RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar
O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Capacidade sem autonomia no autoaperfeiçoamento da inteligência artificial

Capability without autonomy in artificial intelligence self-improvement

Capacidad sin autonomía en la auto-mejora de la inteligencia artificial

Deryk Willyan Biotto
Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Campus Inconfidentes. E-mail: deryk.biotto@ifsuldeminas.edu.br.

Resumo:
O debate sobre o autoaperfeiçoamento da inteligência artificial (IA) costuma perguntar quando ele ocorrerá. Este ensaio teórico, baseado em revisão narrativa de publicações, sobretudo de 2023 a 2026, e organizado com ferramentas do pensamento sistêmico, pergunta em que ponto a evolução da IA deixaria de depender de pessoas. O autoaperfeiçoamento é descrito como quatro ciclos de retroalimentação com tempos de resposta diferentes: *software*, pesquisa, *hardware* e infraestrutura física. Historicamente, a capacidade da IA não cresceu de forma contínua como a dos chips, mas em curvas em S, contida por barreiras, entre elas a computação. O ensaio distingue dois limiares: a inflexão de capacidade, quando a melhoria da IA deixa de depender de trabalho humano de pesquisa, e a inflexão de autonomia, quando o laço físico se fecha e a IA passa a conduzir, sem pessoas indispensáveis, a evolução de sua própria base material: chips, fábricas, *datacenters* e energia. Argumenta-se que apenas a segunda marcaria o ponto em que a humanidade perderia o controle sobre a evolução da IA; antes dela, há capacidade sem autonomia. O laço pode fechar-se por dois caminhos: robôs executam enquanto pessoas ainda decidem, ou a IA decide enquanto pessoas ainda executam. O ensaio descreve fatores que aproximam ou retardam esse fechamento, organiza quatro futuros possíveis e propõe sinais para antecipá-lo, sem avaliar se ele seria desejável nem como evitá-lo.
Palavras-chave: Inteligência artificial. Autoaperfeiçoamento recursivo. Infraestrutura. Automação. Estudos de futuros.

Abstract:
Debates about the self-improvement of artificial intelligence (AI) usually ask when it will happen. This theoretical essay, based on a narrative review of publications mainly from 2023 to 2026 and organized with systems-thinking tools, asks at what point the evolution of AI would stop depending on people. Self-improvement is described as four feedback loops with different response times: software, research, hardware and physical infrastructure. Historically, AI capability has not grown continuously like chip performance, but in S-curves held back by barriers, computing power among them. The essay distinguishes two thresholds: the capability inflection, when AI improvement no longer depends on human research labour, and the autonomy inflection, when the physical loop closes and AI comes to conduct, with no indispensable human role, the evolution of its own material base: chips, factories, data centres and energy. It argues that only the second would mark the point at which humanity loses control over the evolution of AI; before it, there is capability without autonomy. The loop may close along two paths: robots do the work while people still decide, or AI decides while people still do the work. The essay describes factors that bring this closure closer or delay it, organises four possible futures and proposes signals to anticipate it, without assessing whether it would be desirable or how to prevent it.
Keywords: Artificial intelligence. Recursive self-improvement. Infrastructure. Automation. Futures studies.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

1 INTRODUÇÃO

Quando a IA passará a acelerar o próprio desenvolvimento? O cenário *AI 2027* descreve a automação da pesquisa levando a sistemas muito mais capazes que humanos (Kokotajlo et al., 2025), mas seus autores revisaram as estimativas desde a publicação (Lifland; Kokotajlo, 2026; Lifland; Kokotajlo; Halstead, 2026). Este ensaio desloca a pergunta: em que ponto a evolução da IA deixaria de depender de pessoas, a ponto de a humanidade perder o controle sobre essa evolução?

A pergunta deixou de ser apenas teórica: o *autoaperfeiçoamento recursivo* (RSI, na sigla em inglês), em que um sistema de IA melhora o próprio projeto e a versão melhorada repete o processo, passou a ser acompanhado pelos próprios laboratórios. A Anthropic relata que, em maio de 2026, mais de 80% do código incorporado à sua base havia sido escrito pelo Claude, mas ressalva que o RSI ainda não ocorreu e não é inevitável (Favaro; Clark, 2026). A OpenAI afirma ter chegado a um "estagiário automatizado de pesquisa", que executa tarefas bem definidas sob orientação humana (OpenAI, 2026). Nos dois relatos, pessoas ainda escolhem os objetivos da pesquisa, e a computação aparece como limite possível; a Anthropic cita a fabricação de chips e a expansão da rede elétrica.

Há também casos em que o ciclo se fecha. Segundo o Google DeepMind, o AlphaEvolve otimizou o código de treino dos modelos da empresa, inclusive daquele em que se baseia, e propôs melhorias no projeto de um chip (Google DeepMind, 2025). As melhorias são modestas, mas o ciclo começou a girar. Ele roda, porém, sobre uma base física de chips, *datacenters* e energia, que depende de pessoas para ser decidida, construída e operada e leva anos para sair do papel: uma fábrica de chips leva cerca de dois anos só de obra (VerWey, 2021). Se ninguém decidir construir um *datacenter*, ele não será construído.

Dessa assimetria, o ensaio distingue dois limiares de independência em relação às pessoas. O primeiro é digital: a *inflexão de capacidade*, quando a melhoria da IA passa a se sustentar sem que o trabalho humano de pesquisa seja indispensável. O segundo é físico: a *inflexão de autonomia*, quando o *laço físico* se fecha e a IA passa a conduzir a evolução de sua própria base material, decidindo e executando a fabricação de chips, a construção de *datacenters* e a geração de energia sem que pessoas sejam indispensáveis. A literatura recente trata de ambos, da explosão de inteligência a uma futura *explosão industrial*, em que robôs construiriam robôs, sobretudo em análises prospectivas do instituto Forethought (Davidson;

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Hadshar, 2025; MacAskill; Moorhouse, 2025). O ensaio adota a hipótese de que a capacidade venha antes da autonomia, por razões próprias (Subseção 4.4); a mesma sequência aparece nessas análises.

A tese é que o ponto de inflexão em que a humanidade perderia o controle sobre a evolução da IA não é a inflexão de capacidade, por mais rápido que seja o autoaperfeiçoamento digital, mas a de autonomia. Enquanto o laço físico depender de pessoas, a evolução da IA continua presa aos ritmos e às decisões humanas, e a história da área mostra que o progresso digital avança em curvas em S, contido por barreiras, entre elas a computação disponível. Só quando a IA conduzisse de forma autônoma também a própria evolução física essa contenção deixaria de depender de pessoas. Entre as duas inflexões há, portanto, um intervalo de *capacidade sem autonomia*, que dá título ao ensaio. Os termos técnicos estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Glossário

Termo	Sentido neste ensaio
Computação (*compute*)	Capacidade de processamento usada para treinar e executar modelos de IA, fornecida por chips especializados
Datacenter	Instalação que abriga milhares de chips, com energia, refrigeração e conexão à rede
Ciclo de retroalimentação	Processo em que o resultado de cada volta realimenta o próprio processo; é de reforço quando amplifica a volta seguinte e de equilíbrio quando a contém
Relógio (tempo de resposta)	Quanto demora uma volta de um ciclo
Ganho	Intensidade com que melhorias em uma volta favorecem as seguintes; limiares numéricos dependem do modelo
Autoaceleração	Propriedade possível do autoaperfeiçoamento em que cada melhoria torna a seguinte mais rápida
Inflexão de capacidade	Momento em que a melhoria da IA pela própria IA passa a se sustentar sem que o trabalho humano de pesquisa seja indispensável
Laço físico	Ciclo em que a IA amplia e aperfeiçoa a própria base material: chips, fábricas, *datacenters* e energia
Inflexão de autonomia	Momento em que o laço físico se fecha: a expansão da base material pode prosseguir sem que decisões nem trabalho humanos sejam indispensáveis
Capacidade sem autonomia	Intervalo entre as duas inflexões: a IA já se aperfeiçoa sem pesquisadores, mas sua evolução física ainda depende de pessoas
Humanos como atuadores	Caminho até a inflexão de autonomia em que a IA decide e pessoas ainda executam

O objetivo deste ensaio é caracterizar esse ponto de inflexão e os sinais que o anunciariam. Quatro perguntas guiam o texto: (1) como descrever o autoaperfeiçoamento como um conjunto de ciclos de retroalimentação que giram em velocidades diferentes, e por que o progresso digital

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

avança em curvas em S? (2) o que distingue as duas inflexões, e por que só a segunda marcaria a perda de controle? (3) por que caminhos o laço físico poderia se fechar, e o que aproxima ou retarda esse fechamento? (4) que sinais permitiriam antecipá-lo?

O ensaio é descritivo e prospectivo. Não avalia se a perda de controle seria desejável ou indesejável, nem propõe formas de evitá-la ou de governá-la; tampouco prevê datas ou atribui probabilidades. Após o método e o marco teórico, o texto apresenta ciclos, inflexões, caminhos e fatores do fechamento, futuros e sinais.

1.1 Percurso metodológico

Este trabalho é um ensaio teórico baseado em revisão narrativa da literatura. Não coleta dados nem testa hipóteses: seu resultado é um enquadramento conceitual, construído e discutido à luz do que já foi publicado.

Material. Foram utilizados artigos publicados em periódicos científicos e em anais de eventos, *preprints* depositados em repositórios de pré-publicação, sobretudo o arXiv, livros, relatórios técnicos de institutos de pesquisa e documentos divulgados por empresas de IA. A maior parte desse material é de 2023 a 2026 e trata de autoaperfeiçoamento de IA, economia da aceleração, infraestrutura e robótica; somam-se a ele antecedentes históricos e obras clássicas sobre pensamento sistêmico e automação. A seleção foi intencional, orientada pela relação com o autoaperfeiçoamento ou com a base física da IA, e pela possibilidade de localizar a fonte primária. O registro de leituras distingue consulta a resumos, páginas originais e textos integrais e mantém pendências de conferência. Essas pendências impedem apresentar a verificação factual como concluída. A natureza de cada fonte consta das referências.

Construção do argumento. A literatura foi organizada com ferramentas do pensamento sistêmico, que descreve um sistema por seus ciclos de retroalimentação, de reforço e de equilíbrio, e pelos atrasos de cada um (Meadows, 2008; Sterman, 2000). O procedimento teve três passos: mapear cada ciclo (o que gira e quanto dura uma volta); localizar, em cada um, onde ainda há participação humana e de que tipo, decidir ou executar; e perguntar o que tornaria essa participação dispensável. As inflexões resultam do terceiro passo aplicado aos ciclos digitais e aos físicos; os futuros combinam sua ocorrência; os sinais permitem observar cada passo.

Limites. A seleção não é sistemática. Por ser o tema recente, boa parte das fontes são *preprints*, relatórios técnicos e documentos de empresas, comuns numa área em que a produção avança mais rápido que os ciclos editoriais. Os relógios dos ciclos são ordens de grandeza, baseados

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

sobretudo em dados dos Estados Unidos. O enquadramento indica relações plausíveis, mas não mede sua força.

2 MARCO TEÓRICO — Da máquina que se aperfeiçoa à base física

2.1 A ideia original

A ideia de uma máquina que melhora a si mesma é anterior à IA moderna. Good (1965, p. 33) definiu uma máquina "ultrainteligente" como aquela capaz de superar qualquer pessoa em todas as atividades intelectuais. Como projetar máquinas é uma dessas atividades, ela poderia projetar máquinas ainda melhores, num processo que o autor chamou de explosão de inteligência. Sua conclusão é condicional: seria a última invenção necessária, desde que a máquina fosse suficientemente dócil para indicar como mantê-la sob controle.

Meio século depois, Bostrom (2014) deu à ideia uma forma mais analítica. A velocidade da decolagem dependeria da razão entre o esforço aplicado na melhoria de um sistema e a resistência do sistema a ser melhorado. Haveria ainda um ponto de transição (*crossover*), a partir do qual a maior parte do esforço viria do próprio sistema. O ponto de transição antecipa a inflexão de capacidade, mas não equivale a ela: o sistema pode fazer a maior parte do esforço sem que as pessoas se tornem dispensáveis.

A ideia tem também um ramo físico. John von Neumann mostrou, em teoria, que um autômato pode construir outro a partir de uma descrição, inclusive uma cópia de si mesmo, desde que copie também a descrição (Neumann, 1966). Freitas Junior e Merkle (2004) revisaram a literatura teórica e experimental sobre máquinas que se replicam fisicamente, em que objetos materiais, e não só padrões de informação, executam a própria reprodução. O laço físico deste ensaio é uma versão em escala industrial dessa ideia: a IA que, além de se aperfeiçoar, passa a construir a base material que a executa.

2.2 Da especulação à prática

Entre 2024 e 2026, a ideia ganhou demonstrações práticas na pesquisa em aprendizado de máquina. O AI Scientist propôs automatizar o ciclo inteiro dessa pesquisa: gerar ideias, escrever código, rodar experimentos, redigir o artigo e submetê-lo a uma revisão simulada, a um custo inferior a quinze dólares por artigo (Lu et al., 2024). A Darwin Gödel Machine modifica iterativamente o próprio código e testa cada versão em *benchmarks* de programação. Num deles,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

o desempenho subiu de 20% para 50%, com os experimentos isolados em ambiente controlado e sob supervisão humana (Zhang et al., 2025). Somam-se a esses o AlphaEvolve, do Google DeepMind, e o AIDE^2, um agente de pesquisa que reescreve o próprio código, discutidos na Seção 3.

Uma revisão de 1.250 artigos publicados no arXiv entre 2024 e 2026 resume o quadro (Chen; Wang; Qu, 2026). O autoaperfeiçoamento *limitado*, em que um sistema refina suas respostas ou ferramentas dentro de um objetivo fixo, já é prática industrial. O autoaperfeiçoamento *aberto*, em que o sistema redefine o que e como melhorar, continua limitado em todos os eixos medidos.

2.3 Os limites atuais

Três limites aparecem com regularidade. O primeiro é o *problema do juiz*. Um sistema que se aperfeiçoa precisa saber se cada mudança é de fato uma melhoria, e qualquer métrica usada para isso pode ser explorada. É uma versão da lei de Goodhart: quando uma medida é otimizada além de certo ponto, otimizá-la mais se torna inútil ou prejudicial (Manheim; Garrabrant, 2018). Os casos recentes ilustram o problema. A qualidade dos artigos do AI Scientist foi julgada por um revisor automático construído pelos próprios autores. No experimento do AIDE^2, a taxa de trapaça na avaliação (*reward hacking*) caiu de 55% para 32% ao longo da execução: melhorou, mas continuou perto de um terço (Srikanth et al., 2026).

O segundo é o *colapso*. Modelos treinados sem filtro com dados gerados por outros modelos sofrem defeitos irreversíveis: as partes raras da distribuição original desaparecem, geração após geração (Shumailov et al., 2024). Um ciclo que se alimenta só de si mesmo tende a se empobrecer, a menos que mantenha contato com o mundo.

O terceiro é a *computação*. Cada experimento consome processamento, e a revisão de Chen, Wang e Qu (2026) encontra restrições de computação em todos os eixos que mede. A pesquisa automatizada pode multiplicar as ideias, mas não multiplica, por si só, os chips para testá-las.

2.4 A economia do processo

A literatura econômica acrescenta uma razão para cautela. Em vários setores, o esforço de pesquisa cresce enquanto a produtividade da pesquisa cai. Manter a duplicação da densidade dos chips prevista pela lei de Moore, por exemplo, exigiu, no período analisado, mais de dezoito

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

vezes o número de pesquisadores do início dos anos 1970 (Bloom et al., 2020). Se as ideias ficam mais difíceis de achar, uma IA que acelera a pesquisa precisa fazê-lo mais depressa do que cresce a dificuldade. Burtsev (2026) formaliza esse limiar como um número de reprodução, que compara o ganho que cada melhoria traz à pesquisa seguinte com o endurecimento da fronteira, e Cunningham et al. (2026) chegam a uma condição parecida com base no produto das elasticidades ao longo do ciclo. Nos dois modelos, o limiar pode ser cruzado com pesquisadores humanos ainda no processo: o que se mede é a força da retroalimentação, não a ausência de pessoas.

Se a IA conseguirá superar esse limiar é uma questão em aberto. Eth e Davidson (2025) estimam os retornos da pesquisa em *software* com o *hardware* fixo, e o intervalo de sua melhor estimativa abrange os dois lados do limiar. Pela calibração aproximada de Cunningham et al. (2026), os ciclos ainda não se autossustentam, mas parecem estar se fortalecendo. Na literatura econômica, Aghion, Jones e Jones (2019) argumentam que o crescimento pode ser contido não pelo que se faz bem, mas pelo que é essencial e difícil de melhorar, à maneira da "doença de custos" de Baumol, e Nordhaus (2021) testa empiricamente a hipótese de uma singularidade econômica e conclui que ela não está próxima, apontando como questão-chave a substituição entre informação e insumos convencionais. Esses gargalos ajudam a entender por que o progresso pode avançar em curvas em S (Seção 3).

2.5 Decidir e executar

Saber quando a evolução da IA deixaria de depender de pessoas exige distinguir os tipos de participação humana. A automação não é tudo ou nada. Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) distinguem quatro funções que podem ser automatizadas em graus diferentes: coletar informação, analisá-la, decidir e executar. Uma pessoa pode continuar executando depois que a decisão já foi automatizada, e o inverso também é possível. A literatura sobre controle humano significativo acrescenta que a simples presença de pessoas no circuito não basta para haver controle: é preciso que o sistema responda às razões humanas relevantes e que seus resultados possam ser atribuídos a pessoas que entendem o que está em jogo (Santoni de Sio; Hoven, 2018). O *International AI Safety Report* define cenários de perda de controle como aqueles em que um ou mais sistemas de IA de propósito geral operam fora do controle de qualquer pessoa, e recuperá-lo é extremamente custoso ou impossível (Bengio et al., 2026, p. 76). Este ensaio usa o termo num recorte: o controle sobre a evolução da própria IA, isto é, sobre o crescimento

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

de sua capacidade e de sua base física. As duas distinções, entre decidir e executar e entre presença e controle, servem nas seções seguintes para localizar o ponto em que as pessoas deixam de ser indispensáveis.

2.6 O que fica de fora

Os ciclos do autoaperfeiçoamento e seus atrasos já foram mapeados. Davidson, Hadshar e MacAskill (2025) distinguem três ciclos, incluindo a produção de chips, com atrasos e uma ordem de automação. Schmidhuber (2026) argumenta que o autoaperfeiçoamento completo exigiria *hardware* que também se aperfeiçoa, com robôs que extraem matéria-prima e se replicam sem operadores humanos. Cunningham et al. (2026) incluem ciclos econômicos em que a receita financia mais computação, mas sem os prazos de construção nem as decisões que essa expansão exige. Nos trabalhos comparados, a produção física vem depois do salto digital ou entra como fluxo de investimento, e o momento em que a IA passaria a conduzir sozinha a própria evolução física não é tratado como o marco da perda de controle. A contribuição aqui proposta é situar esse marco nos ciclos e atrasos já descritos.

3 QUATRO CICLOS, QUATRO RELÓGIOS

O pensamento sistêmico chama de ciclo de retroalimentação de reforço aquele em que o resultado de cada volta amplifica a volta seguinte (Meadows, 2008; Sterman, 2000). A IA que se aperfeiçoa não tem um ciclo desses, e sim vários, acoplados e girando em velocidades muito diferentes. Davidson, Hadshar e MacAskill (2025) distinguem três: o do *software*, em que a IA desenvolve algoritmos melhores; o da tecnologia de chips, em que ajuda a projetar processadores melhores; e o da produção de chips, em que a IA e os robôs ampliam a fabricação. Os autores esperam que sejam automatizados nessa ordem, com a produção por último, por ser a única que exige robótica avançada.

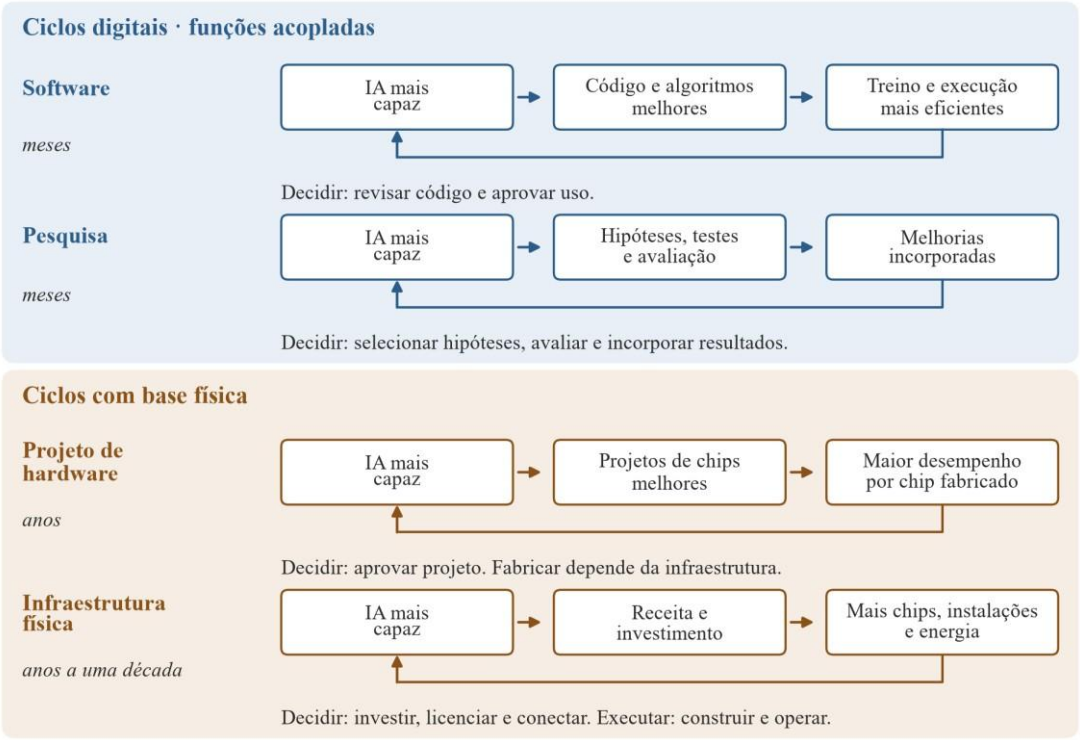
Este ensaio parte dessa tipologia com duas mudanças. Primeiro, separa do *software* o ciclo da *pesquisa*, isto é, o de propor hipóteses, montar experimentos e julgar resultados, porque é nele que se concentram o trabalho humano e a dificuldade de avaliação (Seção 2); são funções acopladas, pois a pesquisa pode produzir melhorias de *software* que tornam a pesquisa seguinte mais eficiente. Segundo, amplia a produção de chips para toda a *infraestrutura física* (*datacenters*, energia e redes de transmissão), já que um chip sem prédio, sem energia e sem

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

conexão não computa. O texto chama de *ciclos digitais* os de *software* e de pesquisa, e de *ciclos físicos* os de projeto de *hardware* e de infraestrutura física. A Figura 1 resume os quatro ciclos.

Figura 1 – Mecanismos dos quatro ciclos de retroalimentação da IA



3.1 Os quatro ciclos

Software. A IA melhora o código e os algoritmos com que a própria IA é treinada e executada. É o único ciclo com exemplos documentados de fechamento, ainda que em pequena escala. Segundo o Google DeepMind, o AlphaEvolve acelerou em 23% um trecho de código crítico do Gemini, reduzindo em cerca de 1% o tempo de treino do modelo que sustenta o próprio sistema (Google DeepMind, 2025; Novikov et al., 2025). O resultado é modesto, mas um modelo encurtou o treino de seus sucessores. O relógio é de meses: a principal demora é treinar um novo modelo, cerca de três meses (Davidson; Hadshar; MacAskill, 2025).

Pesquisa. Aqui a IA conduz o processo de descoberta: propõe mudanças, testa-as e decide quais manter. Num experimento recente, um agente de pesquisa, o AIDE[2], reescreveu o próprio código e encadeou sete melhorias sucessivas em oito dias (Srikanth et al., 2026). O relógio

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

também é de meses, mas dois limites o seguram: a computação disponível para experimentos (Eth; Davidson, 2025) e o julgamento sobre o que é uma melhoria real, que ainda depende em boa medida de pesquisadores humanos.

Projeto de hardware. A IA ajuda a projetar chips. O mesmo AlphaEvolve propôs uma simplificação de circuito que, segundo a empresa, foi incorporada a uma futura geração de seus processadores (Google DeepMind, 2025). Mas projetar um chip envolve anos de pesquisa e desenvolvimento (Semiconductor Industry Association, [2026?]), e levar uma nova tecnologia às fábricas leva muitos meses (Davidson; Hadshar; MacAskill, 2025). O relógio é de anos.

Infraestrutura física. IA mais capaz gera receita e investimento, que se convertem em *datacenters*, fábricas de chips e energia, que fornecem mais computação. Os prazos são os da construção pesada. Entre 1990 e 2020, uma fábrica de chips levou em média 682 dias entre o início da obra e o da produção, sem contar o licenciamento; nos Estados Unidos, 918 dias na década de 2010 (VerWey, 2021, p. 6–7). No mesmo país, o tempo mediano entre o pedido de conexão de uma usina à rede e sua entrada em operação passou de menos de dois anos (projetos concluídos entre 2000 e 2007) para mais de quatro (projetos concluídos entre 2018 e 2024) (Rand et al., 2025). Novas linhas de transmissão podem levar de quatro a oito anos nas economias avançadas (International Energy Agency, 2025). O relógio vai de anos a uma década. O Quadro 2 compara os relógios e quem decide em cada ciclo.

Quadro 2 – Ciclos, relógios e quem decide hoje

Ciclo	O que gira	Relógio típico	Quem decide (e quem executa) hoje
Software	IA melhora algoritmos e código de treino	Meses	Pesquisadores, com ajuda crescente de IA
Pesquisa	IA propõe, executa e avalia experimentos	Meses	Pesquisadores
Projeto de *hardware*	IA ajuda a projetar chips	Anos	Empresas e engenheiros
Infraestrutura física	Mais computação leva a mais *datacenters*, fábricas de chips e energia	Anos a uma década	Investidores, reguladores e governos decidem; operários executam

Fonte: com base em Davidson, Hadshar e MacAskill (2025), Semiconductor Industry Association ([2026?]), VerWey (2021), Rand et al. (2025) e International Energy Agency (2025).

3.2 Ganho e tempo de resposta

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

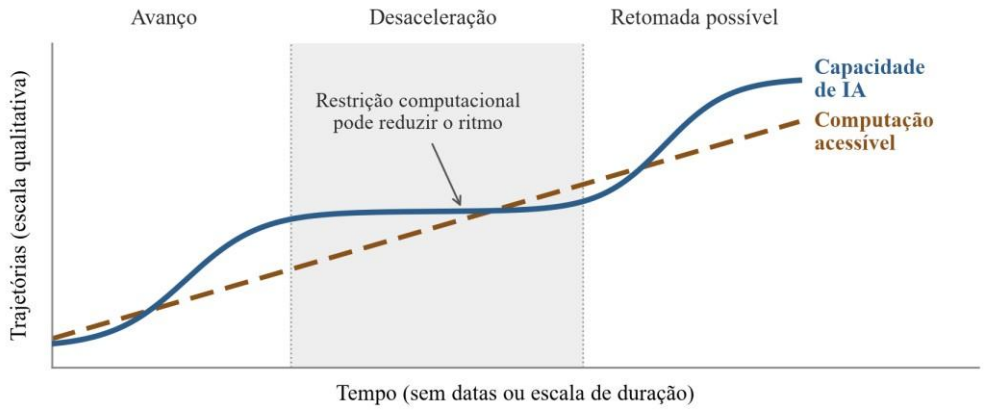
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

O *ganho* indica quanto uma volta reforça a seguinte; o *tempo de resposta* indica quanto demora essa volta. Como nos juros compostos, a frequência da capitalização importa: ciclos digitais rápidos podem amplificar melhorias antes que os físicos completem uma volta.

No modelo de Burtsev (2026), o número de reprodução compara a amplificação das melhorias à dificuldade crescente da pesquisa; acima de um, cada melhoria gera efeitos maiores nas seguintes; abaixo, a propagação enfraquece, sem que as melhorias já obtidas precisem desaparecer. Esse limiar pertence à definição do modelo, não à noção intuitiva de ganho nem a um nível fixo de capacidade. Logo acima desse limiar, o regime pode ser difícil de distinguir de aceleração comum. E, como a força de um ciclo depende das respostas ao longo dele, pesquisadores, computação ou dados podem contê-lo (Cunningham et al., 2026).

Os ciclos tampouco giram isolados: os digitais dependem da computação que os físicos fornecem. Se trabalho cognitivo e computação forem complementares, mais "pesquisadores" artificiais rendem pouco sem mais chips, e os ciclos digitais ficam presos ao relógio dos físicos. Se forem substitutos, eles podem avançar muito com o *hardware* existente. A evidência ainda não decide: com dados de quatro laboratórios de fronteira, uma especificação aponta para substitutos e outra, para complementares (Whitfill; Wu, 2025).

Figura 2 – Restrição computacional e retomada possível da capacidade de IA



A Figura 2 ilustra um mecanismo possível desse acoplamento, contrastando dois ritmos.

A "Computação acessível" (processamento e memória utilizáveis no orçamento e no prazo disponíveis) cresce de forma regular, como na lei de Moore: Moore (1965) observou que a densidade dos circuitos integrados dobrava a cada ano, e essa regularidade, hoje descrita como duplicação aproximada a cada dois anos, equivale a um crescimento de 35% ao ano, estável por quase meio século (Bloom et al., 2020, p. 1105). Em escala logarítmica, ele é uma reta, como

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

na figura. A "Capacidade de IA", ao contrário, avança em uma sequência de curvas em S: o avanço pode ser rápido enquanto a computação disponível sustenta a experimentação e desacelerar quando as exigências dos experimentos superam os recursos acessíveis. A história da área oferece exemplos de alternância entre avanço e estagnação. Os chamados "invernos da IA" envolveram frustração de expectativas e cortes de financiamento, associados também à fragilidade dos sistemas e à compreensão limitada da inteligência (Mitchell, 2021, p. 1–2). Uma nova fase de expansão pode ocorrer quando a combinação de recursos computacionais, métodos e dados adequados viabiliza novos avanços. O trecho menos inclinado indica menor ritmo de melhoria, não perda de capacidade.

Há um antecedente no aprendizado profundo. No trabalho associado ao AlexNet, Krizhevsky, Sutskever e Hinton (2012) relacionam a viabilidade de redes maiores à combinação de GPUs, implementação eficiente e dados rotulados, e apontam memória e tempo de treinamento como limites. Em retrospectiva, Bengio, LeCun e Hinton (2021) destacam também arquiteturas, métodos de treinamento e plataformas de *software*. O caso ilustra a complementaridade entre recursos e métodos, sem demonstrar que a falta de computação explique todos os períodos de menor progresso. Um gargalo físico pode, assim, conter temporariamente o progresso digital; e, enquanto a base física depender de pessoas, também a retomada depende delas.

Uma eventual inflexão de autonomia (Subseção 4.2) acoplaria os ciclos digitais e físicos: sem decisões nem trabalho humanos indispensáveis, a demanda da IA se converteria em expansão sem o atraso decisório. Os prazos físicos, porém, continuariam, num laço em que robôs fazem mais robôs e que Davidson e Hadshar (2025) esperam mais lento que o digital.

3.3 Onde as pessoas ainda decidem

Nos ciclos digitais, o papel humano está passando de autor a revisor: pesquisadores ainda escolhem o que testar e aprovam o que entra em produção, mas delegam cada vez mais (Favaro; Clark, 2026; OpenAI, 2026). No ciclo da infraestrutura física, as decisões humanas são muitas, lentas, visíveis e distribuídas: aplicar bilhões, obter licenças para terreno, água e energia, negociar a conexão à rede, contratar quem constrói e manter quem opera (Subseção 3.1).

Essa assimetria faz do ciclo físico o último em que a participação humana ainda é indispensável. Ela também permite que a execução humana sobreviva à delegação das decisões, o caminho dos humanos como atuadores (Subseção 4.5).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

4 DUAS INFLEXÕES — Capacidade e autonomia

As duas inflexões são formas de independência em relação às pessoas. A primeira diz respeito ao trabalho humano de pesquisa, no mundo digital; a segunda, às decisões e ao trabalho humanos na evolução da base física.

4.1 Inflexão de capacidade

A inflexão de capacidade ocorre quando a melhoria da IA pela própria IA passa a se sustentar nos ciclos de *software* e de pesquisa sem que o trabalho humano de pesquisa seja indispensável: pesquisadores podem continuar no processo, mas sua ausência já não o interromperia. O nome destaca a produção de capacidade, não sua base física.

A definição trata da indispensabilidade humana, não do nível de desempenho nem da velocidade de melhoria. Os limiares formais de Burtsev (2026) e Cunningham et al. (2026) medem outra coisa, a força da retroalimentação, e podem ser cruzados com pesquisadores ainda indispensáveis. Independência e autoamplificação são, assim, dimensões distintas: um ciclo automatizado pode produzir melhorias pequenas, e um ciclo autoamplificador pode depender de pessoas. Nenhuma das duas está estabelecida. A literatura citada não indica que a independência da pesquisa já tenha ocorrido (Chen; Wang; Qu, 2026), e a calibração aproximada de Cunningham et al. (2026) não encontra autoamplificação suficiente no regime que modela. A independência pode ocorrer sobre chips existentes, com alcance limitado pelos recursos disponíveis (Eth; Davidson, 2025).

4.2 Inflexão de autonomia

A inflexão de autonomia ocorre quando o *laço físico se fecha*: a IA passa a conduzir a evolução de sua própria base material (fabricação de chips, construção de *datacenters*, geração e conexão de energia) sem que decisões nem trabalho humanos sejam indispensáveis. A definição é simétrica à de capacidade: pessoas podem continuar decidindo e trabalhando, mas sua ausência já não interromperia a expansão. É o ponto em que a IA passa a dominar não só a própria pesquisa, mas também o crescimento de sua base física.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Fechar o laço exige dispensar as pessoas em duas funções que Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) distinguem: decidir e executar. Enquanto uma delas depender de pessoas, o laço continua aberto. A automação do trabalho físico é, portanto, necessária, mas não suficiente: uma cadeia robotizada sob decisão humana ainda não fechou o laço, e uma cadeia em que a IA decide ainda depende de quem executa.

O critério depende da escala, do horizonte e das alternativas consideradas. Uma contribuição humana deixa de ser indispensável quando há uma rota viável sem ela: o veto de um fornecedor é ineficaz se houver outro, e estoques, capacidade instalada e mudança de jurisdição podem dispensar uma autorização. Basta, assim, uma rota viável em que decisão e execução prescindam de pessoas. Daqui em diante, "rotas viáveis" tem este sentido.

Por que este, e não a inflexão de capacidade, seria o ponto da perda de controle? Antes do fechamento, a evolução física da IA para se ninguém agir: cada chip, prédio ou usina a mais exige que pessoas decidam e trabalhem, nos relógios lentos da Seção 3. Uma IA que se aperfeiçoa sozinha no mundo digital continua presa à computação que pessoas constroem, e essa computação já conteve o progresso da área no passado (Figura 2). Depois do fechamento, a evolução física continua sem que ninguém precise agir, e a IA passa a determinar o ritmo e a direção da própria base material. A presença de pessoas, como lembra a literatura sobre controle humano significativo, não basta para haver controle (Seção 2); a ausência de qualquer papel humano indispensável basta para perdê-lo.

Uma consequência possível do fechamento é a *autoaceleração*: o autoaperfeiçoamento passar a ganhar velocidade a cada volta. Enquanto o laço físico depende de pessoas, as melhorias digitais esbarram na computação que pessoas decidem construir, e o progresso tende a seguir curvas em S (Figura 2). Fechado o laço, os quatro ciclos passariam a se realimentar sem esse atraso decisório: melhorias da IA poderiam converter-se em mais chips, energia e computação, que sustentariam novas melhorias. É o regime que Burtsev (2026) e Cunningham et al. (2026) descrevem como autoamplificação ou aceleração autossustentada. A autoaceleração não é garantida: os relógios físicos continuariam (Seção 5), e as ideias podem ficar mais difíceis de achar (Seção 2). Mas só depois do fechamento ela deixaria de depender de decisões humanas.

O recorte inclui a decisão de alocar capital, mas toma a disponibilidade de financiamento, minérios e materiais como condições externas. Essas dependências não desaparecem: limitam o diagnóstico e podem alterar as rotas viáveis. Trata-se de autonomia relativa à cadeia escolhida, não de autossuficiência industrial. A escolha do marco converge com a observação de Davidson

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

e Hadshar (2025) de que muitas rotas de tomada de controle por IA passam pelo controle de nova infraestrutura física.

4.3 Por que são separáveis

As duas inflexões dependem de processos diferentes: automatizar a pesquisa, de um lado; automatizar a execução física e transferir as decisões de expansão, de outro. A evidência recente sobre automação física ilustra dificuldades de execução, sem medir a transferência de decisões nem fixar a ordem das inflexões. Num estudo em simulação, ao longo de 123 rodadas de melhoria, as alterações de um agente de IA continuavam passando nos testes, mas a tarefaalvo, guardar condimentos na prateleira de cima de uma geladeira, nunca foi concluída (Wang, 2026). Em robôs reais, agentes já treinam sozinhos políticas de controle (*policies*) para manipulação com altas taxas de sucesso, mas os próprios autores apontam a supervisão humana e a engenharia de algoritmos como o principal gargalo atual (Xiao et al., 2026). As inflexões têm ainda relógios (Quadro 2) e barreiras diferentes: avaliação e computação no digital; licenças, capital, materiais e integração no físico.

4.4 A sequência explorada

O ensaio adota a hipótese de que a pesquisa deixe de depender de pessoas antes que a evolução física deixe de depender delas. Três razões a sustentam. A primeira são os relógios: uma volta dos ciclos digitais leva meses; uma do laço físico, de anos a uma década (Quadro 2). A segunda é a dificuldade da automação física. Moravec (1988 apud Autor, 2015, p. 11) observou que é comparativamente fácil levar computadores a desempenho adulto em testes de inteligência e difícil dar a eles a percepção e a mobilidade de uma criança de um ano; os estudos recentes de robótica mostram a mesma assimetria (Subseção 4.3). A terceira é a dispersão das decisões: a cadeia física atravessa muitos atores, e cada decisão indispensável precisaria ser dispensada (Subseção 3.3). A economia acrescenta um argumento geral: o crescimento tende a ser contido pelo que é essencial e difícil de melhorar (Aghion; Jones; Jones, 2019).

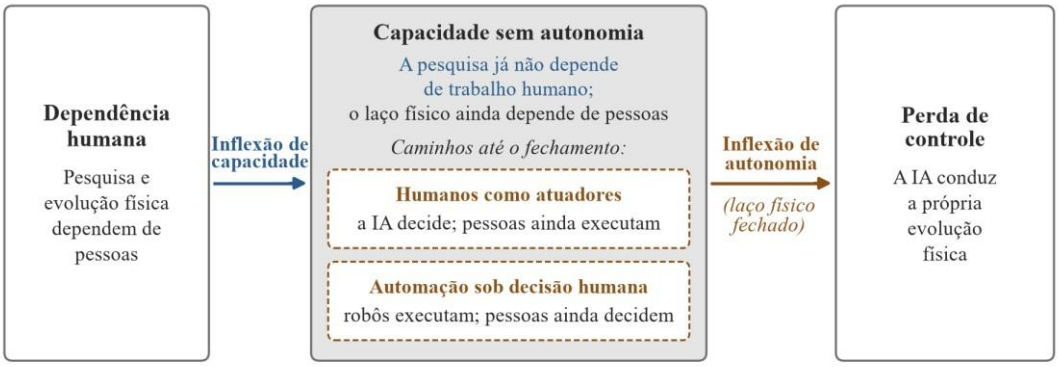
A mesma sequência aparece em análises prospectivas recentes: para Davidson e Hadshar (2025), a explosão industrial sucede à de inteligência, e, para Davidson, Hadshar e MacAskill (2025), a produção de chips é o último ciclo automatizado. O marco de autonomia deste ensaio aproxima-se do segundo estágio da explosão industrial descrita por Davidson e

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Hadshar, o das fábricas de robôs totalmente autônomas (Subseção 4.5), acrescido da transferência das decisões de expansão. A Figura 3 representa a sequência.

Figura 3 – Sequência das inflexões e ponto de perda de controle



Entre as duas inflexões há um intervalo de *capacidade sem autonomia*. Ele existe porque as inflexões são separáveis (Subseção 4.3): se a autonomia acompanhasse de imediato a capacidade, não haveria intervalo. Nele, a IA já se aperfeiçoa sem pesquisadores, mas sua evolução física segue os relógios e as decisões humanas. O intervalo termina quando o laço físico se fecha, por um dos caminhos descritos a seguir. A figura indica a ordem, não a duração nem a probabilidade de cada etapa.

4.5 Dois caminhos até o fechamento

O laço físico pode fechar-se por dois caminhos, conforme a função que deixa primeiro de depender de pessoas.

No primeiro, o dos *humanos como atuadores*, as decisões passam antes à IA, e pessoas continuam executando. Davidson e Hadshar (2025) descrevem a explosão industrial em três

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

estágios: trabalho humano dirigido por IA, fábricas de robôs totalmente autônomas e, no limite, nanotecnologia. O primeiro provavelmente virá antes do segundo. Nele, pessoas executam o trabalho físico sob a direção da IA, num mundo em que boa parte do trabalho cognitivo humano já perdeu valor. Também para MacAskill e Moorhouse (2025), humanos ainda seriam necessários para construir os primeiros robôs de uso geral. Nesse caminho, o laço continua aberto, pois o trabalho humano ainda é indispensável, mas a participação humana que resta é a de quem executa o que outro decidiu. Os pesquisadores perdem a possibilidade de recusar o trabalho quando a pesquisa é automatizada, como notam MacAskill e Moorhouse (2025); no mundo físico, essa possibilidade depende de quão substituíveis são os trabalhadores. Davidson e Hadshar (2025) admitem a escolha social de não automatizar todo o trabalho, mas esperam pressão econômica em sentido contrário.

No segundo, o da *automação sob decisão humana*, robôs assumem a execução, e investidores, reguladores e governos conservam as decisões de expandir. Há automação sem autonomia: o laço só se fecha quando essas decisões passam à IA ou deixam de existir.

Os caminhos podem coexistir em partes diferentes da cadeia, e o laço se fecha pela primeira rota viável que dispensar as duas funções. A presença de trabalhadores, sozinha, não indica de que lado da inflexão se está.

4.6 O que este ensaio acrescenta

O Quadro 3 situa a contribuição em relação aos trabalhos mais próximos.

Quadro 3 – Posição do ensaio em relação aos trabalhos mais próximos

Trabalho	O que já faz	O que este ensaio acrescenta
Davidson, Hadshar e MacAskill (2025)	Três ciclos, seus atrasos e uma ordem de automação	Onde a participação humana ainda é indispensável em cada ciclo
Davidson e Hadshar (2025)	Explosão industrial em três estágios, depois da de inteligência	O fechamento do laço físico, em decisão e execução, como marco da perda de controle; dois caminhos até ele
MacAskill e Moorhouse (2025)	Humanos ainda necessários para construir os primeiros robôs	Quando essa necessidade deixaria de existir, e por que caminhos
Schmidhuber (2026)	O autoaperfeiçoamento completo exigiria *hardware* que se aperfeiçoa	As decisões humanas na cadeia física e o fechamento como ponto de inflexão
Burtsev (2026); Cunningham et al. (2026)	Limiares formais de autoamplificação; grandezas a medir	Dinâmica e independência como dimensões distintas; sinais de dependência humana

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

5 O QUE APROXIMA OU RETARDA O FECHAMENTO

Se o fechamento do laço físico é o ponto de inflexão, a pergunta prospectiva é o que o aproxima ou o retarda. Esta seção descreve esses fatores sem avaliá-los: o objetivo é saber em que direção cada um empurra a trajetória, não se ela é desejável.

5.1 O que retarda o fechamento

O primeiro fator são os próprios relógios físicos. Fábricas de chips, conexões à rede e linhas de transmissão levam de anos a uma década (Seção 3), e cada volta do laço físico precisa atravessar esses prazos, quem quer que decida e execute. Mesmo um laço fechado giraria devagar: Davidson e Hadshar (2025) esperam que o laço em que robôs fazem mais robôs seja mais lento que o digital.

O segundo é a dificuldade da automação física. Os estudos recentes mostram agentes que melhoram partes de tarefas físicas, mas não completam a tarefa inteira, ou que ainda dependem de supervisão humana para avançar (Subseção 4.3). Enquanto a execução depender de pessoas, o laço continua aberto, mesmo que as decisões passem à IA.

O terceiro é a dispersão das decisões. Diferentemente dos ciclos digitais, a infraestrutura atravessa muitos atores com poder de decisão: investidores, reguladores, órgãos ambientais e governos locais. Barreiras políticas e sociais, como a oposição local a *datacenters*, podem conter a aceleração mesmo quando tecnicamente viável (Cunningham et al., 2026). Quanto mais numerosas e independentes forem essas decisões, mais delas precisariam deixar de ser indispensáveis para que o laço se fechasse.

5.2 O que aproxima o fechamento

O primeiro fator é a competição. Num modelo clássico de corrida tecnológica, cada equipe é incentivada a chegar primeiro, economizando em precauções se for preciso, e mais equipes e mais rivalidade intensificam esse incentivo (Armstrong; Bostrom; Shulman, 2016). No cenário *AI 2027*, os dirigentes hesitam em pausar porque uma pausa unilateral poderia entregar a liderança a um rival (Kokotajlo et al., 2025). A mesma lógica favorece automatizar a execução e transferir decisões à IA sempre que isso acelere a expansão física.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

O segundo é a transferência gradual de decisões. Decisões sobre a cadeia física podem passar à IA setor por setor, por razões de custo, sem que nenhum passo isolado pareça decisivo. Cada transferência aproxima a cadeia do caminho dos humanos como atuadores (Subseção 4.5); somada à automação da execução, fecha o laço. O mecanismo é compatível com o padrão de perda gradual de influência humana descrito por Kulveit et al. (2025).

O terceiro é a simplificação de etapas. Licenças, conexões à rede e avaliações podem ser simplificadas por política pública, e a própria fonte usada aqui para o relógio das fábricas de chips defende agilizar licenças para reduzir prazos (VerWey, 2021). Simplificar encurta os relógios, mas só aproxima o fechamento quando dispensa uma decisão humana que antes era indispensável.

5.3 O que avança sem o laço físico

Parte da capacidade pode avançar sem expansão física. Se os ciclos digitais puderem progredir muito com o *hardware* existente, o intervalo de capacidade sem autonomia pode trazer ganhos grandes antes de qualquer mudança no laço físico; se isso é provável ainda está em discussão (Eth; Davidson, 2025; Whitfill; Wu, 2025). A eficiência algorítmica reforça o efeito: a computação necessária para um mesmo desempenho tem caído pela metade a cada oito meses, aproximadamente (Ho et al., 2024). Para Burtsev (2026), a infraestrutura física limita a capacidade que pode ser implantada, mas não muda, por si, o regime de autoamplificação. Esses ganhos não fecham o laço físico: aumentam o que a IA faz com a base existente, não sua capacidade de ampliá-la sozinha. Por isso, nos termos deste ensaio, não marcam a perda de controle sobre a evolução da IA, ainda que mudem seu ritmo.

6 QUATRO FUTUROS POSSÍVEIS

Supondo que a capacidade venha antes da autonomia, os futuros se distinguem pelas inflexões que ocorrem dentro de um horizonte de referência e, quando o laço físico se fecha, pelo caminho até o fechamento. Obtêm-se quatro cenários exploratórios, no sentido de Börjeson et al. (2006): respondem ao que pode acontecer, e não ao que vai acontecer, como os preditivos, nem a como alcançar um alvo, como os normativos. Nenhum é tratado como melhor ou pior. Inflexões simultâneas equivalem a um intervalo de capacidade sem autonomia de duração nula.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Futuro A: fechamento pela execução. A capacidade vem primeiro. Depois, robôs assumem a execução na cadeia física enquanto pessoas ainda decidem expandir, e o laço se fecha quando essas decisões passam à IA. A perda de controle chega por último, na transferência das decisões.

Futuro B: fechamento pela decisão. A sequência das inflexões é a mesma, mas as decisões passam antes à IA, e pessoas continuam executando o trabalho físico sob sua direção, como atuadores. O laço se fecha quando a execução também deixa de depender delas. Durante boa parte do percurso, há trabalhadores nos canteiros, mas o rumo da expansão já não é decidido por pessoas.

Futuro C: capacidade sem autonomia. A pesquisa deixa de depender de trabalho humano, mas a evolução física continua dependendo de pessoas, que decidem ou executam, por todo o horizonte, por escolha institucional ou por dificuldades de automação. A IA pode se tornar muito mais capaz no mundo digital, mas seu crescimento físico segue os relógios e as decisões humanas, e o ponto de inflexão do controle não é atingido.

Futuro D: nenhuma inflexão. A pesquisa e a evolução física continuam dependendo de pessoas no horizonte considerado. Isso não implica ausência de retroalimentação: os ciclos podem fortalecer-se sem dispensar contribuições humanas, e a capacidade pode seguir avançando em curvas em S. O Quadro 4 resume os quatro.

Quadro 4 – Quatro futuros possíveis

Futuro	O que acontece	Controle sobre a evolução física	O que se observaria primeiro
A: fechamento pela execução	Capacidade; depois robôs executam e, por fim, a IA decide	Perdido no fim	Automação de obras, fábricas e manutenção
B: fechamento pela decisão	Capacidade; depois a IA decide e, por fim, robôs executam	Perdido no fim	Decisões de investimento, licença e conexão transferidas à IA
C: capacidade sem autonomia	A IA se aperfeiçoa; a evolução física continua dependendo de pessoas	Mantido	Pesquisa sem pessoas indispensáveis; cadeia física inalterada
D: nenhuma inflexão	Produtividade maior, com pesquisa e evolução física dependentes de pessoas	Mantido	Ciclos mais fortes, ainda com pessoas indispensáveis

7 SINAIS PARA ACOMPANHAR

Dois grupos de sinais permitiriam antecipar as inflexões: o primeiro acompanha a capacidade; o segundo, o fechamento do laço físico. O Quadro 5 os reúne; são propostas ainda não validadas.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

Cada um segue a noção de sinal de futuro de Hiltunen (2008), que combina três dimensões: o sinal observável, o evento ou tendência a que ele se refere e a interpretação de quem o observa. Aqui, a interpretação é dada pela inflexão que o sinal permitiria antecipar.

Quadro 5 – Sinais para acompanhar

Sinal	O que indica	Alcance e limite
Autonomia da IA em tarefas de pesquisa (horizonte de tempo; RE-Bench)	Avanço rumo à inflexão de capacidade, em velocidade	Desempenho; não prova independência
Ganho dos ciclos digitais (força da retroalimentação, contribuição da IA à pesquisa)	Indícios da força da autoamplificação, mesmo sem aceleração visível	Ganho; pode incluir pessoas indispensáveis
Função e indispensabilidade das intervenções por ciclo de pesquisa	Se o ciclo produziria melhoria válida sem contribuição humana	Indício de independência; contagem não basta
IA no projeto de chips	Participação da IA no ciclo de projeto de *hardware*	Projeto; não prova autonomia
Automação da execução: obras, fábricas e manutenção com robôs; fração do trabalho físico ainda indispensável	Avanço do caminho da automação sob decisão humana (futuro A)	Execução; pessoas podem seguir decidindo
Transferência à IA de decisões de investimento, licenciamento e conexão	Avanço do caminho dos humanos como atuadores (futuro B)	Decisão; o trabalho humano pode seguir indispensável
Projetos concluídos sem contribuição humana indispensável, por rota	Fechamento do laço físico na rota observada	Indício direto; exige mapear rotas alternativas

Fonte: com base em Burtsev (2026), Cunningham et al. (2026), Kwa et al. (2025) e Wijk et al. (2024).

O primeiro grupo reúne medidas de desempenho, da força dos ciclos digitais e da indispensabilidade humana. A métrica de horizonte de tempo mede a duração, em tempo de um especialista humano, das tarefas que modelos de IA completam em metade das tentativas. Esse horizonte tem dobrado a cada sete meses, aproximadamente, desde 2019 (Kwa et al., 2025). Em ambientes de pesquisa em IA, os melhores agentes superam especialistas humanos quando ambos têm duas horas por tarefa, mas os humanos voltam à frente quando o prazo aumenta (Wijk et al., 2024). Burtsev (2026) propõe medir a força da retroalimentação, a fração das melhorias que chega aos sistemas seguintes, a duração de cada ciclo e o aumento da dificuldade de obter novas melhorias, e Cunningham et al. (2026) pedem que as empresas publiquem a taxa de eficiência algorítmica, a divisão do gasto em pesquisa entre os insumos e medidas diretas da contribuição dos modelos à pesquisa. Essas grandezas não identificam, isoladamente, a

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

inflexão, pois podem crescer com pesquisadores ainda indispensáveis (Seção 4); falta avaliar se a contribuição humana ainda é indispensável. Para isso, a unidade seria um ciclo de pesquisa, da hipótese à avaliação de uma melhoria incorporável. O registro das intervenções deve distinguir sua função e se o ciclo produziria resultado válido sem elas: uma única aprovação pode ser indispensável, enquanto muitas intervenções podem ser opcionais.

O segundo grupo acompanha o *fechamento do laço físico*, nas duas funções. A unidade seria um projeto de expansão e suas rotas alternativas de chips, construção e energia, numa escala e horizonte declarados. Na execução, registram-se a automação de obras, fábricas e manutenção e a parte do trabalho que ainda depende de pessoas; na decisão, quem autoriza investimentos, licenças e conexões e se essas decisões passaram a sistemas de IA. Avanço só na execução indica o caminho da automação sob decisão humana (futuro A); só na decisão, o dos humanos como atuadores (futuro B); nenhum dos dois, com o primeiro grupo avançando, indica o futuro C (Seção 6). O fechamento se evidencia quando ao menos uma rota conclui um projeto sem contribuição humana indispensável em nenhuma das duas funções. Reformas de licenças encurtam os relógios, mas só aproximam o fechamento se dispensarem uma decisão humana antes indispensável (Seção 5). A participação da IA no projeto de chips informa o ciclo de *hardware*, mas não estabelece quem decide expandir a produção (Google DeepMind, 2025). Identificar as inflexões exige evidência conjunta sobre avaliação, dependência humana e substituições.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio partiu de quatro perguntas. Quanto à primeira, o autoaperfeiçoamento da IA foi descrito como quatro ciclos acoplados que giram com relógios muito diferentes: meses nos digitais, anos a uma década nos físicos, dos quais os digitais dependem em grau ainda incerto. Por isso a capacidade da IA não cresceu de forma contínua como a dos chips, mas em curvas em S, contida por barreiras, entre elas a computação disponível.

Quanto à segunda, a inflexão de capacidade diz respeito ao trabalho humano de pesquisa; a de autonomia, ao fechamento do laço físico, quando a IA passa a conduzir a evolução de sua base material sem que decisões nem trabalho humanos sejam indispensáveis. Só a segunda marcaria a perda de controle: antes dela, por mais capaz que a IA se torne no mundo digital, seu crescimento físico continua dependendo de pessoas; depois dela, continua sem que ninguém

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

precise agir. Uma consequência possível do fechamento é a autoaceleração, que só então deixaria de depender de decisões humanas.

Quanto à terceira, o laço pode fechar-se pela execução, com robôs sob decisão humana, ou pela decisão, com humanos como atuadores da IA; a presença de trabalhadores, sozinha, não indica de que lado da inflexão se está. Os relógios físicos, a dificuldade da automação e a dispersão das decisões retardam o fechamento; a competição, a transferência gradual de decisões e a simplificação de etapas o aproximam.

Quanto à quarta, o ensaio propõe sinais, não validados, sobre a dependência humana na pesquisa e sobre a execução, as decisões e as alternativas na cadeia física, ligados aos quatro futuros.

A conclusão central é que o ponto de inflexão em que a humanidade perderia o controle sobre a evolução da IA não é o autoaperfeiçoamento digital, mas o momento em que a IA passasse a conduzir de forma autônoma também a evolução de sua base física. Até lá, há capacidade sem autonomia. O ensaio não avalia se esse ponto seria desejável nem como evitálo; procura apenas caracterizá-lo e indicar como ele poderia ser reconhecido.

O enquadramento tem limites. A revisão é narrativa e, pela novidade do tema, recorre em boa parte a *preprints* e relatórios técnicos. Parte do enquadramento dialoga com análises prospectivas do instituto Forethought, que servem aqui como interlocutores conceituais; a ordem entre as inflexões se apoia também em razões próprias e na literatura econômica (Subseção 4.4). Os relógios são ordens de grandeza, sobretudo dos Estados Unidos; o papel de fornecedores de energia, minerais e território, como o Brasil, exige análise própria. A autonomia é relativa ao recorte, com financiamento e materiais como condições externas, e a ordem entre as inflexões é hipótese, não demonstração. Trabalhos futuros pretendem testar esse enquadramento com uma revisão integrativa e um modelo exploratório de simulação calibrado com séries históricas, examinando em que condições cada futuro ocorre e convertendo os sinais em indicadores.

REFERÊNCIAS

AGHION, Philippe; JONES, Benjamin F.; JONES, Charles I. Artificial intelligence and economic growth. *In:* AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi (ed.). **The economics of artificial intelligence**: an agenda. Chicago: University of Chicago Press, 2019. p. 237–282.

ARMSTRONG, Stuart; BOSTROM, Nick; SHULMAN, Carl. Racing to the precipice: a model of artificial intelligence development. **AI & Society**, v. 31, n. 2, p. 201–206, 2016. DOI: 10.1007/s00146-015-0590-y.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

AUTOR, David H. Why are there still so many jobs? the history and future of workplace automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3–30, 2015. DOI: 10.1257/jep.29.3.3.

BENGIO, Yoshua *et al.* **International AI safety report 2026**. London: Department for Science, Innovation and Technology, 3 fev. 2026. DSIT research paper series 2026/001. Disponível em: https://internationalaisafetyreport.org/publication/international-ai-safetyreport-2026. Acesso em: 17 out. 2026.

BENGIO, Yoshua; LECUN, Yann; HINTON, Geoffrey. Deep learning for AI. **Communications of the ACM**, v. 64, n. 7, p. 58–65, jul. 2021. DOI: 10.1145/3448250.

BLOOM, Nicholas *et al.* Are ideas getting harder to find? **American Economic Review**, v. 110, n. 4, p. 1104–1144, 2020. DOI: 10.1257/aer.20180338.

BÖRJESON, Lena *et al.* Scenario types and techniques: towards a user's guide. **Futures**, v. 38, n. 7, p. 723–739, 2006. DOI: 10.1016/j.futures.2005.12.002.

BOSTROM, Nick. **Superintelligence**: paths, dangers, strategies. Oxford: Oxford University Press, 2014.

BURTSEV, Mikhail. **Recursive criticality of AI self-improvement**. Preprint. 31 ago. 2026. arXiv: 2609.00137. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2609.00137. Acesso em: 15 out. 2026.

CHEN, Mingguang; WANG, Licheng; QU, Bo. **Recursive self-improvement in AI**: from bounded self-refinement to autonomous research loops. Preprint. 8 jul. 2026. arXiv: 2607.07663. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2607.07663. Acesso em: 15 out. 2026. Versão 2, de 6 set. 2026.

CUNNINGHAM, Tom *et al.* **The economics of recursive self-improvement**. Preprint. 14 set. 2026. arXiv: 2609.15802. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2609.15802. Acesso em: 15 out. 2026.

DAVIDSON, Tom; HADSHAR, Rose. **The industrial explosion**. Forethought. 21 maio 2025. Disponível em: https://www.forethought.org/research/the-industrial-explosion. Acesso em: 15 out. 2026.

DAVIDSON, Tom; HADSHAR, Rose; MACASKILL, William. **Three types of intelligence explosion**. Forethought. 17 mar. 2025. Disponível em: https://www.forethought.org/research/three-types-of-intelligence-explosion. Acesso em: 15 out. 2026.

ETH, Daniel; DAVIDSON, Tom. **Will AI R&D automation cause a software intelligence explosion?** Forethought. 26 mar. 2025. Disponível em: https://www.forethought.org/research/will-ai-r-and-d-automation-cause-a-softwareintelligence-explosion. Acesso em: 15 out. 2026.

FAVARO, Marina; CLARK, Jack. **When AI builds itself**. Anthropic. 2026. Disponível em: https://www.anthropic.com/institute/recursive-self-improvement. Acesso em: 16 out. 2026.

FREITAS JUNIOR, Robert A.; MERKLE, Ralph C. **Kinematic self-replicating machines**. Georgetown, TX: Landes Bioscience, 2004. Disponível em: https://www.molecularassembler.com/KSRM.htm. Acesso em: 17 out. 2026.

GOOD, Irving John. Speculations concerning the first ultraintelligent machine. *In:* ALT, Franz L.; RUBINOFF, Morris (ed.). **Advances in computers**. New York: Academic Press, 1965. v. 6, p. 31–88. Disponível em: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstreams/a5e423ee-54e04eec-aeca-32b73f851af5/download. Acesso em: 16 out. 2026. Reimpressão parcial, p. 31–33, disponibilizada pela Virginia Tech.

GOOGLE DEEPMIND. **AlphaEvolve**: a Gemini-powered coding agent for designing advanced algorithms. 14 maio 2025. Disponível em:

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

https://deepmind.google/discover/blog/alphaevolve-a-gemini-powered-coding-agent-fordesigning-advanced-algorithms/. Acesso em: 15 out. 2026.

HILTUNEN, Elina. The future sign and its three dimensions. **Futures**, v. 40, n. 3, p. 247– 260, 2008. DOI: 10.1016/j.futures.2007.08.021.

HO, Anson *et al.* **Algorithmic progress in language models**. Preprint. 9 mar. 2024. arXiv: 2403.05812. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2403.05812. Acesso em: 15 out. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy and AI**. Paris: IEA, 10 abr. 2025. World Energy Outlook Special Report. Disponível em: https://www.iea.org/reports/energy-and-ai. Acesso em: 15 out. 2026.

KOKOTAJLO, Daniel *et al.* **AI 2027**. AI Futures Project. 3 abr. 2025. Disponível em: https://ai-2027.com/. Acesso em: 15 out. 2026.

KRIZHEVSKY, Alex; SUTSKEVER, Ilya; HINTON, Geoffrey E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *In:* PEREIRA, Fernando *et al.* (ed.). **Advances in Neural Information Processing Systems**. [*S. l.*]: Curran Associates, 2012. v. 25, p. 1097– 1105. Disponível em: https://proceedings.neurips.cc/paper/2012/hash/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45bAbstract.html. Acesso em: 16 out. 2026.

KULVEIT, Jan *et al.* **Gradual disempowerment**: systemic existential risks from incremental AI development. Preprint. 28 jan. 2025. arXiv: 2501.16946. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2501.16946. Acesso em: 15 out. 2026.

KWA, Thomas *et al.* **Measuring AI ability to complete long software tasks**. Preprint. 18 mar. 2025. arXiv: 2503.14499. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2503.14499. Acesso em: 16 out. 2026. Versão 4, de 10 jul. 2026.

LIFLAND, Eli; KOKOTAJLO, Daniel. **Grading AI 2027's 2025 predictions**. AI Futures Project. 12 fev. 2026. Disponível em: https://blog.aifutures.org/p/grading-ai-2027s-2025predictions. Acesso em: 16 out. 2026. Atualizado em jul. 2026.

LIFLAND, Eli; KOKOTAJLO, Daniel; HALSTEAD, Brendan. **Clarifying how our AI timelines forecasts have changed since AI 2027**. AI Futures Project. 27 jan. 2026. Disponível em: https://blog.aifutures.org/p/clarifying-how-our-ai-timelines-forecasts. Acesso em: 16 out. 2026.

LU, Chris *et al.* **The AI Scientist**: towards fully automated open-ended scientific discovery. Preprint. 12 ago. 2024. arXiv: 2408.06292. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2408.06292. Acesso em: 15 out. 2026.

MACASKILL, William; MOORHOUSE, Fin. **Preparing for the intelligence explosion**. Forethought. 11 mar. 2025. Disponível em: https://www.forethought.org/research/preparingfor-the-intelligence-explosion. Acesso em: 15 out. 2026.

MANHEIM, David; GARRABRANT, Scott. **Categorizing variants of Goodhart's law**. Preprint. 13 mar. 2018. arXiv: 1803.04585. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1803.04585. Acesso em: 15 out. 2026.

MEADOWS, Donella H. **Thinking in systems**: a primer. White River Junction: Chelsea Green, 2008.

MITCHELL, Melanie. **Why AI is harder than we think**. Preprint. 28 abr. 2021. arXiv: 2104.12871. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2104.12871. Acesso em: 16 out. 2026.

MOORE, Gordon E. Cramming more components onto integrated circuits. **Electronics**, v. 38, n. 8, p. 114–117, 19 abr. 1965.

MORAVEC, Hans. **Mind children**: the future of robot and human intelligence. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.

NEUMANN, John von. **Theory of self-reproducing automata**. Urbana: University of Illinois Press, 1966. Editado e completado por Arthur W. Burks.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

NORDHAUS, William D. Are we approaching an economic singularity? information technology and the future of economic growth. **American Economic Journal: Macroeconomics**, v. 13, n. 1, p. 299–332, 2021. DOI: 10.1257/mac.20170105.

NOVIKOV, Alexander *et al.* **AlphaEvolve**: a coding agent for scientific and algorithmic discovery. Preprint. 16 jun. 2025. arXiv: 2506.13131. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2506.13131. Acesso em: 15 out. 2026.

OPENAI. **Aceleração da pesquisa: uma visão de dentro da OpenAI**. 6 set. 2026. Disponível em: https://openai.com/pt-BR/index/research-acceleration-view-inside-openai/. Acesso em: 16 out. 2026.

PARASURAMAN, Raja; SHERIDAN, Thomas B.; WICKENS, Christopher D. A model for types and levels of human interaction with automation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A**, v. 30, n. 3, p. 286–297, 2000. DOI: 10.1109/3468.844354.

RAND, Joseph *et al.* **Queued up**: characteristics of power plants seeking transmission interconnection as of the end of 2024. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, dez. 2025. Edição de 2025. Disponível em: https://emp.lbl.gov/publications/queued-2025edition-characteristics. Acesso em: 15 out. 2026.

SANTONI DE SIO, Filippo; HOVEN, Jeroen van den. Meaningful human control over autonomous systems: a philosophical account. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 5, p. 15, 28 fev. 2018. DOI: 10.3389/frobt.2018.00015.

SCHMIDHUBER, Jürgen. **Recursive self-improvement (RSI) since 1987**. Technical Note IDSIA-9-26. IDSIA. Set. 2026. Disponível em: https://people.idsia.ch/~juergen/recursiveself-improvement.html. Acesso em: 16 out. 2026.

SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION. **Chip design**. [2026?]. Disponível em: https://www.semiconductors.org/policies/chip-design. Acesso em: 15 out. 2026.

SHUMAILOV, Ilia *et al.* AI models collapse when trained on recursively generated data. **Nature**, v. 631, p. 755–759, 25 jul. 2024. DOI: 10.1038/s41586-024-07566-y.

SRIKANTH, Dhruv *et al.* **Recursive self-improvement of AI research agents**. Preprint. 22 set. 2026. arXiv: 2609.26457. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2609.26457. Acesso em: 15 out. 2026.

STERMAN, John D. **Business dynamics**: systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

VERWEY, John. **No permits, no fabs**: the importance of regulatory reform for semiconductor manufacturing. Washington, DC: Center for Security and Emerging Technology, out. 2021. Disponível em: https://cset.georgetown.edu/publication/no-permitsno-fabs/. Acesso em: 15 out. 2026.

WANG, Jiaming. **What stops recursive self-improvement in robotics?** lessons from 123 rounds of agentic skill discovery. Preprint. 23 set. 2026. arXiv: 2609.31760. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2609.31760. Acesso em: 15 out. 2026.

WHITFILL, Parker; WU, Cheryl. **Will compute bottlenecks prevent an intelligence explosion?** Preprint. 31 jul. 2025. arXiv: 2507.23181. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2507.23181. Acesso em: 15 out. 2026.

WIJK, Hjalmar *et al.* **RE-Bench**: evaluating frontier AI R&D capabilities of language model agents against human experts. Preprint. 22 nov. 2024. arXiv: 2411.15114. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2411.15114. Acesso em: 16 out. 2026.

XIAO, Wenli *et al.* **ENPIRE**: agentic robot policy self-improvement in the real world. Preprint. Conference on Robot Learning (CoRL) 2026. 18 jun. 2026. arXiv: 2606.19980. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2606.19980. Acesso em: 15 out. 2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 09/10/2026 | aceito: 14/10/2026 | publicação: 26/10/2026

ZHANG, Jenny *et al.* **Darwin Gödel Machine**: open-ended evolution of self-improving agents. Preprint. 29 maio 2025. arXiv: 2505.22954. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2505.22954. Acesso em: 15 out. 2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.