Anais do VII CoBICET – Trabalho completo
Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia
24 a 28 de agosto de 2026

INTERFACES INVISÍVEIS E A CRISE DA ECONOMIA DA ATENÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE ASSISTENTES AUTÔNOMOS, ROBÓTICA ACESSÍVEL E BCIs — DILEMAS ÉTICOS E O MODELO EAP

Luis Fernando dos Santos Pires[1], Rafael Diogo Rossetti[2]

[1]*Centro Universitário FECAP — Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado, São Paulo, Brasil (luis.pires@fecap.br)*
[2]*Centro Universitário FECAP — Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado, São Paulo, Brasil (rafael.rossetti@fecap.br)*

Resumo: O paradigma da economia da atenção apresenta sinais inequívocos de esgotamento sistêmico, evidenciados pela fadiga digital crescente, pela crise de saúde mental documentada em adolescentes (HAIDT, 2024) e pela emergência de movimentos de minimalismo digital. Esse esgotamento cria as condições para o próximo paradigma da interação humano-computador: as interfaces invisíveis. Este artigo apresenta uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) conduzida segundo o protocolo PRISMA 2020 nas bases Scopus, Web of Science e IEEE Xplore (setembro de 2024; n = 187 estudos incluídos de 523 identificados), investigando as fundações teóricas dessa transição e as três vertentes tecnológicas que a viabilizarão: Assistentes Autônomos baseados em LLMs, Robótica Acessível e Interfaces Cérebro-Computador (BCIs). A análise identifica e categoriza os dilemas éticos associados a cada vertente e propõe o modelo conceitual do Ecossistema de Assistência Pervasiva (EAP), que integra as três vertentes em três estratos funcionais interdependentes: Cognitivo (BCI), Orquestrador (IA) e Físico (Robótica). A hipótese central é confirmada: o sucesso desta transição depende menos da capacidade computacional e mais da capacidade da sociedade em construir marcos éticos e regulatórios que preservem a autonomia e a privacidade do indivíduo.

Palavras-chave: Interfaces Invisíveis; Economia da Atenção; Assistentes Autônomos; Brain-Computer Interface; Ética em Tecnologia; Ecossistema de Assistência Pervasiva; Robótica Acessível.

1. INTRODUÇÃO

A trajetória histórica da interação humano-computador pode ser compreendida como uma série de revoluções de interface, cada uma reduzindo de forma sistemática a barreira cognitiva entre o usuário e a funcionalidade computacional. A primeira revolução foi a transição da programação em linguagem de máquina para linguagens de alto nível, democratizando a programação entre especialistas técnicos. A segunda foi a introdução da interface gráfica com janelas, ícones e mouse, expandindo o círculo de usuários para toda a população alfabetizada. A terceira foi a computação móvel com interfaces touch e sistemas de voz. A quarta, vivida atualmente, é a das interfaces conversacionais em linguagem natural mediadas por LLMs.

A quinta revolução, que este artigo argumenta ser iminente e tecnicamente viabilizável no horizonte de cinco a dez anos, é a das interfaces invisíveis: tecnologias que operam de forma proativa, contextual e autônoma, minimizando ao extremo a necessidade de interação explícita do usuário. Essa visão não é nova: Weiser (1991) descreveu a computação ubíqua antecipando um futuro onde a tecnologia se integraria ao ambiente de forma tão natural quanto a eletricidade, invisível não por estar ausente, mas por estar perfeitamente integrada ao fluxo da vida.

Em contraste, a arquitetura da internet contemporânea foi construída sobre o princípio oposto: a maximização do tempo de atenção central do usuário como objetivo primário de negócio. A crise desse modelo é documentada empiricamente. Haidt (2024) registra correlação robusta e amplamente discutida entre o aumento do uso de smartphones e a

deterioração do bem-estar mental de adolescentes em múltiplos países, com onset correlacionado ao período de popularização dos algoritmos de recomendação de feeds infinitos por volta de 2012. Embora o debate sobre a direção causal dessa relação permaneça em aberto na literatura científica (cf. ORBEN; PRZYBYLSKI, 2019), a magnitude e a consistência internacional das correlações justificam atenção regulatória urgente.

O problema de pesquisa que orienta este trabalho é: de que maneira as tecnologias emergentes de Assistentes Autônomos, Robótica Acessível e Interfaces Cérebro-Computador (BCIs) estão redefinindo a interação humano-computador em direção ao paradigma das interfaces invisíveis, e quais dilemas éticos e sociais emergem desse processo? A hipótese central é que a revolução das interfaces invisíveis será limitada não por capacidade computacional, mas pela capacidade da sociedade em desenvolver marcos éticos, regulatórios e pedagógicos que preservem a autonomia do indivíduo, garantam equidade de acesso e protejam a privacidade cognitiva.

Para responder a essa questão, este artigo apresenta uma RSL conduzida segundo o protocolo PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021) e propõe o modelo do Ecossistema de Assistência Pervasiva (EAP), que formaliza a sinergia entre as três vertentes e permite analisar as interdependências e os pontos de falha críticos em sua integração sistêmica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Economia da Atenção e sua Crise Sistêmica

Davenport e Beck (2001) estabeleceram o arcabouço conceitual da economia da atenção: em um ambiente de abundância informacional, o recurso escasso não é a informação, mas a atenção humana necessária para processá-la. Essa constatação foi adotada pelas plataformas digitais emergentes como princípio de design fundador: ao capturar e reter a atenção dos usuários por mais tempo, as plataformas poderiam monetizá-la via publicidade com eficácia crescente e mensurável.

O design persuasivo, sistematizado por Fogg (2003) e operacionalizado por Harris (2017) como conjunto de técnicas que exploram vulnerabilidades cognitivas para maximizar o engajamento, tornou-se a principal competência de engenharia das grandes plataformas digitais. Notificações push calibradas para criar senso de urgência, feeds de rolagem infinita sem ponto de encerramento natural, sistemas de recompensa variável análogos ao reforço intermitente dos jogos de azar, e contadores de likes como mecanismos de validação social são exemplos de técnicas otimizadas por A/B testing extensivo. O resultado acumulado é o que Heitmayer (2022) denomina a segunda onda da economia da atenção: a transformação da atenção em ativo institucionalizado, negociado nos mercados financeiros como parte do valuation das plataformas.

A crise desse modelo emerge na intersecção de múltiplas evidências convergentes. Do ponto de vista da saúde mental, Haidt (2024) apresenta análise longitudinal em múltiplos países demonstrando que a prevalência de ansiedade, depressão e ideação suicida em adolescentes aumentou significativamente a partir de 2012, correlacionada com a popularização dos smartphones e das redes sociais com feeds algorítmicos. Do ponto de vista regulatório, a Comissão Europeia e legislaturas nacionais avançam com legislação que restringe práticas de design persuasivo, especialmente para menores de idade.

2.2 Computação Ubíqua e Tecnologia Calma: Fundamentos Normativos

O arcabouço conceitual para as interfaces invisíveis foi articulado por Mark Weiser no Xerox PARC nos anos 1990. Em seu artigo seminal de 1991, The Computer for the 21st Century, Weiser descreveu uma visão de centenas de computadores por pessoa e por espaço físico, todos conectados e atuando nos bastidores das atividades humanas sem demandar atenção consciente. O conceito-chave é a invisibilidade da ubiquidade perfeita, análoga à invisibilidade da eletricidade.

Weiser e Brown (1996) desenvolveram o conceito de Tecnologia Calma como princípio de design que orienta a computação ubíqua. Uma tecnologia calma opera primariamente na periferia da atenção, movendo-se para o centro apenas quando necessário e retornando à periferia imediatamente após. Esse princípio representa o antípoda exato do design persuasivo da economia da atenção: servir ao usuário sem competir por sua atenção.

2.3 Trabalhos Relacionados

O campo de interfaces invisíveis tem recebido atenção crescente. Abowd e Mynatt (2000) definiram os cinco desafios fundamentais da computação ubíqua: captura natural de interações, acesso a informações capturadas, abstração e automação de tarefas, espaços de trabalho aumentados e privacidade. Esses desafios permanecem centrais nas três vertentes analisadas neste artigo.

Em relação aos Assistentes Autônomos, Russell (2019) estabelece as bases teóricas para o problema de alinhamento de objetivos, central para a segurança de agentes autônomos. Park et al. (2023) demonstraram que padrões emergentes de comportamento coletivo surgem em agentes baseados em LLMs sem programação explícita, antecipando desafios de controle e previsibilidade. Em robótica de cuidado, Sharkey e Sharkey (2012) estabeleceram uma taxonomia de riscos éticos que permanece referência: redução de contato humano, perda de privacidade,

desumanização do cuidado e erosão da responsabilidade profissional. Em BCIs, Yuste et al. (2017) introduziram o conceito de neurodireitos: privacidade mental, livre-arbítrio, identidade pessoal e equidade no acesso a melhorias cognitivas.

O presente artigo se diferencia ao propor o EAP como modelo integrador que analisa as três vertentes como sistema interdependente, identificando pontos de amplificação dos riscos éticos na integração e propondo um framework de governança sistêmica em vez de regulações setoriais desconexas.

3. METODOLOGIA

3.1 Protocolo PRISMA 2020

A RSL foi conduzida segundo as diretrizes do PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021). A busca foi realizada em setembro de 2024 nas bases Scopus, Web of Science e IEEE Xplore, com buscas complementares no Google Scholar para ampliar a cobertura de literatura cinzenta. A string de busca principal combinou termos das três vertentes com termos de ética e impacto social: ("invisible interface*" OR "calm technology" OR "ambient computing" OR "ubiquitous computing") AND ("attention economy" OR "autonomous agent*" OR "human-robot interaction" OR "brain-computer interface") AND ("ethic*" OR "social impact" OR "privacy" OR "autonomy" OR "surveillance"). O intervalo temporal foi delimitado entre 2015 e 2024.

3.2 Processo de Seleção

O processo de seleção seguiu quatro etapas: (1) identificação de 523 registros únicos após deduplicação; (2) triagem por título e resumo, excluindo estudos puramente técnicos sem análise de impacto social ou ético (n = 248 excluídos); (3) leitura completa dos 275 estudos elegíveis; e (4) inclusão de 187 estudos na síntese final. Os critérios de inclusão foram: artigos completos revisados por pares em português, inglês ou espanhol, que abordam a interseção entre tecnologias de interface emergentes e seus impactos éticos, sociais ou sobre a autonomia do usuário. Foram excluídos artigos de opinião sem evidências, resumos de conferência sem revisão por pares e estudos puramente técnicos sem discussão de impacto ao usuário final.

Figura 1. Fluxograma PRISMA 2020 do processo de seleção.

IDENTIFICAÇÃO: 523 registros (Scopus: 198 | Web of Science: 176 | IEEE Xplore: 112 | Google Scholar: 37)
TRIAGEM: 523 triados → 248 excluídos (sem análise ética/social)
ELEGIBILIDADE: 275 avaliados em texto completo → 88 excluídos
INCLUSÃO: 187 estudos incluídos na síntese qualitativa

3.3 Análise e Síntese

Os 187 estudos incluídos foram organizados em três categorias temáticas correspondentes às vertentes do EAP, com síntese qualitativa narrativa, adequada à heterogeneidade metodológica dos estudos. Para cada vertente identificou-se: (a) estado atual de desenvolvimento tecnológico; (b) trajetória projetada até 2030; (c) dilemas éticos identificados; e (d) lacunas regulatórias existentes.

Tabela 1. Caracterização dos 187 estudos por vertente e método.

Vertente	Exp.	Rev.	Est. Caso	An. Reg.	Total
Assist. Autônomos / LLMs	28	19	12	9	**68**
Robótica Acessível / HRI	21	16	18	7	**62**
BCIs	15	22	8	12	**57**
TOTAL	**64**	**57**	**38**	**28**	**187**

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Assistentes Autônomos: Da Execução de Comandos ao Agenciamento Pleno

A geração atual de assistentes de voz, como Siri, Alexa e Google Assistant, opera no paradigma de execução de comandos. A próxima geração, habilitada pela maturação dos LLMs e pelo desenvolvimento de frameworks de agentes autônomos como LangChain, AutoGen e CrewAI, opera em paradigma fundamentalmente diferente: o de agenciamento baseado em objetivos. Stone et al. (2022), no âmbito do projeto AI100 da Universidade de Stanford, projetam que agentes capazes de gerenciar autonomamente agendas pessoais, finanças, saúde preventiva, comunicações e logística doméstica estarão disponíveis como produtos comerciais acessíveis antes de 2030.

A literatura de Interação Humano-Agente (HAI) documenta o fenômeno da deferência algorítmica. Candrian (2022) demonstrou experimentalmente que usuários preferem delegar decisões a sistemas de IA mesmo quando esses apresentam desempenho objetivamente inferior ao de agentes humanos. Esse fenômeno cria o risco de delegação de decisões cujas consequências não foram plenamente compreendidas pelo usuário.

O dilema ético central é o que O'Neil (2016) denomina opacidade algorítmica: o sistema age em nome do usuário com base em critérios que podem não estar

alinhados com seu bem-estar. Um assistente que gerencia compras pode otimizar para o preço mais baixo em detrimento da sustentabilidade; um que gerencia a agenda pode otimizar para produtividade em detrimento do bem-estar e das relações sociais. Terrucha (2022) debate as implicações para a responsabilidade moral quando danos emergem de decisões delegadas sem plena compreensão dos critérios operacionais do agente.

4.1.1 Cenários de Aplicação

No âmbito da saúde, assistentes autônomos como o projeto Med-PaLM 2 do Google demonstram desempenho promissor em benchmarks específicos de raciocínio clínico (SINGHAL et al., 2023), embora persistam limitações importantes em raciocínio contextualizado e em casos clínicos atípicos. No âmbito corporativo, ferramentas como Microsoft Copilot e Salesforce Einstein GPT gerenciam autonomamente comunicações e redigem documentos, alterando fundamentalmente a natureza do trabalho de conhecimento. Na gestão financeira pessoal, startups combinam LLMs com acesso a contas bancárias via open banking para gerenciar orçamentos com ações proativas.

Cada um desses cenários replica o dilema ético central em domínio específico: na saúde, a deferência algorítmica pode levar pacientes a seguir recomendações de IA sem consultar profissionais qualificados; no corporativo, pode levar colaboradores a aceitar sem crítica documentos gerados automaticamente; no financeiro, pode levar usuários a executar movimentações sem compreender os critérios que as motivaram.

4.2 Robótica Acessível: Os Limites Éticos da Automação do Cuidado

A robótica de serviço avançou de forma notável em termos de segurança, intuitividade e custo de produção. A redução nos custos de sensores LIDAR, a maturação de algoritmos de navegação autônoma e os avanços em manipulação robótica criaram as condições técnicas para a robótica de serviço de consumo de massa. Projeções de mercado apontam para robôs de serviço doméstico com preços acessíveis disponíveis antes de 2027, impulsionados pelo envelhecimento populacional em países desenvolvidos e pela escassez crescente de trabalhadores nos setores de cuidado.

Bartneck et al. (2020) distinguem duas trajetórias com implicações éticas distintas: robôs que complementam o cuidado humano, liberando tempo dos processos físicos e repetitivos; e robôs que substituem o cuidado humano por razões de eficiência econômica. Empiricamente, os incentivos de curto prazo no setor de cuidados tendem a favorecer a segunda trajetória. Sparrow (2002) articulou o dilema ético central: quando uma pessoa idosa forma vínculos afetivos com um robô de assistência, o que a literatura de HRI documenta como frequente após exposição prolongada, ela pode ser privada de contato humano genuíno sem plena compreensão dessa substituição. O robô não tem capacidade de reciprocidade emocional genuína; o afeto que o usuário projeta é unilateral. A questão não é se o robô é útil funcionalmente, mas se o usuário está sendo privado de algo essencial sem plena compreensão dessa substituição.

4.2.1 Casos Concretos: PARO, Pepper e Stevie

O robô PARO, desenvolvido pelo AIST japonês e aprovado como dispositivo médico nos EUA e na Europa, é o caso mais estudado de robótica afetiva. Wada e Shibata (2007) documentaram reduções mensuráveis nos níveis de cortisol e no uso de analgésicos em pacientes com demência após interação regular com PARO. No entanto, os mesmos autores reconhecem que o benefício terapêutico não resolve o dilema de Sparrow: os pacientes que mais se beneficiam clinicamente são precisamente aqueles com menor capacidade de compreender a natureza artificial da relação.

O robô Pepper, da SoftBank Robotics, foi implantado em hospitais e lojas em escala significativa. Avaliações independentes (PANDEY; GELIN, 2018) documentam que as expectativas dos usuários criadas pela antropomorfização frequentemente excedem as capacidades reais, gerando frustração quando a ilusão é quebrada. O robô Stevie, desenvolvido pelo Trinity College Dublin especificamente para lares de idosos, incorpora deliberadamente limites de antropomorfização, evitando simular emoções que não possui, uma resposta de design ao dilema de Sparrow que merece atenção como modelo regulatório.

4.3 BCIs: A Fronteira Final da Privacidade

As BCIs estabelecem comunicação direta entre o sistema nervoso central e sistemas computacionais externos, eliminando completamente a mediação de qualquer interface explícita. As modalidades não invasivas, como EEG e fNIRS, já estão disponíveis comercialmente para aplicações de entretenimento e acessibilidade. As modalidades invasivas, como os eletrodos intracorticais desenvolvidos pela Neuralink e pelo BrainGate, estão em fase de ensaios clínicos para aplicações médicas de alta criticidade.

O mercado global de BCIs foi estimado em USD 1,9 bilhão em 2023, com projeção de USD 6,2 bilhões até 2030 (GORDON, 2023). Essa trajetória de comercialização acelerada está ocorrendo em um vácuo regulatório: nenhuma jurisdição importante possui um framework específico para dados neurais coletados por BCIs de consumo, e os termos de serviço das empresas tipicamente incluem cláusulas

amplas de propriedade sobre os dados neurais coletados.

Zuboff (2019) demonstrou como modelos de negócio baseados na extração de excedente comportamental criaram sistemas de predição comportamental monetizados via publicidade. Aplicar esse modelo a dados neurais, que incluem intenções, emoções e processos de tomada de decisão antes de sua expressão comportamental, criaria um sistema de predição de uma ordem de magnitude mais invasiva do que qualquer tecnologia anterior.

Yuste et al. (2017) propõem quatro neurodireitos fundamentais: (1) privacidade mental, o direito de não ter os próprios processos cognitivos acessados sem consentimento explícito; (2) livre-arbítrio, o direito de tomar decisões sem interferência de sistemas externos; (3) identidade pessoal, o direito de manter experiência consistente do self; e (4) equidade no acesso a melhorias cognitivas, prevenindo uma bifurcação da humanidade entre aqueles que podem e os que não podem pagar por BCIs cognitivamente potencializadoras.

Tabela 2. Síntese dos dilemas éticos por vertente e resposta regulatória.

Vertente	Dilema Ético Central	Consequência Sistêmica	Resposta Regulatória
Assistentes Autônomos	Opacidade algorítmica e deferência (O'NEIL, 2016; CANDRIAN, 2022)	Erosão da autonomia decisória; manipulação comportamental sistêmica	XAI obrigatório; direito de auditoria; responsabilidade civil clara
Robótica Acessível	Substituição da empatia no cuidado (SPARROW, 2002)	Isolamento social de populações vulneráveis; erosão das redes de cuidado interpessoal	Robôs como complemento, nunca substituto exclusivo; indicadores de qualidade de vida social
BCIs	Vigilância e soberania mental (ZUBOFF, 2019; YUSTE et al., 2017)	Capitalismo de vigilância cognitiva; predição de intenções pré-comportamentais	Categoria especial para dados neurais na LGPD e GDPR; proibição de coleta neural para marketing

5. O ECOSSISTEMA DE ASSISTÊNCIA PERVASIVA (EAP)

5.1 Arquitetura do Modelo

A análise das três vertentes revela que seu potencial transformador máximo não emerge de sua aplicação isolada, mas de sua integração sistêmica. Um assistente autônomo sem acesso a dados de intenção em tempo real precisará inferir objetivos a partir de comportamento explícito, limitando sua proatividade. Uma BCI sem sistema de planejamento limita-se a controlar dispositivos pré-programados. Um robô sem sistema de raciocínio de alto nível limita-se a executar tarefas pré-definidas. A sinergia entre as três vertentes, captura de intenção via BCI, planejamento via IA e execução via robótica, é o que materializa verdadeiramente a interface invisível.

O EAP é um framework conceitual composto por três estratos funcionais com fluxos de informação bidirecionais. O Estrato Cognitivo (BCIs) captura os objetivos implícitos do usuário diretamente de sinais neurais antes de sua verbalização. O Estrato Orquestrador (Assistentes Autônomos) integra as intenções com dados contextuais, raciocina sobre a sequência de ações necessária e delega ao Estrato Físico. O Estrato Físico (Robótica Acessível) executa as ações no mundo físico e reporta o estado de execução ao Orquestrador. O modelo é proposto como guia para pesquisa futura e para o desenvolvimento de frameworks de governança, não como arquitetura técnica implementada.

Tabela 3. O EAP: estratos, funções e exemplos de aplicação.

Estrato	Tecnologia	Função no Sistema	Exemplo: Cenário de Hidratação
Cognitivo	BCI (EEG / fNIRS)	Captura de intenção implícita; converte padrões neurais em representações estruturadas sem verbalização	Fadiga e desejo de hidratação detectados; BCI codifica {intenção: "água", confiança: 0.87}
Orquestrador	Assistente Autônomo (LLM + agentes)	Raciocínio, planejamento e coordenação do Estrato Físico via APIs de comandos estruturados	Verifica inventário, planeja rota e emite {ação: "buscar_água", copo: "200ml"}
Físico	Robótica Acessível	Execução autônoma no ambiente físico; reporta estado de execução ao Orquestrador	Robô navega até a geladeira, pega copo, enche com água filtrada e entrega em 45s

5.2 Cenários de Aplicação do EAP

Na saúde domiciliar, o EAP possibilita monitoramento contínuo de pacientes com doenças crônicas, com intervenção proativa do Estrato Físico quando padrões de deterioração são detectados pelo Estrato Cognitivo antes mesmo de o paciente verbalizar desconforto. Esse cenário é especialmente relevante para pessoas com doenças neurodegenerativas como Alzheimer, onde a comunicação explícita de necessidades pode estar comprometida.

Na educação adaptativa, o EAP possibilita ambientes de aprendizado que se adaptam em tempo real ao estado cognitivo do estudante, reduzindo o ritmo quando o Estrato Cognitivo detecta padrões neurais de fadiga ou incompreensão, e aumentando a complexidade quando detecta engajamento sólido.

No trabalho remoto, o EAP permite gestão proativa do ambiente: iluminação, temperatura e ruído são ajustados pelo Estrato Físico com base em padrões neurais de concentração, enquanto o Estrato

Orquestrador gerencia notificações de acordo com o estado cognitivo detectado.

Na acessibilidade para pessoas com deficiências motoras severas, como ELA ou tetraplegia, o EAP representa potencial transformador imediato e eticamente mais consensual. O caso de Noland Arbaugh, primeiro usuário do chip Neuralink N1 em 2024, demonstra que esse futuro já é presente para aplicações médicas de alta necessidade, e que a integração BCI-IA-robótica pode restaurar graus significativos de autonomia funcional que nenhuma das três vertentes isoladas pode proporcionar.

5.3 Pontos de Falha Críticos na Integração

O modelo EAP ilustra por que os desafios éticos se amplificam na integração de forma não linear e sistêmica. A opacidade algorítmica dos Assistentes Autônomos torna-se qualitativamente mais grave quando o input é uma intenção capturada neuralmente: a própria vida mental do usuário torna-se objeto de otimização. A substituição da empatia no cuidado aprofunda-se quando as necessidades são determinadas pelo Estrato Cognitivo sem controle consciente do usuário.

Três pontos de falha críticos emergem da integração: (1) o problema de integridade da intenção, a possibilidade de que sinais neurais sejam mal interpretados, levando o Estrato Orquestrador a executar ações que não refletem a intenção real; (2) o problema de responsabilidade distribuída, a dificuldade de atribuir responsabilidade por danos que emergem da interação entre os três estratos sem que nenhum ator isolado seja o causador direto; e (3) o problema do ponto único de falha, a vulnerabilidade sistêmica quando o Estrato Cognitivo está comprometido por falha técnica ou ataque cibernético, podendo propagar ações perigosas para os demais estratos.

6. IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICA E REGULAÇÃO

6.1 Framework Regulatório Comparado: AI Act, LGPD e GDPR

O ritmo de desenvolvimento regulatório está significativamente defasado em relação ao tecnológico. O AI Act europeu, publicado em 2024 como o primeiro framework regulatório abrangente para sistemas de IA, fornece uma estrutura parcialmente adequada para sistemas de alto risco, mas não endereça especificamente os agentes autônomos na categoria de interfaces invisíveis de baixo risco percebido, que são precisamente os sistemas do Estrato Orquestrador do EAP.

A LGPD brasileira (Lei nº 13.709/2018) e o GDPR europeu estabelecem proteções robustas para dados pessoais em geral, com princípios de finalidade, adequação e necessidade diretamente aplicáveis aos dados comportamentais do Estrato Orquestrador. No entanto, nem a LGPD nem o GDPR possuem disposições específicas para dados neurais: não descrevem apenas o que o usuário fez, mas o que estava prestes a fazer antes de qualquer expressão comportamental.

6.2 Prioridades Regulatórias por Estrato do EAP

Para o Estrato Cognitivo (BCIs), a prioridade é o estabelecimento de categoria especial de proteção para dados neurais equivalente, no mínimo, à proteção conferida a dados biométricos sensíveis. Iniciativas legislativas em tramitação no Parlamento Europeu sobre neurotecnologias (2023) e os primeiros frameworks estaduais de neurodireitos nos Estados Unidos, no Colorado em 2021 e em Minnesota em 2024, representam passos iniciais. No Brasil, a ausência de qualquer dispositivo legal específico para dados neurais é lacuna urgente dado o ritmo de comercialização de BCIs de consumo, e a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) encontra-se em posição estratégica para liderar essa regulamentação no âmbito do aperfeiçoamento da LGPD.

Para o Estrato Orquestrador (Assistentes Autônomos), a prioridade é o estabelecimento de regras claras de explicabilidade e responsabilização para decisões delegadas. Os usuários devem ter o direito de saber, em linguagem compreensível, quais critérios o agente usa para tomar decisões em seu nome. A proibição explícita de dark patterns em agentes autônomos, a exemplo do que o Digital Services Act europeu faz para plataformas de conteúdo, é necessidade regulatória que não pode aguardar o amadurecimento tecnológico completo do campo.

Para o Estrato Físico (Robótica Acessível), as prioridades incluem a proibição de robôs como substituto exclusivo de cuidadores humanos em contextos de cuidado de populações vulneráveis, a obrigatoriedade de indicadores de qualidade de vida social para usuários de robótica de cuidado e a regulamentação da responsabilidade civil em casos de danos por robôs de serviço. A norma ISO 13482 para robôs de assistência pessoal fornece uma base técnica de segurança física, mas não endereça os riscos sociais e psicológicos documentados por Sparrow (2002) e Bartneck et al. (2020).

6.3 Linha do Tempo e Janela Regulatória

A análise dos estudos incluídos permite projetar uma linha do tempo para a maturação das três vertentes do EAP, sintetizada na Tabela 4, e estimar a janela disponível para o desenvolvimento de frameworks regulatórios adequados antes da adoção em massa.

Tabela 4. Linha do tempo de maturação tecnológica e lacunas regulatórias.

Vertente	Estado 2024	Projeção 2027-2030	Adequação Regulatória Atual
Assist. Autônomos	Copilot, GPT Actions com agenciamento limitado	Gestão autônoma de finanças, saúde e agenda antes de 2030	Parcial: AI Act cobre alto risco; lacuna para baixo risco percebido (categoria do EAP)
Robótica Acessível	Serviço industrial/hospitalar; mercado doméstico emergente	Robôs domésticos acessíveis; adoção em massa em lares de idosos antes de 2027	Insuficiente: ISO 13482 cobre segurança física; lacuna ética e de responsabilidade civil
BCIs	Não invasivas comerciais (Emotiv, Muse); invasivas em ensaios clínicos (Neuralink)	BCIs de consumo para produtividade; integração com LLMs antes de 2030	Inexistente: nenhuma jurisdição possui framework específico para dados neurais de BCIs de consumo

7. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A presente pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados.

Em relação ao protocolo da RSL, a busca não foi pré-registrada no PROSPERO ou plataforma equivalente, o que limita a possibilidade de verificação independente do processo de seleção e pode ampliar o risco de viés de confirmação. Estudos futuros que expandam ou atualizem esta revisão devem adotar pré-registro sistemático.

Em relação à síntese, a abordagem qualitativa narrativa, embora adequada à heterogeneidade metodológica do corpus, tem menor rigor inferencial do que meta-análises quantitativas ou sínteses temáticas estruturadas (ex.: framework GRADE). A heterogeneidade dos 187 estudos incluídos, que combina experimentos controlados, estudos de caso, revisões e análises regulatórias, inviabiliza síntese quantitativa, e os resultados devem ser lidos como mapeamento do estado da arte e não como estimativa de efeito.

Em relação ao escopo da busca, o corte de idiomas em português, inglês e espanhol pode ter sub-representado perspectivas importantes da literatura em japonês, especialmente relevante para robótica de cuidado, e em alemão, relevante para regulação de IA e BCIs. O intervalo temporal de 2015-2024, embora justificado pela maturação do aprendizado profundo como paradigma dominante, exclui literatura técnica fundacional anterior que é incorporada ao referencial teórico fora do escopo formal da RSL.

Em relação ao modelo EAP, o Ecossistema de Assistência Pervasiva é proposto como framework conceitual e não foi validado empiricamente em protótipos funcionais. As afirmações sobre a amplificação sistêmica dos riscos éticos na integração das três vertentes são derivadas da análise da literatura e da lógica arquitetural do modelo, não de dados experimentais. A validação empírica do EAP é o principal desdobramento identificado para pesquisa futura.

8. CONCLUSÃO

Este artigo investigou a transição em curso para o paradigma das interfaces invisíveis, identificando as três vertentes tecnológicas que a viabilizarão, Assistentes Autônomos, Robótica Acessível e BCIs, e os dilemas éticos associados a cada uma. O modelo EAP proposto demonstra que a interface invisível não é uma tecnologia isolada, mas um sistema integrado de intenção (BCI), planejamento (IA) e ação (robótica) cujos riscos éticos se amplificam de forma não linear na integração, gerando problemas qualitativamente novos que não emergem da análise de nenhuma das vertentes em isolamento.

A análise dos 187 estudos incluídos na RSL confirma a hipótese central: o ritmo de desenvolvimento tecnológico está superando significativamente o desenvolvimento dos marcos éticos e regulatórios necessários. A tendência predominante na literatura revisada indica que as barreiras tecnológicas para as três vertentes serão superadas dentro de cinco a dez anos, enquanto as lacunas regulatórias identificadas, especialmente para BCIs de consumo, ainda não possuem resposta legislativa em nenhuma das principais jurisdições analisadas. No contexto brasileiro, a ANPD encontra-se em posição estratégica para liderar a construção de um framework nacional de neurodireitos que antecipe a chegada de BCIs de consumo ao mercado.

Os cenários de aplicação do EAP demonstram que as oportunidades são reais e transformadoras: na saúde domiciliar, na educação adaptativa, no trabalho remoto e, especialmente, na acessibilidade para pessoas com deficiências motoras severas, o EAP representa uma ruptura qualitativa que pode aumentar substancialmente a autonomia e a inclusão social de populações vulneráveis. Realizar essas oportunidades sem reproduzir e amplificar os danos da economia da atenção é o desafio central que se apresenta à sociedade.

Trabalhos futuros devem: (i) validar empiricamente o EAP em protótipos funcionais, medindo a latência e a fidelidade da cadeia intenção-planejamento-execução; (ii) desenvolver frameworks de neurodireitos específicos para BCIs de consumo, mais restritivos que os frameworks de dados biométricos existentes; (iii) investigar o impacto psicológico de longo prazo da deferência algorítmica em usuários de Assistentes Autônomos, especialmente em populações vulneráveis; e (iv) estudar as condições sob as quais a

Robótica Acessível complementa, em vez de substituir, o cuidado humano, estabelecendo critérios mensuráveis para essa distinção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário FECAP pelo apoio institucional à pesquisa. Em conformidade com as políticas do CNPq relativas à transparência no uso de ferramentas digitais em produções científicas, declara-se que a revisão textual e a estruturação de partes deste artigo contaram com o auxílio de ferramenta de Inteligência Artificial generativa.

REFERÊNCIAS

ABOWD, G. D.; MYNATT, E. D. Charting Past, Present, and Future Research in Ubiquitous Computing. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, v. 7, n. 1, p. 29-58, 2000.

BARTNECK, C. et al. Human-Robot Interaction: An Introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2020.

CANDRIAN, C. Rise of the Machines: Delegating Decisions to Autonomous AI. Computers in Human Behavior, v. 134, p. 107308, 2022.

DAVENPORT, T. H.; BECK, J. C. The Attention Economy: Understanding the New Currency of Business. Boston: Harvard Business School Press, 2001.

FOGG, B. J. Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.

GORDON, E. C. Ethical Considerations for the Use of Brain-Computer Interfaces in Non-Medical Settings. Nature Medicine, v. 29, p. 1372-1380, 2023.

HAIDT, J. The Anxious Generation: How the Great Rewiring of Childhood Is Causing an Epidemic of Mental Illness. New York: Penguin Press, 2024.

HARRIS, T. How Technology Hijacks People's Minds. Medium / Center for Humane Technology, 2017.

HEITMAYER, M. The Second Wave of Attention Economics: Institutional Foundations and Accumulation. International Journal of Communication, v. 16, p. 2044-2063, 2022.

O'NEIL, C. Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. New York: Crown Publishers, 2016.

ORBEN, A.; PRZYBYLSKI, A. K. The Association Between Adolescent Well-Being and Digital Technology Use. Nature Human Behaviour, v. 3, p. 173-182, 2019.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

PANDEY, A. K.; GELIN, R. A Mass-Produced Sociable Humanoid Robot: Pepper. IEEE Robotics & Automation Magazine, v. 25, n. 3, p. 40-48, 2018.

PARK, J. S. et al. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2023.

RUSSELL, S. Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control. New York: Viking, 2019.

SHARKEY, A.; SHARKEY, N. Granny and the Robots: Ethical Issues in Robot Care for the Elderly. Ethics and Information Technology, v. 14, n. 1, p. 27-40, 2012.

SINGHAL, K. et al. Large Language Models Encode Clinical Knowledge. Nature, v. 620, p. 172-180, 2023.

SPARROW, R. The March of the Robot Dogs. Ethics and Information Technology, v. 4, n. 4, p. 305-318, 2002.

STONE, P. et al. Artificial Intelligence and Life in 2030: The One Hundred Year Study on Artificial Intelligence. Stanford: Stanford University, 2022.

TERRUCHA, I. Humans Program Artificial Delegates to Accurately Solve Complex Tasks. Nature Human Behaviour, v. 6, p. 1284-1293, 2022.

WADA, K.; SHIBATA, T. Living with Seal Robots: Its Sociopsychological and Physiological Influences on the Elderly at a Care House. IEEE Transactions on Robotics, v. 23, n. 5, p. 972-980, 2007.

WEISER, M. The Computer for the 21st Century. Scientific American, v. 265, n. 3, p. 94-104, 1991.

WEISER, M.; BROWN, J. S. The Coming Age of Calm Technology. In: DENNING, P. J.; METCALFE, R. M. (ed.). Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing. New York: Springer, 1996. p. 75-85.

YUSTE, R. et al. Four Ethical Priorities for Neurotechnologies and AI. Nature, v. 551, p. 159-163, 2017.

ZUBOFF, S. The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. New York: PublicAffairs, 2019.