

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

WESLEY GABRIEL PEREIRA GOMES
VINICIUS MARTINS TORK
LUCAS LEAL SOARES

**ALGORITMOS BIOINSPIRADOS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA NO BRASIL**

BELÉM
2020

WESLEY GABRIEL PEREIRA GOMES
VINICIUS MARTINS TORK
LUCAS LEAL SOARES

**ALGORITMOS BIOINSPIRADOS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação na modalidade MONOGRAFIA.

Orientador: Prof. Dr. Alan Marcel
Fernandes de Souza

BELÉM
2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
Biblioteca do CESUPA, Belém – PA

Gomes, Wesley Gabriel Pereira.

Algoritmos bioinspirados – uma revisão sistemática da literatura no Brasil / Wesley Gabriel Pereira Gomes, Vinícius Martins Tork, Lucas Leal Soares; orientador Alan Marcel Fernandes de Souza. – 2020.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário do Estado do Pará, Ciência da Computação, Belém, 2020.

1. Programação heurística. 2. Algoritmos genéticos. I. Tork, Vinícius Martins. II. Soares, Lucas Leal. III. Souza, Alan Marcel Fernandes de, orient. IV. Título.

CDD 23^a ed. 004

WESLEY GABRIEL PEREIRA GOMES

VINICIUS MARTINS TORK

LUCAS LEAL SOARES

**ALGORITMOS BIOINSPIRADOS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA NO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação na modalidade MONOGRAFIA.

Data da aprovação: / /

Nota final aluno I: _____

Nota final aluno II: _____

Nota final aluno III: _____

Banca examinadora

Prof. Dr. Alan Marcel Fernandes de Souza
Orientador e Presidente da banca

Profa. Me. Polyana Santos Fonseca Nascimento
Examinadora

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira
Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer nossos amigos pela amizade durante este período fundamental de nossas vidas.

Gostaríamos de agradecer ao CESUPA pelo apoio nestes 4 anos de estudo.

Gostaríamos de agradecer nossos professores pelos ensinamentos e experiências compartilhadas conosco.

Gostaríamos de agradecer ao nosso orientador, Alan Souza, pela orientação e apoio fornecido a nós durante toda a realização deste trabalho.

Gostaríamos de agradecer às nossas famílias pelo amor dado a nós todos os dias de nossas vidas.

E gostaríamos de agradecer a Deus, que rege sobre nós todos, e nos protegeu durante este período difícil.

RESUMO

Apresentamos uma revisão sistemática da literatura publicada no Brasil referente a algoritmos bioinspirados. Este é um estudo de revisão bibliográfica, de artigos publicados em universidades federais nos últimos quatro anos (2016-2020). O estudo foi pesquisar a literatura indexada em base de dados bibliográficos utilizando-se os seguintes descritores em ciência da computação: bioinspirado, metaheurístico e inteligência artificial. Este TCC apresenta uma breve introdução sobre o tema relacionados algoritmos bioinspirados, metaheurísticas e inteligência artificial relacionados e em são seguida foram analisados os resultados dos estudos publicados sobre algoritmos bioinspirados, avaliando quais deles utilizam a técnica *Ant-Colony Optimization* (ACO).

Palavras-chave: Revisão Sistemática; Algoritmos; Bioinspirados; Metaheurísticas; *Ant-Colony Optimization*.

ABSTRACT

We present a systematic literature review on Brazil regarding bio-inspired algorithms. This is a study on the bibliographic review of articles published in federal universities in the last four years (2016-2020). This study searched the indexed literature in the bibliographies by the following Portuguese keywords in computer science: “bioinspiradas”, “metaheurísticas” and “inteligência artificial”. This undergraduate thesis presents a brief introduction in the subject of bio-inspired algorithms, meta-heuristics and artificial intelligence and subsequently the results of the published studies about bio-inspired algorithms were analyzed, evaluating which of them utilized the Ant-Colony Optimization (ACO).

Keyword: Systematic Review; Algorithms; Bio-inspired; Metaheuristic; Ant-Colony Optimization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da revisão sistemática.	27
Figura 2 - Resultados encontrados ordenados de forma crescente, portanto, os melhores resultados de cada instâncias estão na primeira posição (instância 1)	31
Figura 3 – Rede utilizada para simulação tanto sem ACO e com ACO	32
Figura 4 - Transmissão totais sem ACO vs Primeira queda de nodo com ACO	33
Figura 5 - Transmissões sem ACO e com ACO antes da queda do primeiro nodo	33
Figura 6 - Representação do mapa do Cenário A	34
Figura 7 - Representação do primeiro mapa do Cenário B	35
Figura 8 - Representação do segundo mapa do Cenário B	35
Figura 9 - Representação do mapa do Cenário C	36
Figura 10 - Trajeto a ser percorrido	36
Figura 11 - Evolução média da função objetivo	37
Figura 12 - Tensão nas barras com carga da rede no patamar de maior demanda	38
Figura 13 - Esquema da estrutura para estudo de caso do porto	39
Figura 14 - Rede neural otimizada com as variáveis T1, N3, F1M3 e R1M3 configuração com 5 neurônios na camada escondida	41
Figura 15 - Rede neural otimizada com as variáveis N2, N3, N4 e T1 configuração com 5 neurônios na camada escondida	41
Figura 16 - Gráfico com número de produções científicas por ano	45
Figura 17 - Gráfico com número de produções científicas por regiões	46
Figura 18 - Gráfico com número de produções científicas por termos de busca	47
Figura 19 - Gráfico com número de produções científicas por universidades.	47
Figura 20 - Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar desde 2016 em qualquer idioma.	48
Figura 21 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar quando pesquisado somente por resultados em português.	48
Figura 22 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar em qualquer idioma.	48

Figura 23 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar somente em português

49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de pesquisa	27
Tabela 2 - Banco de dados #2	29
Tabela 3 - Resultados do teste para o Cenário A	34
Tabela 4 - Quantidade de trabalhos encontrados divididos por universidades federais	43
Tabela 5 - Banco de dados #1	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAI - American Association of Artificial Intelligence

ABC - Artificial Bee Colony

ACO - Ant Colony Optimization

AGMI - Algoritmo Genético No Modelo De Ilhas

AHC - Algoritmo Heurístico Construtivo

ALO - Otimizador Inspirado No Comportamento Da Formiga-leão

AOL - Algoritmo De Otimização De Leão

BC - Banco de Capacitores

BFO - Bacterial Foraging Optimization

BLI - Busca Local iterativa

CVV - Controle Volt/VAr

DE - Differential Evolution

DPSO - Otimização por Enxame de Partículas Darwiniano

ED - Evolução Diferencial

EPSO - Evolutionary Particle Swarm Optimization

ES - Evolutionary Strategy

FFA - Firefly Algorithm

FO-DPSO - Otimização Por Enxame de Partículas Darwiniano de Ordem Fracionária

FTS-MMAS - Fast Two-Stages Max-Min Ant System

GA - Genetic Algorithm

GP - Genetic Programming

GRASP - Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

GWO - Otimizador Baseado No Comportamento Dos Lobos-cinza

IA - Inteligência Artificial

IBM - International Business Machines

IEA-R1 - Instituto de Energia Atômica - Reator 1

ILS - Iterated Local Search

IoT - Internet of Things - Internet das Coisas

IPEN/CNEN-SP - Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares/Comissão Nacional de Energia Nuclear - São Paulo

IRACE - Iterated Race

LLN - Low-Energy and Loozy Network

MMAS - Max-Min Ant System

MOABC - Multi-Objective Artificial Bee Colony

MODE - Multi-Objective Differential Evolution

MOPSO - Multi-objective Particle Swarm Optimization

MPSO - Enxame de Partículas Modificado

NSGA-II - Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

OABC - Opposition Based Artificial Bee Colony

OCF - Otimização por Colônia de Formigas

OCFRN - Otimização por Colônia de Formigas em Rede Neural

OLTC - On Load Tap Changer

OPSO - Opposition Based Particle Swarm Optimization

OPSO - Optimized Particle Swarm Optimization

PSO - Particle Swarm Optimization

QPSO - Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization

RAPSO - Repulsive-Attractive Particle swarm optimization

RNA - Rede Neural Artificial

SFLA - Shuffled Frog Leaping ALgorithm

SPEA2 - Strength Pareto Evolutionary Algorithm

SSO - Social Spider Optimization

TS - Busca Tabu

UFAC - Universidade Federal do Acre

UFAL - Universidade Federal de Alagoas

UFAM - Universidade Federal de Amazonas

UFBA - Universidade Federal da Bahia

UFC - Universidade Federal do Ceará

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

UFG - Universidade Federal de Goiás

UFMA - Universidade Federal do Maranhão

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso

UFPA - Universidade Federal do Pará

UFPB - Universidade Federal de Paraíba

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UFPI - Universidade Federal do Piauí

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFRR - Universidade Federal de Roraima

UFS - Universidade Federal de Sergipe

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UFT - Universidade Federal de Tocantins

UNB - Universidade de Brasília

UNIFAP - Universidade Federal do Amapá

UNIR - Universidade Federal de Rondônia

USP - Universidade de São Paulo

VAr - Volt-Ampere Reativo

VNS - Variable Neighborhood Search

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
1 INTRODUÇÃO	15
REVISÃO SISTEMÁTICA	16
ALGORITMOS BIOINSPIRADOS	17
ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS	18
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	20
OBJETIVO GERAL	23
OBJETIVO ESPECÍFICO	23
JUSTIFICATIVA	23
2 METODOLOGIA DE PESQUISA	25
3 RESULTADOS	27
Meta-Heurística Aplicada ao Planejamento de Atividades de Lotes de Vagões em Terminais Ferroviários (PINTO, G. L., 2019)	29
Análise de otimização de roteamento IoT em redes LLN's para cidades inteligentes: um estudo empírico sobre a utilização do método de enxame ACO em ambientes IoT para cidades inteligentes (SILVA, César Felipe Gonçalves da, 2019)	31
Implementação de algoritmo baseado em otimização por colônia de formigas aplicado ao planejamento de caminhos para robô móvel (GOMES, Allan Costa, 2018)	33
Meta-heurísticas bio-inspiradas para otimização multiobjetivo do controle Volt/VAr no contexto das redes elétricas inteligentes (MEDEIROS, Thiago Saúde, 2018)	36
Método meta-heurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo (SOUZA, Fernanda Gonçalves, 2019)	37
Algoritmo de Colônia de Formigas e Redes Neurais Artificiais aplicados na monitoração e detecção de falhas em centrais nucleares (SANTOS, Gean Ribeiro dos, 2016)	39
4 DISCUSSÃO	42
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	49
6 REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE	56

1 INTRODUÇÃO

Computação natural é um ramo da ciência da computação destinado a estudar, compreender e aplicar padrões complexos encontrados na natureza, utilizando-os como base para resolução de problemas, desenvolvimento de novas tecnologias e aperfeiçoamento de sistemas já existentes. Uma das suas especializações é a computação inspirada na natureza, que visa estudar os comportamentos observados na natureza e aplicá-los na computação para a resolução de problemas computacionais, dentre o quais, movimentação de robôs, classificação de dados, reconhecimento de padrões em big data e criação de dispositivos que emulam o comportamento animal para fins de estudo.

Dentre esses problemas que a computação inspirada pela natureza visa resolver, está a otimização de processos, que possui como um dos algoritmos mais famosos o *Ant-Colony Optimization* (ACO), sendo empregado na busca de rotas mais rápidas para problemas como o do caixeiro viajante e seus variantes, servindo assim como referência para a criação de outros algoritmos inspirados em comportamentos animais, com objetivo de otimizar diversos outros tipos de processos, empregando muitas vezes meios meta heurísticos para a resolução de seus problemas.

Portanto, a computação natural, sendo uma área de pesquisa em crescimento, é capaz de nos propor novas possibilidades de resolução de problemas de forma a trazer novos paradigmas na computação, podendo substituir os métodos atuais de resolução de problemas; com essa ideia em mente, nosso trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre algoritmos bioinspirados no panorama nacional, avaliando, deste modo, o progresso da área nos últimos anos.

O objetivo deste estudo é gerar um banco de dados de trabalhos acadêmicos a partir da pesquisa e análise de trabalhos acadêmicos na área de algoritmos bioinspirados, o qual será filtrado, a fim de se avaliar a relevância desses trabalhos para a comunidade científica com a finalidade de verificar se a área necessita ser mais incentivada e explorada no país.

Este estudo está dividido em cinco partes, com o primeiro capítulo contendo a introdução, onde é apresentado o tema, a nossa motivação e objetivos. No segundo capítulo, abordou-se a metodologia. O terceiro capítulo apresenta a base de dados dos trabalhos acadêmicos encontrados e um resumo dos trabalhos filtrados, assim como os resultados

encontrados neste estudo. O quarto capítulo apresenta uma discussão a respeito dos resultados demonstrados no terceiro capítulo e o quinto capítulo conclui o trabalho.

1.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

Uma revisão da literatura consiste em um levantamento bibliográfico de trabalhos acadêmicos e pesquisas realizadas sobre um tema específico, podendo abordar os mais diversos assuntos. Pode ser visto como um resumo das descobertas documentadas de maior relevância a respeito dos temas estudados até o momento do levantamento. Por este motivo, uma parte dos artigos científicos é tradicionalmente dedicada à revisão de literatura, a fim de ampliar a compreensão e entendimento do leitor sobre o tema estudado. Existem também as revisões sistemáticas da literatura, que são pesquisas sobre trabalhos feitos a respeito de um determinado assunto que servem como guias e referências para pesquisas e artigos futuros e que podem ser usadas como fonte de confirmação quanto a confiabilidade, data de publicação, temas específicos e outros pontos relevantes sobre artigos e trabalhos publicados sobre o tema. Estas possuem uma grande importância para quaisquer áreas de estudo, pois permite avaliar se uma área de pesquisa está sendo pouco explorada, gerando a oportunidade de direcionamento de pesquisadores e recursos para áreas deficitárias.

É comum o equívoco entre os dois termos, pois em certo nível eles apresentam funções semelhantes. Uma melhor distinção entre Revisão de Literatura e Revisão Sistemática de Literatura (ou simplesmente Revisão Sistemática) foi descrita por Oliveira (2019):

“Revisão de Literatura: Representa a leitura e avaliação de pesquisas já realizadas e publicadas;

Revisão Sistemática: É considerado um método de pesquisa, pois considera os dados de pesquisas já realizadas para reunir evidências e chegar a uma conclusão.”

Em suma, a revisão de literatura não necessariamente é associada a um artigo, podendo ser parte de um leque diverso de trabalhos, como um projeto de pesquisa ou uma monografia. Entretanto, a revisão sistemática é um elemento na elaboração da pesquisa, logo uma parte fundamental do artigo a ser publicado.

1.2 ALGORITMOS BIOINSPIRADOS

A computação biologicamente inspirada é uma divisão da ciência da computação relativamente nova que visa o desenvolvimento de soluções de problemas encontrados nos mais diversos ramos da computação, como *machine learning* e inteligência artificial. Ela se baseia em modelos encontrados e perpetuados naturalmente no comportamento social das mais diversas espécies, humana ou não, assim como seu potencial evolucionário.

Os algoritmos bioinspirados são baseados na biologia, e vêm ganhando cada vez mais atenção de pesquisadores e programadores ao redor do mundo. Sua popularidade se dá por sua diversidade e capacidade de adaptação, assim como por sua velocidade em resolver problemas de otimização.

Essa área é dividida em várias famílias de pesquisa, sendo a de algoritmos evolucionários a mais conhecida e utilizada com os algoritmos *genetic algorithm* (GA), *genetic programming* (GP) e *evolutionary strategy* (ES) sendo os membros mais famosos desta família.

A ES é uma técnica de otimização baseada em ideias de evolução, sendo uma das classes gerais da computação evolutiva. Partir dela nasceram os GAs e os GPs. Uma das estratégias das chaves da ES é a utilização da auto-adaptação referente a seus parâmetros que controlam o processo evolutivo, esses parâmetros são adicionados nas estruturas de dados que correspondem a vetores de pontos no espaço de busca. Os primeiros ES atuavam com apenas um indivíduo na população sendo sujeito a mutação e seleção.

Os GA são os algoritmos mais famosos dentro da área bioinspirada, eles são utilizados com o intuito de achar uma solução para problemas de otimização e buscas. Sua forma de funcionamento se dá pela criação de uma população de possíveis soluções para um determinado problema, no qual o desempenho dessa população será analisado como solução no final da geração, então, quando a próxima geração iniciar, os algoritmos terão feito suas modificações sobre a solução com o objetivo de alcançar uma melhor performance. Suas principais diferenças em relação aos algoritmos tradicionais é trazerem um conjunto de possíveis respostas, utilizando transições probabilísticas e recompensando os resultados que se aproximam da solução ideal do problema.

Um dos autores mais famosos na área de algoritmos genéticos é John Henry Holland. Em seu livro *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (1976), ele nos traz as bases para a

criação desses algoritmos, explicando como seriam utilizados desde sistemas simples até sistemas complexos, tais como, turbinas de aeronaves e circuitos integrados. Outro assunto tratado em seu livro é a sua proposta de um novo modelo matemático que permite a não linearidade da evolução e reorganização dos algoritmos genéticos.

Após John Holland introduzir o conceito de cromossomos na computação em 1975, o cientista John R. Koza (1992) usou a ideia de Holland em sua produção científica chamada *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, nela Koza cria o conceito de programação genética.

A GP é uma extensão dos algoritmos genéticos, e suas bases são semelhantes aos dos GA, onde cria-se uma população de programas aleatoriamente, os quais são designados a um problema específico, e não estando inicialmente adequados à tarefa, sofrem mutação e recombinação. Portanto, a principal diferença entre GA e GP está em como demonstram suas soluções, onde o GA expressa-se de forma abstrata e estruturada, por outro lado o GP possui representação baseada em árvores, utilizando programas de computador em uma linguagem específica, sendo o LISP a linguagem inicial para a GP.

1.3 ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS

De acordo com Gigerenzer e Gaissmaier (2011, p. 454):

“[...] uma estratégia que ignora parte da informação, com o objetivo de tomar decisões de forma mais rápida, econômica e/ou precisado que métodos mais complexos.”

Na computação, a heurística serve como uma técnica usada para a resolução de problemas mais rapidamente quando os métodos tradicionais não o conseguem fazer, para tal, troca-se a otimização, integridade, exatidão ou precisão por velocidade. Um algoritmo está entre as muitas formas possíveis de implementação da heurística. Segundo SUCUPIRA, I. R. (2004, p. 2):

“As pesquisas - realizadas ao longo de décadas - sobre o desempenho de métodos heurísticos - e, em particular, sobre as características que conduzem ao êxito de tais métodos - levaram à elaboração de estratégias genéricas - esqueletos de algoritmos - para a construção de heurísticas. Essas estratégias são chamadas meta-heurísticas.”

Portanto, a meta-heurística é a utilização de seus conhecimentos para a aplicação de uma heurística adequada a diversos problemas.

O ACO, criado por Marco Dorigo em 1992, destaca-se como uma das meta-heurísticas mais famosas. Foi desenvolvido com o intuito de trazer soluções em problemas de busca e otimização de rotas, como por exemplo, o problema do caixeiro viajante. É um algoritmo inspirado na observação do comportamento de formigas, as quais andam sem rumo, até que uma delas encontra comida, retornando ao ninho e deixando um rastro de feromônio ao longo do caminho, que será usado de base para as outras formigas encontrarem comida, sempre buscando encontrar o menor caminho em relação ao ninho. Suas principais características são: a aptidão dos agentes poderem interagir entre si, a capacidade dos agentes poderem avaliar seus comportamentos, o potencial de adaptação em relação a variação do problema e habilidade de reagir a mudanças bruscas do ambiente.

Dentro das metaheurísticas pode-se encontrar diversas técnicas para a resolução de um mesmo problema, como por exemplo, a otimização de buscas. Nesta área tem-se o algoritmo *hill climbing*, o qual realiza uma busca local, inicialmente randômica, e que aos poucos vai sofrendo pequenas modificações, a fim de obter resultados mais eficientes. Este algoritmo termina quando não houverem mais modificações possíveis. Outro algoritmo que tenta resolver a mesma questão, porém com o uso da busca global, é o *Particle Swarm Optimization* (PSO). Neste algoritmo são criadas soluções partículas, que focam em uma área de possíveis melhorias, definidas por uma função matemática e o movimento das outras partículas. Após as partículas percorrerem a área com maior potencial de aproveitamento, elas fixam-se à área, servindo de base para a tomada de decisão das partículas seguintes.

Devido a diversidade das metaheurísticas, foram criadas as chamadas hiper-heurísticas, sendo o termo usado pela primeira vez no artigo “*A Hyperheuristic Approach to Scheduling a Sales Summit*” (Peter Cowling e col., 2001). Elas são a junção de várias heurísticas, chamadas de heurísticas de baixo nível, e coordenadas por uma heurística chamada de heurística de alto nível, a qual escolhe uma das heurísticas de baixo nível por meio da avaliação de qual delas será mais eficiente para o problema apresentado. As hiper-heurísticas possuem duas abordagens principais, na primeira tem-se uma hiper-heurística formada de heurísticas pré-existentes, onde ela apenas tem de selecionar a heurística mais eficiente para problema, e na segunda abordagem a hiper-heurística irá utilizar sua base de heurísticas pré-existentes para criar novas heurísticas.

1.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O abrangente conceito de máquina inteligente, ramo tecnológico que envolve o desenvolvimento da reprodução de uma decisão tomada de forma autônoma por uma máquina e que de alguma forma se assemelhe a uma decisão equivalente a ação humana se equivaleria. Segundo E. Rich (1998, p.17) :

“"Inteligência Artificial é o estudo de como fazer computadores realizarem tarefas para as quais, até o momento, o homem faz melhor".”

Devido a entradas e os parâmetros alimentados, uma dada técnica de IA é capaz de realizar “ações humanas” de forma rápida, precisa e em larga escala, o que a torna uma relevante fonte de pesquisa e investimento. O desenvolvimento dessa área iniciou-se após a segunda guerra mundial com o artigo de *Computing Machinery and Intelligence* de Allan Turing (1950). Neste artigo é explicado um jogo chamado "jogo da imitação", onde a máquina e um jogador devem responder a perguntas feita por um outro jogador, que deve descobrir qual dos dois é uma máquina. O autor também aborda três pontos dos quais uma máquina precisaria para imitar o pensamento humano: (1) o depósito de informações, (2) a unidade executiva e (3) o controle. O depósito de informações é onde estão as informações que a máquina vai utilizar e armazenar para encontrar suas soluções; a unidade executiva é a parte onde o computador realizará os cálculos com as probabilidade de soluções, definindo quais são as mais eficientes; e o controle avalia se as possíveis soluções definidas estão dentro da regra do ambiente em que se encontra.

A IA foi oficialmente fundada como uma disciplina acadêmica em 1955, nos anos seguintes a disciplina teve um expressivo desenvolvimento, transformando-se em uma tendência na área da computação, porém após a euforia, iniciou-se o período chamado de “*AI winter*”. O termo foi criado em 1984 em um debate público na reunião anual da *American Association of Artificial Intelligence* (AAAI) para descrever o período 1974–1980 e 1987–1993 de baixo investimento e pesquisa que a área sofria devido aos fracassos das pesquisas naquela época como por exemplo a grande diminuição na pesquisa de IA no Reino Unido em resposta ao relatório de Lighthill e os Cortes da DARPA na pesquisa acadêmica de IA em geral. Após esse período, a área só voltou a ter a atenção global quando a IA AlphaGo em outubro de 2015 derrotou um jogador profissional chamado Fan Hui em uma partida de Go.

A AAAI é uma sociedade científica internacional fundada em 1979, tem como objetivo: promover a pesquisa com o uso responsável da IA, expandir o conhecimento do público em geral sobre IA, discutir como melhorar o ensino e prática de IA, fornecer orientação para quem estiver interessado em planejar ou em financiar algum projeto na área. De acordo com IPEA(2020):

“[...] A Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI) é considerada uma associação de referência e na sua última chamada de trabalhos dividiu as aplicações em nove subáreas: Pesquisa; Machine Learning, Data Mining e Big Data; Planejamento Automatizado; Representação de Conhecimento; Raciocínio (Probabilístico ou não); Processamento de Linguagem Natural; Robótica; Sistema de Agente e Multi-Agente e Aplicações.”

A seguir tem uma breve explanação sobre algumas áreas específicas da IA.

O *Machine Learning* (ML) é segundo Arthur Samuel(1959) “campo de estudo que dá aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados”. O ML é dividido em três abordagens. A primeira é o Aprendizado supervisionado, nesta categoria são apresentados a máquina exemplos de possíveis problemas e suas respectivas soluções, fornecidas por um humano que o supervisiona. A segunda é o Aprendizado não supervisionado, nesta divisão o computador busca por padrões em um dado que não encaixa nos padrões do banco de dados pré-existente e sem supervisão humana. A terceira é o Aprendizado por reforço, nesta categoria o programa está em um ambiente dinâmico em que ele deve desempenhar uma tarefa com o melhor desempenho possível, sendo recompensado ou punido à medida que aproxima-se ou afasta-se de seu objetivo. Suas aplicações são por exemplo jogos de estratégia, economia, locomoção de robôs e detecção de fraude virtual.

A Mineração de Dados é o processo pelo qual o computador explora novos padrões dentro de um banco de dados. Para realizar esta mineração, é preciso percorrer quatro etapas. A primeira é a exploração: são usadas ferramentas estatísticas para coleta de dados, além da exploração inicial dos dados. A segunda parte é a preparação dos dados: é excluído tudo que seria irrelevante ao objetivo final, após a eliminação, é feita a seleção dos dados por meio de métodos de filtragem e combinações. A próxima etapa é a limpeza dos dados: é feita a avaliação mais precisa dos dados e tratar aqueles que ainda apresentam alguma irregularidade. A última parte é a mineração de dados: são aplicadas técnicas de para estabelecer padrões e tendências, como por exemplo redes neurais e árvores de decisão. Seu principal uso está nos

negócios com a personalização do marketing e busca de novas tendências de mercado, porém também é aplicado em medicina, biologia e vigilância.

O Planejamento Automatizado é um ramo criado com o propósito de realizar estratégias ou sequências de ações normalmente executadas por agentes inteligentes, robôs autônomos e veículos não tripulados. Os algoritmos de planejamento dividem-se em planejamento clássico, planejamento temporal, planejamento probabilístico, planejamento baseado em preferências, planejamento condicional, planejamento contingente, planejamento compatível. Uma de suas aplicações está na utilização de robôs para resgate em terremotos ou enchentes.

A Representação do Conhecimento é a subárea que estuda o significado de conhecimento e suas formas de representação, buscando novas formas de representação como por exemplos as diferentes formas como o conhecimento pode ser representado na computação. Suas bases vieram na década de 80 com a engenharia do conhecimento, que foi desenvolvida para a criação de sistemas especialistas, além dela temos a engenharia ontológica e teorias associativas. Alguns dos métodos usados pela representação do conhecimento são as redes semânticas e os frames.

O Raciocínio ou Lógica, é a subárea que estuda a lógica matemática para ser aplicada na computação, criando assim a programação lógica, consistindo em um conjunto de axiomas e regras. Com esta ideia em mente, foram criadas linguagens de programação como o Prolog que calcula os axiomas e regras para alcançar o resultado da consulta. Atualmente a lógica vem sendo empregada na IA em problemas de lógica formal e informal.

O Processamento de Linguagem Natural é uma subárea que estuda a capacidade e as limitações de uma máquina em entender a linguagem dos seres humanos como a escrita e a voz através de áudios, propondo e desenvolvendo sistemas que tenham a linguagem natural como entrada e saída de dados. Algumas técnicas usadas no processamento textual são remoção de stopwords, normalização e corretores ortográficos. Suas aplicações estão na tradução de textos com programas como google tradutor, chatbots e atendentes virtuais.

A Robótica é a subárea responsável por desenvolver tecnologias em sistemas mecânicos automatizados e controlados por circuitos integrados. Apesar de existirem robôs projetados com as mais diversas finalidades, eles sempre compartilharam três características básicas: uma estrutura mecânica arquitetada com base no problema, componentes eletrônicos

que alimentam e controlam o robô, todos têm algum nível de código de programação. É justamente na parte da codificação que a relação entre robótica e IA fica mais clara, pois através da programação que a máquina terá algum grau de inteligência para realizar suas ações com o mínimo de intervenção humana, utilizando por exemplo algoritmos bioinspirados e metaheurísticos. Suas áreas de atuação são na indústria, desarmamento de bombas e resgate.

Os Sistemas de Agentes são uma subárea que estuda o uso de agentes autônomos, com um sistema podendo ter um ou mais agentes. Para os sistemas de agentes o termo autônomo está relacionado ao fato de os agentes serem independentes entre si, cada um deles terá um conjunto de sensores que irão captar o ambiente ao redor dele e então decidir suas ações. Uma das suas aplicações é no uso da movimentação de robôs.

1.5 OBJETIVO GERAL

Avaliar o panorama dos trabalhos científicos que envolvem algoritmos bioinspirados ou meta-heurística, especializando a avaliação no algoritmo ACO, por meio de uma revisão sistemática da literatura no Brasil através das seguintes perguntas:

1. A pergunta de pesquisa #1: Qual o panorama dos trabalhos acadêmicos que utilizam algoritmos bioinspirados baseado principalmente em animais/insetos para resolução de problemas de otimização?
2. A pergunta de pesquisa #2: Dos trabalhos que utilizam algoritmos bioinspirados para resolução de problemas de otimização, quais deles envolvem o algoritmo ACO?

1.6 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Pesquisar trabalhos na área alvo em repositórios nacionais.
2. Gerar dois bancos de dados com os trabalhos pesquisados:
 - 2.1. Banco de dados #1 onde estarão todos os trabalhos encontrados que satisfazem a pergunta de pesquisa #1
 - 2.2. Banco de dados #2 onde estarão os trabalhos filtrados através da pergunta de pesquisa #2 e que serão relevantes para a análise proposta por este estudo.
3. Fazer uma análise quantitativa dos trabalhos para gerar gráficos que mostrem de maneira sucinta e acessível os resultados encontrados por este estudo.
4. Resumir os trabalhos relevantes em relação à técnica ACO.
5. Verificar se vale a pena investir tempo e recursos nesta área.

1.7 JUSTIFICATIVA

A computação natural é uma área em constante expansão, onde a cada ano novos algoritmos bioinspirado são criados ou aperfeiçoados. Todavia, a grande maioria desses trabalhos se encontram no exterior, e diante disso, é importante analisar a situação em relação aos trabalhos no âmbito nacional, a fim de avaliar a área dentro do país e constituir referências para pesquisas futuras.

Quando comparado com algoritmos tradicionais matemáticos, os algoritmos bioinspirados detém um melhor desempenho, sendo compatíveis com necessidades atuais que visam a resolução de problemas com maior rapidez. Os algoritmos matemáticos tradicionais não conseguem entregar os mesmo níveis de desempenho, apesar de alcançarem bons resultados em alguns casos, mas demandando mais tempo na sua resolução. Outro ponto no qual algoritmos bioinspirados se destacam, é sua capacidade adaptativa; pois os algoritmos convencionais possuem soluções pouco flexíveis, ao contrário dos algoritmos bioinspirados, que têm soluções que podem ser moldadas para diferentes questões ou até mesmo combinadas com outros algoritmos, formando assim os chamados algoritmos híbridos. Utilizá-los e pesquisá-los é, portanto, uma excelente ideia que deveria possuir uma maior atenção e incentivo de pesquisa no meio acadêmico nacional.

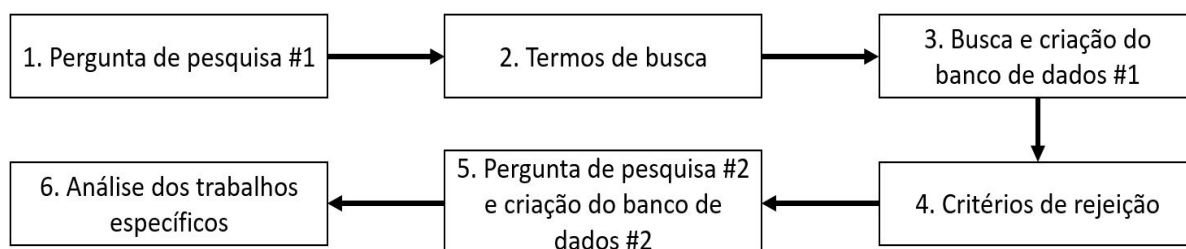
2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia utilizada para realizar a revisão sistemática deste trabalho - baseada em SOUZA (2020) - consiste em definir a pergunta inicial de pesquisa e depois, os termos de busca são estabelecidos a partir da pergunta. O próximo passo é fazer a pesquisa em si, salvando os trabalhos que satisfazem a pergunta em um banco de dados de trabalhos #1.

Posteriormente, aplicam-se critérios de rejeição nesse primeiro banco de dados. Como a primeira pergunta é muito abrangente, então o passo seguinte é a realização de uma segunda pergunta de pesquisa mais específica, gerando um banco de trabalhos #2. Nesse banco, analisam-se os títulos e resumos de cada trabalho, listando detalhes dos mesmos. Encontrado os trabalhos que satisfazem a segunda pergunta, é feito um resumo desses trabalhos e adicionando-os aos resultados.

A Figura 1 sumariza a metodologia usada neste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma da revisão sistemática.



Fonte: SOUZA (2020).

Em nosso trabalho, utilizamos repositórios de trabalhos acadêmicos das universidades federais do Brasil (apenas capitais e 1 universidade por capital). No total, 45 trabalhos foram pré-selecionados e inseridos no banco de dados #1 enquanto que para o banco de dados #2 há apenas 6 trabalhos.

Tabela 1 - Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Repositório
Pergunta de pesquisa #1	Qual o panorama dos trabalhos acadêmicos que utilizam algoritmos bioinspirados baseado principalmente em animais/insetos para resolução de problemas de otimização?	Repositório de universidades nacionais
Termos de busca	bioinspirado, metaheurístico, inteligência artificial	Repositório de universidades nacionais
Pergunta de pesquisa#2	Dos trabalhos que utilizam algoritmos bioinspirados para resolução de problemas de otimização, quais deles envolvem o algoritmo ACO?	Repositório de universidades nacionais
Ano de publicação	De janeiro/2016 a dezembro /2020	Repositório de universidades nacionais
Idioma	Português ou Inglês	Repositório de universidades nacionais

Fonte: Autoral (2020).

3 RESULTADOS

Este capítulo explica os resultados encontrados após a aplicação da metodologia e descreve os principais trabalhos encontrados durante a revisão sistemática da literatura.

Primeiro, foram acessados os repositórios das universidades federais do país (1 por estado) e foram utilizados os termos de pesquisa bioinspirado/bio inspirado, metaheurística/meta-heurística e inteligência artificial para realizar a pesquisa. Acessando os repositórios das universidades federais, foi iniciado o processo de pesquisa com um termo de busca por vez, e filtrados os resultados por anos, começando por 2016, permanecendo neste ano até a análise de todos os resultados retornados pelos termos de buscas, e que possuísem relevância para este estudo, fossem esgotados. Encontrados os trabalhos relevantes em 2016 e esgotado os termos de pesquisa, passamos para o próximo ano, repetindo o mesmo processo até o ano de 2020. Encontrado um trabalho que possuisse relevância para esta monografia, ele era adicionado ao banco de dados #1 com seu título, autor do trabalho, o ano que foi publicado, qual foi o repositório pesquisado e o termo de busca que foi usado para encontrá-lo.

Para realizar as buscas, foram considerados resultados para os termos de pesquisa com no mínimo 5 resultados, e qualquer termo que não obtivesse o mínimo era ignorado, sendo utilizado o próximo termo. Aplicando esses passos, foram encontrados e inseridos no banco de dados #1 um total de 45 trabalhos.

Para o banco de dados #2, utilizamos os trabalhos inseridos no banco de dados #1 e filtramos os trabalhos que atendiam a segunda pergunta: Dos trabalhos que utilizam algoritmos bioinspirados para resolução de problemas de otimização, quais deles envolvem o algoritmo *Ant Colony Optimization*.

Durante a filtragem do banco de dados #2, acabamos encontrado dois trabalhos repetidos que foram encontrados através de dois termos de buscas diferentes e foram removidos. Foram utilizados os termos *Ant Colony Optimization*, ACO e Colônia de Formigas para filtrar os resultados, e foram encontrados um total de 6 trabalhos relacionados a esse algoritmo e inseridos no Banco de Dados #2, onde é armazenado os trabalhos necessários para fazer a análise da literatura e encontrar os resultados desejados.

Tabela 2 - Banco de dados #2

ID	Título do artigo e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
25	Meta-Heurística Aplicada ao Planejamento de Atividades de Lotes de Vagões em Terminais Ferroviários Autor: PINTO, G. L.	ACO	UFES	2019	meta-heurísticas
31	Análise de otimização de roteamento Iot em redes LLN's para cidades inteligentes : um estudo empírico sobre a utilização do método de enxame ACO em ambientes Iot para cidades inteligentes Autor: Silva, César Felipe Gonçalves da	ACO	UFAL	2019	inteligência artificial
33	Implementação de algoritmo baseado em otimização por colônia de formigas aplicado ao planejamento de caminhos para robô móvel Autor: Gomes, Allan Costa	ACO	UFC	2019	meta-heurística
39	Meta-heurísticas bio-inspiradas para otimização multiobjetivo do controle Volt/VAr no contexto das redes elétricas inteligentes Autor: Medeiros, Thiago Saude	GA, o algoritmo Memético, ACO, PSO e o Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA2)	USP	2018	inteligência artificial
41	Método meta-heurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo Autores: Souza, Fernanda Gonçalves	ACO	USP	2019	meta-heurística

(continuação...)

ID	Título do artigo e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
45	Algoritmo de Colônia de Formigas e Redes Neurais Artificiais aplicados na monitoração e detecção de falhas em centrais nucleares Autores: Santos, Gean Ribeiro dos	ACO	USP	2016	inteligência artificial

Fonte: Autorial 2020

3.1 Meta-Heurística Aplicada ao Planejamento de Atividades de Lotes de Vagões em Terminais Ferroviários (PINTO, G. L., 2019)

Nesta tese de mestrado, o autor desenvolveu uma solução que otimiza o planejamento da atividade de lotes de vagões em terminais ferroviários através do uso do algoritmo ACO, usando a estratégia *Elitist-Rank Based Strategy*, de forma a acelerar a desocupação desses lotes e agilizar a liberação dos recursos utilizados pelo vagão.

Para testar a aplicação da proposta, o autor utilizou o algoritmo ACO e o comparou aos resultados obtidos do programa CPLEX Optimizer da IBM (PIMENTA, 2018). Os parâmetros definidos foram: a influência do feromônio α , a influência do valor heurístico β , a taxa de evaporação dos feromônios entre seleções ρ , o número de formigas por ciclos na variável *numFormigas* e o número de ciclos realizados por *numCiclos*. Após a fase de teste, o autor definiu os parâmetros finais como: $\beta = 2$, $\alpha = 0.5$, $\rho = 0.3$, *numFormigas* = 150 e *numCiclos* = 150.

Definido os parâmetros finais, o autor comparou os resultados encontrados pelo algoritmo ACO aos de CPLEX (PIMENTA, 2018). Para obter os resultados, cada instância foi executada 15 vezes. Resultados positivos significam que CPLEX obteve um desempenho melhor, caso contrário o algoritmo ACO foi melhor e se for zero ambas tiveram o mesmo desempenho.

Figura 2 - Resultados encontrados ordenados de forma crescente, portanto, os melhores resultados de cada instâncias estão na primeira posição (instância 1)

Tabela 12 - Resultados Meta-heurística proposta x CPLEX

Instância	ACO					CPLEX				Diferença		
	FO Média	Desv. Pad. Rel. FO	Melhor FO	Tempo Exec. (s)	Tempo p/ Melhor (s)	FO	LB	UB	GAP	Tempo Exec. (s)	Dif. FO	Dif. Tempo Exec.
1	350,0	0,0%	350,0	47,5	4,1	350,0	-	-	0,00%	76	0,00%	-37,5%
2	255,9	0,1%	255,0	19,3	4,7	255,0	-	-	0,00%	105	0,37%	-81,7%
3	331,0	0,0%	331,0	23,9	8,0	331,0	-	-	0,00%	74	0,00%	-67,7%
4	390,0	0,0%	390,0	37,2	13,1	390,0	-	-	0,00%	81	0,00%	-54,1%
5	390,5	0,1%	390,0	31,5	11,4	390,0	-	-	0,00%	409	0,14%	-92,3%
6	269,9	0,4%	268,0	27,1	10,2	268,0	-	-	0,00%	1933	0,72%	-98,6%
7	253,9	0,4%	252,0	33,8	20,4	252,0	-	-	0,00%	8315	0,77%	-99,6%
8	260,7	0,2%	260,0	38,3	14,9	260,0	-	-	0,00%	1747	0,28%	-97,8%
9	254,9	0,2%	253,0	30,0	11,2	252,0	-	-	0,00%	5335	1,16%	-99,4%
10	364,5	0,4%	362,0	44,5	25,6	367,0	350,2	367,0	4,58%	79200	-0,67%	-99,9%
11	519,0	0,8%	512,0	91,6	39,3	521,0	427,5	521,0	17,94%	79200	-0,38%	-99,9%
12	168,0	0,0%	168,0	33,5	16,5	168,0	-	-	0,00%	74	0,00%	-54,7%
13	211,8	0,2%	211,0	28,3	10,6	209,0	-	-	0,00%	656	1,34%	-95,7%

Fonte: PINTO, G. L. (2019)

A partir das execuções foi possível encontrar que o algoritmo ACO foi melhor que CPLEX em quase todas as instâncias com um tempo de execução muito menor com uma média de 37.4 segundos. O principal exemplo dessa diferença de execução está nas instâncias 10 e 11 onde CPLEX ficou 79.200 segundos (22 horas) sem encontrar uma solução ótima, enquanto que o algoritmo ACO levou apenas 44.5 e 91.6 **segundos** para encontrar a solução ótima global.

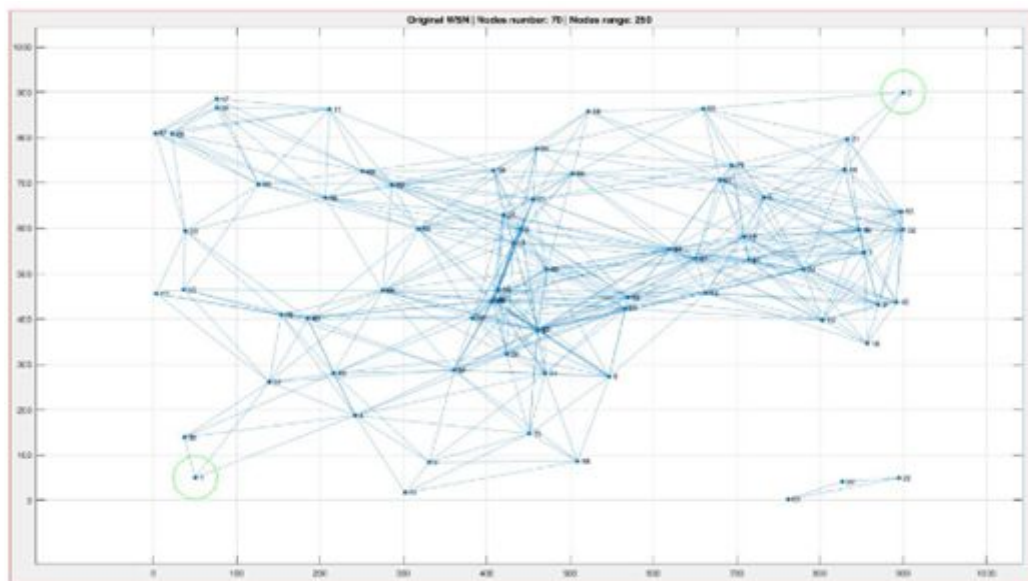
Após testes e comparações, o autor conclui que o algoritmo ACO é um excelente algoritmo de rápida execução e de desempenho estável (desvio padrão relativo de no máximo 0.8%), conseguindo encontrar ou se aproximar da solução ótima de até 9 lotes e conseguindo um melhor desempenho que CPLEX nas instâncias de 12 e 15 lotes. Apesar de a complexidade da instância interferir na convergência da FO e na viabilidade das soluções geradas, o autor ainda propõe o uso do algoritmo ACO pela sua baixa demanda de processamento e velocidade para encontrar a solução ótima.

3.2 Análise de otimização de roteamento IoT em redes LLN's para cidades inteligentes: um estudo empírico sobre a utilização do método de enxame ACO em ambientes IoT para cidades inteligentes (SILVA, César Felipe Gonçalves da, 2019)

Nesta tese de mestrado, o autor propõe o uso do algoritmo ACO para otimizar o uso energético dos nós de uma rede IoT (*Internet of Things*) que possuem baixa capacidade energética e, portanto, se beneficiaram de uma maneira mais rápida de transmissão de dados, aumentando suas vidas úteis.

Primeiro, o autor criou uma simulação com 70 nós distribuídos aleatoriamente em uma área de 1km x 1km com alcance de 250 metros, gerando o seguinte grafo:

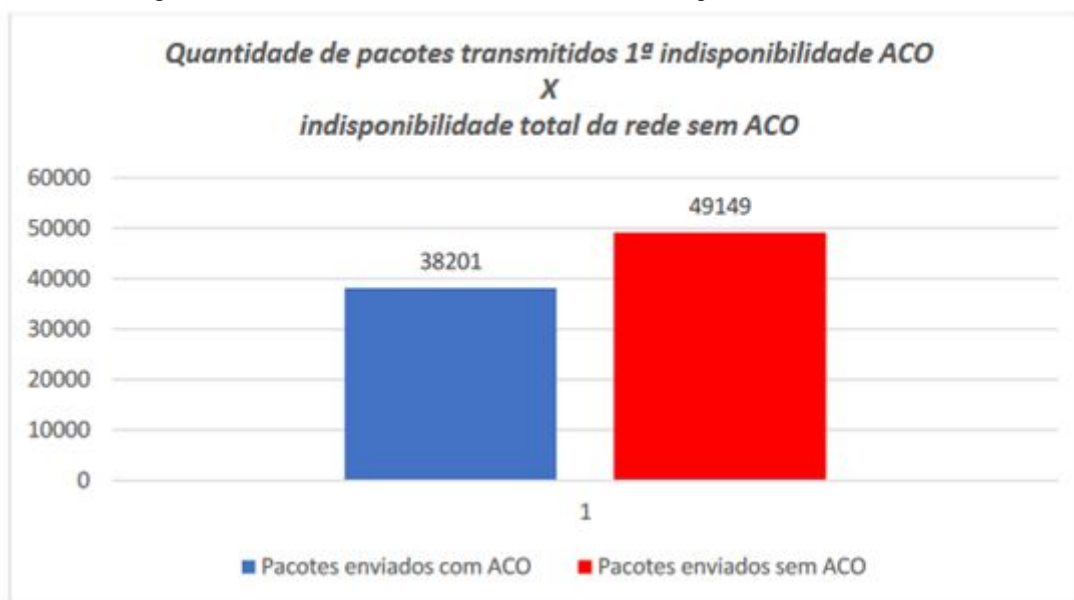
Figura 3 - Rede utilizada para simulação tanto sem ACO e com ACO.



Fonte: SILVA, César Felipe Gonçalves da (2019)

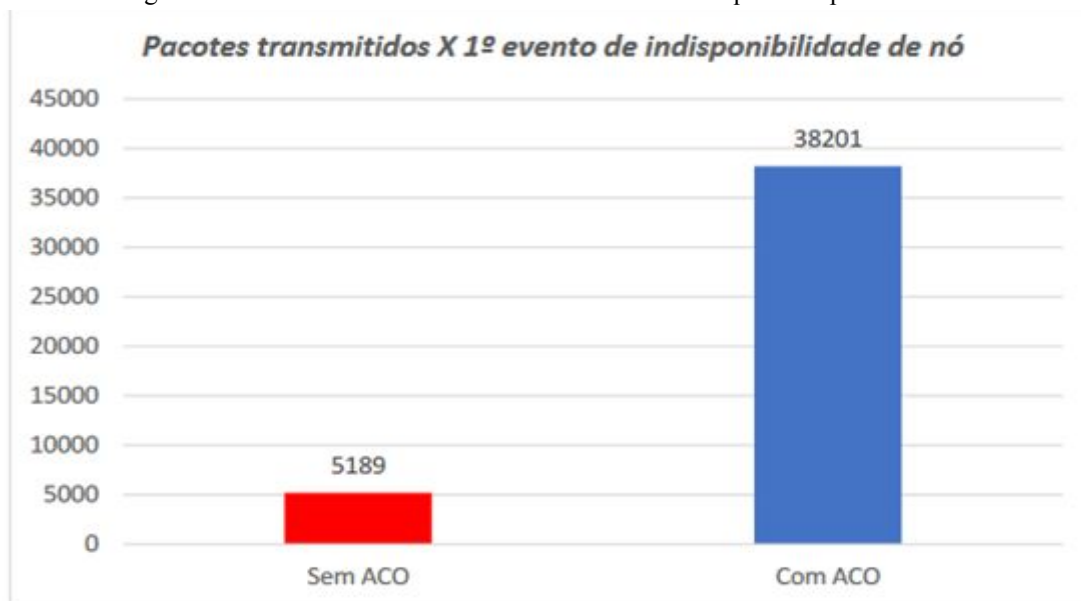
Com o objetivo de enviar dados do nodo 1 (inferior esquerdo) para o nodo 2 (superior direita), a simulação sem ACO teve início. Executando até a pane total da rede, a simulação sem ACO enviou um total de 49.149 pacotes de dados antes da simulação ser finalizada. Testando na mesma simulação, dessa vez utilizando o algoritmo ACO com sua eficiência comprometida pois o autor, com o objetivo de abreviar a simulação, definiu que cada ciclo ACO ocorreria a cada 100 iterações; e mesmo comprometido a simulação com ACO enviou um total de 38.201 pacotes antes da queda do primeiro nodo da rede, enviando 736% mais pacotes antes da queda do primeiro nodo e 77.72% do total de pacotes transmitidos antes da rede cair totalmente.

Figura 4 - Transmissão totais sem ACO vs Primeira queda de nodo com ACO.



Fonte: SILVA, César Felipe Gonçalves da (2019)

Figura 5 - Transmissões sem ACO e com ACO antes da queda do primeiro nodo.



Fonte: SILVA, César Felipe Gonçalves da (2019)

Apesar de o trabalho desconsiderar ambientes reais e seus diversos meios de geração de ruído na rede, o autor concluiu que o algoritmo ACO pode ser utilizado para enviar uma quantidade de dados superior ao algoritmo de roteamento *ShortestPath*, sendo capaz de manter a rede operacional por muito mais tempo e transmitindo muito mais dados no mesmo intervalo de tempo.

3.3 Implementação de algoritmo baseado em otimização por colônia de formigas aplicado ao planejamento de caminhos para robô móvel (GOMES, Allan Costa, 2018)

Neste trabalho de conclusão de curso, o autor implementa duas versões do algoritmo ACO: *Max-Min Ant System* (MMAS) e *Fast Two-Stages Max-Min Ant System* (FTS-MMAS) com o objetivo de descobrir qual deles é o mais indicado para auxiliar robôs em encontrar rotas ótimas em mapas decompostos.

A fim de chegar a uma conclusão, foram realizados dois experimentos, uma simulação com três cenários e um teste real com robô.

- Cenário A: Observar se os algoritmos conseguem encontrar caminhos livres de obstáculos, comparando o tempo de execução e o caminho percorrido entre os algoritmos.

Figura 6 - Representação do mapa do Cenário A



Fonte: GOMES, Allan Costa, (2018)

Tabela 3 – Resultados do teste para o Cenário A

Parâmetro	Algoritmo MMAS	Algoritmo FTS-MMAS
Comprimento Médio	26,3340 u	26 u
Tempo médio de execução	1,0800 s	0,0994 s

Fonte: GOMES, Allan Costa, (2018)

- Cenário B: Semelhante ao cenário A, entretanto o cenário B apresenta 2 mapas da simulação com mínimos locais.

Figura 7 - Representação do primeiro mapa do Cenário B



Fonte: GOMES, Allan Costa (2018)

Figura 8 - Representação do segundo mapa do Cenário B



Fonte: GOMES, Allan Costa (2018)

- Cenário C: Este cenário apresenta um mapa complexo com diversos obstáculos. Neste último cenário simulado, somente o algoritmo FTS-MMAS foi utilizado.

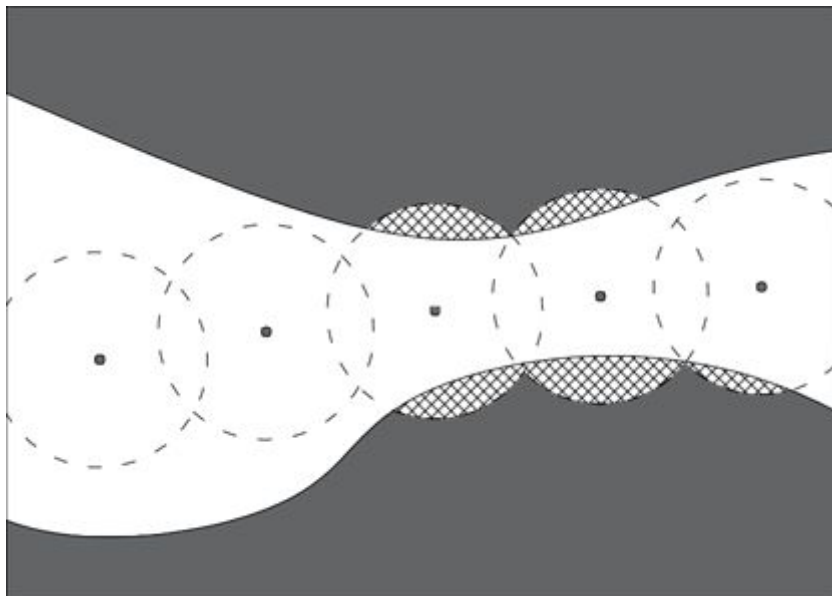
Figura 9 - Representação do mapa do Cenário C



Fonte: GOMES, Allan Costa (2018)

No experimento real o objetivo é analisar a performance do robô no seguinte trajeto:

Figura 10 - Trajeto a ser percorrido.



Fonte: GOMES, Allan Costa (2018)

Em conclusão, o algoritmo FTS-MMAS teve melhor desempenho, sendo superior ao algoritmo MMAS nos dois primeiros cenários a ponto que o algoritmo MMAS não foi mais utilizado no último cenário. Apesar de limitações físicas do robô, como seu tamanho e tempo de resposta, o experimento foi dado como sucesso.

3.4 Meta-heurísticas bio-inspiradas para otimização multiobjetivo do controle Volt/VAr no contexto das redes elétricas inteligentes (MEDEIROS, Thiago Saúde, 2018)

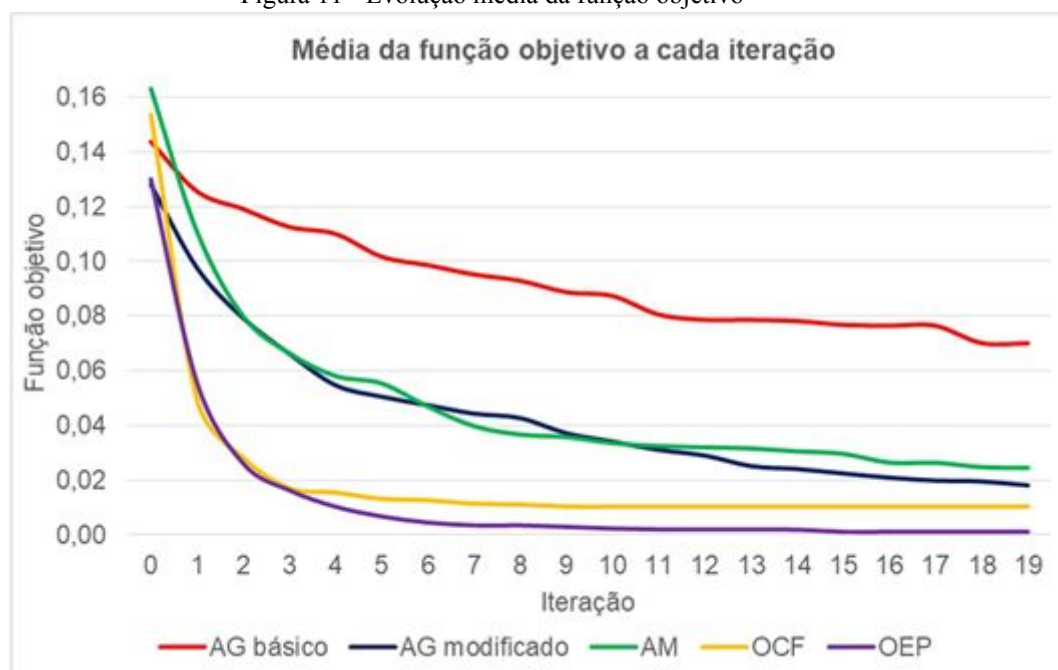
Esta dissertação tem o objetivo de comparar o desempenho de meta-heurísticas bio-inspiradas aplicadas à resolução de problemas de otimização multiobjetivo do controle de tensão e reativos, ou controle Volt/VAr, em redes inteligentes.

No artigo foram implementadas e aplicadas meta-heurísticas bio-inspiradas para a resolução do problema, estes sendo o algoritmo genético, o algoritmo memético, a otimização por colônia de formigas, a otimização por enxame de partículas e o *strength pareto evolutionary algorithm* SPEA2.

Em ordem de alcançar a meta do trabalho, foram realizados testes em quatro casos:

- Caso I: Análise de desempenho subestação hipotética com um transformador com OLTC *On Load Tap Changer*;

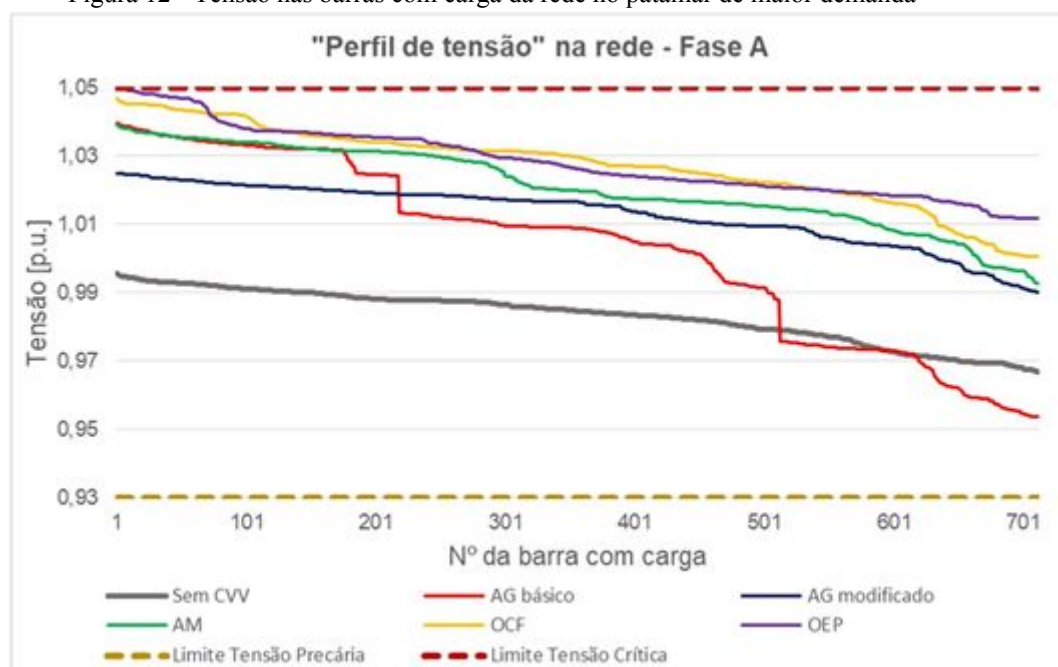
Figura 11 - Evolução média da função objetivo



Fonte: MEDEIROS, Thiago Saúde (2018)

- Caso II: Análise de desempenho em relação aos objetivos do CVV;
 - Com teste de sensibilidade para determinar os pesos de cada função pertinente.

Figura 12 - Tensão nas barras com carga da rede no patamar de maior demanda



Fonte: MEDEIROS, Thiago Saúde (2018)

- Caso III: Análise do algoritmo SPEA2 na resolução do multiobjetivo do problema de controle Volt/VAr na subestação do Caso I;
- Caso IV: Análise do algoritmo SPEA2 resolução do multiobjetivo do problema de controle Volt/VAr em um cenário com maior tráfego do caso III;

De acordo com os autores:

“Todos os algoritmos analisados apresentaram bons resultados ao serem utilizados na resolução do problema de otimização do controle Volt/VAr em comparação ao caso base, sem CVV, com BCs desligados e tap dos transformadores na posição zero. As soluções propostas pelos algoritmos levaram os níveis de tensão nas barras com carga da rede para dentro do limite em todos os casos, com perdas técnicas na rede sendo reduzidas.”

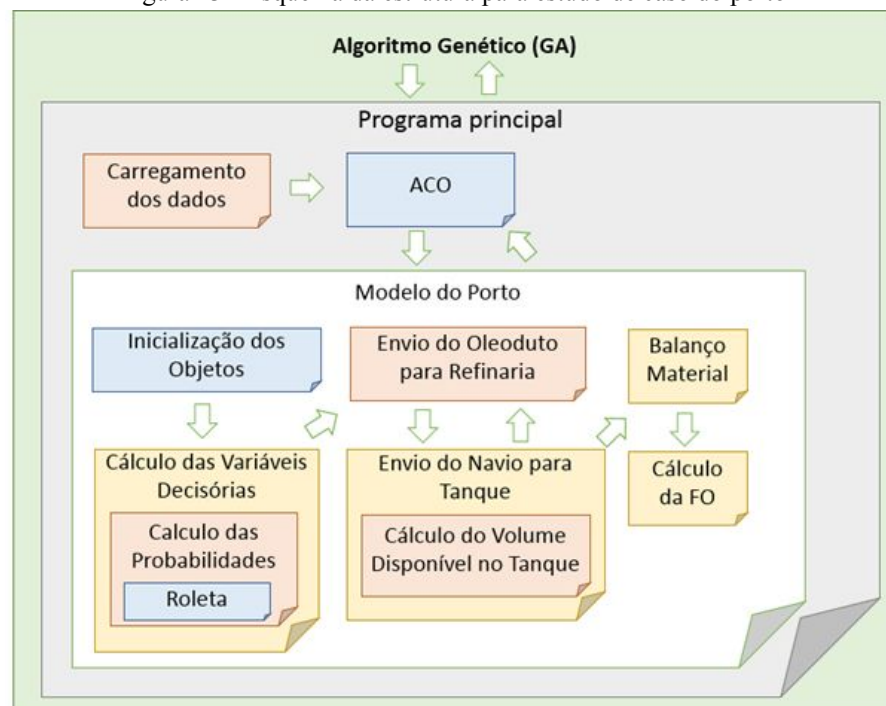
3.5 Método meta-heurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo (SOUZA, Fernanda Gonçalves, 2019)

Nesta dissertação, foi desenvolvido um modelo, composto por porto, terminal, oleoduto e refinaria, capaz de representar o processo de alocação de petróleo a partir da sua chegada em um navio até a refinaria em um horizonte de tempo de poucos dias utilizando um algoritmo de colônia de formigas. Um problema de *scheduling* (cronograma).

A formulação do modelo foi feita em 5 etapas:

- Etapa I: Definir quais seriam as variáveis do modelo de modo a permitirem todas as liberdades possíveis de resposta e, ao mesmo tempo, não serem redundantes para que não haja dispêndio desnecessário de processamento computacional.
- Etapa II: Definição das heurísticas que seriam utilizadas e seus respectivos valores, de forma que elas ajudem a encontrar o resultado, mas sem restringir o algoritmo.
- Etapa III: Escolher o tipo de arquitetura seria utilizada na programação entre a imperativa código direto, a funcional utilizando funções e a orientada a objeto.
- Etapa IV: Programar o sequenciamento de tarefas de modo que elas não se sobreponham e que o balanço de massa e demais restrições sejam respeitados.
- Etapa V: Definir o valor das constantes do problema que interferem diretamente na qualidade da resposta e no tempo de processamento computacional empregado; são elas: o intervalo de tempo em que o horizonte será dividido, o número de formigas e o número de iterações.

Figura 13 - Esquema da estrutura para estudo de caso do porto



Fonte: SOUZA, Fernanda Gonçalves (2019).

O algoritmo foi aplicado com sucesso para solucionar uma variedade de problemas, com pontos fortes sendo a facilidade de adaptação para os diversos problemas e a velocidade de convergência. A limitação de hardware, entretanto, foi o maior impeditivo para implementação de um modelo mais robusto, já que a parametrização, que é essencial para um desempenho satisfatório do OCF, exige uma quantidade exaustiva de rodadas do algoritmo demandando grande tempo computacional.

3.6 Algoritmo de Colônia de Formigas e Redes Neurais Artificiais aplicados na monitoração e detecção de falhas em centrais nucleares (SANTOS, Gean Ribeiro dos, 2016)

Este trabalho utiliza o algoritmo de Otimização por Colônia de Formigas (OCF) para criar redes neurais otimizadas. O algoritmo de busca OCF utiliza a técnica de retropropagação de erros para otimizar a topologia da rede neural sugerindo as melhores conexões entre os neurônios. A Rede Neural Artificial (RNA) resultante foi aplicada para monitorar variáveis do reator de pesquisas IEA-R1 do IPEN.

Para realizar a pesquisa, foram realizadas simulações com duas variáveis:

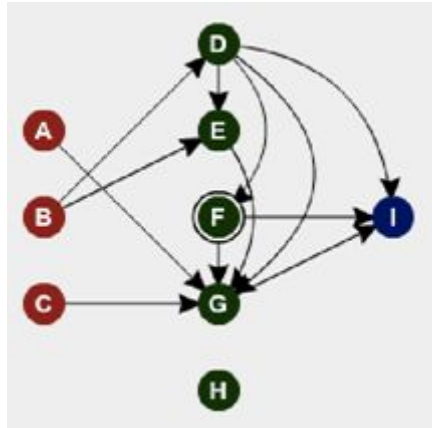
- A taxa de dose no saguão da piscina R1M3;
- A temperatura da água da piscina acima do núcleo do reator T1

Levando a dois casos, cada um com 3 séries de testes em caso:

- Caso 1: Para estimar R1M3, foram utilizadas como entradas: T1 temperatura na superfície da piscina, N3 percentual de potência no canal de segurança 2 e F1M3 vazão do primário.
 - Testes com quatro neurônios na camada escondida;
 - Testes com cinco neurônios na camada escondida;
 - Testes com seis neurônios na camada escondida.
- Caso 2: As estimativas de T1 foram feitas utilizando como entradas: N2 percentual de potência no canal de segurança 1, N3 percentual de potência no canal de segurança 2 e N4 percentual de potência no canal de segurança 3.
 - Testes com quatro neurônios na camada escondida;

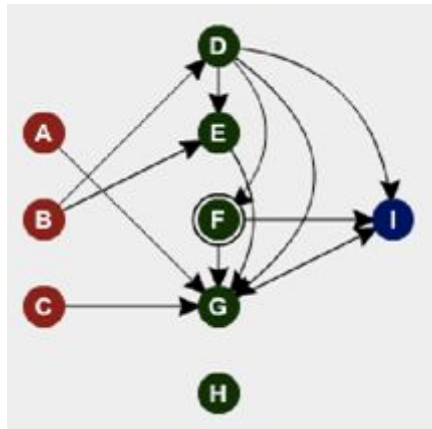
- Testes com cinco neurônios na camada escondida;
- Testes com seis neurônios na camada escondida.

Figura 14 - Rede neural otimizada com as variáveis T1, N3, F1M3 e R1M3 configuração com 5 neurônios na camada escondida



Fonte: Santos, Gean Ribeiro dos, (2016)

Figura 15 - Rede neural otimizada com as variáveis N2, N3, N4 e T1 configuração com 5 neurônios na camada escondida



Fonte: Santos, Gean Ribeiro dos, (2016)

As topologias resultantes nos testes com as quantidades 5 e 6 de neurônios na camada escondida também indicam que 4 é o número ideal de neurônios na camada escondida, isso porque somente 4 neurônios são utilizados, os outros ficam desconectados da rede.

O algoritmo OCF foi utilizado para sugerir, dentre as possíveis combinações de conexões entre os neurônios de uma RNA, aquelas que melhoram o desempenho da rede em relação à topologia que conecta todos os nós entre camadas adjacentes. Os resultados obtidos indicam que o desempenho de redes neurais com propagação para frente pode ser melhorado escolhendo-se as melhores conexões entre os neurônios ao invés de se utilizar uma topologia totalmente conectada.

Nos testes com 4, 5 e 6 neurônios na camada escondida, o algoritmo OCFRN, nome do algoritmo de busca baseado na otimização de colônia de formigas, foi capaz de encontrar topologias que apresentam um desempenho melhor na tarefa de estimar o valor das variáveis escolhidas.

4 DISCUSSÃO

Este capítulo aprofunda a discussão dos resultados encontrados, analisando quantitativamente a revisão sistemática da literatura realizada.

Usando os repositórios nacionais de trabalhos acadêmicos, a tabela 4 lista a quantidade total de trabalhos encontrados em cada universidade pesquisada. Somente analisando a tabela 4, fica evidente que a pesquisa usando algoritmos bioinspirados no país é muito baixa, dados esses que serão apresentados a seguir. Uma das possíveis razões, é provavelmente a falta de interesse dos pesquisadores brasileiros em utilizar esses tipos de algoritmos; outra, mais otimista, é o simples desconhecimento destas técnicas.

Uma terceira razão, provavelmente a mais próxima da realidade, é a de que os pesquisadores brasileiros que utilizam algoritmos bioinspirados preferem publicar seus estudos/trabalhos em revistas e conferências internacionais uma vez que elas possuem um alto grau de visibilidade e podem fornecer maiores oportunidades para esses pesquisadores e um alcance maior para seus trabalhos, o que diminui a quantidade de trabalhos publicados no Brasil ou em língua portuguesa.

Porém, quando se refere aos trabalhos publicados no Brasil existe uma falta de inovação nos algoritmos utilizados, isto é, não há tentativa de otimização ou melhoramento dos algoritmos bioinspirados e os pesquisadores brasileiros focam somente em utilizar a implementação “tradicional” em seus trabalhos para resolver problemas e encontrar soluções. Apesar de ser uma atitude compreensível, quando comparada ao panorama internacional, o Brasil fica para trás em termos de propor inovações na aplicação destes tipos de algoritmos.

Tabela 4 - Quantidade de trabalhos encontrados divididos por universidades federais

Universidade	Estado	Quantidade Total
UFAC	Acre	0
UFAL	Alagoas	1
UNIFAP	Amapá	0
UFAM	Amazonas	0

(continuação...)

Universidade	Estado	Quantidade Total
UFBA	Bahia	0
UNB	Brasília	4
UFC	Ceará	3
UFES	Espírito Santo	4
UFG	Goiás	0
UFMA	Maranhão	0
UFMT	Mato Grosso	0
UFMS	Mato Grosso do Sul	0
UFMG	Minas Gerais	1
UFPA	Pará	4
UFPB	Paraíba	5
UFPR	Paraná	5
UFPE	Pernambuco	2
UFPI	Piauí	0
UFRJ	Rio de Janeiro	3
UFRGS	Rio Grande do Sul	1
UFRN	Rio Grande do Norte	3
UNIR	Rondônia	0

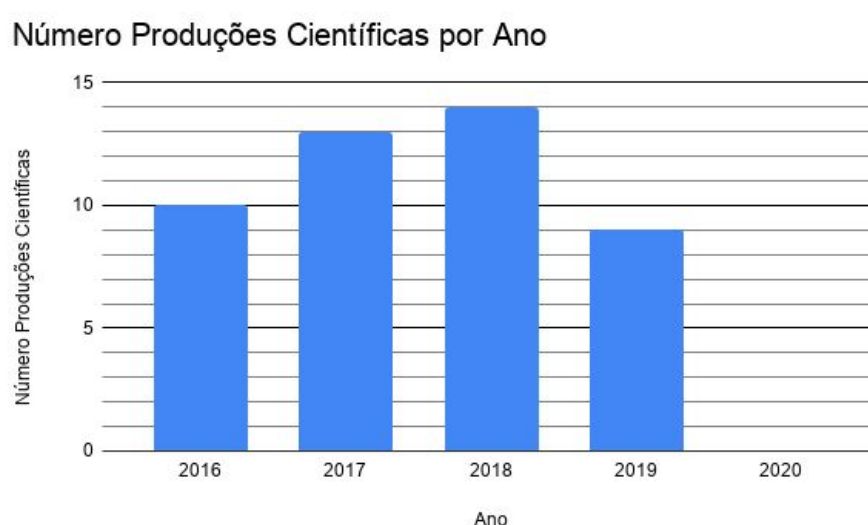
(continuação...)

Universidade	Estado	Quantidade Total
UFRR	Roraima	0
UFSC	Santa Catarina	0
USP	São Paulo	7
UFS	Sergipe	2
UFT	Tocantins	2

Fonte: Autoral (2020).

De acordo com a figura 16, podemos observar um aumento no número de produções de 2016 a 2018, porém em 2019 vemos uma queda no número de produções científicas nessa área, em 2020 nenhuma produção nessa área foi desenvolvida até o mês no qual foi desenvolvida a pesquisa (mês de setembro/2020). Em grande parte, devido a epidemia causada pelo Covid-19, não foram publicados trabalhos no ano de 2020. No total, considerando os últimos quatro anos, há 45 trabalhos publicados. A queda registrada de 2018-2019 pode ter sido causada pela falta de incentivo na pesquisa (cortes de verbas).

Figura 16 - Gráfico com número de produções científicas por ano.

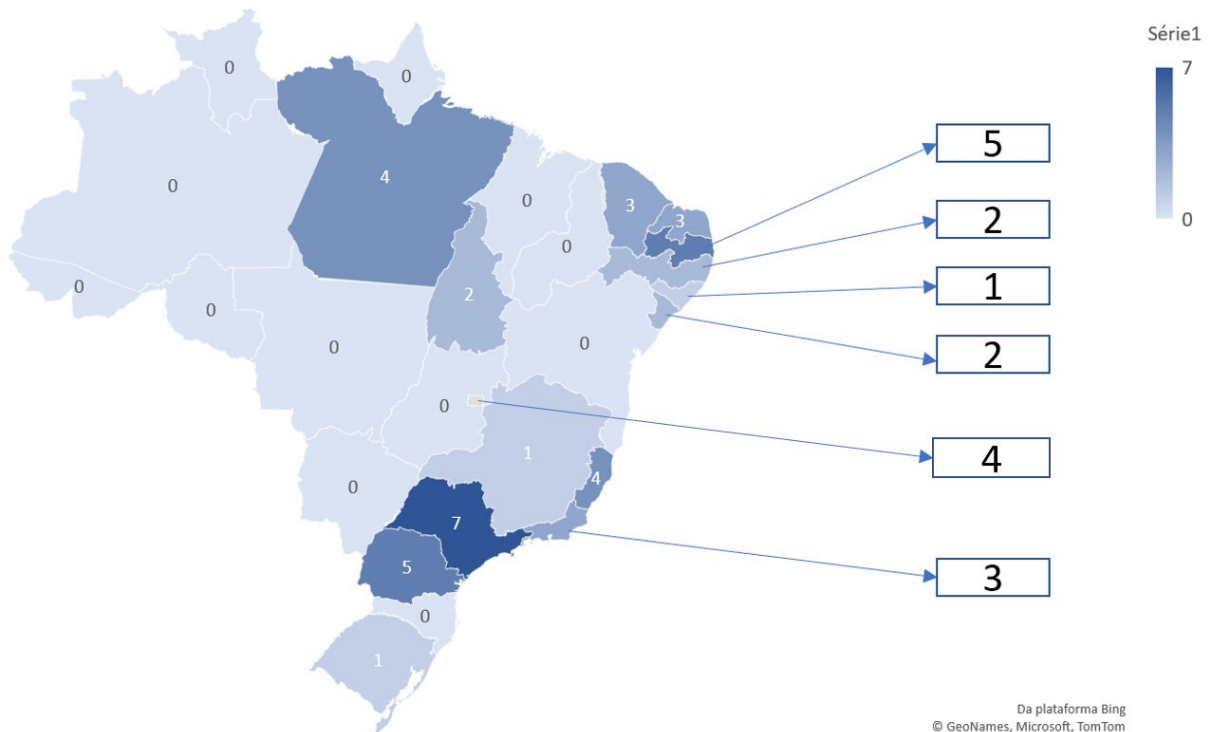


Fonte: Autoral (2020).

Conforme a figura 17, podemos analisar que a concentração das pesquisas nessa área está nas regiões nordeste e sudeste, isso deve-se aos pólos de tecnologia estarem localizados

nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Porém, a região nordeste conseguiu se destacar mais dentro da área devido ao processo de crescimento econômico que a região passou há alguns anos. Outro ponto evidenciado é o fato de o centro-oeste ser a região com menos produções.

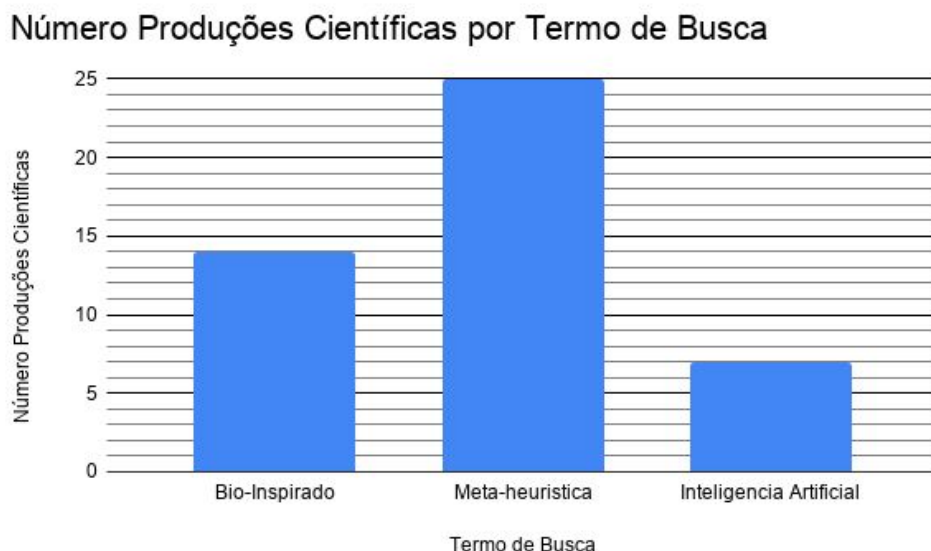
Figura 17 - Gráfico com número de produções científicas por regiões.
Quantidade de Trabalhos por Estado



Fonte: Autorial (2020).

De acordo com a figura 18, observa-se que a palavra-chave mais utilizada nos trabalhos acadêmicos para referir-se a área é “meta-heurística”, termo que deveria ser menos utilizado, uma vez que o termo meta-heurística é muito abrangente para referir-se aos algoritmos bio-inspirados, o que acaba deixando a pesquisa na área mais escassa do que realmente é.

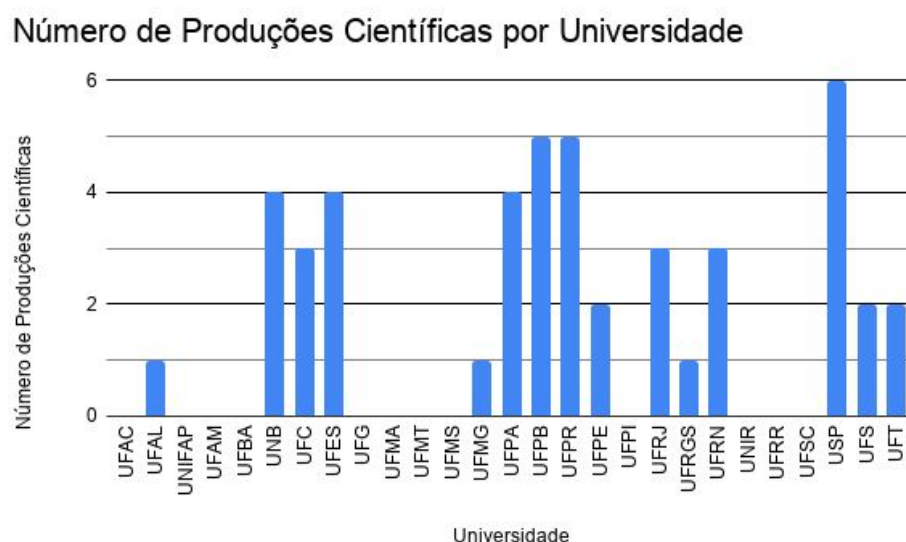
Figura 18 - Gráfico com número de produções científicas por termos de busca.



Fonte: Autoral (2020).

Como visto na figura 19, podemos analisar que as universidades que possuem mais produção nessa área são USP, UFPB e UFPR. A região centro-oeste, que tinha o menor número de produções, tem apenas a UNB produzindo artigos nesta área. A região norte conta com apenas duas universidades em destaque: UFT e UFPA, sendo a UFPA com mais produção. Das 27 universidades federais, 12 não produziram nenhum trabalho na área pesquisada.

Figura 19 - Gráfico com número de produções científicas por universidades.



Fonte: Autoral (2020).

Durante esta pesquisa foi notado que a quantidade de trabalhos que utilizam algoritmos bioinspirados no país é muito baixa se comparada aos trabalhos disponíveis

internacionalmente. Para comprovar essa observação, foram buscados os mesmo termos de pesquisa (com a apropriada adaptação) no Google Scholar por trabalhos que utilizem algoritmos bioinspirados, filtrando os resultados desde 2016. Como essa pesquisa em particular criaria uma tangente que fugiria ao escopo deste trabalho, ela não foi além de pesquisar os termos e pegar o total de trabalhos retornados.

Como visto nas figuras 20 e 21 abaixo, para o termo de pesquisa “bioinspirado” foram retornados cerca de 21.600 resultados retornados enquanto que para resultados somente em português esse número cai para apenas 436 trabalhos.

Figura 20 - Quantidade de resultados retornados na pesquisa pelo Google Scholar desde 2016 em qualquer idioma.



Fonte: Autoral (2020).

Figura 21 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar quando pesquisado somente por resultados em português.



Fonte: Autoral (2020).

Em seguida foram buscados trabalhos com o termo “metaheurística/meta heurística”. Semelhante aos resultados para “bioinspirado”, as figuras 22 e 23 mostram que a quantidade de trabalhos internacionais retornados é muito maior que a retornada pela “somente em português”.

Figura 22 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar em qualquer idioma.



Fonte: Autoral (2020).

Figura 23 - Quantidade de trabalhos retornados pelo Google Scholar somente em português.



Fonte: Autoral (2020)

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Após uma extensa pesquisa sistemática da literatura e estudo dos trabalhos publicados por universidades brasileiras, entre os anos 2016-2020 sobre algoritmos bioinspirados no Brasil, percebe-se que a área ainda está focada nos algoritmos matemáticos clássicos. Diferente das pesquisas internacionais, que buscam a criação de novos algoritmos ou formas de otimizar algoritmos bioinspirados já existentes.

Durante a pesquisa, verificou-se que a área de algoritmos bioinspirados no Brasil ainda precisa amadurecer e se desenvolver, estando concentrado nas regiões Sudeste e Nordeste, com destaque ao Pará que, mesmo não sendo um estado pólo semelhante a São Paulo, possui mais da metade dos trabalhos encontrados na região Norte. Quanto a pesquisa sobre ACO, percebeu-se que este algoritmo ainda continua sendo muito utilizado para otimização, apresentando soluções ótimas em relação aos algoritmos aos quais foram comparados nos trabalhos acadêmicos, adicionando um caráter inovador para a solução.

Os algoritmos bioinspirados possuem uma ótima aplicação geral, são mais rápidos e eficientes que algoritmos matemáticos clássicos e, frequentemente, retornam soluções ótimas globais em uma fração de tempo que um algoritmo não-bioinspirado.

Como trabalhos futuros, deseja-se expandir a busca em repositórios de universidades federais localizadas no interior dos estados, e também considerar repositórios de universidades estaduais e privadas além de utilizar a base de dados SciELO para aprofundar a pesquisa. Além disso, almeja-se detalhar melhor a pesquisa nos repositórios internacionais, permitindo a comparações entre as publicações feitas no Brasil e em outros países de maneira mais precisa.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, Iron Araújo de. **Uma Nova Abordagem de Casamento de Impressões Digitais**. 113 f. 2016. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

ANDRADE NETO, José Joaquim de. **Explorando algoritmos baseados em enxames de partículas no contexto do problema do escalonamento de tarefas em projetos de software**. 43 f. 2018. Relatório))Mestrado no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) – PIBIC - Pró-reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2018.

BARBOSA, Carlos Eduardo Martins. **Algoritmos bio-inspirados para solução de problemas de otimização**. 194 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação) – Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

BASILIO, Pedro da Matta e Andrade. **Um modelo matemático multi terminais e uma metaheurística Adaptive Large Neighborhood Search para o problema de roteamento de navios aliviadores visando o escoamento de petróleo offshore**. 94 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

BERGAMINI, Mariane Gavioli. **Estimação de parâmetros de sistemas não lineares utilizando um sistema colaborativo de metaheurísticas**. 94 f. 2018. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, , Curitiba, 2018.

BERNARDES, Wellington Maycon Santos. **Análise da proteção de sistemas de energia elétrica utilizando técnicas modernas de otimização heurística**. 218 f. 2018. Tese (Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

BINITHA S, S Silva Sathya. A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms. **International Journal of Soft Computing and Engineering IJSCE**, Online, v. 2, n. 2, maio 2012. Disponível em: <<https://www.ijscce.org/wp-content/uploads/papers/v2i2/B0523032212.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2020.

BONOTTO, Edison Luiz. **Otimização por Nuvem de Partículas e Busca Tabu para Problema da Diversidade Máxima**. 66 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

BRITO, Felix Estevam de Jesus. **Seleção e alocação de dispositivos limitadores de corrente de curto-circuito utilizando o algoritmo evolucionário multiobjetivo NSGA-II**. 144 f.

2016. Dissertação (Mestrado no Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

CARVALHO, Rafael Lima de. **Sistema de rastreamento de múltiplos alvos sob restrições de conectividade**. 124f. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CASTRO JUNIOR, Olacir Rodrigues. **Bio-inspired optimization algorithms for multi-objective problems**. 191 f. 2017. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Curitiba, 2017.

CENTRO DE PESQUISA EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE. **Inteligência Artificial e Redes Neurais**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/106-inteligencia-artificial-e-redes-neurais>> Acesso em: 30 out. 2020.

COSTA, Wilson Wolf. **Aplicação de otimização por enxame de partículas aprimorada na solução do problema da árvore de Steiner Euclidiano no \mathbb{R}^n** . 110f. 2019. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Sistemas) – Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Sistemas, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

COWLING, P., KENDALL, G. SOUBEIGA, E. A Hyperheuristic Approach to Scheduling a Sales Summit. Springer, Berlin, Heidelberg. **Practice and Theory of Automated Timetabling III (PATAT)**. Online, v. 2079, set. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/3-540-44629-X_11>. Acesso em: 11 set 2020.

FEITOSA NETO, Antonino Alves. **Meta-heurísticas de otimização tradicionais e híbridas utilizadas para construção de comitês de classificação**. 196 f. 2016. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Sistema e Computação) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

FERREIRA, Ellen Cristina. **Fluxo de potência ótimo multiobjetivo com restrições de segurança e variáveis discretas**. 189 f. 2018. Tese (Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

GIGERENZER, Gerd; GAISSMAIER, Wolfgang. Heuristic Decision Making. **Annual Review of Psychology**, Online, v.62, jan. 2011. Disponível em: <<https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-psych-120709-145346>>. Acesso em: 21 out. 2020.

GOMES, Allan Costa. **Implementação de algoritmo baseado em otimização por colônia de formigas aplicado ao planejamento de caminhos para robô móvel**. 50 f. 2018.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

GOMES, Carlos Augusto Machado. **Otimização da operação diária de usinas hidrelétricas em cascata utilizando metaheurísticas.** 122 f. 2018. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LIMA, Ricardo Henrique Remes de. **Um estudo sobre configuração automática do algoritmo de otimização por enxame de partículas multiobjetivo.** 64 f. 2017. (Dissertação Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LIRA, Clayton José Natal de. **Utilização de meta-heurística e de divisão espectral para alocação eficiente de espectro em redes ópticas elásticas.** 92 f. 2016. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia e Eletrônica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MEDEIROS, Thiago Saúde. **Meta-heurísticas bio-inspiradas para otimização multiobjetivo do controle Volt/VAr no contexto das redes elétricas inteligentes.** 97 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DORIGO, Marco. **Optimization, Learning and Natural Algorithms.** 1992. Tese (Dissertação de doutorado) - Dip. Elettronica, Politecnico di Milano, Milano, Italy, 1992.

NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis. **Uma nova solução para a otimização do despacho econômico e ambiental utilizando metaheurísticas da computação bio-inspirada.** 2016. 233 f. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

OLIVEIRA, Luiz Eduardo de. **Planejamento dinâmico de expansão em sistemas de transmissão de energia elétrica via algoritmos híbridos de otimização.** 152 f. 2017. (Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

OLIVEIRA, Phelipe Sena. **Desenvolvimento de uma nova técnica para otimização de circuitos planares inspirada no comportamento social das aranhas.** 72 f. 2017. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

PANOEIRO, Nathalie Martins. **Sintonia de um controlador PID adaptativo para controle do superaquecimento através do algoritmo da colônia artificial de abelhas.** 81 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

PAULA, Patrícia de Sousa. **Utilização de inteligência de enxame em UAVs para busca de alvo fixo de localização desconhecida**. 58 f. 2019. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Computação) - Departamento de Computação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

PERTUZ MENDEZ, Sergio Andres. **Sistema embarcado baseado em arquiteturas reconfiguráveis do controle dinâmico de uma mão robótica sintonizado com algoritmos bioinspirados**. 81 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) — Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PINTO, G. L. **Meta-Heurística Aplicada ao Planejamento de Atividades de Lotes de Vagões em Terminais Ferroviários**. 79 f. 2019. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

PINTO, Rafael Silva. **Planejamento multiestágio da expansão de sistemas de distribuição considerando confiabilidade e geração distribuída no contexto de smart grids**. 117 f. 2018. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Setor de Tecnologia Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PROCÓPIO, Lettiery D'Lamare Portela. **Metaheurísticas para o problema de custo de disponibilidade de recursos com múltiplos modos**. 56 f. 2016. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

QUEIROGA, Eduardo Vieira. **Abordagens meta-heurísticas para clusterização de dados e segmentação de imagens**. 88 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Informática) - Departamento de Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

REBLI, Victor Nunes. **Utilização De Ensemble Stacked Generalization Com Seleção De Características Em Problemas De Aprendizagem Supervisionada**. 79 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Informática) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

REIS, T. M. **Bases gaussianas geradas com os métodos Monte Carlo Simulated Annealing e Particle Swarm Optimization**. 179 f. 2017. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Física) - Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

RICH, Elaine. *Inteligência Artificial.. ed. 1. São Paulo: Mcgraw-hill, 1998.*

ROCHA, Hiago Mayk Gomes de Araújo. **Problema de mapeamento e roteamento: propostas de otimização bioinspiradas híbridas**. 162f. 2019. Dissertação (Mestrado em

Sistemas e Computação) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SAMUEL, Arthur L. Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. **IBM Journal of Research and Development**, Online, v. 3, n. 3, jul. 1959. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5392560>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

SÁNCHEZ FERREIRA, Camilo. **Restauração de imagens subaquáticas usando algoritmos de enxames e métricas específicas**. 180 f. 2017. Doutorado (Tese em Sistemas Mecatrônicos) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANTANA, N. H. B. **Otimização Dos Parâmetros Dos Controladores De Um Filtro Ativo De Potência Paralelo Utilizando Algoritmos Multi-Objetivo**. 88 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Energia) – Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.

SANTOS, Everaldo José Rabêlo dos. **Previsão de precipitação usando máquinas de vetores de suporte visando sua implementação em sistemas embarcados**. 122 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) — Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SANTOS, Gean Ribeiro dos. **Algoritmo de Colônia de Formigas e Redes Neurais Artificiais aplicados na monitoração e detecção de falhas em centrais nucleares**. 71 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Reatores) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOS, Rafael Baldissera dos. **Otimização de treliças utilizando o algoritmo Artificial de Colônia de Abelhas**. 94 f. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SANTOS, Stéphanie Alencar Braga dos. **Utilização da meta-heurística PSO para otimização multiobjetivo de um Smart Home Controller**. 113 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SILVA, César Felipe Gonçalves da. **Análise de otimização de roteamento Iot em redes LLN's para cidades inteligentes: um estudo empírico sobre a utilização do método de exame ACO em ambientes Iot para cidades inteligentes**. 98 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional do Conhecimento) - Instituto de Computação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, Marlon John Pinheiro. **Estudo comparativo de técnicas de inteligência de enxame na redução da ordem de sistemas dinâmicos lineares**. 2019. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

SOUZA, Alan Marcel Fernandes de. **Uso de Técnicas de Aprendizado de Máquina para Extração de Conhecimento e Modelagem do Processo de Produção de Alumínio Primário**. 131 f. 2020. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

SOUZA, Jeane Silva de. **Dimensionamento ótimo de painéis fotovoltaicos usando enxame de partículas modificado para reduzir as perdas de energia e melhorar o perfil de tensão**. 119 f. 2016. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SOUZA, Fernanda Gonçalves. **Método meta-heurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo**. 171f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

SUCUPIRA, Igor Ribeiro. **Métodos Heurísticos Genéricos: Meta-heurísticas e Hiper-heurísticas**. Tese (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 2004. p 41. 2004.

TADAIESKY, Vincent Willian Araújo. **Avaliação de técnicas de paralelização de algoritmos bioinspirados utilizando computação GPU: um estudo de casos para otimização de roteamento em redes ópticas**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2015.

TURING, Allan M. Computing Machinery And Intelligence. *Mind*, v. LIX, n. 236, out. 1950. Disponível em: <<https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>> Acesso em: 02 out 2020.

VIEIRA, Bruno Salezze. **Uma meta-heurística Adaptive Large Neighborhood Search com mecanismos de paralelismo, detecção de estagnação e perturbações para o problema de roteamento de veículos com frota heterogênea, periódico e Multi-Trips**. 75 f. 2017. Dissertação (Mestrado no Programa de Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

VIDAL, Juan Ferreira. **Metaheurísticas populacionais: estudo comparativo na sintonia de parâmetros de controladores clássicos**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

APÊNDICE

Tabela 5 - Banco de dados #1

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
1	<p>Avaliação de técnicas de paralelização de algoritmos bioinspirados utilizando computação GPU: um estudo de casos para otimização de roteamento em redes ópticas</p> <p>Autor: TADAIESKY, Vincent Willian Araújo</p>	GA e PSO	UFPA	2018	bioinspirado
2	<p>Metaheurísticas populacionais: estudo comparativo na sintonia de parâmetros de controladores clássicos</p> <p>Autor: VIDAL, Juan Ferreira</p>	GA, Algoritmo Genético no Modelo de Ilhas (AGMI), Bacterial Foraging Optimization (BFO) e PSO.	UFPA	2016	meta-heurística
3	<p>Uma nova solução para a otimização do despacho econômico e ambiental utilizando metaheurísticas da computação da computação bio-inspirada</p> <p>Autor: NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis</p>	Métodos Determinísticos (Iteração Lambda, Programação Quadrática e Método de Newton) e Métodos Heurísticos (GA, PSO, Differential Evolution (DE), Recozimento Simulado, Otimização por Lobo Cinzento (GWO) e Artificial Bee Colony (ABC))	UFPA	2016	meta-heurística
4	<p>Estudo comparativo de técnicas de inteligência artificial de enxame na redução de sistemas dinâmicos lineares</p> <p>Autor: SILVA, Marion John Pinheiro</p>	Firefly Algorithm (FFA), PSO e Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)	UFPA	2019	meta-heurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
5	Aplicação de otimização por enxame de partículas aprimorada na solução do problema da árvore de Steiner Euclidiano no \mathbb{R}^n Autor: Costa, Wilson Wolf	Optimized Particle Swarm Optimization (OPSO)	UFT	2019	meta-heurística
6	Sistema de rastreamento de múltiplos alvos sob restrições de conectividade Autor: Carvalho, Rafael Lima de	Metaheurísticas Simulated Annealing, GA, PSO e Backtracking Search Algorithm	UFT	2016	meta-heurística
7	Restauração de imagens subaquáticas usando algoritmos de enxames e métricas específicas Autor: Sánchez Ferreira, Camilo	OPSO, RAPSO, ABC, Opposition Based Artificial Bee Colony (OABC) e DE	UNB	2017	bioinspirado
8	Previsão de precipitação usando máquinas de vetores de suporte visando sua implementação em sistemas embarcados Autor: Santos, Everaldo José Rabêlo dos	Inteligência Artificial, Algoritmo de Enxames de Partículas Multi-Objetivo (MOPSO) e Multi-Objective Differential Evolution (MODE)	UNB	2019	bioinspirado

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
9	Sistema embarcado baseado em arquiteturas reconfiguráveis do controle dinâmico de uma mão robótica sintonizado com algoritmos bioinspirados Autor: Perfuz Mendez, Sergio Andres	PSO, DE e GA	UNB	2017	bioinspirado
10	Planejamento dinâmico de expansão em sistemas de transmissão de energia elétrica via algoritmos híbridos de otimização Autor: Oliveira, Luiz Eduardo de	Algoritmo Heurístico Construtivo (AHC)	UNB	2018	meta-heurística
11	Bio-inspired optimization algorithms for multi-objective problems Autor: Castro Junior, Olacir Rodrigues	Algoritmo de Enxames de Partículas Multi-Objetivo (MOPSO) e Hiper-Heurísticas	UFPR	2017	bioinspirado
12	Um estudo sobre configuração automática do algoritmo de otimização por enxame de partículas multiobjetivo Autor: Lima, Ricardo Henrique Remes de	Evolução Gramatical e o Iterated Race (IRACE)	UFPR	2017	bioinspirado

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
13	Algoritmo baseados em inteligência artificial de enxames aplicados à multilimiarização de imagens Autor: Silva, Ivan Lucas Reis	PSO, Otimização por Enxame de Partículas Darwiniano (DPSO), Otimização por Enxame de Partículas Darwiniano de Ordem Fracionária (FO-DPSO), GWO e Otimizador inspirado no comportamento da Formiga-leão (ALO)	UFPR	2018	meta-heurística
14	Estimação de parâmetros de sistemas não lineares utilizando um sistema colaborativo de metaheurísticas Autor: Bergamini, Mariane Gavioli	DE, Algoritmo de Otimização de Leão (AOL) e Busca Local Iterativa (BLI)	UFPR	2018	meta-heurística
15	Planejamento multiestágio da expansão de sistemas de distribuição considerando confiabilidade e geração distribuída no contexto de smart grids Autor: Pinto, Rafael Silva	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), Simulação de Monte Carlo e Método dos Pontos Interiores	UFPR	2018	meta-heurística
16	Uma Nova Abordagem de Casamento de Impressões Digitais Autor: Almeida Júnior, Iron Araújo de	GA e PSO	UFPR	2016	bioinspirado

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
17	Dimensionamento ótimo de painéis fotovoltaicos usando de partículas modificado para reduzir as perdas de energia e melhorar o perfil de tensão Autor: Souza, Jeane Silva de	Enxame de partículas modificado (MPSO)	UFPB	2016	bioinspirado
18	Metaheurísticas para o problema de custo de disponibilidade de recursos com múltiplos modos Autor: Procópio, Lettiery D’Lamare Portela	GA e PSO	UFPB	2016	meta-heurística
19	Otimização por Nuvem de Partículas e Busca Tabu para Problema da Diversidade Máxima Autor: Bonotto, Edison Luiz	PSO e Busca Tabu (TS)	UFPB	2017	meta-heurística
20	Abordagens meta-heurísticas para clusterização de dados e segmentação de imagens Autor: Queiroga, Eduardo Vieira	Quantum-behaved Particle Swarm Optimization (QPSO) e Variable Neighborhood Descent	UFPB	2017	meta-heurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
21	Seleção e alocação de dispositivos limitadores de corrente de curto-circuito utilizando o algoritmo evolucionário multiobjetivo NSGA-II Autor: Brito, Felix Estevam de Jesus	NSGA-II	UFS	2016	meta-heurística
22	Explorando algoritmos baseados em enxames de partículas no contexto do problema do escalonamento de tarefas em projetos de software Autor: Andrade Neto, José Joaquim de	PSO e Hiper-heurística	UFS	2018	meta-heurística
23	Otimização Dos Parâmetros Dos Controladores De Um Filtro Ativo De Potência Paralelo Utilizando Algoritmos Multi-Objetivo Autor: SANTANA, N. H. B.	MOPSO e Multi-objective Artificial Bee Colony Algorithm (MOABC)	UFES	2018	meta-heurística
24	Utilização De Ensemble Stacked Generalization Com Seleção De Características Em Problemas De Aprendizagem Supervisionada Autor: REBLI, V. N.	PSO	UFES	2018	meta-heurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
25	Meta-Heurística Aplicada ao Planejamento de Atividades de Lotes de Vagões em Terminais Ferroviários Autor: PINTO, G. L.	ACO	UFES	2019	meta-heurísticas
26	Bases gaussianas geradas com os métodos Monte Carlo Simulated Annealing e Particle Swarm Optimization Autor: REIS, T. M.	PSO	UFES	2017	meta-heurísticas
27	Sintonia de um controlador PID adaptativo para controle do superaquecimento através do algoritmo da colônia artificial de abelhas Autor: Nathalie Martins Panoeiro	ABC	UFMG	2017	bioinspirado
28	Otimização de treliças utilizando o algoritmo artificial de colônia de abelhas, Autor: Santos, Rafael Baldissera dos	ABC	UFRGS	2017	bioinspirado

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
29	Algoritmos bio-inspirados para solução de problemas de otimização Autor: BARBOSA, Carlos Eduardo Martins	ACO, ABC, PS, Algoritmo de Busca do Pássaro Cuco, Algoritmo do Vaga-lume e Algoritmo do Morcego	UFPE	2017	bioinspirado
30	Utilização de meta-heurística e de divisão espectral para alocação eficiente de espectro em redes ópticas elásticas Autor: LIRA, Clayton José Natal de	PSO	UFPE	2016	bioinspirado
31	Análise de otimização de roteamento Iot em redes LLN's para cidades inteligentes : um estudo empírico sobre a utilização do método de enxame ACO em ambientes Iot para cidades inteligentes Autor: Silva, César Felipe Gonçalves da	ACO	UFAL	2019	inteligência artificial
32	Utilização da meta-heurística PSO para otimização multiobjetivo de um Smart Home Controller Autor: Santos, Stéphanie Alencar Braga dos	PSO	UFC	2019	meta-heurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
33	Utilização de inteligência de enxame em UAVs para busca de alvo fixo de localização desconhecida Autor: Paula, Patrícia de Sousa	PSO e Bat Algorithm	UFC	2019	inteligência artificial
34	Implementação de algoritmo baseado em otimização por colônia de formigas aplicado ao planejamento de caminhos para robô móvel Autor: Gomes, Allan Costa	ACO	UFC	2018	inteligência artificial
35	Problema de mapeamento e roteamento: propostas de otimização bioinspiradas híbridas Autor: Rocha, Hiago Mayk Gomes de Araújo	Algoritmos Transgenéticos, TransCand e TransEndo	UFRN	2019	bioinspirado
36	Desenvolvimento de uma nova técnica para otimização de circuitos planares inspirada no comportamento social das aranhas Autor: Oliveira, Phelipe Sena	Social Spider Optimization (SSO)	UFRN	2017	bioinspirado

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
37	Meta-heurísticas de otimização tradicionais e híbridas utilizadas para construção de comitês de classificação Autor: Feitosa Neto, Antonino Alves	PSO, ACO, Múltiplos Reinícios, Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP), Simulated Annealing, Busca Tabu, Iterated Local Search (ILS) e Variable neighborhood search (VNS)	UFRN	2016	metaheurística
38	Meta-heurísticas bio-inspiradas para otimização multiobjetivo do controle Volt/VAr no contexto das redes elétricas inteligentes Autor: Medeiros, Thiago Saude	GA, o Algoritmo Memético, ACO, PSO e o SPEA2	USP	2018	inteligência artificial
39	Método meta-heurístico de colônia de formigas e sua aplicação na alocação de petróleo Autores: Souza, Fernanda Gonçalves	ACO	USP	2019	metaheurística
40	Análise da proteção de sistemas de energia elétrica utilizando técnicas modernas de otimização heurística Autor: Bernardes, Wellington Maycon Santos	PSO	USP	2018	metaheurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
41	Fluxo de potência ótimo multiobjetivo com restrições de segurança e variáveis discretas Autores: Ferreira, Ellen Cristina	Evolutionary Particle Swarm Optimization (EPSO)	USP	2018	inteligência artificial
42	Algoritmo de Colônia de Formigas e Redes Neurais Artificiais aplicados na monitoração e detecção de falhas em centrais nucleares Autores: Santos, Gean Ribeiro dos	ACO	USP	2016	inteligência artificial
43	Otimização da operação diária de usinas hidrelétricas em cascata utilizando metaheurísticas Autor: Gomes, Carlos Augusto Machado	PSO, GA e DE	UFRJ	2018	metaheurística
44	Uma meta-heurística Adaptive Large Neighborhood Search com mecanismos de paralelismo, detecção de estagnação e perturbações para o problema de roteamento de veículos com frota heterogênea, periódico e Multi-Trips Autor: Vieira, Bruno Salezze	Adaptive Large Neighborhood Search	UFRJ	2017	metaheurística

(continuação)

ID	Títulos dos artigos/teses/dissertações e autores	Técnicas usadas	Repositório	Ano	Termo busca
45	Um modelo matemático multi terminais e uma metaheurística Adaptive Large Neighborhood Search para o problema de roteamento de navios aliviadores visando o escoamento de petróleo offshore Autor: Basilio, Pedro da Matta e Andrade	Adaptive Large Neighborhood Search	UFRJ	2017	metaheurística

Fonte: Autorial 2020