

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL · UFC · 9 DE JULHO DE 2026

From Algorithms to Ecosystems: Conceptual Links Between Artificial Intelligence and Biological Control

Por João Marcos Rodrigues dos Santos

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
8/10	7/10	7/10	Baixa

Estudo teórico da UFC que propõe um framework de 'Inteligência Artificial Ecológica', aplicando princípios de controle biológico (diversidade, redundância, resiliência) ao design de sistemas de IA. Abre caminho para IA mais robusta, ética e adaptável, com fortes aplicações em agronegócio sustentável.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma de gestão agrícola descentralizada utilizando agentes de IA inspirados em controle biológico para otimizar o uso de recursos e prevenir pragas sem pesticidas químicos.

Aplicações práticas

Desenvolvimento de algoritmos resilientes para agricultura de precisão, sistemas descentralizados de IoT agrícola e otimização de cadeias de suprimentos baseada em redundância biológica.

Potencial de mercado

Alto, especialmente no setor AgTech e Robótica Autônoma, onde a falha sistêmica é crítica e a adaptabilidade a ambientes imprevisíveis é valiosa.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A necessidade de superar comparações meramente metafóricas entre IA e sistemas biológicos, visando estruturar princípios ecológicos (como adaptabilidade e regulação descentralizada) como critérios de design para engenharia de software.

Metodologia

Análise conceitual baseada em teoria dos sistemas, mapeando níveis de correspondência (metafórica, funcional e estrutural) entre arquiteturas de IA e redes ecológicas de controle biológico.

Principais descobertas

Identificação de propriedades sistêmicas recorrentes (regulação descentralizada, comportamento emergente) e a proposição da 'ecological artificial intelligence', onde resiliência e diversidade são requisitos de design.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Políticas de fomento à computação sustentável e regulação ética para algoritmos autônomos, exigindo critérios de resiliência e diversidade em sistemas de IA governamentais.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria com departamentos de Biologia e Engenharia da UFC para validação de algoritmos bio-inspirados em estufas inteligentes ou monitoramento ambiental.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · CIÊNCIA DE DADOS

AgriLogic Bio-Inspired

Startup focada em software de gestão de cultivos usando redes neurais descentralizadas que mimetizam o controle biológico de pragas.

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · SOFTWARE

Consórcio de Bio-Computação UFC

Parceria universidade-empresa para desenvolver bibliotecas Python de código aberto focadas em autopoiese e redundância em sistemas distribuídos.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO ALTO · GOVTECH

IA Resiliente para o Semiárido

Implementação de sistemas de monitoramento hídrico baseados em 'ecological AI' para políticas públicas de adaptação climática no Ceará.

PRODUTO CORPORATIVO · IMPACTO MÉDIO · CIBERSEGURANÇA

Framework de Segurança Cibernética Bio-Adaptativa

Solução corporativa que utiliza princípios de diversidade genética para criar sistemas de defesa cibernética auto-adaptáveis e resistentes a ataques.

ABSTRACT ORIGINAL

ABSTRACT The growing convergence between artificial intelligence (AI) and biological sciences has revealed important conceptual parallels between computational systems and ecological processes. This study proposes a systems-based framework to move beyond purely metaphorical comparisons by distinguishing three analytical levels of correspondence between AI and biological control: metaphorical analogy, functional analogy and partial structural correspondence. Using biological control systems as a reference, we examine how distributed agents, feedback loops, signal processing and constraint-driven adaptation operate across multiple organizational scales. We develop a comparative mapping that highlights recurrent systemic properties and organizational similarities between AI architectures and ecological networks, including decentralized regulation, multi-level organization and emergent behaviour. By integrating insights from systems theory, ecology and computational science, the manuscript introduces the concept of 'ecological artificial intelligence', in which principles such as diversity, redundancy and resilience are operationalized as design criteria for intelligent systems. The analysis also addresses ethical and epistemological implications of this convergence, emphasizing the need to rethink intelligence as a relational and adaptive phenomenon rather than a substrate-bound attribute. This integrative perspective contributes to advancing a more rigorous and operational dialogue between artificial and biological intelligence, with potential applications in sustainable agriculture and beyond.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Da Inteligência Artificial aos Ecossistemas: Uma Nova Conexão

O cenário atual

A área de inteligência artificial (IA) e as ciências biológicas estão cada vez mais próximas. Hoje, já vemos paralelos importantes entre sistemas computacionais e processos ecológicos. No entanto, muitas dessas comparações ficam apenas no nível da metáfora, sem uma base técnica mais profunda que conecte realmente como essas duas áreas funcionam.

O que os pesquisadores fizeram

O estudo propôs um novo jeito de olhar para essa relação. Os pesquisadores criaram uma estrutura baseada em sistemas para ir além das simples comparações metafóricas. Eles definiram três níveis de análise para entender como a IA se relaciona com o controle biológico: a analogia metafórica, a analogia funcional e a correspondência estrutural parcial. O trabalho utilizou sistemas de controle biológico como referência principal para essa investigação.

Como funciona na prática

Para conectar os mundos artificial e biológico, o estudo analisou elementos comuns a ambos, como agentes distribuídos, laços de feedback, processamento de sinais e adaptação baseada em restrições. O objetivo foi entender como esses mecanismos operam em diferentes escalas organizacionais. A partir disso, os autores introduzem o conceito de "inteligência artificial ecológica". Nessa visão, princípios biológicos como diversidade, redundância e resiliência passam a ser usados como critérios de projeto para criar sistemas inteligentes.

Resultados e evidência

A principal evidência apresentada é um mapeamento comparativo. Esse mapeamento destaca propriedades que aparecem repetidamente tanto em arquiteturas de IA quanto em redes ecológicas. Entre as semelhanças encontradas estão a regulação descentralizada, a organização em múltiplos níveis e o comportamento emergente, onde o sistema como um todo age de forma complexa a partir de partes simples.

Implicações práticas

Essa nova perspectiva tem aplicações práticas promissoras, especialmente na agricultura sustentável, conforme citado pelos autores. Além disso, o trabalho traz implicações éticas e epistemológicas, sugerindo que precisamos repensar o conceito de inteligência. Em vez de vê-la como algo fixo ligado a um material (substrato), a proposta é entendê-la como um fenômeno relacional e adaptativo.

Limitações e próximos passos

O paper foca na construção conceitual e teórica desse framework e no mapeamento de paralelos. O texto não detalha experimentos práticos específicos, testes de campo ou limitações metodológicas da implementação dessa "inteligência artificial ecológica" em cenários reais. Não são especificados claramente os próximos passos para a validação empírica desses conceitos.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo é de autoria de João Marcos Rodrigues dos Santos, vinculado à Universidade Federal do Ceará (UFC). O paper não detalha a formação acadêmica específica, titulação ou outras atividades profissionais do autor além desta pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE

Operationalization · Parallels · Analogy · Autopoiesis · Adaptability · Perspective (graphical) · Redundancy (engineering) · Construct (python library)