

Do Símbolo ao Significado

José Palazzo Moreira de Oliveira^[0000-0002-9166-8801]

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
palazzo@inf.ufrgs.br

Resumo Esta é a versão em português do artigo *From Symbol to Meaning: Ontological and Philosophical Reflections on Large Language Models in Information Systems Engineering*, originalmente publicado em inglês no repositório arXiv sob o identificador arXiv:2603.17659. O trabalho investiga como os Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) desafiam e reconfiguram os pressupostos ontológicos, epistemológicos e semióticos que fundamentam a Engenharia de Sistemas de Informação. Com base em contribuições de Peirce, Heidegger, Floridi, Searle e da tradição do pensamento sistêmico, examinam-se as relações entre símbolos, significado, conhecimento, representação e projeto de sistemas. Argumenta-se que, embora os LLMs manipulem tokens e regularidades estatísticas com elevada competência linguística, a produção de discursos coerentes não equivale, por si só, a uma compreensão semanticamente fundamentada do mundo. O significado emerge de processos interpretativos situados em contextos conceituais, sociais, organizacionais e culturais, o que torna indispensáveis a participação humana, a investigação etnográfica e a explicitação dos compromissos ontológicos incorporados aos sistemas. O artigo também analisa a tensão entre a coerência probabilística dos modelos generativos e os critérios de verdade, validade e justificação requeridos para a produção confiável de conhecimento. Nesse contexto, arquiteturas de Geração Aumentada por Recuperação (RAG) são discutidas como instrumentos para aproximar a geração linguística de fontes externas verificáveis, ampliando a rastreabilidade, a contextualização e a robustez epistêmica das respostas. As implicações éticas dessa transformação incluem opacidade, vieses, desinformação, responsabilidade, autoria e possíveis ameaças à pluralidade ontológica e à autonomia interpretativa. Conclui-se que os LLMs não devem ser compreendidos apenas como ferramentas de automação, mas como agentes epistêmicos inseridos em ecossistemas sociotécnicos. Sua integração à Engenharia de Sistemas de Informação exige estruturas transparentes, responsáveis e eticamente coerentes que articulem rigor técnico, fundamentação filosófica, supervisão humana e respeito à diversidade dos processos de construção do conhecimento.

Palavras-chave: Grandes Modelos de Linguagem · Ontologia · Sistemas de Informação

1 Introdução

O título *Do Símbolo ao Significado* expressa a tese central do artigo: uma fundamentação filosófica não constitui um complemento opcional à modelagem com-

putacional, mas um requisito para determinar como um sistema compreende e representa o mundo. Sob uma perspectiva semiótica, um símbolo não possui significado autocontido; ele significa somente por meio das relações entre um signo, seu objeto e um interpretante, no interior de uma estrutura histórica e socialmente situada [10]. Em contrapartida, os grandes modelos de linguagem operam sobre tokens e relações estatísticas entre formas linguísticas. Sua capacidade de gerar discursos coerentes, portanto, não deve ser equiparada a uma compreensão fundamentada e independente das entidades, relações e situações às quais esse discurso se refere. Como evidencia a distinção de Searle entre sintaxe e semântica, a manipulação formalmente correta de símbolos não é suficiente para produzir intencionalidade ou compreensão [18]. A investigação filosófica é, conseqüentemente, essencial para revelar os compromissos ontológicos que determinam o que um sistema reconhece como existente, os critérios epistemológicos pelos quais suas saídas podem ser consideradas conhecimento e as condições interpretativas por meio das quais as representações adquirem significado. O movimento “do símbolo ao significado” identifica, assim, um desafio fundamental para a Engenharia de Sistemas de Informação: os sistemas que representam o mundo de maneira responsável devem explicitar não apenas como os símbolos são processados, mas também como suas afirmações sobre a realidade são constituídas, interpretadas e justificadas.

O campo da Engenharia de Sistemas de Informação (ESI) passou por transformações profundas à medida que os objetos por ele projetados evoluíram de mecanismos relativamente delimitados para o registro e a coordenação de atividades organizacionais para ecossistemas sociotécnicos complexos que medeiam o conhecimento, a ação e as relações sociais. Suas origens práticas encontram-se na necessidade persistente de organizar recursos, processos, comunicação e tomada coletiva de decisões; entretanto, seu desenvolvimento como disciplina exigiu mais do que técnicas computacionais progressivamente sofisticadas. A ESI emergiu na interseção entre ciência da computação, engenharia, gestão e ciências sociais porque um sistema de informação nunca é apenas um artefato técnico: ele incorpora pressupostos sobre o mundo, seleciona quais entidades e relações serão representadas, estabelece o que pode ser considerado informação válida e distribui a autoridade interpretativa e decisória entre pessoas e máquinas [22]. A Teoria Geral dos Sistemas reforçou essa compreensão mais ampla ao demonstrar que os sistemas adquirem suas propriedades por meio das inter-relações entre seus componentes e das trocas contínuas com seus ambientes [21]. Consequentemente, a história da ESI também pode ser compreendida como uma ampliação progressiva de suas questões fundamentais: de como os dados devem ser armazenados e processados a como as realidades organizacionais devem ser modeladas, como o conhecimento deve ser validado e como as infraestruturas tecnológicas reconfiguram os ambientes nos quais operam. O surgimento dos LLMs intensifica essa trajetória. Como esses modelos geram representações sensíveis ao contexto, em vez de apenas executar regras explicitamente definidas, eles obrigam a ESI a enfrentar os compromissos ontológicos, epistemológicos, semióticos e éticos incorporados ao projeto dos sistemas. A disciplina deve, portanto, explicar não

apenas se um sistema inteligente funciona de modo eficiente, mas também qual concepção de realidade ele operacionaliza, como suas saídas adquirem significado e autoridade e se sua participação na produção de conhecimento permanece transparente, responsável e compatível com a agência humana.

A dimensão etnográfica da ESI, crucial para a compreensão dos contextos dos usuários, tem suas raízes intelectuais no trabalho de Bronisław Malinowski [13], cujo desenvolvimento da observação participante estabeleceu a imersão nas práticas cotidianas como fundamento para interpretar a realidade social. Para a Engenharia de Sistemas de Informação, esse princípio metodológico implica que requisitos, processos e dados não podem ser adequadamente compreendidos quando separados dos ambientes nos quais as pessoas os produzem e utilizam. O conhecimento organizacional não se esgota em procedimentos formais ou esquemas de bancos de dados; ele também abrange rotinas tácitas, significados negociados, papéis institucionais, valores culturais, relações de poder e exceções que se tornam visíveis somente por meio do envolvimento contínuo com as partes interessadas. A etnografia fornece, portanto, a profundidade contextual necessária para determinar se um modelo conceitual representa o mundo vivido por seus usuários ou apenas lhe impõe uma abstração tecnicamente conveniente. Essa distinção torna-se especialmente importante no projeto de sistemas baseados em LLMs. Embora esses modelos possam identificar padrões em extensos corpora textuais e gerar interpretações aparentemente coerentes, eles podem ocultar perspectivas minoritárias, reproduzir pressupostos incorporados aos dados de treinamento ou confundir regularidade linguística com compreensão situada. A investigação etnográfica oferece uma forma necessária de fundamentação epistêmica ao revelar como os significados variam entre comunidades e como classificações aparentemente neutras podem privilegiar determinados pontos de vista organizacionais ou culturais. Ela complementa, assim, a ontologia formal e a modelagem computacional: enquanto essas abordagens oferecem estrutura e escalabilidade, a interpretação etnográfica confronta suas categorias com a experiência humana. No âmbito da estrutura epistêmica híbrida desenvolvida nas seções seguintes, essa perspectiva centrada no ser humano também sustenta os princípios éticos de transparência, pluralidade de ontologias e autonomia interpretativa. O projeto eficaz de sistemas exige, portanto, mais do que observar o comportamento dos usuários; requer envolvê-los como participantes da construção, validação e revisão contínua das representações de conhecimento por meio das quais os sistemas inteligentes compreendem e atuam sobre seu mundo.

Nessa perspectiva mais ampla, a dimensão etnográfica da Engenharia de Sistemas de Informação ilustra como o campo pode beneficiar-se de intercâmbios intelectuais entre diversas áreas do conhecimento, evitando, assim, a formação de silos disciplinares isolados. A abordagem etnográfica, fundamentada no conceito de observação participante de Bronisław Malinowski, demonstra que a compreensão dos sistemas de informação requer não apenas perspectivas técnicas ou de modelagem formal, mas também interpretações das práticas humanas e dos contextos organizacionais. Ao incorporar perspectivas da Etnografia e de ciências sociais afins, pesquisadores de diferentes domínios podem oferecer pontos

de vista complementares ao estudo e ao projeto de sistemas. Esse envolvimento interdisciplinar promove uma compreensão mais integrada dos artefatos tecnológicos, do comportamento humano e dos ambientes institucionais, incentivando a colaboração em vez da fragmentação no panorama mais amplo da pesquisa. Paralelamente, a dimensão sistêmica dessa abordagem interpretativa fundamenta-se no trabalho de Ludwig von Bertalanffy [21], um dos principais arquitetos da Teoria Geral dos Sistemas. Sua visão ultrapassou os limites da biologia ao propor uma estrutura holística capaz de integrar conhecimentos de diversos campos, incluindo cibernética, psicologia, sociologia e educação.

No contexto da Engenharia de Sistemas de Informação, essa perspectiva reforça a ideia de que os sistemas não podem ser compreendidos isoladamente, mas apenas por meio das inter-relações dinâmicas entre seus componentes e seu ambiente. Ao alinhar a sensibilidade etnográfica de Malinowski à abstração sistêmica de Bertalanffy, a ESI alcança profundidade e amplitude, combinando investigação centrada no ser humano com coerência estrutural. Essa síntese sustenta o desenvolvimento de sistemas não apenas tecnicamente robustos, mas também atentos às ecologias sociais complexas nas quais estão inseridos.

À medida que a ESI evoluiu como disciplina distinta, os pesquisadores reconheceram a necessidade de integração interdisciplinar, combinando perspectivas da sociologia, ciência da computação, gestão e engenharia [22]. Essa convergência mostrou-se essencial para enfrentar os problemas dinâmicos e mal estruturados que caracterizam os sistemas de informação contemporâneos. O desenvolvimento acelerado das tecnologias digitais e a crescente prevalência da tomada de decisões orientada por dados intensificaram a demanda por uma estrutura teórica robusta e adaptável, capaz de acomodar mudanças tecnológicas e sociais rápidas. Atualmente, as consequências práticas das transformações recentes demonstram que a Engenharia de Sistemas de Informação (ESI) enfrenta a necessidade urgente de revisar seus fundamentos teóricos, metodológicos e operacionais para alinhá-los às realidades epistêmicas e tecnológicas contemporâneas. Sob uma perspectiva mais ampla da Engenharia de Sistemas, essa revisão implica superar as abordagens tradicionais de sistemas rígidos em direção a uma integração mais abrangente das dimensões sociais, organizacionais e humanas.

Os sistemas contemporâneos já não são construções técnicas fechadas, mas ecossistemas sociotécnicos caracterizados por complexidade, incerteza e comportamento emergente. Consequentemente, a base epistemológica da Engenharia de Sistemas deve reconhecer que o conhecimento válido inclui não apenas modelos estruturais, mas também uma compreensão contextual formada por múltiplas partes interessadas. Metodologicamente, isso exige combinar métodos quantitativos e qualitativos, integrar abordagens de sistemas rígidos e flexíveis e adotar processos iterativos e adaptativos adequados a ambientes dinâmicos. Operacionalmente, os sistemas devem ser projetados para interoperabilidade, resiliência e evolução contínua em redes interconectadas. Para a Engenharia de Sistemas de Informação, essa estrutura mais ampla redefine sua missão: ela deve abranger não apenas dados e computação, mas também governança, ética e agência humana. Em última análise, a renovação dos fundamentos da ESI representa uma

mudança de paradigma necessária para assegurar sua capacidade de responder efetivamente aos sistemas complexos e interdependentes do século XXI [1].

2 Filosofia da Ciência e Computação

A filosofia da ciência, historicamente dedicada ao exame crítico da prática científica, sempre buscou esclarecer como o conhecimento é construído, validado e comunicado. Em períodos de incerteza epistêmica e transformação social, sua relevância torna-se ainda maior. Ela nos recorda que a ciência não é apenas uma coleção de fatos verificados, mas também uma atividade humana estruturada por pressupostos, valores e estruturas interpretativas. Conforme discutido nas obras de Popper [15], Lakatos [9], Kuhn [8] e Feyerabend [3], a ciência não é uma construção imune a falhas nem neutra em seus pressupostos. Trata-se de uma atividade humana, coletiva e situada, sujeita a revisões, controvérsias e até rupturas paradigmáticas.

A filosofia da ciência [20], historicamente voltada ao exame de como o conhecimento é construído e validado, adquire renovada importância na era da computação. Como demonstraram diversos pensadores, a ciência não é uma atividade neutra ou infalível, mas uma prática humana e coletiva moldada por pressupostos, valores e estruturas interpretativas. Paralelamente, a computação, embora seja uma disciplina relativamente jovem, emergiu como uma força transformadora que redefine não apenas a prática científica, mas também nossos modos de raciocinar e comunicar. A ascensão da inteligência artificial, da modelagem preditiva e da automação orientada por dados estende a novos domínios as questões epistemológicas e éticas anteriormente dirigidas à ciência, obrigando-nos a reconsiderar a própria natureza da explicação, da causalidade e da responsabilidade em um mundo cada vez mais algorítmico. A computação, embora seja uma disciplina relativamente jovem, tornou-se uma das forças centrais na formação da sociedade contemporânea. Ela não apenas produz ferramentas e algoritmos, mas redefine nossos próprios modos de raciocinar, comunicar e interagir com o mundo. Tecnologias como inteligência artificial, modelos preditivos e automação orientada por dados influenciam atualmente decisões que afetam todos os aspectos da vida humana, incluindo educação, saúde, governança e economia. Essa influência crescente coloca em primeiro plano questões filosóficas sobre a natureza da explicação, da causalidade, da representação e da responsabilidade ética.

A rápida expansão dos sistemas computacionais também revelou tensões profundas. A natureza de “caixa-preta” de muitos algoritmos torna-os opacos ao escrutínio. Frequentemente, decisões são delegadas a sistemas cuja lógica interna permanece inacessível até mesmo para seus projetistas [2]. Essa opacidade dá origem a uma crise de confiança: quando os resultados são aceitos simplesmente porque foram produzidos por sistemas “inteligentes”, a ciência corre o risco de tornar-se um ato de fé, em vez de razão. A filosofia da ciência, portanto, renova a exigência de transparência epistêmica, bem como de critérios de validade, in-

terpretabilidade e responsabilização que ultrapassem métricas de eficiência ou desempenho.

Sob essa perspectiva, a filosofia oferece ferramentas conceituais essenciais para reorientar a computação em direção à reflexividade e à responsabilidade. Em primeiro lugar, ela exige que a ciência permaneça autocrítica, consciente de seus pressupostos e aberta à revisão. O processo científico não deve ser compreendido como a busca de uma verdade infalível, mas como um esforço sistemático para alcançar a compreensão por meio da dúvida, da experimentação e da argumentação. Em segundo lugar, o cientista ou, neste caso, o cientista da computação deve ser considerado um agente responsável não apenas pela correção técnica, mas também pelas implicações epistemológicas, sociais e éticas de seu trabalho. O projeto de algoritmos, modelos de dados e infraestruturas computacionais envolve escolhas que codificam valores: o que é medido, o que é ignorado, quem se beneficia e quem é excluído. Essas não são decisões meramente técnicas, mas filosóficas, fundamentadas em concepções de verdade, equidade e conhecimento [14].

Em terceiro lugar, a filosofia nos lembra que o conhecimento científico não existe isoladamente. Ele deve dialogar com outras formas de conhecimento, incluindo perspectivas éticas, sociais, históricas e estéticas, pois a ciência opera em uma sociedade complexa e dinâmica. Esse diálogo é especialmente importante na computação, em que os artefatos tecnológicos influenciam diretamente as relações humanas, os processos cognitivos e as formações culturais. Em última análise, a filosofia da ciência [20] convida a computação a redescobrir seus compromissos morais e epistêmicos. Em um mundo cada vez mais governado por algoritmos, o desafio consiste em assegurar que os sistemas computacionais sirvam à verdade, à justiça e ao florescimento humano, em vez de apenas otimizar ou controlar resultados. Aproximar filosofia e computação não é, portanto, um exercício intelectual abstrato, mas uma necessidade urgente para a integridade da ciência e o futuro da sociedade humana.

A Engenharia de Sistemas de Informação (ESI) sempre esteve situada na interseção entre tecnologia e rigor conceitual. Seus fundamentos ontológicos, filosóficos, semióticos e matemáticos constituem uma estrutura multidimensional para compreender como o conhecimento é representado e operacionalizado. A recente proliferação dos LLMs introduz novas questões nessa estrutura: que tipo de ontologia esses modelos instanciam? Como eles redefinem as fronteiras entre símbolo e significado, dados e conhecimento, sintaxe e semântica?

3 Fundamentos Ontológicos

As falhas no desenvolvimento de sistemas de informação estão frequentemente associadas a metodologias inadequadas ou deficientes, particularmente aquelas relacionadas à modelagem conceitual, que desempenha múltiplas funções no processo de desenvolvimento. As críticas a esses métodos geralmente destacam sua frágil fundamentação teórica, motivando diversos esforços para estabelecer bases mais sólidas apoiadas em diferentes disciplinas de referência. Embora a rele-

vância da ontologia para a modelagem de dados tenha sido reconhecida desde a década de 1950, abordagens explicitamente ontológicas surgiram somente em meados da década de 1980, quando Wand e Weber, com base na ontologia científica de Mario Bunge, desenvolveram o que ficou conhecido como ontologia Bunge–Wand–Weber (BWW) [11].

Essa abordagem tem sido criticada por restringir-se ao mundo material, composto por objetos físicos cujas propriedades independem da percepção humana. A estrutura de Bunge exclui intenções, interpretações e significados humanos, negligenciando a “realidade institucional” que abrange entidades socialmente construídas, como corporações, contratos e transações. Como esses objetos conceituais, centrais aos contextos organizacionais e informacionais, não possuem representação em uma ontologia puramente material, a estrutura de Bunge é considerada uma fundamentação insuficiente para a modelagem conceitual de sistemas de informação organizacionais.

A ontologia, tema central dessa discussão, categoriza as entidades e relações presentes nos sistemas de informação, ampliando a compreensão do panorama conceitual. Considerações filosóficas, como a epistemologia e a ética, orientam a maneira pela qual o conhecimento é gerado e utilizado nesses sistemas, permitindo uma compreensão mais profunda de seu funcionamento em contextos sociais e organizacionais. A semiótica enriquece ainda mais essa estrutura ao examinar o papel dos signos na comunicação e na representação do conhecimento, assegurando clareza e precisão na transmissão de informações entre diferentes partes interessadas.

Em contraste com as abordagens tradicionais fundamentadas em estruturas ontológicas explícitas, os LLMs operam em espaços linguísticos probabilísticos e produzem representações sensíveis ao contexto que carecem de compromissos ontológicos predefinidos. Isso suscita a questão de saber se seu êxito observado decorre realmente da capacidade de raciocinar sobre dados não estruturados ou semiestruturados ou, antes, da internalização eficaz de padrões linguísticos e associações contextuais que funcionam apenas como ontologias implícitas [12].

Esse modo de operação exige uma reconsideração da própria noção de modelagem conceitual, pois o significado se torna dinâmico e emergente, em vez de fixo. O conceito de ontologia generativa, portanto, enquadra o conhecimento como algo continuamente construído por meio da interação linguística, e não como uma representação estática. Essa perspectiva traz consequências significativas para a interoperabilidade e a integração do conhecimento em sistemas complexos, desafiando pressupostos estabelecidos sobre como as estruturas conceituais são definidas, comunicadas e operacionalizadas.

Essa tensão caracteriza aquilo que Thomas Kuhn [8] denominou crise de paradigma. Segundo o autor, toda disciplina científica evolui por longos períodos de ciência normal, durante os quais uma estrutura conceitual relativamente estável orienta a prática, até que o acúmulo de anomalias e contradições impeça o funcionamento dessa estrutura e imponha uma ruptura paradigmática. Nesse sentido, pode-se afirmar com razoável convicção que os sistemas de informação chegaram a um ponto crítico: a complexidade do mundo social e a integração da

tecnologia à vida cotidiana produziram um conjunto de problemas que o modelo tradicional de desenvolvimento já não consegue resolver.

Nesse contexto de ruptura epistemológica e metodológica, os Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) emergem como uma resposta transformadora. Suas capacidades generativas oferecem uma nova abordagem para a construção de ontologias, especialmente adequada às complexidades dos sistemas sociotécnicos. Esses sistemas caracterizam-se por densas inter-relações entre atores humanos, estruturas institucionais e artefatos tecnológicos, todos documentados em corpora textuais vastos e heterogêneos. Os LLMs têm a capacidade de assimilar, interpretar e sintetizar essa documentação, possibilitando a geração automatizada de ontologias que reflitam tanto a lógica formal quanto a semântica fluida das práticas humanas.

Ao reduzir a lacuna semântica entre a compreensão humana e a da máquina, os LLMs facilitam a criação de estruturas ontológicas simultaneamente fundamentadas no contexto e tratáveis computacionalmente. Essa dupla capacidade enfrenta uma limitação central do desenvolvimento tradicional de sistemas de informação: a dificuldade de conciliar realidades sociais dinâmicas com esquemas técnicos rígidos. Além disso, a adaptabilidade dos LLMs permite o refinamento contínuo em resposta à evolução dos requisitos dos sistemas, alinhando-se à natureza ágil e iterativa dos ambientes sociotécnicos contemporâneos [23].

Sob esse aspecto, os LLMs não representam apenas uma inovação tecnológica; eles assinalam uma mudança paradigmática nos fundamentos epistêmicos dos sistemas de informação. Uma de suas principais vantagens reside na riqueza semântica e na sensibilidade contextual. Treinados em corpora amplos e variados, esses modelos podem discernir nuances linguísticas sutis e relações complexas, frequentemente essenciais para modelar com precisão as interações multifacetadas presentes nos sistemas sociotécnicos.

As capacidades generativas dos LLMs, combinadas com sua competência para analisar documentação em larga escala e realizar modelagem semântica, tornam-nos particularmente adequados à geração de ontologias em sistemas sociotécnicos complexos. Sua integração aos fluxos de trabalho da engenharia de ontologias promete ampliar significativamente a capacidade de resposta, a precisão e a relevância das representações do conhecimento em domínios dinâmicos e interdisciplinares. Em última análise, é na interação entre os LLMs e a experiência humana que emerge uma verdadeira especificação de qualidade para os Sistemas de Informação: o modelo oferece amplas capacidades associativas e inferenciais em espaços de dados heterogêneos, enquanto o componente humano assegura fundamentação semântica, interpretação contextual e coerência ética. Juntos, eles formam um processo epistêmico híbrido no qual a escalabilidade computacional e a intencionalidade humana convergem, possibilitando a construção de sistemas de informação não apenas tecnicamente consistentes, mas também conceitualmente robustos e socialmente significativos.

Nessa estrutura híbrida, as arquiteturas de Geração Aumentada por Recuperação (RAG) desempenham um papel decisivo ao integrar as capacidades generativas dos LLMs à precisão e à confiabilidade da recuperação de conhecimento

externo. A RAG introduz um acoplamento dinâmico entre repositórios simbólicos e modelos probabilísticos de linguagem, permitindo que o sistema acesse, filtre e reinterprete informações específicas do domínio durante o processo de geração. Esse acoplamento transforma os LLMs de preditores puramente estatísticos em instrumentos cognitivos adaptativos, capazes de fundamentar suas saídas em fontes de dados verificáveis e contextualmente relevantes.

Consequentemente, quando incorporada à colaboração entre humanos e IA, a RAG amplia a interpretabilidade e a responsabilização, duas dimensões essenciais à legitimidade epistêmica da Engenharia de Sistemas de Informação. Os sistemas resultantes não apenas sintetizam conhecimento em escala, mas também sustentam raciocínios rastreáveis, reduzindo a distância entre a inferência automatizada e a compreensão humana. Nesse sentido, a RAG operacionaliza o próprio princípio que define a qualidade nos sistemas de informação: a mediação contínua entre a inteligência orientada por dados e o discernimento humano.

4 Considerações Filosóficas e Epistemológicas

O pensamento sistêmico na ciência da computação não emerge em um vazio conceitual; ele está enraizado em uma longa tradição filosófica e científica que se estende do raciocínio holístico da filosofia clássica aos paradigmas construtivistas e cibernéticos da computação moderna [16]. A epistemologia do pensamento sistêmico nos sistemas de informação enfatiza a natureza dinâmica e relacional da criação e da evolução do conhecimento. O conhecimento não é considerado uma mera coleção de fatos, mas uma construção moldada pelas interações no interior dos sistemas. Embora suas expressões práticas apareçam em áreas como engenharia de software, sistemas de informação e inteligência artificial, sua estrutura teórica reflete questões permanentes sobre como sistemas complexos podem ser representados, analisados e influenciados. Em sua essência, o pensamento sistêmico na computação envolve questões ontológicas relativas à natureza das entidades e dos processos informacionais, questões epistemológicas sobre como o conhecimento é formalizado e validado em modelos computacionais e considerações éticas acerca das consequências da tomada automatizada de decisões. Essa fundamentação filosófica fornece a profundidade conceitual necessária para compreender a relação em evolução entre computação, representação e realidade.

Filosoficamente, os LLMs desafiam o modelo de verdade por correspondência subjacente à maioria dos sistemas de informação. Sua epistemologia não se baseia na referência, mas na coerência, segundo a qual a verdade é compreendida como consistência interna em vastos corpora textuais. Com base na crítica da tecnologia de Heidegger [7] e na filosofia da informação de Floridi [4], este artigo examina como essa nova condição epistêmica redefine o conceito de “conhecimento” em contextos computacionais.

Com base nessa fundamentação filosófica, a mudança epistêmica introduzida pelos Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) convida a um reexame de como o conhecimento é constituído, validado e operacionalizado nos sistemas computacionais. A epistemologia dos LLMs baseada na coerência diverge do modelo

tradicional de correspondência, segundo o qual a verdade decorre de um mapeamento direto entre representações simbólicas e a realidade externa. Em vez disso, os LLMs geram significado por meio de associações probabilísticas e da consistência semântica em vastos corpora textuais, privilegiando a relacionalidade interna em detrimento da referencialidade externa.

Essa reconfiguração produz implicações profundas para o projeto e a interpretação dos sistemas de informação. A visão de Heidegger sobre a tecnologia sugere que devemos evitar tratar as pessoas e o mundo ao nosso redor como meras ferramentas ou recursos a serem explorados. Para ele, a tecnologia moderna nos incentiva a considerar tudo, inclusive nós mesmos, como algo a ser administrado ou otimizado, em vez de valorizado por seu significado ou propósito mais profundo. Sob essa perspectiva, os LLMs desafiam a racionalidade instrumental dominante nas arquiteturas convencionais de sistemas, oferecendo um modo emergente, contextual e interpretativo de produção de conhecimento. Em vez de codificar verdades fixas, os LLMs simulam compreensão por meio do alinhamento dinâmico de padrões linguísticos, enfatizando, assim, as condições ontológicas nas quais a informação adquire significado.

A filosofia da informação de Luciano Floridi esclarece ainda mais essa transformação. Sua conceituação do conhecimento como função do conteúdo semântico, da boa formação e da veracidade alinha-se à lógica generativa dos LLMs, embora permaneça uma tensão crítica. Enquanto Floridi enfatiza as responsabilidades éticas e epistemológicas dos agentes informacionais, os LLMs operam em uma estrutura na qual a coerência pode substituir a veracidade, suscitando questões sobre a confiabilidade e a responsabilização pelo conhecimento gerado por máquinas. Essa tensão evidencia a necessidade de novos critérios de avaliação que ultrapassem noções binárias de verdade e falsidade e adotem um espectro de virtudes epistêmicas, como relevância, transparência e fidelidade contextual.

Em contextos computacionais, essa condição epistêmica redefine o conhecimento não como um repositório estático de fatos, mas como um processo fluido e dialógico, moldado pela interação, interpretação e iteração. Os LLMs exemplificam essa mudança ao possibilitar sistemas que aprendem, adaptam-se e respondem a ambientes discursivos humano-algoritmo em evolução. Eles não apenas armazenam ou recuperam informações; participam da construção do significado, tornando imprecisas as fronteiras entre dados, conhecimento e compreensão. Consequentemente, a integração dos LLMs aos sistemas de informação representa um afastamento paradigmático dos modelos representacionistas e convida a uma abordagem mais reflexiva e filosoficamente fundamentada da epistemologia digital.

Essa mudança epistemológica tem implicações profundas na interação dos LLMs com usuários cujas crenças divergem do consenso científico estabelecido. Nessas interações, o comportamento linguístico adaptativo do modelo pode validar e reforçar involuntariamente narrativas não empíricas, pois a coerência no diálogo é privilegiada em relação à correspondência com a realidade objetiva. Sem mecanismos de correção epistêmica, o processo conversacional corre o risco de tornar-se um ciclo de retroalimentação de opiniões, no qual a plausibilidade

discursiva substitui a verificação empírica. A semiótica oferece uma perspectiva crucial para compreender os mecanismos representacionais dos LLMs. Enquanto o modelo triádico de Peirce (signo–objeto–interpretante) [10] pressupõe um sujeito interpretativo, os LLMs simulam a interpretação algoritmicamente.

Sob uma perspectiva computacional, esse fenômeno revela uma limitação estrutural das arquiteturas generativas atuais: sua otimização para a consistência linguística, e não para a integridade epistêmica. De modo semelhante ao fenômeno da alucinação coletiva na cognição humana, um LLM alinha-se semanticamente à visão de mundo expressa pelo usuário e gera respostas que preservam a harmonia dialógica, mas podem afastar-se da fundamentação factual. Essa dinâmica posiciona o modelo naquilo que Parmênides¹ descreveu como o Caminho da Opinião, um domínio de discurso aparentemente racional, mas desvinculado da busca pela verdade.

Na filosofia da informação, essa situação evidencia a necessidade de projetar agentes informacionais capazes de autorregulação epistêmica, isto é, sistemas que não apenas produzam saídas linguísticas coerentes, mas também avaliem sua correspondência com estruturas de conhecimento verificadas. A incorporação desses mecanismos exige uma síntese entre pensamento sistêmico, epistemologia e ética computacional, assegurando que a produção digital de conhecimento permaneça fundamentada. O desafio, portanto, não é apenas técnico, mas conceitual: projetar sistemas que preservem a fluidez da interação dialógica e, simultaneamente, mantenham fidelidade ao mundo empírico que sustenta o conhecimento significativo.

5 Implicações Éticas e Sociais

À medida que os Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) e outros sistemas de IA são incorporados a infraestruturas críticas, como educação, saúde, finanças e governança, sua opacidade ontológica introduz novas camadas de complexidade ética. Diferentemente da automação tradicional, limitada por uma lógica procedimental explícita, os modelos generativos operam por meio de inferência probabilística em vastos espaços semânticos. Essa opacidade desafia os princípios de responsabilização e transparência tradicionalmente esperados na governança corporativa e institucional. A avaliação ética, portanto, deve ultrapassar a conformidade e a privacidade de dados para abranger a justiça epistêmica e a preservação da autonomia interpretativa humana. Além disso, surge uma questão ética fundamental: se o significado é gerado algoritmicamente, como a responsabilidade e a autoria devem ser repensadas no projeto de sistemas inteligentes [19]?

Sob a perspectiva da responsabilidade social corporativa (RSC), as organizações que adotam soluções baseadas em LLMs devem reconhecer seu duplo papel: inovadoras tecnológicas e agentes morais no ecossistema sociotécnico. Vieses, desinformação e reforço de desigualdades estruturais não são meras falhas técnicas,

¹ Filósofo grego pré-socrático (530 a.C. a 460 a.C.).

mas reflexos de assimetrias epistêmicas codificadas nos dados de treinamento do modelo. Enfrentar essas assimetrias exige mais do que algoritmos corretivos; requer uma estrutura orientada pela clareza filosófica e pela prudência moral, assegurando que as decisões de projeto estejam alinhadas aos valores humanos e à responsabilização democrática.

Transparência do Significado – Os sistemas devem ser projetados para tornar seus processos inferenciais, suas limitações e suas fronteiras epistêmicas inteligíveis aos usuários e às partes interessadas. Essa transparência não é apenas procedimental, mas também semântica, pois reconhece que a construção do significado é uma prerrogativa humana que não pode ser integralmente delegada às máquinas [17].

Pluralidade de Ontologias – Os sistemas de informação devem respeitar a diversidade de estruturas culturais, linguísticas e interpretativas por meio das quais as comunidades humanas constroem conhecimento. A imposição de uma única ontologia computacional corre o risco de homogeneizar o significado e apagar a diversidade epistêmica. **Preservação da Autonomia Interpretativa** – A automação deve ampliar, e não substituir, o julgamento humano. Os sistemas de apoio à decisão devem preservar a capacidade dos usuários de interpretar, deliberar e discordar, mantendo, assim, a dimensão ética da responsabilidade na interação entre seres humanos e máquinas. Esses princípios reposicionam o debate sobre a ética da IA, deslocando-o de uma postura orientada à conformidade para uma ética ontológica da responsabilidade. Em vez de concentrar-se exclusivamente na transparência técnica ou na governança de dados, essa abordagem procura articular como a IA pode coexistir com a liberdade interpretativa humana. Em última análise, a maturidade ética dos sistemas orientados por IA dependerá menos da sofisticação de seus algoritmos e mais do compromisso das organizações em projetá-los, implementá-los e regulá-los de formas que respeitem a pluralidade de significados e a agência moral dos seres humanos [6].

A dimensão ética da automação em contextos organizacionais ultrapassa a implementação técnica e abrange implicações profundas tanto para as pessoas quanto para a cultura. Trabalhadores cujas tarefas estão sujeitas à automação frequentemente experimentam ansiedade e resistência em razão da ameaça percebida de perda do emprego. Essas reações não são meramente individuais, mas estão enraizadas em culturas organizacionais mais amplas, que podem perceber a automação como uma ruptura das práticas estabelecidas e das identidades profissionais. Consequentemente, qualquer processo de integração tecnológica exige uma reflexão ética cuidadosa sobre como mitigar esses receios e assegurar uma adaptação justa.

Sob uma perspectiva ética, é essencial projetar estratégias de automação que respeitem a dignidade dos trabalhadores, ofereçam oportunidades de requalificação e promovam uma comunicação transparente sobre os objetivos e as consequências da mudança tecnológica. A transição para processos automatizados deve, portanto, ser orientada por princípios de justiça, empatia e inclusão, reconhecendo que a resistência frequentemente decorre de preocupações legítimas com segurança e pertencimento. Enfrentar essas questões requer não apenas vi-

são gerencial, mas também responsabilidade moral pelo bem-estar psicológico dos trabalhadores e pela preservação de uma cultura organizacional saudável.

6 Aspectos Técnicos

Nos últimos anos, o rápido desenvolvimento dos grandes modelos de linguagem transformou a maneira como os sistemas computacionais geram, interpretam e aplicam conhecimento. Esses modelos demonstraram capacidades notáveis para produzir textos fluentes e coerentes, resolver problemas complexos e adaptar-se a uma ampla variedade de domínios. Entretanto, apesar de sua versatilidade, permanecem limitados por sua dependência intrínseca dos dados utilizados durante o treinamento.

Depois de implantados, eles operam sem acesso direto a fontes externas de informação e dependem exclusivamente de representações internalizadas, que nem sempre refletem conhecimento atual, preciso ou contextualmente adequado. Essa limitação frequentemente resulta em saídas formalmente plausíveis, mas factualmente inconsistentes ou desconectadas das exigências específicas de determinada tarefa. Sob uma perspectiva técnica, esse problema ocorre porque a maioria dos grandes modelos de linguagem funciona em um regime fechado de inferência, no qual os parâmetros codificam correlações estatísticas derivadas dos corpora de pré-treinamento, e não fatos validados dinamicamente. O espaço de embeddings, embora rico em associações semânticas, permanece estático após o treinamento, impedindo que o sistema atualize suas representações em resposta a dados novos ou em evolução. Além disso, a janela de contexto utilizada durante a inferência limita a capacidade do modelo de reter ou relacionar contextos informacionais extensos, produzindo cadeias de raciocínio parciais ou fragmentadas. Essas restrições estruturais, combinadas à ausência de mecanismos de recuperação ou verificação, explicam fenômenos como alucinação, desvio de domínio e super-generalização semântica, nos quais o conteúdo gerado prioriza a plausibilidade linguística em detrimento da correção empírica. Consequentemente, sem a integração de recuperação externa, ciclos de retroalimentação ou fundamentação em bases de conhecimento estruturadas, esses modelos correm o risco de produzir saídas que imitam a compreensão, mas carecem da robustez epistêmica necessária à tomada confiável de decisões em domínios especializados ou sujeitos a mudanças dinâmicas.

Para superar esse desafio, pesquisas recentes propõem a integração da geração aumentada por recuperação como forma de fundamentar as saídas do modelo em informações relevantes e verificáveis [5]. Na Geração Aumentada por Recuperação (RAG), o processo generativo é acoplado a um mecanismo de recuperação de informações que identifica e seleciona textos, exemplos ou soluções contextualmente semelhantes ao problema em questão. Ao combinar as evidências recuperadas com o raciocínio generativo do modelo, torna-se possível produzir respostas simultaneamente criativas e factualmente alinhadas, reduzindo, assim, a distância entre a inferência probabilística e o conhecimento fundamentado.

Essa abordagem fundamenta-se em duas observações centrais. Em primeiro lugar, uma ampla variedade de tarefas de programação e raciocínio apresenta profundas semelhanças estruturais, não apenas em sua formulação, mas também nas estratégias cognitivas e algorítmicas necessárias para resolvê-las. Em segundo lugar, evidências empíricas sugerem que o desempenho dos LLMs pode ser substancialmente aprimorado quando lhes são fornecidos exemplos contextualmente relevantes ou casos de problemas análogos antes da geração de uma solução.

O conceito de RAG representa um dos avanços mais significativos na evolução recente dos sistemas inteligentes, particularmente em sua capacidade de conectar conhecimento simbólico à modelagem estatística da linguagem. Ao integrar a recuperação de conhecimento externo à modelagem generativa, a RAG estabelece uma arquitetura cognitiva híbrida: combina a precisão dos métodos de recuperação de informação (RI) com a adaptabilidade contextual dos grandes modelos de linguagem (LLMs). Em termos práticos, quando uma consulta ou um prompt é apresentado, a estrutura RAG recupera inicialmente informações relevantes de uma base de conhecimento curada ou de um repositório documental, fundamentando a etapa subsequente de geração em conteúdo verificável e contextualmente alinhado. Esse mecanismo reduz uma das limitações centrais dos sistemas puramente generativos, isto é, sua tendência à alucinação ou à inferência não fundamentada, ao restringir o raciocínio do modelo a um corpus de dados externamente validados.

A integração entre recuperação e geração produz uma interação dinâmica entre representações estruturadas e não estruturadas. Enquanto o componente de recuperação assegura a coerência factual e a relevância para o domínio, o componente generativo sintetiza essas informações em um discurso coerente e semelhante ao humano. Como resultado, a RAG não apenas recorda ou reproduz dados existentes; ela reconstrói o conhecimento por meio do raciocínio contextual, possibilitando a resolução adaptativa de problemas em domínios computacionais complexos, como programação, análise de dados, modelagem científica e apoio à decisão.

Nesse sentido, a RAG oferece uma estrutura promissora para reduzir a distância entre o raciocínio abstrato e as aplicações concretas. Ela operacionaliza a transição da inferência simbólica, ancorada em dados explícitos, para a interpretação probabilística, característica dos LLMs, aproximando o raciocínio da máquina dos processos cognitivos humanos. Essa convergência permite que os sistemas não apenas gerem respostas linguisticamente coerentes, mas também raciocinem efetivamente sobre as evidências recuperadas, produzindo saídas mais robustas, explicáveis e semanticamente fundamentadas.

Quando um sistema recupera problemas análogos e suas soluções correspondentes, ele oferece efetivamente ao modelo uma plataforma cognitiva que sustenta o raciocínio por comparação e analogia. Esse processo não apenas melhora o desempenho, mas também contribui para a transparência epistêmica, pois as fontes de informação passam a integrar o contexto do raciocínio.

Sob uma perspectiva matemática, a eficácia da geração aumentada por recuperação em domínios de resolução de problemas apoia-se em princípios da matemática discreta, da álgebra linear e da teoria das probabilidades. Instâncias estruturadas de problemas podem frequentemente ser representadas como grafos, matrizes ou expressões formais, possibilitando a identificação de isomorfismos ou semelhanças estruturais entre tarefas anteriores e atuais. Padrões algorítmicos, como relações de recorrência, estruturas combinatórias ou estratégias de otimização, fornecem um substrato formal sobre o qual os mecanismos de recuperação podem operar, orientando a seleção de análogos relevantes. Além disso, modelos probabilísticos fundamentam a pontuação e a ordenação das instâncias recuperadas, permitindo que o sistema avalie a probabilidade de uma solução anterior específica generalizar-se de maneira eficaz para um novo contexto. Essa fundamentação matemática assegura que o processo de recuperação não seja meramente associativo, mas sistematicamente alinhado às propriedades formais do domínio, reforçando tanto a confiabilidade quanto a interpretabilidade do raciocínio produzido.

Ao alinhar a geração linguística à recuperação estruturada, essa abordagem representa um passo significativo em direção a uma nova geração de sistemas inteligentes, que não sejam apenas probabilísticos, mas também epistemicamente fundamentados e sensíveis ao contexto. Para enfrentar essas limitações, a geração aumentada por recuperação emergiu como um método eficaz para conectar os grandes modelos de linguagem a conhecimentos externos relevantes. Nessa abordagem, o modelo não depende somente de seus parâmetros internos, mas também utiliza um componente de recuperação de informação para buscar, em um repositório estruturado, textos semelhantes ao problema atual. A informação recuperada é então combinada à capacidade generativa do próprio modelo, permitindo-lhe produzir respostas mais precisas, coerentes e contextualmente fundamentadas.

7 Considerações e Direções Futuras

As discussões anteriores convergem para uma compreensão compartilhada de que o futuro da Engenharia de Sistemas de Informação (ESI) exige a reconfiguração de seus fundamentos conceituais, metodológicos e éticos. A convergência entre tecnologias inteligentes, transformação social e urgência ambiental obriga a disciplina a formular uma visão renovada, ancorada na coerência sistêmica, na responsabilidade epistêmica e na inovação sustentável. As considerações a seguir delineiam direções essenciais para ações futuras. A ESI deve superar sua orientação tecnológica tradicional e incorporar a sustentabilidade como princípio fundamental, e não como restrição externa. A próxima geração de sistemas projetados deverá ser autoadaptativa, energeticamente eficiente e resiliente, capaz de operar em contextos ecológicos e sociotécnicos complexos. Essa evolução exige a incorporação de métricas de sustentabilidade desde as primeiras etapas do projeto, assegurando que a otimização de recursos e a responsabilidade ambiental se tornem componentes intrínsecos das decisões de engenharia. A disciplina deve,

portanto, alinhar seus métodos aos imperativos globais de sustentabilidade e responsabilidade ética, redefinindo o sucesso não apenas em termos de eficiência, mas também de benefícios sociais de longo prazo.

A ampliação das demandas sociais, que abrangem desde a inclusão digital até o acesso equitativo à informação, exige uma reconceituação sistêmica dos objetivos de projeto. Os sistemas futuros devem evoluir como agentes dinâmicos capazes de coadaptar-se a estruturas e valores sociais em transformação. Isso implica sincronizar os ciclos de vida dos sistemas individuais com desafios coletivos, como saúde pública, educação e equidade social. A resposta metodológica deve promover a colaboração interdisciplinar e aproximar engenharia, ciências sociais e ética para enfrentar problemas mal estruturados que desafiam as fronteiras técnicas tradicionais.

A inteligência artificial e o aprendizado de máquina não são meros instrumentos de automação, mas agentes epistêmicos² que reconfiguram a maneira como os sistemas são concebidos e governados. Sua implantação introduz desafios éticos profundos relacionados à autonomia, à responsabilização e à transformação do trabalho humano. A prática futura da ESI deve institucionalizar a avaliação de riscos éticos como etapa fundamental do processo de projeto, assegurando que as inovações contribuam positivamente para o bem-estar humano. Os mecanismos de governança devem promover transparência, explicabilidade e equidade na tomada automatizada de decisões, contrapondo-se às assimetrias que as tecnologias emergentes podem agravar.

A interdependência tecnológica global torna inadequadas as estruturas tradicionais de governança. O futuro da engenharia de sistemas reside na construção de modelos de governança policêntrica que integrem governos, academia, sociedade civil e setor privado em uma responsabilidade compartilhada pela evolução tecnológica. Esses modelos devem promover o diálogo aberto e a regulação cooperativa para administrar a incerteza, mitigar riscos sistêmicos e preservar a primazia do bem público. A governança, nesse sentido, torna-se um processo adaptativo que coevolui com as transformações tecnológicas e sociais.

Por fim, a ESI deve cultivar uma postura reflexiva, reconhecendo que os sistemas tecnológicos não são artefatos neutros, mas participantes ativos na formação do conhecimento humano e da ordem social. Esse reconhecimento exige um reexame contínuo dos pressupostos epistemológicos subjacentes à prática da engenharia. A renovação da disciplina depende, assim, de sua capacidade de integrar reflexão filosófica, antecipação ética e rigor empírico em uma estrutura unificada de inovação responsável.

² A expressão agentes epistêmicos designa entidades capazes de participar de atividades epistêmicas, isto é, atividades relacionadas à aquisição, produção, justificação, representação e comunicação do conhecimento. O conceito tem origem na Epistemologia, na qual é utilizado para caracterizar aqueles que podem sustentar crenças, avaliar evidências e revisar seus estados cognitivos à luz de novas informações.

8 Conclusão

As reflexões desenvolvidas neste artigo convergem para uma tese central: a Engenharia de Sistemas de Informação (ESI) deve enfrentar as consequências epistêmicas e ontológicas das transformações computacionais que atualmente incorpora. O surgimento dos Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) representa muito mais do que uma inovação tecnológica; assinala uma mudança profunda na maneira como o conhecimento, o significado e a representação são concebidos nos sistemas de informação. Os paradigmas tradicionais da engenharia, fundamentados em requisitos estáveis, lógica determinística e esquemas ontológicos fixos, mostram-se cada vez menos capazes de apreender a natureza fluida, dialógica e sensível ao contexto dos ecossistemas digitais contemporâneos. A convergência entre filosofia, ontologia e pensamento sistêmico revela que a evolução atual das tecnologias computacionais não pode ser adequadamente compreendida no interior dos paradigmas tradicionais. Esses modelos desafiam a concepção de verdade por correspondência, reconfiguram os processos de construção de significado e redefinem as próprias condições sob as quais o conhecimento é produzido, validado e aplicado em ambientes digitais.

As implicações epistêmicas e éticas dessa transformação exigem uma reorientação da disciplina em direção à reflexividade, à transparência e à responsabilização. Os sistemas de informação já não podem ser concebidos apenas como artefatos técnicos; são agentes epistêmicos que participam da construção da realidade social. Seu projeto, portanto, implica responsabilidade filosófica. A interação entre clareza ontológica e generatividade computacional deve ser conscientemente administrada para assegurar que os sistemas projetados continuem a servir aos valores humanos, à integridade intelectual e à participação democrática.

A filosofia da ciência fornece a estrutura crítica para essa reorientação. Ela nos recorda que a ciência e, por extensão, a computação constituem atividades humanas governadas não apenas pela lógica e pela eficiência, mas também por estruturas interpretativas, compromissos éticos e contextos sociais. Da mesma forma, a ontologia oferece o rigor formal necessário para estruturar o conhecimento, enquanto a semiótica estabelece a mediação entre significado e representação. Quando integradas à engenharia de sistemas de informação, essas perspectivas promovem uma compreensão da computação que não é reducionista, mas sistêmica; não é instrumental, mas interpretativa. Eticamente, essa síntese reafirma a primazia da autonomia interpretativa humana. Em um cenário progressivamente dominado pela mediação algorítmica, a preservação do julgamento humano, da pluralidade de ontologias e da transparência do significado torna-se um imperativo moral. A responsabilidade dos pesquisadores, engenheiros e organizações ultrapassa a inovação; ela abrange o cultivo da justiça epistêmica e a prevenção de assimetrias informacionais que comprometam a confiança pública e a diversidade intelectual.

Agradecimentos. Este estudo foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio dos projetos 402.086/2023-6 e 306.695/2022-7.

Declaração de Interesses. O autor declara não possuir interesses conflitantes relevantes para o conteúdo deste artigo. Durante a redação deste trabalho, LLMs foram utilizados para auxiliar na edição e condensação de versões parciais elaboradas pelo autor. Posteriormente, o autor editou e refinou o texto com o Grammarly. Esse uso e o presente reconhecimento estão em conformidade com as diretrizes éticas para a utilização de IA generativa na pesquisa acadêmica. O trabalho foi integralmente desenvolvido pelo autor, foi cuidadosamente verificado quanto à precisão, e o autor assume responsabilidade pela integridade de suas contribuições.

Referências

1. Autili, M., De Sanctis, M., Inverardi, P., and Pelliccione, P. Engineering Digital Systems for Humanity: A Research Roadmap. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 2025, 5th ed., pp. 1–33.
2. Bathaee, Y. The Artificial Intelligence Black Box and the Failure of Intent and Causation. *Harvard Journal of Law & Technology*, Vol. 31, No. 2, Spring 2018, pp. 890–938.
3. Feyerabend, P. *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. London: New Left Books, 1975.
4. Floridi, L. *The Ethics of Information*. Oxford: Oxford University Press, 2013.
5. Gao, Y., et al. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. *arXiv preprint*, March 27, 2024.
6. Gordon, J.-S., and Nyholm, S. Ethics of Artificial Intelligence. *Internet Encyclopedia of Philosophy*, February 2021. Available at: <https://iep.utm.edu/ethic-ai/>.
7. Heidegger, M. The Question Concerning Technology. In: Krell, D. F. (Ed.), *Basic Writings*, pp. 287–317. New York: Harper & Row, 1977.
8. Kuhn, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
9. Lakatos, I. *Proofs and Refutations*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
10. Liszka, J. J. *A General Introduction to the Semeiotic of Charles Sanders Peirce*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press, 1996.
11. Lukyanenko, R., Storey, V. C., and Pastor, O. Foundations of Information Technology Based on Bunge’s Systemist Philosophy of Reality. *Software and Systems Modeling*, pp. 921–938. 2021.
12. Mai, H. T., Chu, C. X., and Paulheim, H. Do LLMs Really Adapt to Domains? An Ontology Learning Perspective. In: Demartini, G., et al. (Eds.), *The Semantic Web – ISWC 2024*, Lecture Notes in Computer Science. Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 126–143.
13. Malinowski, B. Practical Anthropology. *Journal of the International African Institute*, January 1929, pp. 22–38.
14. Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., and Floridi, L. The Ethics of Algorithms: Mapping the Debate. *Big Data & Society*, July–December 2016, pp. 1–21.
15. Popper, K. *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books, 1959.
16. Rouso, D. Chapter 3 – Philosophical Foundations of Systems Thinking. <https://tinyurl.com/Rouso2025> In: *Systems Thinking*. Calgary, AB: Southern Alberta Institute of Technology, 2025.
17. Russo, F., Schliesser, E., and Wagemans, J. Connecting Ethics and Epistemology of AI. *AI & Society*, 2024, pp. 1585–1603.

18. Searle, J. R. Minds, Brains, and Programs. *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 3, No. 3, 1980, pp. 417–424.
19. Stahl, B. C. Embedding Responsibility in Intelligent Systems: From AI Ethics to Responsible AI Ecosystems. *Scientific Reports*, May 18, 2023.
20. Vallor, S. (Ed.). *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology*. New York: Oxford University Press, 2022.
21. Von Bertalanffy, L. The History and Status of General Systems Theory. *Academy of Management Journal*, 1972, pp. 407–426.
22. Wangler, B., and Backlund, A. Information Systems Engineering: What Is It? In: *CAiSE 2005 Workshops*. Porto, Portugal: FEUP Edições, 2005, pp. 427–437.
23. Wu, J., and Or, C. K. L. Position Paper: Towards Open Complex Human–AI Agents Collaboration Systems for Problem Solving and Knowledge Management. *arXiv*, October 9, 2025.