinares, colaborativas, robustas e transparentes, as quais contribuem para a tão necessária convergência entre a investigação sobre transformação do LULC, a tomada de decisão, o envolvimento social, e o Ordenamento do Território.

As abordagens de modelação espacial de transformação do LULC têm evoluído com o avanço tecnológico, combinando Sistemas de Informação Geográfica com métodos das Ciências da Complexidade (p. ex., Autómatos Celulares), métodos de Inteligência Artificial (p. ex., Redes Neurais Artificiais) e, incorporando recursos como a Detecção Remota e a análise em tempo real. Existem muitas razões pelas quais os modelos de Autómatos Celulares continuam a ser amplamente aplicados aos estudos sobre a transformação do LULC, principalmente a sua capacidade natural de reproduzir processos complexos *bottom-up* (de baixo para cima) e, portanto, mais fiáveis, através de regras simples (Batty, 2005). Embora a aplicação de métodos de Inteligência Artificial, como as Redes Neurais Artificiais, não seja nova, vem já dos anos 50 e 60, nos EUA, em Portugal aparece com alguma expressão na primeira década do século XXI, nomeadamente para a simulação futura dos padrões espaço-temporais de transformação do LULC (ver o estudo desenvolvido por Rocha et al. (2007)). Diria que estamos perante as abordagens de modelação espacial mais notáveis e promissoras para interpretar e representar a complexidade do LULC, indispensáveis para apoiar o desenvolvimento de uma sociedade mais informada e possuidora de conhecimento, base fundamental para antecipar cenários prospetivos desejáveis e/ ou possíveis para os territórios portugueses, à luz dos atuais desafios sociais, ambientais e tecnológicos. Posso dar um exemplo. O acesso a ferramentas de Inteligência Artificial online poderosas, mas simples de usar (ver as plataformas GeoRetina e MarIA), as quais beneficiam de serviços avançados de mapas e Inteligência Geográfica, potencia a produção de cartografia (p. ex., cartografia de uso e ocupação do solo, cartografia de risco e vulnerabilidades) de forma rápida, robusta e escalável, assim como, de conhecimento geográfico avançado, promovendo a tomada de decisão informada e melhorando a capacidade de resposta aos desafios emergentes. Ferramentas gratuitas como o GeoRetina, mostram-nos como as máquinas estão a adquirir Inteligência Geográfica e como isso possibilita que a Inteligência Artificial interaja com os seres humanos, criando produtos que podem ser utilizados pelos

planeadores, equipas de intervenção permanente, decisores e/ou o público alargado.

Nos próximos anos, Portugal, assim como os restantes países da União Europeia, irão lidar com os efeitos do declínio demográfico e da renovação geracional, bem como as desigualdades territoriais multidimensionais (p. ex., o uso eficiente do recurso estratégico solo e a conservação dos ecossistemas, a transformação digital da sociedade e da economia, o mercado de trabalho e os modelos emergentes para o trabalho e para a mobilidade dos indivíduos e das empresas, a transição energética e a crise climática, a acessibilidade aos serviços). No meu entender, enfrentar estes desafios, tirando partido da Inteligência Geográfica e da Inteligência Coletiva das partes interessadas nestas temáticas é fundamental para a sustentabilidade e a resiliência territorial, reforçando os laços entre os cidadãos e as instituições democráticas que os servem.

## Referências

- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Faria de Deus, R. (2015). *Gis-based measurement, analysis and modelling of land-use and land-cover change in coastal areas. The case of the Algarve, Portugal*. Ph.D. thesis supported by Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/61544/2009). Unpublished Ph.D. thesis, NOVA University of Lisbon.
- Faria de Deus, R., Tenedório, J. A., Pumain, D., Rocha, J., & Pereira, M. (2023). 100 Years of Land-Use and Land-Cover Data: What Has Been the Effect of Spatial Planning in Coastal Land-Use and Land-Cover Change? *Sustainability*, 15(9), 7636. <https://doi.org/10.3390/su15097636>
- Faria De Deus, R., Tenedório, J. and Moix Bergadà, M. (2012). Urban sprawl in Portugal based on urban systems spatial boundaries. *ACE: Architecture, City and Environment*. *Arquitectura, Ciudad y Entorno* [online], 7. P. 131-148. Available at: < <http://revistes.upc.edu/ojs/index.php/ACE/article/view/2576>>. ISSN 1886-4805.
- Hewitt, R., Jiménez, V., Moratalla, A., Martín, B., Bermejo, L., Encinas-Escribano, M. (2017). *Participatory Modelling for resilient futures. Action for managing our environment from the bottom-up*. Volume 30. Elsevier. 346 pp. ISBN: 978-0-444-63982-0. ISSN: 0167-8892.
- McCall, M., Glynn, P., Ostermann, F. and Pierce, S. (2016). *Modelling with stakeholders – Next generation*. *Environmental Modelling and Software*, Volume 77, Issue C, pages 196 – 220, March 2016, Elsevier Science Publishers B.
- Rocha, J., Ferreira, J. C., Simões, J., & Tenedório, J. A. (2007). *Modelling Coastal and Land Use Evolution Patterns through Neural Network and Cellular Automata Integration*. *Journal of Coastal Research*, 827–831. <http://www.jstor.org/stable/26481698>
- Verburg, P., Crossman, N., Ellis, E., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K., Golubiewski, N., R Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D., Chowdhury, R., Shibata, H., Thomson, A. and Zhen, L. (2015). *Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective*, *Anthropocene*, 12, 29 – 41.

## Medir (com LiDAR aéreo), Descrever (com Inteligência Artificial) e Fazer a Terra



**Nelson MILEU;**

Socarto; [nelson.mileu@socarto.pt](mailto:nelson.mileu@socarto.pt)

**Bernardo SARGENTO**

Socarto; [bernardo.sargento@socarto.pt](mailto:bernardo.sargento@socarto.pt)

**Resumo:** O artigo aborda o projeto da cobertura LiDAR para Portugal continental, destacando a sua importância na cartografia e análise geoespacial. A tecnologia LiDAR, baseada na emissão e receção de impulsos *laser*, permite a criação de mapas topográficos detalhados e a classificação de elementos geográficos através de inteligência artificial. A classificação das nuvens de pontos através de inteligência artificial permite obter de uma forma rápida e rigorosa vários produtos derivados como os modelos digitais de terreno e de superfície, possibilitando aplicações em áreas como gestão de riscos, alterações climáticas e planeamento territorial. A ideia-chave do texto reside no impacto transformador da cobertura LiDAR, que fornece uma base cartográfica uniforme e detalhada, essencial para o avanço da Geografia Física e Humana. Além disso, enfatiza-se a necessidade de investimentos contínuos em ensino e investigação neste domínio para maximizar o potencial destes dados na sociedade.

**Palavras-chave:** LiDAR; nuvem de pontos; classificação; *machine learning*; *deep learning*

Dos muitos ensinamentos que tive a felicidade de receber do Professor Jorge Gaspar nas aulas de Geografia Humana, recordo-me da sua referência de que "fazer" a Terra implica medir e descrever a Terra.

É precisamente sobre uma técnica de medição, utilizando um levantamento aéreo a *laser* e a descrição desses dados com base em inteligência artificial, que partilho algumas notas sobre os lotes 2, 3 e 4 (entre Ovar e Faro) da cobertura LiDAR (Light Detection and Ranging) para o território de Portugal continental, projeto (Diário da República, 2022; Direção-Geral do Território, 2023) que coordeno na empresa Socarto.

A primeira nota diz respeito à técnica. Um sistema LiDAR aéreo é composto por um *laser* e um recetor. Na cobertura LiDAR dos lotes 2, 3 e 4 (entre as latitudes 40°51'52.744"N e 36°57'23.4"N), foi utilizado o equipamento Riegl VQ-780II-S (RIEGL, 2024). O *laser* deste equipamento emite um feixe de luz que, ao atingir o solo ou um objeto, reflete-se e retorna ao recetor. Este mede com precisão o tempo de viagem do impulso e a intensidade da luz devolvida. Como a velocidade da luz é conhecida, o tempo de viagem pode ser convertido numa medição de distância, com um intervalo entre 250 m e 7100 m.

O LiDAR combina essa distância com a posição do *laser*, obtida via GNSS, e a orientação do laser, determinada por uma unidade de medição inercial (IMU), que mede a rotação, inclinação e orientação da aeronave. Assim, são calculadas coordenadas exatas ( $x, y, z$ ) do solo para cada impulso *laser*.

Este levantamento aéreo gerou aproximadamente 1,11 quadrilhões de pontos, totalizando 11,2 terabytes de dados organizados em 68.400 ficheiros. O voo foi realizado a uma altitude aproximada de 1950 m, com o *laser* operando a 400 kHz, emitindo 400.000 pulsos por segundo, resultando numa densidade superior a 10 pontos por m<sup>2</sup>. O sistema LiDAR utilizado captura e digitaliza todo o sinal refletido e pode registar até 14 retornos do mesmo impulso. Se um feixe atingir uma árvore, por exemplo, parte dele refletirá nas folhas e enviará um retorno, enquanto o restante continuará a descer, produzindo mais retornos até atingir o solo, onde se gerará o último retorno.

Além do sistema LiDAR, foi montado na aeronave um sensor auxiliar de imagem. Neste caso, adotou-se uma solução PhaseOne composta por duas câmaras fotográficas: a PhaseOne iXM-RS 150F (RGB) e a PhaseOne iXM-RS 100 (NIR). Esta configuração permitiu a aquisição de imagens com resolução espacial mínima de 0,25 m, resolução radiométrica de pelo menos 8 bits e composição espectral de quatro bandas (Vermelho, Verde, Azul e Infravermelho Próximo), possibilitando visualizar diferentes atributos da nuvem de pontos (Figura 1).

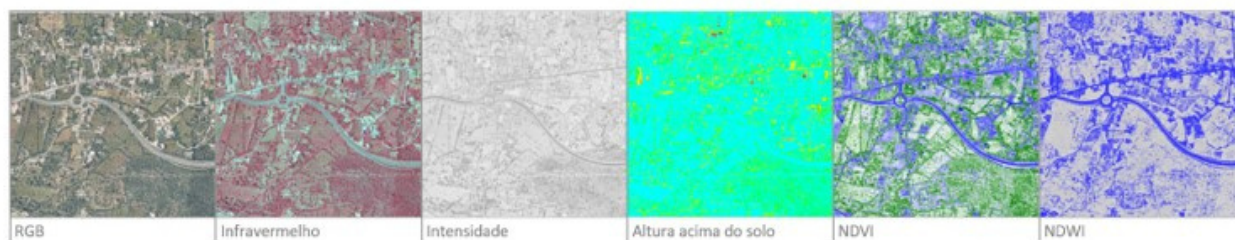


Figura 1 - Exemplo de atributos disponíveis nas nuvens de pontos.

A segunda nota incide sobre a classificação dos dados e o reconhecimento de objetos, fundamentais para uma descrição detalhada da realidade. Nos últimos anos, o rápido avanço da análise de grandes volumes de dados e da computação em GPU permitiu que técnicas baseadas em inteligência artificial tivessem um impacto significativo na classificação e no reconhecimento de objetos em nuvens de pontos LiDAR (Özdemir et al., 2019; Radanliev, 2024). Em vez de abordagens baseadas em regras geométricas rígidas, a IA permite o ensino por padrões, utilizando modelos de classificação previamente treinados.

Por exemplo, para a classificação de pontes, o modelo foi treinado com diferentes tipos de pontes e viadutos, permitindo a sua identificação e evolução contínua. O desenvolvimento da abordagem de *deep learning* (DL) e a aprendizagem com objetos que "escaparam" à classificação inicial contribuirão para a melhoria contínua da classificação das nuvens de pontos. Com o tempo, essa automatização permitirá a realização de novos levantamentos aéreos sem intervenção humana nessa etapa, tornando a classificação mais flexível e escalável, ajustando-se a diferentes realidades geográficas.

Neste projeto, a "segmentação semântica" das nuvens de pontos foi realizada através de um modelo de *deep learning* para classificar inicialmente diversas categorias, incluindo solo, vegetação (baixa, média, alta), edifícios, ruído isolado baixo e elevado, água, pontes, linhas elétricas (baixa e alta tensão), torres elétricas, catenárias e torres ferroviárias, fachadas de edifícios, veículos, paredes e fachadas, objetos nos telhados (chaminés, painéis solares), pontos abaixo do solo e outras estruturas artificiais. Com base nestas classificações, as nuvens de pontos classificadas por IA foram reclassificadas para nove classes finais: 1-Outro; 2-Terreno; 3-Vegetação baixa; 4-Vegetação média; 5-Vegetação alta; 6-Construções; 7-Ruído; 9-Água e 26-Pontes (Figura 2).

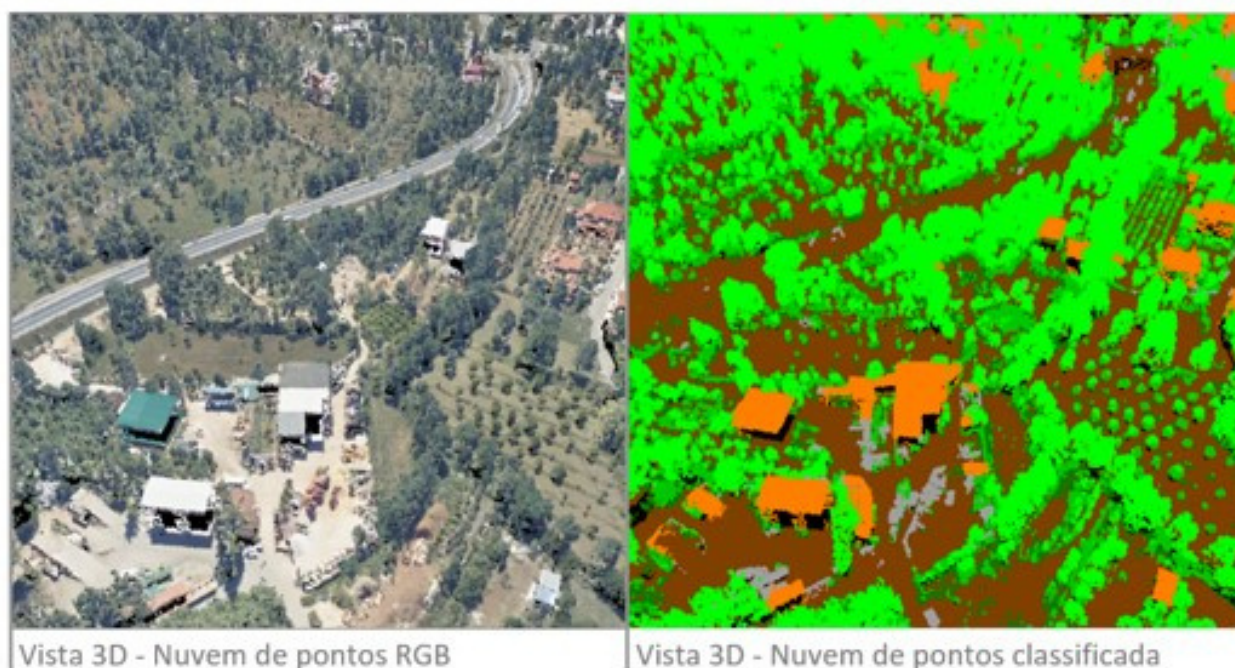


Figura 2 - Visualização 3D de uma nuvem de pontos RGB e classificada.

A evolução recente da tecnologia LiDAR tem sido notável, permitindo a sua aplicação em múltiplas áreas do conhecimento, como agricultura, florestas, arqueologia, engenharia ou indústria automóvel, onde serve de suporte à navegação autónoma. Em Portugal, apesar de ainda não estar amplamente disseminada na Geografia, esta tecnologia já foi explorada em alguns estudos. Destaca-se o relatório de estágio "Contributo dos dados LiDAR para o Inventário Florestal Municipal" (Sarmiento, 2010), orientado pelo Professor José Tenedório e por mim, no qual os dados ALS foram utilizados para mapear o coberto do solo e identificar árvores. Outro exemplo é o estudo "Vantagens da utilização de dados ALS (LiDAR) na caracterização morfológica das vertentes costeiras da Galiza", de Pereira, Gomes & Alberti (2013), que demonstrou as vantagens do LiDAR face a metodologias altimétricas convencionais na análise geomorfológica.

O grande desafio que a Geografia enfrenta com a disponibilização da cobertura LiDAR para Portugal continental, pela Direção-Geral do Território, é como "fazer" a Terra com estes dados. A cobertura integral do território abre novas possibilidades para estudos e projetos, permitindo que estes se baseiem numa cartografia digital de elevada precisão, atualizada e homogénea.

A cobertura LiDAR para Portugal continental possibilitará diversas aplicações imediatas e de grande relevância, evidenciando a importância desta tecnologia. A aplicação mais imediata será a criação de mapas topográficos altamente detalhados, proporcionando uma cartografia vetorial integral e atualizada. A disponibilidade de dados cartográficos recentes e obtidos de forma sistemática permitirá que estudos de delimitação da Reserva Ecológica Nacional contem com um suporte cartográfico unificado a nível nacional, garantindo coerência entre

territórios ou o desenvolvimento de planos de gestão de riscos de inundações baseados em modelos mais precisos, permitindo a definição de medidas de mitigação mais eficazes. Os dados LiDAR também poderão ser utilizados para monitorizar os efeitos das alterações climáticas, como a subida do nível do mar, e para o planeamento de emergência, incluindo a definição de rotas de evacuação em caso de tsunamis (Santos & Mileu, 2024). Estes são apenas alguns exemplos que demonstram como os dados obtidos a partir do levantamento LiDAR contribuirão significativamente para o avanço da Geografia Física e Humana.

O futuro promissor que estes dados oferecem deve ser acompanhado por investimentos no ensino e na investigação nesta área. Só assim será possível explorar todo o potencial dos dados LiDAR nos diversos setores da sociedade. Agora que se inicia um novo capítulo na disponibilização de dados LiDAR para Portugal continental, espera-se que este processo seja acompanhado por uma política de aquisição regular de dados cartográficos, à semelhança do que já ocorre há alguns anos em Espanha.

## Referências

- DIÁRIO DA REPÚBLICA (5 de dezembro de 2022). Acedido em Fevereiro 1, 2025, [https://files.diariodarepublica.pt/cp\\_hora/2022/12/233/415933384.pdf](https://files.diariodarepublica.pt/cp_hora/2022/12/233/415933384.pdf)
- Direção-Geral do Território (7 de novembro de 2023). Acedido em Fevereiro 1, 2025, [https://www.idee.es/resources/presentaciones/JIIDE23/presentaciones/02-PT\\_Apresentacao\\_JIIDE2023.pdf](https://www.idee.es/resources/presentaciones/JIIDE23/presentaciones/02-PT_Apresentacao_JIIDE2023.pdf)
- Özdemir, E.; Remondino, F.; Golkar, A. (2019). Aerial Point Cloud Classification With Deep Learning and Machine Learning Algorithms. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-4/W18. 843-849. 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-843-2019.
- Pereira, A.; Gomes, A.; Alberti, A. (2013). Vantagens da utilização de dados ALS (LiDAR) na caracterização morfológica das vertentes costeiras da Galiza (Espanha): aplicação ao setor de Mougás. Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n.º 4 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 223-248 224
- Radanliev, P. (2024). Artificial intelligence: reflecting on the past and looking towards the next paradigm shift. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 1–18. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2024.2323042>
- RIEGL (2024). Datasheet RIEGL\_VQ-780II-S. Acedido em Fevereiro 1, 2025, [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/RIEGL\\_VQ-780II-S\\_Datasheet\\_2024-03-22.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-780II-S_Datasheet_2024-03-22.pdf)
- Sarmiento, C. (2010). Contributo dos dados lidar para o inventário florestal municipal, Relatório de Estágio, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10362/5634>
- Santos, A., & Mileu, N. (2024). Coastal Protection for Tsunamis. Journal of Marine Science and Engineering, 12(12), 2349. <https://doi.org/10.3390/jmse12122349>



"Desafios contemporâneos da inteligência artificial na educação e na sociedade. Imagem gerada pelo chatGPT, em 24 de fevereiro de 2025