

Matheus Martins Aguiar

**Uma solução otimizada para auxiliar no
carregamento e distribuição de produtos**

Belo Horizonte

2017

Matheus Martins Aguiar

Uma solução otimizada para auxiliar no carregamento e distribuição de produtos

Relatório técnico final apresentado a Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como critério de avaliação da Iniciação Científica.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Orientador: Flávio Vinícius Cruzeiro Martins

Belo Horizonte
2017

Sumário

1	RESUMO	5
2	INTRODUÇÃO	7
2.1	Objetivo	7
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1	Problema de Carregamento de Containeres	9
3.1.1	Restrições práticas	9
3.1.2	Padrões de carregamento	10
3.1.2.1	Carregamento por camadas	10
3.1.2.2	Carregamento em pilhas	10
3.2	Problema de Roteamento de Veículos	11
3.2.1	Clarke e Wright (CW)	11
3.2.2	Gillett e Miller (GM)	12
3.3	Estratégias de resolução conjunta dos problemas explorados	13
3.3.1	Estratégia 1 - Carregamento após o roteamento	14
3.3.2	Estratégia 2 - Carregamento durante o roteamento	14
4	METODOLOGIA	15
4.1	Tratamento dos pedidos	15
4.1.1	Algoritmo de Formação de Torres	15
4.1.2	George Robinson	16
4.2	Carregamento de containeres	16
4.2.1	Algoritmo de Formação de Torres	16
4.2.2	George Robinson	17
4.3	Formação das Rotas	18
4.3.1	Roteamento	18
4.4	Resolução Conjunta dos Problemas	19
5	RESULTADOS	21
5.1	Algoritmo de Formação de Torres	21
5.2	George Robinson	23
5.3	Resolução Conjunta dos Problemas	23
6	CONCLUSÃO	25
7	AGRADECIMENTOS	27

REFERÊNCIAS	29
-----------------------	----

1 Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma propostas de resolução conjunta dos problemas de roteamento de veículos capacitados com frotas heterogêneas e de empacotamento em três dimensões, os quais são responsáveis por minimizar os custos obtidos nas rotas de veículos e gerar o carregamento dos mesmos de forma que a ocupação do container do veículo seja a melhor possível. São problemas amplamente estudados na literatura, mas não de forma interligada. A resolução deste problema é de grande interesse ao meio logístico pela possibilidade de gerar soluções econômicas e concisas. Devido a sua alta complexidade a sua natureza é NP-Difícil, por isso e pelo seu caráter multiobjetivo será utilizado algoritmos evolutivos e metaheurísticos ao longo de seu desenvolvimento.

Desta forma, foram estudadas e implementadas duas metodologias distintas para a sua resolução, sendo estas adaptáveis para o uso em ambientes cujas restrições sejam diferentes das já exploradas.

Palavras-chave: Metaheurísticas, Empacotamento de Container, Roteamento de Veículos.

2 Introdução

Atualmente percebe-se que o número de empresas relacionadas ao comércio que demonstram interesse ou efetuam a venda e entrega de mercadorias aos seus clientes é muito alto, sendo assim é necessário que exista um método eficiente para executar o planejamento do carregamento e roteamento de veículos de entrega. Embora pareça ser um problema simples de se resolver eles se tornam altamente complexos quando as dimensões destes crescem. Estes problemas são amplamente estudados em meio a literatura e são definidos como problemas pertencentes a classe de NP-Difíceis.

O problema de carregamento de containeres (PCC) consiste em efetuar o carregamento de caixas dentro de um container, maximizando a ocupação do espaço do container ([SANTOS, 2011](#)). Segundo [Araujo \(2006\)](#), o problema do roteamento de veículos (PVR) consiste na minimização dos custos obtidos nas rotas de veículos, os quais devem satisfazer as demandas estabelecidas pelos clientes e uma série de restrições.

Embora estes problemas sejam amplamente estudados na literatura, eles não o são de forma conjunta.

2.1 Objetivo

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema que seja capaz de resolver o problema de empacotamento em três dimensões e roteamento de veículos de forma integrada.

- O sistema deverá estabelecer soluções que utilizem o menor número de veículos possíveis.
- O sistema deverá ser capaz de fornecer soluções que proporcionem o máximo de economia ao cliente.
- As soluções de empacotamento devem vir acompanhadas com uma rota que vise o máximo de economia e velocidade ao transporte.

3 Fundamentação teórica

Neste capítulo será apresentada toda a base teórica necessária para o entendimento e desenvolvimento deste trabalho.

3.1 Problema de Carregamento de Containeres

O problema do carregamento de container consiste em carregar diversas caixas dentro do mesmo, tendo várias caixas de diferentes tipos ou não de forma que se estabeleça algum critério de otimização já pré-definido, como obter a maior taxa de ocupação possível do container.

3.1.1 Restrições práticas

Por possuir várias aplicações, em seu desenvolvimento é importante se levar algumas restrições em consideração, tais como as 12 considerações práticas abordadas por [Ratcliff e Bischoff \(1995\)](#) em seu trabalho.

1. **Orientação:** O rotacionamento de algumas caixas (desde que possível) pode ser necessário a fim de se facilitar o carregamento.
2. **Empilhamento:** Uma caixa possui um número de caixas máximo que podem ser empilhadas sobre aquela, ou um limite da pressão que possa ser exercida sobre a face desta caixa para que não ocorram deformações na mesma.
3. **Manuseio:** Algumas caixas, devido às suas dimensões, ao seu peso, ou ao equipamento que realiza o carregamento/descarregamento da carga, devem estar posicionadas em lugares específicos dentro do container.
4. **Estabilidade:** Pode ser necessário que as faces laterais e/ou inferiores de uma determinada caixa estejam suportadas pelas faces laterais e inferiores respectivamente de outras caixas já inseridas no container.
5. **Agrupamento de Itens:** Caixas que possuem um destino comum/próximo ou de algum determinado tipo devem estar próximas dentro do container.
6. **Múltiplos Destinos:** As caixas devem ser inseridas no container levando-se em conta a ordem de entrega das mesmas.
7. **Separação de Itens:** Caixas que não podem estar próximas ou em contato devem ser carregadas de forma que essa restrição seja obedecida dentro do container.

8. **Carregamento Completo de Grupos de Itens:** As caixas contendo partes de uma mesma entidade funcional ou de um pedido devem ser inseridas no mesmo container.
9. **Prioridades:** Caixas que possuem um prazo de entrega e/ou validade mais próximo que o de outras, devem ser carregadas e entregues com maior prioridade do que as outras.
10. **Complexidade do Padrão de Empacotamento:** Caixas presentes em padrões de carregamentos complexos podem demandar, por exemplo, maior esforço de manuseio devido a limitações do equipamento que realiza a carga/descarga das caixas.
11. **Limite de Peso:** O carregamento das caixas deve ser realizado de forma que o peso total das caixas carregadas não supere o peso limite disponível para carregamento no container.
12. **Distribuição do Peso dentro do Container:** O centro de gravidade do container carregado deve estar próximo ao centro de gravidade do plano que define a base do container.

3.1.2 Padrões de carregamento

Para o desenvolvimento de um método capaz de efetuar o carregamento de um container de forma eficaz, é necessário que se estabeleça um padrão de carregamento. Abaixo seguem alguns padrões de carregamento já conhecidos na literatura e que foram utilizados no desenvolvimento deste projeto.

3.1.2.1 Carregamento por camadas

Consiste na divisão do container em várias camadas, sejam elas horizontais ou verticais. Uma camada abrange todos os espaços vazios pertencentes ao dado intervalo, sendo que o container é preenchido camada por camada, até que não seja mais possível inserir novas caixas.

Largura flexível

Como visto em [Cecilio e Morabito \(2004\)](#) a largura flexível consiste no incremento de espaços não utilizados pelas camadas anteriores na camada atual, a figura 1 ilustra este procedimento. Após a inserção da torre A, a próxima torre poderá ser inserida um pouco mais atrás da margem que delimita o começo da camada atual, ocupando desta forma parte do espaço não utilizado, o que maximizará a taxa de ocupação do container.

3.1.2.2 Carregamento em pilhas

Possibilita a divisão do problema em dois problemas menores, sendo eles a formação de uma pilha de caixas e a alocação desta dentro do container. Para a formação da pilha inicialmente é escolhida a caixa que ficará na base e em seguida as caixas que ficaram acima desta. É

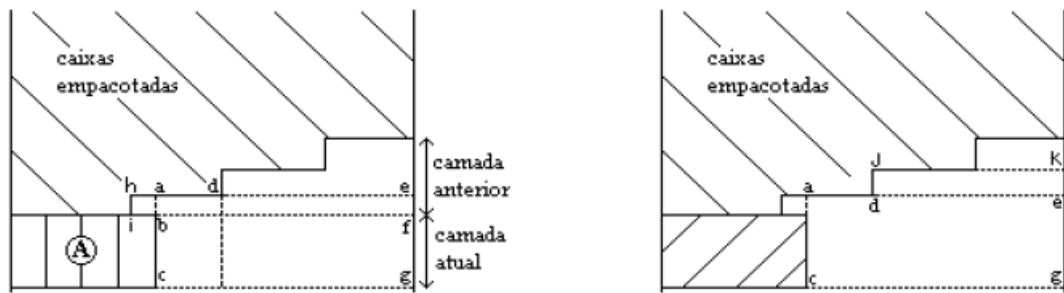


Figura 1 – Largura flexível

importante salientar que as caixas que ficarão em posições mais elevadas na pilha devem possuir dimensões equivalente ou menores a que estará imediatamente abaixo desta. Quando a pilha é formada por caixas heterogêneas o índice de ocupação do container pode decair, sendo assim pode ser mais viável a utilização de algum outro padrão, como o em camadas (na seção 3.1.2.1). O problemas de estabilidade vertical podem ser facilmente resolvidos com o "envelopamento" destas pilhas.

3.2 Problema de Roteamento de Veículos

De acordo com [Coelho \(2010\)](#)

O problema de Roteamento de Veículos (PRV) consiste em atender a um conjunto de clientes que precisam receber mercadorias a partir de um depósito central. A ideia é visitar todos os clientes, entregar as quantidades necessárias, respeitando algumas restrições como o tempo da viagem dos veículos e a capacidade de carga dos mesmos, e garantindo que tudo seja feito ao menor custo possível. Se o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) já era um problema difícil do ponto de vista de resolução computacional, o Problema de Roteamento de Veículos é ainda mais difícil, pois o trajeto de cada um dos veículos requer a resolução de um PCV, e ainda é preciso escolher quais clientes serão designados a cada um dos veículos, garantindo custo mínimo e eficiência máxima.

Existem alguns métodos dentro da literatura para a resolução deste problema, nesta seção explanaremos um pouco acerca daqueles que serviram como base para o desenvolvimento deste trabalho.

3.2.1 Clarke e Wright (CW)

De acordo com [Gama \(2011\)](#)

Este clássico algoritmo foi proposto pela primeira vez em 1964 por Clarke e Wright para resolver o PRV em que o número de veículos é livre. O método inicia como a rota do veículo contendo apenas o depósito e outro vértice, de modo que em cada etapa, duas rotas são mescladas de acordo com o maior ganho que pode ser gerado.

Este método baseia-se na abordagem das economias, a qual expressa as economias de custo obtidas ao se unir dois roteiros em um único roteiro (JUNQUEIRA, 2013). Esta abordagem tem como objetivo a minimização das distâncias totais percorridas e consequentemente o número de veículos necessários para o atendimento das rotas.

Inicialmente cada ponto de entrega está em um roteiro diferente, em seguida são calculadas as economias existentes entre se unir cada par de roteiros, essas economias ficam dispostas em ordem decrescente em uma tabela denominada como "tabela de economias", sendo assim as uniões que proporcionarão uma maior economia estarão acima das outras nesta tabela. Desta forma percorremos esta tabela verificando se esta união é possível através da inserção dos pedidos destas rotas em um mesmo container, caso seja possível elas são unidas e a tabela é refeita com as rotas atualizadas. Uma vez que houve a união de duas rotas, sendo necessária a atualização dos dados da tabela. Caso não seja possível de se unir as duas rotas, isto é, os itens dos pontos a serem atendidos não sejam comportados juntos em um mesmo container elas não são unidas, passando para a próxima posição da tabela até que se encontre uma união possível. Caso não se encontre mais nenhuma união de rotas possíveis o algoritmo encerra a sua execução, visto que todas as uniões possíveis já foram realizadas, obtendo desta forma as rotas a serem seguidas pelos veículos.

3.2.2 Gillett e Miller (GM)

Segundo Junqueira (2013)

Trata-se de um algoritmo heurístico construtivo que se baseia no conceito de "agrupar primeiro, rotear depois". Este conceito basicamente visa construir conjuntos de clientes, e então, para cada conjunto, construir um roteiro, o que equivale a resolver um Problema do Caixeiro Viajante.

Uma das premissas deste algoritmo é tratar todos os clientes como se estivessem no mesmo plano. Normalmente o primeiro cliente a selecionado é aquele que possui um menor ângulo em relação ao eixo horizontal do plano, e, movendo-se no sentido anti-horário, atribuem-se clientes aos veículos, enquanto a capacidade dos mesmos não for excedida. Quando ela for excedida inicia-se um novo conjunto de clientes e aquele é concluído. Após todos os clientes estarem inclusos em algum conjunto é realizado o roteamento de cada conjunto. (JUNQUEIRA, 2013)

Apresentaremos a seguir (Figuras 2 à 5) uma exemplificação da execução deste algoritmo, onde temos dispostos 12 clientes, um depósito (1) e o raio de varredura de execução do algoritmo.

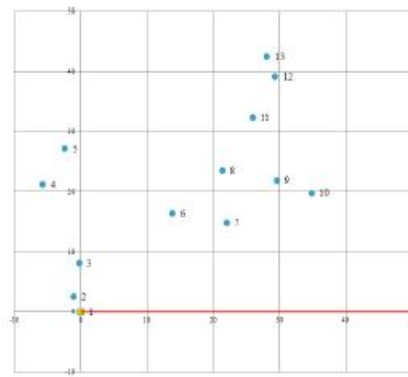


Figura 2 – Os 12 clientes, o depósito (1) e o raio de varredura para a execução do Algoritmo de Gillet & Miller.

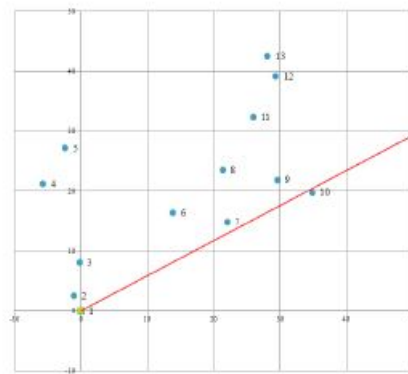


Figura 3 – Primeiro cliente (10) atribuído ao primeiro veículo.

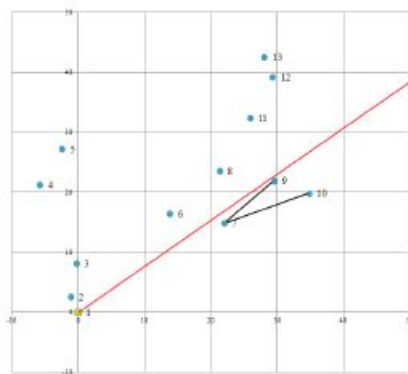


Figura 4 – Primeiro roteiro concluído.

3.3 Estratégias de resolução conjunta dos problemas explorados

Para a resolução conjunta dos problemas de carregamento de containeres e roteamento de veículos é necessário que se adote alguma estratégia de integração entre os métodos de resolução explorados neste trabalho. Desta forma, [Junqueira \(2013\)](#) nos apresenta as seguintes

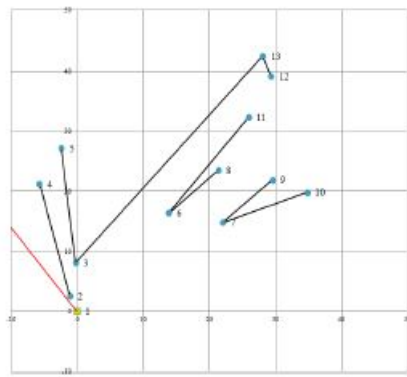


Figura 5 – Resultado final da execução do algoritmo com todos os clientes e seus respectivos conjuntos.

propostas de estratégias:

3.3.1 Estratégia 1 - Carregamento após o roteamento

Inicialmente são geradas um conjunto de roteiros usando algum dos algoritmos de roteamento e em seguida é verificado se este conjunto é factível, ou seja, se os pedidos envolvidos são comportados dentro do container de um veículo. (JUNQUEIRA, 2013)

3.3.2 Estratégia 2 - Carregamento durante o roteamento

Esta estratégia avalia a geração dos roteiros simultaneamente à avaliação dos carregamento dos containeres.

Isto é, a cada tentativa de união de roteiros (Algoritmo de Clarke Wright) ou a cada tentativa de atribuição de clientes a veículos (Algoritmo de Gillett e Miller) é verificado se é possível de se realizar o carregamento dos pedidos envolvidos em um mesmo container. Para esta verificação seria empregado algum dos algoritmos de carregamento explorados neste trabalho. (JUNQUEIRA, 2013)

4 Metodologia

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias aplicadas no desenvolvimento do carregamento e das rotas dos containeres, assim como todas as ferramentas utilizadas ao longo de seu desenvolvimento.

Para a resolução do problema de carregamento de containeres foram reimplementados dois trabalhos, sendo estes: [Junqueira \(2013\)](#) que realiza o carregamento seguindo o padrão de camadas e [Santos \(2011\)](#) seguindo o padrão de pilhas. A fim de se facilitar a sua compreensão a resolução do problema foi dividida em três partes, sendo estas o tratamento e carregamento dos pedidos e o roteamento dos containeres.

4.1 Tratamento dos pedidos

Antes de efetuarmos o carregamento dos pedidos, é importante que se realize o tratamento dos pedidos, no Algoritmo de Formação de Torres isso corresponderá basicamente a formação das torres de cada pedido e a ordem de carregamento dos mesmos, já no George Robinson este tratamento é realizado durante o carregamento.

4.1.1 Algoritmo de Formação de Torres

Primeiramente o algoritmo recebe os pedidos que deverão ser carregados no container e logo depois forma as torres para o carregamento, sendo que estas deverão ser formadas atendendo as seguintes restrições: *rotacionamento*¹ (somente ao longo do eixo z, ou seja, apenas a troca da dimensão de comprimento com a de profundidade da caixa), *empilhamento*², *estabilidade*³ e *múltiplos destinos*⁴. Além destas restrições já vistas anteriormente, é adicionada uma relacionada a altura da torre, visto que esta não pode ultrapassar a altura disponível para inserção dentro do container.

A formação das torres se dá da seguinte forma:

1. A lista de itens para o carregamento daquele pedido é ordenada em forma decrescente de acordo com os critérios definidos pela tabela 1.
2. Inserir a primeira caixa da lista na torre, sendo que a largura, profundidade e altura da torre serão equivalentes as da caixa.

¹ Vide item 1 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

² Vide item 2 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

³ Vide item 4 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

⁴ Vide item 6 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

#	Critérios de Prioridades
1º	Largura.
2º	Profundidade.
3º	Pressão exercida na base.

Tabela 1 – Critérios para formação da torre em Algoritmo de Formação de Torres

3. Continuar inserindo caixas na torre enquanto: a altura desta for inferior a do container e a pressão exercida pela base nas caixas de baixo for suportada. Uma caixa só poderá ser inserida na torre se as suas dimensões estiverem dentro do limite dimensional da torre, caso não esteja essa caixa é deixada para ser inserida em uma próxima torre. Quando não for mais possível inserir caixas naquela torre volte ao passo anterior até que não haja mais nenhuma caixa disponível para o empilhamento.

Após o empilhamento das caixas de todas as caixas, cada pedido recebe um identificador único que irá variar de 0 até $n-1$, sendo n a quantidade total de pedidos. A ordem de carregamento dos pedidos é aleatória, sendo feito o sorteio através deste identificador, a justificativa para isto é por ter como objetivo o uso de algoritmos genéticos, obtendo ao final uma geração de $n-1$ soluções diferentes.

4.1.2 George Robinson

O algoritmo de George Robinson trabalha com o carregamento de apenas um pedido, para que aconteça o carregamento de vários pedidos é necessário de que se implemente um método que efetue a sua execução para cada pedido. Sendo que o carregamento naquele container acontece apenas enquanto for possível de se realizar inserções no mesmo.

4.2 Carregamento de containeres

Após efetuarmos o tratamento dos pedidos podemos realizar o carregamento dos mesmos no container, para tal são seguidos os procedimentos descritos a seguir.

4.2.1 Algoritmo de Formação de Torres

O Carregamento dos pedidos é realizado da seguinte forma:

1. A primeira torre de caixas carregada no container deve ser posicionada no fundo do container à esquerda. A partir da segunda torre os seguintes passos deverão ser seguidos:
2. A torre deve ser empurrada até o fundo do container ou até que encoste em uma outra torre.

3. Empurre a torre para a esquerda até que encoste na lateral do container ou em outra torre.
4. Fazer o passo 2 e 3 até que não seja mais possível nenhum dos dois, em seguida deve ser carregada outra torre.

4.2.2 George Robinson

Neste trabalho foi utilizado o algoritmo de George Robinson o qual realiza o carregamento em camadas (seção 3.1.2.1) aproveitando os espaços vazios através do uso da largura flexível (seção 3.1.2.1) para potencializar a ocupação do container. Ele obedece aos critérios de *rotacionamento*⁵ e *agrupamento de itens*⁶, visto que toda vez que um novo tipo de caixa é utilizado no carregamento do container é dado a ele prioridade sobre os demais através da classificação dos tipos em dois grupos:

- **Tipo Aberto:** Grupo de caixas que já foram inseridas no container alguma vez.
- **Tipo Fechado:** Grupo de caixas que ainda não foram inseridas no container.

Uma nova camada é iniciada apenas após a anterior ter sido totalmente preenchida, ou não houver mais possibilidade de inserção nela, o espaço vazio remanescente na mesma é reutilizado através da largura flexível (seção 3.1.2.1).

Inicialmente é formada uma lista de prioridade dos tipos de caixa com base nos critérios mostrados na tabela 2.

#	Critérios de Prioridades
1º	Maior das menores dimensões.
2º	Maior quantidade de caixas disponíveis para inserção.
3º	Maior dimensão.

Tabela 2 – Critérios de prioridade

Logo após a formação desta lista, é selecionada a caixa que irá iniciar a primeira camada através do método Seleciona 1, o qual busca na lista de tipos de caixa se existe alguma do tipo aberto, caso exista é selecionada a caixa com maior prioridade possível de ser inserida dentre elas, caso não esta seleção é feita dentro da lista de caixas do tipo fechado e esse tipo será pertencente ao grupo de caixas abertas agora. A profundidade da nova camada sera equivalente a maior dimensão da caixa selecionada.

Em seguida o método Dimensões realiza a escolha da forma de rotacionamento que a caixa irá sofrer na formação das torres para a inserção na caixa, ou seja, das dimensões de altura e largura da caixa e a quantidade de caixas que formará a torre.

⁵ Vide item 1 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

⁶ Vide item 5 da lista de Restrições práticas na seção 3.1.1

Após a inserção da caixa são adicionados os espaços remanescentes em um estoque de espaços vazios através do método Novo espaço e verificamos se ainda é possível de se realizar inserções de caixas nos espaços disponíveis daquela camada ou nos da combinação da mesma com a das camadas anteriores. Caso seja possível é escolhida um novo tipo de caixa para o carregamento naquela camada. O método Seleciona 2 realiza a escolha de tipos de caixas para camadas já existentes, com base na formação de torres completas, se não for possível formar uma torre completa com nenhum tipo de caixa será escolhida a caixa que melhor utilize a base do espaço, visto que isso permitirá melhor a escolha de um novo tipo de caixa para ser inserida acima da torre destas caixas. Este procedimento irá continuar até que o carregamento chegue ao fim.

Sempre que se realiza a inserção de uma torre na camada, a possibilidade do aproveitamento da largura flexível (seção 3.1.2.1) é verificada.

4.3 Formação das Rotas

Para a formação das Rotas foi implementado o algoritmo do método de Clarke e Wright (Seção 3.2.1), como explicado anteriormente inicialmente cada cliente se encontra em uma rota, onde o veículo vai do depósito ao ponto de entrega e depois volta para o depósito. Com base nisso é calculada a economia de se unir cada par de rotas, ou seja, se temos 12 pontos de entrega, são realizados 11 cálculos para se determinar quanto se economizaria ao se incluir um dos outros pontos de entrega na rota existente. Com base neste resultado ordenamos a tabela de economias da maior economia para a menor e tentamos realizar as uniões das rota. É necessário que a tabela seja refeita sempre que uma rota for unida, uma vez que a tabela existente torna-se desatualizada. O algoritmo chega a sua solução quando não é mais possível realizar uniões de rotas, encontrando assim o conjunto de rotas final.

4.3.1 Roteamento

Como o Algoritmo de Clarke e Wright (Seção 3.2.1) gera apenas o conjunto de clientes de cada rota, é necessário recorrer a alguma ferramenta capaz de realizar o roteamento dado os pontos a serem atendidos pela mesma.

Para tal utilizamos a Google Directions *API* ⁷, que realiza o mesmo trabalho fornecido pelo google maps aos seus usuários, mostrando as direções e os caminhos sugeridos dado um endereço de origem e de destino. Para o desenvolvimento do algoritmo foi necessário apenas o retorno do percurso com menor distância entre os dois pontos através de um arquivo XML e a distância deste percurso.

⁷ A sigla API corresponde às palavras em inglês "Application Programming Interface". No português "Interface de Programação de Aplicações". Elas são uma forma de integrar sistemas, possibilitando benefícios como a segurança dos dados, facilidade no intercâmbio entre informações com diferentes linguagens de programação e a monetização de acessos. (FERNANDES, 2018)

Com os dados obtidos através do uso desta API conseguimos efetuar o cálculo das economias e a obtenção final das rotas.

4.4 Resolução Conjunta dos Problemas

Optamos pelo uso da estratégia de carregamento durante o roteamento (Seção [3.3.2](#)) por acreditar que o desempenho obtido seria mais eficiente. Desta forma as rotas são unidas quando é possível de se realizar o carregamento dos pacotes envolvidos em ambas as rotas em um mesmo veículo, quando não é possível elas não são unidas.

5 Resultados

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através da implementação das duas metodologias descritas no capítulo anterior.

5.1 Algoritmo de Formação de Torres

O método de Algoritmo de Formação de Torres foi validado através das instâncias de dados indicadas pelas tabelas 3 e 4 obtendo os resultados ilustrados nas figuras 6 e 7. A partir destes resultados fica claro que o problema de carregamento de containeres pode ter vários objetivos, como minimizar o número de veículos responsáveis por aquela demanda visando a possibilidade de atender a um maior número de clientes, ou a menor distância percorrida obtendo uma entrega mais ágil e com um custo menor de combustível.

O carregamento dos pedidos gerou a mesma quantidade de torres independente da ordem aplicada, já que este tratamento é realizado antes do carregamento. Porém a variação desta ordem afeta o seu carregamento e entrega, como indicado nas soluções 1 e 2 (Figura 6) que ocuparam o dobro de containeres que as demais e na divergência das distâncias encontradas.

Informações das Caixas						
ID	Largura	Profundidade	Altura	Peso	Pressão	Resistência
1	48	57	85	21	7,52E-03	1,50E-02
2	50	57	85	22	7,78E-03	1,56E-02
3	67	71	105	43	9,07E-03	1,81E-02
4	65	79	94	88	1,72E-02	3,45E-02
5	71	74	188	87	1,66E-02	1,25E-02
6	81	75	190	107	1,76E-02	1,32E-02
7	57	47	37	18	6,84E-03	2,05E-02
8	56	44	36	16	6,24E-03	1,87E-02
9	57	60	43	28	8,23E-03	1,65E-02
10	39	24	67	7	7,80E-03	1,56E-02
11	56	72	44	6	1,49E-03	3,72E-03
12	28	35	46	6	5,82E-03	1,45E-02
13	5	44	36	16	6	1,80E-02
14	202	2	36	16	2,0E-03	1,87E-02

Tabela 3 – Tipos de caixas utilizados em Algoritmo de Formação de Torres

Itens/Pedidos														
Pedidos	Caixas													
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	1	0	1	2	1	0	0	0	27	0	0	0	0	0
4	1	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Tabela 4 – Informações dos pedidos carregados

Tamanho da solução Inicial: 5

Solução inicial: { 1 2 4 3 5 }

Solução (0) ocupou 1 container(s) e a distancia total é 45.7km

Solução (1) ocupou 2 container(s) e a distancia total é 36.400000000000006km

Solução (2) ocupou 2 container(s) e a distancia total é 52.5km

Solução (3) ocupou 1 container(s) e a distancia total é 55.9km

Solução (4) ocupou 1 container(s) e a distancia total é 68.1km

Figura 6 – Distâncias percorridas por cada solução

Tamanho da solução Inicial: 5

Solução inicial: { 1 2 4 3 5 }

O pedido 1 tem 3 torres

O pedido 2 tem 2 torres

O pedido 3 tem 3 torres

O pedido 4 tem 11 torres

O pedido 5 tem 2 torres

Figura 7 – Torres/Pedido

5.2 George Robinson

Ao executar este algoritmo com a instância de dados obtida no trabalho (Tabela 5), foram geradas 13 camadas, enquanto o resultado original obteve 12. Isso se dá devido a uma pequena diferença no método Seleciona 2 que realiza a escolha da caixa que virá a ser inserida em uma camada já existente. O George Robinson original escolhe a caixa que melhor utilize a base do espaço, enquanto nesta implementação é escolhida a caixa ou conjunto de caixas do mesmo tipo que proporcione este resultado.

Tipo	Dimensão			Qtde	Prioridade		
	Comprimento	Largura	Altura		1	2	3
1	785	139	273	400	5	1	3
2	901	185	195	160	4	2	2
3	901	195	265	40	6	4	1
4	1477	135	195	40	4	6	4
5	614	480	185	8	4	6	4
6	400	400	135	16	6	5	5
7	264	400	400	80	2	3	5
8	385	365	290	40	1	4	6

Tabela 5 – Informações das caixas a serem inseridas no container

5.3 Resolução Conjunta dos Problemas

Ao executar a segunda estratégia de integração dos problemas de roteamento de veículos e de carregamento de containeres com os algoritmos implementados de Clarke & Wright e George Robinson, obtivemos o resultado expresso na figura 8.

```
A rota (0) percorre 2.7km e atende aos seguintes pedidos:
-- Pedido (4)
-- Pedido (2)
A rota (1) percorre 28.29999999999997km e atende aos seguintes pedidos:
-- Pedido (3)
-- Pedido (1)
-- Pedido (0)
```

Figura 8 – Pedidos atendidos por rota.

Ao compararmos o resultado obtido de 31.7 km percorridos pela frota de veículos com o apresentado anteriormente na figura 6 onde temos uma distância média percorrida de 51,72 km, percebemos uma redução de 38% na distância percorrida. Provando que a integração dos dois algoritmos e a divisão das entregas em uma quantidade maior de veículos pode fornecer resultados benéficos para a empresa e para os clientes, uma vez que os mesmos receberão suas entregas em um espaço de tempo menor.

6 Conclusão

Através deste trabalho é possível de se concluir que os métodos estudados e desenvolvidos são eficientes em tratar o problema de carregamento de containeres (PCC), podendo ser adaptados para várias aplicações, como na obtenção de uma solução que minimimize o número de containeres utilizados para aquele grupo de pedidos, ou maximizar o número de clientes atendidos com um gasto menor de tempo ao buscar a menor distância percorrida possível. Também podem ser adaptados para atender a mais restrições, como por exemplo possibilitar o algoritmo de George Robinson a verificar a pressão e o limite de peso suportado pelas caixas de baixo durante o processo de formação de torres ou de inserção de uma torre em cima de outra. Para auxiliar este processo recomenda-se o uso de algoritmos genéticos, o que faz parte da proposta do projeto.

Concluimos também que os resultados obtidos através da resolução conjunta dos problemas foram satisfatórios, uma vez que conseguiram diminuir a distância total percorrida para efetuar as entregas propostas. Como melhoria seria interessante a implementação de uma interface gráfica que mostrasse a rota traçada pela API utilizada para os veículos realizarem as entregas. Além disso a utilização de algum método heurístico de otimização de algoritmos de forma a buscar a melhor solução possível.

7 Agradecimentos

Agradeço ao CEFET, a FAPEMIG e ao meu orientador Flávio Vinícius Cruzeiro Martins pela oportunidade fornecida para a realização deste trabalho, assim como o apoio fornecido a mim pela minha família, amigos e colegas de iniciação André Dornas e Rodrigo Borges, sem vocês seria impossível chegar até aqui.

Referências

- ARAUJO, O. B. *Problema de corte e empacotamento tridimensional e integração com roteamento de veículos*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, 2006. Citado na página 7.
- CECILIO, F. O.; MORABITO, R. Refinamentos na heurística de george e robinson para o problema do carregamento de caixas dentro de contêineres. *Transportes*, v. 12, p. 32–45, junho 2004. Citado na página 10.
- COELHO, L. C. *Série Pesquisa Operacional – Problema de Roteamento de Veículos*. 2010. Logística Descomplicada. Disponível em: <<https://www.logisticadescomplicada.com/serie-pesquisa-operacional-%E2%80%93-problema-de-roteamento-de-veiculos/>>. Acesso em: 11/03/2018. Citado na página 11.
- FERNANDES, A. *O que é API? Entenda de uma maneira simples*. 2018. Vertigo. Disponível em: <<https://vertigo.com.br/o-que-e-api-entenda-de-uma-maneira-simples/>>. Acesso em: 12/03/2018. Citado na página 18.
- GAMA, M. B. *Roteirização de veículos: Implementação e melhoria do método de Clarke e Wright*. Monografia (TCC) — Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2011. Citado na página 11.
- JUNQUEIRA, L. *Modelos e algoritmos para problemas integrados de roteamento e carregamento de veículos*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de São Carlos, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 12, 13, 14 e 15.
- RATCLIFF, M. S. W.; BISCHOFF, E. E. *Issues in the development of approaches to container loading*. [S.l.]: Omega, 1995. v. 23. 377-390 p. Citado na página 9.
- SANTOS, P. A. V. H. D. *Resolução do problema de carregamento de container e de roteamento de veículos utilizando algoritmos genéticos*. Dissertação (Pós-Graduação) — Universidade Federal do Paraná, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 15.