

Pós-Graduação Lato Sensu
Curso de Especialização em Inteligência Artificial

Introdução a Inteligência Artificial

Prof. Dr. Lucas Dias Hiera Sampaio

PARTE 02

As partes não podem ser compiladas integralmente.
Para uso exclusivo do curso de Pós Graduação da Universidade.



Taxonomia

1. Apresentação

Na aula desta semana vamos estudar como é organizada a implementação de uma inteligência artificial desde a parte física até o processo de tomada de decisão e também, como classificamos e organizamos os diferentes problemas e paradigmas relacionados à Inteligência Artificial bem como a forma como diferentes soluções, ferramentas, algoritmos e métodos podem atuar nestas duas dimensões (problemas e paradigmas).

O primeiro tópico será discutido com base no documento da Universidade de Southampton escrito pelos professores Themis Prodromakis e Alex Serb (texto original disponibilizado no tópico 9 | Extras do Moodle). Já o segundo tópico será desenvolvido com base no Livro “An Introduction to Big Data” do Prof. Francesco Corea.

2. A superestrutura da Inteligência Artificial

Como vimos na última semana, o desenvolvimento da IA desde a década de 1960 encontrou obstáculos não somente na criação de novas linguagens de programação, paradigmas, modelos e algoritmos, mas também na infraestrutura utilizada para criar sistemas com inteligência artificial. A fim de coordenar os esforços em um campo de conhecimento tão amplo como a inteligência artificial, Pródromos e Serb propõem uma superestrutura de IA em camadas para diferenciar cada aspecto da criação de um sistema inteligente.

Vale pontuar que mesmo com o esforço destes autores, apontar exatamente a qual camada uma determinada técnica pertence pode ser uma tarefa muito difícil. A superestrutura de IA pode ser dividida em 5 camadas: física, funcional, computacional, semântica e operacional (**agency** no inglês), conforme a Figura 1.

Na camada física temos os elementos físicos que compõem o sistema, sejam eles computadores, processadores, processadores gráficos ou até mesmo nanotecnologia. Esta camada é responsável por mapear as grandezas físicas como corrente, tensão e carga em valores matemáticos abstratos como números, matrizes, conjuntos, etc, que são utilizados pelas camadas superiores.

Ao longo da especialização vocês utilizarão diferentes frameworks, bibliotecas e tecnologias que podem funcionar com desempenho melhor em determinados

dispositivos. Por exemplo, nesta camada, a fabricante de processadores gráficos nVidia possui vasta experiência e disponibiliza todo um framework que permite o uso específico do *hardware* para aplicações de IA. O nome desta tecnologia é CUDA (*Compute Unified Device Architecture*).

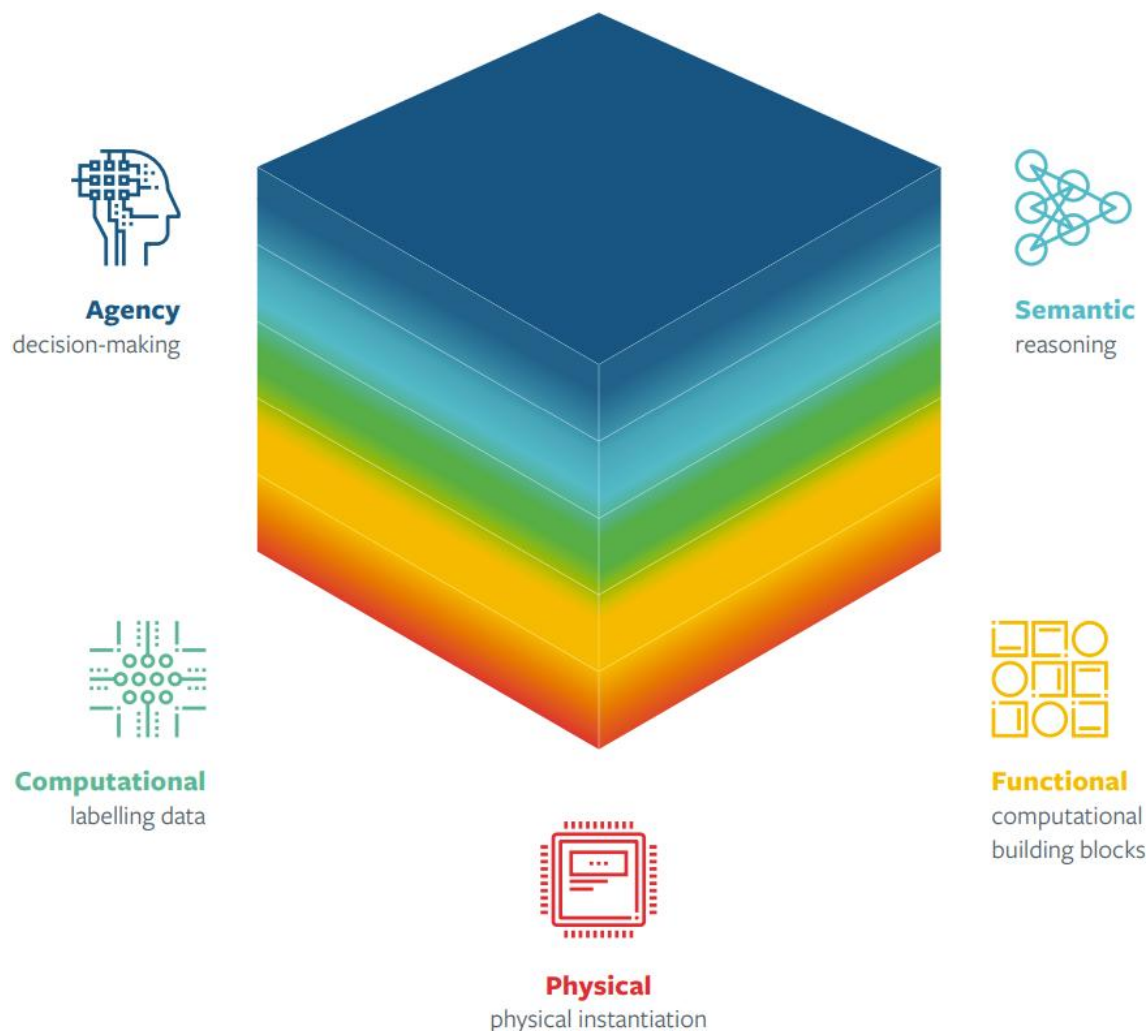


Figura 1: Camadas da superestrutura de Inteligência Artificial. Fonte: [AI Taxonomy](#)

Na camada funcional temos os blocos matemáticos elementares para a construção da IA como operadores aritméticos, funções, tabelas, variáveis numéricas, caracteres, conjuntos de elementos, etc. Esta camada é totalmente artificial pois existe apenas na abstração e é criada para atender aos propósitos para o qual se está a desenvolver a inteligência artificial. Aqui também podem ser incluídos elementos como filtros, portas lógicas e neurônios artificiais.

Na camada computacional a grande quantidade dos dados e leituras realizadas no mundo real são transformados em símbolos e valores que tornam fácil a tarefa de manipular e gerenciar a informação bem como classificá-la e rotulá-la.

Adicionalmente, esta camada pode também realizar operações com múltiplas informações simultaneamente como vetores, matrizes e hipermatrizes.

A camada semântica é onde ocorre o raciocínio. Esta camada recebe dados rotulados e deve criar hipóteses de como agir por meio de regras que podem ser expressas de forma simbólica e que, portanto, podem ser legíveis e explicáveis a seres humanos. Nesta camada temos como exemplos analisadores sintáticos e motores de inferência.

Na camada operacional o processo de tomada de decisão acontece, ou seja, esta camada utiliza as motivações para a qual o sistema foi criado, avalia o ambiente onde está inserido, utiliza o conhecimento construído para formular as hipóteses de atuação e define qual ação deve ser executada. Os elementos desta camada vão desde decidir de forma autônoma “parar as atividades e ir recarregar as baterias” até decisões morais e éticas (veja, por exemplo, o projeto *The Moral Machine* do MIT¹).

Ao longo desta disciplina nosso foco será compreender elementos, problemas, soluções, ferramentas, metodologias, algoritmos e como funcionam as 4 camadas superiores (operacional, semântica, computacional e funcional). A camada física é nosso ponto de partida: um computador será nossa ferramenta para executar e verificar o funcionamento não só dos conteúdos desta disciplina mas também de outras disciplinas na especialização.

3. Como Classificar Tecnologias de IA

Em seu livro o Prof. Francesco Corea junto a agência de inovação Axilo desenvolveram uma ferramenta visual para compreender a complexidade e profundidade do processo de classificação de tecnologias de inteligência artificial. O produto final dessa colaboração é o *AI Knowledge Map* (AIKM) que é reproduzido na Figura 2 (na próxima página). Nossos estudos desta seção serão baseados nesta figura e visam se aprofundar em cada uma das informações contidas nela.

Inicialmente é necessário observar os dois eixos apresentados na Figura 2: no eixo x temos os paradigmas de inteligência artificial (**AI Paradigms**) que representam as abordagens utilizadas para solucionar problemas específicos relacionados a IA (note que apenas as abordagens conhecidas hoje são apontadas na figura).

Já no eixo y estão os domínios de problemas de inteligência artificial, isto é, os problemas podem ser agrupados em grupos macro de acordo com as suas

¹ <https://www.moralmachine.net>

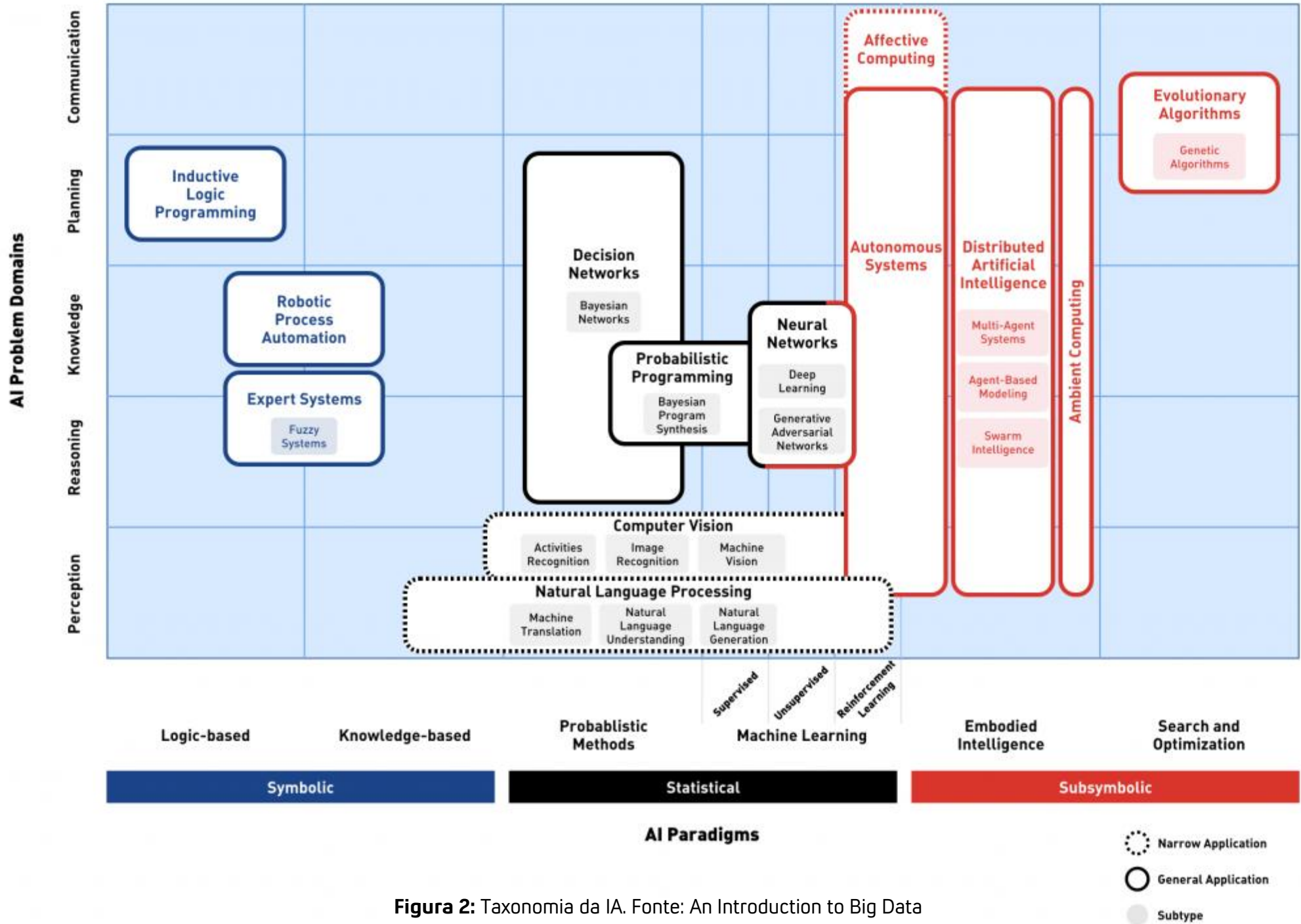


Figura 2: Taxonomia da IA. Fonte: An Introduction to Big Data

características. Os domínios de problemas apresentados são os que historicamente já conhecemos como solucionar utilizando os paradigmas de IA.

Desta forma, os paradigmas de IA são classificados em 3 grandes grupos: **Simbólico, Estatístico e Sub-simbólico**. No paradigma **simbólico** o conhecimento humano pode ser reduzido à manipulação de símbolos, já no paradigma **sub-simbólico** não há uma suposição inicial de como o conhecimento é representado e no paradigma **estatístico** são utilizadas ferramentas matemáticas para solucionar os problemas.

Dentro destes 3 grandes grupos são descritos 6 paradigmas distintos. Em termos do grupo **simbólico** as IA podem ser divididas em **baseadas em lógica** e **baseadas em conhecimento**. Já a categoria **estatística** pode ser dividida em **métodos probabilísticos** e **aprendizado de máquina**. O paradigma **sub-simbólico** é dividido em **inteligência incorporada** e **busca e otimização**. Cada um destes paradigmas são descritos nos tópicos abaixo:

- **Baseadas em Lógica / *Logic-Based***: são ferramentas utilizadas para representar o conhecimento e solucionar problemas por meio de lógica;
- **Baseadas em Conhecimento / *Knowledge Based***: utiliza um conjunto de dados que representam conceitos dentro de um domínio específico e como estes conceitos se relacionam (**ontologias**) além de utilizar grandes bancos de dados de noções, informações e regras solucionar problemas;
- **Métodos Probabilísticos / *Probabilistic Methods***: ferramentas que permitem a solução de problemas mesmo em cenários que há informação incompleta²;
- **Aprendizado de Máquina / *Machine Learning***: ferramentas que permitem aos computadores aprenderem a partir dos dados;
- **Inteligência Incorporada / *Embodied Intelligence***: é um conjunto de ferramentas que assume que um corpo (ou ao menos um conjunto parcial de funções de um corpo como movimento, percepção e interação) é necessário para atingir níveis superiores de inteligência;
- **Busca e Otimização / *Search and Optimization***: ferramentas que permitem a busca inteligente em um espaço com muitas soluções possíveis.

O eixo vertical da Figura 2, traz 5 domínios de problemas de IA e a sua divisão é clássica na área:

- **Percepção / *Perception***: a capacidade de transformar dados sensoriais de entrada (por exemplo, imagens, sons, vídeo, etc.) em informações;

² Informação incompleta pode ser relacionada a todas as possíveis entradas ou mesmo em relação a lógica/conhecimento/modelo do problema. Por exemplo, para criar um sistema de reconhecimento facial não é necessário uma foto de cada ser humano. Por outro lado, para distinguir pedestres de carros não é necessário informar as características diferentes de cada uma (e.g. carros possuem portas, pedestres não).

- **Raciocínio / Reasoning**: a capacidade de solucionar problemas;
- **Conhecimento / Knowledge**: a capacidade de representar e entender o mundo;
- **Planejamento / Planning**: a capacidade de designar e atingir objetivos;
- **Comunicação / Communication**: a habilidade de entender a linguagem e comunicar-se.

Em seu livro, o Prof. Francesco aponta o seguinte questionamento: seriam essas 5 categorias suficientes para representar os diferentes problemas atuais ou seriam necessários mais domínios como por exemplo **criatividade** ou **movimentação**?

Outro ponto importante na figura é a diferença entre aplicação restrita (**narrow application**) e aplicação genérica (**general application**). Esta diferenciação é feita para apontar ferramentas e métodos de IA que podem ser utilizados para resolver problemas específicos (aplicação restrita) ou que podem ser utilizados para solucionar múltiplos problemas (aplicação genérica).

Para exemplificar cada uma das diferentes combinações de paradigmas e domínios de IA, são apresentadas na Figura 2, diferentes técnicas, métodos, ferramentas e abordagens de IA aplicada. Cada uma destas aplicações é descrita abaixo:

- **Programação por Lógica Indutiva / Inductive Logic Programming (ILP)**: é uma abordagem que utiliza um banco de dados de fatos e formula hipóteses utilizando lógica a partir destes fatos;
- **Automação Robótica de Processos / Robotic Process Automation (RPA)**: é uma tecnologia capaz de extrair uma lista de regras e ações a serem executadas simplesmente observado um usuário realizando as tarefas, hoje é amplamente utilizada para automatizar processos nas empresas principalmente em sistemas heterogêneos (e.g. concentrar informações em planilhas a partir de múltiplas fontes);
- **Sistemas Especialistas / Expert Systems**: programa de computador que possui regras pré-estabelecidas que simulam o processo de tomada de decisão dos seres humanos. Os **sistemas difusos** ou **sistemas Fuzzy (Fuzzy Systems)** são exemplos específicos de sistemas especialistas cujo mapeamento de regras é feito num espaço contínuo entre 0 e 1 ao contrário de sistemas tradicionais de lógica digital que resulta sempre nos valores 0 ou 1;
- **Processamento de Linguagem Natural / Natural Language Processing (NLP)**: é uma área da IA que trata das linguagens naturais, i.e. dos idiomas e seus dialetos e é subdividida em três blocos: compreensão da linguagem (**Natural Language Understanding**), geração da linguagem (**Natural Language Generation**) e tradução automática (**Machine Translation**).
- **Visão Computacional / Computer Vision**: são métodos utilizados para obter e entender imagens digitais. Esta área é dividida em reconhecimento de

atividades (**Activities Recognition**), reconhecimento de imagens (**Images Recognition**) e sistemas de visão (**Machine Vision**).

- **Redes de Decisão / Decision Networks:** esta área é a generalização das conhecidas redes bayesianas (**Bayesian Networks**) que representam o mapeamento de probabilidades condicionais entre as diferentes variáveis de um sistema por meio de um grafo;
- **Programação Probabilística / Probabilistic Programming:** são ferramentas que permitem trabalhar com modelos probabilísticos no lugar de regras e variáveis fixas. A síntese de programas bayesianos (**Bayesian Program Synthesis, BPS**) é uma forma de programação probabilística onde programas bayesianos escrevem novos programas bayesianos ao invés de um ser humano fazer esta tarefa;
- **Redes Neurais / Neural Networks:** as redes neurais artificiais são uma classe de algoritmos que imitam a estrutura de um cérebro humano ou animal que é capaz de melhorar seu desempenho sem a necessidade de ser ensinado exatamente como fazê-lo. As duas maiores subclasses de redes neurais artificiais conhecidas são o aprendizado profundo (**Deep Learning**) e as redes adversárias generativas (**Generative Adversarial Networks**).
- **Computação Afetiva / Affective Computing:** é um ramo da IA capaz de trabalhar com o reconhecimento, interpretação e simulação de emoções;
- **Sistemas Autônomos / Autonomous Systems:** sistemas autônomos são a interseção entre a robótica e os sistemas inteligentes;
- **Inteligência Artificial Distribuída / Distributed Artificial Intelligence:** são tecnologias, algoritmos e métodos capazes de solucionar problemas por meio da distribuição dos mesmos em agentes autônomos que interagem entre si. Sistemas multi-agentes (**Multi-Agent Systems**), modelagem baseada em agentes (**Agent-based Modelling**) e inteligência de enxame (**Swarm Intelligence**) são três exemplos de IA distribuídas
- **Computação Ubíqua ou Inteligência Ubíqua / Ambient Computing:** é a ideia de que a computação está em todas as interações humanas e em todo o ambiente. Neste *framework*, dispositivos físicos são responsáveis por realizar o sensoriamento, perceber e responder com consciência do contexto aos estímulos exteriores que geralmente são criados pela interação com seres humanos.
- **Algoritmos Evolucionários / Evolutionary Algorithms:** são um subconjunto de uma área maior da ciência da computação chamada de computação evolucionária. As ferramentas computacionais desta área utilizam mecanismos inspirados na biologia (como mutação, reprodução, inteligência coletiva, etc.) para procurar as melhores soluções de um problema. Os mais conhecidos algoritmos deste conjunto são os algoritmos genéticos (**Genetic Algorithms**), uma heurística que segue o processo de seleção natural para decidir a solução candidata mais adequada para um problema.

Durante o curso de especialização em Inteligência Artificial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná vocês estudarão diferentes pontos dentro da

taxonomia de IA. Algumas disciplinas como Estatística aplicada, Data Mining, Big Data e Cloud Computing abordarão aspectos relacionados a diferentes camadas do modelo de referência de Inteligência Artificial aplicada criado na Universidade de Southampton. Por outro lado, as demais disciplinas dos próximos módulos irão abordar tópicos diretamente relacionados aos exemplos de aplicação de IA apresentados na Figura 2.

Para que vocês tenham conhecimento, desde já, de quais são estes pontos, a Figura 3 é apresentada na próxima página e as disciplinas apontadas são as seguintes:

- **Disciplina 4: Meta-Heurísticas e Otimização Combinatória**
- **Disciplina 5: Redes Neurais Artificiais**
- **Disciplina 6: Machine Learning**
- **Disciplina 8: Deep Learning**
- **Disciplina 9: Mineração de Texto e Introdução a Processamento de Linguagem Natural**
- **Disciplina 10: Visão Computacional**
- **Disciplina 11: Introdução à Robótica e Aplicações**

4. As Cinco Tribos do Aprendizado de Máquina

Em seu livro publicado em 2015, intitulado *The Master Algorithm*, Pedro Domingos discorre sobre as cinco tribos/escolas do aprendizado de máquina, isto é, um conjunto de conceitos, fundamentos e linhas de raciocínio que permitem desenvolver soluções para os mais diferentes problemas. De acordo com Domingos, estas cinco escolas são: os evolucionistas, os connexionistas, os simbolistas, os bayesianos e os que fazem analogias.

Os evolucionistas acreditam que o todo o aprendizado pode ser feito por meio da seleção natural. Com base na teoria de evolução das espécies de Charles Darwin, esta escola acredita que uma vez que o processo evolutivo gerou o próprio ser humano, ao simular este processo no computador o conhecimento pode ser atingido.

Por outro lado, os connexionistas acreditam que o aprendizado é aquilo que o cérebro é capaz de fazer, portanto, para compreender o processo é necessário fazer a engenharia reversa do mesmo. O aprendizado no cérebro é realizado por meio do ajuste das conexões entre os neurônios e portanto o desafio é determinar quais conexões causam erros e ajustá-las.

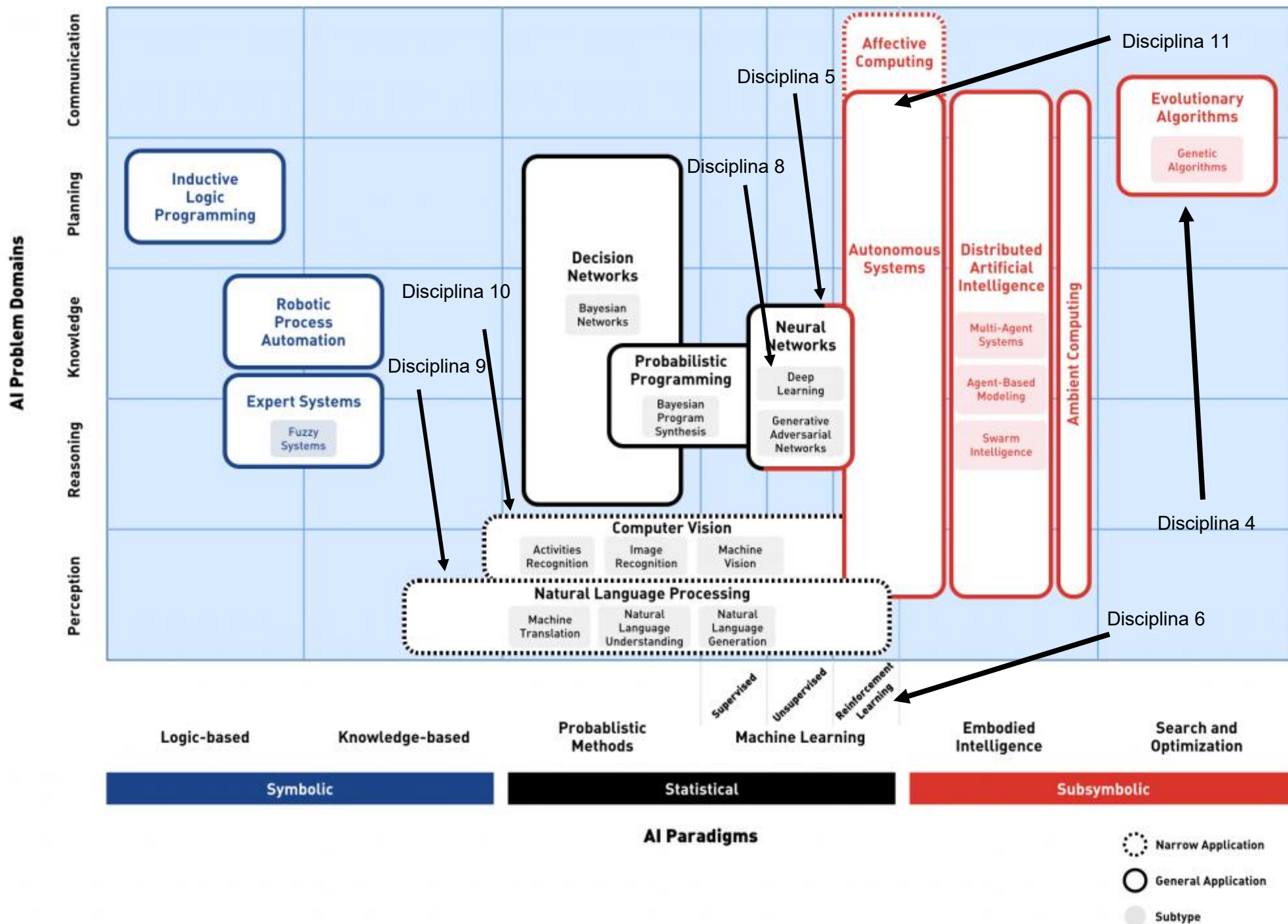


Figura 3: Relação das disciplinas da especialização com a taxonomia de IA.

Os simbolistas acreditam que toda a inteligência pode ser reduzida a manipulação de símbolos da mesma forma que um matemático soluciona equações. Além disso, esta escola entende que o aprendizado não pode ser realizado sem nenhum tipo de conhecimento a priori, portanto, é necessário incorporar conhecimento pré-existente no processo de aprendizagem.

Os bayesianos preocupam-se acima de tudo com a incerteza. Todo conhecimento aprendido é incerto, e o próprio processo de aprendizagem é uma forma incerta de inferência. Nesta escola, o problema é lidar com informação ruidosa, incompleta e muitas vezes contraditória.

Por fim, a escola de analogias (daqueles que fazem analogias) acredita que a chave para o aprendizado está em reconhecer as similaridades entre as situações e inferir novas similaridades (analogias). Por exemplo: se dois pacientes exibem os mesmos sintomas, talvez eles tenham a mesma doença. A dificuldade aqui é determinar quão similar duas coisas são.

No livro de Pedro Domingos, cada uma destas escolas é capaz de resolver de forma muito clara problemas relacionados à Inteligência Artificial, porém nenhuma delas é capaz de resolver os problemas das 5 escolas. O objetivo do livro é encontrar um único algoritmo que seja capaz de solucionar problemas destas cinco escolas.

A taxonomia de Pedro Domingos pode ser ligada diretamente a de Francesco Corea. Os simbolistas são a escola que seguem a abordagem baseada em lógica (***logic-based***), os connexionistas seguem as abordagens relacionadas ao aprendizado de máquina (***machine learning***), os evolucionistas o paradigma de busca e otimização, os bayesianos utilizam os métodos probabilísticos e os que fazem analogias seguem os métodos baseados em conhecimento (***knowledge-based***).

5. Nas próximas aulas

Na próxima apostila iremos estudar os formalismos e a teoria dos problemas relacionados a busca, exemplos de algoritmos e a diferença de desempenho entre os métodos estudados.