

Inteligência Artificial: Avanços e Tendências

Organizadores:

Fabio G. Cozman

Guilherme Ary Plonski

Hugo Neri



Instituto de
Estudos
Avançados da
Universidade de
São Paulo



Center for
Artificial
Intelligence

Inteligência Artificial: Avanços e Tendências

Este trabalho foi realizado pelo Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP) em parceria com o Centro de Inteligência Artificial (C4AI-USP), com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (processo FAPESP #2019/07665-4) e da IBM Corporation.





Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a [Licença Creative Commons](#) indicada.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Inteligência artificial [livro eletrônico] :
avanços e tendências / organizadores Fabio G.
Cozman, Guilherme Ary Plonski, Hugo Neri. --
São Paulo : Instituto de Estudos Avançados, 2021.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-87773-13-1
DOI 10.11606/9786587773131

1. Aspectos morais e éticos 2. Inteligência
artificial 3. Inteligência artificial - Aspectos
sociais 4. Inteligência artificial - Inovações
tecnológicas I. Cozman, Fabio G. II. Plonski,
Guilherme Ary. III. Neri, Hugo.

21-75618

CDD-006.3

Índices para catálogo sistemático:

1. Inteligência artificial 006.3

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Organizadores:
Fabio G. Cozman
Guilherme Ary Plonski
Hugo Neri

Inteligência Artificial: Avanços e Tendências

DOI 10.11606/9786587773131

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Vahan Agopyan
Vice-reitor: Antonio Carlos Hernandes

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS

Diretor: Guilherme Ary Plonski
Vice-diretora: Roseli de Deus Lopes

Ficha técnica

Autores

Alexandre Moreli	Juliana Abrusio
Anna Helena Reali Costa	Juliano Maranhão
Bruno Moreschi	Leliane Nunes de Barros
Guilherme Ary Plonski	Liang Zhao
Didiana Prata	Lucas Antônio Moscato
Elizabeth Nantes Cavalcante	Marcelo Finger
Fabio G. Cozman	Marco Almada
Fábio Meletti de Oliveira Barros	Maria Cristina Ferreira de Oliveira
Fernando Martins	Murillo Guimarães Carneiro
Giselle Beiguelman	Nuno Fouto
Glauco Arbix	Oswaldo N. Oliveira Jr.
Hugo Neri	Solange Oliveira Rezende
Jaime Simão Sichman	Teixeira Coelho
José Afonso Mazzon	Thiago Christiano Silva
Jose F. Rodrigues-Jr.	Veridiana Domingos Cordeiro

Organização

Fabio G. Cozman, Guilherme Ary Plonski e Hugo Neri

Preparação e Revisão

Nelson Barboza

Projeto gráfico e diagramação

Vinicius Marciano

Produção

Fernanda Cunha Rezende

Sumário

Apresentação **9**

Hugo Neri, Fabio G. Cozman, Guilherme Ary Plonski

Introdução **17**

O que, afinal, é Inteligência Artificial? 19

Fabio G. Cozman, Hugo Neri

Trajetória acadêmica da Inteligência Artificial no Brasil 28

Anna Helena Reali Costa, Leliane Nunes de Barros, Solange Oliveira Rezende, Jaime Simão Sichman, Hugo Neri

Ética e Estética **65**

Inteligência Artificial, ética artificial 67

Teixeira Coelho

Quando se compra inteligência artificial, o que de fato se leva para casa? Além do “oba-oba” 95

Marcelo Finger

Os reveladores erros das máquinas “inteligentes” 110

Bruno Moreschi

A subjetividade da interpretação de imagens pelas Inteligências Artificiais 125

Didiana Prata, Giselle Beiguelman

Ciências **147**

O futuro da ciência e tecnologia com as máquinas inteligentes 149

Jose F. Rodrigues-Jr., Maria Cristina Ferreira de Oliveira, Osvaldo N. Oliveira Jr.

Classificação de Dados de Alto Nível em Redes Complexas 179

Liang Zhao, Thiago Christiano Silva, Murillo Guimarães Carneiro

Novas questões para sociologia contemporânea: os impactos da Inteligência Artificial e dos algoritmos nas relações sociais 204

Veridiana Domingos Cordeiro

A tirania do acesso à informação: dominando a explosão digital de documentos textuais 225

Alexandre Moreli

Ciências Sociais Aplicadas **259**

“Algoritmos não são inteligentes nem têm ética, nós temos”: a transparência no centro da construção de uma IA ética 260

Glauco Arbix

Inteligência Artificial e o Direito: duas perspectivas 285

Juliano Maranhão, Juliana Abrusio, Marco Almada

Autonomia dos sistemas inteligentes artificiais 309

Elizabeth Nantes Cavalcante, Lucas Antonio Moscato

Inteligência Artificial no Brasil: *startups*, inovação e políticas públicas 341
Fernando Martins, Hugo Neri

Reflexões sobre potenciais aplicações da Inteligência Artificial no mercado varejista 360
Nuno Fouto

Aplicações de técnicas de Análise de Dados e Inteligência Artificial em Finanças e Marketing 373
José Afonso Mazzon, Fabio Meletti de Oliveira Barros

Posfácio 405

Inteligência Artificial em tempos de covid-19
Guilherme Ary Plonski, Fabio G. Cozman, Hugo Neri

Trajetória acadêmica da Inteligência Artificial no Brasil

Anna Helena Reali Costa¹

Leliane Nunes de Barros²

Solange Oliveira Rezende³

Jaime Simão Sichman⁴

Hugo Neri⁵

Máquinas que se assemelham a humanos, em sua aparência física e seu comportamento intelectual, sempre foram um sonho da humanidade. Porém, somente na metade do século XX, com o advento dos computadores e das linguagens de programação, a ideia de inteligência de máquina começou a se materializar. Em seu artigo seminal de 1950, Alan Turing cristalizou ideias sobre a possibilidade de se construir um aparato eletrônico que demonstre um comportamento inteligente e ainda propôs um teste para medir a inteligência de uma máquina que hoje é conhecido como o Teste de Turing. A interpretação mais usual do Teste de Turing é aquela na qual um interrogador fica incumbido de tentar determinar qual interlocutor é uma máquina e qual é um ser humano, com base somente no diálogo.

A expressão Inteligência Artificial (IA), entretanto, foi cunhada por John McCarthy somente em 1956, mais precisamente em

1 Professora titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e diretora do Laboratório de Técnicas Inteligentes (LTI). ✉ anna.reali@usp.br

2 Professora associada do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo. ✉ leliane@ime.usp.br

3 Professora associada do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo. ✉ solange@icmc.usp.br

4 Professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. ✉ jaime.sichman@poli.usp.br

5 Pesquisador de Pós-Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. ✉ hugo.munhoz@usp.br

uma conferência em Dartmouth, nos Estados Unidos. O objetivo da IA recém-criada era resolver problemas matemáticos complexos e criar máquinas “pensantes”, impulsionando as pesquisas em duas abordagens concorrentes. Uma delas usa regras formais para manipular símbolos e é baseada na lógica, sendo caracterizada como a IA simbólica. A outra abordagem, chamada de IA conexionista, foi inspirada em como o cérebro humano funciona e deu origem às chamadas Redes Neurais Artificiais (RNA). As RNA precisam ser treinadas a partir de dados e usam certos procedimentos para que possam resolver problemas.

Foi nessa época que, por exemplo, em 1958, John McCarthy especificou a versão original da linguagem LISP (*List Processing*), tornando-se rapidamente a linguagem de programação preferida para pesquisas em IA na época. Em 1965 Lotfi Zadeh (1965) introduziu a lógica nebulosa, e Edward Feigenbaum e equipe iniciaram o Dendral,⁶ um esforço bem-sucedido de um programa baseado em conhecimento para o raciocínio científico, configurando o primeiro sistema especialista.

Já em 1966, Joseph Weizenbaum criou o ELIZA visando demonstrar a superficialidade da comunicação entre humanos e máquinas. ELIZA simplesmente buscava por padrões nas conversas e respondia com sentenças predefinidas, o que dava aos usuários a ilusão de que ELIZA estava “entendendo” a conversa, bem distante do que a comunidade de IA visa conseguir com os sistemas de processamento de linguagem natural dos dias de hoje.

Em 1969, é iniciado o projeto do robô Shakey do Stanford Research Institute,⁷ com o objetivo de integrar locomoção, percepção e solução de problemas, resultando no desenvolvimento do primeiro sistema de planejamento automatizado e do algoritmo A* de busca heurística. Alguns anos mais tarde, em 1972, Alain Colmerauer desenvolveu o PROLOG, uma linguagem de progra-

6 Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/DENDRAL>>.

7 Disponível em: <<http://www.ai.sri.com/shakey/>>.

mação em lógica matemática, especialmente apropriada para a IA e a linguística computacional, tornando-se um forte competidor do LISP.

Esses esforços representam a fase da IA com foco mais específico na representação do conhecimento que resultou em sistemas especialistas nas décadas de 1970 e 1980, os quais buscavam atingir a competência humana em tarefas específicas. A estrutura fundamental de um sistema especialista é uma base de conhecimento e um mecanismo de inferência. MYCIN (Buchanan; Shortliffe, 1984) foi um exemplo de um sistema especialista de sucesso capaz de diagnosticar e propor o tratamento de doenças causadas por bactérias. O sistema EMYCIN expandiu o MYCIN com a definição de um mecanismo de inferência geral, separado da base de conhecimento, criando o que foram denominadas “*shells*” dos sistemas especialistas, que se tornaram bastante comerciais. A grande dificuldade residia justamente na modelagem do conhecimento, dificuldade que permanece até hoje. Sistemas especialistas se mostraram muito dispendiosos para manter, difíceis de atualizar, incapazes de aprender, e cometiam erros grosseiros ao receber consultas incomuns.

Assim, mundialmente, tanto a IA simbólica quanto a conexionista não alcançaram o proclamado sucesso e, no decorrer da década de 1970, o financiamento em IA praticamente se extinguiu, o volume de pesquisas diminuiu e a comunidade de IA encolheu.

Curiosamente, é nessa época, em 1969, que foi organizada pela primeira vez em Washington, D.C., a renomada International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), uma das principais conferências mundiais da área. Os anais da IJCAI’69 tiveram as seções que são apresentadas na Tabela 1, refletindo o interesse na época em interação com a máquina (processamento de sinais, reconhecimento de padrões visuais, sistemas de perguntas e respostas, processamento de linguagem natural, linguística), prova automática de teoremas, resolução de problemas, aprendi-

zado e ainda modelagem computacional tanto do sistema fisiológico quanto da estrutura cognitiva de animais.

Tabela 1 – Nome das seções e respectivos números de artigos publicados nos anais da IJCAI'69

Nome da Seção	Número de artigos
Reconhecimento de padrões (Visão computacional)	9
Modelagem cognitiva	7
Sistemas integrados de IA	6
Simbiose homem-máquina na resolução de problemas	5
Reconhecimento de padrões (Processamento de sinais)	5
Modelagem computacional de sistemas fisiológicos	5
Solução de problemas usando heurísticas	4
Sistemas de perguntas & respostas e PLN	4
Sistemas auto-organizáveis	4
Linguística para IA	4
Métodos linguísticos e contextuais no reconhecimento de padrões	4
Sistemas e linguagens de programação para IA	3
Prova automática de teoremas	3

Fonte: *Proceedings of the First International Joint Conference on Artificial Intelligence*, totalizando 63 publicações.

Nos primeiros vinte anos, a IA simbólica foi a abordagem mais bem-sucedida, ganhando grande atratividade e exposição, além de angariar significativos financiamentos, em especial do governo americano. Já na década de 1980, foram feitas melhorias nos sistemas de IA simbólica e conexionista. Por exemplo, a partir da tese de Paul Werbos em 1974, em meados dos anos 1980

as RNA treinadas com o algoritmo de retropropagação de erros (Werbos, 1990) tornam-se amplamente usadas. Werbos também foi um pioneiro das redes neurais recorrentes. Nessa época ainda surge a arquitetura cognitiva SOAR (Laird et al., 2012), de John Laird, Allen Newell e Paul Rosenbloom, definindo os componentes computacionais necessários para agentes inteligentes de propósito geral que podem executar uma ampla gama de tarefas. Em meados da década de 1980 foi concluído um sistema especialista bastante amplo em conhecimento médico, o CADUCEUS (Banks, 1986), capaz de diagnosticar até mil doenças diferentes. Outro sistema especialista cujo protótipo foi finalizado em 1985 foi o sistema PRIDE (Mittal; Dym; Morjaria, 1985), desenvolvido na Xerox para auxiliar engenheiros a projetar transportadoras de papel dentro de máquinas fotocopadoras.

Assim, a Inteligência Artificial se tornava promissora mais uma vez, propondo soluções para problemas anteriormente considerados intratáveis, tanto com o desenvolvimento de sistemas especialistas mais poderosos quanto usando as RNA como classificadores eficientes. Em especial, mostrando a nova fase de interesse na área, surge em 1980 em Stanford, Califórnia, nos Estados Unidos, a conferência da American Association for Artificial Intelligence (AAAI), um dos mais renomados eventos acadêmicos de IA que prossegue até hoje com edições anuais. Atualmente, por ser uma conferência de âmbito internacional, a sigla AAAI passou a significar Association for the Advancement of Artificial Intelligence. A Tabela 2 mostra as seções dos anais da primeira edição dessa conferência.

Tabela 2 – Nome e número de artigos das seções dos anais da conferência AAAI'80

Nome da Seção	Número de artigos
Visão computacional	5
Síntese de programas para IA	5
Prova automática de teoremas	9
Fundamentos teóricos e matemáticos para IA	4
Resolução de problemas	3
Representação de conhecimento	3
Aquisição de conhecimento	4
Sistemas especialistas	4
Aplicações de IA	5
Processamento de linguagem natural	6

Fonte: *Proceedings of the First American Association for Artificial Intelligence, totalizando 95 artigos.*

Na Europa, a principal conferência na área denomina-se European Conference on Artificial Intelligence (Ecai) e teve sua primeira ocorrência em 1982 em Orsay, na França, prosseguindo com edições bianuais desde então. Infelizmente não se tem acesso aos anais do primeiro evento para que se possa avaliar suas seções e seus interesses particulares.

Enfim, todos esses acontecimentos iniciais na comunidade acadêmica internacional foram acompanhados por brasileiros atentos, que souberam identificar a inteligência artificial como uma área de pesquisa estratégica.

O nascimento da comunidade de Inteligência Artificial no Brasil

Até a década de 1980 ainda não havia participação de brasileiros nas conferências internacionais IJCAI, AAAI ou Ecai,⁸ nem tampouco alguma publicação de autores brasileiros no único e prestigiado periódico de IA da época, o *Artificial Intelligence Journal* (AIJ),⁹ lançado em 1970 pela editora Elsevier. Porém, a grande repercussão dos sistemas especialistas, amplamente divulgados pela mídia internacional da época, motivou o interesse de pesquisadores de várias partes do Brasil a iniciarem pesquisas em IA. Além disso, pesquisadores com alguma atuação anterior na área também renovaram seus interesses. Na Tabela 3, listamos alguns dos pesquisadores pioneiros em IA no Brasil, que muito contribuíram para o nascimento da comunidade de IA brasileira. Destacamos o pesquisador Emmanuel P. Lopes Passos, que defendeu a primeira dissertação de mestrado em IA no Brasil em 1971, intitulada *Introdução à prova automática de teoremas*, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), sob orientação de Roberto Lins de Carvalho, também pioneiro em IA no Brasil.

Assim, fazia-se necessário um encontro de pesquisadores, professores, estudantes e empresas interessadas em IA para troca de experiência e debates sobre o estado atual dessa nova área no Brasil. A iniciativa do primeiro encontro nacional de IA surgiu em 1984 com Philippe Navaux, então coordenador do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Navaux propôs aos seus

8 Foi somente a partir dos anos 1990 que um número crescente de brasileiros passou a publicar nas principais conferências internacionais de IA.

9 Alexandre Linhares e Fábio G. Cozman publicaram em 2000 os primeiros artigos de autores brasileiros no AIJ. Desde então, cerca de quatro a cinco artigos de brasileiros são publicados a cada ano nesse importante periódico. Observa-se também que pesquisadores brasileiros já compuseram seu corpo editorial, demonstrando a projeção de tais pesquisadores na área.

colegas de departamento, Antonio Carlos Rocha Costa (mestre em computação) e Rosa Maria Vicari (aluna de mestrado nas áreas de processamento de linguagem natural e tutores inteligentes), a organização do primeiro Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial (SBIA), em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Ambos aceitaram o desafio e se tornariam mais tarde expoentes e formadores de grande número de pesquisadores em IA no Brasil.

Para a satisfação de todos, aceitaram o convite para compor o Comitê de Programa da primeira edição do SBIA 35 pesquisadores de dez instituições espalhadas pelo Brasil. Foram selecionados 14 trabalhos de autores das seguintes instituições: Universidade Federal da Paraíba (UFPb), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), UFRGS, PUC-RJ e Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP). O evento incluiu seis palestras de pesquisadores convidados, e duas delas foram proferidas pelo renomado pesquisador português Helder Manuel Ferreira Coelho (orientador de mestrado e doutorado de Rosa Vicari), e um painel sobre pesquisa e desenvolvimento em IA que reuniu, entre outros, representantes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq¹⁰) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep).¹¹

Os trabalhos apresentados na primeira edição do SBIA em 1984 estavam alinhados com os temas de trabalhos apresentados nas conferências internacionais, a saber: linguagens de programação lógica e funcional, provadores de teoremas, Sistemas Especialistas (SE), Processamento de Linguagem Natural (PLN), raciocínio temporal e impreciso, visão computacional e álgebra simbólica.

10 O CNPq é uma fundação pública vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

11 A Finep é uma empresa pública ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

Nesse evento, muitos dos pesquisadores pioneiros apresentados na Tabela 3, os quais se tornaram referência para a comunidade de IA do Brasil, tiveram a oportunidade de se encontrar pela primeira vez. Além desses, participaram do evento pesquisadores que haviam recém-iniciado suas pesquisas em IA e que mais tarde também se tornariam pesquisadores de renome em IA no Brasil, entre eles: Maria Carolina Monard (ICMC-USP), Guilherme Bittencourt (Inpe), Sandra Sandri (Inpe) e Omar Nizam do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Tabela 3 – Pioneirismo dos pesquisadores envolvidos no primeiro Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial.

Pesquisadores pioneiros no Brasil	Área de atuação
Antonio Carlos Rocha Costa (UFRGS)	PLN, linguagens para IA
Rosa Maria Vicari (UFRGS)	PLN e sistemas tutores
Roberto Lins de Carvalho (PUC-RJ)	Provadores de teorema, lógica
Antonio Eduardo Costa Pereira (ICMC-USP)	PLN, SE, Prolog, Lisp
Celso de Renna Souza (Inpe)	SE, diagnóstico automático
Emmanuel Lopes Passos (IME/PUC-RJ)	SE, provadores de teorema
Gentil José Lucena Filho (UCB-DF)	Prolog, abstração temporal

Fonte: Primeiro Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial.

É importante notar que a primeira edição do SBIA ocorreu apenas dois anos após a realização da primeira conferência europeia de IA (Ecai) e apenas quatro anos após a primeira conferência americana (AAAI). Vale ainda observar que no ano da criação do SBIA foi instituída a Política Nacional de Informática (PNI),¹² cujo objetivo era estimular a indústria tecnológica nacional mediante o estabelecimento de uma reserva do mercado para as empresas de capital

12 Lei Federal n.7.232/84 de 29 de outubro de 1984, aprovada durante o governo do último presidente militar, João Figueiredo, com final da reserva de mercado para outubro de 1992.

nacional. Com isso, cresceu o interesse em áreas não só de desenvolvimento de hardware, mas também de software, como a IA.

As primeiras quatro edições do evento, ocorridas anualmente de 1984 a 1988, podem nos dar um panorama mais representativo do início da IA no Brasil. Ao analisar as três primeiras edições do evento, nota-se que houve um interesse crescente de empresas públicas e privadas: começando com uma participação nula em 1984 (pela falta de divulgação do evento para empresas), crescendo para 14% em 1985 e 40% em 1986. Podemos justificar esse fato à promessa de sucesso dos sistemas especialistas. As três instituições com o maior número de participantes nessas cinco edições foram: UFRGS, Inpe e PUC-RJ, enquanto os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul somaram o maior número de participantes.

Os livros lançados nessa fase inicial da IA no Brasil cumpriram um papel fundamental na formação dos novos pesquisadores na área. Em 1988 foi lançado o livro *Inteligência Artificial – um curso prático*, de autoria do Grupo Arariboia, liderado por Antonio Eduardo Costa Pereira e adotado por várias universidades brasileiras. Esse é considerado o primeiro livro brasileiro de Inteligência Artificial por descrever algoritmos avançados em diversas áreas: busca, robótica, processamento de linguagem natural, representação de conhecimento, planejamento, sistemas especialistas, redes neurais e aprendizado. Em 1989, o livro de bolso *Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas – ao alcance de todos* foi lançado por Emmanuel Lopes Passos e é considerado um livro de divulgação importante por explicar para um público amplo a engenharia dos sistemas especialistas da época. Vale ainda destacar o livro *Programação em Lógica e a Linguagem Prolog*, de Marco Antonio Casanova,¹³ Fernando A. C. Giorno e Antonio Luz Furtado, também adotado por várias universidades brasileiras.

13 Marco Antonio Casanova é um renomado pesquisador na área de Banco de Dados e foi o primeiro brasileiro a publicar um artigo na conferência IJCAI, em 1989, intitulado *Logic Programming with General Clauses and Defaults based on Model Elimination*.

Dos primórdios até os tempos atuais

Desde o seu surgimento, em 1984, as edições do SBIA, que a partir de 2012 passou a ser chamado de Brazilian Conference on Intelligent Systems (Bracis), passaram por diversas transformações, refletindo as necessidades e transformações da própria comunidade brasileira de IA. Assim, podemos classificar as 28 edições que ocorreram entre 1984 e 2019 em três fases distintas (fase I, II e III), descritas em termos de língua do evento (inglês ou português), abrangência (local ou internacional) e foco (em IA simbólica ou IA conexionista), como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Edições dos Eventos de Inteligência Artificial SBIA/Bracis divididos em três fases

Fase	I (1984-1994)	II (1995-2012)	III (2013-atual)
Evento	SBIA	SBIA	BRACIS
Anais	português	inglês	inglês
Abrangência	local	internacional	internacional
Foco	IA simbólica	IA simbólica e conexionista	IA conexionista
Nº Edições	11	10	7

Fonte: Elaboração dos autores.

Na Figura 1 é apresentado o número total de trabalhos por subárea da IA, divididos nas três fases destacadas na Tabela 4. As subáreas foram selecionadas com base nas edições recentes dos eventos internacionais IJCAI e AAAI, visando caracterizar os atuais focos de pesquisa da IA, e são constituídas por: aprendizado de máquina, busca, planejamento e escalonamento, representação de conhecimento e raciocínio, incerteza, sistemas multiagentes, aplicações de IA, processamento de linguagem natural, robótica e percepção, fundamentos de IA, IA na educação.

A Fase I, ocorrida entre 1984 e 1994, compreende 11 edições do SBIA com um total de 364 artigos publicados em anais impres-

so localmente. Essa fase pode ser caracterizada por seu foco na IA simbólica, uma vez que os temas preponderantes foram representação de conhecimento (com ênfase na lógica, programação lógica e sistemas especialistas) e processamento de linguagem natural, conforme ilustra a Figura 1.

Os eventos da primeira fase, realizados em diferentes regiões do Brasil, foram importantes para incentivar alunos e pesquisadores brasileiros a iniciarem suas pesquisas em IA, para fortalecer os grupos de pesquisa existentes, divulgar trabalhos de pesquisa em IA entre a comunidade brasileira e para consolidar a área de inteligência artificial como uma disciplina essencial nos cursos de graduação e pós-graduação em computação e áreas afins do Brasil. A Tabela 5 mostra os organizadores e os vários estados em que ocorreram as edições do SBIA na Fase I.

A edição do SBIA de 1994 finaliza a Fase I e é considerada um divisor de águas na história do evento. Organizada em Fortaleza (CE) por Tarcísio Pequeno e Fernando Carvalho (UFCE), foi a primeira edição que adotou uma estratégia de internacionalização do evento com o intuito de aumentar a visibilidade das pesquisas feitas em IA no país. Assim, nessa edição foi adotado o inglês como língua oficial do evento, foram convidados pesquisadores estrangeiros para compor o comitê de programa e a chamada de trabalhos foi disseminada internacionalmente. O evento teve 40% das submissões oriundas de outros países e, pela primeira vez, os anais foram publicados em inglês, embora ainda editados localmente.

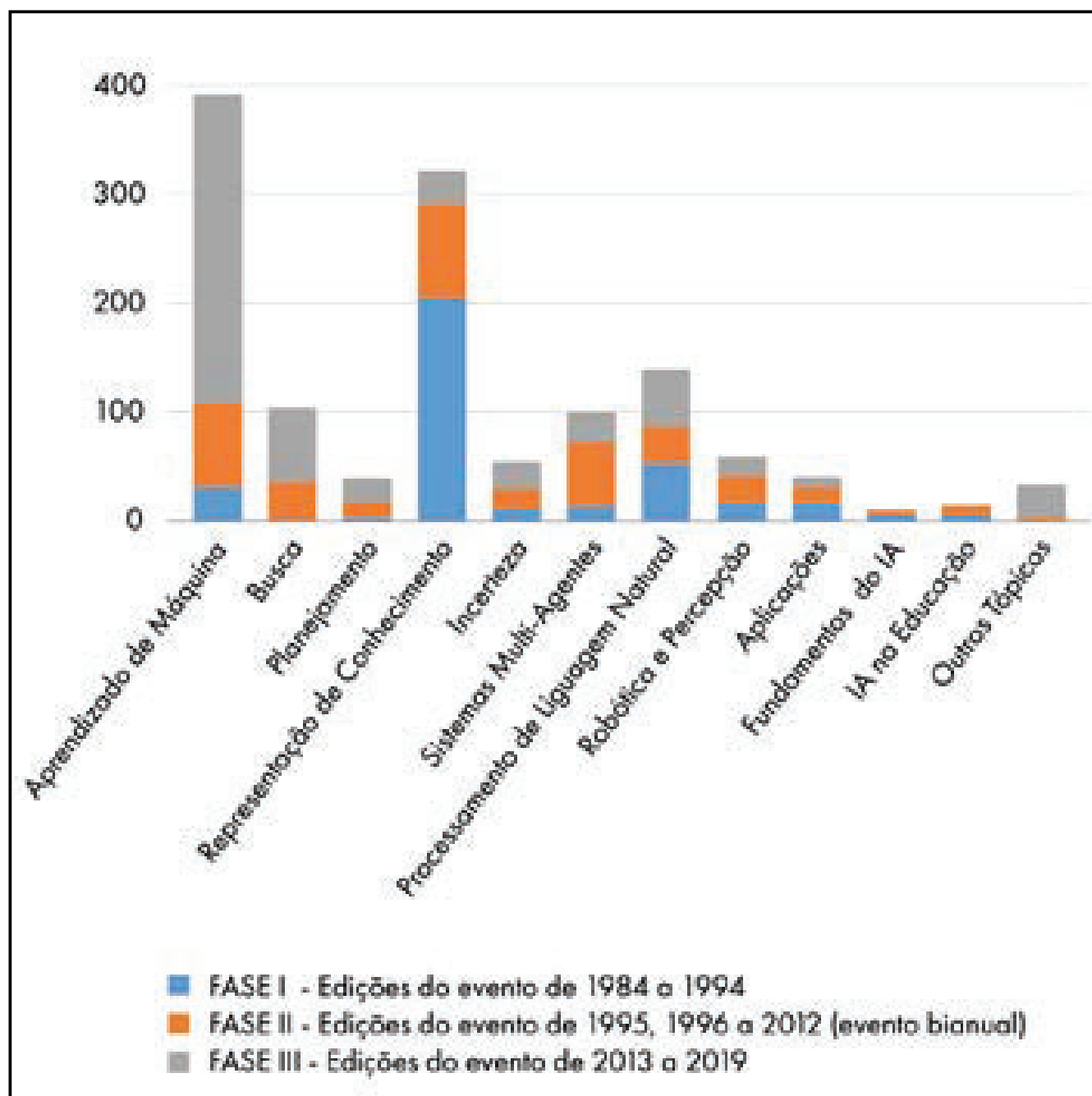


Figura 1– Análise por subárea nas 3 fases dos eventos de IA. Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 5 – Informações sobre edições do SBIA – Fase I

Ano e Local	Coordenadores gerais	Coordenadores de Programa
1984 - Porto Alegre, RS	Antonio Rocha Costa (UFRGS) Rosa Maria Vicari (UFRGS)	Antonio Rocha Costa (UFRGS) Rosa Maria Vicari (UFRGS)
1985 - São José dos Campos, SP	Celso R. Souza (Inpe)	Antonio Eduardo Costa Pereira (ICMC-USP) Antonio Carlos Rocha Costa (UFRGS)
1986 - Rio de Janeiro, RJ	Emmanuel Lopes Passos (IME-RJ)	Celso R. Souza (Inpe)
1987 - Uberlândia, MG	Sergio Scheneider (UFU)	Antônio Eduardo Costa Pereira (UFU)
1988 - Natal, RN	Paulo S. M. Pires (UFRN)	Emmanuel Lopes Passos (IME-RJ)
1989 - Rio de Janeiro, RJ	Daniel Schwabe (PUC-RJ)	Tarcísio Pequeno (UFC)
1990 - Campina Grande, PB	Hélio Menezes Silva (UFPB)	Ulrich Schiel (UFPB)
1991 - Brasília, DF	Gentil Lucena (CNPq/UnB)	Guilherme Bittencourt (Inpe)
1992 - Rio de Janeiro, RJ	Pedro M. Silveira (UFRJ)	Edson Carvalho Filho (UFPE)
1993 - Porto Alegre, RS	Rosa Maria Vicari (UFRGS)	Antônio Rocha Costa (UFRGS) Cláudio Geyer (UFRGS)
1994 - Fortaleza, CE	Tarcísio Pequeno (UFC) Fernando Carvalho (UFC)	Tarcísio Pequeno (UFC)

Fonte: Elaboração dos autores.

Em 1995 foi dado um passo adiante na internacionalização do evento, por iniciativa de alguns brasileiros¹⁴ que na época completavam sua formação no exterior. Foi feito um contato com a editora científica Springer-Verlag para publicar os anais do SBIA. Na época, essa editora tomou a iniciativa de publicar, em diversas partes do mundo, vários anais de eventos nacionais e regionais de IA.¹⁵ A iniciativa de editar os anais do SBIA por uma editora internacional respeitada visava não somente aumentar a disseminação internacional das pesquisas feitas no Brasil, já que a maior parte das Universidades recebia em suas bibliotecas de engenharia e computação os volumes dos anais impressos dessa editora, mas também destacar a importância das citações bibliográficas para efeito de análise de mérito das publicações.

Assim, o evento em 1995 ocorreu em Campinas (SP) sob a coordenação de Jacques Wainer e Ariadne Carvalho (Unicamp), tendo sido o primeiro a publicar internacionalmente os anais do evento na editora Springer-Verlag, o que ocorreu até 2012. Considera-se então essa edição como a primeira da Fase II do evento.

A Fase II, com 10 edições ocorridas entre 1995 e 2012, foi caracterizada pela realização de eventos bianuais e maior internacionalização. Foram publicados 378 artigos completos nessa fase. Os coordenadores de programa e gerais e respectivas instituições que viabilizaram as edições do evento dessa fase são apresentados na Tabela 6. Note que, na tabela, os estados de Paraná, Pernambuco, Maranhão e Bahia sediaram o SBIA pela primeira vez, o que mostra o crescente interesse e alcance do evento nas diversas regiões brasileiras.

14 Jaime Sichman, um dos autores deste capítulo, teve participação nessa iniciativa.

15 Por exemplo, o Encontro Português de Inteligência Artificial (EPIA) já era publicado pela Springer-Verlag desde 1989.

Tabela 6 – Informações sobre edições do SBIA – Fase II.

Ano e Local	Coordenadores gerais	Coordenadores de Programa
1995 - Campinas, SP	Ariadne Carvalho (Unicamp)	Jacques Wainer (Unicamp)
1996 - Curitiba, PR	Celso Kaestner (Cefet-PR)	Díbio Leandro Borges (Cefet-PR)
1998 - Porto Alegre, RS	Flávio M. Oliveira (PUC-RS)	Flávio M. Oliveira (PUC-RS)
2000 - Atibaia, SP	Jaime Simão Sichman (EP-USP)	Maria Carolina Monard (ICMC-USP)
2002 - Porto de Galinhas, PE	Geber Ramalho (UFPE)	Guilherme Bittencourt (UFSC)
2004 - São Luís, MA	Sofiane Labidi (UFMA)	Ana L. C. Bazzan (UFRGS)
2006 - Ribeirão Preto, SP	Solange Rezende (ICMC-USP)	Jaime S. Sichman (EP-USP) Helder Coelho (Portugal)
2008 - Salvador, BA	Augusto L. da Costa (UFBA)	Gerson Zaverucha (UFRJ)
2010 - São Bernardo do Campo, SP	Flavio Tonidandel (FEI)	Antonio Rocha Costa (UCPel-RS) Rosa M. Vicari (UFRGS)
2012 - Curitiba, PR	Aurora Pozo (UFPR) Gustavo A. G. Lugo (UTFPR) Marcos Castilho (UFPR)	Marcelo Finger (IME-USP) Leliane N. Barros (IME-USP)

Fonte: Elaboração dos autores.

A partir de 1996, decidiu-se também alterar a periodicidade do evento, de anual para bianual. A principal razão que respaldou essa decisão foi uma melhor coordenação com o evento acadêmico de Portugal, denominado “Encontro Português de Inteligência Artificial” (EPIA). Tal evento tornou-se bianual em 1987 e, com a internacionalização do SBIA, receu-se que haveria uma diminuição de submissões de pesquisadores brasileiros ao evento, bem como de pesquisadores portugueses ao SBIA.

Outras edições emblemáticas nesse período ocorreram em 2000 e 2006, edições em que houve uma maior integração com a comunidade ibero-americana. Desde 1988, ocorria a organização do evento denominado “Conferência Ibero-americana de Inteligência Artificial” (Iberamia), envolvendo basicamente Espanha, Portugal e outros países que também têm o português ou o espanhol como idioma oficial.¹⁶

Assim, em comemoração aos 500 anos do descobrimento do Brasil, resolveu-se organizar em 2000 um evento conjunto Iberamia/SBIA em Atibaia (SP). Organizado por Jaime Sichman (EP-USP) e Maria Carolina Monard (ICMC-USP), e com o apoio de sete associações científicas de IA, foi o maior evento acadêmico da área já realizado no país até então. Como convidados de destaque, podemos citar Barbara Grosz, da Harvard University e ex-presidente da AAAI, e Sebastian Thrun, então na Carnegie Mellon University (CMU) e posteriormente conhecido mundialmente por suas pesquisas em veículos autônomos no Google e pela criação do Udacity.

Já em 2006, o evento foi organizado em Ribeirão Preto (SP) e contou com a coordenação geral de Solange Rezende (ICMC-USP), sendo coordenadores de programa Jaime Sichman (USP) pelo SBIA e Helder Coelho, da Universidade de Lisboa, pelo Iberamia. Um dos palestrantes convidados foi Tom Mitchell, que acabava de criar o primeiro departamento de *Machine Learning* na Carnegie

¹⁶ Apesar de o Iberamia abranger uma comunidade maior, o SBIA sempre foi um evento maior em termos de participações e publicações.

Mellon University (CMU). Nesse evento foi comemorado o aniversário de 50 anos da realização da conferência de Dartmouth, chamado de AI@50, em que foi organizado um painel sobre os avanços da IA nesse período¹⁷ e criado o prêmio “Mérito Científico em Inteligência Artificial e Computacional”, cujos agraciados até hoje foram:

- 2008: Guilherme Bittencourt (DAS-UFSC),
- 2010: Maria Carolina Monard (ICMC-USP),
- 2012: Fernando Antonio Campos Gomide (FEE-Unicamp),
- 2015: Teresa Bernarda Ludermir (CIN-UFPE),
- 2017: André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho (ICMC-USP),
- 2019: Fabio Gagliardi Cozman (EP-USP).

Analisando mais detalhadamente a Figura 1, notamos que, além das áreas anteriormente mencionadas na Fase I, surgem destacadas na Fase II algumas outras áreas de interesse da comunidade, tais como aprendizado de máquina e sistemas multiagentes. Nessa segunda fase, ainda, iniciou-se a aproximação das comunidades de IA, então mais focada em abordagens simbólicas, e a comunidade de RNA, voltada a abordagens conexionistas. Essa última organizava desde 1994 o “Simpósio Brasileiro de Redes Neurais” (SBRN). Para otimizar o esforço logístico de organizar os simpósios, Geber Ramalho e Teresa Ludemir, ambos da UFPE, organizaram em 2002, em Porto de Galinhas (PE), a primeira edição conjunta do SBIA e do SBRN. Os dois eventos foram realizados no mesmo local e período, porém cada qual com seus próprios anais.

A realização do evento no mesmo local foi um primeiro passo na aproximação das comunidades, que se transformariam em um único evento em 2012.

¹⁷ Leliane Nunes de Barros, uma das autoras deste capítulo, foi responsável pela organização das comemorações para a AI@50.

Organizado por Flavio Tonidandel (Centro Universitário da FEI), Antonio Carlos da Rocha Costa, (Universidade Católica de Pelotas – UCPel) e Rosa Maria Vicari (UFRGS) em São Bernardo do Campo (SP), a edição de 2010 foi marcante pois comemorou a 20^a edição do SBIA. Nessa edição do evento foi editado um Memorial¹⁸ de celebração do aniversário de 20 edições do SBIA com o objetivo de preservar a história do evento. Nesse Memorial, com ajuda da comunidade, foi possível coletar todas as edições passadas do evento. Na oportunidade, o Simpósio Brasileiro de Robótica foi realizado conjuntamente com o SBIA, no mesmo local e período, o que aumentou consideravelmente o número de participantes.

Cabe ressaltar que em 2010, em virtude do 20^o aniversário do SBIA, foram homenageados Helder Manuel Ferreira Coelho (Universidade de Lisboa) e Guilherme Bittencourt (DAS-UFSC) por suas colaborações para o crescimento da IA no Brasil.

Além disso, nessa ocasião os responsáveis pelo SBIA e pelo SBRN decidiram estreitar ainda mais seus laços e criar um evento único denominado Brazilian Conference on Intelligent Systems (Bracis), a partir de 2012. Resolveu-se ainda que, a partir de 2012, o evento novamente passaria a ser anual e que tal edição seria a última com anais separados do SBIA e do SBRN, em razão de compromissos anteriormente firmados com as editoras. Era o início da Fase III do evento de IA, ocorrida desde 2013 com sete edições até o presente momento.

Nessas edições da Fase III já foram publicados 556 artigos completos. Percebemos, portanto, um aumento significativo de trabalhos submetidos e publicados nessa fase e um crescimento da comunidade de Inteligência Artificial no Brasil. Uma das razões para isso foi o aumento expressivo da popularidade da IA, como nunca visto antes. Como pode ser observado na Figura 1, na Fase III a subárea de Aprendizado de Máquina torna-se preponderante no evento, seguindo a tendência internacional da área.

18 A versão *online* deste Memorial está disponível na página da Comissão Especial de Inteligência Artificial em <<http://comissoes.sbc.org.br/ce-ia>>.

Os coordenadores gerais e de programa e respectivas instituições que viabilizaram as edições do evento na Fase III são apresentados na Tabela 7. É interessante observar que a instituição que organizou e sediou o Bracis de 2018 foi a IBM Research Brazil, mostrando uma aproximação importante com empresas de tecnologia da iniciativa privada.

Tabela 7 – Informações sobre edições do Bracis – Fase III

Ano e Local	Coordenadores gerais	Coordenadores de Programa
2013 - Fortaleza, CE	Vasco Furtado (Unifor) Tarcisio Pequeno (Unifor) Fernando C. Gomes (Unifor)	Aurora Pozo (UFPR) Heloisa A. Camargo (UFSCar)
2014 - São Carlos, SP	Heloisa A. Camargo (UFSCar) Estevam Hruschka Jr (UFSCar)	Paulo Eduardo Santos (FEI) Ricardo Prudêncio (UFPE)
2015 -Natal, RN	Anne Canuto (UFRN)	Giselle L. Pappa (UFMG) Kate C. Revoredo (UFRJ)
2016 -Recife, PE	Ricardo Prudêncio Teresa Ludermir (UFPE)	Myriam Delgado (UTFPR) Renata Vieira (PUC-RS)
2017 - Uberlândia, MG	Gina M. B. Oliveira (UFU)	Renato Tinós (FFCLRP-USP) Gustavo Batista (ICMC-USP)
2018 - São Paulo, SP	Ana Paula Appel (IBM) Paulo Cavalin (IBM)	Anna H. R. Costa (EP-USP) Liang Zhao (FFCLRP-USP)
2019 - Salvador, BA	Tatiane Nogueira Rios (UFBA) Ricardo A. Rios (UFBA) Marlo V. Santos (UFBA)	Anne Canuto (UFRN) Graçaliz Dimuro (UFRG)

Fonte: Elaboração dos autores.

Finalmente, considerando as três fases conjuntamente, o percentil total de trabalhos já publicados por subárea é apresentado na Figura 2. Observamos que as cinco subáreas mais representadas nos anais do evento são: aprendizado de máquina (29,9%); representação do conhecimento (24,6%); processamento de lingua-

gem natural (10,6%); busca (8%); e sistemas multiagentes (7,6%).

No decorrer das realizações do evento de IA nas Fases II e III outros eventos surgiram visando atender demandas específicas. Alguns desses eventos são destacados a seguir para registro de suas histórias e entrelaçamentos junto às edições do SBIA/Bracis.

Em razão da decisão de internacionalizar o SBIA a partir de 1996, com periodicidade bianual, a comunidade também decidiu criar, a partir de 1997, um evento nacional que intercalasse com o SBIA. Assim nasceu o Encontro Nacional de Inteligência Artificial (Enia), organizado como um evento satélite do congresso anual da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC), com o objetivo de aproximar a comunidade de IA a toda a comunidade de computação no país. O evento aconteceu com o CSBC em 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2011. Em 2012, após a integração dos eventos SBIA e SBRN, e dado o crescimento do número de pesquisadores na área no país, o Enia passou a ocorrer anualmente em conjunto com o Bracis e a se denominar Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (Eniac). É importante observar que o Eniac é um evento que incentiva a participação de alunos a publicarem seus trabalhos em desenvolvimento e, portanto, eles podem ser escritos e apresentados tanto em inglês quanto em português.

Em 2000, junto ao SBIA, foi organizado o primeiro Concurso de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial (CTDIA), que mais tarde passou a se chamar Concurso de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial e Computacional (CTDIAC), o qual continua com ocorrência bianual para premiar as melhores dissertações e teses de IA defendidas durante esse período no país.

O primeiro Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial (WTDIA) ocorreu junto ao SBIA de 2002 em Porto de Galinhas (PE) e, a partir daí, também passou a ocorrer a cada dois anos até sua última edição em 2010. O primeiro Symposium on Knowledge Discovery, Mining and Learning (Kdmile) foi organizado em

2013, em São Carlos (SP). Em 2014 foi organizado também em São Carlos, junto com o Bracis e, desde então, é realizado em anos pares com o Bracis (2016, 2018 e 2020) e em anos ímpares com o Brazilian Symposium on Databases (SBBD). A Competição Brasileira de Descoberta de Conhecimento (Brazilian Knowledge Discovery in Databases – KDD-BR) foi motivada por sugestões e demandas da comunidade e aconteceu em 2017, 2018 e 2019 junto ao Bracis.

O Encontro para o Processamento da Língua Portuguesa Escrita e Falada (Propor) foi criado em 1993, em Lisboa, Portugal. Em suas primeiras edições no Brasil, ocorreu conjuntamente com o SBIA (1996, 1998, 2000). Em 2008, mudou sua denominação para International Conference on Computational Processing of the Portuguese Language e passou a ser realizado de maneira autônoma, sem se associar a outros eventos. O evento é bianual, realizado de forma alternada entre Brasil e Portugal, uma vez que visa o processamento da língua portuguesa, especificamente.

O Symposium in Information and Human Language Technology (Stil), originalmente conhecido como TIL, Workshop de Tecnologia da Informação e da Linguagem Humana, de caráter nacional, teve sua primeira edição em 2003 em São Carlos (SP). Tornou-se bianual a partir de 2009, intercalando a realização com o Propor. O Stil foi realizado com o SBIA em 2006 e com o Bracis nos anos 2013, 2015, 2017 e 2019.

Acompanhando as edições do evento SBIA/Bracis nas três fases e edições de eventos relacionados como Eniac, CTDIAC, Kdmile, Propor e Stil, percebe-se a evolução da área de Inteligência Artificial e o crescente interesse em desenvolver pesquisas em IA.

Todo esse desenrolar na academia brasileira relacionado à IA teve consequências positivas. O Brasil tem demonstrado um crescimento robusto de sua pesquisa em IA. Segundo o levantamento realizado pela Fapesp,¹⁹ e divulgado em maio de 2020 na

19 A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) é uma das principais agências de fomento à pesquisa científica e tecnológica do país;

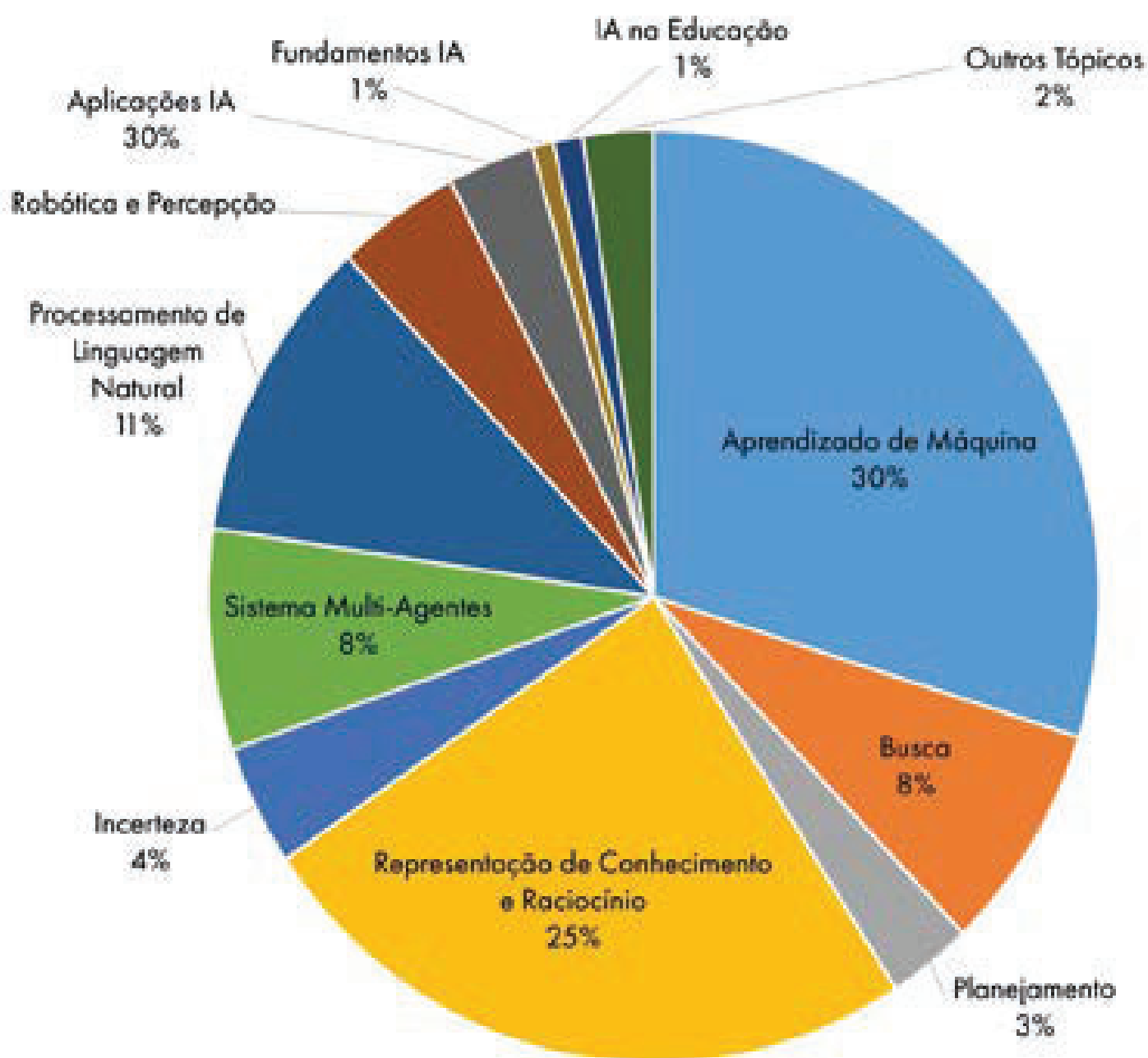


Figura 2 – Total de publicações por subárea nas edições dos eventos de IA.
Fonte: Elaborado pelos autores.

revista *Pesquisa Fapesp*,²⁰ a produção acadêmica brasileira em IA é a 12ª maior do mundo, com 1.236 publicações com participação de pesquisadores brasileiros em 2018. Além disso, a diferença entre o Brasil e os países seguintes da lista é pequena: Canadá (11º), Austrália (10º), Itália (9º), com, respectivamente, 1.361, 1.521 e 1.525 publicações. Na ponta de maiores produtores estão China (1º), Estados Unidos (2º), Índia (3º) e Reino Unido (4º), com, respectivamente, 14.475, 8.649, 4.143 e 3.033 publicações.

No Brasil, as cinco principais instituições com a maior produção acumulada entre 2014 e 2018 (Tabela 8) são a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Tabela 8 – As cinco instituições do ensino superior com maiores produções acumuladas em Inteligência Artificial entre 2014 e 2018

IES	Número de artigos
USP	860
Unicamp	395
UFPE	394
UFMG	336
UFRN	244

Fonte: Elaboração dos autores.

No âmbito das publicações indexadas de eventos e periódicos dos pesquisadores brasileiros, houve a mudança significativa das principais áreas de atuação ao longo dos últimos anos. Para verificarmos tais mudanças, construímos uma rede dinâmica bipartida a partir dos dados dos resumos de artigos em periódicos e eventos in-

possui autonomia garantida por lei e é ligada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do estado de São Paulo.

20 Revista *Pesquisa Fapesp*, Edição 291, mai. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/publicacoes-cientificas-sobre-inteligencia-artificial1/>>.

dexados de pesquisadores brasileiros e disponível no site de busca de textos acadêmicos: Semantic Scholar do Allen Institute for AI.²¹

Antes de apresentar os resultados, é importante esclarecer para o público em geral o que é uma rede dinâmica bipartida. Toda rede tem por propriedade elementar ser composta de nós e arestas (ou simplesmente pontos e conexões entre esses pontos). Na rede bipartida, há dois conjuntos independentes de nós. No nosso caso, os conjuntos são os nós que representam os pesquisadores brasileiros e os nós que representam as subáreas da IA que receberam contribuições na forma de publicações por parte dos pesquisadores brasileiros. Na rede bipartida, as arestas ocorrem de um conjunto de nós para o outro. Portanto, cada pesquisador está conectado a uma ou mais subáreas da Inteligência Artificial ao longo do tempo. A rede ser dinâmica significa apenas que ela é modificada temporalmente de acordo com as novas conexões e elementos nela representados.

Obtivemos a subárea a partir da classificação dos resumos disponíveis, seguindo a classificação prévia feita das subáreas, como nas figuras anteriores. Foi a partir da classificação dos resumos que conseguimos estabelecer a conexão entre um pesquisador e uma ou mais subáreas. A partir dessas diferentes conexões, três características são notáveis na rede que nos ajudam a entender o que aconteceu na área ao longo dos últimos anos: a primeira é a importância da subárea em razão do número de conexões que ela recebe (o que significa simplesmente a quantidade de publicações por pesquisadores brasileiros nessa subárea), a segunda é a proximidade das subáreas em razão das contribuições dos pesquisadores para mais de uma subárea e, por fim, a migração de uma subárea no grafo. Traduzindo nos termos das imagens a seguir, uma subárea é mais importante em um determinado momento quão maior ela for e o quão mais central ela estiver na rede.

A rede para o período todo contou com 5.031 de nós (5.021 pesquisadores e 10 subáreas) e 7.509 arestas. Dividimos a rede

21 Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org>>.

em cinco períodos: 1) até 2012; 2) 2013 a 2014; 3) 2015 a 2016; 4) 2017 a 2018; 5) 2019 a 2020. O primeiro período corresponde à primeira e à segunda fases apresentadas anteriormente (Tabela 2). Os períodos subsequentes correspondem à terceira fase. O intuito desse tipo de rede é observar visualmente como as subáreas aumentam e diminuem em sua importância relativa no decorrer do tempo e como elas se tornam mais ou menos centrais. A principal intuição no maior detalhamento da rede nos últimos anos se deve pela sugestão do aumento significativo da importância da subárea Aprendizado de Máquina (AM) para a IA como um todo, algo que ocorreu na última década, e, também, pelo maior número de publicações nos últimos anos. Por fim, optamos por tornar cada pesquisador anônimo na rede, mas mantendo o mesmo nó que o representa ao longo de todos os períodos.

Observa-se na Figura 3 que, até 2012, há três grandes agrupamentos de subáreas sem que haja nenhuma grande centralidade na rede. Em uma das bordas temos o agrupamento de Busca, Representação de Conhecimento, Lógica e Incerteza, e Planejamento; na parte superior há o agrupamento entre Aplicação, Robótica e Visão Computacional; e na borda direita há o agrupamento frouxo entre Aprendizado de Máquina e Sistemas Multiagentes. Desintegrada à rede estaria Processamento de Linguagem Natural (PLN). De 2013 a 2018, nas Figuras 3, 4 e 5 esses agrupamentos deixam de existir e a rede se torna totalmente interligada. Na Figura 6 vemos que nos anos de 2019 e 2020 Aprendizado de Máquina se torna visivelmente a principal subárea, sendo a maior e a mais central. Outras áreas ficam mais à margem da rede, como é o caso de representação de conhecimento (KRR) e planejamento. A estrutura da rede nos últimos anos muda pouco, sugerindo também certa consolidação da produção dos pesquisadores em certas subáreas.

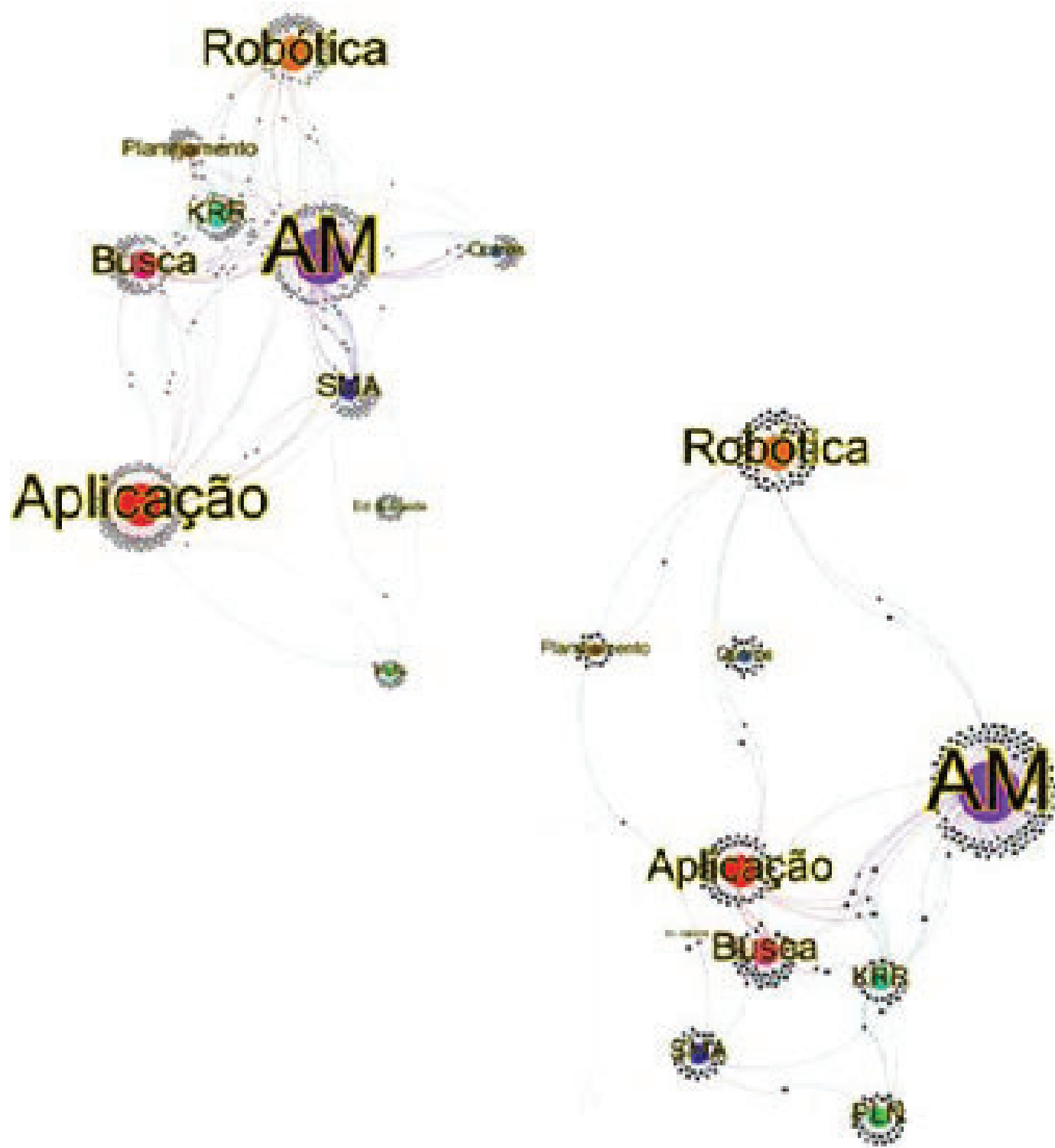


Figura 3 – Rede bipartida dos períodos até 2012 (esq.), 2013 a 2014 (direita).

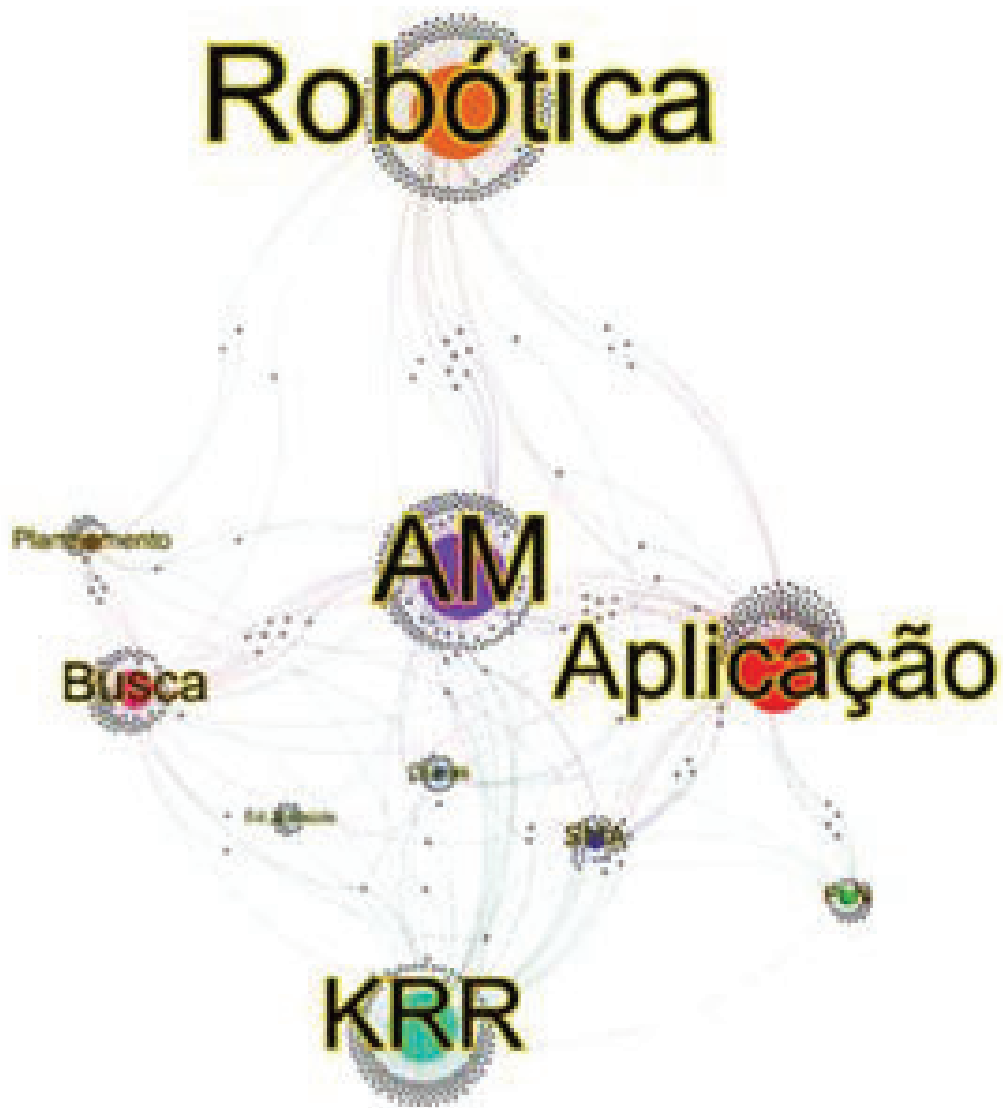


Figura 4 – Rede bipartida dos períodos de 2015 a 2016 (dir).

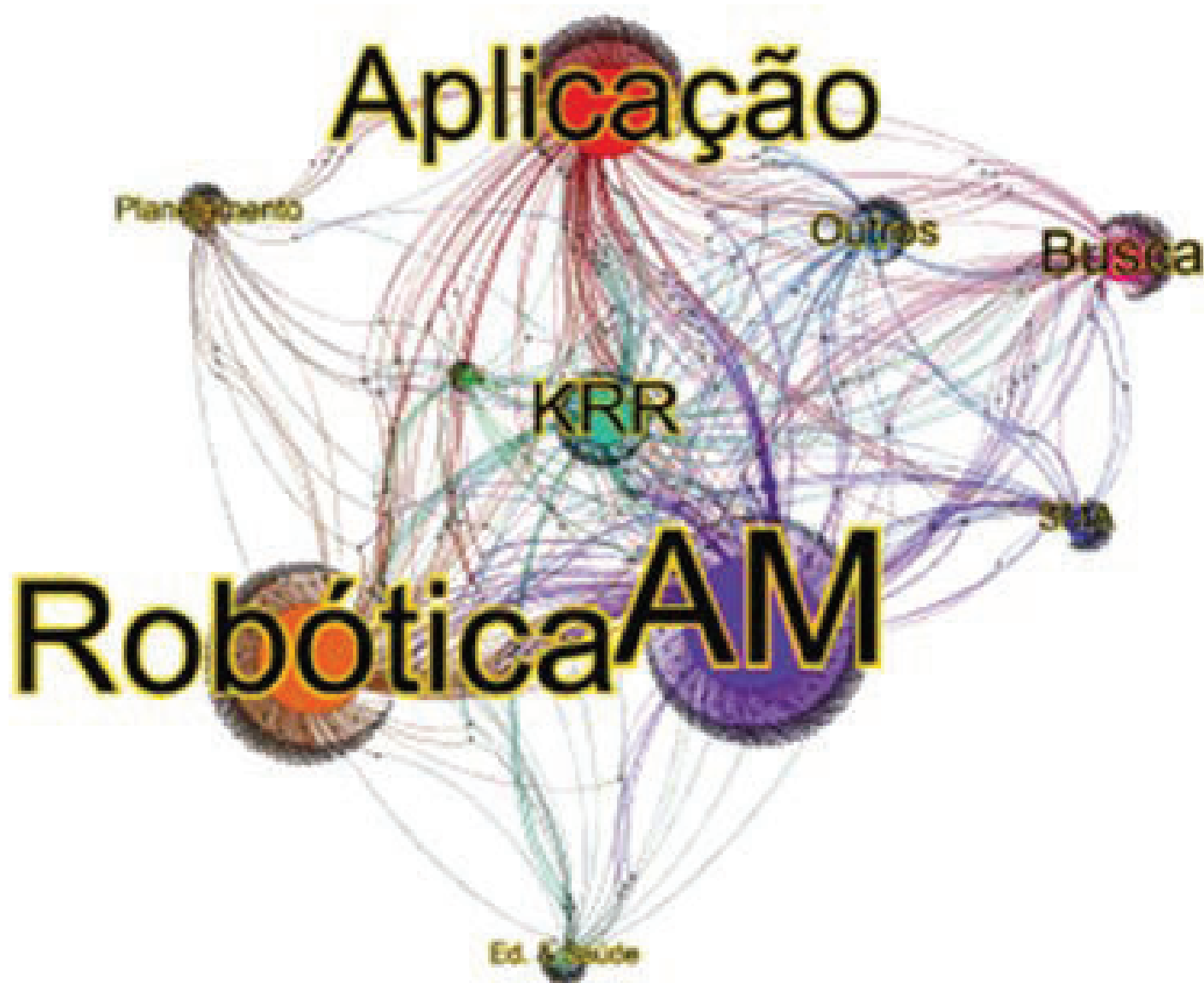


Figura 5 – Rede bipartida dos períodos de 2017 e 2018.

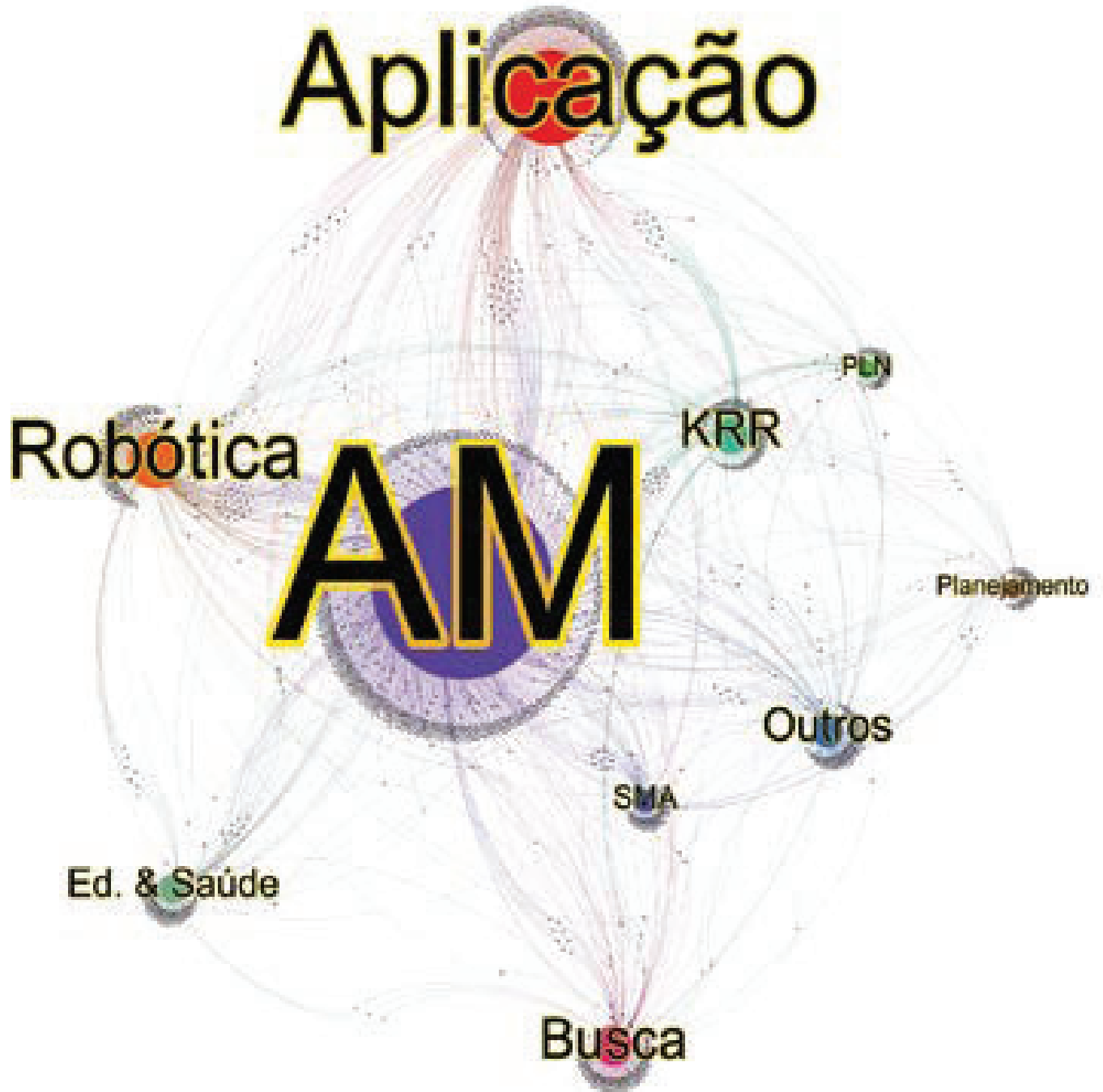


Figura 6 – Rede bipartida dos períodos de 2019 e 2020.

Impacto no mercado e o futuro

Vale a pena reforçar mais uma vez o paralelo entre o desenvolvimento da IA no Brasil e no mundo. Como já relatado, os primeiros anos dourados da IA foram de 1956, ano oficial de seu nascimento, até o início dos anos 1970. A partir daí, por quase uma década, o otimismo inicial se arrefeceu uma vez que a IA não conseguiu materializar resultados positivos concretos, extinguindo o financiamento para a área. Houve novo ressurgimento do interesse e financiamentos para a IA na década de 1980 em razão do sucesso dos sistemas especialistas que foram adotados por empresas no mundo todo. O interesse maior foi na IA simbólica, voltada à representação e manipulação do conhecimento. O surgimento do SBIA e a relação dos trabalhos lá publicados refletem esse interesse e coincidem aproximadamente com a Fase I relatada.

No final dos anos 1980 até meados da década de 1990 a IA ganhou novo descrédito, uma vez que os computadores pessoais da Apple e da IBM ganharam velocidade e potência, tornando-se mais poderosos do que as dispendiosas máquinas *LISP*. E mais uma vez o financiamento para IA foi cortado. Entretanto, do início dos anos 1990 até o ano 2011, correspondendo à Fase II do SBIA, a IA começou a ser usada com sucesso em toda indústria de tecnologia.

Mais madura e cautelosa, a área se concentrou em solucionar problemas específicos em vez de buscar o sonho de atingir a abrangência da inteligência humana. Foi nessa fase, em 1997, que ocorreu a famosa vitória do computador Deep Blue, da IBM, sobre o então campeão mundial de xadrez Garry Kasparov. Foi um marco no qual a IA venceu pela primeira vez um humano em um complexo jogo de tabuleiro. No final desse período, em 2011, o computador Watson, também da IBM, ganhou de humanos num jogo de perguntas e respostas conhecido por *Jeopardy*. O objetivo mais importante do projeto Watson era encontrar respostas para

qualquer pergunta analisando uma massa de dados em linguagem natural. Assim, resultados mais animadores começavam a ser vislumbrados na área de processamento de linguagem natural.

Desde 2011 até os dias atuais, correspondendo aproximadamente à Fase III do evento de IA no Brasil, o acesso a grandes quantidades de dados aliado à disponibilidade de computadores mais potentes e acessíveis e ao uso de técnicas de aprendizado de máquinas têm sido aplicados com sucesso a muitos problemas, em todos os aspectos da economia.

Agora a IA se estabeleceu, conquistando um mercado significativo, impulsionando o progresso e as pesquisas na área. Nesse período, o aprendizado de máquina, especialmente impulsionado pelo aprendizado profundo, revolucionou a IA e atingiu desempenho superior ao humano em várias áreas, do reconhecimento visual de objetos a jogos complexos. Aprendizado profundo é um tipo de rede neural que explora de modo eficaz a enorme quantidade de dados disponíveis atualmente e grande poder e velocidade computacionais das máquinas modernas.

O grande sucesso atual do aprendizado de máquinas é incontestável. Por exemplo, o milenar jogo Go, criado há mais de 2.500 anos na China, era a última barreira em jogos de tabuleiro. Em janeiro de 2016 essa barreira foi quebrada, após o programa de IA AlphaGo, da empresa DeepMind, derrotar um campeão mundial desse jogo pela primeira vez. Em jogos computacionais, em 2019 o AlphaStar, também da DeepMind, foi a primeira IA a alcançar o nível Grandmaster no StarCraft II, um dos videogames de estratégia em tempo real mais populares e duradouros de todos os tempos, usando o aprendizado por reforço de múltiplos agentes. Isso mostra o poder e sucesso atingidos atualmente pela IA conexionista, com o aprendizado profundo sendo o seu mais proeminente representante.

Assim, a evolução efervescente da IA, por um lado, e as demandas cada vez mais intensas do mercado por soluções inteli-

gentes para problemas reais, por outro lado, geram um crescente apelo para o uso de IA pois essa possibilita a redução de custos e otimização de processos, assim como a execução de tarefas consideradas essencialmente repetitivas. Já há sistemas capazes de realizar tarefas de alta complexidade, consideradas, até então, um trabalho intelectual. É importante ressaltar que esses novos sistemas de IA podem aprender com sua própria experiência. Aliada ao uso intensivo de dados e aos recursos da transformação digital, a oferta de serviços pela IA está sendo continuamente aprimorada. Isso tem como consequência uma modificação, de modo definitivo, de como nós, humanos, vivemos e trabalhamos.

A IA é um pilar importante na transformação digital por seu papel altamente estratégico na geração de negócios e na obtenção de lucro. Pesquisas mostram que os investimentos globais em IA devem saltar de US\$ 3,5 bilhões em 2018 para US\$ 26,1 bilhões em 2023.²²

Na América do Sul, considerando que há uma necessidade urgente de uma solução sustentável para seus baixos níveis de produtividade e crescimento econômico, a IA surge como uma promessa para transformar a base de crescimento econômico sul-americano. No Brasil, a IA pode apresentar um grande benefício econômico atingindo um adicional de US\$ 432 bilhões no seu valor agregado bruto em 2035.²³ Isso representaria um incremento de 0,9 ponto percentual no crescimento para aquele ano.

Ainda que haja uma longa caminhada para as aplicações de IA em diversos setores da economia, vale enfatizar que um horizonte otimista é lastreado pelo crescimento da pesquisa em IA no Brasil. Alguns anos atrás, a IA no Brasil estava em grande parte limitada às Universidades, não chegando às empresas. Isso mu-

22 Disponível em: <<https://www.bccresearch.com/market-research/information-technology/artificial-intelligence-applications-and-global-markets.html>>.

23 Disponível em: <<https://www.accenture.com/br-pt/insight-artificial-intelligence-south-america>>.

dou nos últimos tempos e as *startups* no Brasil podem ter aqui um papel extremamente importante.

Os principais levantamentos sobre dados de *startups* de IA no mundo vêm sendo feitos pela empresa CB Insights.²⁴ Ela é responsável por produzir um relatório anual com as 100 principais empresas de IA no mundo desde 2017. Até o presente momento, não houve empresas brasileiras que apareceram nessa lista. A grande concentração de *startups* de IA está nos Estados Unidos (65%), seguidos de Canadá (8%), Reino Unido (8%), Europa (7%) e China (6%). Há apenas um representante na América Latina, a chilena NotCo focada na produção de alimentos com base em plantas e US\$ 33M de investimentos aportados. A lista varia entre empresas com investimentos inferiores a US\$1 milhão até empresas com alto nível de investimento, mais de US\$ 0,5 bilhão. Os setores também são diversos, de modo que o maior número de *startups* atua em mais de um setor (36%) especialmente com modelos de inteligência de negócio e cyber-segurança. Os principais setores com empresas especialistas são: Saúde (13%) com aplicações variadas (desde detecção de derrames até pesquisa e desenvolvimento de novas drogas); mercado de varejo (9%) especialmente a logística de galpões e pagamentos e transporte (8%) com o desenvolvimento de veículos autônomos. Isso significa que ainda há um longo caminho para que o Brasil se torne um competidor global de aplicações de IA.

Há, contudo, ao menos um setor no qual o Brasil apresenta protagonismo: o agronegócio. Aqui, o desenvolvimento das empresas vem ocorrendo de forma organizada, beneficiando-se de pesquisa e desenvolvimento prévios. O principal destaque é a

24 A CB Insights é uma empresa privada com sede em Nova York que oferece uma plataforma de inteligência de mercado às empresas envolvidas em private equity, venture capital, desenvolvimento corporativo, banco de investimento e outras empresas similares ou relacionadas.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),²⁵ criada em 1973 pelo governo federal. Ela é o maior instituto de pesquisa em agricultura tropical do mundo e desenvolveu centenas de inovações para os agricultores brasileiros; por exemplo, o aprimoramento genético da planta de soja para a região semiárida, permitindo hoje as operações de produção em larga escala na região.

Além da Embrapa, outra instituição de pesquisa importante para o setor é a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) da Universidade de São Paulo. Vale lembrar que a Esalq é uma das cinco melhores Universidades de ciências agrárias no mundo, juntamente com Wageningen (Holanda), UC Davis e Cornell (Estados Unidos) e a China Agricultural University. Semelhantemente ao que ocorreu com o Menlo Park,²⁶ a Esalq no estado de São Paulo fomentou um ecossistema de agrotechs ao redor da cidade de Piracicaba. De modo geral, essas agrotechs vêm utilizando uma série de implementações de aprendizado de máquina moderna, especialmente em aplicações com visão computacional.

Apesar, contudo, de o estudo Cenário Global da Inteligência Artificial, feito pela Asgard em parceria com a Roland Berger em 2018,²⁷ ter relatado que o Brasil é o 17º país na lista global dos países com o maior número de *startups* que se dedicam exclusivamente à IA, na frente de países como Holanda, Itália e Rússia, não são somente as *startups* que têm adotado a IA em seus negócios no Brasil. Um relatório da consultoria International Data Corporation (IDC),²⁸ divulgado em fevereiro de 2019, mostrou que 15,3% das médias e grandes organizações brasileiras já contam com essa tecnologia em várias frentes de trabalho. O relatório

25 A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

26 Menlo Park é uma cidade localizada na Califórnia, nos Estados Unidos, cuja economia gira em torno de empresas e veículos de investimento com foco em tecnologia.

27 Disponível em: <<https://asgard.vc/global-ai/>>.

28 Disponível em: <<https://www.idc.com/>>.

apontou que as áreas com maior potencial de crescimento estão ligadas à automação de diversos processos de tecnologia da informação, atendimento a clientes, análise e investigação de fraudes, diagnósticos e tratamentos de saúde.

Nesse contexto, acreditamos que a IA será um verdadeiro diferenciador para empresas no futuro. Aquelas que adotam IA têm mais possibilidade de ver seus negócios frutificarem.

A IA atual precisa, entretanto, de grandes quantidades de dados para aprender, diferentemente dos cérebros humanos, que podem aprender a partir de uma única experiência. Acredita-se que abordagens simbólicas devam ser revisitadas e integradas às redes neurais profundas e sistemas de aprendizagem atuais para que esse objetivo seja alcançado.

Pesquisas atuais na área buscam construir inteligências artificiais capazes de explicar suas ações e decisões, robustas a variações nos dados, ética e livre de vieses nas suas decisões. Enfrentando esses desafios poderemos então garantir que a sociedade usufrua dos benefícios deste inevitável impacto disruptivo, em vez de sofrer com ele.

Referências

BANKS G. Artificial intelligence in medical diagnosis: the INTER-NIST/CADUCEUS approach. *Crit Rev Med Inform.*, v.1, n.1, p.23-54, 1986.

BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFFE, E. H. *Rule Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

LAIRD, J. E. et al. *The Soar Cognitive Architecture*. Cambridge, Ma: MIT Press, 2012.

MITTAL, S.; DYM, C. L.; MORJARIA, M. Pride: An expert system for the design of *paper* handling systems. In: DYM, C. L. (Ed.)

Applications of Knowledge-Based Systems to Engineering Analysis and Design. New York: American Society of Mechanical Engineers, 1985.

WERBOS, P. J. Backpropagation through time: what it does and how to do it. *Proceedings of the IEEE*, v.78, n.10, p.1550-60, 1990.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v.8, p.338-53, 1965.