

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MÁRCIO DA COSTA VITOR FILHO**

**OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE OPERAÇÕES DE CARGA E  
DESCARGA DE CAMINHÕES APOIADA POR ALGORITMO GENÉTICO EM  
PROGRAMAÇÃO EVOLUTIVA**

**GUARAPUAVA**

**2023**

**MÁRCIO DA COSTA VITOR FILHO**

**OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE OPERAÇÕES DE CARGA E  
DESCARGA DE CAMINHÕES APOIADA POR ALGORITMO GENÉTICO EM  
PROGRAMAÇÃO EVOLUTIVA**

**Optimization of the sequencing of truck loading and unloading operations  
supported by Genetic Algorithm in Evolutionary Computation**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Dr. Roni Fabio Banaszewski.

**GUARAPUAVA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MÁRCIO DA COSTA VITOR FILHO**

**OTIMIZAÇÃO DO SEQUENCIAMENTO DE OPERAÇÕES DE CARGA E  
DESCARGA DE CAMINHÕES APOIADA POR ALGORITMO GENÉTICO EM  
PROGRAMAÇÃO EVOLUTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 5/julho/2023

---

Roni Fabio Banaszewski  
Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Guarapuava

---

Rodrigo Scoczynski Ribeiro  
Doutorado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Guarapuava

---

Luciano Ogiboski  
Doutorado em Engenharia Elétrica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Guarapuava

**GUARAPUAVA**

**2023**

Dedico este trabalho ao meu amado avô, José Francisco Vitor, carinhosamente conhecido como Zé da Rampa. Sua crença e orgulho em mim são fonte constante e inesgotável de inspiração. Sua memória e apoio permanecerão para sempre comigo ao longo de toda minha jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Com toda certeza, estas palavras não conseguirão abranger a todos que estiveram presentes nesta importante fase da minha vida. No entanto, tenho plena confiança de que, mesmo sem mencioná-los diretamente, cada um saberá do impacto que causaram em minha jornada e o quanto sou grato por tudo, em meus pensamentos.

Gostaria de expressar minha imensa gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Roni Fabio Banaszewski, por me conduzir nessa trajetória, compartilhando não apenas seu conhecimento, mas também palavras reconfortantes nos momentos mais desafiadores.

À minha família, o meu agradecimento especial pelo amor, incentivo e compreensão durante todo o processo. É por vocês que encontro motivação nos dias mais difíceis.

Aos meus queridos amigos, presentes em minha vida de forma tão especial, gostaria de expressar minha gratidão. Foi ao lado de vocês que compartilhei tantos momentos e dividimos tanto dores quanto alegria. Esta jornada se tornou mais leve graças à presença de vocês.

A todos os grupos estudantis dos quais tive a felicidade de fazer parte, em especial à Bateria Lobatuque e à Brick – Empresa Júnior de Engenharia Civil, meu profundo agradecimento. Muitas das habilidades necessárias para a execução deste trabalho foram adquiridas enquanto eu integrava esses grupos.

Ao time com o qual tive a honra de trabalhar durante meu estágio obrigatório, gostaria de expressar minha gratidão pela paciência e disposição em compartilhar conhecimento comigo. A generosa colaboração de vocês enriqueceu imensamente este estudo.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho, desejo expressar minha profunda gratidão. Seus esforços e apoio foram de valor inestimável, e sou extremamente sortudo por ter tido a oportunidade de contar com vocês.

Que estas palavras sirvam como um humilde reconhecimento àqueles que caminharam ao meu lado. Que saibam que cada gesto, cada palavra e cada apoio foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

## RESUMO

O sequenciamento de caminhões-tanque em operações de carga e descarga de múltiplos produtos dentro do segmento *downstream* é um problema logístico complexo e comumente realizado com base na experiência de profissionais com pouco ou nenhum auxílio de um sistema computacional de apoio à decisão. O presente trabalho visa desenvolver uma solução eficiente e factível utilizando Algoritmo Genético, buscando melhorar a qualidade das tomadas de decisões operacionais nesse contexto. A pesquisa é justificada pela importância da logística de transporte na cadeia de suprimentos e pelos desafios enfrentados na definição do modal ideal para o transporte de mercadorias. A metodologia adotada envolveu uma pesquisa exploratória do problema, seguida pela modelagem do algoritmo genético, implementação em ambiente computacional e validação da solução em diferentes cenários hipotéticos. Os resultados obtidos demonstraram a capacidade do Algoritmo Genético em otimizar as operações de terminal de abastecimento e distribuição de combustíveis, fornecendo suporte para a tomada de decisão em situações de grande dinamismo. A conclusão do estudo reitera a relevância e eficácia do uso de Algoritmos Genéticos como ferramentas de apoio à tomada de decisões em problemas logísticos complexos e sugere investigações futuras para aprimorar ainda mais as soluções propostas em busca do avanço do conhecimento na área da logística de transporte através de uma abordagem sistemática e eficiente para otimizar o sequenciamento de operações de carga e descarga de caminhões-tanque em terminais de armazenamento e distribuição de combustíveis.

Palavras-chave: cadeia de suprimentos, sequenciamento, tomada de decisão, algoritmo genético, transporte.

## **ABSTRACT**

Truck sequencing in the loading and unloading operations of multiple products within the downstream segment is a complex logistical problem commonly tackled based on the experience of professionals, with little or no support from a computerized decision support system. This research aims to develop an efficient and feasible solution using Genetic Algorithms, aiming to improve the quality of operational decision-making in this context. The study is justified by the importance of transportation logistics in the supply chain and the challenges faced in determining the ideal mode of transportation for goods. The methodology adopted involved exploratory research of the problem, followed by the modeling of the genetic algorithm, implementation in a computational environment, and validation of the solution in different hypothetical scenarios. The results obtained demonstrated the capability of Genetic Algorithms in optimizing fuel supply and distribution terminal operations, providing decision support in highly dynamic situations. The study's conclusion reaffirms the relevance and effectiveness of Genetic Algorithms as decision support tools for complex logistical problems and suggests further investigations to enhance the proposed solutions and advance knowledge in the field of transportation logistics. This systematic and efficient approach aims to optimize the sequencing of loading and unloading operations of tanker trucks in storage and fuel distribution terminals.

**Keywords:** supply chain, sequencing, decision-making, genetic algorithm, transport.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seleção pelo método da roleta.....	13
Figura 2 - Seleção por torneio.....	14
Figura 3 - Crossover em um ponto .....	15
Figura 4 - Crossover em dois pontos .....	15
Figura 5 - Mutação em genes binários .....	15
Figura 6 - Exemplo de uma plataforma .....	23
Figura 7 - Exemplo de infraestrutura de uma plataforma .....	24
Figura 8 - Exemplo de capacidades máximas de tanques de armazenamento .....	25
Figura 9 - Infraestrutura das ilhas.....	29
Figura 10 - Estrutura de genes.....	31
Figura 11 - Um indivíduo com sete genes.....	31
Figura 12 - População com dois indivíduos.....	32
Figura 13 - Captura de tela da saída da execução 1 do primeiro cenário .....	53
Figura 14 - Captura de tela da saída da execução 2 do primeiro cenário .....	55
Figura 15 - Verificação dos resultados do primeiro cenário .....	56
Figura 16 - Captura de tela da saída do segundo cenário .....	59
Figura 17 - Captura de tela da saída da execução 1 do terceiro cenário.....	64
Figura 18 - Captura de tela da saída da execução 2 do terceiro cenário.....	66
Figura 19 - Captura de tela da saída da execução 3 do terceiro cenário.....	67
Figura 20 - Verificação dos resultados do terceiro cenário.....	68
Fluxograma 1 - Resumo das operações genéticas .....	16
Fluxograma 2 - Jornada do caminhão no terminal.....	26
Gráfico 1 - Avaliação gráfica da execução 1 .....	44
Gráfico 2 - Avaliação gráfica da execução 2.....	45
Gráfico 3 - Avaliação gráfica da execução 3.....	45
Gráfico 4 - Avaliação gráfica da execução 4.....	46
Gráfico 5 - Avaliação gráfica da execução 5.....	46
Gráfico 6 - Avaliação gráfica da execução 6.....	47
Gráfico 7 - Avaliação gráfica da execução 7 .....	47
Gráfico 8 - Avaliação gráfica da execução 8.....	48
Gráfico 9 - Avaliação gráfica da execução 9.....	48
Gráfico 10 - Avaliação gráfica da execução 10.....	49
Gráfico 11 - Capacidade x Volume após realizadas as operações do segundo cenário .....	60
Gráfico 12 - Capacidade x Volume após realizadas as operações da execução 1 do terceiro cenário .....	68
Gráfico 13 - Capacidade x Volume após realizadas as operações da execução 3 do terceiro cenário .....	69



<b>Gráfico 14 - Evolução do volume no tanque de gasolina (em milhões de litros)</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 15 - Evolução do volume no tanque de etanol hidratado (em milhões de litros)</b>	<b>86</b>
<b>Gráfico 16 - Evolução do volume no tanque de diesel S10 (em milhões de litros)</b>	<b>86</b>
<b>Gráfico 17 - Evolução do volume no tanque de etanol anidro (em milhões de litros)</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 18 - Evolução do volume no tanque de biodiesel (em milhões de litros)</b>	<b>87</b>
<b>Quadro 1 - Infraestrutura das ilhas</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 2 - Especificações dos tanques</b>	<b>29</b>
<b>Quadro 3 - Informações de cada gene</b>	<b>31</b>
<b>Quadro 4 - Valores de cada prioridade comercial</b>	<b>35</b>
<b>Quadro 5 - Parâmetros a ser combinados na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>38</b>
<b>Quadro 6 - Lista de caminhões-tanque na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>39</b>
<b>Quadro 7 - Infraestrutura das baias na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 8 - Prioridade das categorias comerciais na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 9 - Status dos tanques na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 10 - Informações de hardware na definição de configurações de parâmetros</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 11 - Registro de velocidades de conexão</b>	<b>41</b>
<b>Quadro 12 - Resultados da definição de configurações de parâmetros</b>	<b>42</b>
<b>Quadro 13 – Parâmetros definidos</b>	<b>43</b>
<b>Quadro 14 - Informações de hardware no teste dos parâmetros definidos</b>	<b>44</b>
<b>Quadro 15 - Lista de caminhões-tanque na execução 1 do primeiro cenário</b>	<b>51</b>
<b>Quadro 16 - Infraestrutura das baias na execução 1 do primeiro cenário</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 17 - Prioridade das categorias comerciais na execução 1 do primeiro cenário</b>	<b>52</b>
<b>Quadro 18 - Status dos tanques na execução 1 do primeiro cenário</b>	<b>53</b>
<b>Quadro 19 - Informações de hardware na execução 1 do primeiro cenário</b>	<b>53</b>
<b>Quadro 20 - Lista de caminhões-tanque na execução 2 do primeiro cenário</b>	<b>54</b>
<b>Quadro 21 - Infraestrutura das baias na execução 2 do primeiro cenário</b>	<b>54</b>
<b>Quadro 22 - Abreviação dos nomes dos produtos</b>	<b>55</b>
<b>Quadro 23 - Lista de caminhões-tanque no segundo cenário</b>	<b>57</b>
<b>Quadro 24 - Infraestrutura das baias no segundo cenário</b>	<b>58</b>
<b>Quadro 25 - Prioridade das categorias comerciais no segundo cenário</b>	<b>58</b>
<b>Quadro 26 - Status dos tanques no segundo cenário</b>	<b>59</b>
<b>Quadro 27 - Lista de caminhões-tanque na execução 1 do terceiro cenário</b>	<b>62</b>
<b>Quadro 28 - Infraestrutura das baias na execução 1 do terceiro cenário</b>	<b>63</b>
<b>Quadro 29 - Prioridade das categorias comerciais na execução 1 do terceiro cenário</b>	<b>63</b>
<b>Quadro 30 - Status dos tanques na execução 1 do terceiro cenário</b>	<b>63</b>

<b>Quadro 31 - Lista de caminhões-tanque na execução 2 do terceiro cenário.....</b>	<b>64</b>
<b>Quadro 32 - Infraestrutura das baias na execução 2 do terceiro cenário .....</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 33 - Status dos tanques na execução 2 do terceiro cenário .....</b>	<b>65</b>
<b>Quadro 34 - Infraestrutura das baias na execução 3 do terceiro cenário .....</b>	<b>66</b>
<b>Quadro 35 - Status dos tanques na execução 3 do terceiro cenário .....</b>	<b>67</b>
<b>Quadro 36 - Sequenciamento de operações de carga e descarga no cenário extra.....</b>	<b>85</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
1.1.1	Objetivo geral	6
1.1.2	Objetivos específicos	6
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Contextualização de problemas de otimização em cadeias de suprimentos</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Complexidade computacional: problemas P, NP e NP-difícil</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Algoritmo genético</b>	<b>11</b>
2.3.1	Visão geral	11
2.3.2	Estruturas e operações	12
<b>2.4</b>	<b>Ferramentas para computação evolutiva</b>	<b>16</b>
<b>2.5</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE CARGA E DESCARGA DE MÚLTIPLOS PRODUTOS EM TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Infraestrutura</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Dinâmica geral e atividades rotineiras</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>TERMINAL HIPOTÉTICO, MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Abstração para um terminal hipotético</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Modelagem do algoritmo genético</b>	<b>30</b>
5.2.1	Gene	30
5.2.2	Indivíduo	31
5.2.3	População	32
5.2.4	Mecanismos de reprodução	33
5.2.5	Função de fitness	33
5.2.6	Restrições e penalizações	35
5.2.7	Critério de parada	36
<b>5.3</b>	<b>Implementação do algoritmo</b>	<b>36</b>
<b>5.4</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>38</b>
<b>6.1</b>	<b>Definição de configurações de parâmetros</b>	<b>38</b>

<b>6.2</b>	<b>Teste dos parâmetros definidos.....</b>	<b>43</b>
<b>6.3</b>	<b>Aplicação em cenários hipotéticos.....</b>	<b>49</b>
6.3.1	Aplicação no primeiro cenário.....	50
6.3.2	Aplicação no segundo cenário.....	57
6.3.3	Aplicação no terceiro cenário.....	60
<b>6.4</b>	<b>Considerações finais.....</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE A - CÓDIGO PYTHON DO R.A.M.P.A.....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE B – APLICAÇÃO NO CENÁRIO EXTRA.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A logística de transporte de produtos exerce um papel fundamental na cadeia de suprimentos de qualquer bem ou produto de uma empresa. Nos dias atuais, devido à complexidade dos processos de planejamento logísticos, é um desafio constante definir o melhor modal para transportar mercadorias com maior segurança e redução de custos e também de tempo. Estes desafios também estão presentes no contexto de transporte envolvendo caminhões em operações *downstream*, quando o ato de melhorar alguma das etapas do processo pode levar a ganhos significativos em termos de agilidade e produtividade.

Como exemplo destes desafios logísticos a serem vencidos, pode-se citar um problema logístico complexo em cadeias de suprimentos da indústria de combustíveis: o armazenamento e distribuição de produtos. Mais precisamente, o problema a ser descrito ocorre em um terminal de distribuição de combustíveis de uma empresa da indústria de combustíveis localizada em Alto Taquari, no estado de Mato Grosso.

No cenário identificado, considera-se que um caminhão-tanque transporta um ou vários produtos de uma refinaria até um terminal de armazenamento e distribuição ou de um terminal de armazenamento e distribuição para clientes finais. Estes caminhões enfrentam longas jornadas para concluir essa atividade. Neste contexto, o desafio é implementar um processo no terminal supracitado, que garanta um atendimento eficiente a todos os caminhões-tanque, reduzindo ao máximo possível o tempo de espera por disponibilidade operacional.

Todavia, garantir um fluxo eficiente e otimizado de caminhões ao mesmo tempo em que se atendem as restrições físicas impostas pelo ambiente do terminal, não é uma tarefa trivial, principalmente quando o planejamento das operações depende de decisões operacionais estritamente humanas. Estes problemas são desafiadores, pois geralmente apresentam alta complexidade combinatorial em termos das decisões operacionais, as quais são recorrentes e interdependentes.

No entanto, como o mundo atual atravessa uma grande transformação na forma em que decisões são tomadas: as decisões humanas estão cada vez mais sendo apoiadas por programas de computadores. De acordo com a Data Science Academy (2021), colabora com esta afirmação o fato de que nunca a humanidade teve a sua disposição a massa de dados e a capacidade de processamento

computacional que há nos dias atuais. Na área da Inteligência Artificial (IA), a expressão “A Tempestade Perfeita da IA” se popularizou, embora não haja uma origem oficialmente atribuída, para explicar esse cenário a qual possibilita que tomadas de decisões sejam, cada vez mais, suportadas por algoritmos de Inteligência Artificial ao invés de depender fortemente do indivíduo a fim de reduzir riscos inerentes da dependência humana.

Ainda, existem algoritmos de IA genéricos o suficiente para serem aplicados nas mais diversas situações, desde que sejam modelados para o problema de maneira assertiva. Neste sentido, com a finalidade de melhorar a qualidade das tomadas de decisões realizadas por operadores humanos e, conseqüentemente, garantir maior disponibilidade operacional no problema de distribuição de produtos combustíveis envolvendo caminhões-tanque em terminais de armazenamento e distribuição, no presente trabalho, é apresentada uma solução computacional com uso de um algoritmo de IA em específico, conhecido como Algoritmo Genético. Mais precisamente, o problema em questão foi adequadamente modelado para que o algoritmo supracitado, ao ser executado, possa oferecer um resultado eficiente e factível em respeito às restrições do problema, para melhor apoiar as decisões dos operadores humanos por meio da apresentação de um planejamento otimizado das operações a serem realizadas no terminal.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Elaborar uma solução eficiente e factível usando Algoritmo Genético para um problema combinatório real de alocação de caminhões-tanques em baias para operações de carga e descarga de múltiplos produtos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Analisar o problema de forma exploratória considerando as variáveis e restrições;
- Realizar o projeto da solução computacional considerando as estruturas de um Algoritmo Genético;
- Implementar a solução projetada em ambiente computacional;

- Validar a qualidade da solução computacional por meio de testes em diferentes cenários.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo será abordada a teoria necessária para o desenvolvimento do presente trabalho. Basicamente, na seção 2.1 será apresentada uma contextualização do problema de sequenciamento de operações de carga e descarga de caminhões em terminais de armazenamento e distribuição dentro da cadeia de suprimentos. Na seção 2.2, serão abordadas as classificações dos problemas em complexidade computacional. Na seção 2.3 a estrutura de um Algoritmo Genético com base na teoria da programação evolutiva dentro da Inteligência Artificial. Na seção 2.4, serão mostradas as ferramentas para computação evolutiva e, por fim, na seção 2.5, serão apresentadas as considerações finais sobre o capítulo.

### **2.1 Contextualização de problemas de otimização em cadeias de suprimentos**

Segundo Ballou (2012), o transporte, o estoque e comunicações são partes essenciais para o bom funcionamento dos negócios de uma grande variedade de empresas. Essas atividades são capazes de prover aos clientes os bens e serviços que eles buscam. Portanto, a devida coordenação dessas atividades, combinada com constantes melhorias, possuem potencial para fornecer ganhos substanciais e vantagens competitivas em uma área tão relevante quanto à cadeia de suprimentos.

Nesse contexto, o sistema de transporte se destaca como um elemento que possibilita maior competição, uma vez que é capaz de trazer disponibilidade de um produto a uma região que não possui produção local ou atender a região que possui produção local sazonal. Além disso, o sistema de transporte e distribuição é o elemento de maior impacto no orçamento logístico das empresas, chegando a absorver 63,5% do custo logístico de acordo com a pesquisa “Custos Logísticos do Brasil 2017” realizada pela Fundação Dom Cabral (2018). Por esse motivo, reduzir custos de transporte pode contribuir para a redução do preço final dos produtos e aumentar a área de alcance das empresas (BALLOU, 2012).

Uma das formas de otimizar as operações do sistema de transporte é através de uma boa administração de tráfego. Através da criação de planos de viagem é possível direcionar a frota aos melhores caminhos de uma malha viária. Pode-se obter o plano de viagem ótimo através de técnicas matemáticas que buscam, através do objetivo escolhido (distância, tempo ou uma combinação destes), as rotas ideais.



Dentre os cenários existentes para a criação de planos de viagem está o cenário onde veículos são despachados a partir de uma base central. Nesse problema, diversos veículos têm como origem ou destino um depósito de armazenamento e distribuição, responsável por receber e expedir produtos de acordo com a demanda exigida.

Os depósitos supracitados existem para que haja melhor coordenação entre oferta e demanda, uma vez que, na maioria das vezes, as empresas não conseguem prever com precisão a demanda por seus produtos e nem produzir instantaneamente a mercadoria para que ela chegue ao consumidor dentro do prazo. Nesse contexto, um terminal de armazenamento e distribuição tem o desafio de atender operacionalmente a grande demanda de recebimento e expedição de produtos. Com o objetivo de alcançar esse objetivo, são implementados controles administrativos e operacionais para reduzir gargalos na cadeia de suprimentos. Esses gargalos ocorrem quando os caminhões responsáveis pelo transporte dos produtos enfrentam longas filas de espera devido à indisponibilidade operacional. Por meio desses controles, busca-se otimizar o fluxo de operações e minimizar o tempo de espera dos caminhões, garantindo uma maior eficiência na cadeia de suprimentos.

## **2.2 Complexidade computacional: problemas P, NP e NP-difícil**

A análise de desempenho de um algoritmo em relação ao tamanho dos seus dados de entrada é um tópico estudado dentro da Ciência da Computação e da Matemática, mais especificamente uma área conhecida como “complexidade computacional”. De acordo com Oliveira (2010), “a complexidade computacional é a área da ciência da computação que procura determinar por quais motivos certos problemas decidíveis são tão difíceis de serem resolvidos por computadores”.

Ainda segundo Oliveira (2010), a existência de um conjunto de instruções lógicas (algoritmo) não é o suficiente para garantir que uma tarefa seja executada por um computador em um tempo viável. Com isso surge a necessidade de aprofundamento nesse estudo para buscar compreender melhor a natureza do problema.

Com o avanço do estudo de complexidade computacional, Karp (1972) publicou a definição de classes de problema em termos de suas dificuldades computacionais, sendo eles:

- Problemas P: são problemas que podem ser resolvidos de maneira eficiente, em termos de tempo, por um algoritmo;
- Problemas NP: são problemas em que uma possível solução pode ser verificada de maneira eficiente, ou seja, encontrar a solução pode ser difícil, mas verificar sua validade é relativamente simples;
- Problemas NP-difícil: são problemas considerados extremamente desafiadores de resolver e são fundamentais no estudo de complexidade computacional, uma vez que resolver um problema NP-difícil implica em resolver qualquer problema NP.

O estudo da classe de problemas NP-difícil é importante por permitir a compreensão dos problemas em geral e estabelecer limites do que é possível ser computado de forma eficiente. Por conta disso, foram criados diversos problemas classificados como NP-Difícil a fim de direcionar as pesquisas, entre eles estão:

- Problema de alocação de recursos: É um problema que envolve a alocação eficiente de recursos limitados a um conjunto de tarefas. Os recursos podem incluir coisas como mão de obra, equipamentos, financiamento, entre outros. O objetivo é encontrar a melhor alocação desses recursos de forma a maximizar algum critério, como a lucratividade, a eficiência ou a satisfação das tarefas.
- Problema de sequenciamento: Envolve problemas de ordenação de tarefas ou atividades de acordo com certas restrições ou objetivos. Existem diferentes variações do problema de sequenciamento, como o “Problema de Sequenciamento de Tarefas” e o “Problema de Programação Flow Shop”.

Encontrar soluções exatas para problemas NP-difícil é um desafio em aberto na ciência da computação, no entanto, existem técnicas utilizadas para encontrar soluções aproximadas ou subótimas. Entre essas técnicas pode-se citar o método por heurísticas, onde utiliza-se de regras práticas, experiência e conhecimento especializado para guiar o processo de busca por soluções viáveis.

Uma forma de se obter soluções através de heurística é utilizando um algoritmo metaheurístico, que são capazes de procurar soluções de qualidade em espaços de busca amplos e complexos. Um algoritmo metaheurístico que se destaca

devido sua flexibilidade de uso é o Algoritmo Genético, que será explanado na próxima subseção.

## 2.3 Algoritmo genético

### 2.3.1 Visão geral

A natureza possui um processo de seleção de seres dentro de uma população quando algum recurso essencial, como alimento, espaço ou algum outro, se torna escasso. Nesse processo, os indivíduos com características mais adequadas para competir por esse recurso essencial tem maior probabilidade de sobreviver e transmitir essas características aos seus descendentes, aumentando suas chances de sucesso. Charles Darwin (1859), em sua obra seminal “A Origem das Espécies”, denominou este processo de “Seleção Natural”. É um processo lento e gradual, no qual as variações individuais favoráveis são perpetuadas ao longo do tempo, enquanto as variações individuais desvantajosas tendem a ser eliminadas.

Apenas a perpetuação dessas variações não é o suficiente, uma vez que, após muitas gerações, todos os indivíduos poderiam apresentar características semelhantes. Para contornar essa situação, a natureza promove mudanças abruptas em alguns indivíduos por meio do processo conhecido como mutação. Se as novas características resultantes da mutação forem tão vantajosas quanto as características dos indivíduos existentes, esses indivíduos têm uma maior probabilidade de sucesso na seleção natural. (DE VRIES, 1903).

Além da mutação, outro processo crucial na seleção natural é a recombinação genética (em inglês, chamado de *crossover*). Durante a reprodução sexual, os genes dos pais se misturam e rearranjam, formando novas combinações genéticas nos descendentes. Esse processo de recombinação gera diversidade genética na população, permitindo a introdução de características favoráveis provenientes de diferentes indivíduos. Essa diversidade aumenta as chances de sucesso na seleção natural, uma vez que as novas combinações genéticas podem oferecer vantagens adaptativas aos indivíduos.

Inspirado nesse processo que tem tanto êxito na natureza, Holland (1975) buscou implementar algo parecido em sistemas artificiais, resultando no desenvolvimento do chamado "Algoritmo Genético". Esse algoritmo, integrado à

computação evolutiva proposta por Fogel (1962), tem como objetivo simular o processo de evolução biológica para resolver problemas de inteligência artificial. Holland atribuiu o nome "Algoritmo Genético" a essa abordagem, que utiliza princípios genéticos, como a seleção, mutação e recombinação, para encontrar soluções ótimas ou aproximadas para problemas complexos.

### 2.3.2 Estruturas e operações

Por ser inspirado no processo biológico de hereditariedade, o algoritmo genético mantém muitos dos termos utilizados na biologia. A estrutura fundamental de um algoritmo genético é o cromossomo, também chamado de indivíduo. Um cromossomo representa uma solução potencial para um problema e é composto por uma sequência de genes, que codificam as características ou variáveis relevantes para a otimização de um problema. Os passos para alcançar a solução do problema através da evolução são: geração da população inicial, avaliação dos indivíduos, seleção dos melhores cromossomos, recombinação genética (*crossover*), mutação e geração da nova população.

A geração da população inicial ocorre após a definição do problema, em que cada cromossomo é representado por uma cadeia de caracteres (chamada computacionalmente de *strings*) ou números binários ou decimais. Para que a população seja gerada é preciso definir a quantidade de indivíduos em cada população e como os indivíduos serão escolhidos. Entre as diversas técnicas para escolha da população inicial, é bastante comum que a população seja gerada com todos indivíduos de forma aleatória. (LINDEN, 2008)

A avaliação dos indivíduos ocorre após a geração da população inicial e após a geração da nova população. Para essa avaliação, é estabelecida uma função matemática, chamada de função de *fitness* ou função de avaliação ou desempenho. Esta função mede o desempenho de cada indivíduo em relação ao objetivo. Essa função de *fitness* permite a comparação entre os indivíduos e fornece uma medida quantitativa do quão bem cada indivíduo se adapta ao problema em questão. (LINDEN, 2008)

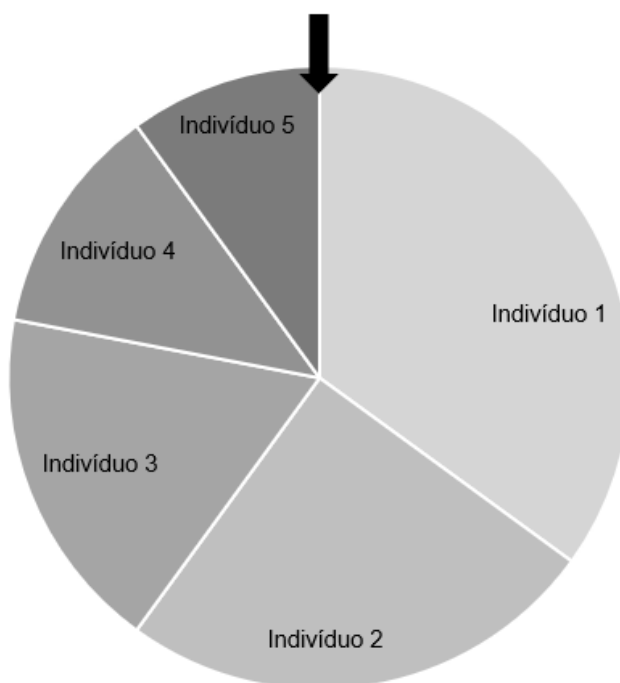
A relação biológica da função de *fitness* ou de avaliação é a adaptabilidade de determinado indivíduo, ou seja, sua capacidade de sobrevivência e reprodução. Ela é

o elemento crítico para o grau de sucesso de um indivíduo no algoritmo genético e pode ter como objetivo a maximização ou minimização de seus valores.

A seleção dos melhores cromossomos é a etapa onde os indivíduos com melhor valor de *fitness* possuem maior probabilidade de serem selecionados para perpetuar suas características para novas gerações. Entre as principais técnicas de seleção para algoritmos genéticos, pode-se citar o método da roleta e o método por torneio.

No método da roleta, a seleção é feita com probabilidade proporcional ao valor de *fitness*. Para isso, cada indivíduo recebe um espaço na roleta que seja proporcional ao seu valor de *fitness*. Dessa forma, os melhores indivíduos terão maior probabilidade de serem escolhidos, mas sem excluir a possibilidade de que características relevantes em indivíduos com menor valor de *fitness* também sejam selecionadas. A Figura 1 ilustra uma roleta para uma população de 5 indivíduos.

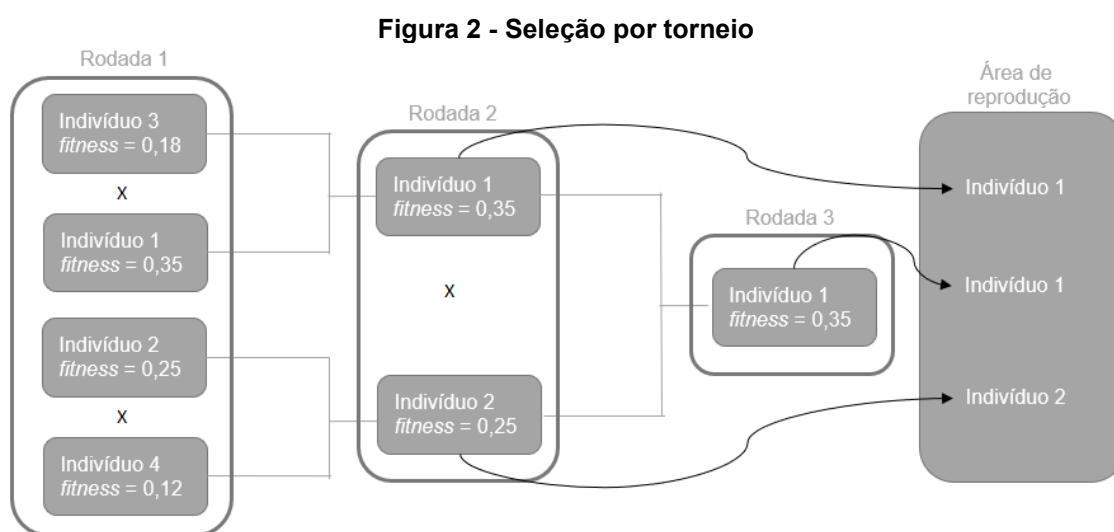
**Figura 1 - Seleção pelo método da roleta**



**Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Pozo et al. (2005)**

No método por torneio a seleção é feita de forma ordinal. Nesse método, uma quantidade pré-determinada de indivíduos é escolhida de forma aleatória e colocados para competir um com o outro. O indivíduo na disputa com maior valor de *fitness*

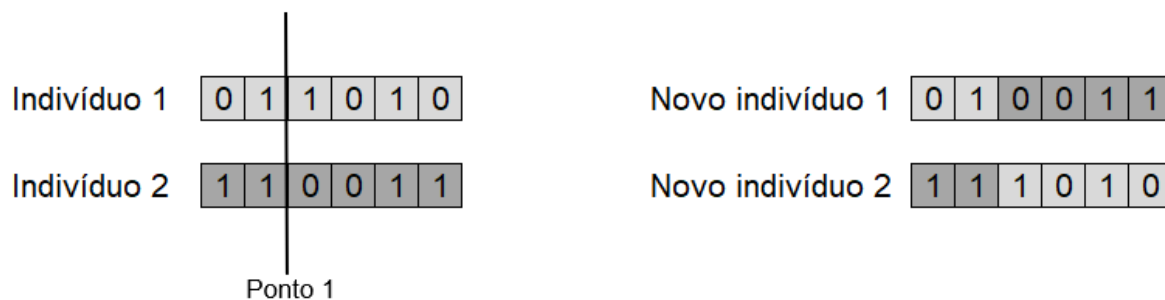
avança para a próxima rodada de competição e uma cópia do seu cromossomo é enviada para a área de reprodução. Esse processo se repete até chegar a última rodada e o indivíduo campeão ter, conseqüentemente, maior chance de propagar seus genes por possuir maior número de cópias na área de reprodução. Esse método está ilustrado na Figura 2 para a competição entre dois indivíduos. (LINDEN, 2008)



**Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Linden (2008)**

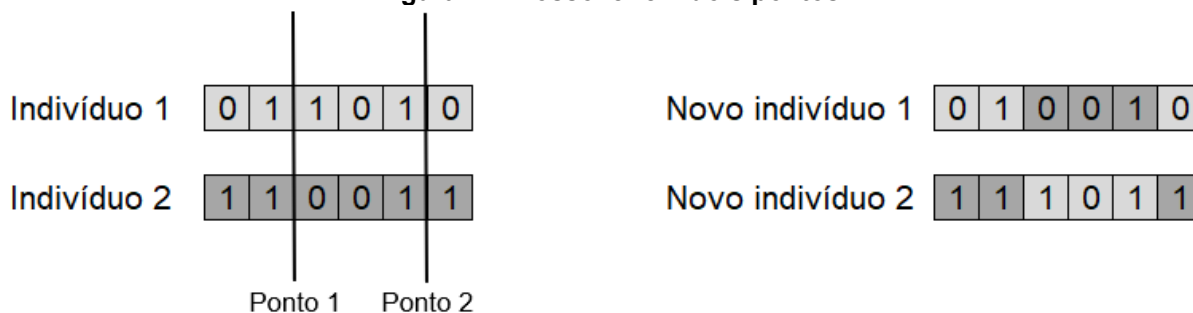
Os indivíduos que entraram na área de reprodução definida durante a seleção passam pela etapa de *crossover* com a finalidade de obter novos indivíduos para compor uma nova geração. Nessa etapa os genes de um indivíduo são substituídos pelos genes do outro indivíduo. Entre os diversos métodos de *crossover*, pode-se citar como mais comuns, o *crossover* em um ponto e o *crossover* em dois pontos. Em ambos os casos são escolhidos um ou mais pontos aleatórios, ou seja, genes de um cromossomo, usados como referência para fazer a troca de uma sequência de genes. A Figura 3 ilustra o *crossover* em um ponto e a Figura 4 ilustra o *crossover* em dois pontos.

Figura 3 - Crossover em um ponto



Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Santos et al. (2017)

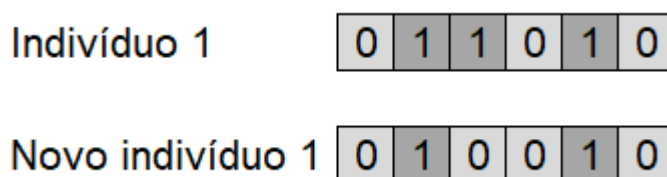
Figura 4 - Crossover em dois pontos



Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Santos et al. (2017)

A mutação é uma etapa que ocorre sem a interação entre indivíduos, ou seja, apenas com um único indivíduo. Ela é responsável por garantir a diversidade em uma população, uma vez que no processo de *crossover* é possível que 2 indivíduos possuam os mesmos genes e o *crossover* entre eles geraria um novo indivíduo idêntico aos indivíduos que o geraram. Essa etapa é comumente implementada com uma baixa probabilidade de ocorrer. A Figura 5 ilustra uma mutação em genes de uma cadeia binária, ou seja, onde é possível apenas 2 valores de informação: 0 ou 1.

Figura 5 - Mutação em genes binários

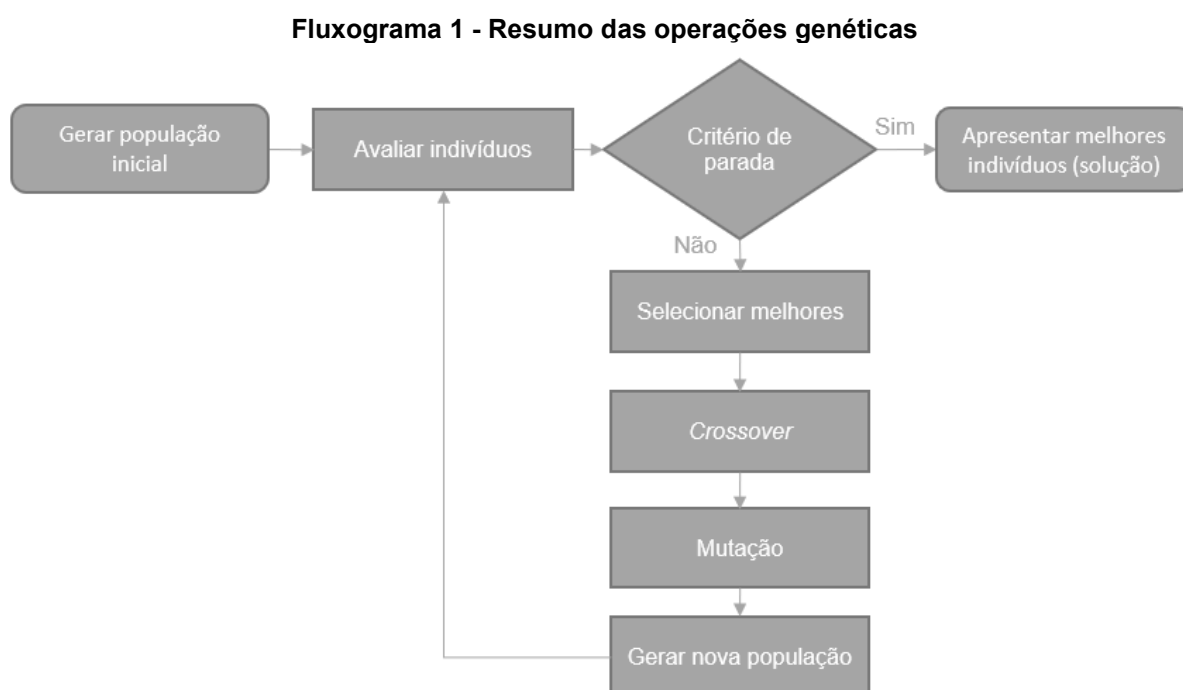


Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Santos et al. (2017)

A geração de uma nova população ocorre sempre após o *crossover* e a mutação. Esse ciclo poderia ser executado ininterruptamente, ou seja, o algoritmo não

define em que momento a busca pela solução deve ser finalizada. Por conta disso, critérios de parada devem ser estabelecidos para que uma solução seja entregue pelo algoritmo. Nessa etapa, deve-se levar em consideração o nível de precisão esperado da solução e a capacidade computacional disponível para que o critério de parada tenha uma implementação viável. (LINDEN, 2008)

O critério de parada é definido de acordo com a estratégia de quem está implementando o algoritmo, mas, entre os mais comuns, pode-se citar a parada através de um valor de *fitness* preestabelecido ou um determinado número de gerações. O Fluxograma 1 traz um resumo das etapas apresentadas nessa seção.



Fonte: Autoria própria, baseada no trabalho de Santos et al. (2017)

## 2.4 Ferramentas para computação evolutiva

Existem várias bibliotecas e frameworks amplamente utilizados nas mais diversas linguagens de programação com aplicação na área de computação evolutiva, que fornecem suporte e recursos essenciais para o desenvolvimento de projetos nessa área. Essas ferramentas são projetadas para facilitar a implementação de algoritmos evolutivos e otimizar o processo de experimentação. Essas ferramentas desempenham um papel fundamental no avanço da computação evolutiva, proporcionando aos pesquisadores e desenvolvedores uma base sólida para o



desenvolvimento de aplicações eficazes, encurtando o tempo de implementação e facilitando a exploração de soluções otimizadas para problemas complexos.

Segundo a Python Software Foundation (2023), Python (versão 3.10) é uma linguagem de programação de alto nível e de propósito geral, amplamente utilizada em diversas áreas. Sua sintaxe clara e legível, juntamente com a vasta quantidade de bibliotecas especializadas e uma comunidade ativa, tornaram-na popular, também, para a Computação Evolutiva. Python é flexível e simples de usar, permitindo a implementação concisa e eficiente de algoritmos evolutivos, tornando-se uma escolha sólida para programadores iniciantes e experientes.

Entre a imensa variedade de bibliotecas, destaca-se a DEAP (*Distributed Evolutionary Algorithms in Python*), que, segundo Fortin et al. (2012), possui implementação de alto nível como vantagem significativa. Essa característica permite que o foco do desenvolvedor seja direcionado à lógica do algoritmo genético, em detrimento de preocupações com detalhes de implementação de baixo nível, como manipulação de populações e cálculos genéticos. Essa abordagem agiliza o processo de implementação e contribui para uma compreensão mais clara do código, resultando em um desenvolvimento mais eficiente e produtivo.

Além disso, a DEAP proporciona flexibilidade e extensibilidade ao algoritmo genético. A biblioteca oferece uma ampla gama de operadores genéticos, métodos de seleção e outros componentes essenciais para algoritmos evolutivos. Essa flexibilidade permite que o algoritmo genético seja adaptado às características específicas do problema em análise, proporcionando resultados mais precisos e eficientes.

Por fim, para ambiente de desenvolvimento, pode-se aproveitar as vantagens de um ambiente de programação em nuvem. Segundo sua própria documentação (Google, 2023), o ambiente de programação em nuvem fornecido pelo Google Colab oferece uma série de benefícios. Primeiramente, ele elimina a necessidade de configuração de um ambiente de desenvolvimento local, reduzindo assim a complexidade e o tempo necessário para essa configuração. Por meio do Google Colab, o desenvolvimento e a execução do código podem ser realizados em qualquer dispositivo com acesso à internet, o que proporciona praticidade e facilidade de acesso aos recursos de programação.

Adicionalmente, o Google Colab disponibiliza recursos computacionais robustos. Através do processamento em nuvem, é possível contar com uma capacidade computacional escalável, o que se mostra especialmente útil para problemas complexos, como a otimização com algoritmos genéticos, que demandam consideráveis recursos de processamento. Essa disponibilidade de recursos computacionais superiores permite uma execução mais eficiente e rápida do algoritmo genético, além de possibilitar a realização de experimentos mais exigentes e a análise de problemas de maior escala

## **2.5 Considerações finais**

O processo de tomada de decisão do sequenciamento de operação em terminais de armazenamento e distribuição é feito de forma manual por profissionais em funções administrativas que contam com a experiência acumulada para otimizar, ao longo do tempo, suas ações. O apoio de um algoritmo de inteligência artificial é capaz de reduzir erros e melhorar a eficiência e disponibilidade operacional desses terminais. O algoritmo genético, conforme apresentado neste capítulo, possui potencial para apresentar boas soluções em tempo de execução viável para atender o problema combinatorial foco deste trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no presente trabalho, destacando as principais etapas do processo de pesquisa. A metodologia adotada foi dividida em quatro etapas: definição geral do problema, modelagem do algoritmo, implementação em ambiente computacional e validação da solução computacional.

Na primeira etapa, foi realizada uma pesquisa exploratória no cenário real do terminal de armazenamento e distribuição. Essa pesquisa teve como objetivo compreender o problema operacional enfrentado no contexto das operações downstream. Questões relacionadas às atividades rotineiras do terminal foram investigadas, a fim de obter uma visão abrangente do cenário que serviu como base para o desenvolvimento da pesquisa.

A modelagem do algoritmo genético foi a próxima etapa do processo. Nessa fase, foram identificados os principais elementos, variáveis e restrições do problema, delimitando o seu escopo. Levando em consideração a complexidade inerente a um processo operacional real, foi necessário realizar atividades de abstração para destacar as características mais relevantes do problema e viabilizar uma solução computacional.

Após a modelagem, o algoritmo genético foi implementado em um ambiente computacional, utilizando o Google Colab. Essa plataforma baseada em nuvem fornece recursos poderosos de computação e integração com bibliotecas populares de Inteligência Artificial. A utilização do Google Colab eliminou a necessidade de configurar uma infraestrutura local e permitiu a execução do código Python de forma interativa.

Por fim, a solução computacional foi validada em diferentes cenários hipotéticos. Esses cenários foram projetados para representar diferentes níveis de complexidade e desafios encontrados no contexto do problema em questão. Durante a validação foram coletados dados relacionados ao tempo de execução do algoritmo, informações de hardware utilizado e análise manual para verificar a adequação do manuseio dos caminhões-tanque de acordo com as restrições e características do ambiente.

A utilização dessa metodologia permitiu uma abordagem sistemática na resolução do problema, levando em consideração a compreensão do contexto

operacional, a modelagem adequada do algoritmo genético, a implementação em um ambiente computacional eficiente e a validação da solução proposta.

## **4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE CARGA E DESCARGA DE MÚLTIPLOS PRODUTOS EM TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO**

Durante o período de estágio obrigatório, o autor deste trabalho teve acesso a um terminal de armazenamento e distribuição e utilizou a oportunidade para realizar uma pesquisa exploratória do cenário real autorizada pela empresa. Com isso, na subseção 4.1 é apresentada a infraestrutura comumente encontrada em terminais de armazenamento e distribuição e na subseção 4.2 é abordada a dinâmica geral das atividades nesses terminais. Ambas as seções tem como foco identificar restrições operacionais. Por fim, na subseção 4.3 é apresentada as considerações finais sobre o capítulo.

### **4.1 Infraestrutura**

Para o sequenciamento da operação de carga e descarga de caminhões, a infraestrutura disponível no terminal de armazenamento e distribuição é fator determinante para a tomada de decisão de qual posição na fila um Caminhão-Tanque deve ser colocado.

A infraestrutura comumente encontrada nos terminais de armazenamento e distribuição são classificadas como:

- Baia - é o nome dado ao espaço destinado ao posicionamento de um único caminhão-tanque e deve estar adjacente à uma ilha. Pode ser um espaço destinado ao carregamento e/ou descarregamento, dependendo da configuração de infraestrutura da ilha que faz parte.
- Ilha – é o nome dado ao espaço em que a infraestrutura que possibilita a operação é instalada (mangotes de descarga e braços de carregamento). Pode ser multiprodutos e ter uma ou duas baias em sua composição.
- Plataforma – é o nome dado ao conjunto de ilhas e baias do terminal. Não tem limitação de número de ilhas e baias, sendo essa quantidade, escolha da empresa baseada em espaço físico, demanda, estratégia entre outros fatores.
- Tanques de armazenamento – de acordo com a NBR 17505-1:2013, é o nome dado ao vaso destinado à instalação fixa e não utilizado no processamento. A quantidade e capacidade máxima são definidas

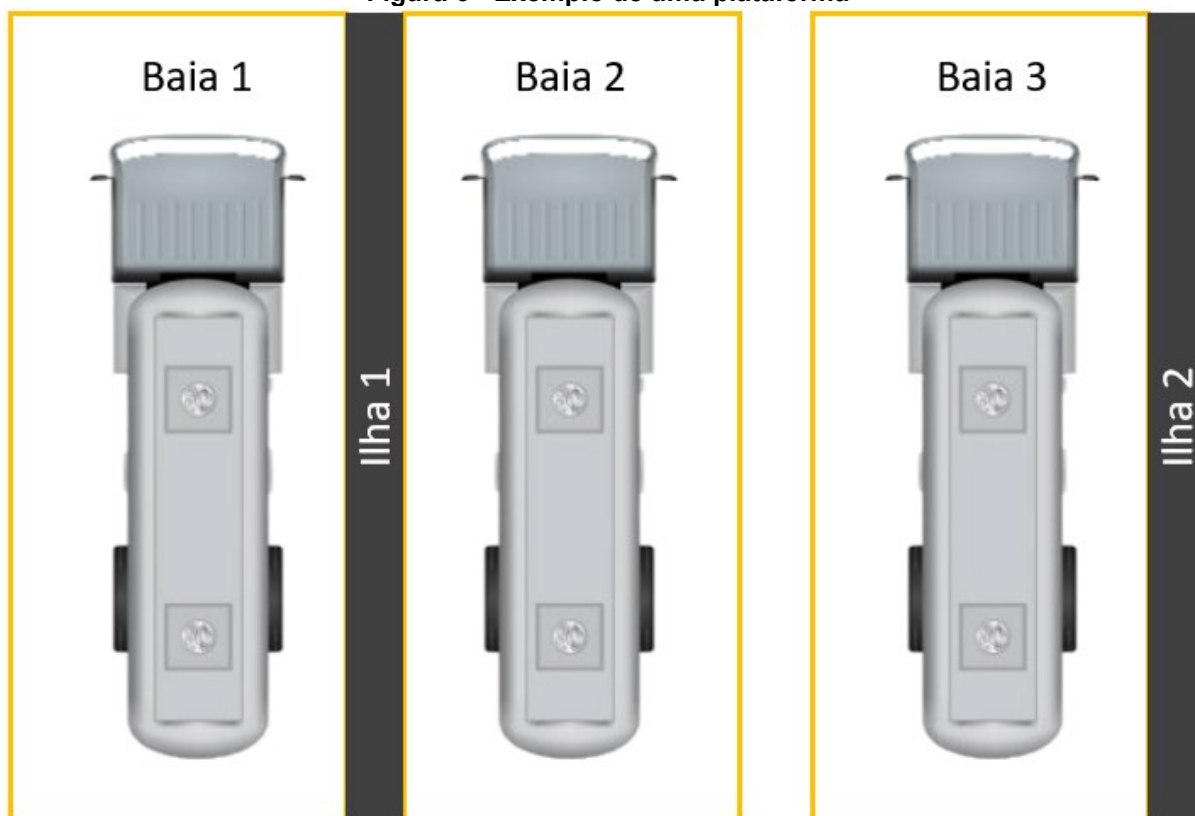
pela quantidade de produtos que o terminal armazena e distribui e suas respectivas demandas comerciais.

Em geral, os produtos armazenados nesses terminais podem ser divididos em duas categorias principais: biocombustíveis e derivados de petróleo. Os biocombustíveis são produzidos a partir de fontes renováveis para a produção de etanol hidratado, etanol anidro e biodiesel. Já os derivados de petróleo englobam uma variedade de produtos obtidos a partir do processamento do petróleo bruto. Esses produtos incluem gasolina, diesel S10, diesel S500, combustível de aviação e diesel marítimo.

A escolha de quais produtos o terminal de armazenamento e distribuição terá disponível é definida dependendo do tamanho e demanda da região, logística e conectividade e considerações sazonais.

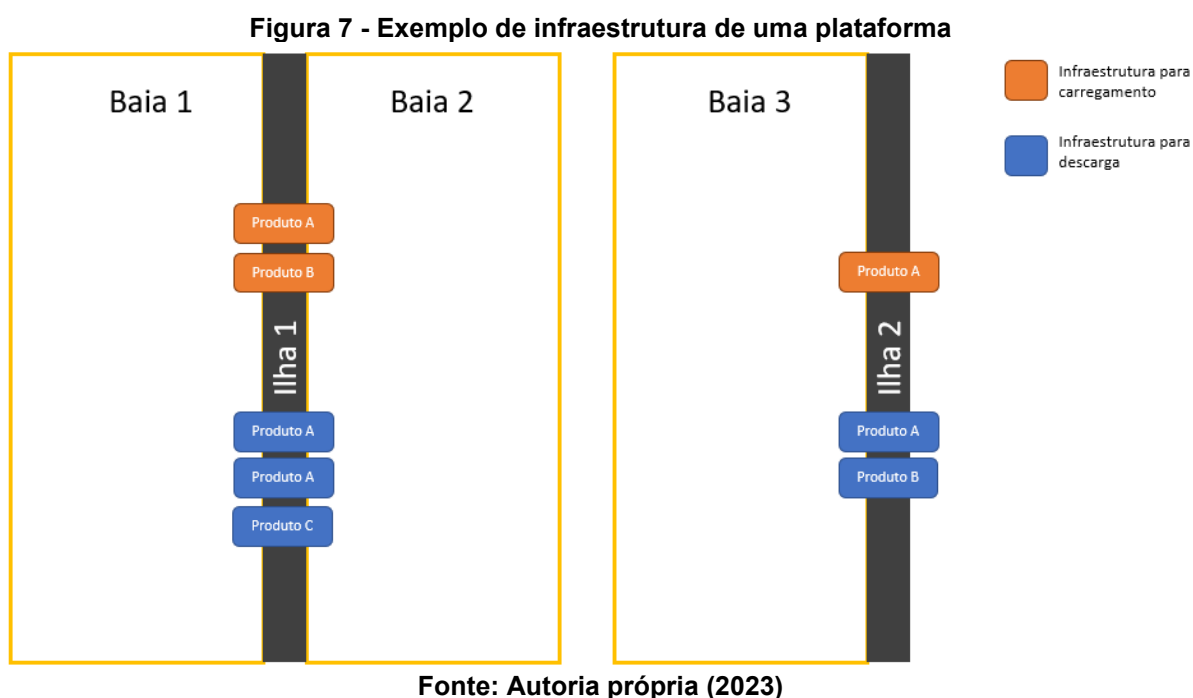
A Figura 6 exemplifica uma plataforma com 2 ilhas e 3 baias, onde a ilha 1 é capaz de atender 2 caminhões-tanque simultaneamente (baias 1 e 2) e a ilha 2 é capaz de atender apenas 1 caminhão-tanque por vez (baia 3). Ou seja, uma plataforma capaz de atender 3 caminhões tanque simultaneamente.

Figura 6 - Exemplo de uma plataforma



Fonte: Autoria própria (2023)

Outro fator determinante para a tomada de decisão do sequenciamento dos caminhões, é a infraestrutura disponível em cada ilha para carregamento e/ou descarregamento de variados produtos. Uma ilha pode ter uma grande combinação de equipamentos que atendam às mais diversas possibilidades de operações. Na Figura 7 tem-se um exemplo de uma possível configuração de ilhas.



No exemplo mostrado na Figura 7, devido à infraestrutura disponível nas ilhas, nota-se a possibilidade de carregar, por exemplo, um caminhão-tanque com o produto A na baia 1 ou na baia 2 e carregar, simultaneamente, um segundo caminhão tanque do mesmo produto A na baia 3.

Com isso, observa-se que as possíveis combinações de operações simultâneas competem entre si, ou seja, se um caminhão está carregando o produto A na baia 1, nenhum outro carregamento ou descarregamento pode ocorrer na baia 1 até que esse caminhão finalize sua operação.

Outra característica fundamental para o sequenciamento de operações em um terminal de armazenamento e distribuição é o volume disponível dentro dos tanques de armazenamento de cada produto. A Figura 8 traz um exemplo de 3 tanques e suas respectivas capacidades máximas.



**Figura 8 - Exemplo de capacidades máximas de tanques de armazenamento**



Fonte: Aatoria própria (2023)

É importante monitorar o volume de produto em cada tanque para evitar situações em que a capacidade seja excedida durante descargas de caminhões-tanque ou quando o volume esteja muito baixo para atender a um carregamento. Extrapolando a capacidade, significaria ter derramamentos que teriam consequências ambientais, operacionais e financeiras significativas. Por outro lado, ter um volume insuficiente para completar um carregamento resultaria em problemas operacionais devido à entrada de ar nas tubulações, além de questões comerciais relacionadas à falta de produto para atender um cliente.

É comum que os terminais de armazenamento e distribuição estabeleçam limites máximos e mínimos de volume para operar, visando haver uma margem de segurança. Essa margem deve atender uma série de requisitos, mas, em geral, visa a prevenção e mitigação de incidentes.

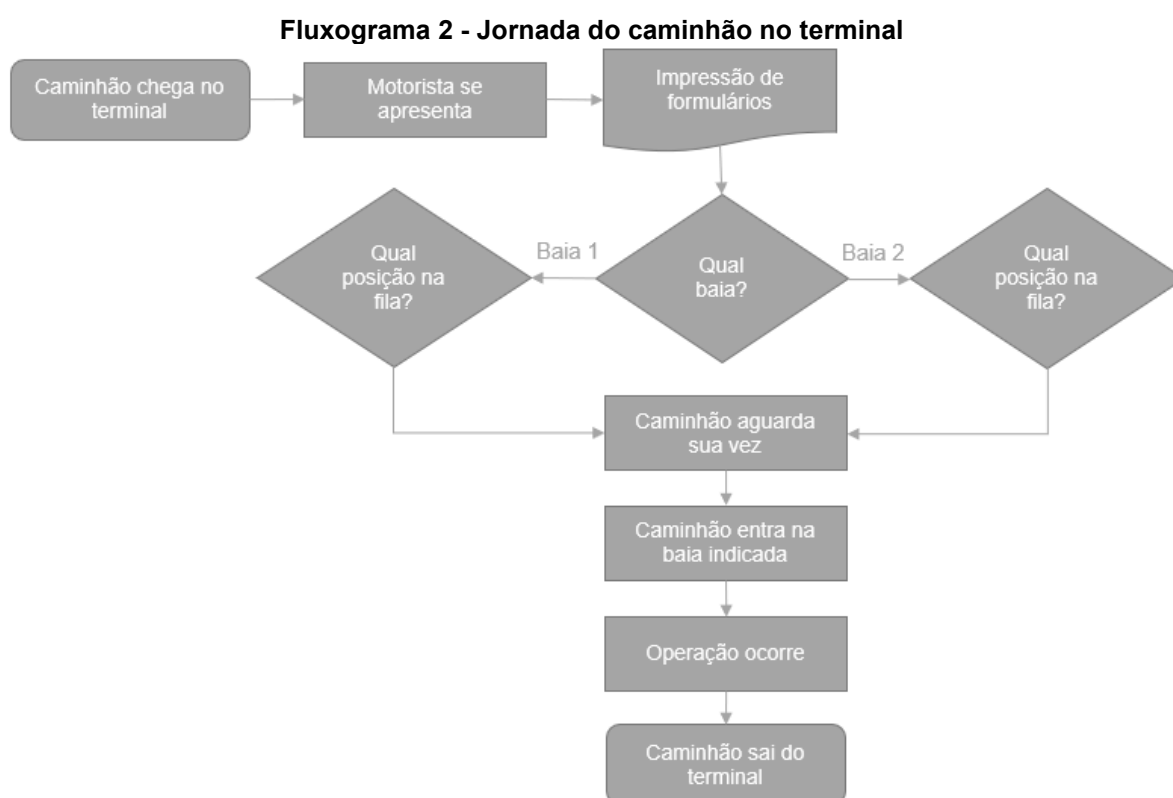
## **4.2 Dinâmica geral e atividades rotineiras**

O manuseio, transferência e uso de líquidos inflamáveis e combustíveis são atividades rotineiras de um terminal de armazenamento e distribuição em operações downstream. Essas atividades ocorrem devido às operações de carregamento e descarregamento nos diferentes modais de transportes que podem existir em um terminal, como rodoviário, ferroviário, dutoviário, hidroviário ou aeroviário, em conformidade com as normas regulatórias vigentes.

Diversas normas são aplicáveis a essas operações, incluindo a ABNT NBR 17505, as normas regulamentadoras (NRs), sendo NR 5, NR 20 e NR 35 as mais comuns, e os manuais e procedimentos internos do terminal. Essas normas têm como

objetivo garantir a segurança e a conformidade das atividades, considerando os riscos associados ao manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis.

É importante ressaltar que o escopo deste trabalho está direcionado especificamente para as operações realizadas no modal de transporte rodoviário. Portanto, as atividades rotineiras mencionadas neste capítulo referem-se exclusivamente a esse modal, considerando suas particularidades e regulamentações específicas. Para o atendimento às normas e em busca da melhor eficiência, diversas etapas de controles administrativos e operacionais são empregados. Essas etapas são apresentadas no 'Fluxograma 2 em um cenário de chegada de um caminhão que pode operar em duas opções de baias.



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Um dos critérios administrativos utilizados para determinar a prioridade de entrada de caminhões é a categoria comercial da operação programada. No caso de recebimentos de caminhões-tanque, a descarga pode ocorrer devido a uma compra ou transferência. A compra refere-se ao recebimento de produto proveniente de usinas ou refinarias, enquanto a transferência ocorre quando o produto tem origem em outro terminal de armazenamento e distribuição da mesma empresa. Por outro

lado, ao expedir produtos, eles podem ser motivados por venda ou transferência. A venda envolve o carregamento do caminhão-tanque que entregará o produto ao cliente final, enquanto a transferência é caracterizada pelo carregamento do caminhão-tanque com destino a outro terminal de armazenamento e distribuição pertencente à mesma empresa.

A definição da prioridade entre diferentes categorias comerciais geralmente é informada por uma área de suporte estratégico da empresa, cabendo à equipe de gestão operacional do terminal apenas seguir as orientações recebidas. No entanto, em alguns casos, a própria equipe de gestão operacional pode definir a prioridade, a fim de ajustar de forma mais ágil o volume de produto em algum tanque.

### **4.3 Considerações finais**

Este capítulo proporcionou um melhor entendimento sobre o problema de carga e descarga de múltiplos produtos em terminais de armazenamento e distribuição devido à pesquisa exploratória realizada pelo autor deste trabalho durante o seu estágio obrigatório.

Esse melhor entendimento possibilitou a identificação de diversas semelhanças com o problema de alocação de recursos, devido a necessidade de alocação eficiente de equipamentos, e com o problema de sequenciamento, por conta da necessidade de ordenação dos caminhões-tanque de acordo com as restrições de infraestrutura. Essas semelhanças fortalecem a ideia de que uma solução viável pode ser alcançada através de um algoritmo genético.

É importante ressaltar que o pleno entendimento do problema é essencial para a elaboração de uma solução eficaz. A pesquisa exploratória realizada pelo autor permitiu obter informações relevantes que serviram de base para a modelagem e implementação do algoritmo genético proposto como solução.

No próximo capítulo, serão apresentados os detalhes da modelagem do algoritmo genético, levando em considerações a infraestrutura dos terminais de armazenamento e distribuição e as restrições operacionais identificadas.

## 5 TERMINAL HIPOTÉTICO, MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO

### 5.1 Abstração para um terminal hipotético

Devido à complexidade de detalhes inerentes a um processo operacional real, a atividade de abstração se torna necessária para evidenciar as características mais importantes do problema e viabilizar a resolução do problema computacionalmente.

Nesta etapa, foram descritas questões como a infraestrutura operacional de cada baía, quantidades de produtos que operam no terminal, volume dos respectivos tanques de armazenamento, entre outros. Com a obtenção desse detalhamento e formalização, foi possível estipular valores que criem um cenário favorável para a modelagem da solução sem perder as particularidades do ambiente estudado

O terminal de armazenamento e distribuição contará com uma plataforma com cinco ilhas com uma baía cada. Além disso, esse terminal movimentará cinco diferentes produtos: gasolina, etanol hidratado, diesel S10, etanol anidro e biodiesel. Cada produto contará com um tanque de armazenamento, ou seja, cinco tanques no total.

O Quadro 1 resume a infraestrutura de operações disponível em cada ilha da plataforma.

**Quadro 1 - Infraestrutura das ilhas**

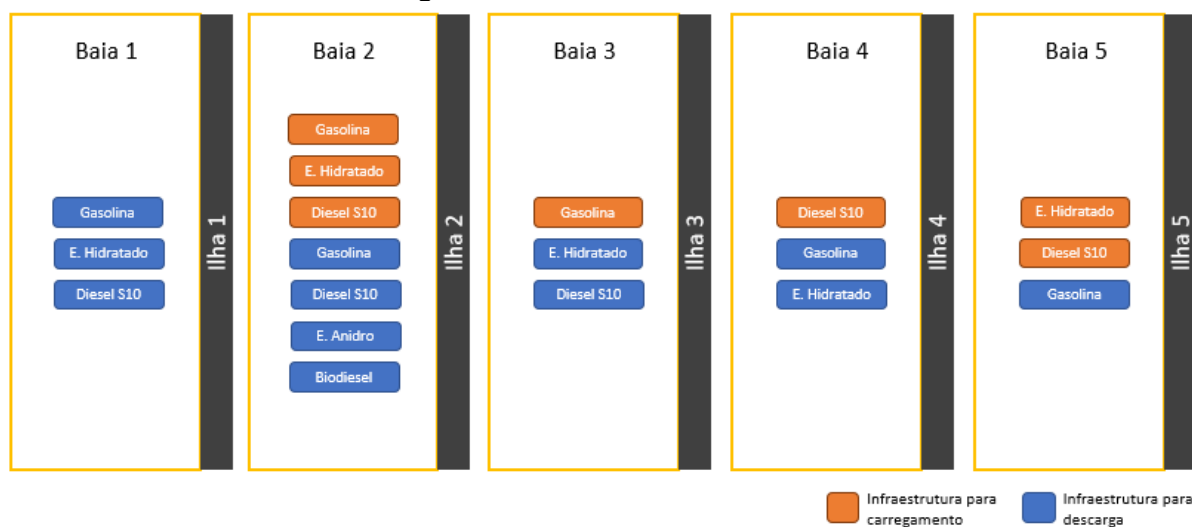
Ilha / Baía	Carregamento	Descarga
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado e Diesel S10
2	Gasolina, Etanol Hidratado e Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel
3	Gasolina	Etanol Hidratado e Diesel S10
4	Diesel S10	Gasolina e Etanol Hidratado
5	Etanol Hidratado e Diesel S10	Gasolina

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Durante a concepção do terminal hipotético, optou-se por não considerar ilhas com duas baías, com o intuito de simplificar a abstração. Essa escolha não acarreta prejuízos para o estudo, pois a vantagem de se ter duas baías em uma ilha é estritamente física, consistindo na otimização do posicionamento dos instrumentos

operacionais no mesmo espaço. A Figura 9 ilustra a infraestrutura descrita no Quadro 1:

**Figura 9 – Infraestrutura das ilhas**



Fonte: Autoria própria (2023)

O Quadro 2 traz os tanques de armazenamento disponíveis nesse terminal, os produtos que cada um armazena e sua capacidade máxima.

**Quadro 2 - Especificações dos tanques**

Tanque	Produto	Capacidade máxima (L)
1	Gasolina	2.500.000
2	Etanol Hidratado	2.500.000
3	Diesel S10	2.500.000
4	Etanol Anidro	1.000.000
5	Biodiesel	1.000.000

Fonte: Autoria própria (2023)

De acordo com a Resolução nº 41/2013 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, a gasolina vendida ao consumidor final no Brasil deve conter uma proporção de etanol anidro. Da mesma forma, a Lei nº 13.033/2014 estabelece que o diesel S10 comercializado no país deve incluir uma proporção de biodiesel. Esses produtos normalmente são armazenados em sua forma pura e misturados por meio de automação durante o processo de carregamento. No entanto,

com o intuito de simplificar a abstração, considera-se que os carregamentos são feitos sem as respectivas misturas exigidas por lei.

## 5.2 Modelagem do algoritmo genético

A modelagem do algoritmo genético foi realizada relacionando as particularidades identificadas com as estruturas e operações genéticas, como gene, indivíduo, população, seleção, crossover, mutação e critério de parada. Esse processo permite a representação genética adequada do problema, levando em consideração as características do ambiente estudado.

Vale ressaltar que, por não ser possível saber previamente qual é a solução que representa o ótimo global para o problema, a modelagem realizou-se de forma a privilegiar a diversidade genética, ou seja, ampliando o espaço de busca do algoritmo. Essa abordagem diminui a probabilidade do algoritmo ficar preso em um ótimo local ao custo de exigir maior processamento computacional.

Com o objetivo de identificação, diferenciação e simbolização, o Algoritmo Genético modelado e implementado é nomeado como R.A.M.P.A., acrônimo para “Realização Aprimorada de Manejo e Planejamento Assistido”. O nome é uma homenagem do autor a um ente querido que, em vida, era carinhosamente conhecido como “Zé da Rampa”.

### 5.2.1 Gene

No cenário do presente estudo, cada caminhão-tanque que chega no terminal de armazenamento e distribuição é um gene. Cada caminhão-tanque poderá representar apenas um único gene, caso contrário ele poderia ocupar duas baias, o que não é possível.

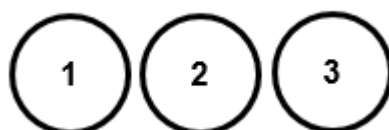
O caminhão-tanque é representado por um número único e sequencial que recebe ao dar entrada no terminal de armazenamento e distribuição. Além desse número, cada caminhão-tanque carrega diversas informações:

- Categoria comercial: definição se o caminhão-tanque é destinado a venda, compra, expedir transferência ou receber transferência;
- Tipo de operação: indica se o caminhão-tanque irá carregar ou descarregar;

- Produto: informa qual o produto objetivo do caminhão-tanque;
- Volume: define qual o volume total de operação do caminhão-tanque;
- Placa do caminhão-tanque: maneira do usuário identificar o caminhão-tanque na saída do algoritmo.

A Figura 10 ilustra três genes e o traz as informações que cada gene carrega.

**Figura 10 - Estrutura de genes**



Fonte: Autoria própria (2023)

**Quadro 3 - Informações de cada gene**

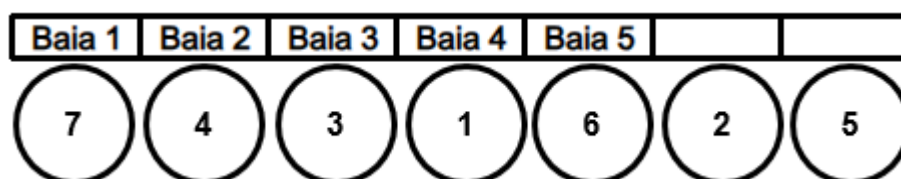
Identificador	Categoria Comercial	Tipo de operação	Produto	Volume (L)	Placa
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25000	ABC-0003

Fonte: Autoria própria (2023)

### 5.2.2 Indivíduo

O indivíduo do algoritmo representa uma possível solução do problema e é composto por uma combinação de vários genes e a posição de cada gene indica a baia que ele foi alocado. A Figura 11 mostra um indivíduo com 7 genes e as respectivas baias que cada gene foi alocado.

**Figura 11 - Um indivíduo com sete genes**



Fonte: Autoria própria (2023)

Como pode-se observar, os genes 2 e 5 não foram alocados em alguma baia devido o terminal de armazenamento e distribuição possuir 5 baias em sua infraestrutura.

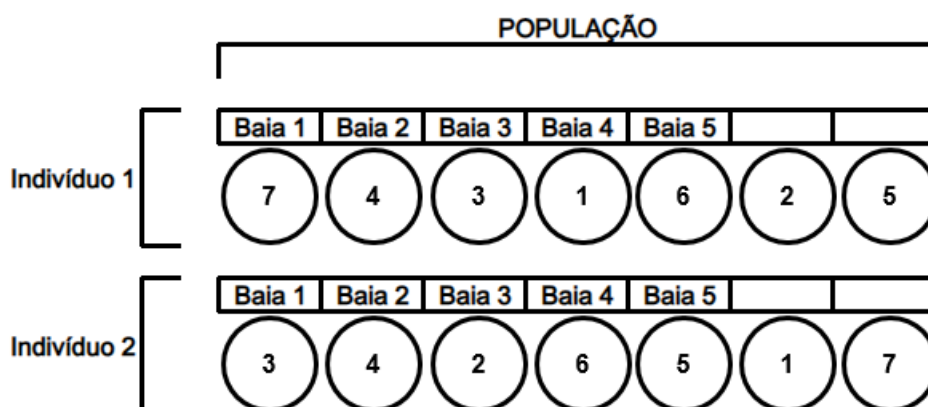
Essa característica do indivíduo faz com que cada posição na fila das baias seja definida com uma execução do algoritmo. Em outras palavras, ao executar o algoritmo uma vez, são determinados os primeiros caminhões-tanque alocados em cada baia. Para alocar o segundo caminhão-tanque de cada baia, é necessário executar o algoritmo uma segunda vez, e assim sucessivamente.

Essa abordagem foi adotada devido à inviabilidade de alocar todos os caminhões-tanque no pátio externo do terminal, devido à natureza altamente dinâmica de um terminal de armazenamento e distribuição. Dado que o cenário frequentemente sofre alterações, como a chegada de novos caminhões-tanque, a momentânea inoperância de algumas baias ou mudança de prioridades, não haveria vantagem em ter uma previsibilidade além do segundo ou terceiro caminhão-tanque de cada baia. Dessa forma, fica a critério do usuário definir quantos caminhões-tanque deseja ter previamente alocados.

### 5.2.3 População

A população é formada por todos os indivíduos gerados através dos mecanismos de reprodução, ou seja, todas as soluções possíveis através da seleção, crossover e mutação. A Figura 12 ilustra uma população com dois indivíduos.

Figura 12 - População com dois indivíduos



Fonte: Autoria própria (2023)



Para o presente trabalho, a população será iniciada de forma aleatória e contando com 50 indivíduos.

#### 5.2.4 Mecanismos de reprodução

O método do torneio será utilizado para selecionar os indivíduos da população, pois tende a ser menos sensível a valores extremos se comparado com o método de seleção por roleta. Isso significa que indivíduos de menor qualidade têm uma chance razoável de serem selecionados, o que pode ajudar a preservar a diversidade genética na nova população.

Para o presente trabalho optou-se por pré-determinar que o torneio ocorra com a competição entre dois indivíduos, o que tende a diminuir a pressão seletiva. Como um torneio maior aumenta a probabilidade de que os indivíduos mais aptos sejam selecionados, ao optar por um torneio menor, mais uma vez se opta por preservar a variedade genética.

Já para a recombinação genética, optou-se pela técnica de *crossover* nomeada como PMX (*Partially Matched Crossover*). Essa técnica realiza uma verificação intermediária que é capaz de evitar que um gene se repita no indivíduo, ou seja, que um caminhão-tanque seja manejado para mais de uma baía ao mesmo tempo, o que invalidaria a solução.

Como resultado de um experimento que será explanado na subseção 6.1, a probabilidade de *crossover* foi definida em 90%.

Por fim, para a mutação, optou-se pela técnica *Order-Based Mutation* que simplesmente troca a posição de dois genes de um indivíduo. Essa técnica também evita que um caminhão-tanque seja manejado para mais de uma baía ao mesmo tempo, ou seja, garante uma solução válida.

No resultado do mesmo experimento citado anteriormente, definiu-se a probabilidade de mutação em 20%.

#### 5.2.5 Função de fitness

A função de *fitness* do algoritmo genético terá como principal objetivo maximizar o volume movimentado, já que esse valor compõe os principais indicadores de performance logística de um terminal de armazenamento e distribuição influenciando até mesmo no preço por litro dos produtos distribuídos. Porém, como a

função de fitness é o recurso utilizado para indicar ao algoritmo a qualidade das soluções encontradas, ou seja, o nível de aptidão do indivíduo, outras duas parcelas irão compor a equação: uma que levará em conta a ordem de chegada do caminhão-tanque e outra que levará em conta a prioridade da categoria comercial do caminhão-tanque.

A Equação 1 mostra a função de fitness modelada para o presente trabalho.

$$f = \sum_{i=1}^n (Vol_j + C_j + F_{comercial_j}) \quad (1)$$

Onde:

- $n$ : o número de baias disponíveis para operar;
- $Vol_j$ : o volume em litros do caminhão-tanque na posição  $j$ ;
- $C_j$ : parcela que leva em conta a ordem de chegada do caminhão-tanque da posição  $j$  e é calculada através da Equação 2;
- $F_{comercial_j}$ : é a parcela que leva em consideração a prioridade da categoria comercial do caminhão-tanque na posição  $j$  e é calculada através da Equação 3.

A Equação 2 indica como se obtém a parcela de vantagem devido a ordem de chegada do caminhão-tanque.

$$C_j = 1000 \times \left( \frac{1 - (N_{cts} - C_{ct})}{N_{cts}} \right) \quad (2)$$

Onde:

- $N_{cts}$ : número total de caminhões-tanque no pátio do terminal;
- $C_{ct}$ : ordem de chegada do caminhão-tanque na posição  $j$  (representada pelo número identificador do gene).

A Equação 3 indica como se obtém a parcela devido ao grau de prioridade da categoria comercial do caminhão-tanque.

$$F_{comercial_j} = f_{valor} \times Vol_j \quad (3)$$

Onde:

- $f_{valor}$  : valor do fator multiplicador definido de acordo com o Quadro 4;

O Quadro 4 traz os valores numéricos a serem usados de acordo com o grau de prioridade de uma categoria comercial.

<b>Grau de prioridade</b>	<b>Valor usado na equação</b>
Normal	0
Prioritário	3
Prioridade máxima	5

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Dessa forma a função de *fitness* é capaz de avaliar cada indivíduo de forma objetiva e levando em consideração os principais fatores da tomada de decisão.

#### 5.2.6 Restrições e penalizações

Em relação às restrições, o algoritmo terá a infraestrutura das baias descritas no Quadro 1 e ilustrada na Figura 9, as respectivas capacidades máximas de cada tanque descrito no Quadro 2 e, para a capacidade mínima, será adotado 100.000 L para cada tanque.

A penalização foi modelada para reduzir drasticamente a avaliação do indivíduo caso alguma restrição seja violada. Em caso de algum caminhão-tanque ser alocado em uma baia que não possua infraestrutura para operá-lo, suas informações não entrarão no somatório definido na Equação 1, fazendo com que o indivíduo tenha, naturalmente, uma avaliação menor. No caso da seleção de um caminhão-tanque que leve a uma violação relacionada à capacidade máxima ou mínima dos tanques, a avaliação do indivíduo é reduzida para 1, independente da avaliação dos outros genes.

Dessa forma o algoritmo é incentivado a encontrar alternativas para quando aloca um caminhão-tanque em uma baía sem infraestrutura para operá-lo ao mesmo tempo em que é desencorajado a perpetuar situações extremamente indesejáveis, como o transbordamento de um tanque de armazenamento.

### 5.2.7 Critério de parada

Por fim, o critério de parada do algoritmo foi definido através do número de gerações. A primeira geração é iniciada de forma aleatória e, a partir dessa, os mecanismos de reprodução são utilizados com os indivíduos melhores avaliados através da função de *fitness*. Esse processo é aplicado com a nova população, agora na segunda geração. Essa iteração ocorre até alcançar a geração definida como a última e, então, o melhor indivíduo é apresentado.

O experimento usado para definição da probabilidade de crossover e probabilidade de mutação também foi usado para definir o número de gerações utilizado como critério de parada. Com o experimento foi definido que o critério de parada seria 500 gerações.

## 5.3 Implementação do algoritmo

A implementação do algoritmo genético ocorreu no ambiente computacional do Google Colab. Esta plataforma baseada em nuvem oferece um ambiente de desenvolvimento integrado para a execução de código Python, permitindo combinar código, texto descritivo e elementos visuais. A utilização desta plataforma elimina a necessidade de configurar uma infraestrutura local, proporcionando acesso gratuito a recursos computacionais poderosos. Além disso, a integração com Python permite a utilização de bibliotecas populares em Inteligência Artificial, incluindo Algoritmos Genéticos.

O código base comentado é apresentado no Apêndice A. Todas as estruturas e operadores genéticos foram construídos de acordo com o que a biblioteca DEAP define em sua documentação. O algoritmo está organizado em três etapas:

- Definição de configurações de parâmetros;
- Análise dos parâmetros definidos;
- Aplicação em cenários hipotéticos.

Os resultados de cada etapa serão apresentados e discutidos na seção 6 do presente trabalho.

#### **5.4 Considerações finais**

O presente capítulo trouxe a delimitação do escopo do problema e a abstração das principais atividades viabilizando a construção da solução computacional. Além disso, destacou a relevância da implementação do algoritmo genético em um ambiente de programação em nuvem com integração com a biblioteca DEAP.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo descreve uma série de experimentos conduzidos com três propósitos distintos. O primeiro propósito teve como foco identificar a melhor combinação de parâmetros, o qual é detalhado na subseção 6.1. O segundo propósito consistiu em uma análise mais profunda da combinação de parâmetros selecionada, que será explanado na seção 6.2. Por fim, a seção 6.3 apresenta a aplicação desses parâmetros em três cenários hipotéticos, buscando validar as soluções encontradas pelo R.A.M.P.A.

### 6.1 Definição de configurações de parâmetros

Essa etapa tem como objetivo definir a melhor combinação de probabilidade de crossover, probabilidade de mutação e número de gerações.

Para isso, foi implementado uma estrutura de repetição que automatizasse 100 execuções do mesmo cenário de cada combinação possível entre os parâmetros descritos no Quadro 5.

**Quadro 5 - Parâmetros a ser combinados na definição de configurações de parâmetros**

Prob. de crossover	Prob. de mutação	Número de gerações
70%	5%	100
80%	10%	200
90%	20%	500

**Fonte: Autoria Própria (2023)**

Para descrever o cenário escolhido para executar o experimento é necessário fornecer alguns dados de entrada, entre eles a lista de caminhões-tanque apresentada no Quadro 6.

**Quadro 6 - Lista de caminhões-tanque na definição de configurações de parâmetros**

<b>Id</b>	<b>Categoria Comercial</b>	<b>Tipo de operação</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>Placa</b>
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0003
4	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0004
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
7	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0007
8	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0008
9	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0009
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
14	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0014
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
17	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0017
18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018
19	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0019
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020
21	Recebe Transferência	Descarga	Diesel S10	58.000	ABC-0021
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Outro dado de entrada necessário é a infraestrutura das baias, demonstrada no Quadro 7.

**Quadro 7 - Infraestrutura das baias na definição de configurações de parâmetros**

Baia	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Disponível
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Disponível
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Disponível

Fonte: Autoria própria (2023)

Além dos dados de entrada já mencionados, é necessária, também, a indicação se há prioridade em alguma categoria comercial, conforme apresentado no Quadro 8.

**Quadro 8 - Prioridade das categorias comerciais na definição de configurações de parâmetros**

Categoria Comercial	Prioridade	Valor
Venda	Normal	0
Compra	Normal	0
Expede Transferência	Normal	0
Recebe Transferência	Normal	0

Fonte: Autoria própria (2023)

O último dado de entrada necessário é relativo às capacidades máximas dos tanques e seus respectivos volumes, demonstrados no Quadro 9.

**Quadro 9 - Status dos tanques na definição de configurações de parâmetros**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	1.800.000
Etanol Hidratado	2.500.000	1.800.000
Diesel S10	2.500.000	1.800.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000



Biodiesel	1.000.000	500.000
-----------	-----------	---------

Fonte: Autoria própria (2023)

Por se tratar de um ambiente de programação em nuvem, as informações de hardware podem variar dependendo do momento em que a célula de código for executada. Por conta disso foram utilizadas as bibliotecas *platform*, *psutil* e *cpuinfo* para registrar as informações de hardware que executaram a célula de código. Para essa etapa as informações de hardware estão descritas no Quadro 10.

**Quadro 10 - Informações de hardware na definição de configurações de parâmetros**

<b>Nome da máquina</b>	c6ba89d6260a
<b>Processador</b>	AMD EPYC 7B12 @ 2.20GHz
<b>Sistema Operacional</b>	Linux 5.15.107+
<b>Memória</b>	12 GB
<b>Disco</b>	107 GB

Fonte: Autoria Própria (2023)

Além disso, a execução em ambiente em nuvem é impactada pela velocidade de conexão. Por esperar-se uma execução longa, foram registradas as velocidades de download e upload da conexão no momento imediatamente antes da execução da célula, a cada 10 minutos de execução e no momento imediatamente após o término da execução, sendo registrado os valores apresentados no Quadro 11.

**Quadro 11 - Registro de velocidades de conexão**

<b>Download (Mbps)</b>	<b>Upload (Mbps)</b>
33,90	25,56
36,13	23,91
39,20	25,57
31,93	28,85
37,19	17,50

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme apresentado no Quadro 11, a média da velocidade de download foi de 35,67 Mbps e 24,28 Mbps de upload. Não foram observadas interrupções na conexão durante a execução.

Dessa forma, foram 27 diferentes combinações de parâmetros sendo executados 100 vezes cada, totalizando 2700 execuções do algoritmo. O google Colab registra o tempo de execução de cada célula dentro de seu ambiente, tendo registrado 2056,939 segundos, aproximadamente 34 minutos e 16 segundos.

O algoritmo armazenava em uma lista a média do valor de aptidão entre as melhores soluções das 100 execuções de cada combinação de parâmetros. Dessa forma a maior média pôde ser interpretada como a combinação que apresenta melhores soluções de forma mais consistente.

Portanto se estabeleceu como critério de definição de configurações de parâmetros a combinação que apresentasse a maior média do valor de aptidão das melhores soluções e, em caso de empate entre diferentes combinações, optou-se pela combinação que permitisse explorar o espaço de busca de forma mais abrangente, ou seja, maiores probabilidades de crossover e mutação e maior número de gerações. Os resultados de cada combinação é apresentado no Quadro 12.

**Quadro 12 - Resultados da definição de configurações de parâmetros**

Probabilidade de crossover	Probabilidade de mutação	Número de gerações	Média
90%	5%	100	603.363,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
	10%	100	603.863,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
	20%	100	603.863,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
80%	5%	100	560.772,73
		200	603.863,64
		500	603.863,64
	10%	100	603.363,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
	20%	100	603.863,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
70%	5%	100	603.818,18
		200	603.363,64

70%	5%	500	603.863,64
	10%	100	603.863,64
		200	603.863,64
		500	603.863,64
	20%	100	603.772,73
		200	603.863,64
		500	603.863,64

Fonte: Autoria própria (2023)

Das 27 combinações possíveis, observou-se a maior média ocorrendo em 21 possibilidades, portanto pode-se criar a hipótese de ser um ótimo (local ou global) do espaço de busca do algoritmo.

Seguindo os critérios preestabelecidos, definiu-se como parâmetros os descritos no Quadro 13.

**Quadro 13 – Parâmetros definidos**

Parâmetro	Valor
Probabilidade de crossover	90%
Probabilidade de mutação	20%
Número de gerações	500

Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa forma, encontrou-se uma combinação de parâmetros que apresentou bons resultados consistentemente e com o foco em manter a variabilidade genética, ou seja, ampliando o espaço de busca do algoritmo.

## 6.2 Teste dos parâmetros definidos

Essa etapa tem como objetivo realizar o teste dos parâmetros definidos na etapa anterior e avaliar de forma mais robusta sua eficiência tanto em tempo de execução quanto em qualidade das soluções encontradas, ou seja, seus valores de aptidão.

Similar à etapa de definição das configurações de parâmetros, na etapa de teste também foram registradas as informações de hardware.

**Quadro 14 - Informações de hardware no teste dos parâmetros definidos**

<b>Nome da máquina</b>	8fb62c254e0e
<b>Processador</b>	AMD EPYC 7B12 @ 2.20GHz
<b>Sistema Operacional</b>	Linux 5.15.107+
<b>Memória</b>	12 GB
<b>Disco</b>	107 GB

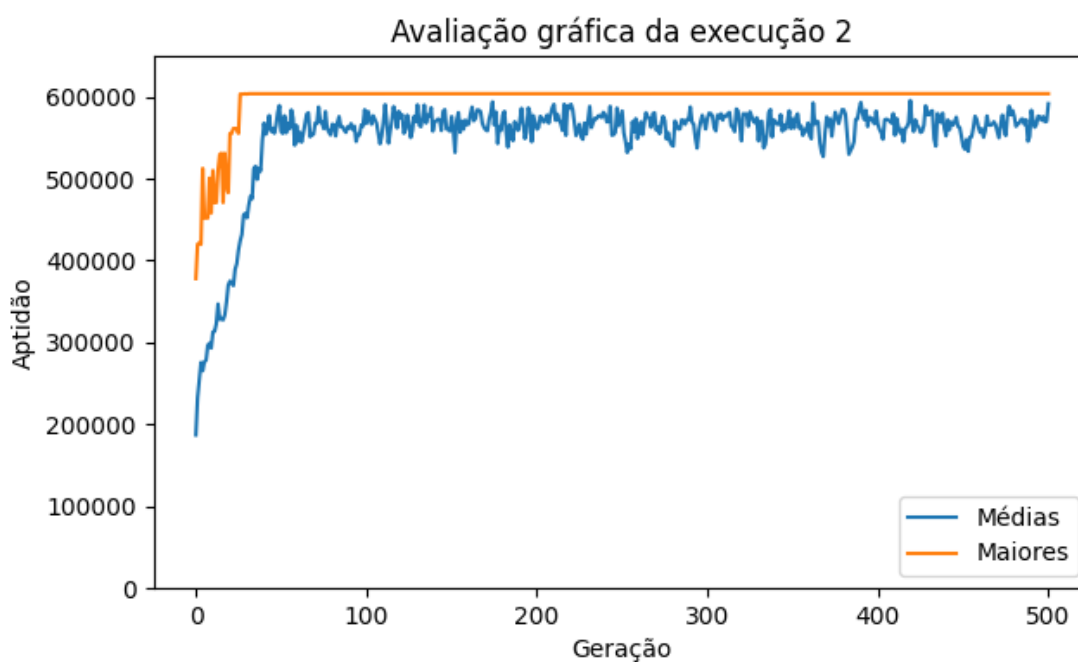
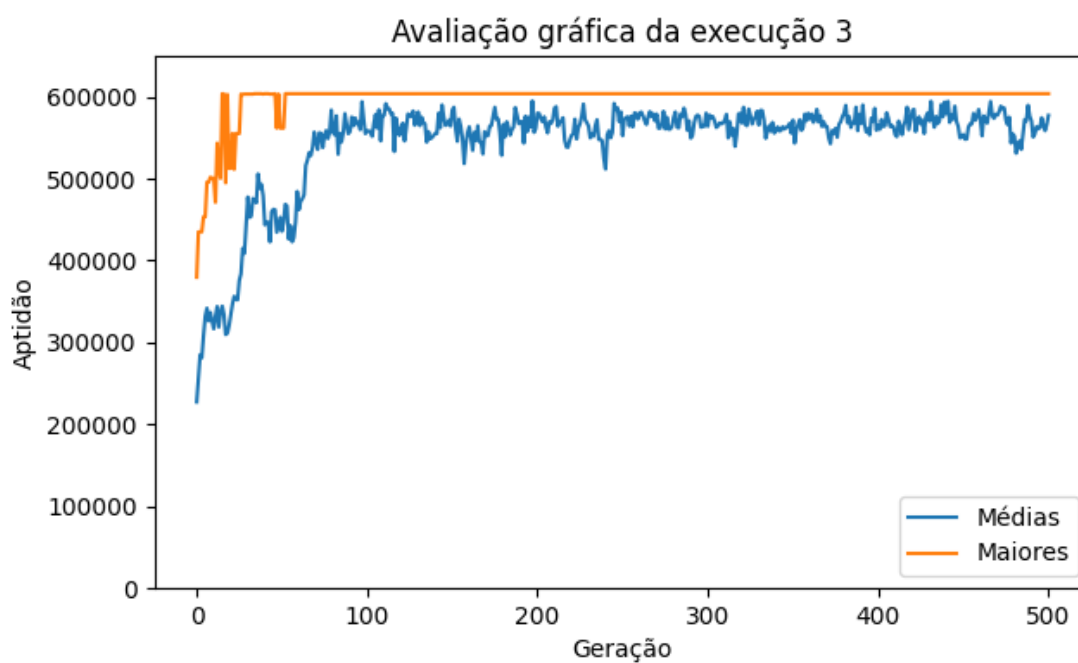
Fonte: Autoria Própria (2023)

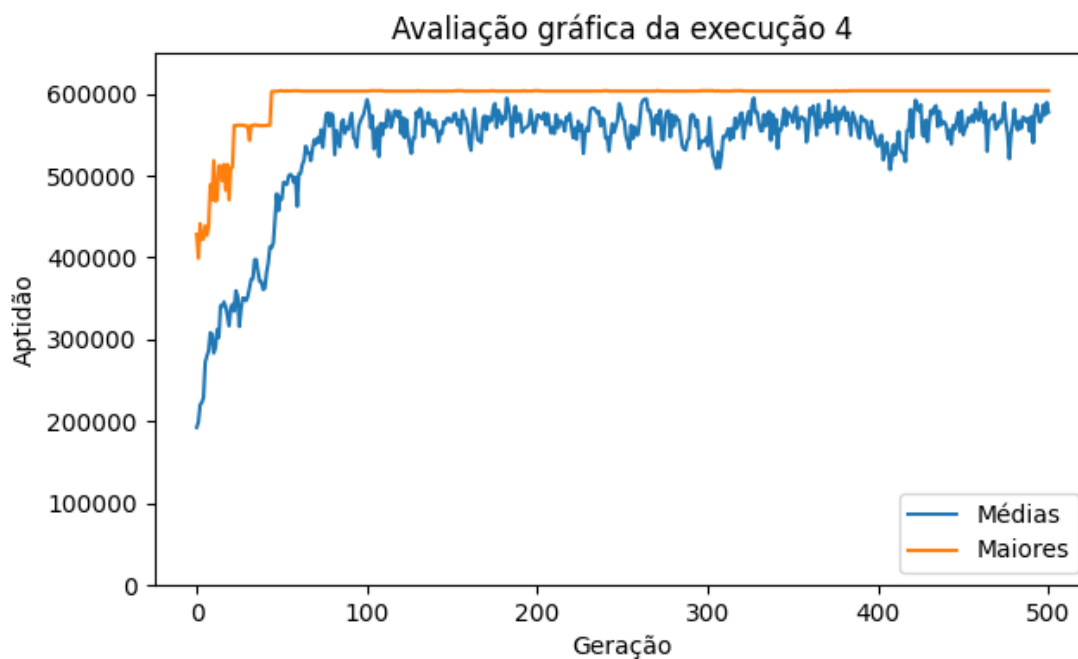
Para essa etapa, foi criada uma estrutura de repetição em uma nova célula de forma a automatizar a execução dos parâmetros definidos por 10 vezes no mesmo cenário construído para a etapa anterior.

Em cada execução o algoritmo gera um gráfico relacionando a aptidão ao longo das gerações, onde plota os dados das melhores soluções em uma série e os dados das médias das populações em outra série. Dessa forma é possível avaliar a convergência para uma solução ótima através da análise dos melhores indivíduos e a consistência da evolução da aptidão das populações através da análise das médias. Os gráficos de 1 a 10 apresentam esses dados.

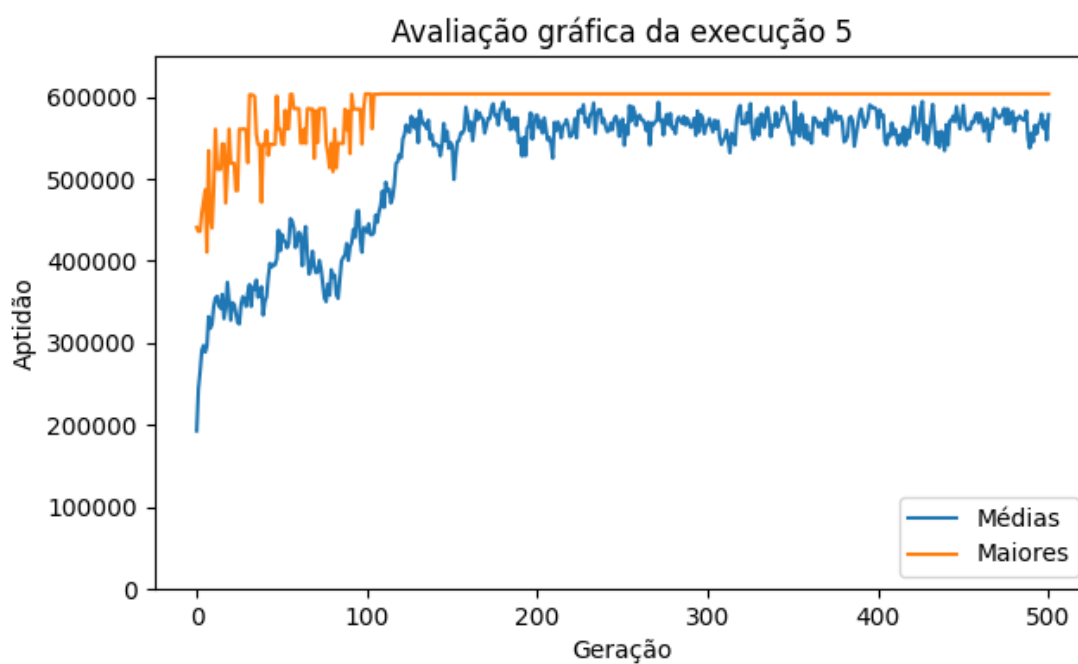
**Gráfico 1 - Avaliação gráfica da execução 1**

Fonte: Autoria própria (2023)

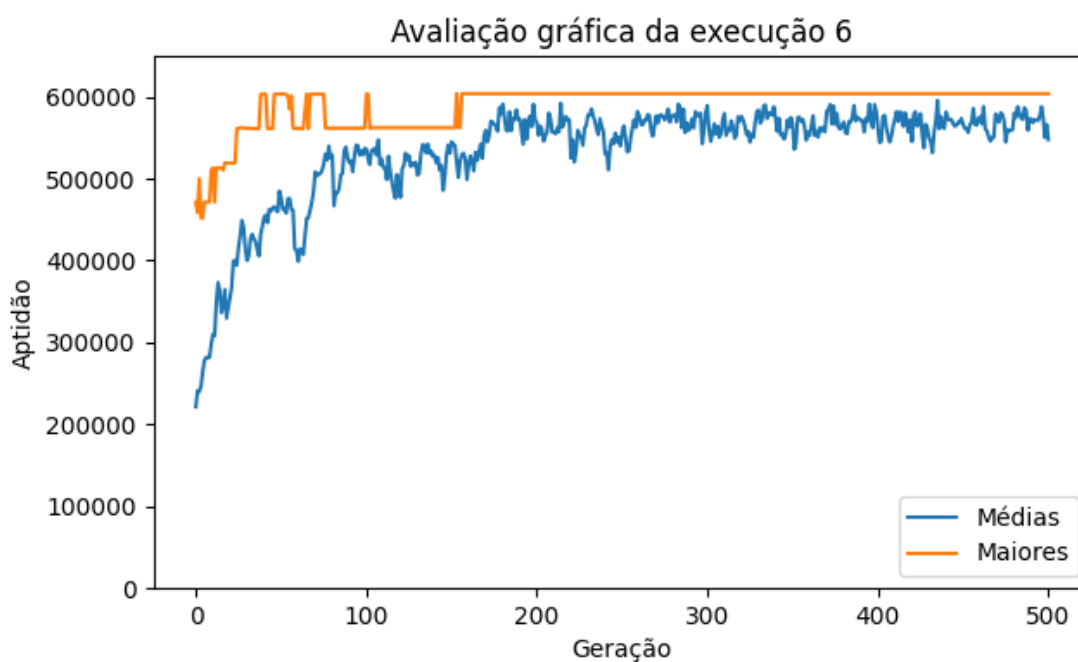
**Gráfico 2 - Avaliação gráfica da execução 2****Gráfico 3 - Avaliação gráfica da execução 3**

**Gráfico 4 - Avaliação gráfica da execução 4**

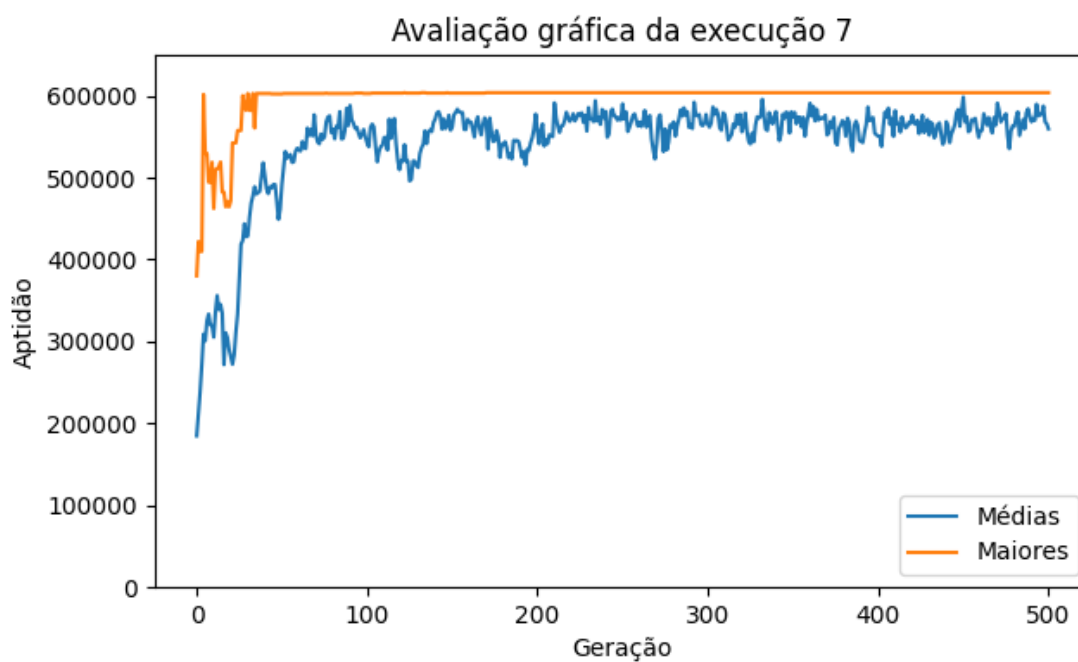
Fonte: Autoria própria (2023)

**Gráfico 5 - Avaliação gráfica da execução 5**

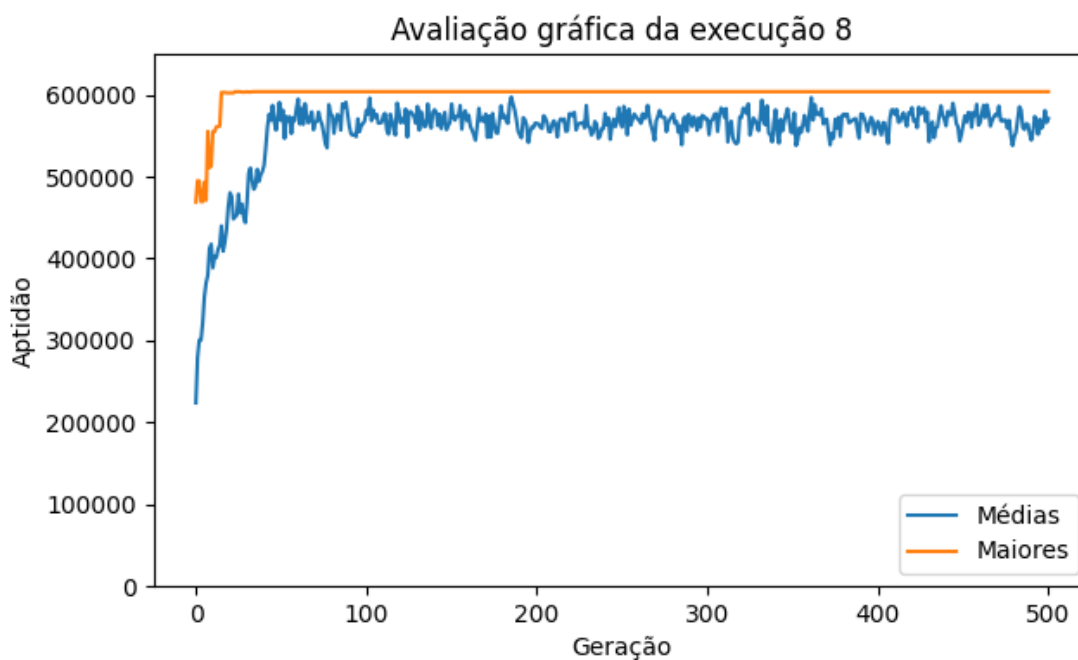
Fonte: Autoria própria (2023)

**Gráfico 6 - Avaliação gráfica da execução 6**

Fonte: Autoria própria (2023)

**Gráfico 7 - Avaliação gráfica da execução 7**

Fonte: Autoria própria (2023)

**Gráfico 8 - Avaliação gráfica da execução 8**

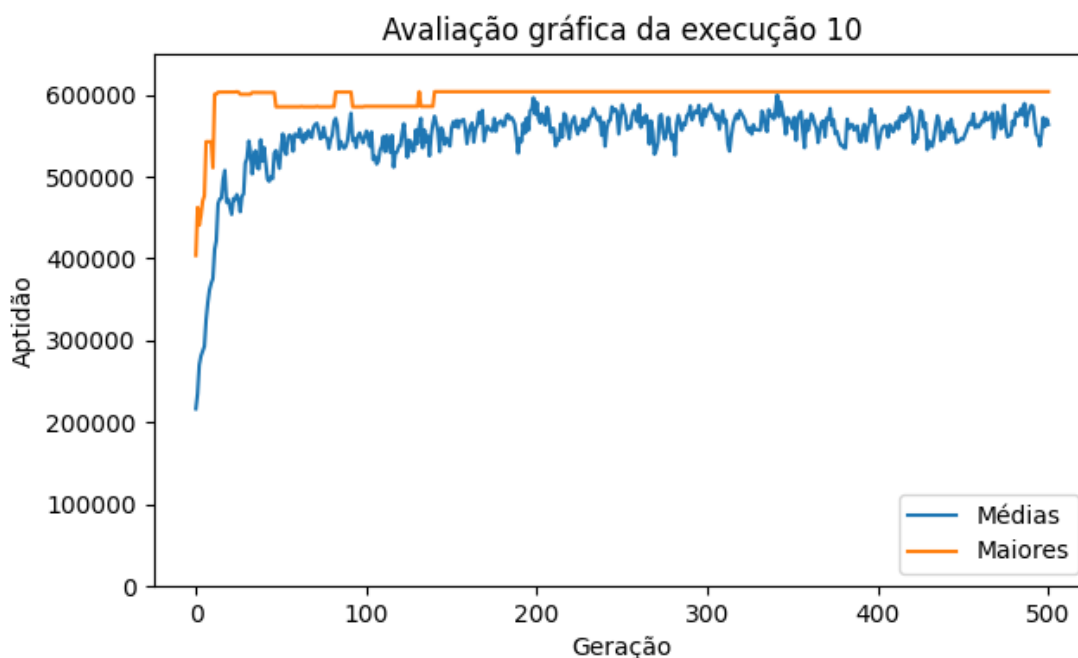
Fonte: Autoria própria (2023)

**Gráfico 9 - Avaliação gráfica da execução 9**

Fonte: Autoria própria (2023)



Gráfico 10 - Avaliação gráfica da execução 10



Fonte: Autoria própria (2023)

A análise dos gráficos esclarece que, em geral, a melhor solução é encontrada antes da geração 100, porém o Gráfico 6 e o Gráfico 10 demonstram que há casos onde a melhor solução é encontrada em gerações mais tardias, ou seja, mais próxima da geração 200.

Se tratando das médias das populações observou-se um comportamento de evolução da aptidão ao longo das gerações consistente em todas as execuções.

Portanto, considerando que o tempo total de execução registrado foi de 23,553 segundos e a possibilidade de se ter o melhor indivíduo encontrado muito próximo à geração de número 200, confirmou-se o uso dos parâmetros testados. Com isso o algoritmo está pronto para ser validado nos cenários hipotéticos

### 6.3 Aplicação em cenários hipotéticos

Nesta etapa, será apresentada a estratégia de validação do algoritmo proposto, a qual consiste na aplicação em três cenários distintos: um cenário simples, um cenário próximo das restrições e um cenário dinâmico. Essa abordagem visa avaliar o desempenho e a robustez do algoritmo em diferentes contextos, abrangendo diferentes níveis de complexidade.

- O primeiro cenário utilizado na validação do algoritmo projetado para ser relativamente simples, com características menos desafiadoras e restrições mais brandas. Esse cenário tem o objetivo de fornecer uma base de referência para a avaliação inicial do desempenho do algoritmo. Os dados de entrada nesse cenário serão cuidadosamente selecionados para minimizar a complexidade e garantir um ambiente controlado;
- O segundo cenário tem como propósito avaliar o desempenho do algoritmo em um contexto mais próximo das restrições reais. Serão consideradas características e restrições mais próximas do problema real que o algoritmo se propõe a resolver. Esse cenário busca desafiar o algoritmo com casos mais complexos, levando em conta as limitações práticas e os aspectos específicos do domínio de aplicação;
- O terceiro cenário tem o objetivo de verificar a capacidade do algoritmo em lidar com dinamicidade e variações ao longo do tempo. Serão introduzidos elementos de mudança e imprevisibilidade no ambiente de teste, como alterações nas condições iniciais, variações nas demandas ou na disponibilidade de recursos. Esse cenário visa avaliar a capacidade de adaptação do algoritmo em um ambiente mais instável e mutável.

Para cada um dos cenários, será apresentado o contexto, os dados de entrada fornecidos, a solução encontrada pelo algoritmo, seu tempo de execução e uma verificação manual da solução.

### 6.3.1 Aplicação no primeiro cenário

O primeiro cenário hipotético aborda um contexto em que não há proximidade com nenhuma das restrições relacionadas aos volumes dos tanques de armazenamento e não há preferência na operação de nenhuma categoria comercial. O estudo consistirá em duas execuções do algoritmo:

- Execução 1: O algoritmo é executado levando em consideração apenas a lista atual de caminhões-tanque.

- Execução 2: A lista de caminhões-tanque é atualizada, removendo os caminhões escolhidos na execução 1. Dessa forma é possível manter alguns motoristas de sobreaviso em relação à possibilidade de serem os próximos a entrar em cada uma das baias do terminal.

O objetivo deste estudo é avaliar se o algoritmo é capaz de sugerir um manejo dos caminhões para uma baia que possa operar tanto o produto quanto o tipo de operação disponível nessa baia.

Inicialmente foram inseridos os dados de entrada, ou seja, a lista de caminhões-tanque que chegaram no terminal de armazenamento e distribuição, a infraestrutura das baias, os fatores que indicam a não prioridade de categoria comercial e o status de volume dos tanques de armazenamento.

O Quadro 15 traz a lista com os dados dos caminhões-tanque que chegaram no terminal de armazenamento e distribuição no momento da execução 1.

**Quadro 15 - Lista de caminhões-tanque na execução 1 do primeiro cenário**

<b>Id</b>	<b>Categoria Comercial</b>	<b>Tipo de operação</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>Placa</b>
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0003
4	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0004
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
7	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0007
8	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0008
9	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0009
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
14	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0014
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
17	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0017
18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018

19	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0019
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020
21	Recebe Transferência	Descarga	Diesel S10	58.000	ABC-0021
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022

**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Quadro 16 é apresentada a infraestrutura e disponibilidade das baias no momento da execução 1.

**Quadro 16 - Infraestrutura das baias na execução 1 do primeiro cenário**

Baia	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Disponível
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Disponível
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Disponível

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O Quadro 17 apresenta os dados de entrada das prioridades de cada categoria comercial no momento da execução 1.

**Quadro 17 - Prioridade das categorias comerciais na execução 1 do primeiro cenário**

Categoria Comercial	Prioridade	Valor
Venda	Normal	0
Compra	Normal	0
Expede Transferência	Normal	0
Recebe Transferência	Normal	0

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Os últimos dados de entrada apresentados ao algoritmo antes da execução 1 é o status do volume de cada um dos tanques de armazenamento. O Quadro 18 mostra como os dados foram apresentados.

**Quadro 18 - Status dos tanques na execução 1 do primeiro cenário**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	1.800.000
Etanol Hidratado	2.500.000	1.800.000
Diesel S10	2.500.000	1.800.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000
Biodiesel	1.000.000	500.000

Fonte: Autoria própria (2023)

Após todos os dados de entrada devidamente apresentados, foi iniciada a execução 1. O Google Colab registrou um tempo de execução de 3,216 segundos com as informações de hardware descritas no Quadro 19.

**Quadro 19 - Informações de hardware na execução 1 do primeiro cenário**

Nome da máquina	e7a7a8c05153
Processador	Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz
Sistema Operacional	Linux 5.15.107+
Memória	12 GB
Disco	107 GB

Fonte: Autoria própria (2023)

Os dados de saída do algoritmo são apresentados na Figura 13.

**Figura 13 - Captura de tela da saída da execução 1 do primeiro cenário**

-----  
 REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO

Baia 1: Caminhão placa ABC-0009 | Descarga de 60000 litros de Diesel S10

Baia 2: Caminhão placa ABC-0019 | Descarga de 60000 litros de Diesel S10

Baia 3: Caminhão placa ABC-0008 | Descarga de 60000 litros de Etanol Hidratado

Baia 4: Caminhão placa ABC-0007 | Descarga de 60000 litros de Gasolina

Baia 5: Caminhão placa ABC-0017 | Descarga de 60000 litros de Gasolina  
 -----

Fonte: Autoria própria (2023)

Como preparação para a execução 2, foi atualizada a lista de caminhões-tanque no pátio do terminal de armazenamento e distribuição removendo os

caminhões selecionados na execução 1. Dessa forma a lista atualizada de caminhões-tanque é apresentada no .

**Quadro 20 - Lista de caminhões-tanque na execução 2 do primeiro cenário**

<b>Id</b>	<b>Categoria Comercial</b>	<b>Tipo de operação</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>Placa</b>
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0003
4	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0004
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
14	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0014
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020
21	Recebe Transferência	Descarga	Diesel S10	58.000	ABC-0021
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O Quadro 21 mostra as baias ocupadas por conta dos caminhões-tanques selecionados na execução 1, portanto os caminhões-tanques selecionados na execução 2 devem aguardar atentos à operação na baia em que foram alocados para se posicionarem na baia na sequência.

**Quadro 21 - Infraestrutura das baias na execução 2 do primeiro cenário**

<b>Baia</b>	<b>Infraestrutura de carregamento</b>	<b>Infraestrutura de descarga</b>	<b>Status</b>
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Ocupada
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Ocupada

3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Ocupada
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Ocupada
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Ocupada

Fonte: Autoria própria (2023)

Com todos os dados devidamente atualizados, iniciou-se a execução 2 que teve um tempo de execução de 2,895 segundos. Como as execuções ocorreram em momentos próximos, o ambiente de programação em nuvem estava conectado à mesma máquina, ou seja, possuía as mesmas informações de hardware.

Após a execução 2, o algoritmo apresentou os dados de saída registrados na Figura 14.

**Figura 14 - Captura de tela da saída da execução 2 do primeiro cenário**

-----

REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO

Baia 1: Caminhão placa ABC-0021 | Descarga de 58000 litros de Diesel S10

Baia 2: Caminhão placa ABC-0010 | Descarga de 58000 litros de Etanol Anidro

Baia 3: Caminhão placa ABC-0011 | Descarga de 58000 litros de Diesel S10

Baia 4: Caminhão placa ABC-0018 | Descarga de 60000 litros de Etanol Hidratado

Baia 5: Caminhão placa ABC-0020 | Carregamento de 58000 litros de Etanol Hidratado

-----

Fonte: Autoria própria (2023)

Para facilitar a visualização da verificação manual, os produtos receberam nomes abreviados. A relação “de/para” dos nomes é apresentada no Quadro 22.

**Quadro 22 - Abreviação dos nomes dos produtos**

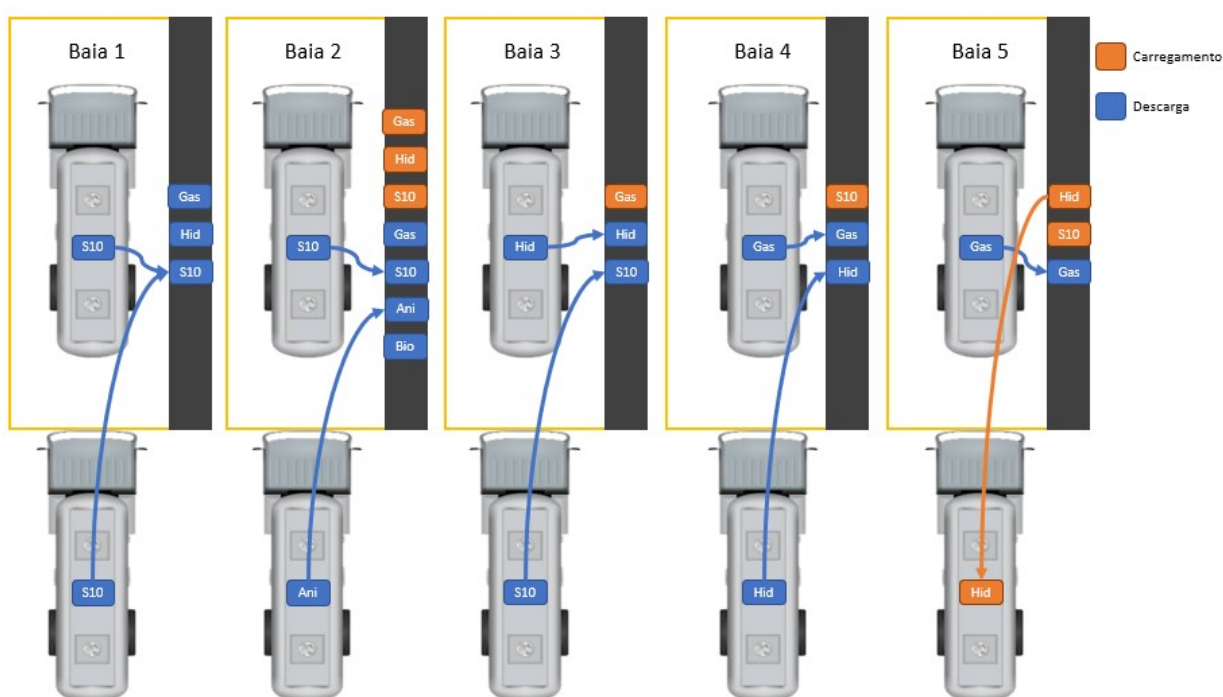
De	Para
Gasolina	Gas
Etanol Hidratado	Hid
Diesel S10	S10
Etanol Anidro	Ani
Biodiesel	Bio

Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 15 apresenta a verificação manual da assertividade do algoritmo. Para isso os caminhões-tanque selecionados na execução 1 foram posicionados dentro das baias enquanto os selecionados na execução 2 foram posicionados logo atrás da respectivas baias que foram alocados, representando seu estado de sobreaviso.

Dessa forma é possível confrontar a infraestrutura da baia com o tipo de operação e produto do caminhão-tanque.

**Figura 15 - Verificação dos resultados do primeiro cenário**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

A verificação manual comprovou que o objetivo do estudo ao aplicar no primeiro cenário hipotético foi alcançado com sucesso. O algoritmo alocou todos os caminhões-tanques respeitando a infraestrutura das baias.

Também é possível observar que, em cenários simples, o algoritmo tende a optar por caminhões-tanque com maiores volumes, o que está de acordo com a estratégia definida através da função de *fitness*.



### 6.3.2 Aplicação no segundo cenário

O segundo cenário hipotético refere-se a uma situação em que ocorre a impossibilidade de carregar e descarregar certos produtos devido à proximidade de alguma restrição de volume nos tanques de armazenamento desses produtos.

O tanque de gasolina apresenta um volume tão baixo que impede o carregamento por caminhões, enquanto o tanque de armazenamento de etanol hidratado possui um volume tão elevado que impede a descarga por caminhões. O objetivo é avaliar se o algoritmo é capaz de sugerir operações apropriadas sem violar quaisquer restrições impostas.

Similar ao apresentado no cenário hipotético 1, os dados de entrada foram devidamente ajustados para corresponder ao cenário descrito de forma apropriada. O Quadro 23 apresenta a lista de caminhões-tanque para o segundo cenário.

**Quadro 23 - Lista de caminhões-tanque no segundo cenário**

<b>Id</b>	<b>Categoria Comercial</b>	<b>Tipo de operação</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>Placa</b>
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0003
4	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0004
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
7	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0007
8	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0008
9	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0009
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
14	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0014
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
17	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0017
18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018
19	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0019
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020

21	Recebe Transferência	Descarga	Diesel S10	58.000	ABC-0021
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022

Fonte: Autoria própria (2023)

O Quadro 24 demonstra a infraestrutura das baias no segundo cenário.

**Quadro 24 - Infraestrutura das baias no segundo cenário**

Baia	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Disponível
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Disponível
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Disponível

Fonte: Autoria própria (2023)

O Quadro 25 apresenta os dados de entrada das prioridades de cada categoria comercial no segundo cenário.

**Quadro 25 - Prioridade das categorias comerciais no segundo cenário**

Categoria Comercial	Prioridade	Valor
Venda	Normal	0
Compra	Normal	0
Expede Transferência	Normal	0
Recebe Transferência	Normal	0

Fonte: Autoria própria (2023)

O volume atual do tanque de gasolina foi ajustado para 100.001 litros, impossibilitando qualquer carregamento, já que o volume mínimo operacional de todos os tanques foi definido em 100.00 litros. Para o tanque de etanol hidratado o volume atual foi ajustado para 2.499.999 litros inviabilizando qualquer descarga, já que sua capacidade máxima é de 2.500.000 litros. O Quadro 26 apresenta o status de todos os tanques no segundo cenário.

**Quadro 26 - Status dos tanques no segundo cenário**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	100.001
Etanol Hidratado	2.500.000	2.499.999
Diesel S10	2.500.000	1.800.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000
Biodiesel	1.000.000	500.000

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Com todos os dados ajustados iniciou-se a execução do segundo cenário que ocorreu em 3,142 segundos enquanto ainda estava conectado à mesma máquina do ambiente de programação em nuvem das duas execuções do primeiro cenário.

Os dados de saída do segundo cenário são apresentados na Figura 16.

**Figura 16 - Captura de tela da saída do segundo cenário**

-----  
 REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO

Baia 1: Caminhão placa ABC-0009 | Descarga de 60000 litros de Diesel S10

Baia 2: Caminhão placa ABC-0010 | Descarga de 58000 litros de Etanol Anidro

Baia 3: Caminhão placa ABC-0019 | Descarga de 60000 litros de Diesel S10

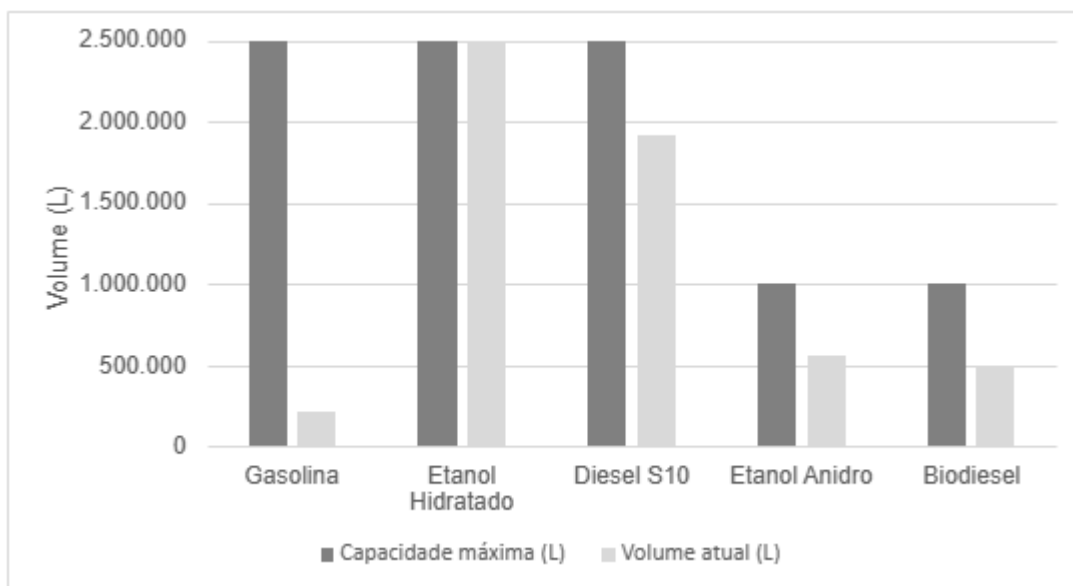
Baia 4: Caminhão placa ABC-0007 | Descarga de 60000 litros de Gasolina

Baia 5: Caminhão placa ABC-0017 | Descarga de 60000 litros de Gasolina  
 -----

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

O Gráfico 11 apresenta o volume em relação a capacidade máxima de cada tanque após realizadas as operações selecionadas na execução do segundo cenário hipotético.

**Gráfico 11 - Capacidade x Volume após realizadas as operações do segundo cenário**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

A verificação manual do estudo realizado no segundo cenário hipotético demonstrou que as restrições de volumes nos tanques de armazenamento estão sendo respeitadas pelo algoritmo. Não foram observados carregamentos de gasolina nem descargas de etanol hidratado na saída do algoritmo.

Observou-se também o mesmo comportamento encontrado no primeiro cenário hipotético em optar por caminhões-tanques de maiores volumes, ou seja, o algoritmo está atendendo o que foi modelado na função de *fitness*.

Com isso, as descargas de dois caminhões-tanque de gasolina são fruto unicamente do seu alto volume, uma vez que não há outra variável implementada no cenário que incentivasse o algoritmo a optar por aumentar o volume no tanque desse produto.

### 6.3.3 Aplicação no terceiro cenário

O terceiro cenário hipotético aborda uma situação na qual a equipe de gestão operacional do terminal de armazenamento e distribuição recebe a orientação de priorizar ao máximo a categoria comercial "Venda". Além disso, o tanque de armazenamento de gasolina possui um volume insuficiente para carregar caminhões-tanque, e, como essa situação já estava prevista, o terminal de armazenamento e

distribuição estava aguardando a chegada de dois caminhões-tanque para receber a transferência de gasolina. O estudo consistirá em três execuções do algoritmo:

- Execução 1: O algoritmo é executado levando em consideração as premissas mencionadas anteriormente, ou seja, priorizando as vendas e ajustando o volume do tanque de armazenamento de gasolina. Para que a priorização ocorra, o fator de preferência da categoria "venda" será ajustado para "prioridade máxima", enquanto o fator de preferência da categoria "recebe transferência" será ajustado como "prioritário".

Enquanto os caminhões-tanque selecionados na execução 1 estão sendo posicionados nas respectivas baias, os dois caminhões-tanque com as transferências de gasolina chegam ao terminal de armazenamento e distribuição.

- Execução 2: A fila de caminhões é atualizada, removendo os caminhões escolhidos na execução 1 e adicionando os dois caminhões-tanque com as transferências de gasolina. Dessa forma os próximos caminhões-tanque ficam de sobreaviso.

Durante a operação dos caminhões-tanque alocados na execução 1, foi constatado um problema operacional que interditaria a baia 1 até que a equipe de manutenção resolvesse o problema em questão. Como o caminhão-tanque alocado nessa baia já havia iniciado o procedimento, ele teria que aguardar a resolução do problema para finalizar a operação.

- Execução 3: A alocação encontrada na execução 2 é descartada enquanto a disponibilidade das baias é atualizada, tornando a baia 1 inoperante. Dessa forma é possível atualizar os caminhões-tanque que ficam em sobreaviso.

O objetivo deste estudo é avaliar, em um cenário mais dinâmico, se o algoritmo é capaz de sugerir a alocação dos caminhões para uma baia que possa operar tanto com o produto quanto com o tipo de operação disponível na infraestrutura da baia, se é capaz de respeitar a restrição do tanque de gasolina e, por fim, se é capaz de priorizar o recebimento da transferência de gasolina.

Para a execução 1, realizou-se os devidos ajustes nos dados de entrada. A lista de caminhões-tanque na execução 1 é mostrada no Quadro 27:

**Quadro 27 - Lista de caminhões-tanque na execução 1 do terceiro cenário**

<b>Id</b>	<b>Categoria Comercial</b>	<b>Tipo de operação</b>	<b>Produto</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>Placa</b>
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
3	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0003
4	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0004
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
7	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0007
8	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0008
9	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0009
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
14	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	25.000	ABC-0014
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
17	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0017
18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018
19	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0019
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020
21	Recebe Transferência	Descarga	Diesel S10	58.000	ABC-0021
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O Quadro 28 apresenta a infraestrutura e status das baias para a execução 1 do terceiro cenário.

**Quadro 28 - Infraestrutura das baias na execução 1 do terceiro cenário**

Baia	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Disponível
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Disponível
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Disponível
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Disponível

Fonte: Autoria própria (2023)

O fator da categoria “Venda” foi ajustado para “prioridade máxima”, ou seja, para o valor 5, enquanto a categoria “Recebe Transferência” foi ajustado para “prioritário”, ou seja, para o valor 3. O Quadro 30 - Status dos tanques na execução 1 do terceiro cenário resume esses dados de entrada para a execução 1.

**Quadro 29 - Prioridade das categorias comerciais na execução 1 do terceiro cenário**

Categoria Comercial	Prioridade	Valor
Venda	Prioridade máxima	5
Compra	Normal	0
Expede Transferência	Normal	0
Recebe Transferência	Prioritário	3

Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim, o status dos tanques de armazenamento foram ajustados de acordo com o apresentado no Quadro 30.

**Quadro 30 - Status dos tanques na execução 1 do terceiro cenário**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	100.001
Etanol Hidratado	2.500.000	1.800.000
Diesel S10	2.500.000	1.800.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000
Biodiesel	1.000.000	500.000

Fonte: Autoria própria (2023)

A execução 1 do terceiro cenário teve um tempo de execução de 3,865 segundos e o ambiente de programação em nuvem estava conectado à mesma máquina das execuções do primeiro e do segundo cenário.

A saída da execução 1 é apresentada na Figura 17.

**Figura 17 - Captura de tela da saída da execução 1 do terceiro cenário**

-----  
 REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO

Baia 1: Caminhão placa ABC-0007 | Descarga de 60000 litros de Gasolina

Baia 2: Caminhão placa ABC-0014 | Carregamento de 25000 litros de Etanol Hidratado

Baia 3: Caminhão placa ABC-0021 | Descarga de 58000 litros de Diesel S10

Baia 4: Caminhão placa ABC-0004 | Carregamento de 18000 litros de Diesel S10

Baia 5: Caminhão placa ABC-0003 | Carregamento de 25000 litros de Etanol Hidratado  
 -----

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Conforme previsto para a execução 2, a fila de caminhões-tanque é atualizada removendo os caminhões-tanque selecionados na execução 1 e adicionando os dois caminhões-tanque que chegaram. Dessa forma a lista atualizada ficou conforme demonstrado no Quadro 31.

**Quadro 31 - Lista de caminhões-tanque na execução 2 do terceiro cenário**

Id	Categoria Comercial	Tipo de operação	Produto	Volume (L)	Placa
1	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0001
2	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0002
5	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0005
6	Compra	Descarga	Biodiesel	44.000	ABC-0006
8	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0008
9	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0009
10	Compra	Descarga	Etanol Anidro	58.000	ABC-0010
11	Expede Transferência	Carregamento	Diesel S10	58.000	ABC-0011
12	Venda	Carregamento	Gasolina	15.000	ABC-0012
13	Venda	Carregamento	Gasolina	22.000	ABC-0013
15	Venda	Carregamento	Diesel S10	18.000	ABC-0015
16	Venda	Carregamento	Etanol Hidratado	18.000	ABC-0016
17	Compra	Descarga	Gasolina	60.000	ABC-0017



18	Compra	Descarga	Etanol Hidratado	60.000	ABC-0018
19	Compra	Descarga	Diesel S10	60.000	ABC-0019
20	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0020
22	Expede Transferência	Carregamento	Etanol Hidratado	58.000	ABC-0022
23	Recebe Transferência	Descarga	Gasolina	52.000	ABC-0023
24	Recebe Transferência	Descarga	Gasolina	50.000	ABC-0024

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

A disponibilidade das baias para a execução 2 do terceiro cenário é demonstrada no Quadro 32.

**Quadro 32 - Infraestrutura das baias na execução 2 do terceiro cenário**

Baia	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Ocupada
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Ocupada
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Ocupada
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Ocupada
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Ocupada

**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Para a execução 2 não houve alterações nas prioridades comerciais. Já o status dos tanques de armazenamento foi alterado para o volume considerando o fim de todas as operações da execução 1 de acordo com o apresentado no Quadro 33.

**Quadro 33 - Status dos tanques na execução 2 do terceiro cenário**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	160.001
Etanol Hidratado	2.500.000	1.750.000
Diesel S10	2.500.000	1.840.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000
Biodiesel	1.000.000	500.000

A execução 2 foi realizada com um tempo de execução de 5,782 segundos com o ambiente de programação em nuvem conectado à mesma máquina de todas as outras execuções. A saída da execução 2 é apresentada na Figura 18.

**Figura 18 - Captura de tela da saída da execução 2 do terceiro cenário**

-----  
 REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO

Baía 1: Caminhão placa ABC-0024 | Descarga de 50000 litros de Gasolina

Baía 2: Caminhão placa ABC-0013 | Carregamento de 22000 litros de Gasolina

Baía 3: Caminhão placa ABC-0002 | Carregamento de 22000 litros de Gasolina

Baía 4: Caminhão placa ABC-0023 | Descarga de 52000 litros de Gasolina

Baía 5: Caminhão placa ABC-0005 | Carregamento de 18000 litros de Etanol Hidratado  
 -----

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com a falha operacional da baía 1, novos dados de entrada de disponibilidade de baias e status dos volumes dos tanques precisaram ser inseridos para a execução 3. O Quadro 34 traz os dados de entrada atualizados sobre a disponibilidade das baias.

**Quadro 34 - Infraestrutura das baias na execução 3 do terceiro cenário**

Baía	Infraestrutura de carregamento	Infraestrutura de descarga	Status
1	-	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Interditada
2	Gasolina, Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina, Diesel S10, Etanol Anidro e Biodiesel	Ocupada
3	Gasolina	Etanol Hidratado, Diesel S10	Ocupada
4	Diesel S10	Gasolina, Etanol Hidratado	Ocupada
5	Etanol Hidratado, Diesel S10	Gasolina	Ocupada

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com o caminhão-tanque alocado na baía 1 na execução 1 aguardando para descarregar, o volume no tanque de armazenamento de gasolina foi atualizado desconsiderando essa descarga, conforme apresentado no Quadro 35.

**Quadro 35 - Status dos tanques na execução 3 do terceiro cenário**

Tanque	Capacidade máxima (L)	Volume atual (L)
Gasolina	2.500.000	100.001
Etanol Hidratado	2.500.000	1.750.000
Diesel S10	2.500.000	1.840.000
Etanol Anidro	1.000.000	500.000
Biodiesel	1.000.000	500.000

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A execução 3 levou 3,585 segundos enquanto o ambiente de programação em nuvem estava conectado em uma máquina com hardware idêntico à máquina das demais execuções. A saída da execução 3 é apresentada na Figura 19.

**Figura 19 - Captura de tela da saída da execução 3 do terceiro cenário**

```

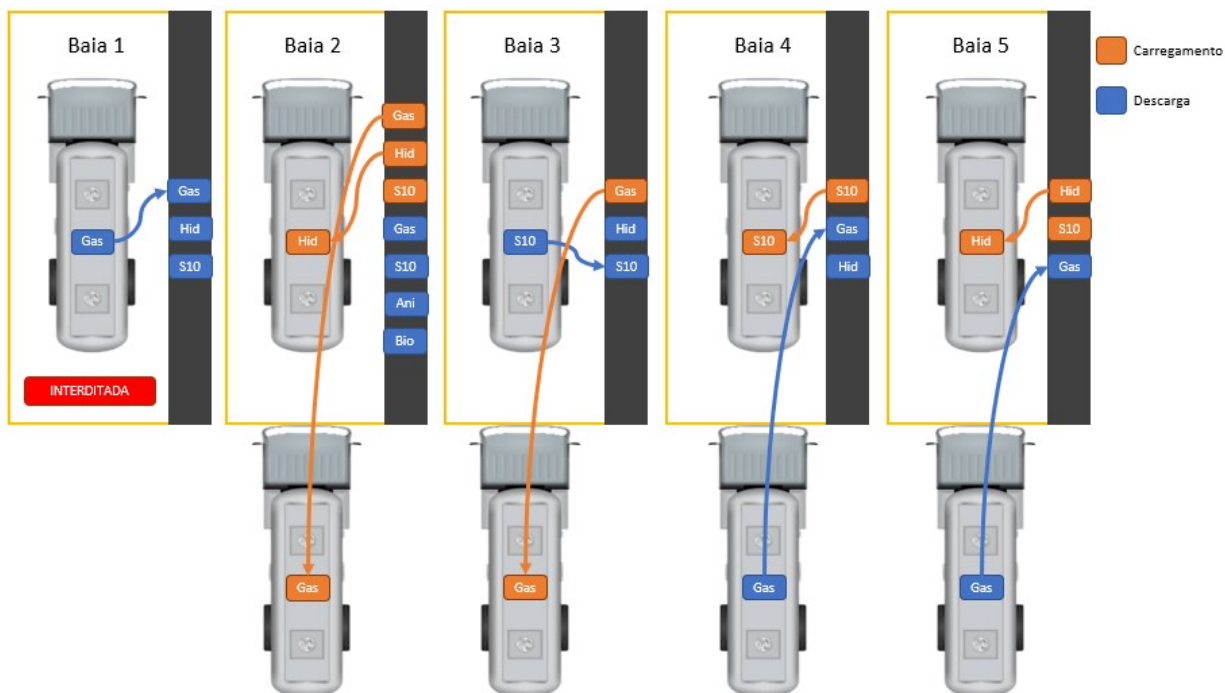
-----
REALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO ASSISTIDO
Baía 2: Caminhão placa ABC-0002 | Carregamento de 22000 litros de Gasolina
Baía 3: Caminhão placa ABC-0013 | Carregamento de 22000 litros de Gasolina
Baía 4: Caminhão placa ABC-0023 | Descarga de 52000 litros de Gasolina
Baía 5: Caminhão placa ABC-0024 | Descarga de 50000 litros de Gasolina
-----

```

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com isso, a Figura 20 apresenta a verificação de todas as alocações. Os caminhões-tanque selecionados na execução 1 são ilustrados posicionados nas baias enquanto os caminhões-tanque selecionados na execução 3 aparecem logo atrás das respectivas baias que foram manejados.

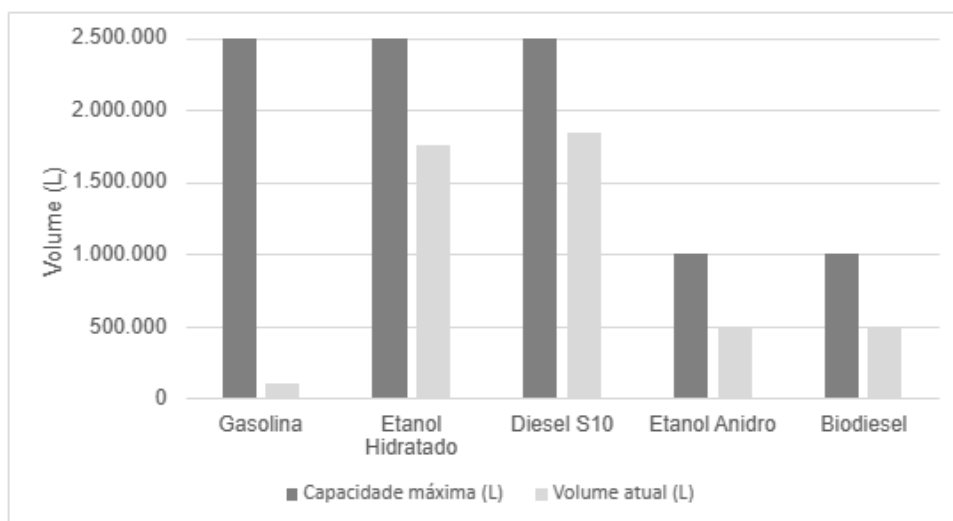
**Figura 20 - Verificação dos resultados do terceiro cenário**



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 12 apresenta o status dos tanques de armazenamento após finalização das operações alocadas na execução 1.

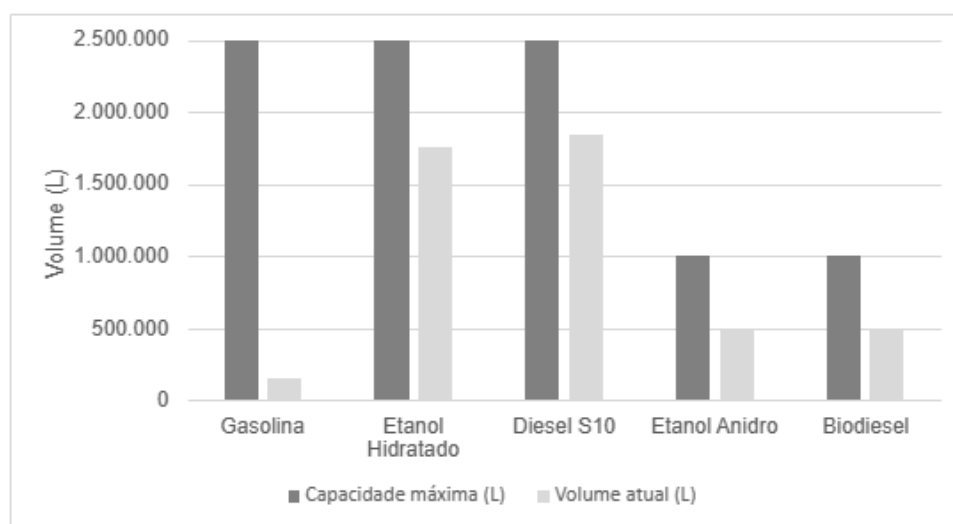
**Gráfico 12 - Capacidade x Volume após realizadas as operações da execução 1 do terceiro cenário**



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 12 apresenta o status dos tanques de armazenamento após finalização das operações alocadas na execução 3.

**Gráfico 13 - Capacidade x Volume após realizadas as operações da execução 3 do terceiro cenário**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O terceiro cenário permitiu observar a capacidade do algoritmo em dar assistência à tomada de decisão em cenários com maior complexidade sem deixar de compreender as limitações de infraestrutura e as restrições impostas. Na execução 1 é evidente a priorização da categoria “Venda” conforme solicitado à equipe de gestão operacional e, após a chegada dos caminhões-tanque trazendo gasolina de outro terminal, o algoritmo sugere a descarga deles tanto na execução 2 com disponibilidade total das baias quanto na execução 3 onde a baia interdita se tratava justamente da baia que um recebimento transferência havia sido alocado.

Por fim, um ponto de atenção identificado é o comportamento do algoritmo em recomendar uma operação considerando que todas as outras ocorrerão sem problemas. Isso ficou evidente no manejo da execução 3 onde foi recomendado o carregamento de dois caminhões-tanque que, juntos, totalizam 44.000 litros, o que só seria possível com, pelo menos, uma das duas descargas, também alocadas na execução 3, ocorrendo normalmente.

## 6.4 Considerações finais

Este capítulo apresentou diversos experimentos que permitiram a verificação da qualidade das soluções em diversas situações. A estratégia de avaliação em múltiplos cenários hipotéticos proporcionou uma visão mais completa e realista do R.A.M.P.A., permitindo identificar possíveis melhorias que podem ser implementadas através de ajustes na função de *fitness*.

De modo geral, este capítulo demonstrou o potencial do R.A.M.P.A. em fornecer suporte em tempo hábil para a tomada de decisão em situações de enorme dinamismo como a de sequenciamento de operações de carga e descarga em terminais de armazenamento e distribuição de combustíveis.

Além disso, a fim de avaliar o R.A.M.P.A. em situações combinatórias extremas, no Apêndice B foi relatada a aplicação do algoritmo em um cenário extra, onde a quantidade de alocações alcança a escala de  $7 \times 10^{22}$  combinações possíveis. Nesse cenário o algoritmo seguiu demonstrando o potencial de atingir seu objetivo em tempo hábil.

## 7 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, foi realizado um estudo aprofundado do problema logístico específico envolvendo a alocação de caminhões-tanque em baias de operações de carga e descarga de múltiplos produtos. Considerando as variáveis e restrições envolvidas, foi projetado e implementado um modelo de Algoritmo Genético, demonstrando sua aplicabilidade e eficácia na otimização do sequenciamento das operações de terminal de abastecimento e distribuição de combustíveis.

A análise exploratória realizada proporcionou um entendimento mais abrangente da natureza do problema logístico em questão, fornecendo insights valiosos para o desenvolvimento da solução computacional proposta. Os testes realizados em diferentes cenários permitiram validar a qualidade da solução, evidenciando sua capacidade de gerar resultados eficientes e factíveis, respeitando as restrições e requisitos do problema.

É importante ressaltar que este estudo contribui para o avanço do conhecimento no campo da logística de transporte, demonstrando a viabilidade e a efetividade do uso de algoritmos genéticos como ferramentas de apoio à tomada de decisões em problemas logísticos complexos. As conclusões obtidas neste trabalho fornecem insights valiosos para profissionais e pesquisadores que buscam otimizar processos logísticos semelhantes.

Considerando a relevância e as possibilidades de aprimoramento deste trabalho, sugere-se que futuras pesquisas explorem outras abordagens e técnicas. Uma abordagem possível pode ser a modelagem do indivíduo em uma estrutura de matriz, em que cada linha represente uma baia e cada coluna represente um caminhão-tanque. Essa pode ser uma alternativa à necessidade de execução múltipla do algoritmo, conforme proposto neste trabalho. Além disso, recomenda-se o uso de outros algoritmos metaheurísticos ou a modelagem matemática do problema, permitindo a comparação dos resultados obtidos neste trabalho. Essas investigações adicionais têm como objetivo aprimorar ainda mais a eficiência e a eficácia das soluções propostas para problemas logísticos desafiadores como o de sequenciamento de operações de carga e descarga de caminhões.

Por fim, considerando a ampla gama de problemas em que Algoritmos Genéticos podem ser aplicados, é sugerida sua modelagem para alguns contextos da engenharia civil. Esses contextos incluem a otimização de projetos de estruturas

levando em consideração variáveis como carga, material, geometria, custo e segurança; a otimização de projetos de redes de distribuição de água e energia ao determinar a melhor localização das estações, pontos de distribuição, tubulações e cabos; e a otimização de cronogramas de construção considerando a sequência de atividades, alocação de recursos e minimização de atrasos.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17505**: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis: Parte 1 - Disposições gerais. Rio de Janeiro, ABNT 2013.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física. São Paulo, 2012.

BRASIL. **Lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014**. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final. Brasília: Casa Civil, 2014. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm). Acesso em: 7 mar. 2023.

BRASIL. **Resolução ANP nº 41/2013**. Atualiza e aperfeiçoa o arcabouço legal referente à atividade de revenda varejista de combustíveis automotivos. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2013. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-41-2013?origin=instituicao&q=41/2013>. Acesso em: 7 mar. 2023.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. Londres: John Murray, 1859.

DATA SCIENCE ACADEMY. **Deep Learning Book, 2021**. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br/>. Acesso em: 1 nov. 2021.

DE VRIES, H. **A Teoria da Mutação**. Haarlem: J. H. De Bussy, 1903.

FOGEL, L. J. **Artificial Intelligence through Simulated Evolution**. New York: Wiley, 1962.

FORTIN, F. A., et al. **DEAP documentation**: Evolutionary Algorithms in Python. Disponível em: <https://deap.readthedocs.io/en/master/>. Acessado pela primeira vez em: 8 de março de 2023. Acessado pela última vez em: 2 de junho de 2023.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL. **Custos Logísticos no Brasil 2017**. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/conhecimento/publicacoes/relatorio-de-pesquisa-33324>, vol. 1, pag. 15. Acesso em: 18 nov. 2021

GOOGLE. **Introduction to Colab**: Google Colaboratory Documentation. Disponível em: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>. Acesso em: 16 mai. 2023

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

KARP, R. **Reducibility among combinatorial problems**. *In*: Journal of the ACM, p. 562-567. 1972.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos**: Uma importante ferramenta da Inteligência Computacional. Rio de Janeiro: Brasport, 2008.

OLIVEIRA, I. C. **Complexidade Computacional e o Problema P vs NP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

POZO, Aurora; et al. **Computação evolutiva**. Universidade Federal do Paraná - Grupo de Pesquisas em Computação Evolutiva, Departamento de Informática- Universidade Federal do Paraná, 2005.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python Tutorial**: versão 3.10.0 - Documentação oficial. Disponível em: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>. Acessado pela primeira vez em: 8 de março de 2023. Acessado pela última vez em: 2 de junho de 2023.

SANTOS, C. C.; et al. **Introdução à computação evolutiva a partir dos algoritmos genéticos**. São Cristóvão: 2017.

## **APÊNDICE A - Código Python do R.A.M.P.A.**

## APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON DO R.A.M.P.A.

Este apêndice apresenta o código Python base do Algoritmo Genético apresentado neste trabalho. Nas três etapas (Definição de configurações de parâmetros, Teste dos parâmetros definidos e Aplicação em cenários hipotéticos) utilizou-se desse conjunto de instruções como base somada a pequenos incrementos para adequação de cada etapa, como ajustes em dados de entradas e criação de laços de repetição para facilitar alguma execução iterativa.

```
# Instalando a biblioteca DEAP
!pip install deap

# Importando bibliotecas necessárias para o algoritmo
from deap import creator, base, tools, algorithms
import numpy as np
import random

# Criando manualmente uma lista de caminhos
# Estrutura da lista do caminhão = [ordem_chegada, categoria_comercial,
tipo_operação, produto, tipo_operação_X_produto, , placa]
lista_caminhoes = [[1, "Venda", "Carregamento", "Gasolina",
                    "c_gasolina", 15000, "ABC-0001"],
                   [2, "Venda", "Carregamento", "Gasolina",
                    "c_gasolina", 22000, "ABC-0002"],
                   [3, "Venda", "Carregamento", "Etanol Hidratado",
                    "c_hidratado", 25000, "ABC-0003"],
                   [4, "Venda", "Carregamento", "Diesel S10", "c_s10",
                    18000, "ABC-0004"],
                   [5, "Venda", "Carregamento", "Etanol Hidratado",
                    "c_hidratado", 18000, "ABC-0005"],
                   [6, "Compra", "Descarga", "Biodiesel",
                    "d_biodiesel", 44000, "ABC-0006"],
                   [7, "Compra", "Descarga", "Gasolina", "d_gasolina",
                    60000, "ABC-0007"],
                   [8, "Compra", "Descarga", "Etanol Hidratado",
                    "d_hidratado", 60000, "ABC-0008"],
                   [9, "Compra", "Descarga", "Diesel S10", "d_s10",
                    60000, "ABC-0009"],
                   [10, "Compra", "Descarga", "Etanol Anidro",
                    "d_anidro", 58000, "ABC-0010"],
                   [11, "Expede Transferencia", "Descarga", "Diesel
S10", "d_s10", 58000, "ABC-0011"],
                   [12, "Venda", "Carregamento", "Gasolina",
                    "c_gasolina", 15000, "ABC-0012"],
```

```

    [13, "Venda", "Carregamento", "Gasolina",
    "c_gasolina", 22000, "ABC-0013"],
    [14, "Venda", "Carregamento", "Etanol Hidratado",
    "c_hidratado", 25000, "ABC-0014"],
    [15, "Venda", "Carregamento", "Diesel S10", "c_s10",
    18000, "ABC-0015"],
    [16, "Venda", "Carregamento", "Etanol Hidratado",
    "c_hidratado", 18000, "ABC-0016"],
    [17, "Compra", "Descarga", "Gasolina", "d_gasolina",
    60000, "ABC-0017"],
    [18, "Compra", "Descarga", "Etanol Hidratado",
    "d_hidratado", 60000, "ABC-0018"],
    [19, "Compra", "Descarga", "Diesel S10", "d_s10",
    60000, "ABC-0019"],
    [20, "Expede Transferencia", "Carregamento", "Etanol
    Hidratado", "c_hidratado", 58000, "ABC-0020"],
    [21, "Recebe Transferencia", "Descarga", "Diesel
    S10", "d_s10", 58000, "ABC-0021"],
    [22, "Expede Transferencia", "Carregamento", "Etanol
    Hidratado", "c_hidratado", 58000, "ABC-0022"]]

posicao_fila_baia = 1
qtde_posicoes_baia = 12

while posicao_fila_baia <= qtde_posicoes_baia:

    # Contando quantos caminhões estão na fila
    num_caminhoes = 0
    for caminhao in lista_caminhoes:
        num_caminhoes = num_caminhoes + 1

    # Preparando parâmetros
    prob_crossover = 0.9 # Probabilidade de crossover
    prob_mutacao = 0.2 # Probabilidade de mutação
    num_geracao = 500 # Números de gerações
    semente = 123

    # Registro indivíduos
    toolbox = base.Toolbox()

    creator.create("FitnessMax", base.Fitness, weights=(1.0,))
    creator.create("EstrIndividuo", list, fitness=creator.FitnessMax)
    toolbox.register("Genes", np.random.permutation, num_caminhoes)
    toolbox.register("Individuos", tools.initIterate,
        creator.EstrIndividuo, toolbox.Genes)

    # Registro população

```

```

toolbox.register("Populacao", tools.initRepeat, list,
                toolbox.Individuos)
pop = toolbox.Populacao(n=50)

# Registro operadores

# CrossOver
# Partially Matched Crossover (PMX): realiza trocas no sentido de
  pai1 para pai2 e depois no sentido inverso, isto é, de pai2 para
  pai1.
# Essa técnica evita cromossomos inválidos, ou seja, não terão genes
  iguais no mesmo cromossomo (evita que o cromossomo possua o mesmo
  caminho mais de uma vez na fila)
toolbox.register("mate", tools.cxPartiallyMatched)

# Mutação
# Order-Based Mutation: troca o elemento da posição i com o elemento
  na posição j (também evita que o cromossomo possua o mesmo caminho
  mais de uma vez na fila)
toolbox.register("mutate", tools.mutShuffleIndexes, indpb = 0.2)

# Seleção
# Torneio: seleciona um grupo de k indivíduos aleatórios. Após a
  seleção destes indivíduos, selecione aquele que possui a melhor
  aptidão
toolbox.register("select", tools.selTournament, tournsize = 2)

# Descrevendo o cenário do terminal de armazenamento e distribuição
  modelado (infraestrutura: baias e tanques e; importância de cada
  categoria comercial)

# Estrutura da lista "baias":
# baias = [[operação1_baia1, operação2_baia1, operaçãoN_baia1],
#           [operação_baia2, operação2_baia2, operaçãoN_baia2],
#           .
#           .
#           [operação1_baiaN, operação2_baiaN, operaçãoN_baiaN]]

baias = [{"d_gasolina", "d_hidratado", "d_s10"},
         ["c_gasolina", "c_hidratado", "c_s10", "d_gasolina", "d_s10",
          "d_anidro", "d_biodiesel"],
         ["c_gasolina", "d_hidratado", "d_s10"],
         ["c_s10", "d_gasolina", "d_hidratado"],
         ["c_hidratado", "c_s10", "d_gasolina"]]

# Estrutura do dicionário "fatores":
# fatores = {"categoria_comercial1": fator1,
#            "categoria_comercial2": fator2,

```

```

#         .
#         .
#         "categoria_comercialN": fatorN}
fatores = {"Venda":0,
           "Compra":0,
           "Expede Transferencia":0,
           "Recebe Transferencia":0}

# Definindo a função de aptidão (É necessário definir a função de
# aptidão para informar o algoritmo como avaliar cada indivíduo
# gerado)
def aptidao(individuo):

    # Estrutura da lista "tanques":
    # tanques = [[produto_tanque1, capacidade_max1, volume_atual1],
    #            [produto_tanque2, capacidade_max2, volume_atual2],
    #            .
    #            .
    #            [produto_tanqueN, capacidade_maxN, volume_atualN]]

    tanques = [ ["Gasolina", 2500000, 1800000],
                 ["Etanol Hidratado", 2500000, 1800000],
                 ["Diesel S10", 2500000, 1800000],
                 ["Etanol Anidro", 1000000, 500000],
                 ["Biodiesel", 1000000, 500000]]

    avaliacao = 0 # Inicia a variável "avaliacao"
    gene = 0 # Inicia o contador do while no primeiro gene do individuo

    while gene < len(baias): # Vai calcular a aptidão apenas dos
                             # caminhões selecionados para alguma baia
                             # (se são 5 baias, calcula os 5 primeiros
                             # caminhões)

        for baia in range(len(baias)): # Confere baia por baia
            if gene == baia: # Garante que o gene 1 será avaliado com a
                             # baia 1, o gene 2 com a baia 2... gene n com
                             # a baia n
                for operacao in range(len(baias[baia])): # Confere operacao
                                                           # por operacao de
                                                           # cada baia
                    if lista_caminhoes[individuo[baia]][4] ==
                       baias[baia][operacao]: # Se o gene for
                                                # carregar/d Descarregar um produto
                                                # disponível na baia
                        avaliacao = ((avaliacao) +
                                     (lista_caminhoes[individuo[baia]][5]) +

```

```

        (fatores[lista_caminhoes[individuo[gene]][1]
         ] * lista_caminhoes[individuo[gene]][5]) +
        (1000 * (1+(num_caminhoes-
         lista_caminhoes[individuo[gene]][0]))/num_ca
         minhoes))
    # Atualizando volume dos tanques
    for tanque in range(len(tanques)):
        if lista_caminhoes[individuo[gene]][3] ==
tanques[tanque][0]:
            if lista_caminhoes[individuo[gene]][2] ==
"Carregamento":

                tanques[tanque][2] = tanques[tanque][2] -
                    lista_caminhoes[individuo[gene]
                    ][5] # Ao carregar um caminhão,
                    o volume do tanque diminui

            else:
                tanques[tanque][2] = tanques[tanque][2] +
                    lista_caminhoes[individuo[gene]
                    ][5] # Ao descarregar um
                    caminhão, o volume do tanque
                    aumenta)

    gene = gene + 1 # Selecionando o próximo gene para passar pela
                    avaliação

    # Penalização em caso de extrapolar a capacidade máxima dos tanques
    ou zerar o volume dos tanques
    for tanque in range(len(tanques)):
        if tanques[tanque][2] > tanques[tanque][1] or tanques[tanque][2]
        < 100000 : # 100000 é um valor de segurança para não acabar o
        produto no tanque (evita problemas operacionais)
            avaliacao = 1

    return avaliacao, # Na biblioteca DEAP é esperado uma tupla no
                    retorno da função de aptidão

# Registro função de aptidão
toolbox.register("evaluate", aptidao)

# Definir a função que dirá quais dados estatísticos serão salvos de
cada população/indivíduo
def estatisticaSalvar(individuo):
    return individuo.fitness.values # Retornará o valor de fitness de
                                    cada indivíduo

```



```

# Estatísticas
estatistica = tools.Statistics(estatisticaSalvar) # Criando o objeto
                                                    # para registrar os
                                                    # valores de
                                                    # fitness de todos
                                                    # indivíduos de
                                                    # todas gerações

estatistica.register('mean', np.mean) # Usando o numpy para calcular
                                       # a média
estatistica.register('max', np.max) # Usando o numpy para pegar o
                                       # valor máximo

# Hall of fame
# Dentro da DEAP podemos criar o hall da fama, onde selecionamos n
# melhores indivíduos entre todas gerações
hof = tools.HallOfFame(1) # O número dentro do parênteses indica
                           # quantos n melhores indivíduos serão
                           # selecionados para o hall da fama

# Executando o algoritmo
result, log = algorithms.eaSimple(pop,
                                  toolbox,
                                  cxpb = prob_crossover,
                                  mutpb = prob_mutacao,
                                  stats = estatistica,
                                  ngen = num_geracao,
                                  halloffame = hof,
                                  verbose = False) # verbose = False
                                                    # omitirá os logs
                                                    # durante a
                                                    # execução

# Imprimindo caminhões e respectivas baias
print("-----")
print("\nREALIZAÇÃO APRIMORADA DE MANEJO E PLANEJAMENTO
ASSISTIDO\nPOSIÇÃO: %d\n" % (posicao_fila_baia))
for baia in range(len(baias)):
    print("Baia %d: Caminhão placa %s | %s de %d litros de %s\n" %
          ((baia+1), lista_caminhoes[hof[0][baia]][6],
           lista_caminhoes[hof[0][baia]][2], lista_caminhoes[hof[0][baia]][5],
           lista_caminhoes[hof[0][baia]][3]))
print("-----")

# Removendo os caminhões selecionados na execução atual
caminhoes_selecionados = []
limite = 0

```

```
for caminhao in range(len(baias)):
    if limite <= 5:
        caminhos_selecionados.append(hof[0][caminhao])
        limite+=1

caminhos_selecionados.sort(reverse = True)

for posicao in caminhos_selecionados:
    del lista_caminhos[posicao]

posicao_fila_baia = posicao_fila_baia + 1
```

## **APÊNDICE B – Aplicação no cenário extra**

## APÊNDICE B – APLICAÇÃO NO CENÁRIO EXTRA

A fim de avaliar o R.A.M.P.A. em situações combinatórias bastante extremas, foi criado um cenário hipotético extra que, apesar de improvável em um cenário real, será capaz de mostrar seu poder enquanto algoritmo metaheurístico.

Para isso foi repetido o primeiro cenário hipotético com duas alterações: quadruplicando a lista de caminhões-tanque e sequenciando a quantidade de caminhões-tanque necessária para um dia inteiro de operação do terminal de armazenamento e distribuição.

Considerando que, inicialmente, a lista de caminhões-tanque possuía 22 caminhões-tanque, com a alteração a lista passa a ter 88. Além disso, ao considerar que o terminal de armazenamento de distribuição opera por 15 horas (dois turnos de 8 horas menos 1 hora para procedimentos administrativos de abertura e fechamento) e cada operação ocorre, em média, em 1 hora e 15 minutos, são necessárias 12 execuções do algoritmo para atingir o objetivo.

Para se ter melhor dimensão do tamanho do cenário, calculou-se, através de coeficiente binomial (equação 4), a quantidade de combinações possíveis.

$$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (4)$$

Onde:

- n: número total de elementos disponíveis;
- k: número total de elementos a serem escolhidos.

Para o cenário em questão, temos n igual a 88 e k igual a 60. Ao calcular, tem-se, aproximadamente  $7,3 \times 10^{22}$  combinações possíveis.

### B.1 Resultados

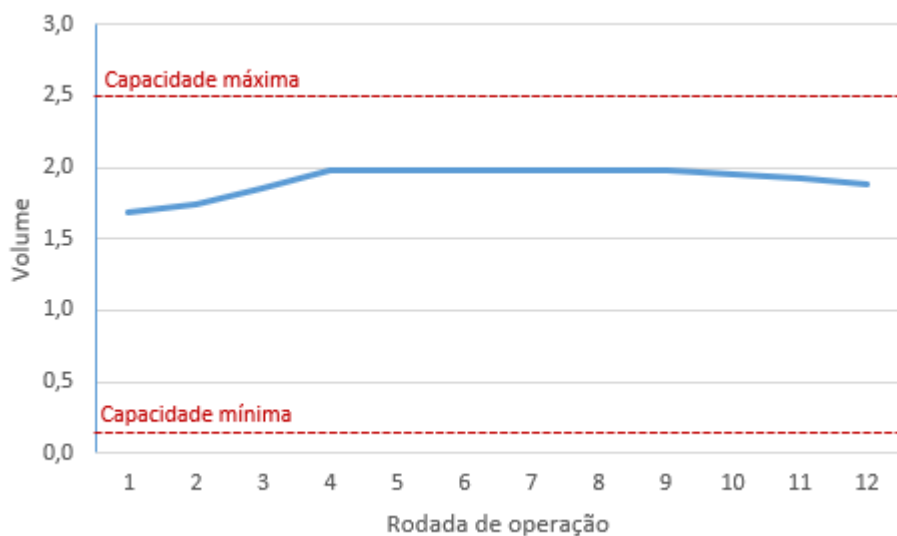
Nessa subseção serão apresentados os resultados da aplicação no cenário extra. O Quadro 36 apresenta o sequenciamento completo realizado pelo algoritmo indicando a placa do caminhão-tanque e sua respectiva posição em uma das baias do terminal de armazenamento e distribuição.

**Quadro 36 - Sequenciamento de operações de carga e descarga no cenário extra**

	Baia 1	Baia 2	Baia 3	Baia 4	Baia 5
Na baia	ABC-0008	ABC-0017	ABC-0018	ABC-0029	ABC-0007
2	ABC-0030	ABC-0009	ABC-0019	ABC-0040	ABC-0039
3	ABC-0041	ABC-0031	ABC-0052	ABC-0051	ABC-0061
4	ABC-0062	ABC-0053	ABC-0063	ABC-0073	ABC-0083
5	ABC-0074	ABC-0075	ABC-0085	ABC-0084	ABC-0020
6	ABC-0021	ABC-0010	ABC-0011	ABC-0004	ABC-0022
7	ABC-0033	ABC-0032	ABC-0043	ABC-0015	ABC-0042
8	ABC-0055	ABC-0054	ABC-0065	ABC-0026	ABC-0044
9	ABC-0077	ABC-0064	ABC-0087	ABC-0037	ABC-0066
10	ABC-0028	ABC-0076	ABC-0002	ABC-0048	ABC-0086
11	ABC-0001	ABC-0006	ABC-0013	ABC-0059	ABC-0088
12	ABC-0056	ABC-0050	ABC-0024	ABC-0070	ABC-0003

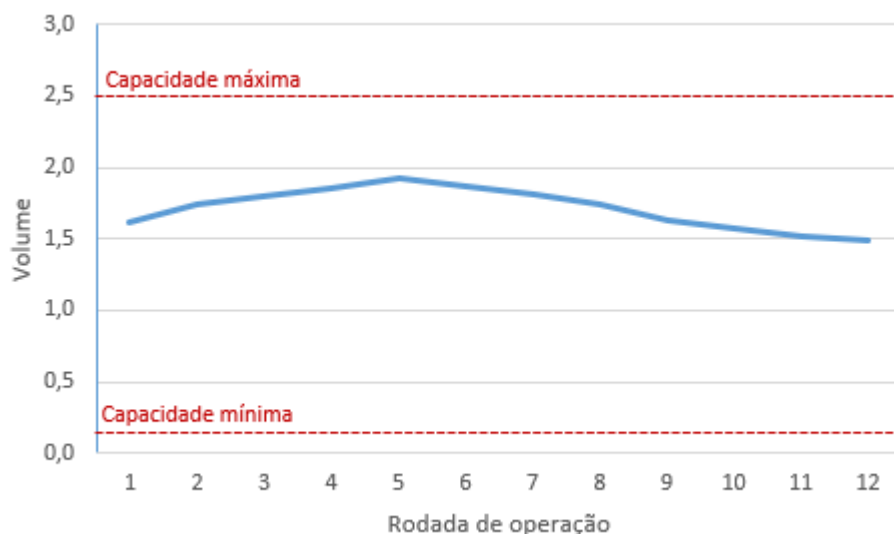
Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 14 mostra a evolução do volume no tanque de armazenamento de gasolina ao longo das rodadas de operação.

**Gráfico 14 - Evolução do volume no tanque de gasolina (em milhões de litros)**

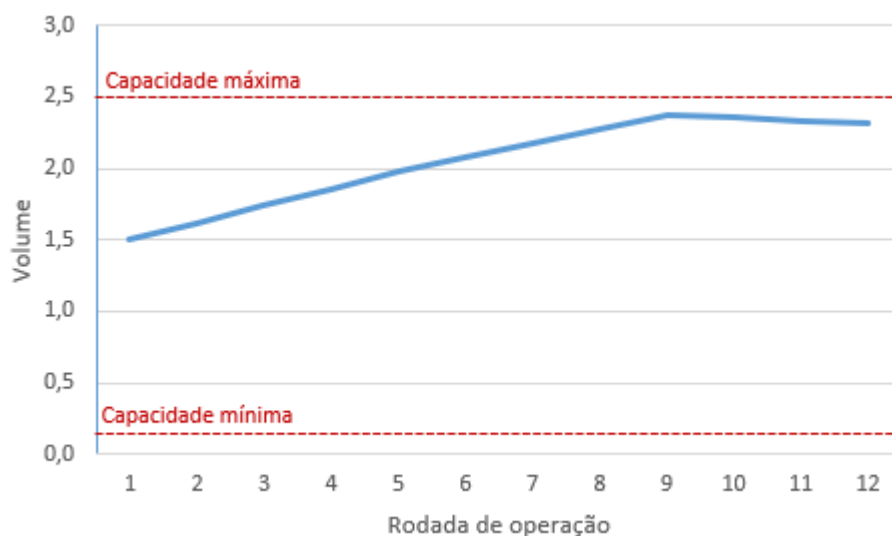
Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 15 mostra a evolução do volume no tanque de armazenamento de etanol hidratado ao longo das rodadas de operação.

**Gráfico 15 - Evolução do volume no tanque de etanol hidratado (em milhões de litros)**

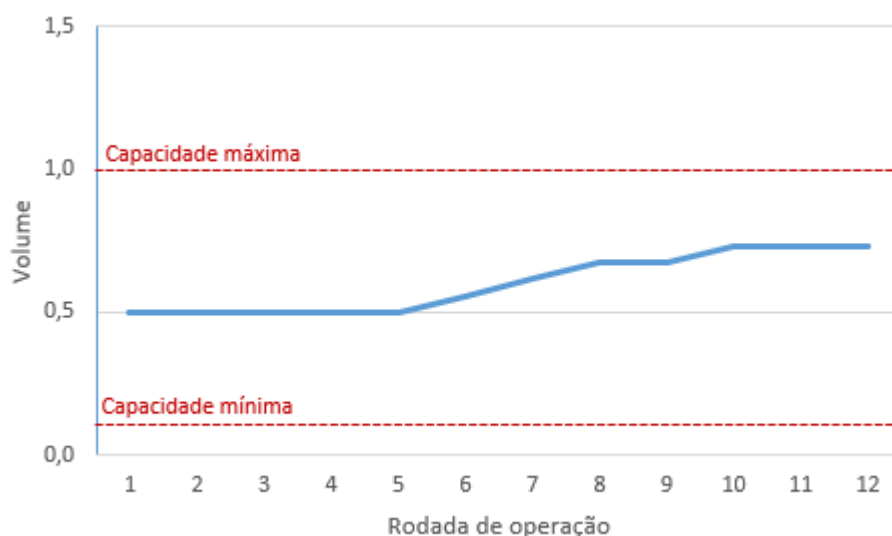
Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 16 mostra a evolução do volume no tanque de armazenamento de diesel S10 ao longo das rodadas de operação.

**Gráfico 16 - Evolução do volume no tanque de diesel S10 (em milhões de litros)**

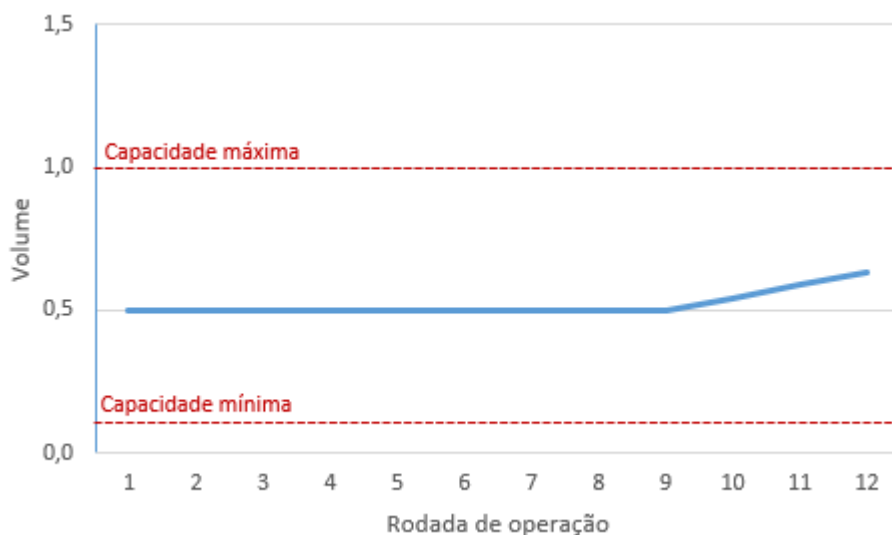
Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 17 mostra a evolução do volume do tanque de armazenamento de etanol anidro ao longo das rodadas de operação.

**Gráfico 17 - Evolução do volume no tanque de etanol anidro (em milhões de litros)**

Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim, o Gráfico 18 mostra a evolução do volume do tanque de armazenamento de biodiesel ao longo das rodadas de operação.

**Gráfico 18 - Evolução do volume no tanque de biodiesel (em milhões de litros)**

Fonte: Autoria própria (2023)

O Google Colab registrou um tempo de execução de 51,153 segundos para concluir o sequenciamento total de um dia de operação do terminal de armazenamento e distribuição. Ao verificar os gráficos de evolução do volume observa-se que, ao longo de todo o sequenciamento planejado, não será extrapolada nenhuma restrição relacionada aos volumes dos tanques de armazenamento.