signos geográficos
Boletim NEPEG de Ensino de Geografia
ISSN: 2675-1526
www.revistas.ufg.br/signos

PENSAMENTO ESPACIAL E NAVEGAÇÃO POR GPS: REVISÃO SISTEMÁTICA E SÍNTESE TEMÁTICA DE PERSPECTIVAS COGNITIVAS E GEOVISUALIZAÇÃO

SPATIAL THINKING AND GPS NAVIGATION: A SYSTEMATIC REVIEW AND THEMATIC SYNTHESIS OF COGNITIVE AND GEOVISUALIZATION PERSPECTIVES

PENSAMIENTO ESPACIAL Y NAVEGACIÓN POR GPS: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y SÍNTESIS TEMÁTICA DE PERSPECTIVAS COGNITIVAS Y DE GEOVISUALIZACIÓN

Pedro Henrique Freire Janzantti
Escola da Administração de Empresas de São Paulo (EAESP), Fundação Getúlio Vargas (FGV), São Paulo, São Paulo, Brasil, pjanzantti@gmail.com

Resumo: Uma série de estudos consolida o pensamento espacial como um campo teórico e empírico próprio dentro da Geografia e da Educação Geográfica. Embora haja avanços em pesquisas sobre o desenvolvimento de competências espaciais, especialmente no contexto educacional, com foco em práticas de Geoprocessamento e Cartografia, a maioria desses estudos se concentra nos efeitos pedagógicos do treinamento técnico, e não na influência das tecnologias cotidianas, como o aplicativo de navegação GPS. A partir de uma revisão sistemática de literatura, orientada pelo protocolo PRISMA, identificou-se que, embora o pensamento espacial seja amplamente descrito como uma habilidade cognitiva treinável e essencial para compreender, representar e interagir com o espaço, ainda são escassas as evidências empíricas que relacionam de modo direto o uso de tecnologias de navegação digital ao nível dessa competência ou ao efeito do seu uso. A revisão mostra que usar GPS com frequência está associado a pior senso de direção e menor conhecimento do ambiente. Ao mesmo tempo, pessoas que já têm menor habilidade espacial tendem a usar ainda mais o GPS, mais do que isso, diferentes habilidades visuoespaciais predizem o desempenho dependendo da perspectiva de aprendizagem. Assim, entendemos que essa relação é bidirecional: baixa habilidade leva ao uso do GPS, e o uso intenso do GPS impacta negativamente a habilidade, sendo a interface do usuário (a geovisualização e o design) questão chave nesse impacto cognitivo.
Palavras-chave: pensamento espacial; navegação; cognição espacial; dependência tecnológica; revisão sistemática de literatura.

signos geográficos
Boletim NEPEG de Ensino de Geografia
ISSN: 2675-1526
www.revistas.ufg.br/signos

Abstract: A body of research has consolidated spatial thinking as a distinct theoretical and empirical field within Geography and Geographic Education. Although advances have been made in studies on the development of spatial competencies, particularly in educational contexts, with an emphasis on Geoprocessing and Cartographic practices, most of this literature focuses on the pedagogical effects of technical training rather than on the influence of everyday technologies, such as GPS navigation applications. Based on a systematic literature review guided by the PRISMA protocol, it was found that while spatial thinking is widely described as a trainable cognitive ability that is essential for understanding, representing, and interacting with space, empirical evidence directly linking the use of digital navigation technologies to levels of this competence, or to the effects of their use, remains scarce. The review indicates that frequent GPS use is associated with a poorer sense of direction and reduced environmental knowledge. At the same time, individuals with lower spatial ability tend to rely more heavily on GPS. Moreover, different visuospatial abilities predict performance depending on the learning perspective adopted. Taken together, these findings suggest that the relationship is bidirectional: lower spatial ability leads to greater reliance on GPS, while intensive GPS use negatively affects spatial ability. In this process, the user interface, particularly geovisualization and design, emerges as a key factor in shaping this cognitive impact.
Keywords: spatial thinking; navigation; spatial cognition; technological dependence; systematic literature review.

Resumen: Un conjunto de estudios ha considerado el pensamiento espacial como un campo teórico y empírico propio dentro de la Geografía y la Educación Geográfica. Aunque se han producido avances en investigaciones sobre el desarrollo de competencias espaciales, especialmente en contextos educativos, con énfasis en prácticas de Geoprocesamiento y Cartografía, la mayor parte de esta literatura se centra en los efectos pedagógicos del entrenamiento técnico, y no en la influencia de tecnologías de uso cotidiano, como las aplicaciones de navegación por GPS. A partir de una revisión sistemática de la literatura, orientada por el protocolo PRISMA, se identificó que, si bien el pensamiento espacial es ampliamente descrito como una habilidad cognitiva entrenable y esencial para comprender, representar e interactuar con el espacio, aún son escasas las evidencias empíricas que vinculan de manera directa el uso de tecnologías de navegación digital con el nivel de dicha competencia o con los efectos de su uso. La revisión muestra que el uso frecuente del GPS se asocia con un peor sentido de la orientación y un menor conocimiento del entorno. Al mismo tiempo, las personas con menor habilidad espacial tienden a depender más del GPS. Además, distintas habilidades visuoespaciales predicen el desempeño en función de la perspectiva de aprendizaje adoptada. En conjunto, estos hallazgos indican que esta relación es bidireccional: una menor habilidad espacial conduce a un mayor uso del GPS, y el uso intensivo del GPS impacta negativamente en dicha habilidad. En este proceso, la interfaz de usuario, en particular la geovisualización y el diseño, emerge como un factor clave en este impacto cognitivo.
Palabras clave: pensamiento espacial; navegación; cognición espacial; dependencia tecnológica; revisión sistemática de la literatura.

Introdução

Uma série de estudos consolida o pensamento espacial como um campo teórico e empírico próprio dentro da Geografia e da Educação Geográfica. Jo e Bednarz (2009) propõem uma taxonomia tridimensional do pensamento espacial, articulando conceitos de espaço, ferramentas de representação e processos de raciocínio como dimensões complementares dessa habilidade. Em trabalhos posteriores, Jo, Bednarz e Metoyer (2010) mostram que o desenvolvimento do pensamento espacial pode ser estimulado intencionalmente por meio de perguntas e atividades que integrem as três dimensões. Bednarz e Lee (2011) e Lee e Bednarz (2012) reforçam essa estrutura ao identificar evidências empíricas de que o pensamento espacial é composto por múltiplas habilidades cognitivas que podem ser ensinadas e avaliadas. De modo convergente, Newcombe e Shipley (2014) ampliam essa perspectiva ao classificar os tipos de raciocínio espacial e discutir sua maleabilidade, argumentando que tais habilidades podem ser treinadas e transferidas para diferentes contextos de aprendizagem e tomada de decisão.

Embora haja avanços em pesquisas sobre o desenvolvimento de competências espaciais, especialmente no contexto educacional, com foco em práticas de Geoprocessamento e Cartografia, a maioria desses estudos se concentra nos efeitos pedagógicos do treinamento técnico (Lee; Bednarz, 2009; 2020; Kim; Bednarz, 2013; Goodchild, 2011; Jo; Hong; Verma, 2016; Hickman, 2023), e não na influência das tecnologias cotidianas, como o aplicativo de navegação GPS. Os avanços técnicos nos sistemas de navegação deveriam aprimorar a experiência de condução, apoiando a tomada de decisão espacial dos motoristas e pedestres, e o aprendizado em ambientes pouco familiares ou desconhecidos (Brishtel *et al*., 2021). Entretanto, a literatura apresenta resultados discordantes quanto aos impactos do sistema de navegação nas habilidades espaciais, provavelmente porque os estudos adotam métodos e procedimentos variados e utilizam diferentes métricas (Miola *et al*., 2024).

Importante destacar que sob a ótica do usuário, há quem conceba os aplicativos de navegação como uma extensão digital do mapa de papel, privilegiando a leitura espacial e a compreensão da estrutura urbana, enquanto outros os consideram como uma ferramenta automatizada, centrada no cálculo de rotas e em instruções passo a passo (Quesnot; Roche, 2020). De uma forma ou de outra, levantam-se questões sobre um possível surgimento de uma população dependente de um dispositivo (Wessel; Karduni; Sauda, 2018) e uma menor consciência espacial e menor letramento cartográfico (Speake; Axon, 2012). Mark *et al*. (1987) já haviam levantado essa questão quando analisam os primeiros sistemas computadorizados de

navegação em automóveis, questionando se esse novo objeto técnico, com interface dinâmica e interativa, alterava a forma como as pessoas aprendem rotas e tomam decisões espaciais.

Considerando essas questões, o presente artigo realiza uma revisão sistemática de literatura, orientada pelo protocolo PRISMA (Page *et al*., 2022), com o objetivo de identificar como a produção científica tem abordado o pensamento espacial em articulação com o uso de tecnologias de navegação. O método adotado busca assegurar rigor, transparência e reprodutibilidade nas etapas de coleta, triagem e análise dos estudos, estruturando a pergunta de pesquisa segundo o modelo População-Exposição-*Outcome* (PEO) para delimitar os critérios de inclusão.

Assim, este artigo tem como objetivo sistematizar as pesquisas sobre pensamento espacial e uso de tecnologias de navegação, buscando responder à seguinte pergunta: Como a literatura científica tem abordado a relação entre o uso de tecnologias de navegação GPS e o desenvolvimento do pensamento espacial? Para organizar essa resposta, a síntese dos resultados da revisão sistemática de literatura será conduzida por meio de uma análise temática narrativa (*narrative thematic synthesis*), abordagem amplamente recomendada para revisões que reúnem estudos qualitativos, quantitativos e mistos (Popay *et al*., 2006; Thomas; Harden, 2008). Esse método permite integrar diferentes tipos de evidência empírica e explorar padrões conceituais e convergências interpretativas entre os achados. A partir dessa leitura integrada, identificamos duas dimensões recorrentes na literatura: (1) discussões sobre os impactos cognitivos do uso de tecnologias de navegação e (2) como o *design* dos aplicativos através de geovisualização interfere nesses mesmos impactos. O desafio futuro vai além de simplesmente fornecer instruções corretas para facilitar a navegação; trata-se de entregar a informação relevante no momento certo e priorizar o desenvolvimento contínuo das habilidades de navegação dos usuários (Lakehal *et al*., 2021).

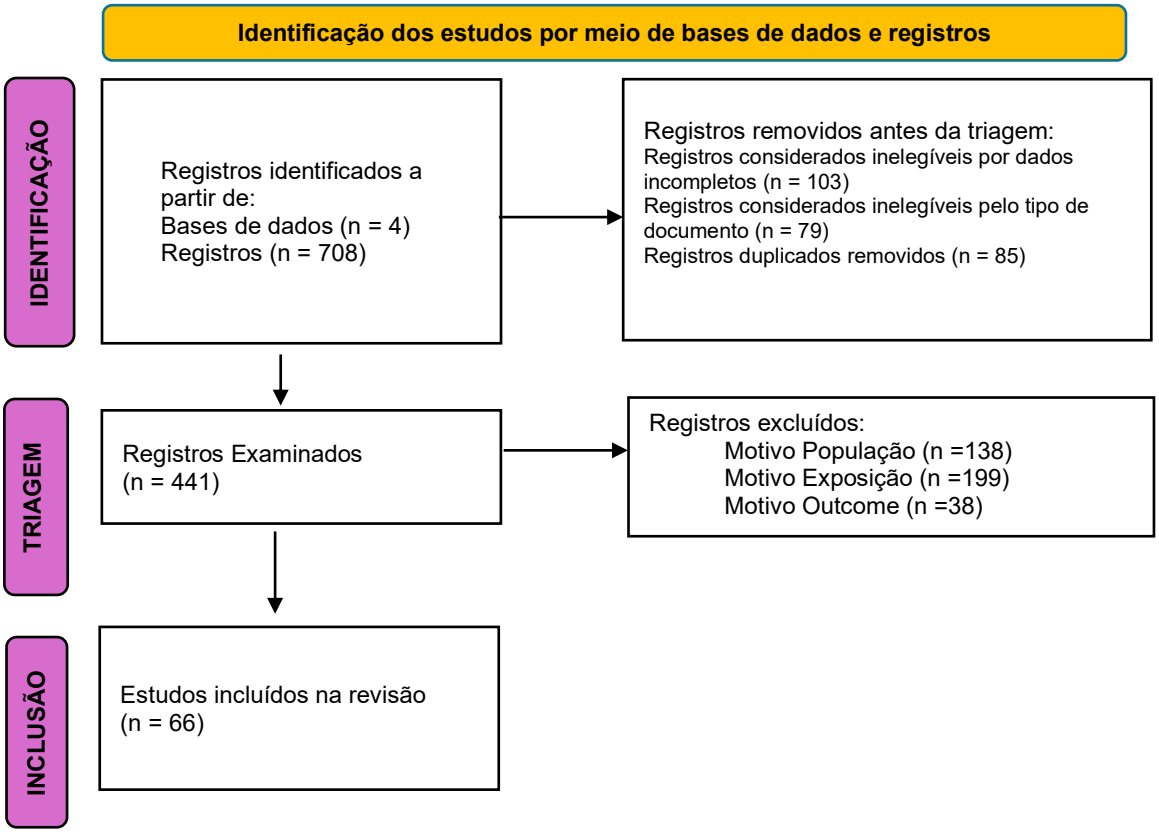
Metodologia

Nos últimos anos, a revisão sistemática de literatura se consolidou como um método relevante também na pesquisa geográfica. Por exemplo, Bendl *et al*. (2024) revisam o conceito de *geographical thinking* na educação geográfica, e McLaughlin e Bailey (2023) analisam intervenções educacionais em geociências voltadas ao desenvolvimento de habilidades espaciais. Inserindo-se nessa tendência, o presente estudo aplica o protocolo PRISMA 2020 para examinar, de forma integrada, as evidências empíricas sobre o pensamento espacial e o uso de tecnologias de navegação digital. O protocolo constitui uma diretriz internacional que

orienta a condução e o relato transparente de revisões sistemáticas com clareza, reprodutibilidade e rigor na síntese de evidências (Page *et al*., 2022). Embora tenha sido originalmente desenvolvido no campo da saúde, o PRISMA vem sendo amplamente aplicado em outras áreas do conhecimento, como educação (Peixoto *et al*., 2021), ciências sociais (Ngamaba; Panagioti; Armitage, 2018), tecnologia (Grekousis, 2019) e Geografia (Bendl *et al.*, 2024; Lane; Bourke, 2019), pela sua utilidade em padronizar o processo de revisão e aumentar a confiabilidade dos resultados.

O fluxograma (Figura 1) representa a sequência de procedimentos adotada na presente pesquisa. Antes da triagem formal, foram removidos registros por motivos técnicos: dados incompletos, tipos de documentos inelegíveis e duplicatas. A triagem metodológica seguiu uma avaliação sequencial baseada nos critérios definidos pela pergunta no formato PEO. Após essa etapa sequencial de exclusão, 66 estudos foram incluídos na revisão sistemática. As etapas do processo, da definição da estratégia de busca à inclusão final dos estudos, foram documentadas em planilhas padronizadas, seguindo as recomendações do PRISMA 2020.

Figura 1 - Fluxo de identificação, triagem e inclusão dos estudos segundo critérios de qualidade de dados e protocolo PEO



Fonte: Organizado pelo autor (2025).

a. Identificação de literatura

As buscas foram realizadas nas em quatro bases: *Scopus*, EBSCO, *Web of Science* (*WoS*) e *Scielo*, que são reconhecidas pela abrangência e qualidade das publicações. A escolha dos termos de busca foi realizada através de operações booleanas combinando termos da exposição a ser investigada e das discussões esperadas: o uso de aplicativos de navegação GPS e as habilidades espaciais (presentes em campos como a Geografia, a Psicologia Cognitiva, as Ciências Cognitivas e a Neurociência). As estratégias de busca foram adaptadas às especificidades sintáticas de cada base, conforme apresentado no Quadro 1. A busca foi aplicada aos campos de título, resumo e palavras-chave, sem restrição de período ou de área do conhecimento, a fim de maximizar a recuperação de estudos relevantes.

Quadro 1 - Estratégia de busca adotada nas bases de dados

Base de dados	**String de busca (operadores booleanos)**
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("spatial thinking" OR "spatial skill" or "spatial ability" or "spatial cognition") AND TITLE-ABS-KEY("gps navigation" or "GPS" or "navigation system" or "navigation app" or "wayfinding" or "map navigation")
Web of Science	TS= ("spatial thinking" OR "spatial skill*" OR "spatial ability*" OR "spatial cognition") AND TS= ("gps navigation" OR "GPS" OR "navigation system*" OR "navigation app*" OR "wayfinding" OR "map navigation")
EBSCO	XB (TX ("spatial thinking" OR "spatial skill*" OR "spatial ability*" OR "spatial cognition")) AND XB (TX ("gps navigation" OR "GPS" OR "navigation system*" OR "navigation app*" OR "wayfinding" OR "map navigation"))
SCIELO	("pensamento espacial" OR "spatial thinking" OR "habilidade espacial" OR "spatial skill" OR "spatial ability" OR "cognição espacial" OR "spatial cognition") AND ("navegação por gps" OR "gps navigation" OR "sistema de navegação" OR "navigation system" OR "aplicativo de navegação" OR "navigation app" OR "wayfinding" OR "map navigation")

Fonte: Organizado pelo autor (2025).

b. Triagem

Essa etapa consiste na avaliação da elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão sistemática. O primeiro filtro se deu através da padronização dos registros e remoção de artigos com metadados incompletos (autores, título, ano, periódico, DOI e resumo) e duplicados (avaliação feita através da identificação de valores únicos de DOI). O segundo filtro foi um critério de qualidade, que restringiu a amostra a trabalhos classificados como Artigo de

Periódico Revisado por Pares. Depois disso, o processo de triagem foi conduzido por revisor único, em duas etapas sequenciais:

1. Avaliação temática do periódico e leitura do título e resumo, com exclusão de estudos fora do escopo temático;
2. Leitura do texto completo, para confirmar a elegibilidade conforme os critérios estabelecidos.

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos previamente para garantir transparência, consistência e reprodutibilidade ao processo de triagem dos estudos. Esses critérios visam assegurar que apenas pesquisas empiricamente relevantes e alinhadas ao escopo do pensamento espacial e das tecnologias de navegação fossem consideradas. O Quadro 2 apresenta de forma resumida os parâmetros adotados.

Quadro 2 - Critérios de inclusão e exclusão com base no formato PEO

Critérios de Inclusão	**Critérios de Exclusão**
● Artigos publicados em periódicos revisados por pares (*peer-reviewed*). ● Pesquisas realizadas com participantes humanos. ● Estudos empíricos (quantitativos, qualitativos ou mistos) que abordam o pensamento espacial em contextos de navegação assistida por GPS. ● Presença de variáveis de pensamento espacial e desambiguações como dimensões cognitivas ou comportamentais relacionadas à navegação, memória espacial, raciocínio espacial ou percepção do ambiente.	● Estudos que não envolviam participantes humanos, ou que não apresentavam desenho empírico (experimentos, surveys, estudos comportamentais) ● Publicações não empíricas (revisões teóricas ou ensaios conceituais). ● Estudos que não avaliavam o uso de sistemas de navegação ou análogos (GPS, mapas digitais, turn-by-turn, AR, interfaces de orientação) ● Estudos que não apresentavam medidas ou discussões relacionadas ao pensamento espacial, como senso de direção, estratégias de navegação, memória espacial, representações ego/alocêntricas, mapas cognitivos, etc. ● Comunicações em conferências, editoriais e capítulos de livro. ● Duplicatas.

Fonte: Organizado pelo autor (2025).

Vários estudos utilizam o GPS como sensor para capturar o movimento das pessoas, mas nem todos atendem aos critérios de in/clusão desta revisão. Por exemplo, Jung *et al*. (2021) analisam sistemas de navegação com realidade aumentada (AR), relacionando habilidade espacial, presença e compreensão conceitual à intenção de compra. Apesar de empregar o termo "habilidade espacial", o foco do artigo é comportamental e mercadológico, sem mensuração empírica de cognição espacial. De modo semelhante, Nuhn e Timpf (2023) discutem como o

design algorítmico pode afetar a memorização e a percepção de rotas, propondo que trajetos com marcos visuais significativos favorecem o aprendizado espacial. Contudo, trata-se de um estudo conceitual e computacional, sem experimentos com usuários. Assim, ambos foram excluídos da revisão sistemática.

c. Análise de Resultados

A síntese dos resultados foi conduzida por meio de uma análise narrativa temática (*narrative thematic synthesis),* abordagem indicada para revisões que combinam estudos qualitativos, quantitativos e mistos, possibilitando a integração de evidências heterogêneas em torno de um mesmo fenômeno (Popay *et al*., 2006; Thomas; Harden, 2008; Hong *et al*., 2018). Esse método permite organizar e interpretar os achados identificando padrões conceituais, convergências e contrastes entre os estudos analisados.

O processo analítico ocorreu de maneira iterativa e indutiva: a partir da leitura integral dos artigos, foram identificados temas descritivos que, posteriormente, se consolidaram em dois eixos temáticos interpretativos (Thomas; Harden, 2008). Esses eixos refletem diferentes abordagens sobre o pensamento espacial e sua relação com o uso de tecnologias de navegação:

1. Impactos cognitivos do uso de tecnologias de navegação: Reúne estudos que investigam como o uso recorrente de sistemas de navegação, como o GPS, influencia processos cognitivos ligados à orientação espacial, à memória, à percepção e ao aprendizado do ambiente. Essa literatura analisa o GPS tanto como um suporte cognitivo (capaz de ampliar a eficiência da navegação) quanto como um fator de dependência e desengajamento, que pode modificar a forma como os indivíduos constroem e utilizam mapas mentais e reduzem o envolvimento ativo com o espaço.
2. Compreende pesquisas que exploram o papel do design cartográfico (geovisualização) e da interação humano-tecnologia na mediação do pensamento espacial. Os estudos desse eixo analisam como interfaces, representações visuais, simbologias, *feedbacks* e escalas influenciam a percepção, a tomada de decisão e o aprendizado espacial, destacando o potencial do design de sistemas de navegação para atenuar os efeitos cognitivos da automatização e estimular uma navegação mais reflexiva e exploratória.

Esses eixos, derivados da síntese temática, permitiram estruturar a análise comparativa dos resultados e evidenciar lacunas e potencialidades na pesquisa sobre o pensamento espacial e a navegação tecnológica, contribuindo para situar esse debate no contexto mais amplo da Geografia cognitiva.

Resultados

O conceito "pensamento espacial" é notoriamente discutido a partir da publicação da *National Research Council* (2006). Ela define o pensamento espacial como uma habilidade cognitiva baseada nas propriedades do espaço, formada pela combinação de três elementos interdependentes: conceitos de espaço, ferramentas de representação e processos de raciocínio. O espaço oferece o quadro conceitual e analítico no qual os dados podem ser integrados, relacionados e estruturados; as representações fornecem os meios para armazenar, analisar e comunicar ideias; e os processos de raciocínio permitem manipular, interpretar e explicar as informações consideradas. O pensamento espacial constitui, assim, uma competência essencial para compreender, representar e interagir com o mundo, conectando escalas que vão do corpo ao território, do local ao global.

Como apresentado na Tabela 1, os artigos incluídos nesta revisão sistemática concentram-se principalmente nas áreas de Psicologia e Ciências Cognitivas, Ciências da Informação Geográfica (incluindo geotecnologias e Geografia), Interface Humano–Computador, além de periódicos de engenharia e *journals* multidisciplinares. Já o Quadro 3 mostra uma lista dos principais termos que sintetizam as discussões que aparecem em cada um dos *papers*, a partir destes, estruturamos a seção a seguir, das discussões, em duas frentes: os impactos cognitivos e o design do aplicativo de navegação.

Tabela 1 - Temática dos periódicos

Temática	Periódico	Quantidade
Psicologia e Ciências Cognitivas	Frontiers in Psychology (1) British Journal of Psychology (1) Cyberpsychology, Behavior & Social Networking (1) Journal of Individual Differences (1) Cognitive Processing (1) International Journal of Environmental Research and Public Health (1) Journal of Applied Research in Memory and Cognition (1) International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence (1) Memory & Cognition (1) Journal of Experimental Psychology: Applied (1) Behavioral Sciences (2) Psychological Research (2) Quarterly Journal of Experimental Psychology (2) Cognitive Research-Principles and Implications (3) Journal of Environmental Psychology (3)	22

Ciência da Informação Geográfica	Cybergeo-European Journal of Geography (1) Annals of The American Association of Geographers (1) Journal of Location Based Services (1) Journal of Geo-Information Science (1) Cartography and Geographic Information Science(1) Tourism Geographies (1) Cartographic Journal (1) Area (1) Boletim de Ciencias Geodesicas (2) Professional Geographer (2) ISPRS International Journal Of Geo-Information (3) Transactions in Gis (3)	18
Engenharia	Advanced Engineering Informatics (1) Journal of Asian Architecture and Building Engineering (1) Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers (1)	3
Interface humano-tecnologia	International Journal of Human-Computer Studies (1) Proceedings of the ACM on Human Computer Interaction (1) Journal of Hospitality and Tourism Technology (1) Frontiers in Computer Science (1) International Journal of Human-Computer Interaction (6) Behaviour & Information Technology (7)	17
Multidisciplinar	Facilities (1) Applied Sciences-Basel (1) Scientific Reports (1) Cities (1) Transportation Research Part A: Policy and Practice (1) Theoretical Issues in Ergonomics Science (1)	6

Fonte: Organizado pelo autor (2025).

Quadro - Termos Chave

Termos	Autores
Wayfind	Meneghetti *et al*. (2019); Tahir e Krogstie (2023); Quesnot e Roche (2020); Brishtel *et al*. (2021); Teimouri e Richter (2023); Galvão, Krukar e Schwering (2021); Vaez, Burke e Yu (2020); Ishikawa (2019); Sönmez e Önder (2019); Speake e Axon (2012); Axon, Speake e Crawford (2012); Teimouri e Richter (2025); Zhu *et al*. (2022); Montuwy, Dommes e Cahour (2019); Chen e Li (2021); Zhou e Zhou (2023); Van Schaik, Mayouf e Aranyi (2015); Wu, Zhang e Zhang (2009); Iftikhar e Luximon (2022); Hedge, Weaver e Schnall (2017); Brunyé *et al*. (2015).
Individual differences	Yan *et al*. (2022); Meneghetti *et al*. (2019); Ramos *et al*. (2015); Miola *et al*. (2024); Li (2012); Quesnot e Roche (2020); Ramos *et al*. (2018); He e Hegarty (2020); Miola *et al*. (2023); Lin e Chien (2010); Brunyé *et al*. (2015); Wang *et al*. (2023); Wang *et al*. (2024); Zhu *et al*. (2022); Wu, Zhang e Zhang (2009); Van Der Kuil *et al*. (2021); Iftikhar e Luximon (2022); Münzer, Lörch e Frankenstein (2020); Hedge Weaver e Schnall (2017); Weisberg e Newcombe (2014); Labiale (2001).
Frame	Li (2012); Brügger, Richter e Fabrikant (2019); Li *et al*. (2013); Qiu *et al*. (2024a); Ying, Dong e Fabrikant (2024); Lin e Liu (2004); Wang *et al*. (2023); Wang *et al*. (2024); Li *et al*. (2014); Münzer, Lörch e Frankenstein (2020); Weisberg e Newcombe (2014); Luo *et al*. (2010); Labiale (2001).

Landmark	Qiu *et al*. (2024a); Schroder, Mackaness e Gittings (2011); Brunyé *et al*. (2015); Hamburger, Röser e Knauff (2022); He *et al*. (2022); Sönmez e Önder (2019); Grinberger (2019); Teimouri e Richter (2025); Zhu *et al*. (2022); Van Schaik, Mayouf e Aranyi (2015); Ruotolo, Claessen e Van Der Ham (2019); Deyzac, Logie e Denis (2006).
Age	Nori *et al*. (2022); Quesnot e Roche (2020); Ramos *et al*. (2019); Muffato *et al*. (2022); Fonseca *et al*. (2021); Lin e Liu (2004); Qiu *et al*. (2024b); Montuwy, Dommes e Cahour (2019); Zhou e Zhou (2023); Li e Luximon (2023).
Environmental knowledge	Ruginski *et al*. (2019); Miola *et al*. (2024); Brügger, Richter e Fabrikant (2019); Brishtel *et al*. (2021); Miola *et al*. (2023); Qiu *et al*. (2024a); Mazurkiewicz, Galvão e Giannopoulos (2023a); Mazurkiewicz, Kattenbeck e Giannopoulos (2023b); Van Der Kuil *et al*. (2021); Luo *et al*. (2010).
Multi-modal	Seminati *et al*. (2022); Liu *et al*. (2025); Baldwin (2009); Montuwy, Dommes e Cahour (2019); Chen e Li (2021); Zhou e Zhou (2023); Münzer, Lörch e Frankenstein (2020); Li e Luximon (2023); Deyzac, Logie e Denis (2006); Labiale (2001).
Sense of direction	Nori *et al*. (2022); Topete *et al*. (2024); Yan *et al*. (2022); Tahir e Krogstie (2023); Ruginski *et al*. (2019); Ishikawa (2019); Lin e Liu (2004); Weisberg e Newcombe (2014).
Spatial memory	Seminati *et al*. (2022); Brishtel *et al*. (2021); Muffato *et al*. (2022); Ying, Dong e Fabrikant (2024); Kelly, Lim e Carpenter (2022); Baldwin (2009); Ruotolo, Claessen e Van Der Ham (2019); Hedge, Weaver e Schnall (2017); Deyzac, Logie e Denis (2006) .
Turn by turn	Mazurkiewicz, Galvão e Giannopoulos (2023a); Mazurkiewicz, Kattenbeck e Giannopoulos (2023b); Brunyé *et al*. (2015); Kelly, Lim e Carpenter (2022); Fonseca *et al*. (2021); Wang e Li (2013); Teimouri e Richter (2025); Wu, Zhang e Zhang (2009).
Cognitive map	Li *et al*. (2013); Sönmez e Önder (2019); Minaei (2014); Speake e Axon (2012); Axon, Speake e Crawford (2012); Qiu *et al*. (2024b); Li *et al*. (2014); Van Der Kuil *et al*. (2021).
GPS dependence	Topete *et al*. (2024); Yan *et al*. (2022); Miola *et al*. (2024); Ying, Dong e Fabrikant (2024); Ishikawa (2019); Speake e Axon (2012); Axon, Speake e Crawford (2012).
Anxiety	Topete *et al*. (2024); Watanabe e Masuya (2013); He e Hegarty (2020); Muffato *et al*. (2022); Vaez, Burke e Yu (2020); Van Schaik, Mayouf e Aranyi (2015).
Scale	Ramos *et al*. (2015); Ramos *et al*. (2018); Minaei (2014); Li *et al*. (2013); Li *et al*. (2014); Brunyé *et al*. (2015).
Time pressure	Seminati *et al*. (2022); Watanabe e Masuya (2013); Chen e Li (2021); Brunyé *et al*. (2015).
Indoor/outdoor	Tahir e Krogstie (2023); Qiu *et al*. (2024b); Iftikhar e Luximon (2022).
Schematic	Galvão, Krukar e Schwering (2021); Wang e Li (2013).

Fonte: Organizado pelo autor (2025).

Discussão

a) Impactos cognitivos do uso de GPS

O debate sobre os impactos cognitivos das tecnologias de navegação dialoga diretamente com a história do pensamento espacial. Desde meados do século XX, diferentes

campos teóricos têm buscado compreender como os indivíduos percebem, representam e agem no espaço. Os primeiros estudos introduziram a noção de mapas mentais (Lynch, 1960), propondo que o ambiente urbano é internalizado por meio de imagens e rotas mentais cuja clareza depende da legibilidade do espaço. Em seguida, a teoria do conhecimento espacial (Siegel; White, 1975) descreve a aprendizagem do espaço como um processo progressivo, do reconhecimento de marcos (*landmarks*), à formação de rotas, até a construção de representações configuracionais (*survey knowledge*). Essa tradição evoluiu para abordagens contemporâneas que analisam como o uso de sistemas automatizados altera a tomada de decisão e a aquisição de referências espaciais. Mais recentemente, o debate se ampliou ao investigar como a navegação assistida afeta habilidades espaciais individuais (Baldwin *et al*., 2009), como o senso de direção, a rotação mental e a capacidade de orientação autônoma (Topete *et al*., 2024).

Sob a primeira perspectiva, a navegação envolvia historicamente um conjunto complexo de operações cognitivas e perceptivas: a busca de destinos, o reconhecimento da paisagem, a identificação de marcos e a formação de mapas mentais. Downs e Stea (2011) e Kitchin (1994) explicam que os mapas cognitivos são representações mentais que organizam as relações entre pontos de referência e caminhos, permitindo compreender, planejar e orientar o comportamento no espaço. Embora Sönmez e Önder (2019) tenham demonstrado que o GPS não impede a formação de imagens mentais do ambiente urbano, evidências recentes indicam que seu uso reduz a percepção da cidade em escala global e a qualidade dos mapas cognitivos formados pelos indivíduos (Minaei, 2014). Prabhakar *et al*. (2024) mostram que os mapas esquemáticos de transporte público moldam a forma como os indivíduos percebem o espaço urbano, indicando que o *design* das representações também reconfigura a imagem da cidade.

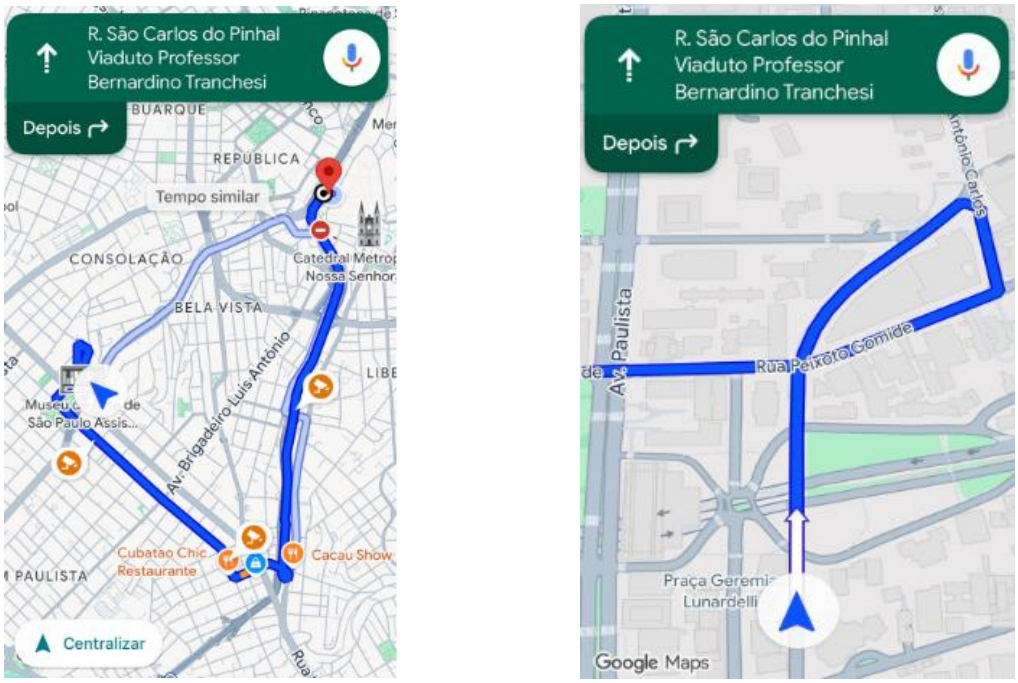
Sob a segunda perspectiva, entende-se o desenvolvimento do conhecimento espacial em três estágios progressivos: *landmark*, *route* e *survey knowledge (L-R-S)*. No primeiro, o indivíduo reconhece e memoriza marcos perceptuais isolados, baseando-se em objetos específicos do ambiente para se orientar. Em seguida, no estágio de *route knowledge*, essas referências são conectadas em sequências lineares de trajetos, permitindo compreender como os lugares se encadeiam ao longo de percursos conhecidos. Por fim, no nível de *survey knowledge*, ocorre a integração das rotas e marcos em uma representação do espaço que permite compreender relações métricas, estimar distâncias e planejar novos caminhos. Assim, o modelo propõe uma progressão da percepção localizada à representação global, mostrando que o conhecimento espacial se forma de modo cumulativo e dependente da experiência direta no ambiente (Siegel; White, 1975).

Os atuais sistemas de navegação assistida não favorecem a aquisição de conhecimento espacial que permita orientar-se autonomamente no ambiente. Isso pode ter efeitos indesejados sobre o desenvolvimento e a manutenção da capacidade humana de orientação e das habilidades de navegação (Münzer; Lörch; Frankenstein, 2020). Isso porque o desenvolvimento do *survey knowledge* (conhecimento global do ambiente) é substituído por um modo de navegação linear e automatizado (*route knowledge*), em que o usuário apenas segue instruções (*turn-by-turn)*, reduzindo o engajamento cognitivo (Gillett; Heersmink, 2019; Brunyé *et al*., 2015). Comandos por direção, ou navegação *turn-by-turn*, são focados na conveniência e não na aquisição de conhecimento sobre o ambiente percorrido (Kelly; Lim; Carpenter, 2022; Brunyé *et al*., 2015).

A adoção de instruções *turn-by-turn* implica menor consciência espacial e maior dependência de instruções externas, enquanto métodos baseados em referências espaciais favorecem o aprendizado e a navegação autônoma (Kuo; Chang; Chu, 2023). No estudo de Clemenson *et al*. (2021), participantes que utilizam navegação automática exibem menor precisão em tarefas de apontamento e maior incidência de erros na estimativa da localização de pontos de interesse, demonstrando que esse tipo de navegação prejudica a formação de mapas cognitivos. Dahmani e Bohbot (2020) demostram por meio de estudos transversal e longitudinal, que o uso habitual de GPS provoca um declínio significativo na memória espacial, pois substitui estratégias de aprendizado espacial por respostas estímulo-reação, reduzindo a codificação de marcos de referência e a formação de mapas cognitivos. Ainda assim, Kelly, Lim e Carpenter, (2022) especificam que, embora o GPS prejudique a memória do ambiente em geral, ele não prejudica a aprendizagem da rota em si.

Além da forma de instrução, o referencial de visualização da imagem também implica em diferentes formas de apreensão do conhecimento espacial (Münzer; Lörch; Frankenstein, 2020). A variação de visualização (alocêntrica ou egocêntrica), apresentadas na Figura 2, implicam em como o aplicativo organiza o espaço: em função da posição e da orientação do próprio corpo ou articulando as relações entre os elementos do ambiente. Isto significa: o indivíduo percebe os objetos e lugares em relação a si mesmo (“o mercado está à minha direita”, “a praça fica atrás de mim”) ou o indivíduo estrutura o espaço de modo independente (“a praça fica ao norte do mercado”, “a escola está entre o rio e a estrada”)? No primeiro caso, o desempenho no retorno de rotas (*route retracing*) e a formação de representações globais (*survey knowledge*) podem ser comprometidas (Wang *et al*., 2023).

Figura 2 - À esquerda temos a visão alocêntrica, na qual o usuário observa o mapa “de cima”, com a rota inserida em um contexto amplo da cidade (ruas, bairros e pontos de referência visíveis simultaneamente). À direita, temos uma visão egocêntrica, exibindo o trajeto a partir da perspectiva do próprio usuário, com o mapa orientado na direção do movimento e focado no trecho imediato da navegação



Fonte: Organizado pelo autor (2025).

Abordagens mais recentes reinterpretam o modelo clássico de Siegel e White (1975), entendendo esse processo de apreensão do conhecimento geográfico de modo mais dinâmico e situado. Grinberger (2019) argumenta que o comportamento espacial resulta da interação entre fatores cognitivos e externos. Por exemplo, estudos como os de Weisberg e Newcombe (2014) e Nardi, Newcombe e Shipley (2013) evidenciam que elementos estruturais do ambiente (como relevo e marcos visuais) têm papel fundamental na orientação inicial, mas tendem a ser perceptivamente negligenciados quando a navegação é mediada por dispositivos digitais. Assim, o foco desloca-se da ideia de um aprendizado espacial acumulativo para a de uma cognição espacial situada, em que o conhecimento do espaço é continuamente reconfigurado pela mediação tecnológica e pelas estratégias cognitivas adotadas pelos indivíduos.

Desse entendimento mais interativo e situado do pensamento espacial emerge uma terceira perspectiva, voltada a examinar como o uso contínuo de tecnologias de navegação afeta as habilidades cognitivas individuais. Segundo ela, os impactos do GPS variam conforme o tipo de uso e o perfil do usuário. Ishikawa (2019) demonstra que o uso prolongado de sistemas de navegação reduz o senso de direção, a rotação mental e a precisão do aprendizado espacial, indicando que os efeitos negativos do uso recorrente do GPS superam os benefícios das aptidões

espaciais individuais. De modo semelhante, Topete *et al*. (2024) encontram correlação negativa entre dependência do GPS, desempenho de navegação e senso de direção, reforçando que o uso excessivo dessas tecnologias está associado à redução das habilidades espaciais e da autoconfiança para se orientar. Nardi, Newcombe e Shipley (2013) identifica que diferenças individuais e de gênero na orientação surgem mais da escolha estratégica e da autoconfiança do que da habilidade perceptiva em si, reforçando que estilos de navegação variam sistematicamente entre grupos.

Miola *et al*. (2024) propõem uma escala que diferencia usos estratégicos do GPS (voltados à exploração e ao planejamento) de usos automáticos (centrados na orientação assistida). O uso estratégico está associado a maior autoeficácia e prazer em explorar, enquanto o uso automático relaciona-se a maior dependência e menor confiança espacial, indicando que o impacto do GPS sobre o pensamento espacial depende do nível de engajamento cognitivo e motivacional do usuário, e não apenas da frequência de uso. Desafiando a visão de que seu uso é necessariamente prejudicial ao desenvolvimento cognitivo, Nori *et al*. (2022) mostram que o GPS pode favorecer o aprendizado espacial e aprimorar decisões de direção entre usuários com maior competência visuoespacial.

Essa diversidade de abordagens evidencia que o campo é multidimensional: enquanto alguns estudos exploram as etapas de aquisição do conhecimento espacial, outros enfatizam a dimensão afetiva e motivacional da navegação, como o desconforto gerado pela incerteza espacial. Watanabe e Masuya (2013), por exemplo, revelam que caminhar com acesso a redes móveis torna a exploração mais deliberada, reduz a ansiedade de se perder e aumenta a curiosidade dos participantes. Por outro lado, Vaez, Burke e Yu (2020) demonstram que a navegação com suporte de aplicativo não reduz a ansiedade em comparação ao uso de mapas em papel nem em relação à navegação baseada apenas em sinalização local.

Apesar de bases conceituais consolidadas, a análise evidencia uma ausência de padronização metodológica entre os estudos revisados, o que compromete a comparabilidade dos resultados. A depender do campo epistemológico, diferentes variáveis são mobilizadas: senso de direção, memória espacial, *wayfinding*, conhecimento do ambiente (He; Hegarty, 2020; Muffato *et al*., 2022; Brishtel *et al*., 2021; Clemenson *et al*., 2021; Dahmani; Bohbot, 2020; Ishikawa *et al*., 2008). E, mais do que isso, discutem-se traços de personalidade (Meneghetti *et al*., 2019; He; Hegarty, 2020), dependência (Topete *et al*., 2024; Yan *et al*., 2022; Miola *et al*., 2024; Ying; Dong; Fabrikant, 2024; Laor; Galily, 2022), ansiedade (Ramos *et al*., 2015; Watanabe; Masuya, 2013; He; Hegarty, 2020; Muffato *et al*., 2022; Vaez; Burke;

Yu, 2020) e como a emoção afeta a relação com o espaço (Ruotolo; Claessen; Van Der Ham, 2019).

b) Geovisualização: *o design* de aplicativos de navegação

Escolhas de escala e *design* cartográfico influenciam significativamente o processamento cognitivo durante a condução, afetando a eficiência e a segurança na navegação (Ramos *et al*., 2018). Visualizar mapas em uma tela pequena, por exemplo, gera dificuldades para os usuários (Chen; Li, 2021; Zhou; Zhou, 2023). O *design* visual influencia diretamente o modo como as pessoas exploram, compreendem e memorizam o espaço durante a navegação (Labiale *et al*., 2001). Por isso, os aplicativos de navegação devem ser desenhados para estimular uma interação ativa com o ambiente, substituindo o modelo puramente instrucional por experiências que envolvam atenção, memória e reconhecimento contextual (Gillett; Heersmink, 2019).

Considerando que o comportamento espacial é resultado da interação das condições externas (como o *layout* e as âncoras de atividade) e das representações cognitivas internas (Grinberger, 2019), o *design* atua como mediador entre percepção e cognição, configurando não apenas a forma de representar o espaço, mas também os modos de explorá-lo e compreendê-lo. Nesse sentido, atender às necessidades do usuário torna-se ainda mais complexo diante das diferenças de formação, habilidades perceptivas e cognitivas, preferências e necessidades individuais (Çöltekin *et al*., 2017; Wu; Zhang; Zhang, 2009), além de fatores como gênero (Lin; Chien, 2010; Ramos *et al*., 2015) e preferências culturais (Li, 2012). Assim, a personalização aparece como um caminho promissor, já que um modelo único de navegação dificilmente atende de forma adequada a todos os usuários (Baldwin, 2009; Hedge; Weaver; Schnall, 2017).

De modo geral, sob a ótica do *design*, essas investigações convergem em seis frentes principais: (1) a comunicação multimodal; (2) as representações para a apreensão do conhecimento espacial; (3) as diferenças entre ambientes internos e externos e suas estruturas referenciais; (4) a alternância entre perspectivas egocêntricas e alocêntricas de visualização; (5) o papel da saliência espacial como mediadora entre percepção e atenção.

1. A comunicação multimodal: Estudos mostram que a navegação pode ser apoiada por diferentes modalidades sensoriais (visuais, auditivas ou verbais) e que algumas delas favorecem mais a construção de conhecimento espacial do que outras, reforçando o caráter multimodal do aprendizado espacial e da memória espacial (Giudice; Bakdash; Legge, 2007; Montuwy; Dommes; Cahour, 2019; Iftikhar e Luximon, 2022; Baldwin, 2009; Deyzac; Logie; Denis, 2006). A linguagem verbal, por exemplo, constitui um

mediador essencial na comunicação espacial, organizando o conhecimento do ambiente a partir de regras linguísticas (Seminati *et al*., 2022). Entretanto, Teimouri e Richter (2023) identificam problemas no linguajar das instruções, que nem sempre é claro ou natural para o usuário.

2. As representações: Wang e Li (2013) demonstram empiricamente que croquis são mais eficazes para transmitir a configuração espacial do que as instruções *turn-by-turn* tradicionais, sugerindo que ao incorporar elementos de esquematização, estimula-se o aprendizado espacial. Entretanto, Winter *et al*. (2021) observam que os sistemas contemporâneos enfrentam desafios de ambiguidade, escala e contexto ao traduzirem descrições verbais em referências espaciais, o que evidencia que a comunicação sobre lugares exige mais do que precisão geométrica. A distinção proposta por Hografer *et al*. (2020) entre imitação e esquematização ajuda a compreender esse processo (Figura 3). Enquanto a imitação busca reproduzir a aparência dos mapas tradicionais, privilegiando a legibilidade cognitiva, a esquematização enfatiza atributos temáticos em detrimento da precisão geométrica, tornando a visualização mais abstrata e conceitual. Nessa linha, Galvão, Krukar e Schwering (2021) afirmam que a cartografia esquemática oferece vantagens claras para *wayfinding* e deve ser considerada no *design* de sistemas de navegação, por favorecer clareza, eficiência e melhor aprendizagem espacial. Importante apenas garantir que o usuário consiga interpretar rapidamente as metáforas visuais propostas (Li; Luximon, 2023).

Figura 3 - Duas trajetórias de visualização cartográfica: a partir de dados abstratos, a "imitação" aproxima a visualização de uma representação semelhante a um mapa; a partir de dados geoespaciais, a "esquematização" simplifica o mapa para destacar atributos temáticos. Essas duas perspectivas refletem modos distintos de transformar dados em visualizações com aparência cartográfica

Fonte: Hografer *et al*. (2020).

3. Ambientes internos e externos: Pesquisadores têm distinguido o *design* para ambientes internos e externos, reconhecendo que cada contexto oferece estruturas referenciais distintas que influenciam a percepção, a memória e a orientação espacial. Em ambientes internos, as pistas são mais estáveis e delimitadas (como paredes, mobiliário, obras de arte ou marcos visuais fixos), o que favorece a construção de mapas cognitivos

consistentes e reduz a ansiedade durante a navegação (Van Schaik; Mayouf; Aranyi, 2015; Qiu *et al*., 2024b). Como posto por Iftikhar e Luximon (2022), a maioria dos participantes adota uma estratégia híbrida, integrando sinalização física e orientação digital, enquanto uma minoria depende exclusivamente das pistas estáticas. Já em ambientes externos, a variabilidade de referências visuais e a ausência de limites claros tornam a orientação mais dependente de estratégias cognitivas e tecnológicas, como o uso de marcos (Tahir; Krogstie, 2023).

4. A perspectiva do mapa: Sob a ótica do ponto de vista, o *design* de interfaces pode operar em diferentes referenciais. Gramann, Hoepner e Karrer-Gauss (2017) demonstram empiricamente que instruções enriquecidas com marcos visuais e informações contextuais favorecem o aprendizado espacial incidental, permitindo que o usuário compreenda melhor a estrutura do trajeto e reduza sua dependência do dispositivo. O modelo proposto por Wang *et al*. (2024) e Qiu *et al*. (2024a) ampliam essa discussão mostrando que a representação baseada em referenciais absolutos (alocêntrica) pode alinhar-se melhor à cognição espacial desses indivíduos, incluindo o aprendizado espacial. Como alternativa, Li *et al*. (2013) demonstram que interfaces de navegação que combinam visão detalhada e visão contextual melhoram a navegação sem sacrificar o desenvolvimento de mapas mentais. Em suma, os estudos concordam que a apreensão do espaço depende da perspectiva de aprendizagem (Van Der Kuil *et al*., 2021; Münzer; Lörch; Frankenstein, 2020; Luo *et al*., 2010).

5. A saliência espacial: A aquisição do conhecimento espacial, portanto, deve ser compreendida como um processo dinâmico que envolve percepção, atenção e contexto ambiental. Nesse sentido, diversos estudos têm explorado o conceito de saliência espacial, entendido como o grau em que um elemento do ambiente se destaca e é percebido como relevante para a orientação, facilitando seu reconhecimento e uso como ponto de referência durante o percurso (Hamburger; Röser; Knauff, 2022; He *et al*., 2022; Zhu *et al.*, 2022). A saliência resulta da combinação de fatores perceptivos (visibilidade, cor, forma e tamanho), fatores semânticos (significado e familiaridade) e fatores estruturais (posição em pontos decisórios do percurso) (Schroder; Mackaness; Gittings, 2011). Assim, mais do que uma propriedade física do objeto, ela constitui uma qualidade cognitivo-contextual que expressa a natureza relacional da navegação e reforça a ideia de que o conhecimento espacial é construído na interface entre o sujeito

> e o ambiente. Mazurkiewicz, Galvão e Giannopoulos (2023a), Mazurkiewicz, Kattenbeck e Giannopoulos (2023b) mostram que a liberdade de escolha e o envolvimento com o ambiente emergem como elementos centrais para o desenvolvimento de interfaces cognitivamente mais participativas e menos passivas. E, Ruotolo, Claessen e Van Der Ham (2019) mostram que marcos com carga emocional positiva facilitam a acurácia na localização dos pontos e na reprodução gráfica da rota, enquanto marcos negativos levaram os participantes a superestimar o comprimento da rota e a apresentar pior desempenho na reprodução de distâncias.

Por fim, estudos recentes têm dedicado atenção ao *design* voltado à inclusão, com foco em pessoas com deficiência visual (Real; Araujo, 2023; Giudice; Bakdash; Legge, 2007), bem como em pessoas idosas (Muffato *et al*., 2022; Lin; Liu, 2004; Montuwy; Dommes; Cahour, 2019; Baldwin, 2009; Li; Luximon, 2020), reconhecendo que essas populações apresentam particularidades perceptivas e cognitivas que afetam a navegação e a aprendizagem espacial. Em resumo, é necessário alinhar as modalidades de navegação aos perfis cognitivos dos usuários de forma que os aplicativos de navegação acomodem diferenças individuais das habilidades espaciais (Wang *et al*., 2024; Nardi; Newcombe; Shipley, 2013; Labiale *et al*., 2001).

O debate contemporâneo sobre *design* de sistemas de navegação tem se deslocado do foco em eficiência técnica para o papel dessas interfaces na formação e manutenção do pensamento espacial. Nesse sentido, Ruginski *et al*. (2022) propõem um conjunto de princípios de *design* cognitivo e inclusivo, enfatizando que os sistemas devem equilibrar informações locais (rotas) e globais (orientação), minimizar o excesso visual e oferecer *feedback* multimodal que atenda a diferentes perfis de usuários, como pessoas idosas ou com deficiência visual. Fonseca *et al*. (2021) apresenta uma demanda por *apps* mais precisos, simples e realmente pensados para pedestres, indicando que as soluções atuais ainda não atendem plenamente às necessidades de navegação a pé. Juntos, esses estudos indicam que o *design* cartográfico e de interface pode atuar como mediador cognitivo, promovendo o aprendizado espacial, a autonomia e a inclusão no uso das tecnologias de localização.

Esse aspecto dialoga com a instrumentalização do conceito de pensamento espacial, isto é, no entendimento dessa competência como passível de ser ensinada, acompanhada e avaliada ao longo do desenvolvimento cognitivo dos estudantes. A proposta de Jo e Bednarz (2009), posteriormente aplicada por Jo, Bednarz e Metoyer (2010) oferece aos professores instrumentos pedagógicos, como a taxonomia do pensamento espacial, que orienta a formulação de

atividades voltadas ao desenvolvimento dessa competência. Kim e Bednarz (2011) e Lee e Bednarz (2009), por sua vez, ampliam essa abordagem ao propor formas de avaliar o impacto do ensino com geotecnologias.

Nesse sentido, mais do que alertar para possíveis efeitos negativos do uso do sistema de navegação, é fundamental formar sujeitos capazes de compreender e dominar a exploração espacial, fortalecendo o conhecimento do espaço geográfico e a alfabetização cartográfica, tanto estática quanto dinâmica, seja dirigindo um carro, utilizando transporte público ou a pé. Estudos como o de Lehtinen e Vihanninjoki (2020) abordam como fazer com que a navegação seja engajante e prazerosa, desenvolvendo senso de direção e conexão afetiva com os trajetos.

Conclusão

O presente estudo se posiciona em linha com o que Axon, Speake e Crawford (2012) provocam: geógrafos devem se engajar mais ativamente nos diálogos interdisciplinares atuais sobre tecnologias de navegação e orientação. Nesse sentido, esta revisão sistemática permite reconhecer que, embora o pensamento espacial seja amplamente descrito como uma habilidade cognitiva treinável e essencial para compreender, representar e interagir com o espaço, ainda são escassas as evidências empíricas que relacionam de modo direto o uso de tecnologias de navegação digital ao nível dessa competência ou ao efeito do seu uso.

A revisão mostra que usar GPS com frequência está associado a pior senso de direção e menor conhecimento do ambiente (Ruginski *et al*., 2019; Ishikawa, 2019; He; Hegarty, 2020; Dahmani; Bohbot, 2020; Ishikawa *et al*., 2008; Brügger; Richter; Fabrikant, 2019). Ao mesmo tempo, pessoas que já têm menor habilidade espacial tendem a usar ainda mais o GPS, (Dahmani; Bohbot, 2020), mais do que isso, diferentes habilidades visuoespaciais predizem o desempenho dependendo da perspectiva de aprendizagem (Van Der Kuil *et al*., 2021). Assim, entendemos que essa relação é bidirecional: baixa habilidade leva ao uso do GPS, e o uso intenso do GPS impacta negativamente a habilidade, sendo a interface do usuário (a geovisualização e o *design*) questão chave nesse impacto cognitivo.

Além disso, pesquisas discutem como os sentimentos e fatores psicológicos, como autoeficácia, podem moderar esse ciclo e precisam ser investigados em estudos futuros (Miola *et al*., 2024; Miola *et al*., 2023; Ruotolo; Claessen; Van Der Ham, 2019), isto é, não é só sobre aptidão, mas, também, sobre crenças nas próprias habilidades. Nesse sentido, reforça-se a importância de se considerar a dimensão ontológica do sujeito que constrói sentido e consciência a partir de suas experiências espaciais (Castellar; Pereira; Paula, 2022). Evidências

recentes mostram que a dependência pode afetar até usuários altamente experientes: motoristas profissionais que utilizam navegação digital por longos períodos apresentam maior dificuldade em codificar informações espaciais na memória (Ying; Dong; Fabrikant, 2024).

Entre as implicações práticas, destaca-se a personalização como um caminho promissor para o *design* de aplicativos de navegação, pois diferenças individuais são cruciais para definir interfaces adaptativas capazes de apoiar a aquisição de conhecimento espacial durante a navegação assistida (Münzer; Lörch; Frankenstein, 2020). Clemenson *et al*. (2021) afirmam que ajustes na interface podem reduzir a passividade e atenuar impactos cognitivos do GPS. Ruginski *et al*. (2022) propõem um GPS centrado no usuário, que estimule engajamento e participação cognitiva ativa. Estudos apontam caminhos ao incluir pontos de referência estruturantes para a melhora do conhecimento espacial no uso de aplicativos de navegação (Teimouri; Richter, 2025; Zhu *et al*., 2022). De forma complementar, Çöltekin *et al*. (2017) sugerem que métodos de aprendizado de máquina podem ajustar dinamicamente a interface às necessidades, hábitos e capacidades de cada usuário, tornando os sistemas mais sensíveis aos processos cognitivos envolvidos na navegação.

Avançar nessa agenda é fundamental para aproximar a Geografia das Ciências Cognitivas e garantir uma ciência propositiva frente aos desafios contemporâneos. Diante desse cenário, torna-se necessário avançar em investigações empíricas e interdisciplinares que integrem métodos psicométricos e geográficos para compreender como o uso contínuo de tecnologias de navegação afeta o desenvolvimento e a plasticidade do pensamento espacial.

Referências

AXON, Stephen; SPEAKE, Janet; CRAWFORD, Kevin. ‘At the next junction, turn left’: attitudes towards Sat Nav use. *Area*, *[S. l.]*, v. 44, n. 2, p. 170-177, 2012.

BALDWIN, Carryl. Individual differences in navigational strategy: implications for display design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, [*S. l.*], v. 10, n. 5, p. 443-458, 2009.

BEDNARZ, Robert; LEE, Jongwon. The components of spatial thinking: empirical evidence. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, [*S. l.*], v. 21, p. 103-107, 2011.

BENDL, Tomáš; KRAJŇÁKOVÁ, Lenka; MARADA, Miroslav; ŘEZNÍČKOVÁ, Dana. Geographical thinking in geography education: a systematic review. *International Research in Geographical and Environmental Education*, [*S. l.*], v. 34, n. 4, p. 326-352, 2024.

BRISHTEL, Iuliia; SCHMIDT, Thomas; VOZNIAK, Igor; RAMBACH, Jason Raphael; MIRBACH, Bruno; STRICKER, Didier. To drive or to be driven? The impact of autopilot,

navigation system, and printed maps on driver's cognitive workload and spatial knowledge. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [*S. l.*], v. 10, n. 10, p. 668, 2021.

BRÜGGER, Annina; RICHTER, Kai-Florian; FABRIKANT, Sara Irina. How does navigation system behavior influence human behavior?. *Cognitive Research*: principles and implications, [*S. l.*], v. 4, n. 1, p. 5, 2019.

BRUNYÉ, Tad; GAGNON, Stephanie; GARDONY, Aaron; GOPAL, Nikhil; HOLMES, Amanda; TAYLOR, Holly; TENBRINK, Thora. Where did it come from, where do you go? Direction sources influence navigation decisions during spatial uncertainty. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, [*S. l.*], v. 68, n. 3, p. 585-607, 2015.

CASTELLAR, Sonia Maria Vanzella; PEREIRA, Marcelo Garrido; PAULA, Igor Rafael de. Pensamiento espacial y raciocinio geográfico: consideraciones teórico-metodológicas a partir de la experiencia brasileña. *Revista de Geografía Norte Grande*, Santiago, n. 81, p. 429-456, 2022.

CHEN, Chien-Hsiung; LI, Xiao. Visualizing off-screen targets: effects of response time and visual cue design on users' wayfinding performance using a dynamic peephole interface. *International Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 37, n. 13, p. 1220-1230, 2021.

CLEMENSON, Gregory; MASELLI, Antonella; FIANNACA, Alexander; MILLER, Amos; GONZALEZ-FRANCO, Mar. Rethinking GPS navigation: creating cognitive maps through auditory clues. *Scientific Reports*, [*S. l.*], v. 11, n. 1, p. 7764, 2021.

ÇÖLTEKIN, Arzu; BLEISCH, Susanne; ANDRIENKO, Gennady; DYKES, Jason. Persistent challenges in geovisualization-a community perspective. *International Journal of Cartography*, [*S. l.*], v. 3, n. 1, p. 115-139, 2017.

DAHMANI, Louisa; BOHBOT, Véronique. Habitual use of GPS negatively impacts spatial memory during self-guided navigation. *Scientific Reports*, [*S. l.*], v. 10, n. 1, p. 6310, 2020.

DEYZAC, Emilie; LOGIE, Robert; DENIS, Michel. Visuospatial working memory and the processing of spatial descriptions. *British Journal of Psychology*, [*S. l.*], v. 97, n. 2, p. 217-243, 2006.

DOWNS, Roger; STEA, David. Cognitive maps and spatial behaviour: Process and products. *In*: DODGE, Martin; KITCHIN, Rob; PERKINS, Chris (org.). *The map reader:* theories of mapping practice and cartographic representation. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2011. p. 312-317.

FONSECA, Fernando; CONTICELLI, Elisa; PAPAGEORGIOU, George; RIBEIRO, Paulo; JABBARI, Mona; TONDELLI, Simona; RAMOS, Rui. Use and perceptions of pedestrian navigation apps: Findings from Bologna and Porto. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [*S. l.*], v. 10, n. 7, p. 446, 2021.

GALVÃO, Marcelo; KRUKAR, Jakub; SCHWERING, Angela. Evaluating schematic route maps in wayfinding tasks for in-car navigation. *Cartography and Geographic Information Science*, [*S. l.*], v. 48, n. 5, p. 449-469, 2021.

GILLETT, Alexander James; HEERSMINK, Richard. How navigation systems transform epistemic virtues: Knowledge, issues and solutions. *Cognitive Systems Research*, [*S. l.*], v. 56, p. 36-49, 2019.

GIUDICE, Nicholas; BAKDASH, Jonathan; LEGGE, Gordon. Wayfinding with words: spatial learning and navigation using dynamically updated verbal descriptions. *Psychological Research*, [*S. l.*], v. 71, n. 3, p. 347-358, 2007.

GOODCHILD, Michael. Spatial thinking and the GIS user interface. *Procedia* - Social and Behavioral Sciences, [*S. l.*], v. 21, p. 3-9, 2011.

GRAMANN, Klaus; HOEPNER, Paul; KARRER-GAUSS, Katja. Modified navigation instructions for spatial navigation assistance systems lead to incidental spatial learning. *Frontiers in Psychology*, [S. l.], v. 8, p. 193, 2017.

GREKOUSIS, George. Artificial neural networks and deep learning in urban geography: a systematic review and meta-analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, [*S. l.*], v. 74, p. 244-256, 2019.

GRINBERGER, Asher Yair. Weighting the effects of spatial cognition and activity anchors on time–space activity. *The Professional Geographer*, [*S. l.*], v. 71, n. 1, p. 52-64, 2019.

HAMBURGER, Kai; RÖSER, Florian; KNAUFF, Markus. Landmark selection for route instructions: at which corner of an intersection is the preferred landmark located?. *Frontiers in Computer Science*, [*S. l.*], v. 4, p. 1044151, 2022.

HE, Chuanxiuyue; HEGARTY, Mary. How anxiety and growth mindset are linked to navigation ability: Impacts of exploration and GPS use. *Journal of Environmental Psychology*, [*S. l.*], v. 71, p. 101475, 2020.

HEDGE, Craig; WEAVER, Ruth; SCHNALL, Simone. Spatial learning and wayfinding in an immersive environment: the digital fulldome. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, [*S. l.*], v. 20, n. 5, p. 327-333, 2017.

HICKMAN, James. Spatial thinking and GIS: developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education*, [*S. l.*], v. 32, n. 2, p. 140-158, 2023.

HOGRÄFER, Marius; HEITZLER, Magnus; SCHULZ, Hans-Jörg. The state of the art in map-like visualization. *Computer Graphics Forum*, [*S. l.*], v. 39, n. 3, p. 647-674, 2020.

IFTIKHAR, Hassan; LUXIMON, Yan. The syntheses of static and mobile wayfinding information: an empirical study of wayfinding preferences and behaviour in complex environments. *Facilities*, [*S. l.*], v. 40, n. 7/8, p. 452-474, 2022.

ISHIKAWA, Toru. Satellite navigation and geospatial awareness: long-term effects of using navigation tools on wayfinding and spatial orientation. *The Professional Geographer*, [*S. l.*], v. 71, n. 2, p. 197-209, 2019.

ISHIKAWA, Toru; FUJIWARA, Hiromichi; IMAI, Osamu; OKABE, Atsuyuki. Wayfinding with a GPS-based mobile navigation system: a comparison with maps and direct experience. *Journal of Environmental Psychology*, [*S. l.*], v. 28, n. 1, p. 74-82, 2008.

JO, Injeong; BEDNARZ, Sarah Witham. Evaluating geography textbook questions from a spatial perspective: Using concepts of space, tools of representation, and cognitive processes to evaluate spatiality. *Journal of Geography*, [*S. l.*], v. 108, n. 1, p. 4-13, 2009.

JO, Injeong; BEDNARZ, Sarah Witham; METOYER, Sandra. Selecting and designing questions to facilitate spatial thinking. *The Geography Teacher*, [*S. l.*], v. 7, n. 2, p. 49-55, 2010.

JO, Injeong; HONG, Jung Eun; VERMA, Kanika. Facilitating spatial thinking in world geography using web-based GIS. *Journal of Geography in Higher Education*, [*S. l.*], v. 40, n. 3, p. 442-459, 2016.

JUNG, Timothy Hyungsoo; BAE, Sujin; MOORHOUSE, Natasha; KWON, Ohbyung. The impact of user perceptions of AR on purchase intention of location-based AR navigation systems. *Journal of Retailing and Consumer Services*, [*S. l.*], v. 61, p. 102575, 2021.

KELLY, Jonathan.; LIM, Alex; CARPENTER, Shana. Turn-by-turn route guidance does not impair route learning. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, [*S. l.*], v. 11, n. 1, p. 76, 2022.

KIM, Minsung; BEDNARZ, Robert. Development of critical spatial thinking through GIS learning. *Journal of Geography in Higher Education*, [*S. l.*], v. 37, n. 3, p. 350-366, 2013.

KITCHIN, Robert. Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, [*S. l.],* v. 14, n. 1, p. 1-19, 1994.

KUO, Ting-Yu; CHANG, Yung-Ju; CHU, Hung-Kuo. Investigating four navigation aids for supporting navigator performance and independence in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 39, n. 12, p. 2524-2541, 2023.

LABIALE, Guy. Visual search and preferences concerning different types of guidance displays. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 20, n. 3, p. 149-158, 2001.

LAKEHAL, Aymen; LEPREUX, Sophie; LETALLE, Laurie; KOLSKI, Christophe. From wayfinding model to future context-based adaptation of HCI in urban mobility for pedestrians with active navigation needs. *International Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 37, n. 4, p. 378-389, 2021.

LANE, Rod; BOURKE, Terri. Assessment in geography education: a systematic review. *International Research in Geographical and Environmental Education*, [*S. l.*], v. 28, n.1, p. 22-36, 2019.

LEE, Jongwon; BEDNARZ, Robert. Effect of GIS learning on spatial thinking. *Journal of Geography in Higher Education*, [*S. l.*], v. 33, n. 2, p. 183-198, 2009.

LEE, Jongwon; BEDNARZ, Robert. Components of spatial thinking: evidence from a spatial thinking ability test. *Journal of Geography*, [*S. l.*], v. 111, n. 1, p. 15-26, 2012.

LEHTINEN, Sanna; VIHANNINJOKI, Vesa. Seeing new in the familiar: intensifying aesthetic engagement with the city through new location-based technologies. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 39, n. 6, p. 648-655, 2020.

LI, Binfeng; ZHU, Keming; ZHANG, Wei; WU, Anna; ZHANG, Xiaolong. A comparative study of two wayfinding aids for simulated driving tasks–single-scale and dual-scale GPS aids. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 33, n. 4, p. 361-371, 2013.

LI, Jing. Different spatial terms in navigation system for chinese drivers. *Cognitive Processing*, [*S. l.*], v. 13, n.1, p. 229-232, 2012.

LI, Qingchuan; LUXIMON, Yan. Older adults' use of mobile device: usability challenges while navigating various interfaces. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 39, n. 8, p. 837-861, 2020.

LIN, Dyi-Yih; LIU, Yen-Ru. Age group differences in the processing of a simulated in-vehicle digital map. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, [*S. l.*], v. 21, n. 6, p. 559-566, 2004.

LIN, Pei-Chun; CHIEN, Li-Wen. The effects of gender differences on operational performance and satisfaction with car navigation systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, [*S. l.*], v. 68, n. 10, p. 777-787, 2010.

LUO, Zhiqiang; LUO, Wenshu; CHEN, I-Ming; JIAO, Roger Jianxin; DUH, Henry Been-Lirn. Spatial representation of a virtual room space: perspective and vertical movement. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 26, n. 7, p. 661-674, 2010.

LYNCH, Kevin. *The image of the city*. Cambridge, MA: MIT Press, 1960.

MARK, David; GOULD, Michael; MCGRANAGHAN, Matthew. Computerized Navigation Assistance for Drivers, *Professional Geographer*, [*S. l.*], v. 39, n. 2, p. 215–220, 1987.

MAZURKIEWICZ, Bartosz; GALVÃO, Marcelo de Lima; GIANNOPOULOS, Ioannis. BeeAR: augmented reality beeline navigation for spatial knowledge acquisition. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 7, p. 1-17, 2023a.

MAZURKIEWICZ, Bartosz; KATTENBECK, Markus; GIANNOPOULOS, Ioannis. Free choice navigation in the real world: giving back freedom to wayfinders. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [*S. l.*], v. 12, n. 2, p. 27, 2023b.

MCLAUGHLIN, Jessica; BAILEY, Janelle. Students need more practice with spatial thinking in geoscience education: a systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, [*S. l.*], v. 59, n. 2, p. 147-204, 2023.

MENEGHETTI, Chiara; GRIMALDI, Francesco; NUCCI, Massimo; PAZZAGLIA, Francesca. Positive and negative wayfinding inclinations, choice of navigation aids, and how they relate to personality traits. *Journal of Individual Differences*, [*S. l.*], 2019.

MINAEI, Negin. Do modes of transportation and GPS affect cognitive maps of Londoners? *Transportation research part A: policy and practice*, [*S. l.*], v. 70, p, 162-180, 2014.

MIOLA, Laura; MENEGHETTI, Chiara; MUFFATO, Veronica; PAZZAGLIA, Francesca. Orientation behavior in men and women: the relationship between gender stereotype, growth mindset, and spatial self-efficacy. *Journal of Environmental Psychology*, [*S. l.*], v. 86, p. 101952, 2023.

MIOLA, Laura; MUFFATO, Veronica; BOLDRINI, A.; PAZZAGLIA, Francesca; MENEGHETTI, Chiara. Development of a self-report measure of GPS uses and its relationship with environmental knowledge and self-efficacy and pleasure in exploring. *Cognitive Research: principles and Implications*, [*S. l.*], v. 9, n. 1, p. 78, 2024.

MONTUWY, Angélique; DOMMES, Aurélie; CAHOUR, Béatrice. Helping older pedestrians navigate in the city: comparisons of visual, auditory and haptic guidance instructions in a virtual environment. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 38, n. 2, p. 150-171, 2019.

MUFFATO, Veronica; BORELLA, Erika; PAZZAGLIA, Francesca; MENEGHETTI, Chiara. Orientation experiences and navigation aid use: a self-report lifespan study on the role of age and visuospatial factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [*S. l.*], v. 19, n. 3, p. 1225, 2022.

MÜNZER, Stefan; LÖRCH, Lucas; FRANKENSTEIN, Julia. Wayfinding and acquisition of spatial knowledge with navigation assistance. *Journal of Experimental Psychology*: Applied, [*S. l.*], v. 26, n. 1, p. 73, 2020.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Learning to think spatially.* Washington: The National Academies Press, 2006.

NARDI, Daniele; NEWCOMBE, Nora; SHIPLEY, Thomas. Reorienting with terrain slope and landmarks. *Memory & Cognition*, [*S. l.*], v. 41, n. 2, p. 214-228, 2013.

NEWCOMBE, Nora; SHIPLEY, Thomas. Thinking about spatial thinking: new typology, new assessments. *In*: GERO, John (ed.). *Studying visual and spatial reasoning for design creativity.* Dordrecht: Springer, 2014. p. 179-192.

NGAMABA, Kayonda Hubert; PANAGIOTI, Maria; ARMITAGE, Christopher. Income inequality and subjective well-being: a systematic review and meta-analysis. *Quality of Life Research*, [*S. l.*], v. 27, n. 3, p. 577-596, 2018.

NORI, Raffaella; ZUCCHELLI, Micaela Maria; GIANCOLA, Marco; PALMIERO, Massimiliano; VERDE, Paola; GIANNINI, Anna Maria; PICCARDI, Laura. GPS digital nudge to limit road crashes in non-expert drivers. *Behavioral Sciences*, [*S. l.*], v. 12, n. 6, p. 165, 2022.

NUHN, Eva; TIMPF, Sabine. Landmark weights-an alternative to spatial distances in shortest route algorithms. *Spatial Cognition & Computation*, [*S. l.*], v. 23, n. 3, p. 206-232, 2023.

QUESNOT, Teriitutea; ROCHE, Stéphane. Trouver son chemin à l'aide d'une plateforme cartographique en ligne: analyse des usages et des perceptions. *Cybergéo*: European Journal of Geography, 2020.

PAGE, Michael *et al*. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Revista Panamericana de Salud Pública*, [*S. l.*], v. 46, p. 112, 2022.

PEIXOTO, Bruno; PINTO, Rafael; MELO, Miguel; CABRAL, Luciana; BESSA, Maximino. Immersive virtual reality for foreign language education: A PRISMA systematic review. *IEEE Access*, [*S. l.*], v. 9, p. 48952-48962, 2021.

POPAY, Jennie *et al*. *Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews.* A product from the ESRC Methods Programme. Lancaster: University of Lancaster, 2006.

PRABHAKAR, Archana; GRISON, Elise; LHUILLIER, Simon; LEPRÉVOST, Florian; GYSELINCK, Valérie; MORGAGNI, Simone. Transport makes cities: transit maps as major cognitive frames of metropolitan areas. *Psychological Research*, [*S. l.*], v. 88, n. 3, p. 1060-1080, 2024.

QIU, Xiaohe, YANG, Zhen, YANG, Jinxing, WANG, Qijun; WANG, Duming. Impact of AR navigation display methods on wayfinding performance and spatial knowledge acquisition. *International Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 40, n.10, p. 2676-2696, 2024a.

QIU, Zhiwen; ASHOUR, Mojtaba; ZHOU, Xiaohe; KALANTARI, Saleh. NavMarkAR: A landmark-based augmented reality (AR) wayfinding system for enhancing older Adults' spatial learning. *Advanced Engineering Informatics*, [*S. l.*], v. 62, p. 102635, 2024b.

RAMOS, Ana Paula Marques; DECANINI, Mônica Modesta Santos; PUGLIESI, Edmur Azevedo; TACHIBANA, Vilma Mayumi. Influência do gênero na demanda visual por mapas em escalas diferentes em sistema de navegação e guia de rota. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 74-92, 2015.

RAMOS, Ana Paula Marques; PUGLIESI, Edmur Azevedo; OLIVEIRA, Renan Furlan de; TACHIBANA, Vilma Mayumi; DECANINI, Mônica Modesta Santos. Evaluation of usability of maps of different scales presented in an in-car route guidance and navigation system. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v. 24, n. 3, p. 383-406, 2018.

REAL, Santiago; ARAUJO, Alvaro. Network QoS impact on spatial perception through sensory substitution in navigation systems for blind and visually impaired people. *Sensors*, [*S. l.*], v. 23, n. 6, p. 3219, 2023.

RUGINSKI, Ian; CREEM-REGEHR, Sarah; STEFANUCCI, Jeanine; CASHDAN, Elizabeth. GPS use negatively affects environmental learning through spatial transformation abilities. *Journal of Environmental Psychology*, *[S. l.*], v. 64, p. 12-20, 2019.

RUGINSKI, Ian; GIUDICE, Nicholas; CREEM-REGEHR, Sarah; ISHIKAWA, Toru. Designing mobile spatial navigation systems from the user's perspective: an interdisciplinary review. *Spatial Cognition & Computation*, [*S. l.*], v. 22, n. 1-2, p. 1-29, 2022.

RUOTOLO, Francesco; CLAESSEN, Michiel; VAN DER HAM, Ineke. Putting emotions in routes: the influence of emotionally laden landmarks on spatial memory. *Psychological Research*, [*S. l.*], v. 83, n. 5, p. 1083-1095, 2019.

SCHRODER, Catherine; MACKANESS, William; GITTINGS, Bruce. Giving the 'right'route directions: The requirements for pedestrian navigation systems. *Transactions in GIS*, [*S. l.*], v. 15, n. 3, p. 419-438, 2011.

SEMINATI, Laura; HADNETT-HUNTER, Jacob; JOINER, Richard; PETRINI, Karin. Multisensory GPS impact on spatial representation in an immersive virtual reality driving game. *Scientific reports*, [*S. l.*], v. 12, n. 1, p. 7401, 2022.

SIEGEL, Alexander; WHITE, Sheldon. The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in Child Development and Behavior*, [*S. l.*], v. 10, p. 9-55, 1975.

SÖNMEZ, Begüm Erçevik; ÖNDER, Deniz Erinsel. The influence of GPS-based navigation systems on perception and image formation: A case study in urban environments. *Cities*, [*S. l.*], v. 86, p. 102-112, 2019.

SPEAKE, Janet; AXON, Stephen. "I never use 'maps' anymore": Engaging with Sat Nav technologies and the implications for cartographic literacy and spatial awareness. *The Cartographic Journal*, [*S. l.*], v. 49, n. 4, p. 326-336, 2012.

TAHIR, Rabail; KROGSTIE, John. Impact of navigation aid and spatial ability skills on wayfinding performance and workload in indoor-outdoor campus navigation: challenges and design. *Applied Sciences*, [*S. l.*], v. 13, n. 17, p. 9508, 2023.

TEIMOURI, Fateme; RICHTER, Kai-Florian. 'Straight? What straight?'Investigating navigation instructions' applicability. *Journal of Location Based Services*, [*S. l.*], v. 17, n. 1, p. 1-25, 2023.

TEIMOURI, Fateme; RICHTER, Kai-Florian. Enhancing wayfinding and route learning: a human-centred study of the route-defining locations algorithm. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 44, n. 1, p. 44-60, 2025.

THOMAS, James; HARDEN, Angela. Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, [*S. l.*], v. 8, n. 1, p. 45, 2008.

TOPETE, Alexis; HE, Chuanxiuyue; PROTZKO, John; SCHOOLER, Jonathan; HEGARTY, Mary. How is GPS used? Understanding navigation system use and its relation to spatial ability. *Cognitive research*: principles and implications, [*S. l.*], v. 9, n. 1, p. 16, 2024.

VAEZ, Sima; BURKE, Matthew; YU, Rongrong. Visitors' wayfinding strategies and navigational aids in unfamiliar urban environment. *Tourism Geographies*, [*S. l.*], v. *22*, n. 4-5, p. 832-847, 2020.

VAN DER KUIL, Milan; EVERS, Andrea; VISSER-MEILY, J. M. Anne; VAN DER HAM, Ineke. Spatial knowledge acquired from first-person and dynamic map perspectives. *Psychological Research*, [*S. l.*], v. 85, n. 6, p. 2137-2150, 2021.

VAN SCHAIK, Paul; MAYOUF, Mohammad; ARANYI, Gabor. 3-D route-planning support for navigation in a complex indoor environment. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 34, n. 7, p. 713-724, 2015.

WANG, Jia; LI, Rui. An empirical study on pertinent aspects of sketch maps for navigation. *Int. J. Cogn. Inform.* Nat. Intell., [*S. l.*], v. 7, p. 26-43, 2013.

WANG, Ruixuan; LIU, Yuan; WANG, Mengxue; YANG, Linteng; ZHENG, Hanwen; FANG, Huicong. Effects of virtual map navigation mode on route retracing. *International Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 39, n. 12, p. 2468-2477, 2023.

WANG, Xiaolong; YAN, Haowen; WANG, Zhuo; GAO, Xiaorong. Wemap-based direction model for individuals with limited spatial orientation skills. *Transactions in GIS*, [*S. l.*], v. 28, n. 2, p. 111-129, 2024.

WATANABE, Shun; MASUYA, Yume. Spatial cognition and intentional behaviors in the post-sedentary age. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, [*S. l.*], v. 12, n. 2, p. 285-291, 2013.

WEISBERG, Steven; NEWCOMBE, Nora. A slippery directional slope: individual differences in using slope as a directional cue. *Memory & Cognition*, [*S. l.*], v. 42, n. 4, p. 648-661, 2014.

WESSEL, Ginette; KARDUNI, Alireza; SAUDA, Eric. The image of the digital city: revisiting Lynch's principles of urban legibility. *Journal of the American Planning Association*, [*S. l.*], v. 84, n. 3-4, p. 280-283, 2018.

WINTER, Stephan; BALDWIN, Timothy; TOMKO, Martin; RENZ, Jochen; KUHN, Werner; VASARDANI, Maria. Spatial concepts in the conversation with a computer. *Communications of the ACM*, [*S. l.*], v. 64, n. 7, p. 82-88, 2021.

WU, Anna; ZHANG, Wei; ZHANG, Xiaolong. Evaluation of wayfinding aids in virtual environment. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, [*S. l.*], v. 25, n. 1, p. 1-21, 2009.

YAN, Wanling; LI, Jialing; MI, Can; WANG, Wei; XU, Zhengjia; XIONG, Wenjing; TANG, Longxing; WANG, Siyu; LI, Yanzhang; WANG, Shuai. Does global positioning system-based navigation dependency make your sense of direction poor? A psychological assessment and eye-tracking study. *Frontiers in Psychology*, [*S. l.*], v. 13, p. 983019, 2022.

YING, Qi; DONG, Weihua; FABRIKANT, Sara Irina. How do in-car navigation aids impair expert navigators' spatial learning ability? *Annals of the American Association of Geographers*, [*S. l.*], v. 114, n. 7, p. 1483-1504, 2024.

ZHOU, Ziyao; ZHOU, Jia. Small screen-big information challenge for older adults: a study on visual momentum and gesture navigation. *Behaviour & Information Technology*, [*S. l.*], v. 42. n. 6, p. 744-757, 2023.

ZHU, Litao; SHEN, Jie; ZHOU, Jingyi; STACHOŇ, Zdeněk; HONG, Shuai; WANG, Xing. Personalized landmark adaptive visualization method for pedestrian navigation maps: considering user familiarity. *Transactions in GIS*, [*S. l.*], v. 26, n. 2, p. 669-690, 2022.

Pedro Henrique Freire Janzantti
Geógrafo pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP) e mestrando em Administração de Empresas na Fundação Getúlio Vargas (FGV), Escola da Administração de Empresas de São Paulo (EAESP).
Endereço Profissional: Av. Nove de Julho, n. 2029, Bela Vista, São Paulo, São Paulo.
CEP: 01313-902
E-mail: pjanzantti@gmail.com

Recebido para publicação em 20 de janeiro de 2026.
Aprovado para publicação em 30 de janeiro de 2026.
Publicado em 21 de maio de 2026.