

LILIAN COELHO DE FREITAS  
(ORGANIZADORA)

---

*Collection:*

**APPLIED COMPUTER  
ENGINEERING  
2**

---

  
Ano 2022

LILIAN COELHO DE FREITAS  
(ORGANIZADORA)

---

*Collection:*

# APPLIED COMPUTER ENGINEERING 2

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Bruno Oliveira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Lilian Coelho de Freitas

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C697 Collection: applied computer engineering 2 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0044-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.448221603>

1. Computer engineering. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A série de *e-books* intitulada “*Collection: Applied computer engineering 2*” está organizada em 10 capítulos e apresenta diversas aplicações da engenharia de computação, com foco especial à aplicação de inteligência computacional em várias áreas do conhecimento, como mercado financeiro, transporte, saúde, jogos digitais, entre outros.

Dessa forma, esta coleção permitirá aos leitores uma ampla visão das potencialidades da engenharia da computação e dos avanços da pesquisa nesta área.

Os organizadores da Atena Editora agradecem aos autores, por viabilizaram a construção deste trabalho, e desejam a todos, uma leitura proveitosa.

Lilian Coelho de Freitas

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA APLICADAS À ANÁLISE DE RISCO DE CRÉDITO**

Jane Thais Soares de Oliveira

Rogério Alves Santana

Honovan Paz Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216031>

### **CAPÍTULO 2..... 21**

#### **FLUXO DE CARGA LINEARIZADO – UM ESTUDO COMPARATIVO USANDO A LINGUAGEM AMPL**

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Gloria Patricia Lopez Sepulveda

Jose Airton Azevedo dos Santos

Cristiane Lionço de Oliveira

Leandro Antonio Pasa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216032>

### **CAPÍTULO 3..... 33**

#### **IMPLEMENTAÇÃO DE REDE NEURAL CONVOLUCIONAL PARA PREDIÇÃO DE COVID-19 ATRAVÉS DE IMAGENS DE RAIOS X**

Erik Gabriel Cruz Sena

Honovan Paz Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216033>

### **CAPÍTULO 4..... 51**

#### **JOGOS DIGITAIS DE ENTRETENIMENTO E O ESTÍMULO DA INTELIGÊNCIA LÓGICO-MATEMÁTICA DE GARDNER**

Carlos Alberto Paiva

Regina Melo Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216034>

### **CAPÍTULO 5..... 74**

#### **RASTREAMENTO DE MOUSE PARA AVALIAÇÃO DE EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO EM PORTAIS DE NOTÍCIAS: UM ESTUDO DE CASO**

Danilo Teixeira Lima

Flavio Rafael Trindade Moura

Kennedy Edson Silva de Souza

Rita de Cássia Romeiro Paulino

Marcos Cesar da Rocha Seruffo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216035>

### **CAPÍTULO 6..... 87**

#### **ROTEAMENTO DE VEÍCULO GUIADO AUTONOMAMENTE PARA ARMAZÉNS**

## INTELIGENTES

Wesley Marques Lima

Honovan Paz Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216036>

### **CAPÍTULO 7..... 105**

UTILIZANDO GAN E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS MLP PARA SUPORTE AO DIAGNÓSTICO PRECOCE DA DOENÇA DE ALZHEIMER: UM ESTUDO ACERCA DO POTENCIAL DA EXPANSÃO ARTIFICIAL DOS DADOS

Jonathan da Silva Bandeira

Renan Costa Alencar

Mêuser Jorge Silva Valença

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216037>

### **CAPÍTULO 8..... 121**

UTILIZAÇÃO DE UM PERCEPTRON MÚLTIPLAS CAMADAS NA APROXIMAÇÃO DE FUNÇÕES CONTÍNUAS

Dhiego Loiola de Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216038>

### **CAPÍTULO 9..... 133**

COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA APLICADA AO MERCADO FINANCEIRO: UM SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO ESTRATÉGICO PARA OS USUÁRIOS INICIANTES

Benjamin Luiz Franklin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4482216039>

### **CAPÍTULO 10..... 147**

ESTUDO DA REPROVAÇÃO NO CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DA UNIMONTES NO PERÍODO DE 2014-1 A 2019-2

Marilée Patta

Reginaldo Moraes de Macedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.44822160310>

### **SOBRE A ORGANIZADORA..... 161**

### **ÍNDICE REMISSIVO..... 162**

# CAPÍTULO 6

## ROTEAMENTO DE VEÍCULO GUIADO AUTONOMAMENTE PARA ARMAZÉNS INTELIGENTES

Data de aceite: 01/03/2022

### Wesley Marques Lima

Graduando em Engenharia Física Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Janaúba MG, Brasil

### Honovan Paz Rocha

Instituto de Engenharia, Ciência e Tecnologia Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Janaúba MG, Brasil

**Resumo:** A área de logística, presente em grande parte da indústria, comércio e serviços, é uma das que mais necessitam de investimento em tecnologia para otimização de recursos, de maneira que o produto ou serviço final da empresa se mantenha no mercado de maneira estável e mais competitiva. Com o intuito de aperfeiçoar a logística vários trabalhos da literatura trazem estudos com Veículos Guiados Autonomamente (*Automated Guided Vehicles-AGVs*) com a intenção de tornar autônomo o transporte interno de mercadorias e conseqüentemente mais eficiente. Um dos desafios dos *AGVs* é a roteirização, que é a busca por caminhos mínimos entre um estado inicial e os objetivos. Com O objetivo de estudar e solucionar este problema, o presente trabalho busca modelar computacionalmente um projeto real de armazém inteligente e implementa 3 algoritmos, Busca de Custo Uniforme, A\* e Colônia de formigas, que

são aplicados ao modelo representado através de um grafo. Eles são implementados para várias instâncias do problema, e em seguida seus resultados são avaliados e comparados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Busca de Custo Uniforme, A\*, Colônia de formigas, Roteirização, Armazém inteligente, AGVs

## 1 | INTRODUÇÃO

Considerando-se o rápido avanço tecnológico e a constante busca por redução de custos, a necessidade de tornar os grandes centros de armazenamento e distribuição de produtos mais autônomos é cada vez maior. Embora o Brasil caminhe a passos curtos nesta direção, países da Europa, Ásia e América do Norte já possuem um alto nível de automação aliado à utilização das mais recentes tecnologias para a otimização [1].

O setor industrial no Brasil possui atualmente certa defasagem tecnológica, e devido a isso as companhias brasileiras tendem a perder competitividade frente às concorrentes estrangeiras e podem até deixar de existir em um tempo não tão distante. Em um estudo em 2020 foram realizadas entrevistas em várias organizações em que foi possível constatar que 78% delas ainda estão no estágio 1 e 2 da indústria, enquanto alguns países caminham para a quarta revolução industrial [2].

A logística na indústria abrange vários processos, como a escolha do local pra se

armazenar determinado produto, o fluxo de materiais, dentre outros. A geração de um fluxo otimizado de produtos é de grande importância para que a logística seja eficiente. Desta maneira, investimentos em melhorias operacionais que visam aumentar a velocidade dos processos através de um fluxo eficiente de materiais, são cada vez mais frequentes [3].

Assim, pode-se perceber que otimizar o transporte de materiais é essencial para uma logística eficiente. O ganho em eficiência ocorre porque uma quantidade significativa de tempo é despendida com o transporte desses materiais, além disso é necessário o uso de mão-de-obra nesta tarefa, o que dificulta a utilização de alguns recursos baseados no uso de computadores, como em sistemas de monitoramento e controle [1]. Nas tarefas de transporte de materiais em ambientes como armazéns, portos e distribuidores de produtos a mão de obra é sobrecarregada com operações de carga e descarga, monitoração de recursos e planejamento de rotas de transporte. Essa sobrecarga somada ao uso de maquinário pesado nas atividades e a necessidade de concentração nas tarefas, leva os funcionários ao cansaço físico e mental, diminuindo seu desempenho e aumentando a chance de ocorrerem acidentes [4].

A automação do transporte de materiais em ambientes internos é essencial para aumentar a produtividade e reduzir custos. Por isso a utilização de Veículos Guiados Autonomamente (*Automated Guided Vehicles-AGVs*) tem sido cada vez mais frequente. Visando aprimorar sistemas que utilizam *AGVs* para o transporte de materiais, vários trabalhos tem sido desenvolvidos nessa área com o objetivo de melhorar o sistema de roteamento desses veículos. Nesses sistemas são usados diversos métodos para encontrar a melhor rota para cada *AGV*, desde algoritmos clássicos na resolução de problemas por meio de busca até meta-heurísticas inspiradas no comportamento de elementos da natureza.

Tendo em vista que automatizar o transporte de materiais é fundamental para aumentar a produção e reduzir custos, o presente trabalho tem como objetivo modelar computacionalmente um projeto real de armazém inteligente e implementar métodos da literatura para encontrar rotas mínimas para um *AGV* que atua nesse armazém, com o intuito de analisar o funcionamento desses métodos em um ambiente real.

Este trabalho é organizado da seguinte forma: na Seção II são apresentados alguns trabalhos que resolvem problemas semelhantes ao problema proposto. Na Seção III os algoritmos usados para encontrar rotas mínimas são descritos. Na seção IV é descrito como o armazém inteligente é modelado e representado através de um grafo, mostra também como os algoritmos usados para a busca de rotas mínimas são implementados. A Seção V apresenta e discute os principais resultados obtidos. Por fim a Seção VI apresenta as considerações finais.

IV é descrito como o armazém inteligente é modelado e representado através de um grafo, mostra também como os algoritmos usados para a busca de rotas mínimas são implementados. A Seção V apresenta e discute os principais resultados obtidos. Por fim a

Seção VI apresenta as considerações finais.

## 2 | TRABALHOS RELACIONADOS

O problema da roteirização de veículos em ambientes com AGVs é objeto de estudo em diversos trabalhos nas últimas décadas, alguns deles são brevemente descritos a seguir.

Em [5] os autores propõem a otimização de caminhos no transporte interno de ferramentas. Para resolver o problema o armazém é representado através de um grafo e os algoritmos Busca de Custo Uniforme, A\*, Floyd-Warshall e BellmanFord são utilizados para otimização das rotas dos veículos autônomos. Os autores apontam que os métodos geram resultados similares, com o Busca de Custo Uniforme sendo ineficiente quanto ao custo computacional.

Um problema semelhante é abordado em [1], onde um armazém também é representado como um grafo e o algoritmo de Dijkstra é usado para encontrar o caminho mínimo para os veículos autônomos. Outros algoritmos como A\* e Campos Potenciais são utilizados para diminuição do número de curvas do caminho encontrado. O trabalho mostrou a viabilidade dos algoritmos, que com custo computacional baixo se mostraram uma boa opção para resolução deste tipo de problema.

No trabalho [6] o problema é formulado como um sistema multiagente. Nessa abordagem o principal problema é a associação de tarefas, que foi resolvida utilizando quatro estratégias diferentes: CNET, *Fuzzy*, DynCNET e FiTA. Os autores utilizaram um Algoritmo Genético para o ajuste de parâmetros dos métodos e os resultados obtidos mostraram que o DynCNET obteve o melhor desempenho, seguido de perto pela estratégia *Fuzzy*.

Para gerar rotas livres de colisões para um veículo autônomo, em [7] os autores utilizam um algoritmo de planejamento de caminho livre de colisões, o algoritmo foi testado para vários layouts, pontos iniciais e objetivos. Os resultados mostram que o algoritmo obtém rotas livres de colisões em todos os casos. O trabalho considera um único robô móvel, necessitando de adaptação para ambientes com múltiplos AGVs.

O algoritmo A\* é utilizado para determinar o caminho mínimo para dois AGVs no trabalho [8]. Para o tratamento de colisões, um sistema dinâmico com janelas de tempo é utilizado, assim quando houver colisão um AGV espera para que o outro passe, de maneira que a colisão seja evitada.

Em [9] o sistema utilizado armazena informações de varias fontes em nuvem, e com isso é possível a detecção antecipada de obstáculos. Após a detecção, uma estratégia conhecida como *Local Path Planning* é utilizada para criação de desvios para as rotas com obstáculos. Nos sistemas atuais de AGVs desvios de rota normalmente não são permitidos, sendo mais comum a espera pela desobstrução do caminho, entretanto,

a funcionalidade *Local Path Planning* permite ao AGV continuar sua tarefa mesmo com obstáculos, diminuindo uma possível dependência temporal no sistema.

Para resolver o problema de roteamento de veículos, o trabalho [10] utiliza o algoritmo de Dijkstra com uma modificação que permite ao método armazenar não apenas a primeira solução ótima encontrada, mas também as demais soluções, de maneira que estas são utilizadas para resolver problemas com colisões entre os AGVs. Ao detectar conflitos em uma rota, é analisada a viabilidade de se usar uma das demais soluções encontradas pelo Dijkstra modificado. Caso nenhuma das rotas encontradas pelo Dijkstra modificado seja livre de conflitos, outras formas para tratar o problema são: os AGVs aguardam a desobstrução do caminho por um período de tempo, as rotas são refeitas considerando as mudanças no ambiente, e por fim, caso tudo tenha falhado, as tarefas são reenviadas. Esta abordagem mostrou mais eficiência no quesito tempo do que método tradicional de tempo de espera por colisão.

No trabalho [11] o problema de otimização de rotas para veículos autônomos em armazém inteligente é resolvido utilizando algoritmos como o A\* para encontrar caminhos mínimos entre os veículos e as tarefas. Devido a possíveis congestionamentos e obstáculos, essa rota é constantemente otimizada, assim as rotas são replanejadas dinamicamente de acordo com o tráfego local, condições e paradas devido a eventos inesperados. O sistema melhora a eficiência de uma frota de veículos autônomos em termos de entrega e tem custo computacional viável para aplicações no setor industrial, isso foi mostrado através de testes em ambiente real de pequena escala.

Uma estratégia de despacho dinâmico é utilizada em [12], ela se baseia em alocar tarefas aos veículos autônomos mais próximos, porém pode ser muito custoso encontrar um caminho mais curto livre de conflitos e de loops, por isso é proposta uma estratégia de roteamento que adota o algoritmo k-ésimo caminho mais curto, assim se obtendo uma rota ideal e viável computacionalmente. O trabalho mostra a criação de um sistema para encontrar rotas para veículos autônomos sem conflitos ou loops. Os algoritmos são executados em tempo polinomial e podem ser aplicados em sistemas de larga escala, os experimentos foram simulados e mostram a eficiência dos algoritmos.

No trabalho [13] o problema de possíveis conflitos é resolvido usando um método de roteamento dinâmico para controle de múltiplos veículos autônomos. Os conflitos são evitados usando espaço de estados discretos em mapa tridimensional para identificar e resolver os conflitos. O desempenho do algoritmo é avaliado comparando-o com o algoritmo BFS.

O algoritmo tem baixo esforço computacional se comparado a métodos convencionais e é muito bom para ambientes dinâmicos onde a flexibilidade dos veículos autônomos tenha que ser alta. Os testes de validação foram feitos via simulação mostrando a aplicabilidade do algoritmo.

A abordagem usada em [14] é bem diferente das citadas anteriormente, pois

utiliza em seu trabalho a meta-heurística colônia de formigas para resolver o problema de roteamento de veículos com janela de tempo. Para resolução do problema o trabalho utiliza o *Multiple Ant Colony System (MACS)* que é a utilização de dois *Ant Colony System (ACS)*, onde cada um otimiza um objetivo, porém os resultados de um dos ACS influencia na solução do outro, assim as duas colônias trabalham de forma distinta, mas simultânea na busca de melhores soluções. O *MACS* foi desenvolvido em *Matlab* e foi aplicado na resolução de problemas em grafos com 25 e 50 nós, os resultados para esses problemas foram satisfatórios, pois as soluções foram próximas das ótimas. Para problemas com mais de 100 nós o algoritmo se mostrou ineficiente pois o tempo de execução foi muito alto, isso devido aos scripts criados no trabalho não terem sido otimizados no quesito performance.

Inspirado pelos trabalhos apresentados, no presente trabalho serão implementados alguns dos métodos citados acima, são eles: Busca de Custo Uniforme,  $A^*$  e *ACS*.

### 3 | ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Nesta seção detalharemos os métodos utilizados neste trabalho para resolução do problema de busca pela rota mínima para um *AGV*.

#### *A. Busca de Custo Uniforme*

A Busca de Custo Uniforme é um algoritmo de busca sem informação, ou seja, ele só tem acesso às informações contidas no grafo. A estratégia de busca adotada aqui é expandir sempre o nó com menor custo de caminho  $g(n)$  na árvore de busca, por isso sua borda é uma fila de prioridades ordenada segundo o custo  $g$ .

Usando o problema de buscar o caminho mais curto entre dois vértices de um grafo como exemplo, o funcionamento do algoritmo ocorre da seguinte forma: a lista de prioridades é inicializada com o nó que corresponde ao estado inicial, caso ele não seja o objetivo é retirado da lista de prioridades, expandido e colocado na lista de explorados. Para isso todas as ações possíveis são consideradas (cada ação leva a um vértice adjacente ao que foi expandido), e todos os nós filhos exceto os presentes no conjunto de explorados são colocados na lista de prioridades de acordo com o custo do caminho até o momento. Os nós cujo estado já existe em algum outro nó da lista de prioridades, será substituído pelo nó com menor custo. O algoritmo é finalizado quando a lista de prioridades não possuir mais nenhum nó [15].

O algoritmo é completo e ótimo, ou seja, sempre que houver solução para um dado problema, a solução ótima será encontrada. Ao observar o funcionamento dessa busca é fácil perceber essa característica, pois o nó expandido é sempre o que tem caminho de menor custo até esse nó, sendo assim, quando o objetivo for encontrado o caminho que chegou a ele será o menor existente.

Outros aspectos importantes do algoritmo são as complexidades de tempo e espaço,

que para o pior caso é  $O(b^{1+\lceil C^*/\epsilon \rceil})$  para ambos,  $C^*$  representa o custo da solução ótima,  $\epsilon$  é uma constante positiva que delimita o custo mínimo de uma ação, e  $b$  é o fator de ramificação. Complexidade de tempo e espaço são os grandes problemas enfrentados por esse método, apesar de sempre achar a solução ótima, é inviável para problemas grandes [15].

Na seção seguinte um algoritmo um pouco mais eficiente será apresentado, ele funciona de forma muito semelhante ao Busca de Custo Uniforme, o que os difere é a função de custo.

### B. A\*

O A\* (pronuncia-se “A estrela”) é um algoritmo de busca informada, ou seja, uma informação heurística  $h(n)$  é utilizada para direcionar a busca. Assim como na Busca de Custo Uniforme, no A\* a borda também é uma lista de prioridades, porém a mesma é ordenada de acordo com uma função de custo  $f(n) = g(n) + h(n)$ .

O funcionamento do algoritmo é semelhante ao da Busca de Custo Uniforme, já que a única diferença entre eles é a função de custo que ordena a lista de prioridades.

A busca A\* é completa, porém sua otimalidade depende da heurística adotada. Uma das condições para que o algoritmo seja ótimo é a heurística ser admissível, que significa que ela nunca deve superestimar o custo até o objetivo. Podemos supor um problema onde se queira encontrar o menor caminho entre dois vértices quaisquer de um grafo que represente um mapa, uma heurística admissível nesse caso seria a distância em linha reta entre os vértices e o vértice objetivo. É perceptível que  $h(n)$  nesse caso não superestima o custo até o objetivo, pois a menor distância entre dois pontos é sempre uma reta.

A segunda condição é apenas para problemas de busca em grafos, e diz que a heurística deve ser consistente, essa sendo inclusive uma condição mais forte que a primeira, pois toda heurística consistente é também admissível. Ela será consistente se, o valor de  $h(n)$  não for maior que  $f(n') - g(n)$ , sendo  $n'$  um nó gerado por  $n$ , ou seja,  $h(n) \leq g(n') - g(n) + h(n')$ .

As complexidades de tempo e espaço são um problema também para o A\*, com o uso de uma boa heurística ele ganha eficiência com relação ao tempo se comparado com algoritmos de busca cegos. Para esse algoritmo a complexidade de espaço é o maior problema, pois geralmente atinge um limite de memória bem antes de atingir um dado limite de tempo, isso torna o algoritmo impraticável pra problemas grandes, heurísticas não consistentes podem ser utilizadas tornando o A\* mais eficiente, porém não ótimo.

Em termos dos erros relativo e absoluto da heurística podemos estimar a complexidade deste algoritmo. O erro absoluto é dado por  $\Delta \equiv h^* - h$ , onde  $h^*$  é o custo real a partir da raiz para o objetivo, e o erro relativo é definido como  $\epsilon \equiv (h^* - h)/h^*$ . Para

problemas simples com apenas um objetivo a complexidade de tempo do  $A^*$  é exponencial no erro máximo absoluto, ou seja,  $O(b^d)$ , que para os custos de passo constante, pode ser escrito como  $O(b^e d)$ , onde  $d$  é a profundidade da solução [15].

Para próxima seção será apresentando um algoritmo bem diferente dos vistos até então, o Colônia de formigas, que é um algoritmo estocástico muito utilizado na resolução de problemas combinatórios.

### C. Colônia de formigas

O algoritmo Colônia de formigas usado no trabalho é o *Ant Colony System* (ACS), ele foi proposto por Dorigo e Gambardella (1997) [16], e aplicado inicialmente para a resolução do problema do caixeiro viajante (TSP), que é um problema clássico da matemática e faz parte da classe dos NPdifíceis, que são uma série de problemas que não podem ser resolvidos em tempo polinomial por algoritmos exatos.

As formigas inicialmente caminham de forma aleatória, porém nas iterações subsequentes tendem a seguir por caminhos com feromônio (o feromônio é a substância que as formigas usam para se comunicarem). Essa substância evapora a uma certa taxa, fazendo com que caminhos onde passam poucas formigas sejam cada vez menos atrativos e assim elas começam a convergir para caminhos onde passam a maior parte das formigas.

No ACS, as formigas ao fazerem sua trilha, podem ser mais conservadoras e seguir o melhor caminho conhecido por elas, ou mais desbravadoras se baseando em uma probabilidade que as permite encontrar novos caminhos. Para auxiliar na escolha de uma das opções um parâmetro  $q_0$  que assume um valor entre 0 e 1 foi criado, em seguida um número aleatório  $q$  entre 0 e 1 é sorteado, caso ele seja menor que  $q_0$  o caminho escolhido pela formiga será o melhor conhecido por ela, caso contrário ela escolherá seu caminho baseada em uma probabilidade.

Com o parâmetro  $q_0$  podemos deixar as formigas mais desbravadoras ao diminuir o valor de  $q_0$  ou mais conservadoras ao aumentar o valor de  $q_0$ , i.e., aumentando a diversidade no algoritmo. Portanto temos que a formiga no ACS decide para qual nó seguir de acordo com (1).

$\text{argmax}[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta$ , se  $q \leq q_0$

$$J = \begin{cases} \text{argmax}_{j \in N^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta, & \text{se } q \leq q_0 \\ S, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Onde  $t$  representa a iteração corrente,  $\tau_{ij}$  e o feromônio presente na aresta  $ij$ ,  $\eta_{ij}$  é o inverso da distância entre os pontos  $ij$ ,  $N_i^k$  é um conjunto de nós adjacentes ao nó  $i$  que ainda não foram visitados pela formiga  $k$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  ditam a relevância do feromônio e da distância respectivamente e  $S$  é uma variável discreta com distribuição de probabilidade

dada por (2):

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}(t)] \cdot [\eta_{il}]^\beta}, \quad \forall j \in N_i^k \quad (2)$$

Em que  $P_{ij}^k$  é a probabilidade da formiga  $k$  percorrer a aresta  $ij$ . Após a formiga trilhar seu caminho até o objetivo ocorre a atualização do feromônio nas rotas, no ACS acontece uma atualização local e uma global. Na local toda vez que A. uma formiga passa por um arco o valor de seu feromônio é alterado de acordo com (3).

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \rho\tau_0 \quad (3)$$

Em que  $\tau_0$  é o feromônio inicial nas rotas e  $\rho$  é o coeficiente de evaporação do feromônio. O objetivo dessa atualização é diminuir a influência de rotas iniciais tornando as formigas capazes de fugir de caminhos nãoótimos. Já a atualização global do feromônio nas rotas ocorre de acordo com (4).

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t - 1) + \rho\Delta\tau(t) \quad (4)$$

A atualização aqui ocorre em todos os arcos do grafo, porém apenas as arestas que compõem a melhor solução encontrada pelas formigas recebem feromônio, as demais sofrem apenas evaporação, i.e.,  $\Delta\tau(t)$  é zero para arestas que não fazem parte da melhor solução. A quantidade de feromônio que será depositado depende da qualidade da solução, pois  $\Delta\tau(t)$  é o inverso da distância do melhor caminho encontrado na iteração  $t$ . O algoritmo foi implementado com uma adaptação, ela é descrita na Seção IV.

## 4 | METODOLOGIA

Nesta seção é descrito como o trabalho foi desenvolvido, desde a modelagem de um projeto de armazém até a aplicação de algoritmos para encontrar rotas mínimas.

Com o objetivo de simular um armazém de médio porte, foi utilizado o *software AnyLogic*, que possibilita uma grande gama de aplicações, sendo uma delas a modelagem de ambientes reais. Uma versão gratuita do *software* foi utilizada para projetar graficamente o armazém inteligente que servirá de base para o trabalho, ele está representado na Figura 1. Um material didático disponível em [17] foi utilizado como guia no uso do *software*.

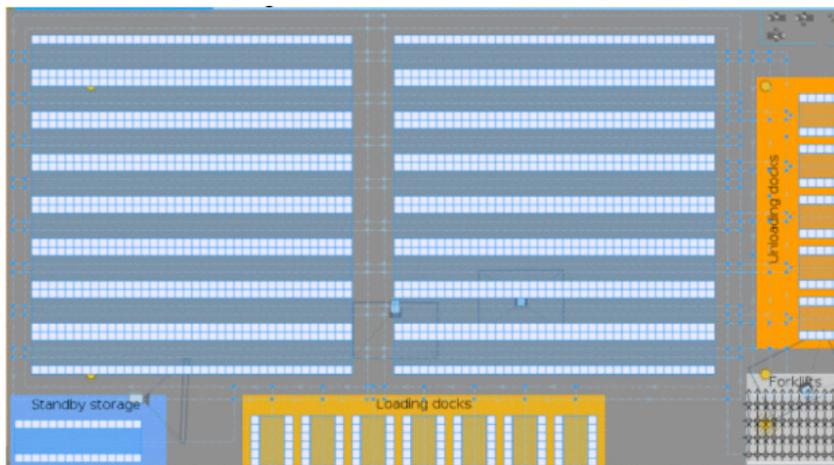


Figura 1. Modelo do armazém.

As informações do modelo desenvolvido ficam em um arquivo XML gerado pelo próprio *software*. Essas informações foram usadas para representar o modelo na forma de um grafo, nele os vértices irão representar os compartimentos das prateleiras e as arestas representarão as ligações entre esses compartimentos.

#### A. Geração do grafo

O grafo para representação do armazém foi gerado utilizando as informações do modelo contidas no XML. Para acessar o xml foi desenvolvido um algoritmo para realização do *parser*, que além de verificar se o documento obedece à sintaxe do XML, identifica se ele está de acordo com as regras definidas por um vocabulário definido pelo software gerador. O padrão para manipulação de documentos DOM (*Document Object Model*) foi utilizado. O DOM é baseado no modelo *tree-based*, ou seja, oferece uma visão de documento estruturado em árvore.

O *parser* desenvolvido, descrito pelo Algoritmo 1, carrega todo o documento para a memória e tem à disposição uma visão de todos os objetos na forma de uma árvore, que é percorrida para extração dos dados de interesse para representação do armazém.

---

**Algoritmo 1** Parser XML

---

**Input:** Raiz do XML, TAG do objetivo, Informações

**Output:** Informações do armazém

```
1: if Raiz do xml é não vazio then
2:   if Informações é não vazio then
3:     return Informações
4:   end if
5:   foreach Raiz do
6:     if Informações é vazio then
7:       if filho da Raiz = TAG do objetivo then
8:         Informações ← conteúdo de filho da Raiz
9:       end if
10:      Informações ← Pega informação xml(filho da
11:      raiz, TAG do objetivo, Informações)
12:    else
13:      Sair do loop
14:    end if
15:  end for
16: end if
return Informações
```

---

Após a realização do *Parser*, o Algoritmo 2 foi implementado para geração do grafo. As informações extraídas são: posição de início de cada prateleira do armazém, como ela é dividida e a dimensão de cada divisória da mesma. Com acesso a essas informações são estipuladas as posições de cada divisória, e um vértice é criado para cada uma delas, tendo assim uma lista de vértices. Em seguida é criada uma lista de arestas, que guarda as adjacências existentes no grafo. Por fim essas informações são armazenadas em uma estrutura do tipo dicionário, finalizando a representação do grafo com implementação em linguagem *Python* versão 3.7.

Na Figura 2 é representado o grafo gerado, este grafo contém 1380 vértices. Ao compararmos com a Figura 1, pode-se perceber que a Figura 2 está invertida, o que ocorre devido à representação do armazém no *Anylogic* representar o eixo y com seu negativo orientado para cima. O grafo criado será utilizado como base para a resolução do problema proposto.

### *B. Busca pelos caminhos mínimos*

Os algoritmos Busca de Custo Uniforme, A\* e ACS foram implementados para resolver o problema de busca proposto. Inicialmente foram implementados os 2 algoritmos clássicos na resolução de problemas de busca em grafo e na sequência o algoritmo de inteligência de enxame. Os pseudocódigos desses

---

**Algoritmo 2** Geração do grafo

---

**Input:** Informações do armazém**Output:** Grafo do armazém

- 1: **foreach** prateleiras **do**
  - 2:   crie um **vértice** para cada divisória da prateleira
  - 3:   adicione o **vértice** em Lista de vértices
  - 4: **end for**
  - 5: **foreach** Lista de Vértices **do**
  - 6:   crie uma lista de adjacentes para o **vértice**
  - 7:   adicione à lista de adjacentes os vértices adjacentes a **vértice**
  - 8:   adicione à lista de adjacentes as distâncias entre **vértice** e vértices adjacentes
  - 9:   adicione lista de adjacentes a Lista de arestas
  - 10: **end for**
  - 11: Grafo dicionário  $\leftarrow$  Cria dicionário(Lista de vértices,Lista de arestas)
  - 12: **return** Grafo dicionário
- 

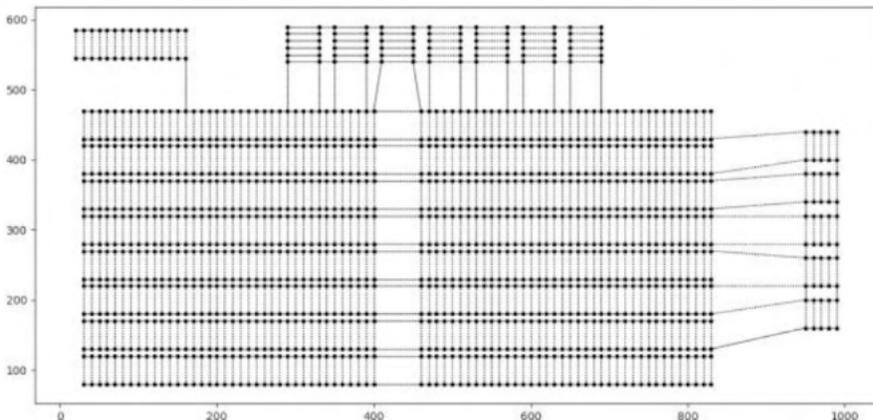


Figura 2. Ilustração do grafo gerado.

Algoritmos não são apresentados por serem bem conhecidos da literatura.

Os algoritmos, Busca de Custo Uniforme e A\* foram desenvolvidos exatamente como descritos na Seção III, sendo a heurística usada no A\* a distância euclidiana entre os vértices do grafo e o vértice objetivo. Para o ACS uma alteração foi feita, o  $\eta$  que tradicionalmente é o inverso do tamanho de um arco do grafo, foi mudado para o inverso da distância do vértice ao objetivo, a métrica usada foi a distância de Manhattan. A alteração tem o intuito de aumentar a probabilidade de a formiga ir no sentido do objetivo, fazendo também com que o método chegue à convergência com maior rapidez.

Os parâmetros utilizados no ACS foram obtidos através de uma busca em grid, onde os selecionados foram:  $\alpha = 1, 4$ ,  $\beta = 2$ ,  $\tau_0 = 0, 001$ ,  $\rho = 0, 01$ ,  $Q = 20$ ,  $q_0 = 0, 3$  e quantidade de formigas = 50. Os critérios de parada foram, convergência da população ou 500 iterações.

Os 3 algoritmos foram executados sobre o grafo para 10 instâncias diferentes do problema, ou seja, para 10 pares de origem e destino diferentes. Para as 10 instâncias foram analisadas as qualidades das soluções encontradas por cada algoritmo, bem como o tempo gasto para chegar a essas soluções. Para o ACS cada instância foi executada 10 vezes, pois ele é estocástico e diferentemente dos demais pode encontrar um resultado diferente em cada execução.

### C. Configurações da máquina

Todos os algoritmos foram implementados em linguagem *Python* utilizando o IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) *Spyder 3.7*, sistema operacional *Ubuntu 18.04 lts* e processados em um computador com as seguintes configurações: *Intel(R) Core(TM) i3-4005U CPU 1.7GHz*, 4GB de RAM, 64-bits.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da resolução de várias instâncias do problema de busca através da aplicação dos algoritmos, Busca de Custo Uniforme, A\* e ACS, além da discussão dos resultados apresentados por cada um deles.

### A. Resultados

Foram realizados experimentos para simular um AGV com um ponto de origem e um ponto de destino para cada instância do problema, sendo que estes pontos foram gerados aleatoriamente. Os resultados obtidos consistem nas rotas encontradas em cada simulação pelos 3 métodos, bem como a qualidade desse caminho e o tempo gasto por cada um deles para resolver o problema. O algoritmo ACS foi executado 10 vezes para cada instância, enquanto os demais apenas uma vez, por estes se tratarem de métodos determinísticos.

As Tabelas I e II contêm os resultados obtidos ao executar os algoritmos Busca de Custo Uniforme e A\*. Nelas são mostrados o tempo de execução e o tamanho da solução encontrada em cada instância. A solução encontrada é ótima, pois o Busca de Custo Uniforme e o A\* com heurística adequada são ótimos, i.e., sempre encontram a solução ótima para o problema.

Tabela I  
 RESULTADOS OBTIDOS PELO BUSCA DE CUSTO UNIFORME

Instâncias	Tamanho(m)	Tempo(s)	$N^{\circ}$ de nós expandidos
1	1070	$8,995 \times 10^{-2}$	1348
2	400	$3,137 \times 10^{-2}$	480
3	740	$4,894 \times 10^{-2}$	775
4	750	$9,692 \times 10^{-2}$	1204
5	650	$7,281 \times 10^{-2}$	838
6	1335	$9,818 \times 10^{-2}$	1375
7	810	$9,931 \times 10^{-2}$	1272
8	1375	$1,033 \times 10^{-1}$	1378
9	570	$1,546 \times 10^{-1}$	1167
10	620	$4,314 \times 10^{-2}$	638

Tabela I: Resultados obtidos pelo busca de custo uniforme

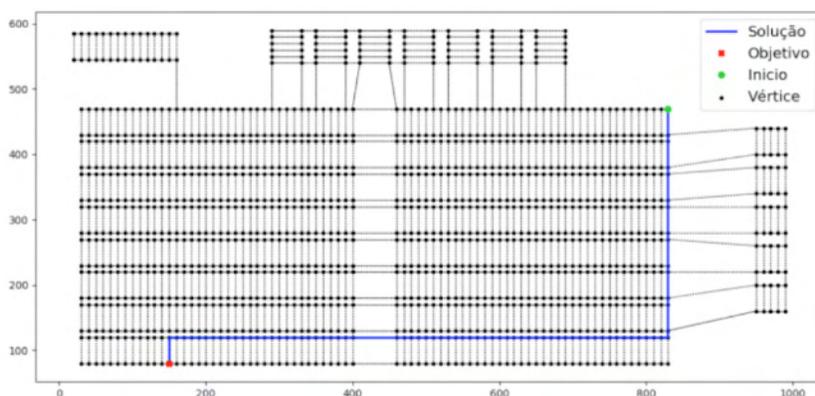


Figura 3. Resultado obtido pelo Busca de Custo Uniforme para a instância 1.

Instâncias	Tamanho(m)	Tempo(s)	$N^{\circ}$ de nós expandidos
1	1070	$8,532 \times 10^{-2}$	1061
2	400	$3,214 \times 10^{-3}$	33
3	740	$6,039 \times 10^{-3}$	58
4	750	$2,695 \times 10^{-2}$	550
5	650	$9,682 \times 10^{-3}$	164
6	1335	$1,163 \times 10^{-1}$	1251
7	810	$2,956 \times 10^{-2}$	395
8	1375	$6,451 \times 10^{-2}$	757
9	570	$2,589 \times 10^{-2}$	328
10	620	$5,114 \times 10^{-3}$	105

Tabela II: Resultados obtidos pelo a\*

As Tabelas III e IV mostram os resultados obtidos pelo algoritmo ACS. Na Tabela III é mostrado para cada instância, o tempo médio gasto em 10 execuções, o desvio padrão, o tempo gasto na execução mais demorada e o tempo gasto na execução mais rápida. A Tabela IV apresenta para cada instância, o tamanho médio das soluções em 10 execuções, o desvio padrão, o tamanho da pior e da melhor solução encontradas nessas execuções.

As Tabelas V e VI mostram para cada algoritmo os valores médios de tempo de execução e tamanho da solução, respectivamente. Os resultados apresentados nessas tabelas são relativos a 10 instâncias do problema, onde podemos notar que para os algoritmos determinísticos os valores médios de tamanho da solução são idênticos.

As figuras geradas na instância 1 podem ser observadas nas Figuras 3, 4 e 5. As demais figuras geradas foram omitidas, considerando-se as limitações de espaço no trabalho. Os resultados mostrados nessas imagens demonstram bem os resultados obtidos nas demais instâncias, onde podemos verificar que o Busca de Custo Uniforme e o A\* encontram a solução ótima e o ACS converge para uma solução sub-ótima.

### B. Discussão

Ao comparar os resultados apresentados nas Tabelas I, II, III e IV, podemos perceber que o Busca de Custo Uniforme e o A\* foram os métodos que se saíram melhor na resolução do problema, ambos encontraram o caminho mínimo e apresentaram baixo tempo de execução. O A\* foi mais eficiente no quesito tempo em 9 das 10 instâncias, e na única onde não foi a diferença foi pouco significativa, resultado esperado, pois devido a busca no A\* ser direcionada por uma informação

Instâncias	Tempo médio(s)	Desvio padrão(s)	Menor tempo(s)	Maior tempo(s)
1	$6,012 \times 10^3$	$1,184 \times 10^3$	$4,653 \times 10^3$	$7,954 \times 10^3$
2	$3,847 \times 10^2$	$2,138 \times 10^2$	$1,484 \times 10^2$	$7,843 \times 10^2$
3	$4,937 \times 10^3$	$1,533 \times 10^3$	$3,482 \times 10^3$	$8,975 \times 10^3$
4	$2,148 \times 10^3$	$6,557 \times 10^2$	$1,354 \times 10^3$	$3,568 \times 10^3$
5	$1,808 \times 10^3$	$7,693 \times 10^2$	$1,161 \times 10^3$	$3,823 \times 10^3$
6	$5,319 \times 10^3$	$8,593 \times 10^2$	$4,258 \times 10^3$	$6,514 \times 10^3$
7	$3,134 \times 10^3$	$6,709 \times 10^2$	$2,594 \times 10^3$	$4,814 \times 10^3$
8	$4,201 \times 10^3$	$1,063 \times 10^3$	$3,156 \times 10^3$	$6,631 \times 10^3$
9	$2,740 \times 10^3$	$3,388 \times 10^2$	$2,210 \times 10^3$	$3,325 \times 10^3$
10	$1,218 \times 10^3$	$3,793 \times 10^2$	$7,753 \times 10^2$	$2,091 \times 10^3$

Tabela III: Resultados de tempo de execução para o ACS.

Instâncias	Tamanho médio(m)	Desvio padrão(m)	Menor tamanho(m)	Maior tamanho(m)	Tamanho da solução ótima(m)
1	1341	46,14	1270	1410	1070
2	400	0,00	400	400	400
3	822	74,00	740	980	740
4	804	57,31	750	930	750
5	734	51,22	650	810	650
6	1773	103,71	1635	1955	1335
7	1000	76,55	890	1190	810
8	1615	77,97	1475	1735	1375
9	738	66,45	570	810	570
10	696	43,63	640	760	620

Tabela IV: Resultados dos tamanhos das rotas obtidas pelo accs.

Métodos	Tempo médio(s)
Busca de Custo Uniforme	$8,385 \times 10^{-2}$
A*	$3,725 \times 10^{-2}$
ACS	$3,190 \times 10^3$

Tabela V: Tempo médio das 10 instâncias.

Métodos	Tamanho médio(m)
Determinísticos (Busca de Custo Uniforme e A*)	832
Estocástico (ACS)	992,3

Tabela VI: Tamanho médio das soluções dos algoritmos determinísticos e estocásticos para as 10 instâncias.

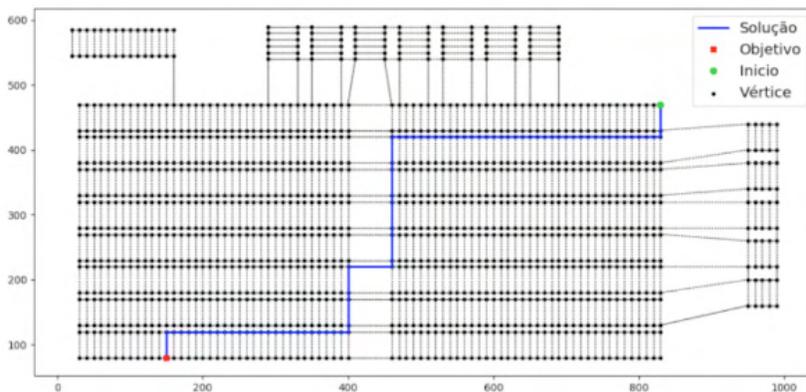


Figura 4. Resultado obtido pelo A\* para a instância 1.

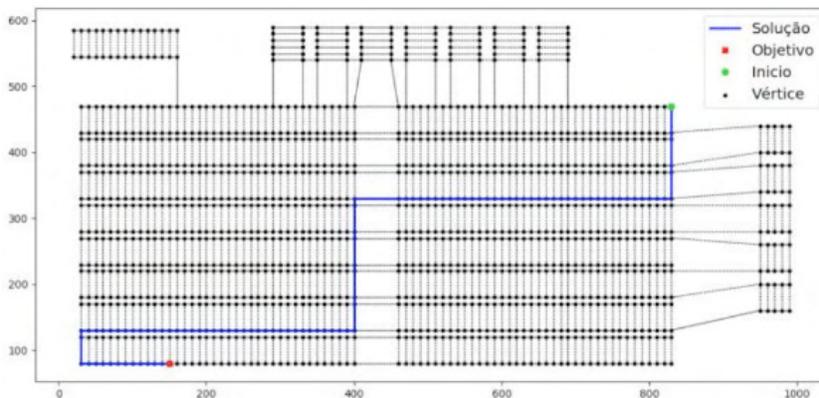


Figura 5. Resultado obtido pelo ACS na instância 1.

Heurística sua árvore de busca acaba sendo menor que a do Busca de Custo Uniforme. Podemos ver que a árvore de busca do A\* é menor ao observar nas Tabelas I e II o No de nós expandidos.

O que fez com que o Busca de Custo Uniforme fosse superior em uma das instâncias foram as características da mesma. Ao analisar a instância 6 observamos que o Busca de Custo Uniforme se saiu melhor, isso ocorre pois o vértice de origem não é rodeado por outros vértices, e como o Busca de Custo Uniforme expande os estados a sua volta num espécime de círculo, ele acabou expandindo menos estados do que se a origem fosse um vértice do grafo com mais vértices em volta. O A\* não se beneficia dessa configuração, pois a forma como explora o ambiente é diferente.

Na Tabela V podemos ver que na média o A\* foi mais eficiente que o Busca de Custo Uniforme, considerando as 10 instâncias o tempo de execução do Busca de Custo Uniforme foi mais que 2 vezes maior quando comparado ao A\*. Sendo assim foi observado que o A\* como algoritmo é mais eficiente que o Busca de Custo Uniforme.

Ao comparar os resultados dos algoritmos determinísticos das Tabelas I e II, com os resultados do algoritmo estocástico mostrado nas Tabelas III e IV, podemos perceber que o mesmo não resolveu bem o problema visto que o tempo de execução foi muito superior e os caminhos encontrados muitas vezes ficaram presos em mínimos locais. Essa má eficiência em relação ao tempo pode ser atribuída a uma implementação que não foi voltada para tal. O ACS, devido a suas características facilita a programação paralela, logo ao implementá-lo dessa forma o tempo gasto seria reduzido em muitas vezes. Além disso mais formigas e iterações se fariam viáveis podendo melhorar e muito a qualidade das soluções.

Outro aspecto importante a se ressaltar é que devido ao tamanho do problema os métodos determinísticos se mostraram suficientemente bons, fazendo com que a utilização de um estocástico não seja tão interessante, ou seja, para esse problema os

determinísticos se mostram muito superiores, porém para problemas maiores e com uma implementação mais voltada pra eficiência o ACS tem grande potencial, já que algoritmos determinísticos não se saem bem em problemas de maiores dimensões devido a terem tempo de execução exponencial.

## 6 | CONCLUSÃO

Utilizando um *software* de modelagem e simulação, o *AnyLogic*, foi possível a criação de um modelo gráfico de um armazém inteligente. Foram implementados 2 algoritmos que geram um grafo a partir do modelo gráfico, tornando possível a aplicação de algoritmos de roteirização sobre um ambiente real.

Com um estudo detalhado do problema de roteamento de veículos, foi possível a implementação de 3 algoritmos para a resolução do problema, o Busca de Custo Uniforme, o A\* e o ACS. Todos foram capazes de resolver o problema proposto, mostrando a viabilidade da aplicação desses algoritmos para problemas reais. Dois deles apresentaram melhores resultados tanto na qualidade da solução encontrada quanto no tempo de execução, o A\* e o Busca de Custo Uniforme. Ambos apresentaram tempo de execução viáveis para a resolução do problema, porém o A\* foi melhor em quase todas as instâncias, se mostrando superior aos demais métodos para o problema dado.

O ACS apresentou tempo de execução relativamente alto e ficou preso em mínimos locais em algumas situações. Porém sua implementação pode ser melhorada, trazendo mais eficiência ao método. Um aspecto importante a se ressaltar é o tamanho do problema resolvido pelos algoritmos, por ser um problema pequeno os métodos determinísticos tiveram desempenho muito bom, porém o tempo cresce exponencialmente para eles, fazendo com que para problemas muito grandes a sua utilização seja inviável computacionalmente, por isso quanto mais o problema cresce melhor o método estocástico é em relação aos determinísticos.

Como propostas de trabalhos futuros, pode-se citar uma implementação mais eficiente do ACS, fazendo um código paralelizado, assim o tempo gasto para encontrar soluções seria muito otimizado, tornando possível o acréscimo de formigas e iterações, podendo assim melhorar também a qualidade da solução. Além disso poderia-se incrementar o problema tornando-o mais desafiador, fazendo com que a utilização do ACS seja mais interessante, isso pode ser feito por exemplo, aumentando o número de objetivos.

Outra proposta de trabalho seria um sistema com vários AGVs no ambiente, trazendo uma situação mais realista, onde problemas como colisões entre os AGVs tivessem que ser tratadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFVJM por todo o suporte prestado no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] K. C. T. Vivaldini, "Roteamento automático de empilhadeiras robóticas em armazém inteligente," Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, 2010.
- [2] M. V. C. d. S. *Ordônio et al.*, "Brasil e china no mundo 4.0: uma visão a partir da política industrial," 2020.
- [3] M. Oda, Z. A. I. Miranda, A. Itani, E. Licco, and L. A. Kulay, "Logística sustentável: contribuição a processos de gestão," *INTERFACEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, vol. 4, no. 1, 2010.
- [4] M. Stürmer, "Sistema de controle e navegação para robôs móveis autônomos em ambientes de armazenagem," *Portuguese, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo*, 2004.
- [5] I. Beker, V. Jevtić, and D. Dobrilović, "Shortest-path algorithms as a tools for inner transportation optimization," *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJEM)*, vol. 3, no. 1, pp. 39–45, 2012.
- [6] L. B. Branisso et al., "Sistema multiagente para controle de veículos autônomos," 2014.
- [7] N. V. Kumar and C. S. Kumar, "Development of collision free path planning algorithm for warehouse mobile robot," *Procedia computer science*, vol. 133, pp. 456–463, 2018.
- [8] N. C. Truong, T. G. Dang, and D. A. Nguyen, "Optimizing automated storage and retrieval algorithm in cold warehouse by combining dynamic routing and continuous cluster method," in *International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications*. Springer, 2018, pp. 283–293.
- [9] E. Cardarelli, V. Digani, L. Sabattini, C. Secchi, and C. Fantuzzi, "Cooperative cloud robotics architecture for the coordination of multiagv systems in industrial warehouses," *Mechatronics*, vol. 45, pp. 1–13, 2017.
- [10] Z. Zhang, Q. Guo, J. Chen, and P. Yuan, "Collision-free route planning for multiple agvs in an automated warehouse based on collision classification," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26 022–26 035, 2018.
- [11] C. Secchi, R. Olmi, F. Rocchi, and C. Fantuzzi, "A dynamic routing strategy for the traffic control of agvs in automatic warehouses," in 2015 IEEE *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE, 2015, pp. 3292–3297.
- [12] X. Li, C. Zhang, W. Yang, and M. Qi, "Multi-agvs conflict-free routing and dynamic dispatching strategies for automated warehouses," in *International Conference on Mobile and Wireless Technology*. Springer, 2018, pp. 277–286.
- [13] Y. Noh and Y. Yoon, "Tactical traffic control for multiple agv systems based on three dimensional space," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 1790, no. 1. AIP Publishing, 2016, p. 150027.
- [14] R. L. Santos, "Uma aplicação de algoritmos de colônias de formigas em problemas de roteirização de veículos com janelas de tempo," 2006.
- [15] S. J. Russell and Norvig, *Inteligência Artificial*, 3rd ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, resolução de problemas por meio de busca.
- [16] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colonies for the travelling salesman problem," *biosystems*, vol. 43, no. 2, pp. 73–81, 1997.
- [17] B. Andrei, "Multimethod simulation modeling for business applications," 2017. [Online]. Available: <https://www.anylogic.com/>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aprendizado de máquina 3, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 13, 18, 20, 33, 43, 44

Armazém inteligente 87, 88, 90, 94, 103, 104

### B

Bloom 51, 52, 54, 63, 65, 66, 69, 70, 71, 72, 73

Busca de custo uniforme 87, 89, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103

### C

Colônia de formigas 87, 91, 93

Computação evolutiva 4, 133, 135, 136, 139, 144

Covid-19 3, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 75, 82

### D

Data augmentation 106

Doença de alzheimer 4, 105, 106, 119

### E

Experiência do usuário 3, 74, 75, 76

Extração de conhecimento 133, 138, 140

### F

Fluxo de carga linearizado 3, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31

Funções contínuas 4, 121, 124, 131

### G

Generative adversarial networks 106, 110

### I

Imagens de raio X 3, 33, 46

Índices de reprovação 147, 149, 152, 153, 158, 159

Inteligência lógico-matemática 3, 51, 52, 56, 57, 59, 72

### J

Jogos digitais de entretenimento 3, 51, 52, 53, 63, 64, 71

### M

Mercado financeiro 2, 4, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 144

Multilayer perceptron 8, 35, 38, 105, 106, 109, 110, 121

## **O**

Otimização matemática 22, 23, 26, 28, 31

## **P**

Perceptron 4, 8, 35, 38, 105, 106, 109, 110, 121

Portais de notícias 3, 74, 76, 77, 79, 80, 82, 84, 85

## **R**

Rastreamento 3, 74, 75, 76, 77, 78

Reconhecimento de padrões 20, 33, 35, 40

redes neurais artificiais 20, 35, 49, 146

Redes neurais artificiais 4, 105, 106, 121, 132, 136

Redes neurais convolucionais 33, 34, 37, 46

Reprovação no curso de sistemas de informação 4, 147, 159

Roteirização 87, 89, 103, 104

## **S**

Sistemas de recomendação 133

Sistemas elétricos de potência 21, 22, 32

Solver knitro 22

## **T**

Teoria das Inteligências Múltiplas 51, 54, 71, 72

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED COMPUTER ENGINEERING 2

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED COMPUTER ENGINEERING 2