

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE - CTJ

Maiko Andrei Nienkotter

**Proposta de um modelo heurístico para a roteirização de empilhadeiras  
em um armazém de grande porte**

Joinville, 2017

Maiko Andrei Nienkotter

**Proposta de um modelo heurístico para a roteirização de empilhadeiras  
em um armazém de grande porte**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística no Departamento de Engenharias da Mobilidade do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Profa. Dra. Eng. Vanina Macowski Durski  
Silva

Joinville, 2017

Maiko Andrei Nienkotter

**Proposta de um modelo heurístico para a roteirização de empilhadeiras  
em um armazém de grande porte**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em  
Engenharia de Transportes e Logística no  
Departamento de Engenharias da  
Mobilidade do Centro Tecnológico de  
Joinville da Universidade Federal de Santa  
Catarina.

Joinville, 21 de junho de 2017.

---

Profa. Dra. Eng. Vanina Macowski Durski Silva  
Orientadora

---

Profa. Dra. Eng. Christiane Wenck Nogueira Fernandes  
Membro 1

---

Prof. Dr. Eng. Cassiano Augusto Isler  
Membro 2

Joinville, 2017

## AGRADECIMENTOS

Sou grato primeiramente a Deus, o Senhor e Salvador de minha vida, por sempre mostrar seu cuidado e me guiar nesta árdua jornada.

Agradeço a meus pais, Volney e Cristiane, e meu irmão, Alex, pelo apoio financeiro, pela compreensão em minhas derrotas, pelos incentivos para vence-las, pelo amor, pela dedicação e pelo exemplo de integridade e trabalho duro que sempre me foi dado.

Agradeço a minha esposa, Yohana, minha eterna paixão, por estar ao meu lado em todos os momentos, compartilhando das minhas alegrias, suportando meus mau-humores, ouvindo meus desabafos, aconselhando-me quando angustiado. Você é um sonho que se tornou realidade e que quero viver pelo resto de minha vida.

A Professora Vanina, minha orientadora, agradeço por sua contribuição em minha vida, assim como, a paciência e compreensão na elaboração deste trabalho.

Sou demasiadamente grato aos Professores do curso de Engenharia de Transportes e Logística, em especial aqueles que se tornaram como amigos para mim, Professora Silvia, Professora Christiane, Professora Simone e Professor Cassiano.

Agradeço aos meus amigos Jan, Laís, Douglas, Saulo, Paulo Ricardo e Nayara pelas muitas boas conversas e parcerias de estudo. Vou levar para sempre a amizade construída com vocês.

A todos os amigos do Chi Alpha – UFSC, obrigado pelo companherismo que tive a oportunidade de desfrutar com vocês em muitos momentos, que com certeza não serão esquecidos. O apoio de vocês foi fundamental para minha formação.

Agradeço aos demais amigos e familiares, pelo carinho, pelo suporte e pela torcida de todos.

## RESUMO

Em um cenário econômico cada vez mais competitivo, cadeias de suprimento são desafiadas a se tornarem mais produtivas, agregando valor às atividades e assim, os custos se mantêm, ou até mesmo, são reduzidos. Neste contexto, a logística deixa de ser uma área com potencial para redução de custos e passa a ser vista como capaz de ser um diferencial estratégico para as empresas. Os armazéns são um dos mais importantes nós logísticos em uma cadeia de suprimentos, não apenas pela representatividade nos custos, mas também por sua importância no equilíbrio que este pode gerar entre as demandas de vendas e a capacidade produtiva. Quando se busca maior produtividade nas atividades de um armazém, a movimentação de produtos são as que recebem maior atenção, porque representam grande parte dos custos operacionais. Este trabalho busca, por meio de um modelo heurístico baseado no algoritmo de Clark & Wright, analisar as rotas das empilhadeiras de um armazém de grande porte, procurando reorganizar as tarefas de *picking* e armazenamento de forma conjunta. Os resultados obtidos mostram que, dentro do modelo de trabalho empregado no armazém, não é possível captar redução nos custos com a implantação do modelo proposto.

Palavras-chave: Roteirização de empilhadeiras, Métodos heurísticos, Armazém, Centro de Distribuição, Logística.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de atividades em um armazém de produtos acabados.....	14
Figura 2: Exemplo do Método de Clark & Wright .....	19
Figura 3: Demonstração das regras utilizadas para armazenagem dos produtos de acordo com a fábrica de origem do produto.....	21
Figura 4: Exemplo das atividades de empilhadeiras .....	22
Figura 5: Exemplificação de diferentes janelas de tempo .....	24
Figura 6: Exemplo de comparação entre rotas no cenário atual e cenário proposto antes e depois da aplicação do método heurístico. ....	25
Figura 7: Demonstração da lógica de permutação de ordem e roteirização das atividades .....	26
Figura 8: Fluxograma do método proposto .....	26
Figura 9: Explicativo da representação das posições do armazém em um grafo .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Revisão bibliográfica das abordagens de solução do problema de roteirização de picking .....	18
Tabela 2: Resumo dos resultados da aplicação do modelo heurístico nos cenários ...	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Quantidade de Ordens de Transferência (OT) geradas por hora no dia da amostragem.....	29
Gráfico 2: Tempo médio de processamento relativo a quantidade de OT's .....	30
Gráfico 3: Histograma de quantidade de OT's (barras azuis) e tempo médio de processamento (linha laranja) por janela de tempo no cenário 1 .....	31
Gráfico 4: Hisograma de quantidade de OT's (barras azuis) e tempo de processamento (linha laranja) por janela de tempo no cenário 2. ....	32



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Contextualização .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Objetivo geral.....	11
1.2.2 Objetivos específicos .....	11
<b>1.3. Justificativas .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Estrutura do trabalho .....</b>	<b>12</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Atividades Logísticas em Armazéns .....</b>	<b>13</b>
2.1.1. Recebimento .....	14
2.1.2. Armazenagem .....	15
2.1.3. Picking.....	15
2.1.4. Separação e consolidação.....	16
2.1.5. Carregamento.....	16
<b>2.2. Roteirização de empilhadeiras .....</b>	<b>16</b>
<b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. A empresa .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Fluxo de atividades logísticas do armazém.....</b>	<b>20</b>
3.2.1. Modelo heurístico proposto.....	23
3.2.2. Coleta de dados .....	27
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Tempo de processamento .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2. Cenário Atual .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3. Cenário 1 .....</b>	<b>31</b>
<b>4.4. Cenário 2.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1. Trabalhos futuros .....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO A - Comparação entre rotas do Cenário Atual e Cenário Proposto 1 .....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO B - Comparação entre rotas do Cenário Atual e Cenário Proposto 2.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO C - Código do arquivo "main.py" .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO D - Código do arquivo "functions.py" .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO E - Código do arquivo "OD_Matrix.py" .....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização

Ao estudar a história da humanidade é possível notar que, ao deixar de ser nômade o homem fomentou o estabelecimento de regiões consumidoras e regiões produtoras (Ballou, 2006a) e à medida que sistemas logísticos fossem aperfeiçoados o processo de intercâmbio poderia se estabelecer entre regiões mais distantes, gerando demanda pelo trânsito de bens entre regiões, dando início às primeiras atividades logísticas.

A eficiência logística, desde então, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico de uma região e na qualidade de vida. Tal eficiência, conforme aponta Silva (2012) é um fator que se tornou estratégico para a sobrevivência das empresas na atualidade. Dessa maneira, na busca por vantagens competitivas na logística é necessário entender quais os componentes com maior representatividade nos custos logísticos. Para Laidens e Teles (2007) os custos de transporte e de manutenção de estoque totalizam de 80% a 90% de todos os custos logísticos.

Os custos de transporte referem-se ao dispêndio de recursos necessários para disponibilizar o produto onde o cliente deseja, já o custo de armazenagem incorre da necessidade de manter o produto disponível ao cliente. No que tange à armazenagem de produtos, esta atividade se resume em duas funções, estocagem e manuseio de produtos, sendo que ambas demandam grande quantidade de equipamentos e mão-de-obra (BALLOU, 2006; RAMAA *et al.*, 2012).

A função de estocagem é composta pelo recebimento e armazenagem de produtos, já a função de manuseio é responsável pela coleta dos produtos no estoque (*picking*), a consolidação, conferência e carregamento dos produtos (DE KOSTER *et al.*, 2007).

Atentando-se à atividade de *picking*, onde se tem por objetivo efetuar a identificação de um dado produto em um armazém em um local, disponibilizando-o em outro local (seja o transporte realizado via equipamento ou via operário percorrendo a distância entre os dois locais), estes representam, de acordo com Theys *et al.* (2010),

de 55% a 65% do total de custos operacionais incorridos de um armazém logístico. Atribui-se a esses custos diversas razões como *lay-out* do armazém, o sistema de *picking*, tempo para coleta do item, tempo de conferência, velocidade e distância (DE KOSTER *et al.*, 1999) e de acordo com Tompkins et al. (1996) o tempo de percurso, em geral, é responsável por metade do tempo de *picking*, o que inclui, deslocamentos e tempos desnecessários percorridos no decorrer da realização de rotas para o atendimento das solicitações de coletas de produtos.

Considerando a expressividade dos custos envolvidos na atividade de *picking*, o presente trabalho apresenta um método heurístico para a reorganização das tarefas de armazenagem e *picking* de produtos, buscando reduzir as distâncias percorridas nas rotas das empilhadeiras, através da aplicação de um algoritmo de roteirização.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Propor um algoritmo de roteirização de empilhadeiras para a realização das atividades de *picking* e armazenagem de produtos em um armazém de grande porte.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Especificar as principais operações realizadas no armazém a serem consideradas no modelo de roteirização das empilhadeiras;
- Propor um algoritmo para a roteirização de armazenamento e *picking* do armazém em estudo;
- Desenvolver computacionalmente em linguagem de programação *Python* um algoritmo para a definição das rotas de empilhadeiras.
- Comparar o cenário atual com o cenário proposto através da aplicação do modelo heurístico em um dia típico de operação do armazém.

## **1.3. Justificativas**

Com o desenvolvimento deste trabalho busca-se a proposta de uma ferramenta que auxilie no aumento da eficiência operacional nos processos de armazenagem e *picking* de material, dado a representatividade que estes tem nos custos de um armazém. Tornando assim, a operação logística mais robusta e competitiva no cenário econômico. Busca-se com o estudo reduzir ou até mesmo eliminar os deslocamentos desnecessários. Desta forma, é possível reduzir o consumo de combustível e a

depreciação das empilhadeiras, agregando valor ao processo produtivo e ao mesmo tempo, reduzindo o impacto ambiental inerente à operação, contribuindo para uma sociedade mais sustentável.

De maneira complementar, busca-se contribuir também cientificamente, apontando, através de uma estratégia diferenciada das encontradas na literatura, um modelo heurístico que analise simultaneamente as atividades de armazenamento e picking, buscando a redução de distâncias percorridas por empilhadeiras no armazém estudado.

#### **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho é composto por 5 capítulos, incluindo este, introdutório. Posteriormente, no capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica do trabalho onde se discorre à respeito das atividades que usualmente ocorrem em um armazém, com destaque para o picking e armazenamento de produtos, que são o foco deste trabalho, em seguida aborda-se também os métodos de modelagem e solução dos problemas de roteirização, onde explana-se os métodos heurísticos e se apresenta os principais trabalhos encontrados à respeito de roteirização de empilhadeiras.

No capítulo 3, de forma breve se apresenta a empresa em estudo, dando enfoque no detalhamento da operação do armazém, assim como na elaboração das bases de dados necessárias e à construção do modelo proposto no trabalho.

Por seguinte, no capítulo 4 são apresentados os resultados da aplicação do modelo, onde analisa-se a performance do método heurístico utilizado e também, os impactos dos resultados na distância percorrida pelas empilhadeiras, bem como nos custos do armazém. Na sequência, as considerações finais são levantadas no capítulo 5, apontando os motivos para o modelo proposto não apresentar potencial para aplicação no armazém em estudo e recomendações para trabalhos futuros são apresentadas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Atividades Logísticas em Armazéns**

Armazéns são partes integrante de Cadeias de Suprimento e, de acordo com Ballou (2006a), desempenham um papel estratégico envolvendo diversas etapas do processo de transformação, podendo ser classificado de acordo com:

- Estágio de produção: matéria-prima, material em produção e produtos acabados;
- Regiões geográficas: local atendendo regiões, ou regional atendendo um ou mais países;
- Tipo de produtos: peças, produtos, pequenas peças etc;
- Função: inventário, depósito de produtos acabados, centros de distribuição etc;
- Propriedade: própria ou de terceiros;
- Uso: exclusivo ou compartilhado;
- Tamanho: limites horizontais para armazenagem;
- Altura: limites verticais para armazenagem;
- Operação: variando de completamente manual à completamente automatizado;

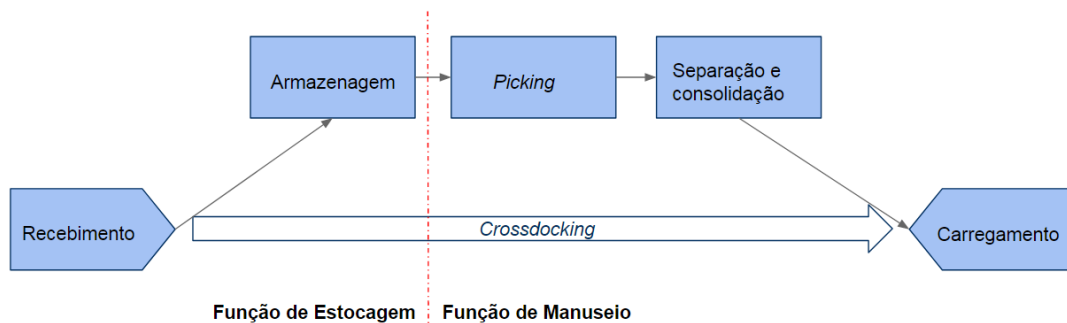
Armazéns atuam como nós conectores no fluxo de materiais entre a manufatura e o cliente final (Ramaa et al., 2012). Ballou (2006a) aponta quatro razões estratégias para a armazenagem:

- Redução dos custos de transporte e produção, onde compensa-se os custos de armazenagem através da consolidação de produtos; sendo possível ter um lote produzido a um menor custo de fabricação e a melhor ocupação de um veículo na distribuição;
- Coordenar oferta e demanda, principalmente quando há grande variação nos volumes de vendas (devido a sazonalidades, a existência de estoques de produtos acabados reduz a ocorrência de picos e vales na capacidade produtiva);

- Assessorar no processo de produção, para que o processo produtivo possa ser acelerado ou o *leadtime* (ou seja, a diferença de tempo entre a saída do produto e a entrada de matéria-prima na linha de produção) reduzido. Serviços que agreguem valor ao produto podem acontecer no armazém, como por exemplo, envelhecimento de vinhos e queijos, remanufatura, personalização etc.
- Colaborar no processo de comercialização, reduzindo o tempo de espera do cliente pelo produto.

No fluxo de atividades de um armazém é possível perceber duas funções principais de estocagem e de manuseio de produtos, conforme sintetiza a Figura 1 e detalha-se na sequência do trabalho (BALLOU, 2006a; RAMAA et al., 2012).

Figura 1: Fluxo de atividades em um armazém de produtos acabados.



Fonte: adaptado de de Koster et al. (2007).

### 2.1.1. Recebimento

A entrada de produtos em um armazém pode se dar através da saída direta da linha de produção ou por transferência, provenientes tanto de outras plantas como de fornecedores, como no caso de varejistas.

Quando a entrada é proveniente de uma linha de produção, os produtos são identificados, normalmente através da leitura de código de barras, e organizados para que as empilhadeiras possam recolhê-los e levá-los à posição designada no estoque. Entretanto, quando a entrada ocorre por transferência, esta é primeiramente agendada e são necessárias inspeções na chegada do veículo que contém os produtos. Quando se trata de produtos provenientes de importação, por motivos de segurança, mais de uma inspeção pode ser exigida. Finalmente o veículo estaciona à doca e os produtos são descarregados e levados às devidas posições do estoque (RUSHTON et al., 2010).

### 2.1.2. Armazenagem

Consiste na alocação dos produtos recebidos no armazém de maneira estratégica, visando a máxima ocupação da área de armazenagem, a redução de custos de inventário e a maior produtividade na movimentação.

Conforme o tipo de SKU (*Stock Keeping Unity* – Unidade de Armazenagem em Estoque) há diversas maneiras de acomodá-los no armazém, sendo a mais comum o uso de pallets, porém, produtos pequenos podem ser armazenados em caixas e os maiores muitas vezes são considerados um único SKU, não utilizando nenhuma outra estrutura para armazenagem. Os SKU's podem ser tanto empilhados quanto colocados em estruturas, como prateleiras, dependendo sempre do produto que está sendo manuseado (RUSHTON et al., 2010).

### 2.1.3. *Picking*

A atividade de coleta do produto, também conhecida por *picking*, tem por objetivo trazer à separação/consolidação os produtos já armazenados. Para Barros (2005), o grau de complexidade da atividade varia conforme o número de unidades na lista de pedidos, o intervalo entre listas de pedidos e a quantidade de listas no período. O referido autor aponta ainda que a operação pode ser organizada de diversas maneiras, sendo as principais:

- *Picking* discreto: Que ocorre quando coleta-se apenas um material por vez, isso pois as dimensões dos SKU's ou a forma como estão embalados restringem o *picking* de diferentes modelos em uma só viagem. Neste caso, apenas uma posição do estoque é visitada por vez e normalmente a coleta acontece com o uso de empilhadeiras.
- *Picking* por lote: Por sua vez, agrupa diversos pedidos em uma só ordem de *picking*, permitindo maior produtividade, porém, agregando complexidade, podendo gerar mais erros.
- *Picking* por zona: Neste caso, cada grupo de operador é restrito a realizar a coleta de pedidos em uma área específica do armazém, logo para um único carregamento mais de um operador pode estar envolvido no *picking* dos produtos. Este método permite a redução das distâncias percorridas, mas, apresenta dificuldade no balanceamento das atividades entre as zonas.
- *Picking* por onda: Este permite tanto a coleta discreta como agrupada de produtos, porém, a organização do *picking* acontece por turnos, ou seja, em cada faixa de horário tipos específicos de produtos são agrupadas para o *picking*.

#### 2.1.4. Separação e consolidação

Uma vez coletados na atividade de picking, os produtos precisam ser separados e agrupados de acordo com o pedido do cliente. Neste momento os produtos são conferidos, normalmente através da leitura de código de barras. Não comumente, há casos em que se utilizam métodos manuais. Posterior à conferência, os produtos podem passar por processo de embalagem, etiquetagem ou outros, e então seguem para o carregamento (RUSHTON et al., 2010).

#### 2.1.5. Carregamento

Após a consolidação os produtos são disponibilizados ao carregamento, onde estes são preparados para o carregamento. Neste momento é necessário etiquetá-los com informações da entrega. Quando os produtos são colocados em pallets, normalmente estes são embalados para realizar o manuseio e transporte com segurança, em outros casos, quando possível e preciso os produtos são amarrados com cintas.

A colocação dos produtos no carro segue uma estratégia que considera o peso dos produtos e a ordem de entrega visando a redução dos desperdícios devido à distância que o veículo percorre com a ocupação menor que sua capacidade máxima de carga. Nesta etapa, conforme o produto, diversas são as maneiras para o manuseio dos mesmos, podendo-se utilizar apenas recursos humanos, assim como, carros tubulares, macacos hidráulicos, empilhadeiras, entre outros recursos (RUSHTON et al., 2010). Uma vez encerrado o carregamento, os documentos fiscais devem ser preparados para que, então, possa deixar o pátio do armazém.

### **2.2. Roteirização de empilhadeiras**

Considerando apenas o *picking* de produtos, este representa cerca de 55% dos deslocamento de um armazém, como apontado por Theys et al. (2010). Por ter, junto com a atividade de armazenamento, grande representatividade nos custos operacionais, a movimentação de produtos em um armazém deve acontecer de forma inteligente, potencializando a redução de desperdícios.

Para de Koster et al. (2007), a redução das distâncias percorridas pode acontecer por quatro meios: categorização do armazém; zoneamento do armazém; agrupamento de pedidos e roteirização do *picking*.



Quando se analisa a roteirização do picking, o problema consiste na determinação da ótima sequência e rota de coleta de produtos dado as restrições do *lay-out* do armazém e dos métodos de trabalho (VAN NIEUWENHUYSE; DE KOSTER, 2009).

São diversas as abordagens para solucionar o problema de roteirização do picking. De Koster et al. (1999) apresentam um algoritmo exato para a solução do problema, onde alcançou-se de 17% a 34% de redução no tempo de caminhada para o picking. Cortés et al. (2017) aplicam diversas metaheurísticas baseadas na busca Tabu, onde se considera uma frota de equipamentos com diversas capacidades, com o objetivo de apresentar um modelo robusto, com diversas considerações e restrições, que, ao mesmo tempo se apresentasse eficiente computacionalmente. Lu et al. (2016) apresentam um algoritmo intervencionista, que leva em consideração a dinamicidade na criação das tarefas.

Conforme afirmam de Koster et al. (2007), para a solução do problema é possível expressar o armazém matematicamente como um grafo, onde as posições e as docas são vértices, já as arestas representam as ruas que ligam estas posições. Desta forma, para que o problema seja solucionado como uma variante do Problema do Caixeiro Viajante (*Steiner Travel Salesman Problem*) é aplicada, onde, uma rota que se inicia e termina na doca, deve atender todas as demandas criadas, com o menor custo, podendo visitar um vértice ou cruzar uma aresta mais de uma vez se necessário. Os autores apontam que uma desvantagem da abordagem exata desenvolvida por eles é a não existência de modelos para todos os *lay-outs* de armazéns, assim como não é possível levar em consideração o congestionamento de ruas.

Na Tabela 1 encontra-se um resumo da revisão bibliográfica elaborada à respeito deste tema, identificando-se as abordagens de solução dadas aos problemas em estudo.

Nos trabalhos encontrados, abordou-se o problema de *picking*, quando este, gera uma lista de produtos que devem ser coletados em várias posições do estoque em apenas uma viagem. Porém, não se encontrou referências que estudassem a roteirização de *picking*, quando este, obrigatoriamente, coleta produtos em apenas uma posição em cada viagem.

No que diz respeito à armazenagem de produtos, a literatura encontrada concentra-se no aprimoramento operacional através do apontamento das posições mais adequadas para armazenar os produtos conforme o respectivo volume de expedição (DE KOSTER et al., 2007; ZHANG, 2016), não sendo encontrado trabalhos que busquem as roteirizações das tarefas desta atividade. Assim como, não foi encontrado

material com proposta de modelos que, simultaneamente, roteirizassem as atividades de armazenamento e *picking* de produtos.

Tabela 1: Resumo da revisão bibliográfica sobre o problema de roteirização de picking.

Abordagem de solução	Referências
Heurística; Busca Tabu.	Daniels <i>et al.</i> (1998), Rubrico <i>et al.</i> (2008), Henn (2012), Henn; Wascher (2012), Kulak <i>et al.</i> (2012), Cortes <i>et al.</i> (2017).
Heurística; Formato-S, Maior Gap e Híbrido.	Petersen; Schmenner (1999), de Koster <i>et al.</i> (1999), Albareda-Sambola <i>et al.</i> (2009), Menendez <i>et al.</i> (2017).
Heurística; Algoritmo Genético.	Tsai <i>et al.</i> (2008).
Heurística; Busca Local e Subida da Montanha.	Henn; Schmid (2013).
Heurística; Colônia de Formiga.	Chen <i>et al.</i> (2013), Chen <i>et al.</i> (2014), Cheng <i>et al.</i> (2015).
Programação Inteira Mista.	Battini <i>et al.</i> (2015).
Heurística; Enxame de Partículas.	Lin <i>et al.</i> (2016).
Heurística; Algoritmo Intervencionista de Roteirização.	Lu <i>et al.</i> (2016).

Fonte: Adaptado de (CORTÉS *et al.*, 2017)

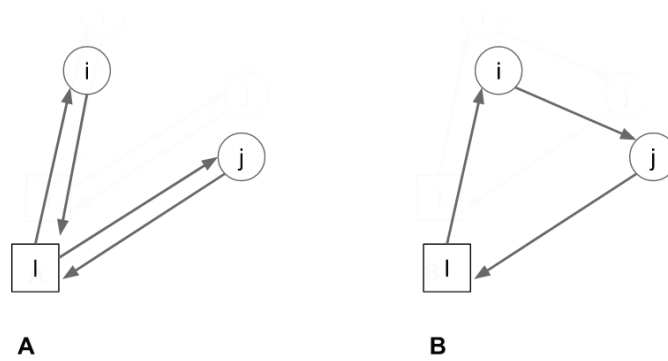
Ao analisar a modelagem do problema de roteirização de empilhadeiras, esta pode ser elaborada considerando o problema como determinístico, ou seja, quando se pode quantificar demandas que serão atendidas previamente, ou considerando o problema como estocástico, quando uma função probabilística rege esta quantificação.

Tradicionalmente, em modelos de roteirização a evolução da demanda é estática. Em outras palavras, são previamente conhecidas, porém esta evolução pode acontecer também de maneira dinâmica, quando as demandas surgem enquanto a roteiro de atividades está sendo realizado (ALLAN, 2000; PILLAC *et al.*, 2011).

No caso deste trabalho, embora o surgimento das demandas por armazenamento e *picking* ocorram enquanto a operação de picking acontece, estas Ordens de Transferências (OT's) são criadas com antecedência ao momento agendado para a execução, permitindo o conhecimento da demanda e sua quantidade. Assim, o problema pode ser modelado de forma determinística e estática, reduzindo a complexidade dos modelos e conseqüentemente do algoritmo proposto neste trabalho.

Para o modelo desenvolvido neste trabalho, busca-se captar as economias através da combinação de rotas do armazenamento e do *picking* e desta forma buscou-se inspiração no algoritmo de Clark & Wright que é exemplificado na Figura 2 (BODIN *et al.*, 1983). Um método exato não foi aplicado devido a grande quantidade de nós e a alta demanda por atividades a serem analisados em tempo sem que os equipamento paralizem as atividades para aguardar a tomada de decisão.

Figura 2: Exemplo do Método de Clark & Wright.



Fonte: Adaptado de Bodin *et al.* (1983).

Neste método duas rotas que compartilham o mesmo local de origem (demonstrado em A na Figura 2), são reorganizadas conforme apontado em B na Figura 2, quando há economia. Esta economia é calculada conforme a Equação 1 através da diferença entre o custo total da rota em A (Equação 2) e do custo total da rota em B (Equação 3). Nas quais,  $c_{li}$  representa o custo da viagem de l até i,  $c_{lj}$  representa o custo da viagem de l até j e  $c_{ij}$  representa o custo da inserção, ou seja do deslocamento entre os pontos i e j.

$$s_{ij} = c_{li} + c_{jl} - c_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Custo}_A = 2 \cdot c_{li} + 2 \cdot c_{lj} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{Custo}_B = c_{jl} + c_{li} + c_{ij} \quad (\text{Eq. 3})$$

O referencial teórico discutido neste capítulo aponta as principais atividades logísticas em um armazém, servindo de apoio para o entendimento das atividades logísticas do armazém em estudo, que serão apresentadas no próximo capítulo. Adicionalmente, as abordagens de solução do problema de roteirização de picking relatadas na literatura supracitada colaboraram na elaboração de um modelo heurístico para a roteirização das atividades de *picking* e armazenamento, cujas quais são foco das atividades deste trabalho.

### **3. ESTUDO DE CASO**

#### **3.1. A empresa**

Para este estudo de caso analisou-se a aplicação da proposta deste trabalho em um dos armazéns de uma multinacional de grande porte do ramo de eletrodomésticos. A empresa em questão, uma das maiores fabricantes do mundo no ramo, atua no mercado brasileiro desde 2000, atendendo em sua maioria, os mercados das Américas do Sul e Central.

A instalação em estudo faz parte de uma das 70 plantas manufatureiras no mundo e trata-se da maior na América Latina, movimentando em média mais de 250 mil produtos por mês em um armazém próprio com mais de 90 mil metros quadrados.

A empresa conta com armazéns próprios e alugados em todas as localidades em que está presente. Ao mesmo tempo que o armazém serve de depósito para consolidação dos produtos acabados, também funciona como Centro de Distribuição Física, atendendo grande parte do território nacional e alguns países vizinhos, assim como, realizando transferências para outros centros de distribuição próprios no Brasil e exterior.

#### **3.2. Fluxo de atividades logísticas do armazém**

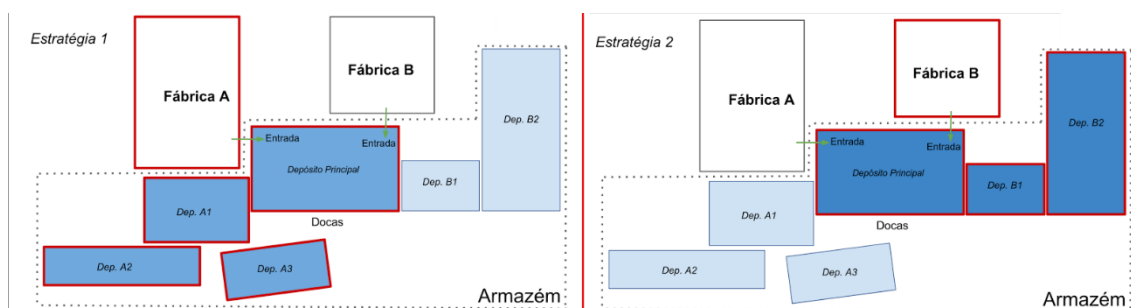
O armazém da empresa estudada não realiza operações de cross-docking, logo, não existe um fluxo alternativo para os produtos, havendo apenas o fluxo padrão de recebimento, armazenagem, picking e carregamento.

Na atual configuração das atividades do armazém em estudo, o fluxo de movimentação dos produtos ocorre de duas maneiras:

1. Descarga de produtos provenientes de outras plantas nacionais ou internacionais, através das docas;
2. Recebimento de produtos acabados oriundos das linhas de produção da unidade fabril anexa ao armazém, este por sua vez acontece por dois pontos de entrada e representa cerca de 90% do volume movimentado.

Na busca por redução nos deslocamentos desnecessários por parte das empilhadeiras, na entrada dos produtos, o local de armazenagem é definido de acordo com a curva ABC, onde os produtos com maior volume de expedição são alocados nas posições mais próximas às docas; paralelamente, leva-se em consideração também o local de entrada dos produtos provenientes da fábrica. A Figura 3 ilustra estas regras de armazenagem, onde os produtos oriundos da fábrica A podem ser alocados no depósito principal, depósitos A1, depósito A2 ou depósito A3, assim como, os produtos de transferência ou produzidos na fábrica B podem ser alocados no depósito principal, depósito B1 ou depósito B2.

Figura 3: Demonstração das regras utilizadas para armazenagem dos produtos de acordo com a fábrica de origem do produto.



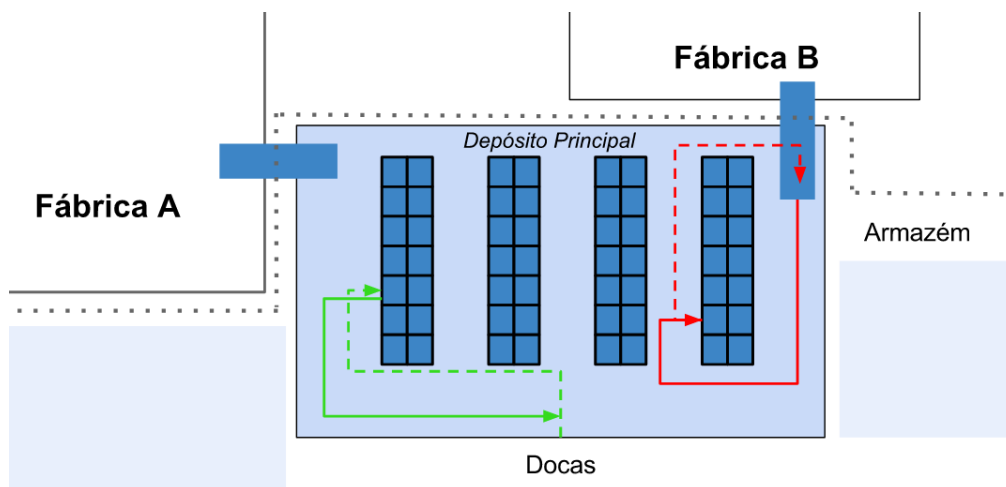
Fonte: Autor.

No momento das chegadas dos produtos provenientes das linhas de produção das fábricas A e B, estes são alocados na entrada da linha de produção e aguardam o momento de armazenamento. Em algumas das linhas essa movimentação é automatizada, já em outras, auxiliares de carregamento utilizam carros tubulares para a movimentação dos produtos.

Como os produtos são agrupados na célula, realiza-se a leitura de código de barras para que o sistema contabilize sua entrada no armazém e gere a Ordem de Transferência (OT) para alocação do produto no depósito.

Conforme mostra a Figura 4, uma vez gerada a OT para armazenamento, o operador de empilhadeira realiza a coleta do produto e o transporta à designada posição do armazém, como ilustra a linha contínua vermelha, posteriormente retornando à posição inicial sem carregar produtos (linha tracejada vermelha), podendo então, iniciar uma nova OT de armazenamento. Neste caso, cada ponto de entrada de produtos é atendido, exclusivamente, por um grupo de empilhadeiras, dedicadas apenas ao armazenamento de produtos.

Figura 4: Exemplo das atividades de empilhadeiras.



Fonte: Autor.

Quando os produtos são vendidos, estes são agrupados em ordens, chamadas de “transporte”, em seguida, o trajeto para entrega dos produtos é estabelecido juntamente com a formação da carga. Tendo o transporte sido criado, este será agendado junto com a transportadora e o armazém. No dia e hora reservados, a transportadora parceira se apresenta no armazém, obrigatoriamente, com 20 minutos de antecedência, a fim de iniciar a atividade de carregamento do caminhão.

A partir deste momento a lista de produtos para picking é gerada no sistema, criando assim uma sequência de OT's a serem atendidas. Neste instante os operadores de picking podem iniciar a busca de produtos no armazém.

Na Figura 4 é possível verificar o atendimento de uma OT de picking que ocorre quando um operador, localizado nas docas, dirige-se até a posição indicada sem produtos sendo carregados, conforme mostra a linha tracejada verde, recolhe os produtos e retorna à doca (linha contínua verde), onde os deixa para o carregamento, encerrando então a OT. Ao fim da atividade de picking os produtos aguardam nas docas, onde um conferente realizará a leitura dos códigos de barras dos produtos para verificar se há falta ou excedente de produtos no carregamento, para então apontá-los no sistema como carregados.

Uma vez conferidos, uma empilhadeira de carregamento movimentará os produtos até os caminhões, onde auxiliares de carregamento realizarão a acomodação e amarração destes produtos. O fim do carregamento é sinalizado através do sistema e neste momento a equipe administrativa realiza o faturamento do transporte, onde o sistema contabiliza a saída dos produtos do armazém. São gerados os documentos

fiscais necessários, como notas fiscais, conhecimento de transporte etc e os veículos são liberados para viagem.

### 3.2.1. Modelo heurístico proposto

No fluxo de atividades descrito na seção anterior é possível notar que em todas as OT's realizadas há movimentos que ocorrem sem que produtos sejam movimentados, como mostram as linhas tracejadas vermelha e verde da Figura 4. Percebe-se então a oportunidade de redução de custos inerentes às atividades de armazenamento e *picking*, que juntas representam 7% do custo total do armazém.

Os operadores de recebimento realizam uma OT que compreende uma viagem de ida com produtos até o local de carregamento e uma viagem de volta sem produtos. Já os operadores de picking realizam uma OT que compreende uma viagem de ida sem produtos e uma viagem de volta com produtos. Desta maneira visualizou-se uma oportunidade de redução da movimentação de empilhadeiras vazias se as duas tarefas fossem combinadas, permitindo que as empilhadeiras fossem compartilhadas, reduzindo a distância que estas percorrem sem carregarem produtos.

O modelo proposto busca analisar simultaneamente as OT's de armazenamento e *picking*, objetivando a geração de economias ao aproveitar uma viagem vazia para realizar outra atividade pendente.

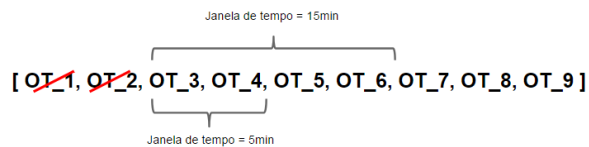
Considerando que, enquanto as empilhadeiras têm seu roteiro definido, novas OT's são criadas, o modelo proposto estabelece janelas de tempo a atuarem como "limitadores temporais" da análise das rotas de atendimento das OT's. Assim, à cada nova iteração do algoritmo, todas as tarefas dentro daquela janela de tempo são reorganizadas.

As janelas de tempo, se restringem a dois fatores: i) a frequência de execução da roteirização, pois há políticas na empresa que restringem o tempo mínimo entre repetições de rotinas computacionais e; ii) o tempo em que se conhece as OT's antes do seu momento de execução (por exemplo, 5 minutos com antecedência).

A Figura 5 ilustra um exemplo, onde, em um dado momento, é possível o conhecimento de 9 OT's (OT\_1 a OT\_9) que deverão ser realizadas. Cada uma delas tendo sido criada em um momento diferente e todas ordenadas de forma crescente. Considera-se que as duas primeiras OT's, OT\_1 e OT\_2 se encontram encerradas porque estas fazem parte da janela de tempo anterior. As demais (OT\_3 a OT\_9), aguardam pela roteirização para seu cumprimento. No caso de utilização de uma janela de tempo de 5 minutos para análise da roteirização das empilhadeiras a serem utilizadas no cumprimento das OT's, apenas as tarefas que estão agendadas para os próximos 5

minutos serão roteirizadas, gerando 2 OT's a serem analisadas (OT\_3 e OT\_4). Se a janela de tempo ter 15 minutos, a quantidade de OT's a serem analisadas aumenta para 4 (OT\_3 a OT\_6). Dessa maneira a extensão da janela de tempo impacta diretamente no esforço computacional necessário para execução do código.

Figura 5: Exemplificação de diferentes janelas de tempo.



Fonte: Autor.

Devido a isso, dois cenários foram gerados para analisar os resultados, variando as janelas de tempo, para entender o impacto nos resultados do modelo heurístico proposto. No Cenário 1 a janela de tempo considerada é a menor possível, exequível pela empresa em estudo, 10 minutos, pois o WMS (*Warehouse Management System* – Sistema de Gestão do Armazém) não consegue executar uma rotina computacional em tempos inferiores a este devido à política da empresa. Já o Cenário 2 define a janela de tempo em 20 minutos, pois este é o tempo com antecedência que se conhece os transportes que serão carregados, impactando o agendamento das OT's. A entrada de produtos vindos das fábricas não interfere nas janelas de tempo, pois estes seguem um rigoroso plano produtivo e é possível conhecer o momento de agendamento das OT's com antecedência maior que 20 minutos.

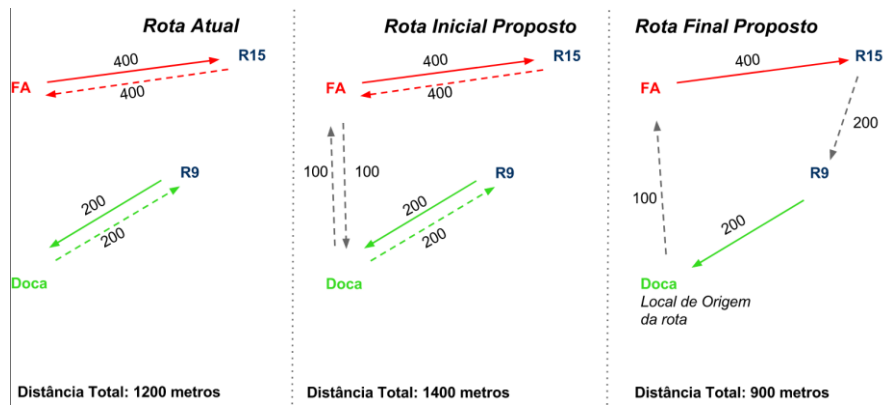
Dentro de uma janela de tempo, uma rota inicial é criada respeitando a ordem em que as OT's estão, quando uma tarefa de *picking* é seguida de uma tarefa de armazenamento, uma conexão é inserida entre as duas rotas e em seguida, as viagens são reorganizadas, testando apenas os trajetos em que a empilhadeira percorre sem produtos. Caso seja verificada economia em relação ao roteiro inicial proposto, o roteiro final torna-se a rota oficial da empilhadeira, como mostra a Figura 6. Onde, por exemplo, na "Rota Atual" uma empilhadeira deixa "FA" com produtos a serem armazenados na posição "R15", retornando vazia ao ponto "FA" e outra empilhadeira parte vazia da "Doca", em direção a posição "R9" para coletar um produto, retornando à "Doca".

No modelo proposto insere-se uma conexão entre "FA" e "Doca", criando uma "Rota Inicial Proposta", permitindo a criação de um roteiro único, em seguida, altera-se



a ordem das viagens que acontecem sem produtos e por constatar economia em relação à “Rota Inicial Proposta”, esta se torna a “Rota Final Proposta”. Para este exemplo, a redução de deslocamento foi de 25 %.

Figura 6: Exemplo de comparação entre rotas no cenário atual e cenário proposto antes e depois da aplicação do método heurístico.

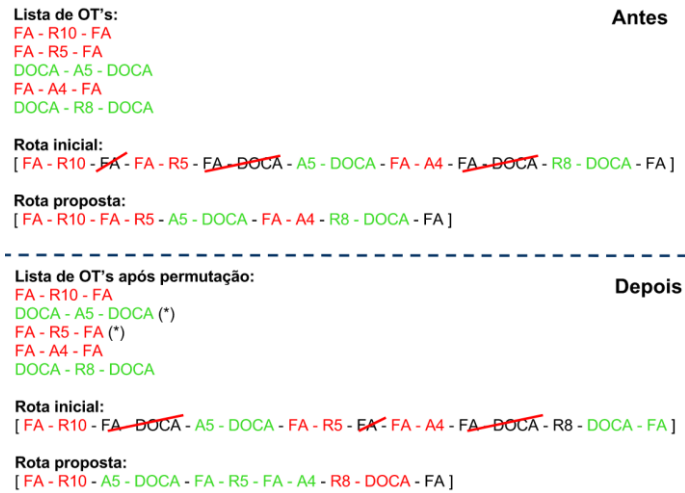


Fonte: Autor.

Feita a verificação de melhoria do roteiro, o ordenamento das OT's dentro de uma janela de tempo em análise passam por uma permutação e a rota é analisada novamente. Ao final das permutações a melhor rota entre todas as testadas é apontada e segue-se para a próxima iteração, ou seja, analisa-se a próxima janela de tempo, como mostra detalha o exemplo da Figura 7. De acordo com a figura, no momento “Antes” há uma lista de OT's, onde a partir desta uma rota inicial é gerada respeitando a ordem das tarefas da lista. No exemplo as OT's são expressas de acordo com seu roteiro padrão, ou seja, saem de um local de origem, FA (Fábrica A) ou Doca, vão até uma posição do estoque e retornam ao local de origem. A rota atual (“Antes”) é construída colocando todas as viagens em sequência, como por exemplo, empilhadeira deixa a Fábrica A, leva produto até a posição R10, retorna a Fábrica A e pega novamente um produto, que é levado até a posição R5, retornando novamente a Fábrica A, assim sucessivamente até finalizar a lista de OT's.

Em seguida, a rota inicial é analisada, onde, quando um termo se repete (...– FA – FA – ...), um dos termos é retirado assim como quando a ligação de uma posição com uma das Fábricas é seguida por uma ligação entre a Fábrica e a Doca, e posteriormente, Doca a posição do estoque, os termos FA e DOCA são retirados da rota, criando um link direto entre uma posição onde um produto é deixado e uma posição onde deve-se realizar o *picking* de algum produto. Desta forma, se cria a rota proposta (“Antes”).

Figura 7: Demonstração da lógica de permutação de ordem e roteirização das atividades.

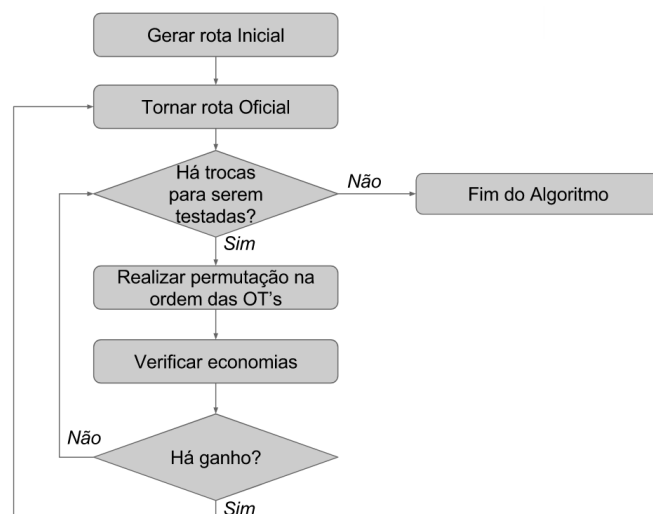


Fonte: Autor.

Após a reorganização desta rota, uma permutação é feita na ordem das OT's como mostra a lista de OT's em "Depois" na Figura 7, no exemplo as alterações são sinalizadas por (\*). Após isto, a rota inicial é criada novamente e reorganizada, gerando a rota proposta. Caso o custo de "Depois" seja menor ao custo de "Antes", a rota proposta se torna a rota oficial.

Desta forma, o modelo de roteirização de empilhadeiras proposto pode ser resumido conforme mostra a Figura 8.

Figura 8: Fluxograma do método proposto.



Fonte: Autor.

### 3.2.2. Coleta de dados

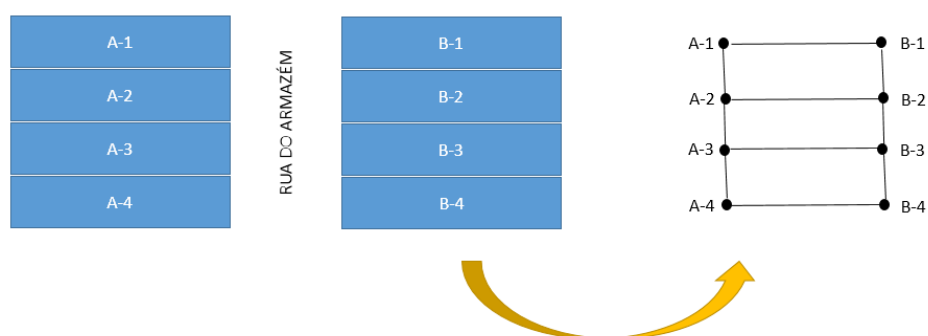
Para a aplicação do modelo, dados de entrada são necessários, como horário de início de dada OT, especificação da atividade, local de origem e local de destino. Todas essas informações estão disponíveis no WMS e foram coletadas a partir de um dia típico. As informações referentes à distância entre as posições não existem, trazendo a necessidade de desenvolvimento de um arquivo com distâncias entre cada posição do estoque, assim como, as docas e os locais de recebimento de produtos.

Dessa maneira, primeiramente, uma base de dados foi elaborada, onde uma linha foi criada para representar cada conexão entre uma posição do depósito e um de seus vizinhos, conforme exemplifica a Figura 9. Para cada posição de armazenagem (exemplo, A-1, A-2), criou-se uma linha com a distância até a posição ao seu lado (linha entre A1 e A2) e uma linha com a posição à sua frente (linha entre A1 e B1).

Ao considerar a rede obtida como um grafo  $G = (V, A)$ , cada célula pode ser assumida como sendo um vértice (V) e a linha que as une trata-se da aresta (A). Assim um grafo com aproximadamente 1.300 nós foi construído em linguagem de programação Python, utilizando a biblioteca NetworkX (HAGBERG et al., 2008).

Desta forma, cada nó representa uma célula do armazém ou posição nas docas ou ainda pontos de entrada de produtos no armazém e, cada aresta, representa a conexão entre estes nós.

Figura 9: Explicativo da representação das posições do armazém em um grafo.



Fonte: Autor.

Com o grafo criado é possível calcular a distância entre qualquer par origem-destino utilizando o algoritmo de Dijkstra (DIJKSTRA, 1959). A função que calcula as distâncias foi inserida no método heurístico, porém, notou-se um aumento significativo

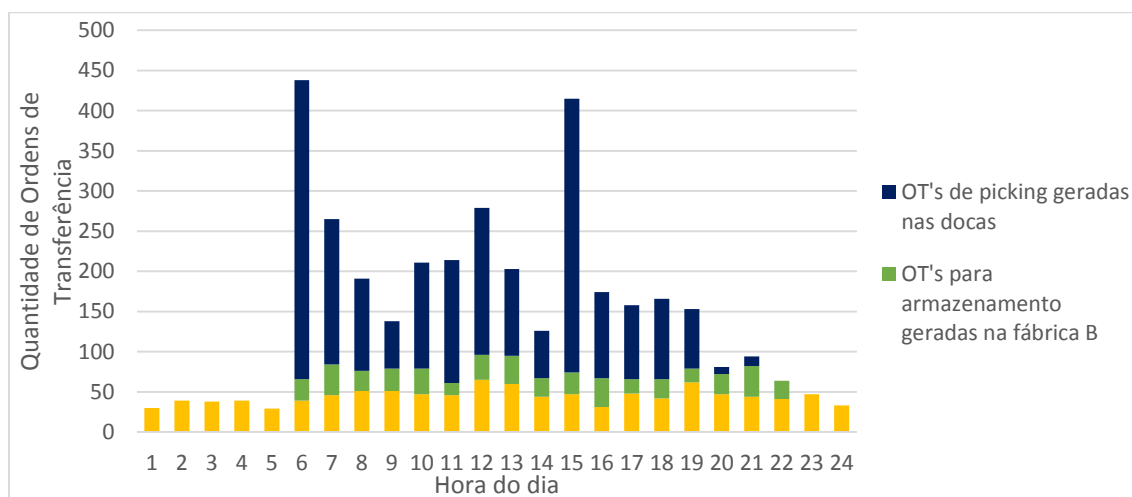
no tempo de processamento das informações. Logo, criou-se um algoritmo auxiliar, onde todas as combinações de origem-destinos são armazenadas em um arquivo, juntamente com a respectiva distância entre elas. A execução deste código levou 3 horas, gerando um arquivo que pode ser armazenado em uma estrutura de dados e consultado com rapidez durante a execução do algoritmo.

Ao elaborar o modelo de roteirização de empilhadeiras, percebeu-se a necessidade de restringir as análises por janelas de tempo, que por sua vez, podem influenciar os resultados das rotas formadas. Desta forma, no capítulo seguinte busca-se a análise de cenários com as possíveis janelas de tempo que poderão ser praticadas pelo armazém em estudo, a fim de entender se estas podem ter influência nos resultados.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

No intuito de comparar o desempenho do modelo heurístico proposto, escolheu-se um dia típico de operação no armazém da empresa em estudo a fim de coletar os dados necessários à análise do modelo. Através do sistema WMS da empresa foram extraídas informações de 3.625 OT's que aconteceram no dia estudado; estas foram formatadas em um arquivo que fornece dados de entrada ao algoritmo. A Gráfico 1 ilustra a quantidade de OT's geradas ao longo do dia, sendo possível perceber que estas não são geradas de forma uniforme, logo a quantidade de ordens a serem analisadas por janela de tempo pode variar.

Gráfico 1: Quantidade de Ordens de Transferência (OT) geradas por hora no dia da amostragem.



Fonte: Autor.

Por este motivo se faz necessário analisar os tempos de processamento do modelo heurístico proposto de acordo com a quantidade de OT's a serem analisadas, pois a eficiência do algoritmo pode influenciar na operacionalização da proposta no sistema WMS.

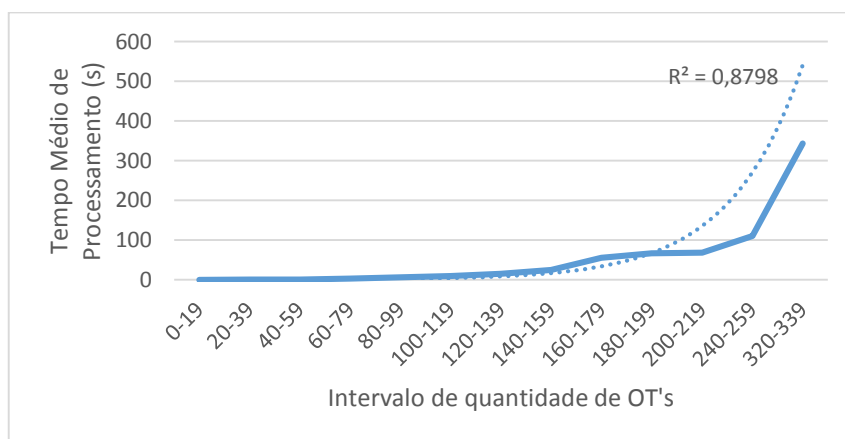
#### 4.1. Tempo de processamento

O algoritmo foi executado em um computador com processador Intel Core i5 de 2,67GHz com memória RAM de 4GB. Ao executar o código alterando a janela de tempo faz-se que a quantidade de OT's a serem roteirizadas por iteração se eleve. Para fins de entendimento da eficiência do código este foi executado 24 vezes com diferentes janelas de tempo, assim uma amostragem de 706 tempos de processamento foi coletada. As informações foram tabuladas e uma linha de tendência foi traçada, para que a performance do modelo heurístico apresenta pudesse ser analisada.

Conforme mostra o Gráfico 2, o tempo de processamento de uma análise aumenta exponencialmente com o aumento da quantidade de OT's a serem consideradas, pois a linha de tendência apresenta um  $R^2=0,8798$ , mostrando que a linha de tendência tem um bom ajuste à amostra.

Desta forma, é possível constatar que ao aumentar a janela de tempo maior esforço computacional sera demandado.

Gráfico 2: Tempo médio de processamento relativo a quantidade de OT's.



Fonte: Autor.

#### 4.2. Cenário Atual

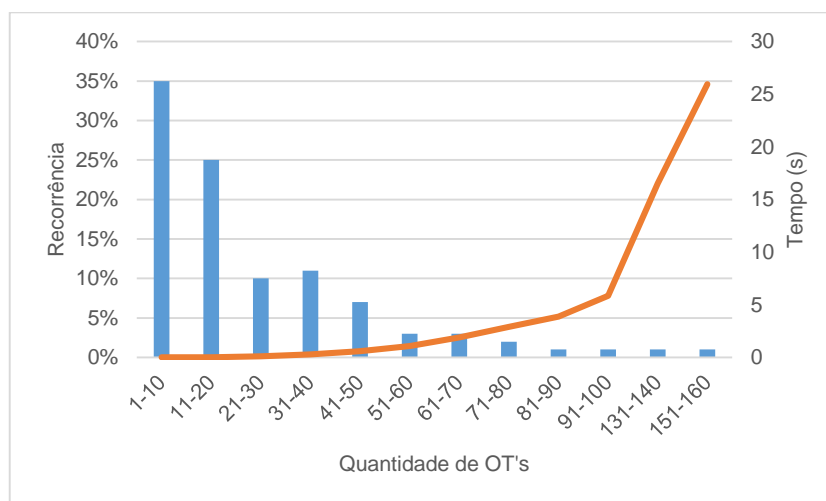
Considere a atual forma de realização das OT's do armazém, onde um conjunto de empilhadeiras atende exclusivamente a atividade de picking, outro conjunto atende a atividade de armazenamento dos produtos provenientes da fábrica A e, adicionalmente um conjunto de empilhadeiras atende a atividade de armazenamento dos produtos provenientes de fábrica B. São necessários 1.549 quilômetros para a

realização de todas as OT's, de armazenamento e picking no dia típico analisado. Dado que em um turno de trabalho do armazém um operador trabalha aproximadamente 7,5 horas e a velocidade de operação da empilhadeira é de 15 km/h, ter-se-á a capacidade individual de um operador de 112,5 quilômetros por turno ( $15\text{km/h} \times 7,5\text{h/turno}$ ). Portanto, no cenário atual de operação da empresa seriam necessários 14 operadores por dia ( $1.549\text{km} \div 112,5\text{km/turno}$ ) para realizar as OT's planejadas.

### 4.3. Cenário 1

Para este cenário, levou-se em consideração a formação de janelas de tempo fixadas em 10 minutos e 3.625 OT's a serem roteirizadas. Assim, houve 144 janelas de tempo com uma média de 25,17 OT's em cada uma delas. Desta forma, cada janela de tempo leva em média 0,65 segundos para ser roteirizada. O histograma da quantidade de OT's e o tempo médio de processamento destas são apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3: Histograma de quantidade de OT's (barras azuis) e tempo médio de processamento (linha laranja) por janela de tempo no cenário 1.



Fonte: Autor.

O cenário 1 em relação ao cenário atual apresentou redução de 0,04% na distância total percorrida, ou seja, 0,595 quilômetros, demandando 13,76 operadores. Nos custos de operação do armazém essa redução representa 0,002%, ou seja, não é possível captar ganhos com a aplicação do modelo neste cenário.

Ao analisar as rotas geradas, que estão disponíveis no Anexo A, constatou-se que em apenas 3,4% das janelas de tempo foi possível gerar uma rota com menor distância do que as praticadas pela empresa no cenário atual. Nas rotas das

empilhadeiras em que houve reduções na distância, a redução foi baixa, em média 0,0077% em relação a distância total, resultado da alteração de apenas uma ligação dentro da rota.

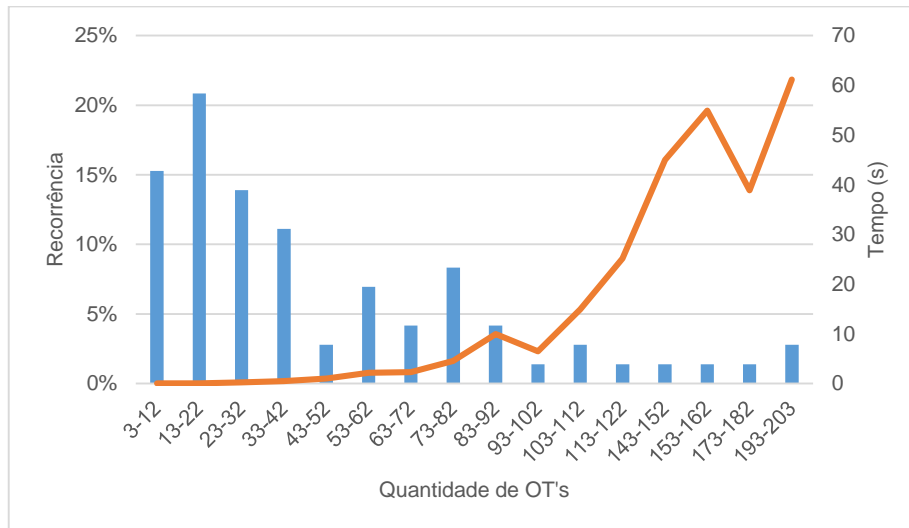
Do ponto de vista de esforço computacional o cenário 1 exigiu 93,6 segundos para a roteirização de todas as janelas ( $0,65s \times 144OT's$ ).

#### 4.4. Cenário 2

Já para o cenário 2 fixou-se a janela de tempo em 20 minutos para análise das OT's. Deste modo, foram geradas 72 janelas de tempo com aproximadamente 50,2 OT's em média em cada uma delas. De forma geral foram necessários 5,63 segundos para roteirizar cada janela de tempo.

Neste cenário, em nenhuma das janelas de tempo geradas foi observado economia.

Gráfico 4: Hisograma de quantidade de OT's (barras azuis) e tempo de processamento (linha laranja) por janela de tempo no cenário 2.



Fonte: Autor.

De acordo com o Gráfico 4, é possível constatar que há maior quantidade de OT's para serem roteirizadas por janelas de tempo no cenário 2, desta forma o tempo médio de processamento é maior em relação ao cenário 1. No total seriam necessários 405 segundos para a análise de todas as rotas ( $5,63s \times 72 \text{ janelas}$ ), assim, sendo que



para o cenário 1 este mesmo tempo seria de 93,6 ( $0,65s \times 144 \text{ janelas}$ ), compreende-se que o cenário 2 seria mais custoso para o sistema WMS.

Os resultados operacionais das análises foram sumarizados na Tabela 2, para facilitar o entendimento.

Tabela 2: Resumo dos resultados da aplicação do modelo heurístico nos cenários.

Janela de tempo em análise	Distâncias percorridas pelas empilhadeiras (Km)			Melhoria		
	<i>Cen. Atual</i>	<i>Cen. Proposto</i>	<i>Diferença Total</i>	<i>Qtd rotas alteradas</i>	<i>Redução Média (%)</i>	<i>Redução Total (%)</i>
<b>10 min</b>	1.549,9	1.549,3	0,6	5	0,0077%	0,038%
<b>20 min</b>	1.549,9	1.549,9	0,0	0	0	0,00%

Fonte: Autor.

Ao aplicar o modelo heurístico proposto pode-se perceber que para o armazém de estudo, os custos computacionais e a antecedência da disponibilidade das informações não são de fato um problema, porém, devido à atual forma de operação do armazém, os ganhos na reorganização das rotas das empilhadeiras pelo modelo proposto são mínimos, não possibilitando a operacionalização do mesmo.

No capítulo seguinte serão apresentadas as considerações finais deste trabalho, onde apontamentos para futuros trabalhos serão feitos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se dedicou a propor um modelo heurístico de estudo da reorganização das rotas de empilhadeiras em um armazém, com intuito de redução de custos.

Em um primeiro momento, as principais atividades do armazém envolvidas foram compreendidas e a partir deste momento se iniciaram esboços para o desenvolvimento de um modelo de roteirização das empilhadeiras. Foi verificada a literatura pertinente ao tema para criar uma sólida conceituação sobre armazéns logísticos. Na sequência, buscou-se entender as principais abordagens para a roteirização de empilhadeiras em armazéns, constatando-se que, em geral, utilizam-se métodos heurísticos para a solução do problema. Porém, os trabalhos encontrados realizavam as rotas apenas considerando a atividade de picking, enquanto este trabalho se propôs a analisar conjuntamente as rotas de picking e de armazenamento.

Logo, tendo como base o algoritmo de Clark & Wright, o presente trabalho desenvolveu um algoritmo de roteirização levando em conta ambas as atividades. Como não havia uma matriz de distâncias para as posições do estoque, foi necessário criar uma estrutura de dados que armazenasse estas informações, porém, a busca e computação das informações presentes nesta estrutura de dados tornou o algoritmo ineficiente. Por isso, um algoritmo auxiliar foi executado previamente, onde todas as possíveis distâncias são computadas e salvas em um arquivo, que alimenta o algoritmo principal.

A execução do algoritmo auxiliar levou três horas, porém, permitiu que o tempo de processamento do algoritmo principal pudesse ser reduzido para menos que 10 minutos. Assim, com o modelo elaborado e os dados de entrada disponíveis, as simulações dos cenários foram feitas para coletar dados à respeito da eficiência do modelo. Adicionalmente, dois cenários foram propostos, os quais foram simulados e estratificados, disponibilizando assim, informações para que as distâncias totais fossem comparadas.

No que diz respeito às janelas de tempo, o tempo de processamento para roteirização não se mostra crítico para os cenários testados, no que tange a execução de uma rotina no WMS, pois em média não leva-se mais que 6 segundos para a criação de um rota em uma janela de tempo.

Juntamente com os ganhos, outro fator que colabora para a escolha de janelas de tempo menores é a eficiência do modelo, que cresce de forma exponencial em relação à janela de tempo.

A partir do prisma operacional, o modelo não se mostrou viável, pois não houve redução que garanta economias de mão-de-obra. Acredita-se que tal fato ocorreu principalmente pelo devido as possíveis economias provenientes da junção de rotas entre picking e armazenamento serem anuladas pelo custo de inserção de conexões entre os pontos de recebimento de produtos e as docas.

### **5.1. Trabalhos futuros**

O modelo proposto neste trabalho pode apresentar potencial para redução de custos em grandes armazéns que realizam *picking* por lote ou por zona. Porém, para trabalhos futuros se sugere a melhoria do modelo para que haja melhor performance computacional, caso este venha a ser aplicado em um armazém com maior quantidade de OT's a serem roteirizadas. Assim como, a inserção de restrições de frota e capacidade dos veículos utilizados no armazém, a fim de tornar o modelo proposto mais robusto.

## BIBLIOGRAFIA

Albareda-Sambola, M; Alonso-Ayuso, M; Moline, E; de Blas, C S. Variable neighborhood search for order batching in a warehouse. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 26, n. 5, p. 655–683, 2009.

Larsen, A. **The dynamic vehicle routing problem The Dynamic Vehicle Routing Problem**. Tese de Doutorado, Technical, IMM, Universidade da Dinamarca, 2000.

Ballou, R. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5ª ed, Porto Alegre: Bookman, 2006.

Barros, M. C. **Warehouse Management System (WMS): Conceitos Teóricos e Implementação em um Centro de Distribuição**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

Battini, D; Calzavara, M; Persona A; Sgarbossa, F. Order picking system design: the storage assignment and travel distance estimation (SA&TDE) joint method. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 4, p. 1077–1093, 2015.

Bodin, L; Golden, A; Assad, B; Ball, M. Routing and Scheduling of Vehicle and Crews. **Computers and Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 63–211, 1983.

Chen, F.; Wang, H; Qi, C; Xie, Y. An ant colony optimization routing algorithm for two order pickers with congestion consideration. **Computers and Industrial Engineering**, v. 66, n. 1, p. 77–85, 2013.

Chen, F; Wang, H; Xie, F; Qi, C. An ACO-based online routing method for multiple order pickers with congestion consideration in warehouse. **Journal of Intelligent Manufacturing**, p. 1–20, 2014.

Cheng, C; Chen Y Y; Chen, T L; Jung-Woon Yoo, J. Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization and ant colony optimization to solve a joint order batching and picker routing problem. Decision models for the design, optimization and management of warehousing and material handling system. **International Journal of Production Economics**, v. 170, n. C, p. 805–814, 2015.

Cortés, P; Gómez-Montoya, R A; Mu, J; Correa-Espinal, A. A tabu search approach to solving the picking routing problem for large- and medium-size distribution centres considering the availability of inventory and K heterogeneous material handling equipment. **Applied Soft Computing**, v. 53, p. 61–73, 2017.

Daniels, R L; Rummel, J L; Schantz, R. A model for warehouse order picking. **European Journal of Operational Research**, v. 105, n. 1, p. 1–17, 1998.

de Koster, R; le-Duc, T; Roodbergen, K J. Design and control of warehouse order picking : a literature review Design and control of warehouse order picking : a literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 182, n. 2, p. 481–501, 2007.

- de Koster, R; Roodbergen, K J; van Voorden. Reduction of walking time in the distribution center of De Bijenkorf. In: **New trends in distribution logistics**, p. 215–234, 1999.
- de Koster, R; van der Poort, E. Routing orderpickers in a warehouse : a comparison between optimal and heuristic solutions. **IIE Transactions**, v. 30, p. 469–480, 1998.
- Dijkstra, E W A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. **Numerische Mathematik**, v. 1, p. 269–271, 1959.
- Hagberg, A A; Schult, D A; Swart, P J. **Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX**, 7th Python in Science Conference, 2008.
- Henn, S. Algorithms for on-line order batching in an order picking warehouse. **Computers & Operations Research**, v. 39, p. 2549–2563, 2012.
- Henn, S; Schmid, V. Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. **Computers and Industrial Engineering**, v. 66, n. 1, p. 77–85, 2013.
- Henn, S; Wäscher, G. Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. **European Journal of Operational Research**, v. 222, n. 3, p. 484–494, 2012.
- Kulak, O; Sahin, Y; Taner, M E. Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, v. 24, n. 1, p. 52–80, 2012.
- Laidens, G; Teles, C D. Avaliação dos custos logísticos em empresas do setor alimentício. **Estudos Tecnológicos** v. 3, p. 83–91, 2007.
- Lin, C C; Kang, J R; Hou, C C; Cheng, C Y. Joint order batching and picker Manhattan routing problem. **Computers and Industrial Engineering**, v. 95, p. 164–174, 2016.
- Lu, W; McFarlane, D, Giannikas, V; Zhang, Q. An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. **European Journal of Operational Research**, v. 248, p. 107–122, 2016.
- Menéndez, B; Pardo, E; Alonso-Ayuso, A; Molina, A; Duarte, A. Variable neighborhood search strategies for the order batching problem. **Computers & Operations Research**, v. 78, p. 500–512, 2017.
- Petersen, C G; Schmenner, R W. An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. **Decision Science**, v. 30, n. 2, p. 481–501, 1999.
- Pillac, V; Gendreau, M; Guéret, C; Medaglia, A L. A Review of Dynamic Vehicle Routing Problems. **European Journal of Operational Research**, p. 0–28, 2011.
- Ramaa, A; Subramanya, K N; Rangaswamy, T M. Impact of Warehouse Management System in a Supply Chain. **International Journal of Computers Applications**, v. 54, n. 1, 2012.
- Rubrico, J; Ota, J; Higashi, T; Tamura, H. Metaheuristic scheduling of multiple picking agents for warehouse management. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 35, n. 1, p. 58–68, 2008.
- Rushton, A; Croucher, P; Baker, P. **The Handbook of Logistics & Distribution Management**. 4<sup>o</sup> ed. Londres: Kogan Page Limited, 2010.
- Silva, V M D. **Transporte colaborativo marítimo : uma análise sob a ótica do método system dynamics aplicada à indústria manufatureira**. Tese de Doutorado, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

Theys, C; Bräysy, O; Dullaest, W; Raa, B. Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. **European Journal of Operational Research**, v. 200, p. 755–763, 2010.

Tompkins, J A; White, J A; Bozer, Y A; Frazelle, E H; Tanchoco, J M A; Trevino, J. **Facilities Planning**. New York: Wiley, 1996.

Tsai, C Y; Liou, J J H; Huang, T M. Using a multiple-GA—method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 22, 2008.

Van Nieuwenhuysse, I; de Koster, R. Evaluating order throughput time in 2- block warehouses with time window batching. **International Journal of Production Economics**, v. 121, n. 2, p. 654–664, 2009.

Zhang, Y. **Correlated Storage Assignment Strategy to reduce Travel Distance in Order Picking**. In: International Federation of Automatic Control, 2016

ANEXO A - Comparação entre rotas do Cenário Atual e Cenário Proposto 1

# Janela	Distância Total (Km)		Rota		Houve melhoria?
	Cen. Proposto	Cen. Atual	Cen. Proposto	Cen. Atual	
1	2283	2283	[F02, 'R1-052', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'SU-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'AI-038', 'F02']	[F02, 'R1-052', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'SU-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'AI-038', 'F02']	Não
2	1497	1497	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
3	2125	2125	[F02, 'AG-032', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AF-012', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-504', 'F02', 'SU-109', 'F02']	[F02, 'AG-032', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AF-012', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-504', 'F02', 'SU-109', 'F02']	Não
4	1256	1256	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02']	Não
5	262	262	[F02, 'AI-038', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02']	Não
6	715	715	[F02, 'R7-025', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02']	Não
7	183	183	[F02, 'R7-025', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02']	Não
8	478	478	[F02, 'R4-010', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R4-010', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
9	2325	2325	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
10	2649	2649	[F02, 'SU-044', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'SU-044', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
11	2000	2000	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'SU-404', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'SU-404', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
12	3165	3165	[F02, 'AA-086', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-304', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02']	[F02, 'AA-086', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-304', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02']	Não
13	520	520	[F02, 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02']	[F02, 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02']	Não
14	1352	1352	[F02, 'R7-025', 'F02', 'R4-048', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R7-025', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02', 'R4-048', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R7-025', 'F02']	Não
15	2641	2641	[F02, 'SU-050', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	[F02, 'SU-050', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	Não
16	2416	2416	[F02, 'R5-087', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'AG-039', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'AB-039', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'AB-062', 'F02']	[F02, 'R5-087', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'AG-039', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'AB-039', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'AB-062', 'F02']	Não
17	2845	2845	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'R7-019', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'SU-706', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'R7-019', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'SU-706', 'F02']	Não
18	2184	2184	[F02, 'AI-038', 'F02', 'SU-403', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'SU-603', 'F02', 'AA-086', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'SU-403', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'SU-603', 'F02', 'AA-086', 'F02']	Não
19	1364	1364	[F02, 'R4-010', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02']	[F02, 'R4-010', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02']	Não
20	1468	1468	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02']	Não
21	611	611	[F02, 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R7-025', 'F02']	[F02, 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R7-025', 'F02']	Não
22	2866	2866	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-046', 'F02', 'R5-099', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-046', 'F02', 'R5-099', 'F02']	Não
23	1576	1576	[F02, 'AA-044', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02']	[F02, 'AA-044', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02']	Não
24	3061	3061	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'R7-039', 'F02', 'AB-062', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'R7-039', 'F02', 'AB-062', 'F02']	Não
25	183	183	[F02, 'R7-025', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02']	Não
26	1206	1206	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	Não
27	3764	3764	[F02, 'R5-096', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'R3-103', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-104', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'R3-103', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-104', 'F02']	Não
28	1822	1822	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02']	Não
29	1476	1476	[F02, 'SU-404', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AB-062', 'F02']	[F02, 'SU-404', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AB-062', 'F02']	Não











47	13582	13582	13582	034', 'Doca', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'Doca', 'AI-053', 'Doca', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'Doca', 'AI-053', 'Doca', 'R3-103', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'F02', 'AB-094', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'SU-056', 'F02', 'AE-022', 'F02']	034', 'Doca', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'Doca', 'AI-053', 'Doca', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'Doca', 'AI-053', 'Doca', 'R3-103', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'F02', 'AB-094', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'SU-056', 'F02', 'AE-022', 'F02']	Não
48	4093	4147	4147	507', 'F02', 'R9-044', 'F03', 'SU-301', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'AI-002', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'AA-086', 'F02']	507', 'F02', 'R9-044', 'F03', 'SU-301', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'AI-002', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'AA-086', 'F02']	Sim
49	3976	3976	3976	068', 'F02', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'SU-064', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'SU-038', 'F02']	068', 'F02', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'SU-064', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'SU-038', 'F02']	Não
50	10516	10516	10516	232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'SU-010', 'Doca', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'Doca', 'SU-010', 'Doca', 'SU-023', 'Doca']	232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'R13-124', 'Doca', 'SU-010', 'Doca', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'Doca', 'SU-010', 'Doca', 'SU-023', 'Doca']	Não
51	7970	7970	7970	055', 'Doca', 'SU-061', 'Doca', 'F03', 'SU-035', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'Doca', 'SU-101', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-303', 'Doca', 'F02', 'SU-204', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'SU-047', 'F02', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'F02', 'R1-014', 'F02', 'F03', 'R12-234', 'F03']	055', 'Doca', 'SU-061', 'Doca', 'F03', 'SU-035', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'Doca', 'SU-101', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-303', 'Doca', 'F02', 'SU-204', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'SU-047', 'F02', 'F03', 'R12-282', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'F02', 'R1-014', 'F02', 'F03', 'R12-234', 'F03']	Não
52	3319	3319	3319	020', 'F02']	020', 'F02']	Não
53	12309	12309	12309	266', 'Doca']	266', 'Doca']	Não
54	11123	11123	11123	266', 'Doca', 'R10-266', 'Doca', 'R10-266', 'Doca']	266', 'Doca', 'R10-266', 'Doca', 'R10-266', 'Doca']	Não
55	15279	15279	15279	047', 'F02', 'Doca', 'SU-033', 'Doca', 'F02', 'R7-017', 'F02', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-041', 'Doca', 'SU-043', 'Doca']	047', 'F02', 'Doca', 'SU-033', 'Doca', 'F02', 'R7-017', 'F02', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-041', 'Doca', 'SU-043', 'Doca']	Não

56	18541	18541	['Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-057', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'F03', 'R9-010', 'F03', 'Doca', 'SU-066', 'Doca', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'Doca', 'SU-101', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'F02', 'SU-029', 'F02', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'Doca', 'SU-406', 'Doca', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'Doca', 'SU-503', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'R15-128', 'Doca', 'SU-603', 'Doca', 'R18-034', 'Doca', 'SU-608', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'Doca', 'SU-702', 'Doca', 'SU-013', 'Doca', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'F03', 'R20-233', 'F03', 'Doca', 'SU-705', 'Doca', 'SU-014', 'Doca', 'SU-705', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-708', 'Doca', 'SU-404', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-506', 'Doca', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R7-028', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AE-022', 'F02']	['Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-057', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'F03', 'R9-010', 'F03', 'Doca', 'SU-066', 'Doca', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'Doca', 'SU-101', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'F02', 'SU-029', 'F02', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'Doca', 'SU-406', 'Doca', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'Doca', 'SU-503', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'R15-128', 'Doca', 'SU-603', 'Doca', 'R18-034', 'Doca', 'SU-608', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'Doca', 'SU-702', 'Doca', 'SU-013', 'Doca', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'F03', 'R20-233', 'F03', 'Doca', 'SU-705', 'Doca', 'SU-014', 'Doca', 'SU-705', 'Doca', 'SU-047', 'Doca', 'SU-708', 'Doca', 'SU-404', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-506', 'Doca', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R7-028', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AE-022', 'F02']	Não
57	4767	4929	['F02', 'AA-158', 'F03', 'R13-184', 'F03', 'R9-086', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'AG-031', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'R5-103', 'F02', 'SU-056', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'R8-047', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'R13-178', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'R15-098', 'F03']	['F03', 'R9-086', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'R13-184', 'F03', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'AG-031', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'R5-103', 'F02', 'SU-056', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'AE-022', 'F02', 'R8-047', 'F02', 'AA-158', 'F02', 'F03', 'R13-178', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'F03', 'R15-098', 'F03']	Sim
58	4958	4958	['F03', 'R9-046', 'F03', 'F02', 'SU-018', 'F02', 'AF-017', 'F02', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'F02', 'SU-060', 'F02', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'F02', 'R9-044', 'F02', 'SU-048', 'F02', 'AA-086', 'F02']	['F03', 'R9-046', 'F03', 'F02', 'SU-018', 'F02', 'AF-017', 'F02', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'F02', 'SU-060', 'F02', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'F02', 'R9-044', 'F02', 'SU-048', 'F02', 'AA-086', 'F02']	Não
59	16481	16481	['F02', 'R7-028', 'F02', 'AA-033', 'F02', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'Doca', 'SU-605', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AG-011', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'SU-404', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'AA-064', 'Doca', 'SU-036', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F03', 'R12-300', 'F03', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'SU-044', 'Doca']	['F02', 'R7-028', 'F02', 'AA-033', 'F02', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'Doca', 'SU-605', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AB-043', 'Doca', 'AG-011', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'SU-404', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'AA-064', 'Doca', 'SU-036', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F03', 'R12-286', 'F03', 'R8-031', 'F03', 'R12-234', 'F03', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'F03', 'R12-300', 'F03', 'Doca', 'AI-072', 'Doca', 'SU-044', 'Doca']	Não
60	27589	27589	['Doca', 'SU-066', 'Doca', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'AG-036', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'SU-704', 'Doca', 'R16-026', 'Doca', 'AB-038', 'Doca', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'Doca', 'R18-056', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'R2-017', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'R2-022', 'Doca', 'SU-104', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'SU-208', 'Doca', 'SU-012', 'Doca', 'R15-135', 'Doca', 'SU-019', 'Doca', 'R3-100', 'Doca', 'SU-030', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-305', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-401', 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'F02', 'AA-158', 'F02', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'SU-056', 'Doca', 'SU-604', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-202', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'SU-203', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'SU-206', 'Doca']	['Doca', 'SU-066', 'Doca', 'F03', 'R9-046', 'F03', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'AG-036', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'SU-704', 'Doca', 'R16-026', 'Doca', 'AB-038', 'Doca', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'Doca', 'R18-056', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'R2-017', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'R2-022', 'Doca', 'SU-104', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'SU-208', 'Doca', 'SU-012', 'Doca', 'R15-135', 'Doca', 'SU-019', 'Doca', 'R3-100', 'Doca', 'SU-030', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'SU-305', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-401', 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'F02', 'AA-158', 'F02', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'SU-056', 'Doca', 'SU-604', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-202', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'SU-203', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'SU-206', 'Doca']	Não























129	4422	4422	[F02, 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R12-294', 'F03', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'F03', 'R13-168', 'F03', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'F02', 'R3-006', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'AA-098', 'F02']	[F02, 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R12-294', 'F03', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'F03', 'R13-168', 'F03', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'F02', 'R3-006', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'AA-098', 'F02']	Não
130	4534	4534	[F02, 'AB-067', 'F02', 'AA-145', 'F02', 'AB-035', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R12-294', 'F03', 'R11-246', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'AG-030', 'F02', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R9-014', 'F03']	[F02, 'AB-067', 'F02', 'AA-145', 'F02', 'AB-035', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'F03', 'R12-294', 'F03', 'R11-246', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03', 'F02', 'AG-030', 'F02', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R9-014', 'F03']	Não
131	2392	2392	[F02, 'AB-063', 'F02', 'R1-044', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'F03', 'R12-228', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'R11-246', 'F03', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03']	[F02, 'AB-063', 'F02', 'R1-044', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'F03', 'R12-228', 'F03', 'R10-266', 'F03', 'R11-246', 'F03', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'F03', 'R12-216', 'F03']	Não
132	341	341	[F02, 'AA-124', 'F02', 'AA-036', 'F02']	[F02, 'AA-124', 'F02', 'AA-036', 'F02']	Não
133	2520	2520	[F02, 'AA-124', 'F02', 'R3-006', 'F02', 'AB-035', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'AG-048', 'F02']	[F02, 'AA-124', 'F02', 'R3-006', 'F02', 'AB-035', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'AG-048', 'F02']	Não
134	2192	2192	[F02, 'AF-010', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'R1-022', 'F02', 'AI-037', 'F02', 'AA-145', 'F02', 'AI-009', 'F02']	[F02, 'AF-010', 'F02', 'AI-028', 'F02', 'R1-022', 'F02', 'AI-037', 'F02', 'AA-145', 'F02', 'AI-009', 'F02']	Não
135	1422	1422	[F02, 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'AA-036', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R2-005', 'F02']	[F02, 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'AA-036', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R2-005', 'F02']	Não
136	2308	2308	[F02, 'R1-044', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-109', 'F02', 'R5-073', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'AA-098', 'F02']	[F02, 'R1-044', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-109', 'F02', 'R5-073', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'AA-098', 'F02']	Não
137	1152	1152	[F02, 'AG-030', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-003', 'F02', 'R15-151', 'F02']	[F02, 'AG-030', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-003', 'F02', 'R15-151', 'F02']	Não
138	2138	2138	[F02, 'AA-126', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02']	[F02, 'AA-126', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-095', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02']	Não
139	49	49	[F02, 'AA-036', 'F02']	[F02, 'AA-036', 'F02']	Não
140	2063	2063	[F02, 'AI-037', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02']	[F02, 'AI-037', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'AI-009', 'F02', 'R4-105', 'F02', 'R4-105', 'F02']	Não
141	640	640	[F02, 'AA-098', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R4-105', 'F02']	[F02, 'AA-098', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R4-105', 'F02']	Não
142	965	965	[F02, 'AA-126', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R1-036', 'F02', 'R4-105', 'F02']	[F02, 'AA-126', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R1-036', 'F02', 'R4-105', 'F02']	Não
143	2662	2662	[F02, 'AI-054', 'F02', 'R4-103', 'F02', 'R4-103', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R2-005', 'F02', 'AA-036', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'AG-076', 'F02']	[F02, 'AI-054', 'F02', 'R4-103', 'F02', 'R4-103', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'R2-005', 'F02', 'AA-036', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AB-067', 'F02', 'R3-012', 'F02', 'AG-076', 'F02']	Não
144	2491	2491	[F02, 'R1-018', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'AG-051', 'F02', 'R1-013', 'F02', 'AF-010', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'AG-030', 'F02', 'SU-023', 'F02', 'R4-118', 'F02']	[F02, 'R1-018', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'AG-051', 'F02', 'R1-013', 'F02', 'AF-010', 'F02', 'AA-124', 'F02', 'AG-030', 'F02', 'SU-023', 'F02', 'R4-118', 'F02']	Não



ANEXO B - Comparação de rotas entre Cenário Atual e Cenário 2

# Janela	Distância Total (Km)		Rota		Houve melhoria?
	Cen. Proposto	Cen. Atual	Cen. Proposto	Cen. Atual	
1	4043	4043	[F02, 'R1-052', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'SU-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R1-052', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'SU-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
2	3556	3556	[F02, 'AG-032', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AF-012', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-504', 'F02', 'SU-109', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02']	[F02, 'AG-032', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AF-012', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-504', 'F02', 'SU-109', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02']	Não
3	1243	1243	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02']	Não
4	848	848	[F02, 'R7-025', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
5	5112	5112	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-088', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R5-088', 'F02']	Não
6	5308	5308	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'SU-404', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-304', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02']	[F02, 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R2-031', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'SU-404', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-304', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02']	Não
7	2138	2138	[F02, 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R4-048', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R7-025', 'F02']	[F02, 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R4-048', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'R7-025', 'F02']	Não
8	5187	5187	[F02, 'SU-050', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'AG-039', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'AB-039', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'AB-062', 'F02']	[F02, 'SU-050', 'F02', 'SU-032', 'F02', 'AI-054', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'R5-088', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'AA-044', 'F02', 'AG-039', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'AB-039', 'F02', 'AG-073', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'AB-062', 'F02']	Não
9	5308	5308	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'R7-019', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'SU-403', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'SU-603', 'F02', 'AA-086', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'R7-019', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'SU-403', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'SU-603', 'F02', 'AA-086', 'F02']	Não
10	2966	2966	[F02, 'R4-010', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02']	[F02, 'R4-010', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02']	Não
11	3664	3664	[F02, 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-046', 'F02', 'R5-099', 'F02']	[F02, 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R4-010', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AA-110', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'SU-046', 'F02', 'R5-099', 'F02']	Não
12	4767	4767	[F02, 'AA-044', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'R7-039', 'F02', 'AB-062', 'F02']	[F02, 'AA-044', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R1-024', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'SU-706', 'F02', 'R7-039', 'F02', 'AB-062', 'F02']	Não
13	1572	1572	[F02, 'R7-025', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	[F02, 'R7-025', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R1-041', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02']	Não
14	5720	5720	[F02, 'R5-096', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'R3-103', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02']	[F02, 'R5-096', 'F02', 'SU-605', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'R3-103', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R2-035', 'F02', 'AA-086', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AI-038', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R5-096', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R5-099', 'F02', 'R7-025', 'F02']	Não
15	1809	1809	[F02, 'SU-404', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-019', 'F02']	[F02, 'SU-404', 'F02', 'AG-079', 'F02', 'AG-032', 'F02', 'AA-104', 'F02', 'AB-062', 'F02', 'AI-019', 'F02']	Não
16	4904	4904	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R13-216', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'R12-230', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'SU-702', 'F03', 'SU-308', 'F03', 'R12-230', 'F03', 'F02', 'AI-002', 'F02', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'F02', 'AA-044', 'F02']	[F02, 'AI-038', 'F02', 'R7-025', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R15-098', 'F03', 'R13-216', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'R12-230', 'F03', 'R9-086', 'F03', 'SU-702', 'F03', 'SU-308', 'F03', 'R12-230', 'F03', 'F02', 'AI-002', 'F02', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'F02', 'AA-044', 'F02']	Não





















38

34602

34602

['Doca', 'R18-070', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'F03', 'R15-002', 'F03', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'R5-098', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-002', 'Doca', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'F02', 'SU-045', 'F02', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'SU-006', 'Doca', 'SU-017', 'Doca', 'SU-021', 'Doca', 'R12-253A', 'Doca', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'F02', 'SU-013', 'F02', 'Doca', 'R13-225B', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-036', 'Doca', 'SU-037', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'SU-037', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'F02', 'AF-017', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'Doca', 'SU-041', 'Doca', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'Doca', 'SU-044', 'Doca', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'Doca', 'SU-049', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'SU-051', 'Doca', 'SU-052', 'Doca', 'SU-053', 'Doca', 'SU-055', 'Doca', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'SU-061', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-107', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'Doca', 'SU-406', 'Doca', 'SU-503', 'Doca', 'F02', 'R1-110', 'F02', 'Doca', 'SU-504', 'Doca', 'SU-507', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'Doca', 'SU-605', 'Doca', 'SU-703', 'Doca', 'SU-704', 'Doca', 'F03', 'SU-308', 'F03', 'SU-035', 'F03', 'F02', 'R9-044', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'R7-027', 'F02']

['Doca', 'R18-070', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'F03', 'R15-002', 'F03', 'Doca', 'R4-127', 'Doca', 'R5-098', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-002', 'Doca', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'Doca', 'SU-003', 'Doca', 'F02', 'SU-045', 'F02', 'Doca', 'SU-004', 'Doca', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'Doca', 'SU-005', 'Doca', 'SU-006', 'Doca', 'SU-017', 'Doca', 'SU-021', 'Doca', 'R12-253A', 'Doca', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'F02', 'SU-013', 'F02', 'Doca', 'R13-225B', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-036', 'Doca', 'SU-037', 'Doca', 'SU-038', 'Doca', 'F03', 'R11-234', 'F03', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'SU-037', 'Doca', 'SU-039', 'Doca', 'F02', 'AF-017', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'Doca', 'SU-041', 'Doca', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'Doca', 'SU-044', 'Doca', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'Doca', 'SU-049', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'SU-051', 'Doca', 'SU-052', 'Doca', 'SU-053', 'Doca', 'SU-055', 'Doca', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'SU-061', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'SU-102', 'Doca', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'Doca', 'SU-103', 'Doca', 'SU-107', 'Doca', 'SU-113', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'Doca', 'SU-405', 'Doca', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'Doca', 'SU-406', 'Doca', 'SU-503', 'Doca', 'F02', 'R1-110', 'F02', 'Doca', 'SU-504', 'Doca', 'SU-507', 'Doca', 'SU-601', 'Doca', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'Doca', 'SU-605', 'Doca', 'SU-703', 'Doca', 'SU-704', 'Doca', 'F03', 'SU-308', 'F03', 'SU-035', 'F03', 'F02', 'R9-044', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'R5-087', 'F02', 'R7-027', 'F02']

Não

39

15749

15749

['F02', 'R7-017', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'SU-708', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'SU-302', 'F03', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'F03', 'SU-205', 'F03', 'F02', 'SU-030', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'F03', 'R13-178', 'F03', 'F02', 'R1-014', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'AI-060', 'Doca', 'AI-060', 'Doca', 'F03', 'R13-132', 'F03', 'Doca', 'R7-037', 'Doca', 'F02', 'SU-703', 'F02', 'Doca', 'R7-039', 'Doca', 'SU-033', 'Doca', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'R1-045', 'F02', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'Doca', 'SU-403', 'Doca', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R13-184', 'F03', 'F02', 'SU-305', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'SU-057', 'F02']

['F02', 'R7-017', 'F02', 'SU-005', 'F02', 'SU-708', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'SU-302', 'F03', 'F02', 'AI-003', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'F03', 'SU-205', 'F03', 'F02', 'SU-030', 'F02', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'F03', 'R13-178', 'F03', 'F02', 'R1-014', 'F02', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'AI-060', 'Doca', 'AI-060', 'Doca', 'F03', 'R13-132', 'F03', 'Doca', 'R7-037', 'Doca', 'F02', 'SU-703', 'F02', 'Doca', 'R7-039', 'Doca', 'SU-033', 'Doca', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'R1-045', 'F02', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'Doca', 'SU-403', 'Doca', 'F03', 'R9-014', 'F03', 'R13-184', 'F03', 'F02', 'SU-305', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'R7-044', 'F02', 'R4-106', 'F02', 'SU-057', 'F02']

Não

40

9376

9376

['F02', 'R2-038', 'F02', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'SU-047', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'AG-016', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'SU-301', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-052', 'F02', 'F03', 'R11-258', 'F03', 'F02', 'AA-158', 'F02', 'SU-003', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'R9-028', 'F02', 'SU-044', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R7-017', 'F02']

['F02', 'R2-038', 'F02', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'SU-047', 'F02', 'F03', 'R12-292', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'AE-030', 'F02', 'AG-016', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'AA-126', 'F02', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'SU-301', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'AB-070', 'F02', 'SU-052', 'F02', 'F03', 'R11-258', 'F03', 'F02', 'AA-158', 'F02', 'SU-003', 'F02', 'AB-084', 'F02', 'R7-027', 'F02', 'AB-069', 'F02', 'R9-028', 'F02', 'SU-044', 'F02', 'R2-025', 'F02', 'R7-017', 'F02']

Não

41

8424

8424

['F03', 'R9-014', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'AA-033', 'F02', 'SU-011', 'F02', 'Doca', 'SU-403', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'R19-009B', 'Doca', 'R19-027E', 'Doca', 'R19-031', 'Doca']

['F03', 'R9-014', 'F03', 'R11-222', 'F03', 'F02', 'AI-019', 'F02', 'AA-033', 'F02', 'SU-011', 'F02', 'Doca', 'SU-403', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'SU-034', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R10-232', 'Doca', 'R12-298', 'Doca', 'R19-009B', 'Doca', 'R19-027E', 'Doca', 'R19-031', 'Doca']

Não



['F02', 'SU-002', 'F02', 'Doca', 'R9-045A', 'Doca', 'F02', 'RJ-008', 'F02', 'Doca', 'SU-001',  
 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-012', 'Doca', 'SU-301',  
 'Doca', 'SU-028', 'Doca', 'SU-507', 'Doca', 'SU-029', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'SU-030',  
 'Doca', 'AB-069', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'R15-118', 'Doca', 'SU-040', 'Doca', 'R18-034',  
 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'R5-102', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'R7-037', 'Doca', 'SU-049',  
 'Doca', 'F03', 'R11-258', 'F03', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R9-014',  
 'F03', 'Doca', 'SU-053', 'Doca', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'Doca', 'SU-054', 'Doca', 'SU-055',  
 'Doca', 'SU-056', 'Doca', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'SU-059', 'Doca',  
 33263 'SU-061', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'F02', 'SU-303', 'F02', 'Doca', 'SU-068', 'Doca', 'SU-102',  
 'Doca', 'F02', 'AB-043', 'F02', 'Doca', 'SU-104', 'Doca', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'F03', 'R11-258',  
 'F03', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-202', 'Doca', 'F02', 'AI-053', 'F02', 'F03', 'R11-240', 'F03',  
 'Doca', 'SU-203', 'Doca', 'F02', 'R9-028', 'F02', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'SU-301', 'Doca',  
 'SU-304', 'Doca', 'SU-307', 'Doca', 'SU-308', 'Doca', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'Doca', 'SU-401',  
 'Doca', 'SU-402', 'Doca', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'Doca', 'SU-501', 'Doca', 'SU-504', 'Doca',  
 'SU-701', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'R2-037', 'F02', 'AB-088', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'F03',  
 'R13-184', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'R2-037', 'F02', 'F03', 'R11-240', 'F03', 'F02', 'SU-  
 706', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'AA-126', 'F02']

['F02', 'SU-002', 'F02', 'Doca', 'R9-045A', 'Doca', 'F02', 'RJ-008', 'F02', 'Doca', 'SU-001',  
 'Doca', 'SU-706', 'Doca', 'SU-001', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-012', 'Doca', 'SU-301',  
 'Doca', 'SU-028', 'Doca', 'SU-507', 'Doca', 'SU-029', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'SU-030',  
 'Doca', 'AB-069', 'Doca', 'SU-032', 'Doca', 'R15-118', 'Doca', 'SU-040', 'Doca', 'R18-034',  
 'Doca', 'SU-046', 'Doca', 'R5-102', 'Doca', 'SU-048', 'Doca', 'R7-037', 'Doca', 'SU-049',  
 'Doca', 'F03', 'R11-258', 'F03', 'Doca', 'SU-050', 'Doca', 'F03', 'R11-238', 'F03', 'R9-014',  
 'F03', 'Doca', 'SU-053', 'Doca', 'F02', 'R2-038', 'F02', 'Doca', 'SU-054', 'Doca', 'SU-055',  
 'Doca', 'SU-056', 'Doca', 'F02', 'R7-041', 'F02', 'Doca', 'SU-058', 'Doca', 'SU-059', 'Doca',  
 'SU-061', 'Doca', 'SU-062', 'Doca', 'F02', 'SU-303', 'F02', 'Doca', 'SU-068', 'Doca', 'SU-102',  
 'Doca', 'F02', 'AB-043', 'F02', 'Doca', 'SU-104', 'Doca', 'F02', 'AA-074', 'F02', 'F03', 'R11-258',  
 'F03', 'Doca', 'SU-108', 'Doca', 'SU-202', 'Doca', 'F02', 'AI-053', 'F02', 'F03', 'R11-240', 'F03',  
 'Doca', 'SU-203', 'Doca', 'F02', 'R9-028', 'F02', 'Doca', 'SU-204', 'Doca', 'SU-301', 'Doca',  
 'SU-304', 'Doca', 'SU-307', 'Doca', 'SU-308', 'Doca', 'F02', 'AI-004', 'F02', 'Doca', 'SU-401',  
 'Doca', 'SU-402', 'Doca', 'F02', 'SU-104', 'F02', 'Doca', 'SU-501', 'Doca', 'SU-504', 'Doca',  
 'SU-701', 'Doca', 'F02', 'R6-020', 'F02', 'R2-037', 'F02', 'AB-088', 'F02', 'SU-062', 'F02', 'F03',  
 'R13-184', 'F03', 'R12-264', 'F03', 'F02', 'R2-037', 'F02', 'F03', 'R11-240', 'F03', 'F02', 'SU-  
 706', 'F02', 'SU-405', 'F02', 'AA-126', 'F02'] Não















## ANEXO C – Código do arquivo “main.py”

```
### FORKLIFT ROUTING SIMULATION ###

import functions
import OD_Matrix
import multiprocessing

resources = 15
speed = float(4.16) # Forklift speed: 15km/h = 4.16m/s
warehouseInput = {}
warehouseOutput = {}
distMatrix = {}
inTimeLim = 1800
outTimeLim = 600

# Inserting data from files
warehouseInput, warehouseOutput, distMatrix =
functions.inputData(warehouseInput, warehouseOutput);

# Creating a file for OD Matrix /// 3 hours
#multiprocessing.Process(target=OD_Matrix.OD_matrix(distMatrix,speed))

# Creating a data structure for OD Matrix
OD = functions.inputOD()

# Generate Routes for both scenarios
multiprocessing.Process(target=functions.simulation(OD,distMatrix,resources,
warehouseInput,warehouseOutput,inTimeLim,outTimeLim,distMatrix,speed,1
0))

print
print "---- End of Routing ----"
#print "---- End of OD Matrix construction ----"
```

## ANEXO D – Código do arquivo “functions.py”

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import time

# Function to insert informations on structures
def inputData(dicInput, dicOutput,):
    start = time.time()

    inp = open('input.txt', 'r')
    outp = open('output.txt', 'r')
    dist = open('warehouseDistMatrix.txt', 'r')
    graph = nx.Graph()

    for i in dist:
        temp = i.split()

        if temp[0] not in graph.nodes():
            graph.add_node(temp[0])

        if temp[1] not in graph.nodes():
            graph.add_node(temp[1])

        graph.add_edge(temp[0], temp[1], weight=temp[2])

    for i in inp:
        temp = i.split()
        tempd = {}
        tempd.update({temp[1]:temp[2]})

        if temp[0] not in dicInput:
            dicInput[temp[0]] = {}

        dicInput[temp[0]].update(tempd)
    dicInput = (sorted(dicInput.items()))

    for i in outp:
        temp = i.split()
        tempd = {}
        tempd.update({temp[1]:temp[2]})

        if temp[0] not in dicOutput:
            dicOutput[temp[0]] = {}

        dicOutput[temp[0]].update(tempd)
    dicOutput = (sorted(dicOutput.items()))

#nx.draw(graph,pos=nx.random_layout(graph),node_size=30,node_color='g'
,width=0.1)
#plt.show()
```

```

    #print
    #print 'A graph was created with ',graph.number_of_nodes(),' nodes
and ',graph.number_of_edges(),' edges'
    #print

    return dicInput, dicOutput, graph

# Stores OD infos from csv file
def inputOD():
    OD = open('OD_matrix.csv', 'r')
    ODdict = {}
    for i in OD:
        temp = i.split()
        if temp[0] not in ODdict:
            ODdict[temp[0]] = {}
        ODdict[temp[0]].update({temp[1]:float(temp[2])})

    return ODdict

# Function to search the shortest path and calculate the average time
for a forklift
def pathTime(graph,orig,dest,speed):
    try:

length,path=nx.bidirectional_dijkstra(graph,orig,dest,'weight')

    except:
        print "Error:",orig,dest

    temp1 = 0
    for i in range(0,len(path)-1,1):
        temp = graph.get_edge_data(path[i],path[i+1])
        temp1 = temp1 + float(temp['weight'])

    return float(temp1)/float(speed)

# Function to calculate route time
def routeTime(route,OD,speed):
    cost = 0
    for i in range(0,len(route)-2,1):
        if route[i] != route[i+1]:
            cost = cost + OD[route[i]][route[i+1]]
    return int(cost)

# Function to calculate route time in now scenario
def nowRouteTime(route,OD,speed):
    cost = 0
    for i in range(0,len(route)-2,1):
        if route[i] != route[i+1]:
            if (route[i] == 'F02' and route[i+1] == 'F03') or
(route[i] == 'F02' and route[i+1] == 'Doca') or (route[i] == 'F02' and
route[i+1] == 'F02'):
                cost = cost + 0

```

```

        elif (route[i] == 'F03' and route[i+1] == 'F02') or
(route[i] == 'F03' and route[i+1] == 'Doca') or (route[i] == 'F03' and
route[i+1] == 'F03'):
            cost = cost + 0
        elif (route[i] == 'Doca' and route[i+1] == 'F03') or
(route[i] == 'Doca' and route[i+1] == 'Doca') or (route[i] == 'Doca'
and route[i+1] == 'F02'):
            cost = cost + 0
        else:
            cost = cost + OD[route[i]][route[i+1]]
    return int(cost)

```

*# Function to route Customer Orders (OT's)*

```

def routing(list):
    route = []
    for i in range(0, len(list), 1):
        route.append(list[i][1])
        route.append(list[i][2])
        route.append(list[i][1])

    for i in range(0, len(route) - 2, 1):
        if route[i] == route[i + 1]:
            route[i] = 0

        if route[i] == 'F03' or route[i] == 'F02':
            if route[i + 1] == 'Doca':
                route[i] = 0

        if route[i] == 'F03':
            if route[i + 1] == 'F02':
                route[i] = 0

        if route[i] == 'F02':
            if route[i + 1] == 'F03':
                route[i] = 0

    return [value for value in route if value != 0]

```

*# Function to route Customer Orders (OT's) in now scenario*

```

def nowRoute(list):
    route = []
    for i in range(0, len(list), 1):
        route.append(list[i][1])
        route.append(list[i][2])
        route.append(list[i][1])

    for i in range(0, len(route) - 2, 1):
        if route[i] == route[i + 1]:
            route[i] = 0

    return [value for value in route if value != 0]

```

*# Function to simulate the after and befor of Transfer Order Creation Process*

```

def simulation(OD, graph, resources,

```

```
warehouseInput,warehouseOutput,inTimeLim,outTimeLim,distMatrix,speed,timeWindow):
```

```
    timeWindow = timeWindow * 60 # Time Window in minutes
```

```
    scheduleQueue = {}
```

```
    for i in warehouseOutput:
        if int(i[0]) not in scheduleQueue:
            scheduleQueue[int(i[0])] = {}
            scheduleQueue[int(i[0])].update(i[1])
    for i in warehouseInput:
        if int(i[0]) not in scheduleQueue:
            scheduleQueue[int(i[0])] = {}
            scheduleQueue[int(i[0])].update(i[1])
```

```
    waitingList = []
```

```
    for i in range(0,99999,1):
        if i in scheduleQueue:
            for j in scheduleQueue[i]:
                temp = []
                temp.append(i)
                temp.append(j)
                temp.append(scheduleQueue[i][j])
                if j == 'Doca':
                    temp.append(i + outTimeLim)
                else:
                    temp.append(i + inTimeLim)
                temp.append(99999)
                waitingList.append(temp)
```

```
    toSave = open('routes.csv', 'w')
    toSave.write('Opt;Now\n')
```

```
    for i in range(0, 86331, timeWindow):
```

```
        start = time.time()
```

```
        initialTime = i
        finalTime = i + timeWindow
```

```
        temp_waitingList = []
        for j in waitingList:
            if j[0] >= initialTime and j[0] < finalTime:
                temp_waitingList.append(j)
```

```
        masterRoute = []
        route = []
        masterRoute = nowRoute(temp_waitingList)
        route = nowRoute(temp_waitingList)
        masterCost = nowRouteTime(route,OD,speed)
        costNowScen = nowRouteTime(route,OD,speed)
```

```
        for k in range(0, len(temp_waitingList) - 1, 1):
            for l in range(0, len(temp_waitingList) - 1, 1):
                if k != l:
                    routel = routing(temp_waitingList)
                    costl = routeTime(routel, OD, speed)
                    temp_waitingList[k], temp_waitingList[l] =
```



```

temp_waitingList[l], temp_waitingList[k]
    route2 = routing(temp_waitingList)
    cost2 = routeTime(route2, OD, speed)
    if cost2 < cost1 and cost2 < costNowScen:
        masterRoute = route2
        masterCost = cost2
    else:
        temp_waitingList[k], temp_waitingList[l] =
temp_waitingList[l], temp_waitingList[k]
        if cost1 < costNowScen:
            masterRoute = route1
            masterCost = cost1

toSave.write('{};{};{};{}\n'.format(int(masterCost*speed),int(costNowS
cen*speed),masterRoute,route))

```

## ANEXO E – Código do arquivo “OD\_Matrix.py”

```
import functions
import time

def OD_matrix(graph, speed):
    start = time.time()

    outFile = open('OD_matrix.csv', 'w')

    for i in graph:
        for j in graph:
            if i != j:

outFile.write('{};{};{}\n'.format(i, j, functions.pathTime(graph, i, j,
speed)))

    print("--- Running time: %s seconds ---" % (time.time() - start))
```