

A Infraestrutura da Abundância

Inteligência artificial, robótica e a reorganização dos sistemas essenciais da vida.

Luiz Antonio Busnello · Agosto de 2026 · ~26 min de leitura

-
- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1 Da inteligência à ação | 2 Redesenhar os sistemas essenciais |
| 3 O preço da transição | 4 A ponte para o Estado pós-escassez |

Nota do autor

Da abundância da inteligência à abundância da vida

O primeiro ensaio desta série defendeu uma hipótese: a inteligência artificial pode tornar inteligência, conhecimento e coordenação muito mais abundantes. Este segundo ensaio faz a pergunta seguinte: o que acontece quando essa inteligência encontra braços, rodas, sensores, fábricas, redes elétricas e máquinas capazes de agir no mundo físico?

A ambição aqui é deliberadamente radical. Não se trata apenas de imaginar uma IA que ajude o médico, o professor, o agricultor ou o servidor público. Trata-se de investigar até onde a substituição pode avançar quando sistemas artificiais se tornam mais precisos, mais disponíveis e mais baratos do que o trabalho humano. Em algumas etapas, as pessoas permanecem no centro. Em outras, tornam-se supervisoras. No limite, a operação cotidiana pode deixar de depender delas.

Radical, porém, não significa arbitrário. Cada cenário deste ensaio será construído a partir de um mecanismo: qual limitação organiza o sistema atual; que combinação de inteligência, robótica, energia e infraestrutura pode removê-la; que custos permanecem; quais riscos surgem; e em que janela

temporal a transição parece plausível. Sempre que o texto avançar além do que já foi demonstrado, isso será tratado como extrapolação racional ou hipótese de fronteira, e não como fato.

As datas apresentadas são intervalos condicionais. Não afirmam que uma tecnologia chegará em determinado ano; indicam quando uma capacidade poderia se difundir se os avanços técnicos, os custos, a regulação e a confiança evoluírem em conjunto. Uma descoberta pode antecipar o cenário. Uma falha de segurança, uma crise energética ou uma reação social pode adiá-lo por décadas.

O objetivo não é usar IA para preservar instituições moldadas pela escassez. É imaginar como essas instituições seriam desenhadas quando inteligência e trabalho físico pudessem ser reproduzidos.

1 Da inteligência à ação

A abundância cognitiva só alcança a vida material quando pode observar o mundo, formular uma decisão e executá-la com segurança, repetibilidade e custo decrescente.

Da inteligência à ação • 1

As instituições atuais são mapas da escassez

Hospitais, escolas, canteiros de obra e repartições não são formas naturais de organização. São respostas históricas às limitações humanas de presença, atenção, memória e força.

A turma com trinta alunos é uma tecnologia de distribuição de um professor escasso. O plantão é uma tecnologia de distribuição de corpos que precisam dormir. O hospital concentra equipamentos e especialistas porque eles não podem estar em todos os lugares ao mesmo tempo. A burocracia divide um problema entre departamentos porque nenhuma pessoa consegue processar toda a complexidade. A obra reúne ofícios no terreno porque ainda não dispomos de uma fábrica flexível capaz de produzir cada edifício para cada local.

Quando olhamos apenas para a superfície, essas instituições parecem permanentes — quase leis da natureza social. Quando observamos a limitação que lhes deu origem, percebemos que sua forma é contingente. Herbert Simon descreveu as organizações como artefatos: estruturas desenhadas para operar dentro dos limites da racionalidade e da atenção humanas. Se a atenção puder ser replicada; se o conhecimento puder acompanhar cada indivíduo; se máquinas puderem operar sem fadiga; se dados puderem atravessar

organizações; e se decisões puderem ser auditadas em tempo real, então a arquitetura atual deixa de ser inevitável.

Por isso, o exercício deste ensaio não consiste em colocar uma camada digital sobre a instituição existente. Um tutor de IA dentro de uma sala de aula continua preso ao calendário, à série e ao currículo uniforme. Um robô que leva medicamentos por corredores continua preso ao hospital centralizado. Um agente que preenche um formulário continua preso à repartição. A primeira etapa melhora o sistema. A etapa decisiva pergunta se o sistema ainda precisa existir daquela maneira.

Muitas instituições que parecem naturais são, na realidade, soluções para limitações que começam a desaparecer.

Da inteligência à ação · 2

A anatomia da abundância

Abundância não é ausência de custo. É a passagem de uma economia em que cada atendimento adicional exige mais trabalho humano para outra em que a capacidade pode ser replicada.

É necessário separar três conceitos que costumam ser confundidos. A abundância produtiva ocorre quando a sociedade consegue gerar muito mais saúde, aprendizagem, alimento ou espaço habitável por unidade de trabalho e capital. A abundância de acesso ocorre quando essa capacidade efetivamente chega às pessoas, independentemente de renda, origem ou localização. A abundância percebida ocorre quando o acesso se converte naquilo que realmente importa: segurança material, autonomia e tempo.

A tecnologia pode criar a primeira e falhar nas outras duas. Uma sociedade pode produzir alimentos suficientes e conviver com a fome. Pode disponibilizar conhecimento digital quase ilimitado e manter crianças sem aprender. Pode

automatizar a construção e permitir que o valor da terra capture toda a economia gerada. Pode reduzir o custo de um diagnóstico e, ainda assim, ver o preço subir porque poucos controlam a infraestrutura. Como argumentou o primeiro ensaio desta série, a redução de custos é apenas uma possibilidade técnica; são a concorrência e as instituições que a transformam em acesso.

O custo marginal também precisa ser tratado com rigor. Robôs consomem energia, peças, manutenção, limpeza e capital. Modelos consomem computação e precisam de atualização. Nada se torna literalmente gratuito. O que pode ocorrer é uma dissociação: a capacidade oferecida cresce muito mais rapidamente do que o trabalho humano necessário para sustentá-la. Depois de construído o sistema, atender uma pessoa adicional custa relativamente pouco.

Essa é a diferença entre uma máquina tradicional e uma rede inteligente. Uma máquina repete uma função local. Uma rede pode registrar cada ação, comparar milhões de casos, atualizar o procedimento e distribuir a melhoria para todas as unidades simultaneamente. A experiência deixa de permanecer confinada ao indivíduo e passa a acumular-se no sistema.

A abundância começa quando a oferta de uma necessidade essencial cresce mais rapidamente do que o trabalho humano e o custo necessários para produzi-la.

Da inteligência à ação · 3

Três níveis de futuro

Para não misturar tecnologia presente com hipótese de fronteira, este ensaio distingue evidência atual, extrapolação racional e reorganização sistêmica.

No primeiro nível, observamos capacidades que já existem: modelos que interpretam linguagem e imagens; robôs que transportam, desinfetam, colhem ou montam; sistemas que personalizam exercícios; sensores que acompanham

pacientes; fábricas que produzem componentes; e governos que automatizam serviços específicos. Nada disso é especulação. É inventário.

No segundo nível, combinamos capacidades que já existem separadamente. Um modelo clínico, um prontuário integrado, sensores e um robô não formam ainda um hospital autônomo, mas indicam um caminho técnico possível. Uma fazenda com visão computacional, máquinas autônomas e previsão climática não elimina todas as pessoas, mas demonstra que percepção, decisão e execução podem ser integradas em um único ciclo.

No terceiro nível, perguntamos o que acontece quando a integração amadurece e o custo cai. Aqui surgem instituições diferentes: saúde preventiva e distribuída; educação individualizada; produção alimentar responsiva; construção transformada em fabricação; mobilidade contínua e coordenada; proteção urbana permanente; e administração organizada por eventos da vida, e não por órgãos. É o nível mais especulativo, mas não precisa ser ficção. Seu fundamento é a remoção progressiva de limitações observáveis.

Ao longo do ensaio, quatro janelas temporais organizarão os cenários: de 2026 a 2030, a incorporação da IA e de robôs especializados às estruturas atuais; de 2030 a 2035, processos completos operando sob supervisão humana; de 2035 a 2045, a reorganização institucional propriamente dita; e, depois de 2045, a possibilidade de sistemas amplamente autônomos. Não são calendários universais. Software pode avançar antes da robótica; países integrados podem avançar antes de países fragmentados; atividades tolerantes a erro podem avançar antes da medicina ou da segurança.

O mecanismo é mais importante do que o calendário: perceber, decidir, agir, aprender, escalar e reorganizar.

2 Redesenhar os sistemas essenciais

O teste da abundância não é quantos modelos ou robôs existem, mas se cada pessoa pode obter saúde, educação, alimentação, moradia, mobilidade e proteção sem depender da escassez de horas humanas.

Redesenhar os sistemas essenciais • 4

Saúde: do plantão ao cuidado contínuo

O hospital foi organizado em torno de profissionais que precisam dormir, trocar turnos, deslocar-se e dividir a atenção entre vários pacientes. A inteligência e a robótica permitem redesenhar essa arquitetura.

A medicina atual é predominantemente episódica. A pessoa percebe um sintoma, encontra uma porta de entrada, espera, realiza exames e recebe um diagnóstico. Entre os episódios, grande parte da vida biológica permanece invisível. Sensores, exames domésticos, prontuários integrados e modelos clínicos podem inverter essa lógica: acompanhar tendências, detectar desvios e acionar a investigação antes que a doença se manifeste plenamente.

A primeira mudança não será o desaparecimento do hospital, mas sua descompressão. Triagem, acompanhamento de doentes crônicos, reabilitação e parte do diagnóstico migram para residências, clínicas locais e unidades móveis. O especialista deixa de ser o primeiro observador e passa a supervisionar redes que já coletaram, organizaram e compararam informações antes de sua intervenção.

Dentro do hospital, a automação avança por tarefas. Transporte de materiais e resíduos, separação de doses, reposição de estoques, monitoramento, registro, limpeza e movimentação assistida de pacientes são atividades repetitivas ou

protocoláveis. Robôs podem assumi-las sem fadiga, sem custo adicional de turno noturno e com registro automático de cada ação. Depois, a fronteira alcança a administração de medicamentos, procedimentos delimitados e decisões clínicas específicas.

A infecção hospitalar ilustra por que não basta substituir pessoas. O CDC observa que profissionais de saúde podem precisar higienizar as mãos até cem vezes em um único turno, e que mãos, superfícies e equipamentos participam da cadeia de transmissão. Menos circulação humana pode reduzir vetores, mas um robô também pode transportar patógenos. O hospital abundante precisa ser redesenhado desde a base: rotas separadas para materiais limpos e contaminados, superfícies laváveis, esterilização automática, sensores de contaminação e máquinas construídas para descontaminação frequente.

O mesmo raciocínio vale para o erro. Um enfermeiro ou médico acumula plantões, sofre interrupções e decide sob pressão. Um sistema artificial não é infalível; pode falhar por dados ruins, defeito ou erro de projeto. A diferença é estrutural: ele não se cansa e pode ser testado continuamente. Um erro humano ensina lentamente a uma equipe. Uma correção validada pode ser distribuída, de imediato, a toda a rede.

Entre 2026 e 2030, a maior transformação deve ocorrer em documentação, triagem, logística, desinfecção, monitoramento e apoio à decisão. Entre 2030 e 2035, hospitais podem operar processos completos sob supervisão, com equipes humanas menores e concentradas nas exceções. Entre 2035 e 2045, procedimentos robotizados, acompanhamento permanente e redes clínicas integradas podem reduzir fortemente a centralidade do plantão. Depois de 2045, se a robótica generalista, a validação clínica e a responsabilidade jurídica amadurecerem, torna-se tecnicamente concebível uma rede em que humanos definem objetivos e limites, mas não executam a maior parte do cuidado cotidiano.

Essa hipótese é radical justamente porque inclui as exceções. No início, dizemos que os humanos permanecerão no julgamento e na empatia. No longo prazo, precisamos admitir que modelos também podem superar pessoas em parte do julgamento – e que pacientes podem preferir um sistema sempre disponível, paciente e preciso. A presença humana pode continuar desejada, mas deixa de ser requisito econômico para todo atendimento.

O custo relevante não é salário versus preço do robô. É o custo total do cuidado: erro, infecção, reinternação, desperdício, disponibilidade e resultado clínico.

Redesenhar os sistemas essenciais · 5

Educação: da turma ao tutor permanente

A escola de massa distribuiu um professor escasso. A inteligência artificial permite distribuir atenção individual – mas exige que a escola descubra uma função além da aula padronizada.

Turmas, séries, calendários e provas comuns foram mecanismos extraordinários de escala. Permitiram ensinar milhões, mas obrigaram pessoas diferentes a receber a mesma explicação no mesmo ritmo. O professor observa uma amostra do entendimento da sala; o aluno que não compreendeu pode carregar a lacuna por anos. Benjamin Bloom, no problema dos dois sigmas discutido no primeiro ensaio, demonstrou o tamanho do que se perde nessa padronização.

Um tutor artificial pode acompanhar cada resposta, identificar o tipo de erro, mudar a explicação, formular novas perguntas e retornar sem impaciência ao conceito anterior. Pode conversar em qualquer idioma, adaptar exemplos ao contexto do estudante e estar disponível no instante em que a curiosidade surge. Os primeiros experimentos controlados com tutores de IA começam a mostrar que o desenho pedagógico importa: quando o sistema simplesmente

entrega respostas, pode enfraquecer a aprendizagem; quando conduz raciocínio e prática, pode ampliá-la.

A transição provável tem três fases. A primeira é assistiva: professores produzem materiais, recebem diagnósticos da turma e oferecem um tutor a cada aluno. A segunda reorganiza a divisão do trabalho: o sistema conduz grande parte da explicação e da prática individual, enquanto o professor observa o desenvolvimento, cria projetos e intervém onde há dificuldade, conflito ou necessidade emocional. A terceira questiona a própria escola como lugar de transmissão de conteúdo.

A escola não precisa desaparecer. Pode tornar-se mais humana justamente porque deixa de gastar a maior parte do tempo repetindo conteúdo.

Convivência, esporte, artes, experimentos, colaboração, ética, negociação e pertencimento tornam-se centrais. A instrução personalizada acompanha o aluno em casa, na escola e ao longo da vida – e, como defendeu o primeiro ensaio, o que a escola precisa formar, acima de tudo, é agência.

De 2026 a 2030, tutores e copilotos devem expandir-se dentro do modelo escolar existente. De 2030 a 2035, redes capazes de acompanhar objetivos, domínio e portfólios podem assumir a instrução individual de parte relevante do currículo. Entre 2035 e 2045, escolas podem deixar de ser organizadas prioritariamente por idade e aula, adotando percursos individuais e projetos coletivos. Depois de 2045, a instrução cognitiva poderá depender pouco de professores humanos, embora ambientes humanos continuem essenciais para socialização e desenvolvimento moral.

*O tutor universal não torna ninguém automaticamente inteligente.
Torna a oportunidade de aprender muito menos escassa.*

Alimentação: produzir, prever e distribuir como um único sistema

A abundância alimentar não depende apenas de produzir mais. Depende de integrar percepção, cultivo, colheita, armazenamento, transporte e consumo em um único ciclo responsivo.

A agricultura opera sob incerteza estrutural. Solo, chuva, temperatura, pragas, logística e preço interagem em sistemas apenas parcialmente observáveis. Grande parte da produção ainda aplica água, fertilizantes e defensivos sobre áreas amplas com informação incompleta, enquanto perdas significativas ocorrem entre a colheita e o consumo.

Satélites, sensores, visão computacional, modelos climáticos, drones e máquinas autônomas permitem tratar cada área, cada planta e cada animal como unidade observável. A FAO identifica aplicações de IA em agricultura de precisão, alerta precoce, rastreabilidade, otimização de cadeias e redução de perdas. O salto ocorre quando recomendação e ação se unem: a mesma máquina que identifica também irriga, remove, colhe, separa ou transporta.

No sistema reorganizado, a produção responde mais diretamente à demanda prevista. Fazendas extensivas autônomas convivem com ambientes controlados próximos às cidades, proteínas produzidas por novos processos e cozinhas capazes de preparar dietas individuais. Cadeias de frio são monitoradas continuamente. O estoque deixa de ser informação fragmentada e passa a orientar cultivo, compra e distribuição.

Nem todo alimento migrará para a agricultura vertical, nem toda escassez desaparecerá. Grãos, frutas, verduras e proteínas possuem economias diferentes. Terra, água, nutrientes, biodiversidade e energia permanecem restrições reais. O futuro provável é um mosaico otimizado, não uma única tecnologia universal.

Até 2030, a transformação concentra-se em previsão, agricultura de precisão, máquinas especializadas e logística. Entre 2030 e 2035, operações com baixa presença humana tornam-se comuns em culturas e ambientes estruturados. Entre 2035 e 2045, produção, armazenamento e distribuição podem operar como redes responsivas, reduzindo perdas e ajustando a oferta. Depois de 2045, regiões com energia, água e infraestrutura podem aproximar-se de uma garantia alimentar quase automática – enquanto conflitos, concentração de propriedade e fragilidade das cadeias continuarão capazes de impedir o acesso.

Uma sociedade pode alcançar abundância produtiva de alimento e preservar a fome. O gargalo final pode deixar de ser a produção e tornar-se a distribuição de poder e renda.

Redesenhar os sistemas essenciais · 7

Habitação: quando a obra se torna fabricação

A construção ainda funciona como uma manufatura temporária ao ar livre. Robótica, modularização e projeto generativo podem deslocá-la para processos industriais adaptáveis.

Equipes, materiais e fornecedores chegam ao terreno em sequências imperfeitas. Erros de projeto aparecem durante a execução; o clima interrompe cronogramas; retrabalho e desperdício elevam o custo final. Cada edifício é tratado como exceção, embora grande parte de seus componentes seja perfeitamente repetível.

Modelagem integrada, projeto generativo, fábricas modulares, máquinas de corte, robôs de montagem e construção aditiva permitem transferir o trabalho para ambientes controlados. O NIST já trata a construção aditiva como um campo que necessita de padrões próprios de materiais, integridade estrutural e segurança – reconhecendo tanto o potencial de redução de desperdício quanto as lacunas que ainda impedem a escala.

Uma moradia poderia ser projetada automaticamente para o terreno, o clima, a composição familiar, a acessibilidade e os materiais locais. Componentes seriam produzidos em fábrica e montados por máquinas. Sensores acompanhariam estrutura, umidade, energia e manutenção. Reformas futuras seriam previstas no próprio projeto modular, em vez de tratadas como demolições improvisadas.

Mas há um limite que a tecnologia sozinha não remove: a robótica pode tornar abundante o edifício sem tornar abundante a localização. O preço da moradia reúne construção, terra, infraestrutura, regulação, financiamento e acesso a oportunidades. Em lugares desejados, a queda do custo da obra pode ser integralmente capturada pelo valor do terreno. Sem reforma urbana e expansão de infraestrutura, a automação beneficia proprietários mais rapidamente do que moradores.

Até 2030, projeto, planejamento e fabricação modular avançam mais rapidamente do que robôs generalistas de canteiro. Entre 2030 e 2035, conjuntos padronizáveis podem ser produzidos e montados com equipes muito menores. Entre 2035 e 2045, a construção industrial adaptável pode reduzir drasticamente tempo e variabilidade. Depois de 2045, o componente físico básico da moradia pode aproximar-se da abundância em muitas regiões; a terra bem localizada continuará escassa.

A moradia se torna abundante quando o ganho de produtividade da obra não é integralmente convertido em renda da terra.

Transporte: mobilidade sem motorista e sem propriedade obrigatória

Mobilidade é a condição que transforma oferta localizada em acesso real. Uma escola, um hospital ou uma moradia continuam escassos se são caros,

lentos ou impossíveis de alcançar.

O transporte contemporâneo foi organizado em torno de dois recursos escassos: a atenção de quem dirige e o veículo de propriedade individual. Por isso, milhões de decisões de rota, estacionamento, carga, manutenção e horário são tomadas de modo fragmentado. A cidade acomoda veículos parados; famílias imobilizam capital em carros subutilizados; e serviços essenciais ficam distantes para quem não pode dirigir, pagar ou esperar.

A automação não começa por uma cidade inteira sem motorista. Ela avança onde o ambiente é mais controlado e o benefício é mais claro: pátios, portos, armazéns, mineração, corredores logísticos, rotas fixas e sistemas de assistência ao condutor. A própria NHTSA distingue a automação em áreas limitadas da automação universal: os níveis mais altos ainda dependem de condições operacionais delimitadas e não estão disponíveis ao consumidor como tecnologia plenamente autônoma. Essa limitação torna o cenário mais concreto, não menos transformador.

A primeira reorganização relevante pode ocorrer antes da autonomia total. Modelos preveem demanda, agrupam viagens, ajustam semáforos, orientam manutenção, coordenam recarga e conectam ônibus, metrô, bicicletas, veículos compartilhados e cargas. Quando a autonomia avança, cada unidade deixa de ser apenas um objeto privado: pode reposicionar-se, recarregar-se, entrar em manutenção e atender diferentes funções sem exigir uma pessoa dirigindo em cada trajeto.

O salto institucional acontece quando a frota passa a ser tratada como infraestrutura contínua. Em vez de cada cidadão possuir uma capacidade ociosa, uma rede compartilha veículos, rotas e informação. O mesmo sistema que leva alguém a uma consulta pode trazer medicamentos, transportar uma pessoa com mobilidade reduzida ou distribuir mercadorias em horários de baixa demanda. Não é a promessa de que todo automóvel será substituído; é a

possibilidade de que o acesso deixe de depender da propriedade e da habilidade individual de dirigir.

Isso pode ampliar a autonomia de idosos, pessoas com deficiência, crianças acompanhadas e moradores de regiões mal atendidas. Pode liberar áreas hoje dedicadas ao estacionamento e reduzir o custo invisível do tempo perdido. Mas não há automatismo urbano: frotas autônomas privadas e baratas podem aumentar a distância percorrida, competir com o transporte coletivo e agravar o congestionamento. O estudo do International Transport Forum sobre mobilidade compartilhada mostra por que o efeito final depende do desenho da rede, da integração com o transporte de alta capacidade e das regras de uso do espaço urbano.

Por isso, a hipótese radical exige coordenação. Corredores, prioridade para o transporte coletivo, regras de compartilhamento de dados, limites de circulação vazia, tarifas de uso do espaço e padrões de acessibilidade não são detalhes posteriores. São o que determina se a automação converte a cidade em conveniência para poucos ou em mobilidade abundante para todos.

Entre 2026 e 2030, devem expandir-se a logística controlada, a assistência avançada ao condutor, a gestão algorítmica de tráfego e os pilotos geograficamente delimitados. Entre 2030 e 2035, frotas autônomas podem operar em zonas urbanas e corredores selecionados, integradas a redes de transporte sob supervisão humana. Entre 2035 e 2045, cidades que organizarem infraestrutura, regulação e dados podem reduzir a dependência do carro privado e recuperar espaço urbano. Depois de 2045, uma camada de mobilidade que una passageiros e cargas torna-se concebível, mas continuará limitada por clima, vias mistas, segurança cibernética, responsabilidade jurídica e pelo próprio espaço físico das cidades.

O veículo autônomo é uma etapa. A transformação é converter mobilidade de propriedade privada ociosa em infraestrutura contínua, coordenada e acessível.

Redesenhar os sistemas essenciais • 9

Segurança: proteção sem vigilância total

A mesma infraestrutura que permite resposta quase imediata também permite observação quase permanente. A abundância de segurança contém, dentro de si, uma ameaça à liberdade.

Policiais, bombeiros, ambulâncias e defesa civil são limitados pela presença física. Chamados chegam com informação incompleta; evidências são analisadas depois do fato; equipes entram em ambientes perigosos; órgãos operam sistemas separados. Sensores, detecção de anomalias, drones e robôs podem reduzir drasticamente o intervalo entre o evento e a resposta.

Uma queda, um incêndio, um acidente ou uma pessoa desaparecida podem ser identificados antes que exista um relato completo. Robôs podem entrar primeiro em edifícios instáveis, áreas contaminadas ou situações violentas. Sistemas podem coordenar bombeiros, ambulâncias e rotas sem depender de telefonemas sucessivos. A investigação pode cruzar volumes de evidência impossíveis para qualquer equipe humana.

Mas o sistema que detecta uma emergência também pode acompanhar todos os deslocamentos. Reconhecimento biométrico imperfeito, dados descontextualizados e modelos enviesados podem transformar suspeita estatística em coerção real. O NIST ressalta que o viés não nasce apenas do algoritmo: dados, instituições e contexto humano compõem o sistema. Em segurança, um erro pode significar abordagem, prisão ou violência.

A arquitetura precisa limitar o poder antes de maximizar a previsão: finalidade definida, retenção mínima de dados, registro de acesso, auditoria

independente, direito de contestação e proibição de decisões coercitivas totalmente automáticas. Sistemas de emergência devem ser separados da inteligência policial. Este é o mesmo princípio estrutural defendido no primeiro ensaio sobre o soberano algorítmico: a pergunta central não é apenas o que a tecnologia consegue observar, mas quem pode observar, por quanto tempo – e quem observa o observador.

Até 2030, drones, análise de evidências, previsão de demanda e detecção de eventos expandem-se sob comando humano. Entre 2030 e 2035, respostas coordenadas e robôs especializados podem operar processos completos. Entre 2035 e 2045, cidades poderão oferecer proteção ambiental e resposta quase contínuas. A automação de decisões coercitivas, porém, deve permanecer limitada mesmo quando tecnicamente possível. Depois de 2045, a questão decisiva não será capacidade, mas legitimidade.

O desafio não é produzir segurança abundante. É impedir que a abundância de informação destrua a liberdade que a segurança deveria proteger.

Redesenhar os sistemas essenciais · 10

O padrão comum: perceber, decidir, agir e aprender

As seis áreas revelam a mesma sequência – e o mesmo limite.

Primeiro, a IA torna visível o que antes era observado de modo intermitente: o estado do paciente, a dificuldade do aluno, a necessidade da planta, o avanço da obra, o fluxo de pessoas e mercadorias, o evento urbano. Depois, transforma observação em decisão. Em seguida, a robótica converte decisão em ação. Por fim, os resultados retornam ao sistema e melhoram a próxima decisão.

Essa sequência – perceber, decidir, agir e aprender – é mais importante do que qualquer máquina específica. Um robô isolado automatiza uma tarefa. Uma

rede que fecha esse ciclo reorganiza a instituição. Quando o ciclo funciona continuamente, o sistema deixa de esperar que a necessidade se transforme em crise: a doença é identificada antes da internação; a lacuna educacional, antes da reprovação; a praga, antes da perda; a manutenção, antes do colapso; o atraso, antes do isolamento; a emergência, antes de sua expansão.

Também aparece, em todas as áreas, o mesmo limite. Quanto mais o sistema conhece e antecipa, maior seu poder sobre a pessoa. A saúde preventiva pode tornar-se controle de comportamento; o tutor individual pode definir o horizonte intelectual do aluno; a cadeia alimentar pode concentrar dados e propriedade; a casa inteligente pode transformar moradia em vigilância; a mobilidade sob demanda pode rastrear rotinas; a segurança preditiva pode confundir probabilidade com culpa. Abundância sem liberdade seria apenas uma forma mais eficiente de dependência.

O desenho futuro precisa, portanto, combinar a autonomia operacional das máquinas com a autonomia moral das pessoas. Sistemas podem executar com pouca intervenção humana sem adquirir o direito de definir, silenciosamente, o que cada indivíduo deve desejar, aprender, consumir ou fazer. A distinção entre capacidade técnica e legitimidade política atravessará o restante desta série.

Abundância sem liberdade seria apenas uma forma mais eficiente de dependência.

3 O preço da transição

Inteligência e robótica podem reduzir custos, mas energia, capital, propriedade e poder decidem quem recebe o ganho e quem suporta a ruptura.

O preço da transição · 11

Energia, computação e robótica: a infraestrutura invisível

Não há inteligência artificial sem eletricidade, chips, data centers, conectividade e capacidade industrial. A abundância dos serviços repousa sobre novas fontes potenciais de escassez.

A Agência Internacional de Energia descreve os dois lados da relação entre energia e IA: os data centers elevam a demanda elétrica, enquanto os modelos podem otimizar redes, geração, manutenção e consumo. Isso torna a energia o denominador comum deste ensaio. Se a inteligência e o trabalho robótico dependerem de energia cara, instável ou concentrada, a abundância permanecerá limitada na origem.

Robôs também dependem de motores, sensores, baterias, materiais, peças, software e manutenção. Um humano generalista adapta-se a ambientes desorganizados com extraordinária flexibilidade. Uma máquina funciona melhor quando o ambiente foi padronizado para ela. Por isso, a reorganização institucional muitas vezes precede a substituição completa: corredores, embalagens, quartos, fazendas e componentes precisam ser redesenhados para as máquinas — não o contrário.

Há também uma assimetria fundamental de velocidades. O custo da inteligência computacional pode cair rapidamente porque software é

replicável; o custo da ação física tende a cair mais lentamente porque cada unidade precisa ser fabricada, transportada e mantida. O futuro não será determinado apenas pelo modelo mais inteligente, mas pela velocidade com que a indústria transforma inteligência em máquinas confiáveis e reparáveis.

Por fim, a dimensão geopolítica. Países que consomem modelos, nuvens e robôs sem capacidade de operar, auditar ou substituir fornecedores podem receber produtividade em troca de dependência. A infraestrutura da abundância precisa ser interoperável, redundante e suficientemente distribuída para que uma falha comercial, cibernética ou geopolítica não interrompa saúde, alimento ou segurança.

A abundância dos serviços repousa sobre a infraestrutura invisível de energia, chips e máquinas – e sobre quem a controla.

O preço da transição · 12

Do custo fixo ao custo marginal decrescente

Robôs não trabalham de graça, mas mudam a estrutura econômica dos serviços: mais capacidade deixa de exigir crescimento proporcional das horas humanas.

Comparações simples entre salário e preço de máquina escondem a transformação real. O investimento inicial em robôs, integração e infraestrutura pode ser elevado. O ganho aparece na utilização: operação contínua, precisão repetível, documentação automática, menor variabilidade e aprendizado compartilhado por toda a rede.

O custo evitado é tão importante quanto o custo pago. Na saúde, inclui erro, infecção, reinternação e internação prolongada. Na educação, inclui a impossibilidade econômica de oferecer atenção individual. Na agricultura, inclui perda, água e insumos mal aplicados. Na construção, inclui atraso,

retrabalho e desperdício. Na administração, inclui o tempo do cidadão e a duplicação entre órgãos.

O custo marginal não chega a zero. Energia, consumíveis, manutenção, substituição e supervisão permanecem. A hipótese relevante é outra: que o custo por atendimento caia à medida que utilização e escala crescem. Quando isso ocorre em várias necessidades básicas ao mesmo tempo, uma parte cada vez maior da renda deixa de ser consumida pela simples sobrevivência.

Mas preço não é custo — e aqui o segundo ensaio reencontra a tese central do primeiro. Se poucas empresas controlarem a infraestrutura, a redução do custo pode transformar-se em margem, não em acesso. Concorrência, padrões abertos, portabilidade e capacidade pública ou comunitária serão determinantes para que o ganho chegue à população.

Sem concorrência, o custo menor vira margem. Com concorrência, vira acesso.

O preço da transição · 13

A substituição não termina nas tarefas repetitivas

É confortável afirmar que as máquinas cuidarão do trabalho mecânico e os humanos permanecerão na criatividade, no julgamento e no cuidado. Essa pode ser uma fase; não há garantia de que seja o limite.

À medida que os modelos observam mais casos, testam hipóteses, conversam e aprendem com resultados, parte das atividades consideradas exclusivamente humanas também se torna automatizável. Diagnóstico, desenho de currículo, planejamento urbano, criação de projetos e comunicação emocional não são blocos indivisíveis. São conjuntos de tarefas — e, na formulação de Acemoglu e Restrepo retomada do primeiro ensaio, é tarefa por tarefa que a automação avança.

A progressão provável é clara: primeiro a IA recomenda e o humano executa; depois a máquina executa tarefas isoladas; em seguida conduz processos completos; poucos humanos supervisionam redes; IAs especializadas passam a fiscalizar outras IAs; e, finalmente, humanos definem objetivos e limites sem participar da operação cotidiana. A hipótese de fronteira pergunta se até parte da formulação de objetivos poderá ser delegada a inteligências superiores.

Diante disso, preservar artificialmente trabalho desnecessário para distribuir renda seria desperdiçar a abundância – o equivalente moderno de proibir o tear para proteger o tecelão. A questão econômica deixa de ser como garantir emprego integral e passa a ser como garantir renda, poder de escolha, propósito e participação em uma sociedade que precisa de menos trabalho para sustentar sua produção.

A transição, porém, será assimétrica. Funções desaparecem antes que as instituições de renda e propriedade se adaptem. Ganhos de produtividade convivem com desemprego, concentração e perda de poder de barganha. Uma sociedade pode ficar tecnicamente mais rica e politicamente mais desigual.

A abundância tecnológica pode produzir escassez política quando a capacidade é replicável, mas sua propriedade permanece concentrada.

O preço da transição • 14

O intervalo perigoso

Entre a automação das funções atuais e a criação de novas formas de distribuição existe um período em que a produtividade cresce sem que a segurança material acompanhe.

O longo prazo pode ser abundante – e a passagem até ele, profundamente instável. Empresas têm incentivo imediato para reduzir custos; sociedades levam muito mais tempo para reformar educação, tributação, propriedade e

proteção social. A velocidade da tecnologia e a lentidão institucional criam o que este ensaio chama de intervalo perigoso.

Nesse período, pedir que todos se requalifiquem pode ser insuficiente. Se a automação alcança simultaneamente funções físicas e cognitivas, não existe garantia de que novos empregos surjam na mesma quantidade, no mesmo lugar ou com remuneração semelhante. O empreendedorismo continuará sendo, como defendeu o primeiro ensaio, o mecanismo central de criação do novo — mas os próprios empreendedores operarão com equipes menores.

A resposta não precisa congelar a inovação. Pode ampliar propriedade, participação e acesso aos ativos produtivos; reduzir barreiras à criação de empresas; oferecer serviços essenciais independentemente do emprego; e experimentar mecanismos de renda que não exijam ocupações artificiais. O desenho completo dessas instituições pertence ao Ensaio III, mas a necessidade nasce aqui.

No fim, a legitimidade da automação dependerá da experiência concreta das pessoas. Se a sociedade perceber apenas perda de trabalho e vigilância, haverá reação — e ela será racional. Se perceber saúde melhor, aprendizagem individual, alimento mais barato, moradia acessível e mais tempo livre, a transição ganhará sustentação política.

A legitimidade da automação será decidida na vida cotidiana, não nos laboratórios.

4 A ponte para o Estado pós-escassez

Quando os sistemas essenciais se tornam contínuos, integrados e parcialmente autônomos, a administração pública deixa de ser uma coleção de portas. A pergunta seguinte é se o próprio Estado conserva sua forma.

A ponte para o Estado pós-escassez • 15

A administração que não exige requerimento

O cidadão experimenta o Estado como uma coleção de órgãos. Uma administração inteligente pode organizar os serviços por necessidades e eventos da vida, tornando sua estrutura interna invisível.

Uma família que perde renda pode precisar, simultaneamente, de benefício, alimento, renegociação de moradia, recolocação e apoio educacional. O Estado atual converte essa situação em vários formulários, várias filas e vários órgãos que não conversam entre si. Um sistema reorganizado começa pelo evento: verifica direitos, solicita consentimentos e coordena os serviços necessários.

Direitos podem ser reconhecidos sem pedido. Impostos simples podem ser calculados automaticamente. Licenças de baixo risco podem ser emitidas no momento em que requisitos verificáveis forem atendidos. Compras públicas podem ser comparadas e auditadas continuamente. O orçamento pode responder a demanda e resultado. Uma interface única traduz a intenção do cidadão e coordena órgãos que se tornam invisíveis.

Isso permite uma redução radical de tarefas administrativas e de estruturas construídas apenas para mover informação entre departamentos — exatamente o tipo de fricção que o primeiro ensaio identificou como custo invisível da burocracia. Mas há uma advertência simétrica: uma decisão automatizada que

ninguém consegue explicar não é um Estado eficiente; é uma burocracia opaca operando em velocidade computacional. Direitos exigem contestação, responsabilidade e a capacidade de interromper o sistema.

Este ensaio para aqui de propósito. A transformação profunda da administração introduz uma pergunta maior: se a inteligência artificial puder executar, coordenar e fiscalizar grande parte da máquina pública, o que continuará sendo função de ministérios, legisladores, governantes e da própria política? Essa é a matéria do Ensaio III.

O Ensaio II redesenha o Estado como operador dos sistemas essenciais. O Ensaio III perguntará se o modelo de Estado ainda é necessário em sua forma atual.

A ponte para o Estado pós-escassez • 16

Seis condições para converter produtividade em acesso

A tecnologia abre a possibilidade da abundância. As instituições determinam se ela será universal, resiliente e livre.

A primeira condição é a infraestrutura universal: energia, conectividade, identidade e dispositivos precisam alcançar toda a população; caso contrário, serviços abundantes serão apenas privilégios digitais. A segunda é a interoperabilidade: dados e máquinas devem operar por padrões comuns, para que cidadãos e governos não fiquem presos a fornecedores. A terceira é a contestabilidade: toda decisão que afete direitos deve permitir explicação, revisão e recurso efetivo.

A quarta condição é a distribuição dos ganhos: a economia de custo precisa aparecer em preço, acesso, tempo ou renda — e não apenas na margem dos proprietários da automação. A quinta é a redundância: sistemas essenciais não podem depender de um único modelo, uma única nuvem, um único fabricante

ou uma única conexão. A sexta é a preservação da liberdade: personalização e prevenção não podem justificar vigilância permanente, coerção preditiva ou paternalismo algorítmico.

Essas condições não são obstáculos externos à tecnologia. São parte de seu desenho. Um tutor que não funciona sem uma assinatura cara não é abundante. Um hospital autônomo que para quando um fornecedor sai do mercado não é resiliente. Um sistema de segurança que elimina a privacidade não entrega proteção integral. Uma administração que não admite recurso não entrega cidadania.

Um serviço só é abundante quando é universal, contestável e livre – e não apenas barato.

A ponte para o Estado pós-escassez • 17

Cronologia consolidada: da assistência à reorganização

O futuro não chegará como uma atualização simultânea. Ainda assim, é possível descrever uma sequência coerente de capacidades.

Entre 2026 e 2030, a IA entra nas instituições existentes. Copilotos documentam, recomendam e coordenam; robôs especializados transportam, limpam, colhem e montam; a logística controlada e a gestão algorítmica de tráfego avançam. O ganho é real, mas a arquitetura permanece reconhecível: escolas continuam organizadas em turmas, hospitais em plantões e Estados em órgãos.

Entre 2030 e 2035, sistemas assumem processos completos sob supervisão. O tutor conduz percursos; a fazenda opera com baixa presença humana; a logística hospitalar torna-se predominantemente robótica; componentes habitacionais são fabricados e montados com equipes menores; frotas autônomas operam em zonas e corredores selecionados; agentes coordenam

serviços entre órgãos públicos. Os humanos migram da execução para as exceções, a responsabilidade e a governança.

Entre 2035 e 2045, a mudança deixa de ser apenas operacional e torna-se institucional. A medicina torna-se contínua e preventiva; as escolas concentram-se em convivência e projetos; a produção alimentar responde à demanda; a construção vira manufatura adaptável; a mobilidade de passageiros e cargas integra-se como rede; os serviços públicos reconhecem direitos sem requerimento. Muitas profissões permanecem, mas já não estruturam o sistema.

Depois de 2045, se robótica generalista, energia, autonomia, integração e governança amadurecerem, torna-se possível imaginar sistemas essenciais amplamente autônomos. Saúde, educação, alimentação, mobilidade e o componente físico da habitação aproximam-se de custos marginais baixos. A escassez desloca-se para terra, energia, materiais raros, relações humanas, poder político, propriedade e liberdade.

Essas datas são cenários condicionais. O mecanismo é mais importante do que o calendário: percepção, decisão, execução, aprendizado, escala e reorganização.

Conclusão: a infraestrutura da abundância

A inteligência artificial pode tornar a capacidade cognitiva replicável. A robótica pode tornar a ação física escalável. Juntas, elas alteram a relação entre necessidade e trabalho humano.

O hospital não precisa continuar organizado pelo cansaço e pela troca de turnos. A escola não precisa continuar organizada pela escassez de atenção individual. A fazenda não precisa aplicar insumos com informação incompleta. A obra não precisa permanecer uma manufatura improvisada. O transporte

não precisa depender de motoristas, veículos privados ociosos e rotas inflexíveis. A segurança não precisa depender apenas da presença. A administração não precisa exigir que o cidadão descubra qual porta abrir.

Isso não significa o desaparecimento imediato de médicos, professores, agricultores, construtores, motoristas, policiais ou servidores. Significa que as instituições criadas para distribuir seu trabalho escasso começam a perder a justificativa original. Algumas funções serão ampliadas, outras transformadas, outras reduzidas e outras desaparecerão. O objetivo não é preservar cada forma atual de trabalho, mas entregar aquilo que ela sempre buscou produzir: saúde, aprendizagem, alimento, abrigo, mobilidade, proteção e coordenação.

Há dois futuros possíveis. No primeiro, a automação reduz custos, amplia o acesso e devolve às pessoas tempo, segurança e autonomia. No segundo, reduz empregos, concentra propriedade, intensifica a vigilância e transforma necessidades básicas em serviços controlados por poucos. A tecnologia abre a fronteira; a sociedade escolhe a distribuição.

A abundância não será um estoque infinito. Será uma mudança na relação entre necessidade e capacidade: uma pessoa adicional poderá receber educação, diagnóstico, mobilidade ou serviço sem exigir crescimento proporcional das horas humanas. Quanto mais essa lógica alcançar as necessidades básicas, menos a sobrevivência dependerá do emprego tradicional – e mais urgente será redesenhar renda, propriedade e coordenação.

Muito permanece em aberto, e é honesto dizê-lo. Ainda não sabemos se a robótica generalista avançará com a mesma velocidade dos modelos; se energia e materiais acompanharão a demanda; se sistemas autônomos alcançarão confiabilidade suficiente para ambientes críticos; ou se as sociedades aceitarão delegar decisões íntimas a máquinas. Também não sabemos se os ganhos serão difundidos pela concorrência ou capturados por quem controlar modelos, dados, nuvem e infraestrutura física. Essas incertezas não anulam o exercício. Ao contrário, indicam o que precisa ser medido: o custo da ação robótica por

hora útil; a autonomia sem intervenção; a taxa e a gravidade dos erros; a energia por serviço entregue; a interoperabilidade; a concentração da propriedade; e a proporção do ganho de produtividade que efetivamente chega ao preço e ao acesso. A chegada da abundância deve ser aferida na vida das pessoas, não no número de máquinas instaladas.

Esse é o elo entre os ensaios. O primeiro apresentou a inteligência abundante e a próxima forma de organização humana. O segundo mostrou a infraestrutura capaz de converter inteligência em vida material. O terceiro enfrentará a consequência política: como coordenar, distribuir e preservar a liberdade quando o Estado e o trabalho já não ocuparem o lugar que ocuparam no mundo da escassez.

A abundância começará quando deixarmos de usar inteligência artificial para preservar instituições moldadas pela escassez e passarmos a redesenhá-las para um mundo em que inteligência e trabalho podem ser reproduzidos.

A pergunta decisiva não será quantas tarefas a IA executa, mas quantas necessidades humanas deixam de permanecer escassas.

Referências

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Clinical Safety: Hand Hygiene for Healthcare Workers. Atlanta: CDC, 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Digital Agriculture and AI Innovation Roadmap. Rome: FAO, 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy and AI. Paris: IEA, 2025.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. World Robotics. Frankfurt: IFR, 2025.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. How Shared Self-Driving Cars Could Change City Traffic. Paris: OECD/ITF, 2015.

KHAN, A. et al. Smart environments and robots for infection prevention and control: a systematic review. American Journal of Infection Control, 2022.

NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. One Click Away: AI Tutoring with Khanmigo in a Two-Year School Experiment. NBER Working Paper, 2025.

NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. Making AI Tutoring Productive: Evidence from a Mastery-Based Math Practice Experiment. NBER Working Paper, 2025.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION. Automated Vehicle Safety. Washington, DC: NHTSA, 2024.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. Additive Construction – The Path to Standardization II. Gaithersburg: NIST, 2023.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. Towards a Standard for Identifying and Managing Bias in Artificial Intelligence. Gaithersburg: NIST, 2022.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. AI in Public Service Design and Delivery. Paris: OECD, 2024.

STANFORD INSTITUTE FOR HUMAN-CENTERED AI. AI Index Report 2025. Stanford: HAI, 2025.

UNESCO. Artificial Intelligence and the Futures of Learning. Paris: UNESCO, 2023.

UN-HABITAT. AI in Cities: Risks, Applications and Governance. Nairobi: UN-Habitat, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global Patient Safety Report 2024. Geneva: WHO, 2024.