



Computação Natural

Introdução à computação natural

A computação natural é uma área multidisciplinar que busca inspiração em uma ampla gama de campos, incluindo estatística, matemática, ciência da computação, física, química e biologia. Com o avanço do nosso entendimento sobre os fenômenos naturais, aprendemos a modelá-los e utilizá-los como fonte de inspiração para desenvolver algoritmos capazes de resolver problemas complexos. Por exemplo, o processo de busca de alimento pelas abelhas pode ser transformado em um algoritmo de otimização.

Na maioria das vezes, as abordagens da computação natural simplificam e abstraem os mecanismos e processos encontrados na natureza. Essas simplificações são necessárias por várias razões, como para criar a capacidade de gerenciar um grande número de entidades de forma eficiente.

Existem vários ramos de pesquisa dentro da computação natural, cada um com suas características únicas. De acordo com De Castro (2006), esses ramos são fundamentados em conceitos específicos.

Algoritmos evolucionários



que são inspirados pela biologia evolucionária.

Redes neurais artificiais



que são baseadas no funcionamento do sistema nervoso.

Sistemas de enxame



que imitam o comportamento de organismos, desde insetos até humanos.

Sistemas imunológicos artificiais



que extraem ideias dos sistemas imunológicos de vertebrados.

Geometria fractal



que cria padrões semelhantes à vida por meio de técnicas como sistemas de funções iterativas e sistemas L.

Vida artificial



que foca o estudo da vida na Terra para simular a vida em computadores e, às vezes, desenvolver formas sintéticas de vida.

Computação do DNA



que usa mecanismos de processamento de DNA para estabelecer novos paradigmas de computação.

Computação quântica



relacionada à física quântica para desenvolver um novo paradigma computacional.

Podemos categorizar a computação natural em três grandes áreas: (1) **computação inspirada na natureza**, (2) **simulação e emulação da natureza em computadores**, e (3) **computação com materiais naturais**.

Nesta disciplina, focaremos principalmente a **computação inspirada na natureza**. Essa área explora, por exemplo, como as abelhas e formigas resolvem tarefas complexas como a busca por alimentos, a fuga de predadores ou a organização de seus *habitats*, utilizando esses processos naturais para criar algoritmos com estratégias inovadoras. Algoritmos evolutivos e algoritmos de enxame são exemplos proeminentes dessa categoria.

A **simulação e emulação da natureza em computadores** envolve desenvolver técnicas para sintetizar e estudar fenômenos naturais, frequentemente com o objetivo de testar teorias biológicas que são difíceis de analisar por métodos convencionais. Por fim, a **computação com materiais naturais** trabalha com técnicas baseadas no uso, por exemplo, de reações químicas e moléculas de DNA, para desenvolver novos métodos computacionais.

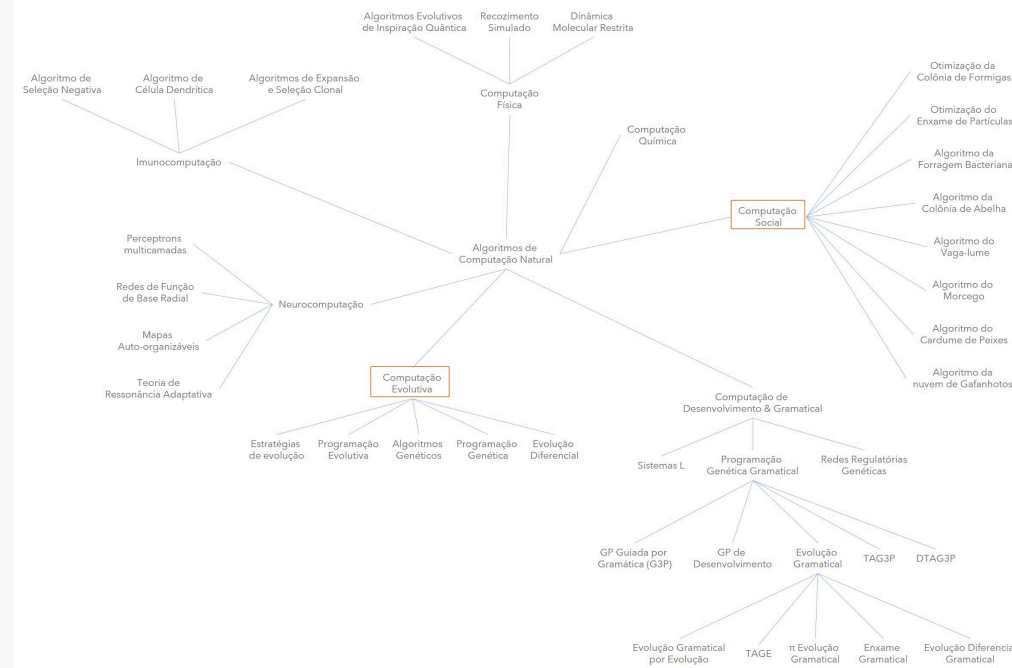


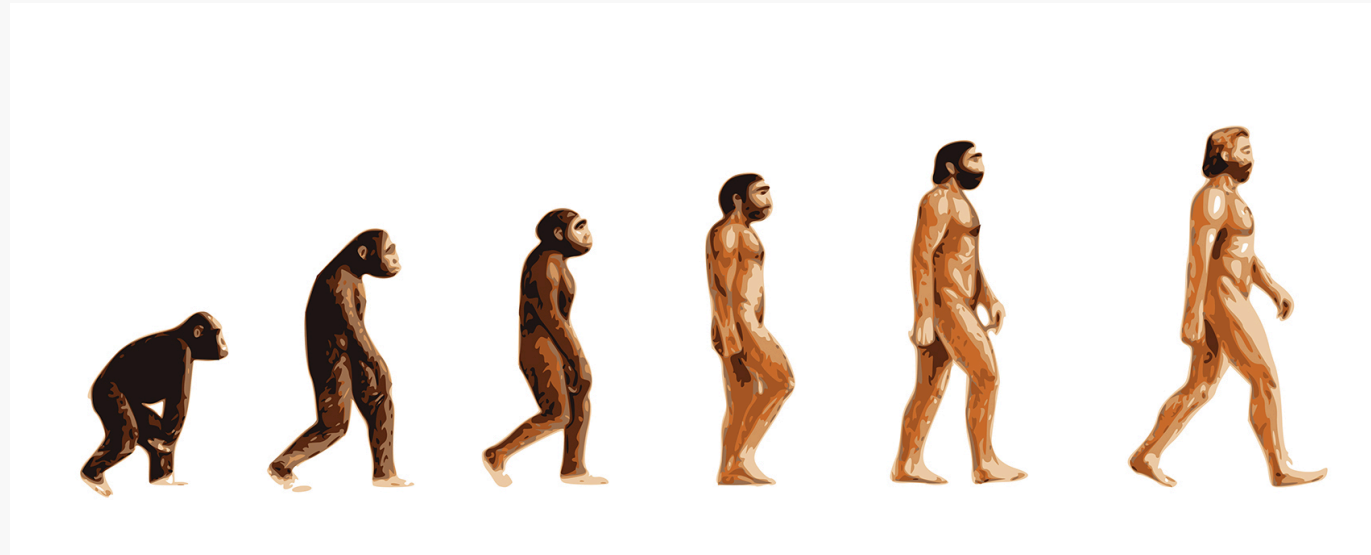
Figura 1: Taxonomia dos algoritmos de computação natural. Fonte: Adaptado de Brabazon, O’Neil e McGarraghy (2015).

Nas subseções a seguir, detalharemos elementos-chave da computação inspirada na natureza, com foco particular nos algoritmos evolutivos e algoritmos de enxame.

Algoritmos evolutivos

Esses algoritmos são parte integrante da computação evolutiva, uma área que emprega conceitos da biologia evolucionária para desenvolver métodos eficazes de pesquisa e otimização de problemas. A maioria desses algoritmos se baseia na teoria da evolução de Darwin, que postula que uma população de indivíduos capazes de reprodução, quando submetida à variação genética e à seleção natural, são conduzidas ao surgimento de novas gerações mais adaptadas ao seu ambiente. Com o tempo, as variações genéticas e a seleção natural favorecem os indivíduos mais aptos à sobrevivência.

Em um algoritmo genético, por exemplo, potenciais soluções são inicialmente geradas e aprimoradas de forma iterativa ao longo de várias gerações. O algoritmo prioriza as soluções mais eficientes para a sobrevivência e as transfere para a próxima geração. Além disso, a diversidade é introduzida nas soluções selecionadas, com o intuito de explorar soluções novas e potencialmente melhores ao longo das gerações subsequentes.




#ParaTodosVerem 

Figura 2: Ilustração do conceito de evolução. Fonte: ©Floki Fotos/Adobe Stock

A figura 2, que ilustra a evolução humana desde o ancestral macaco até o homem moderno, ressalta a natureza progressiva e adaptativa da evolução, um princípio também fundamental na computação natural, como demonstrado pelos algoritmos evolutivos na figura 1, parte do campo da computação evolutiva.

Algoritmos de enxame

Os algoritmos de enxame, que são uma parte fundamental da computação social, imitam a forma como as espécies se beneficiam da sociabilidade, melhorando substancialmente suas chances de sobrevivência. Esses benefícios se manifestam de várias maneiras.

Primeiramente, a vida em grupos aumenta as chances de acasalamento, pois proporciona aos indivíduos uma maior variedade de parceiros potenciais, melhorando assim as oportunidades de reprodução. Em segundo lugar, a procura de alimentos se torna mais eficiente, já que a cooperação permite explorar recursos de forma mais estratégica e compartilhada. Terceiro, a vida em grupos reduz a probabilidade de ataques predatórios, pois há mais olhos para vigiar e mais membros para defender o grupo. Quarto, a divisão do trabalho dentro de um grupo facilita a realização de tarefas complexas, permitindo que cada membro se especialize em diferentes funções, aumentando a eficiência geral. Por fim, a caça e outras atividades de subsistência são facilitadas pela ação coordenada do grupo, em que a colaboração aumenta a eficácia dessas atividades. Esses aspectos de sociabilidade, refletidos nos algoritmos de enxame, são essenciais para entender como a cooperação e a comunicação entre indivíduos podem ser aplicadas para resolver problemas complexos na computação.

Os algoritmos de enxame são inspirados pelo comportamento social, no qual os indivíduos aprendem tanto com suas próprias experiências quanto com as experiências dos outros. Isso permite que tarefas complexas, que seriam impossíveis para um único indivíduo, sejam executadas eficientemente por um grupo. A chave para esse processo é a divisão de tarefas e a comunicação eficaz entre os membros do grupo, o que facilita o surgimento de uma compreensão coletiva do problema a ser resolvido. Dessa forma, esses algoritmos destacam-se pela integração de comunicação e cooperação, elementos cruciais para a resolução colaborativa de desafios.



#ParaTodosVerem 

Diversas técnicas de computação natural são inspiradas pela natureza. Modelos que simulam o comportamento de pássaros, peixes, abelhas e formigas são exemplos notáveis. Essas técnicas podem ser categorizadas em duas principais linhas de pesquisa: (1) algoritmos inspirados em insetos sociais e (2) algoritmos que emulam a capacidade humana de processar informações. Ambas as categorias se baseiam em uma população, seja uma colônia ou um enxame, composta por indivíduos – que podem ser insetos ou partículas abstratas – capazes de interagir com o ambiente e uns com os outros, seja de maneira direta ou indireta. Na figura 1, sob o tema computação social, são apresentados exemplos desses algoritmos evolutivos.

Visão geral de outros ramos

As redes neurais artificiais, que constituem aspecto central da neurocomputação, representam um ramo significativo de algoritmos inspirados na natureza dentro da computação natural. Inspiradas pelo funcionamento do cérebro humano, as redes neurais artificiais são utilizadas para desenvolver modelos em tarefas de predição, classificação e agrupamento.

Nessas redes, os neurônios funcionam como unidades básicas de computação. Eles estão interconectados por meio de sinapses, que desempenham um papel crucial na modulação dos impulsos neurais e formam a base das habilidades cognitivas, como percepção, pensamento e inferência. Esses conceitos – neurônios, sinapses e estrutura das redes neurais biológicas – são fundamentais na construção de redes neurais artificiais. As redes neurais são compostas pela interconexão de múltiplos neurônios, em que cada neurônio humano pode ter centenas ou milhares de conexões com outros neurônios.

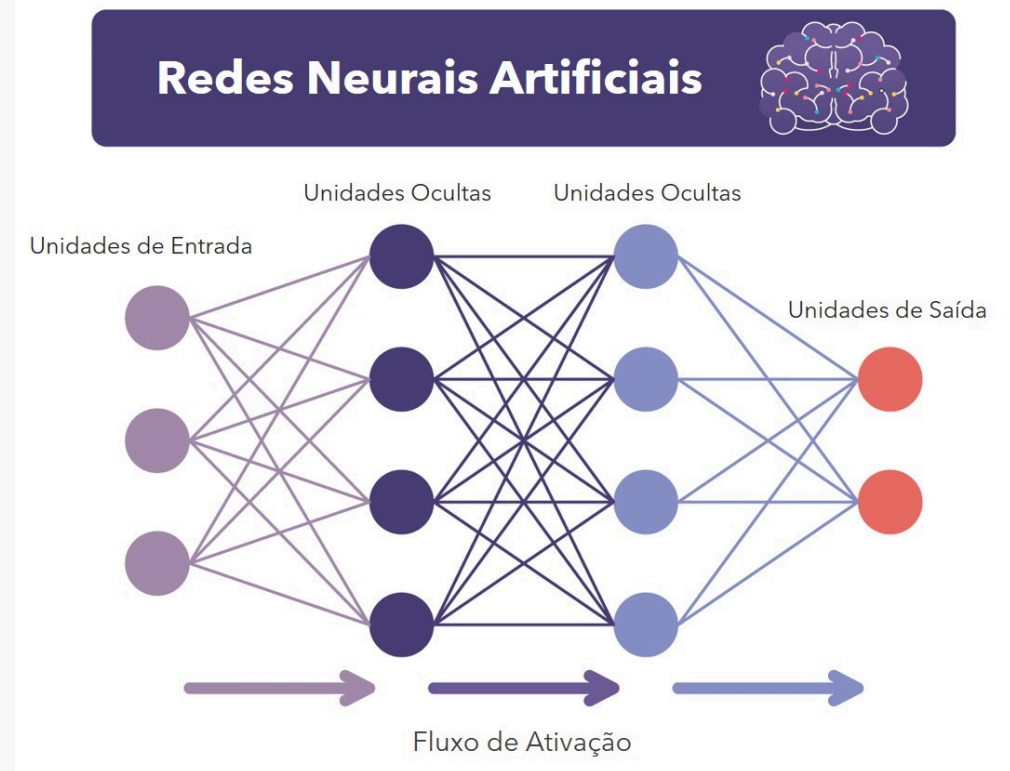


Figura 4: Representação de uma rede neural. Fonte: ©VectorMine/Adobe Stock.

Um ramo de pesquisa particularmente fascinante na computação natural é o dos sistemas imunológicos artificiais, que fazem parte da área conhecida como imunocomputação. Essa linha de estudo é inspirada no funcionamento dos sistemas imunológicos biológicos, que são notáveis pela sua eficiência em identificar e combater agentes patogênicos. Utilizando esse princípio, os sistemas imunológicos artificiais são desenvolvidos para criar algoritmos voltados para tarefas de otimização e classificação, aplicando estratégias de detecção e respostas adaptativas similares às do sistema imunológico para resolver problemas complexos em diversos campos da computação.



IMPORTANTE
IMPORTANTE

Olá, estudante. Todos os códigos que vamos ver nas videoaulas estão disponíveis no github (<https://github.com/yohangumiel/Aulas-PUC-PR/tree/main/Computacao-Natural>). Sendo assim, você pode acompanhar e rodar o código de forma prática enquanto assiste à videoaula.

| Conclusão da Unidade e Referências

Nesta seção, introduzimos o estudo da computação natural, um campo interdisciplinar que se inspira em áreas variadas como estatística, matemática, ciência da computação, física, química e biologia, visando a emular processos e mecanismos encontrados na natureza de forma simplificada e abstrata. Abordamos ramos específicos, como algoritmos evolutivos e algoritmos de enxame, que serão explorados mais detalhadamente nas próximas sessões de aprendizado.

BRABAZON, A.; O'NEILL, M.; MCGARRAGHY, S. **Natural computing algorithms**. Berlim: Springer, 2015.

DE CASTRO, L. N. **Fundamentals of natural computing**: an overview. Physics of Life Reviews, v. 4, n. 1, p. 1-36, 2007.

DE CASTRO, L. N. **Fundamentals of natural computing**: basic concepts, algorithms, and applications. Birmingham: CRC Press, 2006.

