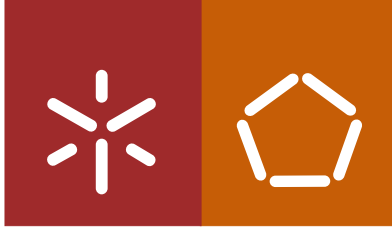


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago José Airosa Barros de Araújo

Optimização de processos na cadeia de abastecimento: o caso do transporte de mercadorias



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Tiago José Airosa Barros de Araújo

**Optimização de processos na cadeia de
abastecimento: o caso do transporte de
mercadorias**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho realizado sob a orientação do
Professor Doutor Cláudio Manuel Martins Alves

outubro de 2013

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Cláudio Alves, que desde o início se esforçou por me ajudar a obter um estágio e após uma decisão negativa para comigo da parte da empresa, na qual estaria tudo supostamente tratado, o professor prometeu e cumpriu a sua palavra, que iríamos arranjar um tema de dissertação interessante. Desde o início mostrou interesse, sempre motivado, o que me ajudou muito, e era garantido que no fim de cada reunião, sentia-me melhor comigo mesmo e com o trabalho que desenvolvia. Pelo seu conhecimento, e do modo como este era transmitido, sinto que este ano, cresci imenso. Obrigado por todas as horas dedicadas.

Agradeço também à Universidade do Minho e ao Departamento de Produção e Sistemas pelo nível e organização do sistema de educação disponibilizado.

Por fim, agradeço o apoio e força da minha namorada, família e amigos.

Resumo

Num passado recente, tem-se verificado uma melhoria contínua das condições de transporte. As infra-estruturas construídas, desde estradas a linhas ferroviárias tiveram como objectivo melhorar a qualidade de vida da população, diminuir o tempo e custos associados ao transporte e distribuição, quer de pessoas quer de mercadorias. Para que esta qualidade exista é necessário criar condições para tal, e assim é essencial otimizar as rotas dos veículos e a disposição das cargas transportadas. É nesta área que o presente trabalho se enquadra e de forma a contextualizar o problema e perceber o trabalho realizado na área até ao momento, é apresentado um resumo dos vários estudos desenvolvidos na área num capítulo de revisão de literatura.

A realização desta dissertação foi constituída por duas fases distintas. Uma primeira fase de pesquisa de aplicações internacionais e nacionais que permitem otimizar rotas, na qual para as aplicações internacionais só foram analisadas aquelas que consideram restrições dos produtos transportados como o peso, altura, comprimento, largura e volume. Na análise das aplicações são descritas as suas funcionalidades e os principais clientes. Adicionalmente, e caso as aplicações tenham um módulo que trata do carregamento dos veículos, é feita a sua descrição. No fim dessa fase, é apresentada uma análise crítica das aplicações e uma tabela de síntese onde são apresentadas as suas principais características.

O objectivo da segunda fase foi desenvolver e testar várias abordagens heurísticas para o problema de encaminhamento de veículos com restrições de carga a duas dimensões (2L-CVRP). Os testes de desempenho dessas heurísticas foram realizados sobre as mesmas instâncias usadas no trabalho desenvolvido por Iori (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007) na qual garante resultados óptimos recorrendo a um algoritmo exacto. O problema em estudo é caracterizado por um depósito central onde estão colocados diversos veículos que têm a função de transportar encomendas efectuadas por clientes. O objectivo é minimizar tanto a distância total percorrida pelos veículos assim como o número de veículos utilizados. No final, temos uma série de veículos, em que cada um tem uma rota ordenada de clientes.

Comparando os resultados das heurísticas com o algoritmo exacto, é natural que os resultados das heurísticas sejam piores no que diz respeito ao número de veículos utilizados e às distâncias percorridas. Contudo, a motivação esteve em tentar aproximar-se da qualidade dos resultados do algoritmo exacto em tempos computacionais bem menores.

Nos três algoritmos desenvolvidos foram identificadas três zonas críticas, as estratégias de selecção dos clientes, a estratégia de colocação de itens nos veículos e a estratégia para controlar a distância percorrida – raio de movimentação dos veículos.

Abstract

In the recent past, there has been a continuous improvement of transport conditions. The infrastructures built, from roads to railways lines, were aimed to improve the population life quality, decrease the time and costs associated to the transport and distribution of people and goods. For this quality to exist, it is necessary to create conditions for that, and so it is essential to optimise the vehicle routing and the arrangement of the cargoes. This is the context of the current work and in order to understand what was done, a summary of several studies is presented in a state of art chapter.

The development of this dissertation was composed by two distinct phases. An initial research phase of international and national software that allows routing optimization was made and, in the case of international software, we only analysed those who consider cargoes restrictions like, weight, height, length, width and volume. In the software analysis are described their main features and major customers and, if they have a module that deals with the vehicle loading, its description is made. At the end of this phase, a critical analysis and a summary table with the software main features are presented.

The aim of the second stage was to develop and test heuristic approaches to the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints (2L-CVRP). Performance tests on this heuristics were performed on the same instances presented in lori 's work (lori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007), in which an exact algorithm was used to ensure optimal results. The problem features a central depot, where various vehicles are placed and each has the function of transporting orders placed by customers. The main objective is to minimize the total travelled distance and the number of vehicles used. In the end, we have a set of vehicles, in which, each has an ordered rout of clients.

Following this approach and to provide a basis for comparison, three constructive heuristics were developed in order to have access to a range of different outcomes and so, in addition of being compared with the exact algorithm, the developed algorithms can be compared between them. The items that are used for analysis are, the number of vehicles used in an instance, the total distance travelled and the runtime.

When compared with the exact algorithm, it is natural that the heuristics present worse results in terms of number of vehicles used and total distance travelled. However, the motivation was to try to approach the quality of the results presented by the exact algorithm, in less time.

In the three algorithms developed, we identified three critical areas, the customers selection strategy, the placement of items in vehicles strategy and the control of distance strategy - radius of movement by vehicles between clients.

Conteúdo

1. Revisão de Literatura	1
2.1. Aplicações internacionais.....	10
2.1.1. COPTIMAL.....	10
2.1.1.1. LUCINA.....	10
2.1.1.2. AutoLoadPRO.....	11
2.1.1.3. AIMOBI.....	12
2.1.2. ORTEC.....	12
2.1.2.1. Encaminhamento de Veículos e Expedição – <i>Vehicle Routing & Dispatch</i>	13
2.1.2.2. Construtor de Cargas e Paletes - <i>Ortec's Pallet and Load Building</i>	15
2.1.2.3. Agendamento da mão de obra - <i>The WorkForce Scheduling</i>	16
2.1.2.4. Planeamento de Serviços em Áreas de Atuação– <i>Field Service Planning</i>	17
2.1.3. DISC.....	17
2.1.4. Optrak.....	18
2.1.5. Roadnet.....	20
2.1.6. Paragon.....	23
2.1.6.1. Optimizador de Agendamento e Encaminhamento – <i>Paragon Routing and Scheduling Optimizer</i>	24
2.1.6.2. Outros Produtos.....	25
2.1.7. JOpt.....	25
2.1.7.1. JOpt.SDK – Biblioteca de encaminhamento de veículos.....	26
2.1.7.2. JOpt.AAS – Optimização como um serviço.....	27
2.1.8. Oracle Transportation Management.....	27
2.2. Aplicações Nacionais	30
2.2.1. Elaconta.....	31
2.2.2. SINFIC.....	32
2.3. Aplicações internacionais: análise e discussão.....	34
3. O problema de encaminhamento com restrições de carregamento	39
3.1. Caracterização do problema em estudo	39
3.2. Abordagens de resolução	40
3.2.1. Estratégias de selecção dos clientes.....	44
3.2.2. Estratégia de colocação dos itens nos veículos.....	47
3.2.3. Estratégia para controlar a distância percorrida - Raio de movimentação dos veículos.....	57
4. Análise de Resultados	67
4.1. Resultados dos algoritmos.....	67
4.2. Comparação de algoritmos	74
4.2.1. Comparação com o algoritmo exacto.....	74
4.2.2. Comparação entre os três algoritmos desenvolvidos.....	75
4.2.3. Resultados e comparação dos algoritmos para instâncias de maiores dimensões.....	76
5. Conclusão e trabalho futuro	79

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama Problemas CVRP	6
Figura 2 - Diagrama dos estudos e algoritmos desenvolvidos para os problemas CVRP	7
Figura 3 – Visualização do Carregamento (fonte: Coptimal,2013)	12
Figura 4 – Visualização do Carregamento (fonte: Ortec, 2013)	15
Figura 5 - Visualização do Carregamento (fonte: Optrak, 2013)	18
Figura 6 - Lista de Aplicações I	36
Figura 7 - Lista de Aplicações II	37
Figura 8 - Diagrama do Algoritmo Rácio - Maior Área Ocupada	41
Figura 9 – Diagrama do Algoritmo CmP v1.0	42
Figura 10 - Diagrama do Algoritmo CmP v2.0	43
Figura 11 - Imagem ilustrativa sobre o problema do CmP v1.0	46
Figura 12 - Colocação de itens em veículo – Passo 1	47
Figura 13 - Colocação de itens em veículo – Passo 2	48
Figura 14 - Colocação de itens em veículo – Passo 3	49
Figura 15 - Colocação de itens em veículo – Passo 4	49
Figura 16 - Colocação de itens em veículo – Passo 5	50
Figura 17 - Colocação de itens em veículo – Passo 6	50
Figura 18 - Colocação de itens em veículo – Passo 7	51
Figura 19 - Colocação de itens em veículo – Passo 8	52
Figura 20 - Colocação de itens em veículo – Passo 9	52
Figura 21 - Colocação de itens em veículo – Passo 10	53
Figura 22 - Colocação de itens em veículo – Passo 11	53
Figura 23 - Colocação de itens em veículo – Passo 12	54
Figura 24 - Colocação de itens em veículo – Passo 13	54

Figura 25 - Colocação de itens em veículo – Passo 14	55
Figura 26 - Colocação de itens em veículo – Passo 15	56
Figura 27 - Colocação de itens em veículo – Passo 16	56
Figura 28 - Colocação de itens em veículo – Passo 17	57
Figura 29 - Imagem ilustrativa sobre os diferentes valores de α	58
Figura 30 - Escolha do próximo cliente - parte 1	58
Figura 31 - Escolha do próximo cliente - parte 2	59
Figura 32 - Escolha do próximo cliente - parte 3	60
Figura 33 - Escolha do próximo cliente - parte 4	61
Figura 34 - Escolha do próximo cliente - parte 5	61
Figura 35 - Escolha do próximo cliente - parte 6	62
Figura 36 - Escolha do próximo cliente - parte 7	63
Figura 37 - Escolha do próximo cliente - parte 8	64
Figura 38 - Escolha do próximo cliente - parte 9	64
Figura 39 - Escolha do próximo cliente - parte 10	65

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Resultados do Algoritmo Rácio - Maior Área I	68
Tabela 2 – Resultados do Algoritmo Rácio - Maior Área II	69
Tabela 3 - Resultados do Algoritmo CmP v1.0 I	70
Tabela 4 - Resultados do Algoritmo CmP v1.0 II	71
Tabela 5 - Resultados do Algoritmo CmP v2.0 I	72
Tabela 6 - Resultados do Algoritmo CmP v2.0 II	73
Tabela 7 - Diferenças percentuais entre algoritmo lori e as heurísticas	74
Tabela 8 - Somatório dos resultados obtidos nos diferentes algoritmos	75
Tabela 9 - Diferenças percentuais dos veículos utilizados nos algoritmos desenvolvidos e dos valores padrão	76
Tabela 10 - Resultados obtidos nos algoritmos desenvolvidos para grandes instâncias	77
Tabela 11 - Diferenças percentuais entre os algoritmos desenvolvidos	78

Siglas e Acrónimos

2L-CVRP – *Capacitated Vehicle Routing Problem with 2 Dimensions*

3L-CVRP – *Capacitated Vehicle Routing Problem with 3 Dimensions*

AAS – *Associate in Applied Science*

ASP – *Active Server Pages*

CmP v1.0 – *Cliente mais Próximo versão 1.0*

CmP v2.0 – *Cliente mais Próximo versão 2.0*

CSR – *Corporate Social Responsibility*

CVRP – *Capacitated Vehicle Routing Problem*

DOT – *Damage Over Time*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

ETA – *Estimated Time of Arrival*

FIFO – *First In First Out*

GPS – *Global Positioning System*

ISV – *Independent Software Vender*

J2EE – *Java 2 Platform, Enterprise Edition*

KML – *Keyhole Markup Language*

KPI – *Key Performance Indicator*

LIFO – *Last In First Out*

OTM – *Oracle Transportation Management*

POD – *Proof of Delivery*

PSRP – *Petrol Station Replenishment Problem*

ROI – *Return On Investment*

RVRP – *Rich Vehicle Routing Problem*

SDK – *Software Development Kit*

TSP-PDF – TSSPD com política de escalonamento *FIFO*

TSP-PDL – TSSPD com política de escalonamento *LIFO*

TSSPD – *Traveling Salesman Problem with Pickup and Delivery*

UEN – *Unidade Estratégica de Negócio*

VNS – *Variable Neighborhood Search*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

VRS – *Vehicle Routing Software*

1. Revisão de Literatura

Ao longo dos anos tornou-se necessário otimizar rotas complexas de transporte, o que justifica o interesse pela resolução de problemas do tipo VRP (*Vehicle Routing Problem*), formulado pela primeira vez por (Dantzig & Ramser, 1959) aos quais estão associados contributos significativos nos campos da logística, transportes e distribuição.

O VRP foi a base para a desenvolvimento de vários estudos associados às diversas restrições a ponderar na área dos transportes como o facto de os veículos terem carga máxima, seja esta peso ou volume. O método usado para carregar o veículo pode influenciar o modo como a distribuição é efectuada. A título de exemplo, podemos citar os casos das carrinhas/camiões que são carregados pela parte de trás (J. Cordeau, Emilia, Amendola, & Laporte, 2010) ou seja que seguem uma política de carregamento e descarga LIFO (*Last In First Out*), ou o caso em que se considera que o método de carregamento da carrinha/camião é efectuado segundo uma política FIFO (*First In First Out*) (Cordeau, Dell'Amico, & Iori, 2010).

Como consequência do benefício económico causado pela optimização da rede de transportes, foi sendo dada uma crescente atenção às extensões dos VRP a casos reais, conhecidas por *Rich Vehicle Routing Problems* (RVRPs). Estas surgiram como solução dos problemas reais de forma a colmatar as falhas práticas na aplicação dos clássicos VRP. Estes, ao contrário dos VRP clássicos focados em modelos idealizados que partem de suposições afastadas da realidade, consideram todas as restrições que existem nos problemas reais e dão soluções possíveis de executar na prática. (Wen, 2010).

Para se aproximar da maior parte dos casos reais é necessário ter em conta a combinação entre os problemas de optimização de rotas e os problemas de carregamento dos veículos. Ambos são NP-difíceis, tornando a resolução do problema combinado um verdadeiro desafio. De notar que a literatura relativa a este problema é relativamente limitada (Iori & Martello, 2010). Os problemas do tipo CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) já consideram a capacidade associada aos veículos. Contudo, essa capacidade corresponde apenas ao peso do veículo (uma dimensão) e não considera a geometria das cargas.

Dada a importância destes problemas, são evidentes as vantagens em considerar mais do que uma dimensão, como por exemplo problemas com duas dimensões (2L-CVRP) (Leung, Zhou, Zhang, & Zheng, 2011; Hadjiconstantinou & Iori, 2007) que têm em conta a largura e o comprimento do material a ser carregado, e problemas com três dimensões (3L-CVRP) (Fuellerer, Doerner, Hartl, & Iori, 2010) que, para além do comprimento e largura, consideram também a altura do material a ser carregado.

Outros autores também se interessaram recentemente por este problema apresentando investigações utilizando meta-heurísticas (Doerner, Fuellerer, & Hartl, 2007; Fuellerer et al., 2010), pesquisa tabu (Gendreau, Amendola, Emilia, & Laporte, 2008; Leung et al., 2011) algoritmos exactos (Baldacci, Toth, & Vigo, 2009), heurísticas de procura local (Duhamel, Lacomme, Quilliot, & Toussaint, 2011), investigação de métodos heurísticos (Maria & Moura, 2005) ou, mesmo considerando para além das restrições de carga as restrições de janelas temporais (Moura, 2008), mas já na década de 90, encontram-se estudos no contexto dos problemas de carga (Chen, Lee, & Shen, 1995). Uma revisão de literatura aprofundada no contexto dos problemas de roteamento com restrições de carga pode ser encontrada em vários trabalhos (Pinto, Alves, & Carvalho, 2011; Wang, Tao, & Shi, 2009).

No contexto actual de um mercado cada vez mais exigente é essencial, por um lado, criar condições cada vez mais competitivas, o que pode ser obtido pela redução dos custos, tendo sempre atenção, por outro lado, à satisfação total dos clientes, na qual se destaca a importância da qualidade do transporte de bens. A qualidade de serviço é caracterizada pela chegada dos artigos sem qualquer tipo de dano a tempo e horas nas quantidades pedidas pelos clientes (Moura, 2008). Tendo em conta que dos custos logísticos das empresas, 75% destes estão relacionados com a área de transportes (Ortec, 2013), existe uma necessidade por parte das empresas de investirem nesta área de modo a reduzir custos, fortalecer o seu negócio, conseguindo assim acompanhar ou serem melhores que a concorrência. De modo a melhorar estes custos, as empresas recorrem a aplicações especializadas de terceiros. Estas aplicações – *vehicle routing software* – permitem otimizar processos logísticos das empresas, desde a recolha de artigos até à entrega destes aos clientes e permitem gerir produtos, clientes e veículos. Contudo, grande parte destas aplicações, na fase do carregamento dos itens, normalmente consideram apenas o peso destes, mas a necessidade real dos clientes vai para além do peso dos artigos. Os clientes necessitam de um controlo mais rigoroso, ou seja, necessitam que sejam considerados para além do peso, o tamanho do artigo (volume, comprimento, largura e altura do artigo) de modo a que as soluções apresentadas se aproximem da realidade. Considerando apenas o peso como restrição, determinado artigo pode ter um peso apropriado para ser carregado mas o seu volume pode não ser suportado pela capacidade do camião por exemplo (Moura, 2008).

A utilização destas aplicações permite reduzir custos logísticos na ordem dos 15% pelo que foi investigado. (Lucina, 2013; Ortec Loaddesigner, 2013).

Os diagramas das Figuras 1 e 2 desenvolvidos de acordo com o artigo (Iori & Martello, 2010) permitem ter uma ideia dos problemas base, subproblemas originados, estudos e algoritmos desenvolvidos por investigadores que contribuirão para otimizar e resolver problemas complexos de encaminhamento de

veículos.

Analisando de cima para baixo o diagrama, como já referido em cima, a necessidade de aproximar o problema VRP da realidade, através da consideração de uma série de restrições, levou à criação do CVRP. As restrições consideradas foram a nível da carga como por exemplo:

- Cada cliente deve estar associado a um só veículo (todos os itens de um cliente, tem de estar num veículo);
- Os itens têm formas rectangulares;
- Os veículos têm as mesmas dimensões;
- Cada veículo tem uma carga máxima e uma área máxima.

O CVRP foi abordado por diversos investigadores de diferentes formas, originando os problemas de duas dimensões (2L-CVRP), três dimensões (3L-CVRP e VRP multi pilha) e o problema do caixeiro-viajante com recolha e entrega (TSPPD).

O problema CVRP de duas dimensões, considera que os itens têm apenas duas dimensões (altura e comprimento, ou seja, podemos ver o conteúdo de um veículo como se de uma vista de cima para baixo se tratasse).

O objectivo é satisfazer todos os pedidos dos clientes com o menor número possível de veículos e minimizar a distância percorrida pelos veículos. Cada veículo tem uma rota definida, na qual sai do depósito, satisfaz os clientes a ele associados e por fim volta ao depósito. Este problema divide-se em três, o 2L-CVRP sem restrições, o 2L-CVRP sequencial e o 2L-CVRP com recolha e entrega.

- 2L-CVRP sem restrições é o problema base referido em cima.
- 2L-CVRP sequencial é o mesmo problema, com restrições sequenciais, de modo a garantir que quando um cliente é servido, os seus itens podem ser descarregados sem haver movimentação de itens de outros clientes, ou seja, segue uma política LIFO (*Last in, first out*), pois normalmente, nos veículos, a zona de entrada e saída de itens é o mesmo, o que significa que o primeiro cliente a entrar no veículo, terá de ser o último a sair.
- 2L-CVRP com recolha e entrega, é uma variante do problema base, na qual foram consideradas novas restrições, no que diz respeito à recolha e entrega de itens, onde foi adicionado um modelo para tratar o carregamento, que é uma aproximação ao planeamento de clientes.

O problema 3L-CVRP é uma extensão natural para três dimensões do problema 2L-CVRP, tendo dado origem a três subproblemas.

- Problema de carregamento de contentores 3D com restrições *multi-drop*
- 3L-CVRP com recolha e entrega
- 3L-CVRP com janelas temporais
- CVRP com múltiplos objectivos, com 3 dimensões (número de veículos, total distância percorrida e total volume ocupado)

O problema VRP multi pilha, é um problema que teve a sua origem numa situação real numa empresa, e embora o seu objectivo seja o mesmo (minimização de custos), o caso estudado na literatura considera apenas tamanhos de itens são apenas dois, valores fixos de h e w e o $l = \frac{L}{3}$ ou $l = L$ (Doerner et al., 2007).

O problema do caixeiro-viajante com recolha e entrega (TSPPD), é caracterizado por considerar apenas um veículo, na qual tem de visitar uma série de clientes, em que cada cliente tem uma localização de origem que diz onde os itens devem ser recolhidos e uma localização de destino que diz onde os itens devem ser entregues. O objectivo é determinar o circuito de hamiltoniano de menor custo entre todas as localizações de modo a garantir que os itens são sempre recolhidos antes de serem entregues no destino.

Este problema deu origem a quatro subproblemas:

- TSP-PDL, onde é seguida uma política LIFO;
- TSP-PDF, onde é seguida uma política FIFO;
- TSP duplo com múltiplas pilhas, onde todas as recolhas têm de ser efectuadas antes de qualquer entrega;
- TSSPD com gestão de custos, onde cada cliente só pode ser visitado uma única vez, de forma a garantir a redução de custos de transporte.

Existem outros tipos de problemas que têm como origem o VRP, que são denominados por VRP com diversas zonas de carregamento (o problema de transporte de líquidos). Estes problemas apareceram em situações reais, como por exemplo o transporte de gasolina, e foram analisadas e estudadas e deram origem a:

- PSRP (*Petrol Station Replenishment Problem*) geral, para o caso onde as entregas de petróleo podem ser antecipadas ou adiadas, ou seja, não tem prazo certo.
- PSRP com janelas temporais, para o caso onde as entregas estão planeadas e devem respeitar uma certa janela temporal.

Como já foi dito em cima, os diagramas presentes foram desenvolvidos de acordo com o artigo (Iori & Martello, 2010) onde está a informação relativamente aos estudos e algoritmos apresentados por diversos autores, informação resumida na Figura 2.

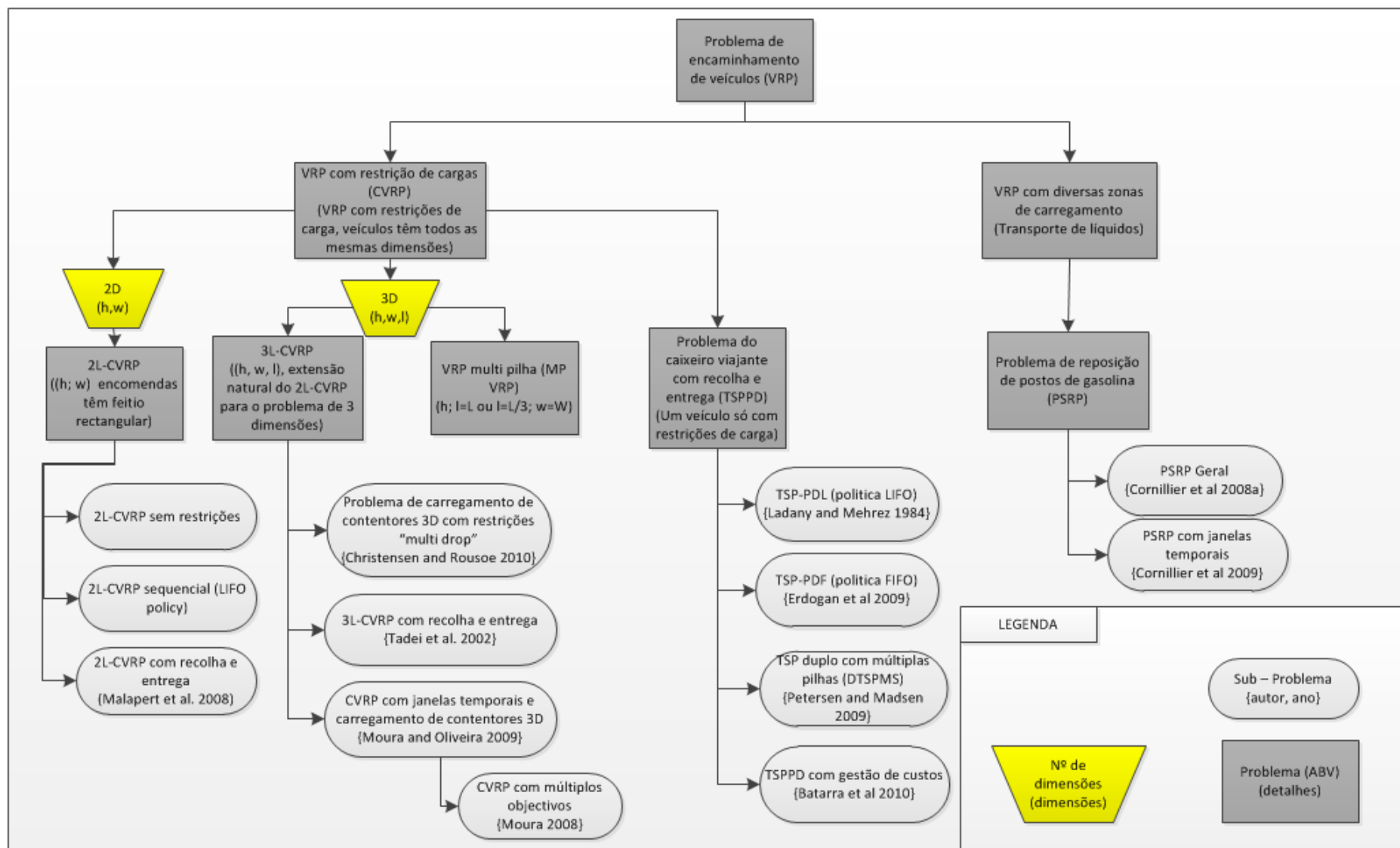


Figura 1 - Diagrama Problemas CVRP

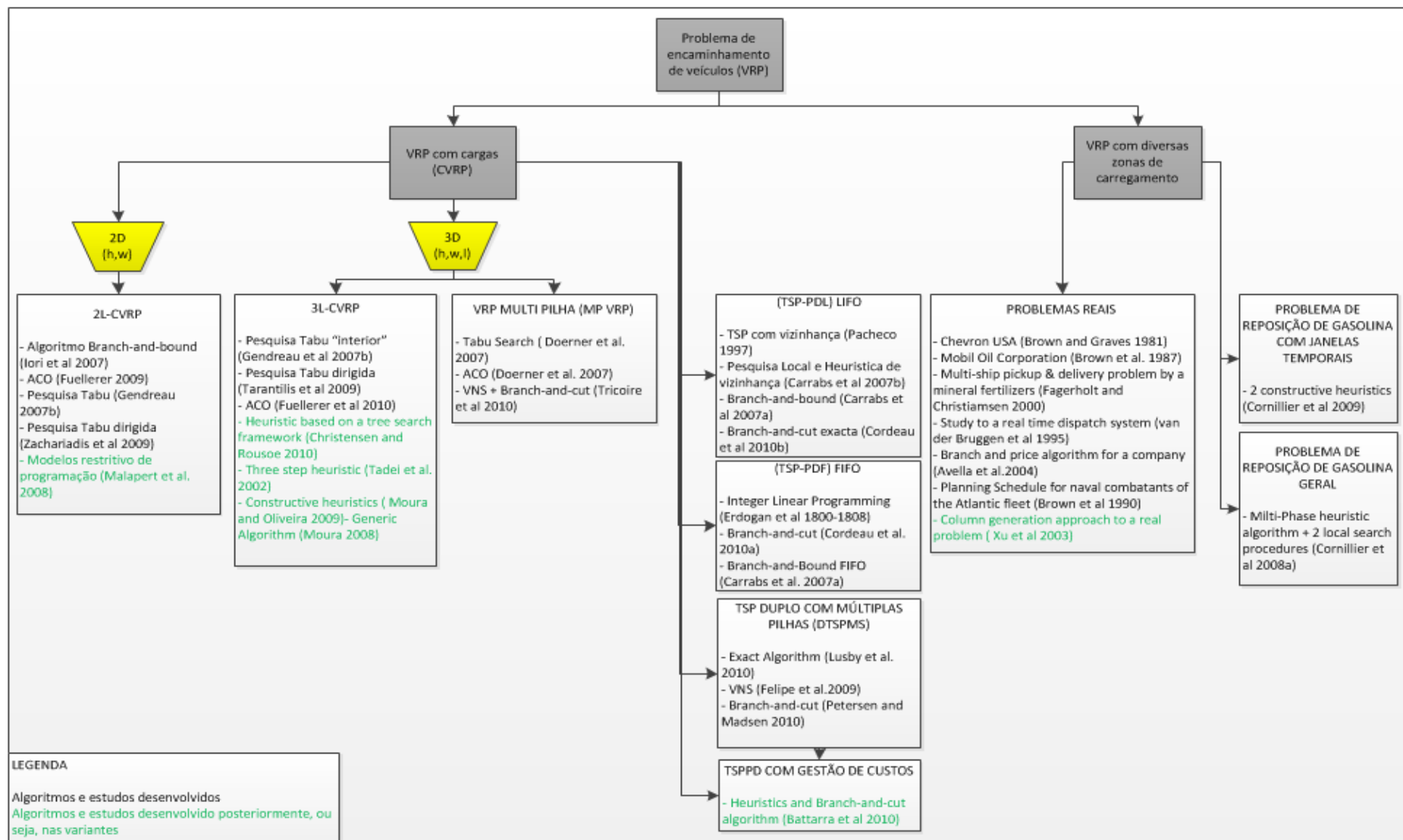


Figura 2 - Diagrama dos estudos e algoritmos desenvolvidos para os problemas CVRP

2. Aplicações para encaminhamento de veículos

Perante o contexto actual de um mercado cada vez mais exigente é essencial, por um lado, criar condições cada vez mais competitivas, o que pode ser obtido pela redução dos custos de produção e logísticos tendo sempre atenção, por outro lado, a satisfação total dos clientes. Neste sentido, a forma de obter um resultado mais eficiente é mediante a articulação entre estes dois factores essenciais de modo a obter um equilíbrio de interesses satisfatório. Para atingir este objectivo, as empresas, utilizam aplicações de terceiros para os auxiliar na gestão de toda a rede logística.

No campo das aplicações, estamos interessados em analisar as que optimizam rotas e consideram restrições dos produtos transportados (peso, altura, comprimento, largura, volume), o que permite uma melhor utilização do espaço do veículo levando a uma minimização de custos. A optimização destes processos faz com que sejam necessários menos veículos e menos tempo para efectuar o serviço completo.

As aplicações de encaminhamento de veículos que foram consideradas neste estudo prometem reduzir custos nos transportes através de uma gestão rigorosa e eficaz dos recursos das empresas, em combustível e emissões de dióxido de carbono. Estas aplicações prometem gerar rotas óptimas num espaço de tempo reduzido, o que torna o negócio mais eficaz e rentável satisfazendo totalmente as necessidades dos clientes.

Todas as aplicações consideradas possuem soluções integradas com mapas (GPS), permitindo efectuar o rastreamento dos veículos e controlar os dados de tráfego em tempo real e algumas permitem ainda controlar os motoristas e através dos seus dados históricos definir padrões.

Actualmente, para existir um controlo ainda mais rigoroso dos recursos das empresas e de forma a satisfazer as necessidades dos clientes, grande parte das aplicações apresentam para além da solução base, uma solução móvel que permite controlar rotas em tempo real. A partir destas soluções móveis, é possível saber se uma determinada entrega vai ser efectuada atempadamente e, caso seja necessário, é possível em tempo real alterar a ordem das entregas e recolhas de encomendas.

As aplicações estudadas foram as soluções da Coptimal e Ortec, a aplicação Roadnet, DISC, Optrak, Paragon, JOpt, Oracle Transportation Management, Eyepeak e o Syscargo. Grande parte destas empresas foram contactadas de modo a determinar a disponibilidade em facultar versões teste das suas aplicações, mas a resposta foi negativa. Como consequência a informação relativa às aplicações tem de ser considerada do ponto de vista de vendedor.

2.1. Aplicações internacionais

Nesta secção, descrevemos de forma resumida as aplicações desenvolvidas fora do mercado português que consideram restrições de carga na optimização de rotas.

2.1.1. COPTIMAL

A COPTIMAL é uma empresa ISV (*independent software vendor*) sediada em Taiwan Taipei, fundada em 2002 e especializada em estratégia, planeamento, e optimização táctica e operacional em sistemas de tomada de decisão. As aplicações desenvolvidas têm como principais objectivos a optimização, automatização e visualização de qualquer actividade ligada ao Planeamento da Cadeia de Abastecimento (COPTIMAL LOGICS INC., 2013).

Os principais clientes da COPTIMAL são do ramo automóvel, electrónica, farmácia, petroquímica e serviços alimentares. Dos clientes da empresa destacam-se IKEA, GENIUS, CMC, COSTCO.

A fase de carregamento é tratada pela aplicação AutoLoadPro que irá ser revista no ponto 2.1.1.2.

Dentro da oferta da COPTIMAL destacam-se três aplicações, LUCINA, AIMOBI e AutoLoadPro.

2.1.1.1. LUCINA

A aplicação Lucina, *Intelligent Vehicle Routing Optimization System*, é uma aplicação integrada com mapas e dados de tráfego que permite fornecer boas soluções para o encaminhamento de veículos, horários e para estimar tempos de entregas e recolha. A aplicação ajuda a aumentar a eficiência de transportes, reduzindo gastos em combustíveis e emissões de dióxido de carbono.

Manipulação de mapas

Através da utilização da ferramenta *Map Info MapX* é possível manipular qualquer tipo de mapas permitindo encontrar com exactidão qualquer cliente. Com esta ferramenta ainda é possível estimar a rota óptima através do cálculo do tempo de viagem para qualquer destino.

Distribuição

No Lucina as entregas e recolhas podem ser executadas pelo mesmo veículo de modo a melhorar a sua utilização e diminuir os custos de transportes.

Informação

Exibe informação actualizada em gráficos de Gantt e, caso ocorra alguma alteração que viole alguma restrição, nomeadamente aparecimento de novas encomendas, é de imediato reportado um alerta no sistema. Permite criar relatórios detalhados sobre os carregamentos.

Características Principais

Como principais características, destacam-se:

- As entregas multi-depósitos;
- Recolhas e entregas efectuadas em simultâneo;
- Editor *Drag and drop*;
- Opções de estradas bloqueadas;
- Capacidade de cálculo de uma solução óptima para problemas de encaminhamento complexo em curto espaço de tempo;
- Considera janelas temporais para entregas e recolhas;
- Permitir prever custos.

O editor *Drag and Drop* permite efectuar correcções em tempo real de qualquer situação inesperada. Nas opções de estradas bloqueadas, é possível especificar através de mapas digitais as condições do tráfego real, zonas de congestão e zonas perigosas.

2.1.1.2. AutoLoadPRO

O AutoLoadPro é a aplicação que permite a optimização do planeamento de carregamento, considerando o volume dos artigos carregados para além do peso. Esta aplicação está integrada com tecnologia 3D, permitindo a visualização do carregamento em 3 dimensões.

Através do AutoLoadPro é possível:

- Gerir a direcção e a sequência do carregamento;

- Com o auxílio do 3D, considerar uma enorme variedade de embalagens e paletes durante o planeamento, desde caixas a barris;
- Encontrar automaticamente a melhor combinação de veículos durante o planeamento, de modo a reduzir custos tendo em conta as necessidades dos clientes;
- Planear diferentes tempos de carregamento e descarregamento dos diferentes veículos.

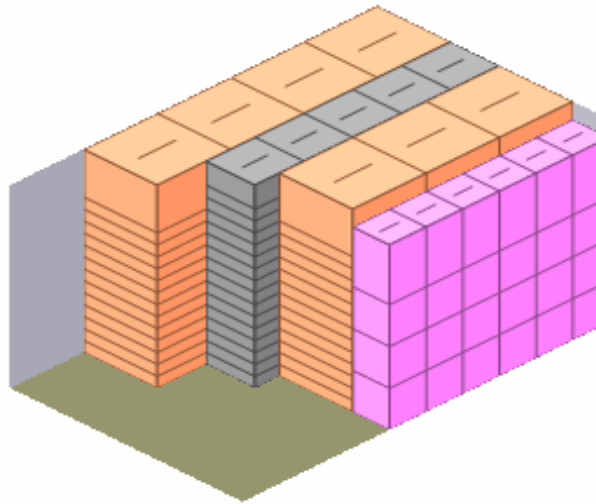


Figura 3 – Visualização do Carregamento (fonte: Coptimal,2013)

2.1.1.3. AIMOBI

AIMOBI, Sistema de Controlo de Operações Móveis (*Mobile Operation Control System*), é uma aplicação móvel para plataforma Windows que combina a utilização do posicionamento do GPS com câmara, *scanner* de código de barras, telecomunicações, assinatura digital, serviço de voz e serviço de mensagens, e tem a finalidade de melhorar o serviço ao cliente. Com este tipo de equipamento, é possível ao condutor transmitir informação para a central logo após a entrega ou recolha de um artigo e, é possível à empresa em tempo real, notificar o condutor de uma eventual mudança de rota.

2.1.2. ORTEC

ORTEC é uma empresa de Gestão da Cadeia de Abastecimento com mais de 30 anos que trabalha com cerca de 500 empresas de bens consumíveis, retalho, fabrico, transportes, petróleo, gás e indústria de

químicos. O objectivo da ORTEC é aumentar a competitividade dos seus clientes mediante a optimização dos processos do ponto de vista do tempo e custos (ORTEC, 2013).

A ORTEC fornece soluções avançadas de planeamento e optimização totalmente embebidos com certificados SAP e para aplicações Windows.

Permite a optimização de frotas e agendamento, carregamento de veículos e paletes, previsão de entrega, território e serviços de planeamento. Na indústria as empresas têm necessidades diferentes, e a ORTEC responde às necessidades de grande parte, como a indústria de papel, indústria automóvel, indústria química, e indústria de comidas e bebidas. Dos clientes da ORTEC destacam-se a Pepsi, Coca-Cola, Shell, Fujifilm, IBM, Philips e a TESCO.

A fase de carregamento é tratada na área Construtor de Carregamentos e Paletes da Ortec (*Ortec's Pallet and Load Building*) que irá ser revista no capítulo 2.1.2.3.

A ORTEC tem uma aplicação geral que é dividida em vários módulos que podem ser adquiridos separadamente. Estes módulos estão separados em 4 áreas que estão descritas nos pontos 2.1.2.2 até ao ponto 2.1.2.5.

Características Principais

As soluções ORTEC podem tornar um ERP num sistema que toma decisões óptimas e permite:

- Reduzir os custos logísticos globais entre os 5 e 15 por cento;
- Uma melhor utilização dos activos das empresas;
- Carregamentos optimizados e consolidados de camiões;
- Melhoramento do serviço ao cliente;
- Identificação e oportunidades de transporte de volta.

2.1.2.1. Encaminhamento de Veículos e Expedição – *Vehicle Routing & Dispatch*

Nesta área a ORTEC tem diferentes produtos para diferentes necessidades das quais se destacam:

- ORTEC *Tactical Routing* – Encaminhamento Tático;
- ORTEC *Shortrec* – Encaminhamento Operacional;
- ORTEC *Transport and Distribution* – Planeamento e Execução do Encaminhamento Operacional em tempo real;
- ORTEC LEO SRO – Encaminhamento Operacional para SAP.

Encaminhamento Tático – *ORTEC Tactical Routing*

Esta aplicação é composta por 2 componentes:

- Desenho de rede – calcula os dias óptimos de entrega e distribui a carga de trabalho de acordo com os períodos e áreas geográficas;
- Optimização de território – através deste componente é possível planejar zonas de distribuição de acordo com as mudanças sazonais.

Esta aplicação permite:

- Determinar os melhores dias para efectuar as entregas – Janela temporal;
- Planejar rotas;
- Definir zonas de entrega.

ORTEC *Shortrec*

O ORTEC *Shortrec* é uma aplicação de planeamento de transportes para distribuição de saída e recolha de entrada. A aplicação é composta por diversas funcionalidades que permitem planejar:

- Rotas simples ou de vários dias;
- Pedidos de cliente para cliente;
- Recarregamento – carregamento num depósito e posteriormente noutra depósito;
- Transporte de veículos.

Transporte e Distribuição – *ORTEC Transport and Distribution*

Esta solução combina optimização de planeamento, com execução em tempo real, e capacidade de expedição, para criar planos óptimos de rotas com um qualquer número de restrições onde se incluem a distância, tipo de equipamento, quilómetros, características dos condutores e capacidade dos veículos. Consideram as janelas temporais dos clientes.

O objectivo é efectuar mais entregas com menos camiões, de modo a reduzir custos e emissões de dióxido de carbono.

Das características destacam-se:

- Suporte a cenários típicos de planeamento da distribuição (ex. restrições flexíveis de tempo, planeamento de múltiplos depósitos e troca da ordem das entregas numa rota definida);

- Utilização de dados reais de tráfego para melhorar o cálculo do tempo estimado de chegada (ETA);
- Gestão das horas de serviço e regras de dano ao longo do tempo (DOT) para calcular as paragens necessárias para o aumento da eficiência dos condutores;
- Gestão em tempo real de eventos com alertas em caso de violação de restrições ou regras de negócio, emissão de mensagens de evento e monitorização do KPI (indicadores chave de performance).

2.1.2.2. Construtor de Cargas e Paletes - *Ortec's Pallet and Load Building*

O ORTEC oferece uma solução dedicada – *ORTEC LoadBuilding* – que é essencialmente a mesma aplicação que o *Ortec Loaddesigner* mas desenvolvido para Windows enquanto o *Loaddesigner* foi desenvolvido em ABAP para SAP.

É caracterizado por:

- Permitir às empresas escalonar clientes e repor encomendas através da optimização de paletes e carregamentos na criação de encomendas;
- Construir planos com mistura de paletes e cargas de reboque que maximizem a capacidade dos veículos;
- Criar regras de entrega a clientes de modo a fornecer planos óptimos que têm em consideração diversas restrições, como direcção e organização de carregamentos, peso, volume, regras de empilhamento e sequência de carregamento;
- Realizar planos de desenvolvimento, através dos representantes de serviço ao cliente (CSR) que efectuem cálculos avançados de planeamento e fornecem instruções de carregamento e visualização 3D para cada remessa.

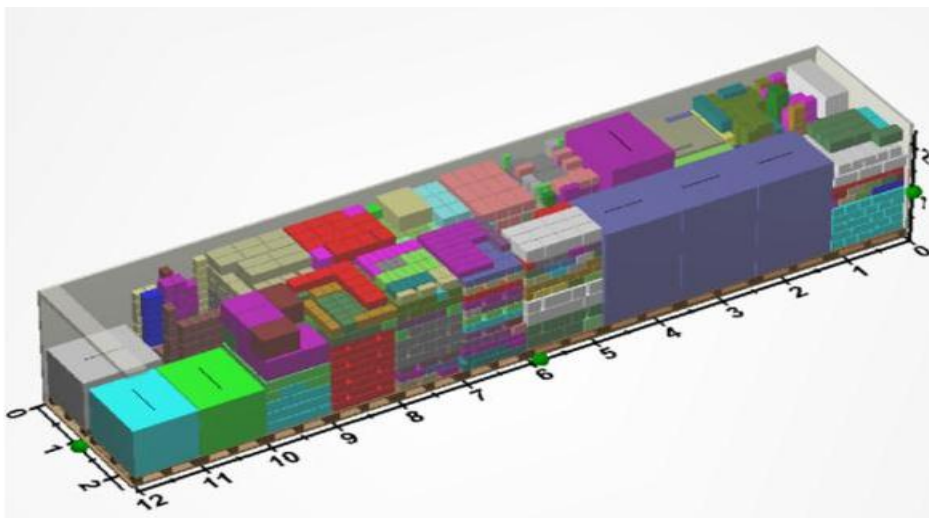


Figura 4 – Visualização do Carregamento (fonte: Ortec, 2013)

O objectivo é expedir a mesma quantidade de produtos utilizando menos camiões, de modo a reduzir custos da empresa.

2.1.2.3. Agendamento da mão-de-obra - *The WorkForce Scheduling*

As aplicações que se destacam nesta área são:

- ORTEC Harmony – Para agendamento da mão-de-obra operacional e tática;
- ORTEC Service Planning – Para planear, agendar e encaminhar funcionários em movimento;
- ORTEC Mobile – Operações e suporte em tempo real de funcionários em movimento.

Aplicação de Gestão de Horários – *ORTEC Harmony*

É uma aplicação que visa gerir os horários de trabalho e férias dos trabalhadores o que permite analisar com precisão as horas de trabalho e de ausência de cada funcionário.

Aplicação de Planeamento de Serviços - *ORTEC Service Planning*

O objectivo é servir as necessidades do cliente em tempo adequado com o produto necessário. Sabendo que os activos das empresas são o pessoal e os veículos, a Ortec assegura que os mesmos estão balanceados com as necessidades dos clientes, considerando as diversas áreas geográficas.

Assim permite:

- Sincronizar todas as actividades de modo a assegurar que as visitas são efectuadas no tempo e pela pessoa certa;
- Determinar o melhor plano de entrega e mistura de frotas para um determinado período;
- Determinar os dias óptimos da semana ou do mês para visitar o cliente.

Aplicação Móvel – *ORTEC Mobile*

A aplicação móvel da ORTEC, assim como a aplicação móvel da COPTIMAL, é integrada com GPS e permite aos utilizadores obter, em tempo real, informação útil sobre mudanças de plano, alterações de rotas ou mesmo actualização sobre o estado de encomendas.

2.1.2.4. Planeamento de Serviços em Áreas de Actuação – *Field Service Planning*

As aplicações que fazem parte desta área já foram descritas na secção 2.1.2.3, a aplicação de Planeamento de Serviços e a Aplicação de Gestão de Horários.

2.1.3. DISC

O DISC é um produto da MJC2 concebido para resolver problemas de optimização de distribuição, planeamento e logística.

A MJC2 é uma empresa do Reino Unido que fornece soluções para problemas de optimização complexas, planeamento e calendarização para várias áreas, nomeadamente, cadeia de abastecimento, planeamento de produção, programação de produção em tempo real, logística de distribuição e programação estratégica.

O sistema de distribuição da DISC inclui uma aplicação que melhora, de forma automática, a construção do plano de carga determinando a alocação de cada palete e cada veículo. Para este efeito, considera factores operacionais como a compatibilidade de produtos, controlo de temperatura, restrições de empilhamento e empacotamento, restrições de entregas a clientes, balanceamento de peso, regras de agendamento de carregamento, tamanho dos objectos, combinação dos tamanhos dos artigos despachados e sequência de carregamento preferida (DISC, 2013).

Os principais clientes da DISC são da área Electrónica, Farmácia, Metais, Defesa, têxteis, outros transportes (barcos, navios, comboio), Petrolíferas e Gás, Químicos, plásticos, produtos de borracha, papel e muitos outros.

Características Principais

Das características principais destacam-se:

- Planeamento de Transportes com múltiplos depósitos e aplicação de logística – Desde distribuição primária a secundária, assim como logística inversa;
- Aplicação de entrega – Optimização da distribuição de trabalho, tendo em consideração janelas temporais, tipo e capacidade dos veículos, restrições de acesso e controlo da temperatura;

- Otimização da logística de distribuição integrada – Refere-se à calendarização das actividades de armazém e dos veículos criando assim soluções de logística que consideram restrições como encomendas e volume, transporte, encaminhamento de entregas, rastreamento de veículos e recursos.

- Aplicação de transporte estratégico – Permite simular operações futuras, ou seja, prever uma maior necessidade de recursos, como por exemplo, época de Natal, e pode ser ideal como ferramenta para expansão de negócio.

- Otimização da cadeia de abastecimento;
- Planeamento da rede de distribuição;
- Gestão de inventários;
- Calendarização de entregas/recolhas.

2.1.4. Optrak

A Optrak foi introduzida no mercado em 1992 pela *Optrak Distribution Software Ltd* e está disponível para as plataformas Windows e Linux tendo como principais clientes a área de comidas e bebidas, entregas de jornais, lubrificantes, silvicultura, combustíveis, transportes de dinheiro, gestão de resíduos e encaminhamento de veículos considerando contentores. Dos principais clientes destacam-se a 3663, Matthew Clark, Oakwood e a Filshill (Optrak, 2013).

Como pode ser constatado na Figura 5, o Optrak permite o carregamento do veículo em três dimensões, através de camadas de duas dimensões (comprimento e largura).

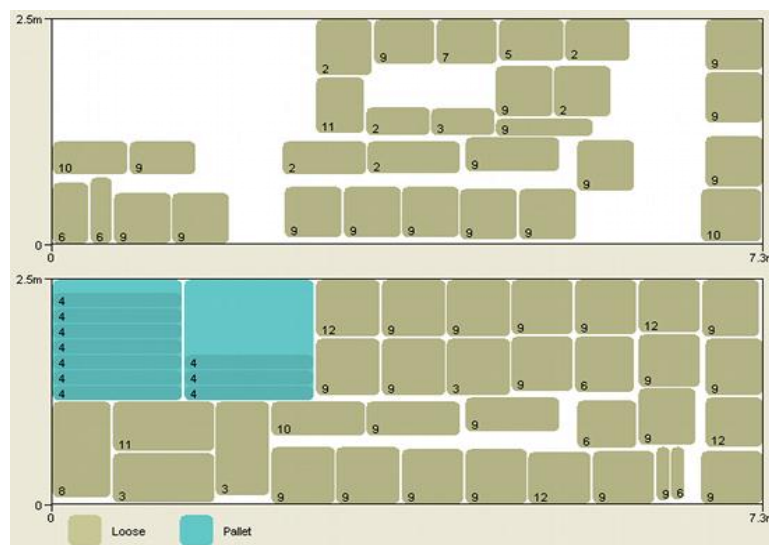


Figura 5 - Visualização do Carregamento (fonte: Optrak, 2013)

Cada uma das imagens representa uma vista de cima para baixo da parte de armazenamento do veículo. Os artigos da primeira parte da imagem estão colocados por cima dos artigos da segunda. Aqui é possível identificar os artigos, e estes podem ser:

- *Stackable* - Totalmente empilháveis seja por cima ou por baixo;
- *Bottom-only* – os artigos que devido às suas dimensões apenas podem ter outros artigos por cima;
- *Non-Stockable* – os artigos que não são empilháveis;
- *Top-only* – artigos que não podem ter nada por cima deles.

Serviço aos clientes

A Optrak permite medir, melhorar e reportar o serviço aos clientes, informando com exactidão a percentagem de encomendas que foram entregues dentro do tempo previsto. Devido à sua ligação de dados com todos os veículos, a Optrak consegue consultar a sua localização e o estado das entregas, o que permite responder com eficácia a alterações de planeamento necessárias em caso de pedidos de última hora e notificações do centro de distribuição.

Melhorias de informação no escritório

Colocação de equipamento extra nos veículos que pode ser utilizado para obter informações POD, prova de entrega, como por exemplo leitor de códigos de barras, RFID ou captura de assinatura onde actualiza o estado das encomendas. Esta informação é processada automaticamente pelo Optrak, evitando perdas de tempo com procedimentos desnecessários. Fornece ainda dados no monitor, relatórios em PDF e estes podem ainda ser exportados para formato Excel, base de dados ou ficheiro para análise.

Tempo e veículo certo

Optrak considera as janelas temporais dos clientes, permitindo assim calcular automaticamente as entregas dentro dos horários de actividade. É possível adicionar restrições o que possibilita a escolha dos veículos correctos para efectuar o transporte.

Planeamento de multi-dias, redução do tempo de espera e priorização

Com a Optrak é possível controlar os prazos das entregas pendentes, o que permite tornar as rotas mais eficientes, elimina a necessidade de visitar a mesma área todos os dias e reduz o tempo de espera.

Permite ainda o escalonamento dos clientes mais importantes de modo a que, perante um atraso, permitir que esses clientes não sejam prejudicados.

Instruções e horários para condutores

As rotas na Optrak mostram os tempos de entrega para cada cliente, assim como o “*Driver’s Manifest report*”, um relatório entregue ao condutor onde constam dados como sequência da rota, tempo entre cada entrega e as janelas temporais dos clientes.

Visualização

Um dos pontos fortes do Optrak, é a visualização da informação das rotas, que permite uma maior interactividade a qualquer utilizador da ferramenta, não só os mapas são exibidos graficamente como também é possível visualizar os líquidos transportados pelo veículo. Esta função tem grande importância devido à possibilidade de, em determinadas situações, se transportar em simultâneo, diferentes líquidos de natureza inflamável e tóxica.

2.1.5. Roadnet

A aplicação *Roadnet Transportation Suite* é um produto da Roadnet Technologies, empresa criada na década de 80 nos Estados Unidos que conta já com uma vasta experiência no ramo da logística e transportes e permite efectuar planeamentos de rotas, carregamentos, análise de resultados através de relatórios e obter dados em tempo real. (Roadnet Technologies, 2013)

Esta solução permite às empresas reduzir custos de distribuição, quilómetros percorridos, aumentar a utilização de recursos, melhorar o poder de decisão, definir padrões dos condutores, reduzir tempos de planeamento de rotas, planear épocas altas e baixas e fornecer vários tipos de relatórios. O objectivo é realizar mais entregas em menos tempo através de uma melhor utilização dos recursos.

A Roadnet tem como principais clientes as áreas de distribuição de gestão de bebidas, de comida, padarias, jornais, vinhos e bebidas espirituosas, diversos tipos de combustíveis e encaminhamento de veículos para resíduos sólidos e indústria de reciclagem. Dos principais clientes destacamos a Dr.Pepper Snapple Group, Cintas, Busch, Apria Healthcare.

O carregamento no Roadnet é tratado pelo módulo *FleetLoader* que será especificado no ponto 2.1.5.1.

Diversos Módulos

O Roadnet é constituído por diversos módulos que serão tratados mais a baixo. Para além do módulo de suporte às outras aplicações – Roadnet Transportation Suite – temos os módulos Planeador de Território, *MobileCast*, Centro de Informação, Telemática, Painel de Desempenho, o *Roadnet Anywhere* e o *FleetLoader*.

Roadnet Transportation Suite

É o elemento fundamental da solução onde as diversas aplicações são integradas. Todo o planeamento, encaminhamento, carregamento e expedição utilizam um ficheiro em comum o que elimina as necessidades de importar e exportar ficheiros.

O Roadnet tem como principais características permitir:

- O planeamento estratégico e melhorias nas entregas. Isto poderá ser conseguido quer através de um melhor controle de rotas evitando a sobreposição de entregas ou mediante a criação de rotas e territórios mais rentáveis, ou subcontratação em caso negativo;
- Um controlo mais rigoroso das operações através de um melhor planeamento, minimizando custos, tempo e recursos;
- Fornecer ao condutor o plano da sua rota, onde é possível o envio de novas entregas ou recolhas, ou mesmo desvios nas rotas;
- Fornecer aos gestores diferentes relatórios sobre o estado de uma encomenda. Estes relatórios podem ser customizados conforme as necessidades dos gestores.

Planeador de Território – *Territory Planner*

Possibilita otimizar as zonas e rotas através da consideração de diferentes cenários pois tem em consideração dados históricos, janelas temporais dos clientes e o volume transportado. Estas considerações permitem antecipar a sazonalidade de determinados produtos.

MobileCast

Permite o rastreamento de todos os veículos em tempo real através de dispositivos GPS, gere exceções e verifica se o plano traçado se adequa à realidade. Fornece informações sobre o horário de entrega dos artigos possibilitando prever qualquer tipo de atraso por parte dos condutores, isto permite adequações em tempo real.

Centro de Informação – *Roadnet Info Center*

Esta ferramenta com o acesso à localização das encomendas, possibilita fornecer, em tempo útil, uma resposta aos clientes sobre a localização das suas encomendas ou sobre a falha de entrega na janela temporal. Esta aplicação permite aos gestores ter uma vista geral sobre as actividades de cada dia no que diz respeito aos transportes, permitindo antecipar atrasos e outros tipos de problemas.

Telemática – *Roadnet Telematics*

Possibilita um controlo rigoroso dos veículos através da combinação do GPS e diagnósticos do motor, com aplicações de utilização simples que fornecem relatórios de rastreamento e controla a utilização de parâmetros (falhas do motor, tempo de inactividade), resultando numa redução de consumo de combustível e de custos de manutenção.

Painel de Desempenho – *Roadnet Performance Dashboard*

Fornece, aos gestores, a chamada vista geral do planeamento através de uma aplicação na internet. Mostra a informação em gráficos, tabelas e medidas o que permite analisar, de forma rápida, a informação pretendida.

Roadnet Anywhere

É uma ferramenta para auxílio a pequenas e médias empresas com uma frota até 18 veículos e tem como objectivo o seu crescimento através da redução dos custos com transportes. Permite planeamento de rotas e rastreamento de GPS, com ferramentas de fácil utilização e sem ser necessário a aquisição de uma aplicação dispendiosa.

É caracterizado por:

- Reduzir quilómetros e horas de condução
- Aumentar a satisfação dos clientes
- Melhora a performance dos condutores através do rastreamento com o GPS
- Maximizar a produtividade dos condutores e dos activos.

FleetLoader

Permite uma configuração de carregamento que faz com que os veículos estejam com capacidade completa, o que resulta numa redução do número de veículos em circulação, minimizando-se os custos. O

FleetLoader analisa e otimiza o carregamento para veículos de transporte de bebidas fornecendo diversas estratégias que podem ser aplicadas de modo a responder às necessidades.

As principais características do *FleetLoader* são:

- Carregamento rápido e preciso para múltiplos tipos de rotas – cada tipo de rota necessita de um diferente tipo de carregamento.
- Múltiplas estratégias de carregamento – permite efectuar a recolha de modo eficiente, agrupar as encomendas por paragem, por cliente ou por zona.
- Desenho do carregamento de modo a reduzir danos nos produtos.
- Relatórios – folha final de carregamento, validação do carregamento, folha que fornece toda informação detalhada necessária.

2.1.6. Paragon

Paragon Software Group é uma empresa sediada no Reino Unido com mais de 30 anos de experiência no ramo de Gestão de Transportes, Encaminhamento e Agendamento e tem mais de 750 clientes em 45 Países (Paragon, 2013). A aplicação Paragon é comercializada e suportada na América do Norte, Europa, América Latina e África do Sul e segundo o Director de Gestão, é caracterizada por 4 factores:

- Oferece vários tipos de aplicações que se adequam às diferentes exigências dos clientes.
- Possui tecnologia avançada de agendamento que pode ser configurada para responder às necessidades dos operadores.
- Constante actualização de modo a manter-se no topo do mercado.
- Possui uma equipa com uma extensa experiência no ramo.

Do leque de aplicações da Paragon, o que interessa rever para o estudo é o Optimizador de Agendamento e Encaminhamento – *Paragon Routing and Scheduling Optimizer*. Este é dividido pelo Depósito Único – *Paragon Single Depot*; Múltiplos Depósitos – *Paragon Multi Depot*; e Rotas Integradas – *Paragon Integrated Fleets*.

Os principais clientes da Paragon são empresas de retalho, fabrico, grossistas, serviço, entregas ao domicílio e o sector de operadores logísticos, destacam-se a Tesco, DHL, Argos, Royal Mail Group, e IKEA.

O Paragon considera, para além do peso das cargas, diversas restrições quando é efectuado o carregamento dos veículos. Segundo a informação disponibilizada por um funcionário desta empresa, durante

a configuração da aplicação é possível adicionar diferentes tipos de restrições como peso, volume, unidades, paletes, barris, pés e caixas. Embora seja possível adicionar este tipo de restrições na aplicação actual ainda não está disponível a visualização do carregamento dos veículos.

Características Principais

A aplicação da Paragon é configurável e é capaz de gerir a maioria das restrições de transportes que aparecem ligadas a operações de logística, permite:

- Gerir toda a informação dos clientes
- Gerir a quantidade de artigos a serem entregues
- Incluir janelas temporais
- Gerir tamanho dos veículos
- Gerir os detalhes dos turnos dos condutores
- E outras características de transportes como o peso, volume, unidades, dos artigos a serem transportados.

2.1.6.1. Optimizador de Agendamento e Encaminhamento – *Paragon Routing and Scheduling Optimizer*

Depósito Único – *Paragon Single Depot*

O sistema *Paragon Routing and Scheduling* permite às empresas calcular agendamentos efectivos de transporte para veículos e para condutores respeitando as janelas temporais dos clientes. Tem como objectivo reduzir custos e aumentar a eficiência através da incorporação de um planeamento de rotas avançadas e da optimização do agendamento de entregas para operações de transporte.

A aplicação pode ser utilizada em operações que envolvam uma ou mais zonas de depósito onde existam sistemas individuais responsáveis pelo encaminhamento e agendamento dos pedidos.

Múltiplos Depósitos – *Paragon Multi Depot*

A aplicação de planeamento de transporte *Paragon Multi Depot* permite às empresas com múltiplas zonas de depósito planear rotas para todos os seus recursos como se se tratasse de uma única tarefa. Os limites das zonas de depósito são ajustáveis dinamicamente de modo a assegurar o encaminhamento mais adequado tendo em conta a frota disponível e as encomendas pendentes de acordo com a sua localização

geográfica. Isto aumenta a eficiência geral dos transportes e evita o desperdício de recursos num local quando poderiam ser utilizados noutro.

Rotas Integradas – *Paragon Integrated Fleets*

Paragon Integrated Fleets permite otimizar todos os veículos como um único recurso. Independentemente da localização diminui as viagens sem carga e aumenta os quilómetros percorridos dos veículos com carga, garantindo às empresas um encaminhamento eficiente e rápido, de modo automático, para operações que envolvam frotas combinadas em diferentes localizações e, optimização de operações logisticas complexas, como por exemplo. As que envolvem armazéns ou zonas de produção com diferentes tipos de produtos mas que servem a mesma base de clientes.

2.1.6.2. Outros Produtos

A Paragon oferece vários produtos nas áreas de Planeamento de Rotas e Planeamento Estratégico.

No Planeamento de Rotas destaca-se o Controlador de Rotas – *Paragon Fleet Controller* – este oferece aos gestores a possibilidade de controlar em tempo real a actividade da frota de veículos. Deste modo garantem melhor qualidade do serviço de entrega. Outro módulo de destaque é o Gestor de Recursos – *Paragon Resource Manager*. Esta aplicação permite a gestão de todos os recursos da empresa, desde os horários dos trabalhadores aos veículos.

No área de Planeamento Estratégico destaca-se o Optimizador de Território – *Paragon Territory Optimiser* que tem como objectivo a criação de zonas de entrega compactas para empresas com clientes espalhados por diferentes zonas.

2.1.7. JOpt

JOpt é um produto desenvolvido pela empresa DNA Evolutions, localizada em Ulm na Alemanha. A empresa desenvolve e comercializa soluções flexíveis nas linguagens .NET e Java, assim como serviços *online* com uma variada gama de opções para planeamento de recursos e optimização de rotas (JOpt Vehicle Routing, 2013).

As soluções (ASP, SDK, NET, J2EE) preenchem toda uma gama de necessidades, desde custos efectivos até módulos profissionais de serviços de empresas, facilmente integráveis com outras aplicações e que podem ser customizadas.

Desenvolvido para diferentes plataformas, .NET/ASP ou JAVA/J2EE, é um componente adaptável para resolver VRP (Vehicle Routing Problem), CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) e VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*). Pode ser considerado um componente de optimização ou uma aplicação que considera diversas restrições desde janelas temporais, à capacidade dos veículos, entre outros.

O JOpt foi desenvolvido para plataformas de optimização de rotas logisticas e de transporte, planeamento de vendas, optimização de gestão de lixos e agendamento de transporte.

Quanto ao modo como o carregamento é efectuado, não há informação, mas sabe-se que não permite visualização. Da informação disponibilizada no *website* da empresa, sabemos que considera várias dimensões para a capacidade e carregamento de cada veículo.

2.1.7.1. JOpt.SDK – Biblioteca de encaminhamento de veículos

JOpt.SDK é uma biblioteca de encaminhamento de veículos para Java que utiliza algoritmos especializados para calcular a alocação óptima de entregas e recolhas para recursos móveis. Para além de fornecer rotas de custos mínimos considera também uma série de restrições para cada rota. É possível ao utilizador criar as suas próprias restrições e objectivos de optimização de modo a personalizar o JOpt.SDK para as suas necessidades de planeamento.

O JOpt.SDK consegue resolver problemas do tipo TSP (caixeiro viajante) ou VRPTW (encaminhamento de veículos com janelas temporais).

Características Principais

O JOpt.SDK é caracterizado por:

- Não ter um número fixo de veículos e de pontos de entrega;
- Incluir a capacidade de carregamento para cada veículo;
- Incluir horas de trabalho dos condutores e regras de horas de trabalho;
- Permitir planear rotas;
- Suportar diversos tipos de veículos e equipamentos;
- Determinar automaticamente pernoitadas em caso de rotas longas ou de tempos de serviço longos;
- Permitir a avaliação e optimização de emissões de dióxido de carbono e eficiência energética.

2.1.7.2. JOpt.AAS – Optimização como um serviço

Empacotado num *webservice* padrão é possível aceder às funções de optimização em JOpt.AAS, que é uma versão *web* consistente do JOpt.NET que utiliza as capacidades de encaminhamento de veículos JOpt através de interfaces HTTP/SOAP. JOpt.AAS proporciona flexibilidade e optimização no planeamento de rotas de veículos (VRP);

JOpt permite aos operadores de frotas minimizar custos em combustíveis e reduzir as emissões de dióxido de carbono.

Características Principais

O JOop.AAS é caracterizado por:

- Reduzir o número de veículos numa frota para o mesmo volume de trabalhos/entregas;
- Optimizar tempos de rotas e distâncias;
- Permitir considerar carregamento e diversos tipos de restrições nas zonas de paragem;
- Incluir tempos de trabalho dos condutores e regras de tempo de trabalho;
- Incluir capacidade para cada veículo.

Para além do JOpt.AAS e JOpt.SDK, também se encontram as soluções JOpt.NET, JOpt.ASP e JOpt.J2EE. O JOpt.NET é o mesmo componente que JOpt.SDK mas desenvolvido para a linguagem .NET. JOpt.ASP proporciona a utilização de interfaces SOAP de optimização para linguagem .NET, ou seja, é um componente para integrar aplicações web. O JOpt.J2EE funciona como o JOpt.ASP, no entanto não é orientado para linguagem .NET, serve para qualquer arquitectura orientada a serviços modernos.

2.1.8. Oracle Transportation Management

OTM é um produto da Oracle, lançado no mercado em 2006 após a aquisição da empresa G-Log, que oferece planeamento de transportes; optimização e execução de serviços de expedição; redução dos custos de transporte e roturas de stock; e melhoramento do serviço de assistência aos clientes. Esta ferramenta permite, de modo automático, integrar o planeamento de transportes, execução e processo de negócio numa única aplicação, considerando todos os modos de transporte (Oracle Transportation Management, 2013).

O OTM pode ser adquirido para ser integrado com os sistemas que as empresas já possuem, ou pode ser adquirido em conjunto com o *Oracle E-Business suite*, *Oracle Management*, *JD Edwards Enterprise One*, *Siebel CRM* ou com o *Oracle Warehouse Management*. É um produto constituído por vários módulos, que podem ser adquiridos em conjunto ou em separado, dependendo das necessidades.

A *Oracle Transportation Management* tem como principais clientes a área do Retalho, Logística e empresas de Transporte e Saúde, onde se destaca a CISCO, Sears, Beckman Coulter, Ricoh, entre outros.

A optimização do carregamento de veículos é efectuada no OTM, considerando o volume dos artigos para além do peso, assim como o peso e o volume dos contentores onde os artigos são colocados. Para além disto, permite configuração do carregamento em três dimensões. (Oracle & Paper, 2013)

Diversos Módulos

O *Oracle Transportation Management* é constituído por diversos módulos:

- o Gestor de Rotas – *Oracle Fleet Management*,
- Operações de Encaminhamento e Correção – *Oracle Forwarding and Brokerage*
- Transformação de dados de transporte – *Oracle Fusion Transportation Intelligence*
- Visibilidade Logística do Inventário – *Oracle Logistics Inventory Visibility*
- Pagamento de Custos de Transporte, Facturação e Reivindicações – *Oracle Freight Payment, Billing and Claims*
- Encaminhamento Cooperativo de Transportes – *Oracle Transportation Cooperative Routing*
- Planeamento Operacional de Transportes – *Oracle Transportation Operational Planning*
- Abastecimento de Transportes – *Oracle Transportation Sourcing*.

Gestor de Rotas – *Oracle Fleet Management*

O módulo Gestor de Rotas permite:

- Analisar as necessidades das empresas, através da gestão das frotas privadas e das redes de veículos comuns numa única aplicação, melhorando assim a utilização dos activos (veículos, motoristas).
- Melhorar o serviço aos clientes através dos recursos específicos da frota
- Proporcionar uma melhoria na expedição através de meios móveis, possibilitando uma melhor comunicação com os motoristas e rastreamento dos activos (veículos, motoristas).
- Controlar e medir o desempenho financeiro através de novas capacidades para custos.
- Reduzir o consumo de combustível e emissão de dióxido de carbono.

Operações de Encaminhamento e Correção - *Oracle Forwarding and Brokerage*

O módulo de Operações de Encaminhamento e Correção foi desenvolvido para garantir a eficiência do transporte, reduzindo o desperdício de tempo e o número de recursos sem actividade em operações de encaminhamento.

Transformação de Dados de Transporte - *Oracle Fusion Transportation Intelligence*

O módulo de Transformação de Dados de Transporte permite:

- Transformar dados operacionais em informação logística permitindo visualizar os dados que realmente interessam para qualquer negócio;
- A visualização dos KPI chave;
- Efectuar a monitorização das métricas e lançar alertas sobre o desempenho;
- Produzir relatórios.

Visibilidade Logística do Inventário – *Oracle Logistics Inventory Visibility*

O módulo de Visibilidade Logística do Inventário automatiza os processos de gestão de inventários, permitindo a sua visualização e reduzindo o tempo de ciclo dos *stocks*.

Pagamento de Custos de Transporte, Facturação e Reivindicações - *Oracle Freight Payment, Billing and Claims*

O módulo de Pagamento de Custos de Transporte, Facturação e Reivindicações automatiza a gestão de reivindicações e processos dos custos de transporte, a facturação de clientes, eliminando processos desnecessários.

Encaminhamento Cooperativo de Transportes – *Oracle Transportation Cooperative Routing*

O módulo de Encaminhamento Cooperativo de Transportes permite, através de uma análise geral à rede logística, examinar a utilização dos recursos da frota e através de técnicas de optimização analisar dados históricos de expedições. Isto possibilita, reconhecer padrões na rede de abastecimento, propiciando aos analistas a identificação do modo mais eficiente de utilização dos recursos da frota.

Planeamento Operacional de Transportes – *Oracle Transportation Operational Planning*

O módulo de Planeamento Operacional de Transportes suporta todo o tipo de movimentos possíveis, desde o simples ponto a ponto até operações complexas de *multimodal*. É possível considerar cenários de múltiplas paragens e configurações de carregamento de veículos a três dimensões.

Abastecimento de Transportes – *Oracle Transportation Sourcing*

O módulo de Abastecimento de Transportes automatiza os processos de abastecimento dos transportes, permitindo ciclos de pesquisa rápidos. Possui um baixo requisito de mão-de-obra para gerir o processo de procura de produtos e produz estimativas de previsão exactas.

Características Principais

O OTM permite:

- Aos utilizadores terem uma visão *end-to-end* de dados logísticos e podem ser adaptados conforme as necessidades;
- Obter dados detalhados em tempo real;
- Resolver problemas de atrasos nas entregas, garantindo que cada remessa é entregue do modo mais eficiente;
- Reduzir custos em transportes, melhora a qualidade de serviço aos clientes e da utilização dos activos das empresas;
- Considerar peso, volume e tempo em trânsito dos produtos transportados;
- Efectuar optimização de rotas.

2.2. Aplicações Nacionais

Depois de uma análise da oferta do mercado estrangeiro, fez-se uma análise às aplicações nacionais que tratam de encaminhamento sem tratamento de carga. Das empresas encontradas destacam-se a Elaconta e a Sinfic.

2.2.1. Elaconta

A Elaconta criada em 1992, sediada em Águeda é uma empresa nacional que trabalha em implementação e desenvolvimento de soluções informáticas. Das aplicações desenvolvidas pela Elaconta destaca-se o Syscargo.

Syscargo

O Syscargo é uma das ferramentas desenvolvidas para responder às necessidades das empresas da área dos transportes rodoviários de mercadorias. (Syscargo, 2013).

Os principais clientes são empresas com necessidades de gestão de frotas, tráfego, cargas completas e parciais, serviços de expresso e controlo de actividades logisticas.

Características Principais

A aplicação permite:

- A Gestão de Motoristas e Parque de Viaturas;
- Definir custos fixos e gastos de cada viatura numa determinada viagem;
- Enviar mensagens escritas para o sistema de GPS *TomTom*;
- Definir Países e Localidades;
- Gerir os pedidos dos clientes, com visualização e optimização das rotas usando uma das aplicações mais reconhecidas do mercado;
- Gerir a tabela de preços por cliente;
- Facturar pedidos;
- Efectuar o lançamento das folhas de serviços dos motoristas;
- Analisar globalmente a gestão de frotas, desde análise de gastos com viaturas a análise de quilómetros percorridos;
- Importar documentos externos;
- Gerir recursos entre empresas pertencentes ao mesmo grupo;
- Integrar com o *TomTom Business Solutions*.

2.2.2. SINFIC

A SINFIC (Sistemas de Informação Industriais e Consultoria) é uma empresa nacional que se tem afirmado no mercado das tecnologias de informação. Criada em 1990, atua hoje em dia em Portugal, Angola e Moçambique e conta com mais de 500 colaboradores (Sinfic SA, 2013).

A oferta da SINFIC cobre diversas áreas, como por exemplo Concepção, Desenvolvimento e Integração de Sistemas, Gestão Integrada de Território, Hotelaria e Turismo, Infra-estruturas e Serviços, Gestão Organizacional, Modernização Administrativa, Segurança e Defesa e Soluções de Negócio.

Eye Peak

Das soluções desenvolvidas pela SINFIC, a que desperta mais interesse é a solução *Eye Peak* que trata da Gestão de Armazéns e de Distribuição (Eye Peak, 2013).

Das características de Gestão de Armazéns destacam-se:

- A rapidez de execução;
- Operações realizadas por terminais com captura automática de dados;
- Optimização de recursos;
- Controlo em tempo real;
- Redução de custos operacionais;
- Possibilidade de rastreabilidade.

Na Gestão de Distribuição destacam-se características como:

- Diferenciação eficaz de serviços e disponibilização de informação ao cliente;
- Automatização e organização de todos os processos relacionados com gestão de serviços;
- Controlo em tempo real de todos os serviços da organização;
- Registo electrónico das entregas;
- Automatização da emissão de documentos de serviço.

Este produto foi inteiramente desenvolvido pela SINFIC, nomeadamente pela Unidade Estratégica de Negócio (UEN) de soluções de Mobilidade, em parceria com a Primavera, P5sion e a F5IT. A rede de

parceiros contribui com sugestões sobre novas funcionalidades e/ou alterações às existentes com vista a tornar o produto mais competitivo e responder às exigências dos clientes e do mercado. A parceria com a P5ion garante a estruturação e manutenção de investimentos em soluções móveis, nomeadamente, tecnologias de digitalização de imagem, RFID; reconhecimento de voz e comunicação sem fios. A parceria com a Primavera garante métodos de trabalho mais eficazes na tecnologia móvel, aumentando a produtividade, a qualidade do serviço e a capacidade de resposta das empresas.

A gestão e optimização de rotas, recursos e rastreabilidade dos veículos é assegurado pela aplicação Quatenus, também da Sinfic. Esta utiliza tecnologia GPS e GSM, o que permite a gestão dos recursos em tempo real. Resumindo, o Quatenus é caracterizado pelo nível de gestão e controlo de operações, nível de comunicações, segurança e avisos, desempenho e produtividade.

A nível de controlo de operações, destacam-se:

- a localização GPS;
- Escalabilidade de activos;
- Integração de dados com o sistema integrado de gestão da empresa em causa;
- Possibilidade de acompanhar em tempo real a localização de frota ou de qualquer activo móvel através de mapas digitais;
- Detecção automática de desvios de rota, paragens não autorizadas, abastecimentos sem presença, excessos de consumo;
- Controlo e avaliação em tempo real;
- Acesso a toda informação de sensores disponível no rastreador GPS das viaturas:
 - Sensores de porta;
 - Ignição;
 - Luzes;
 - Temperatura.

A nível das comunicações, destacam-se:

- A redução dos custos de comunicação com frota e recursos humanos até 50%;
- Comunicação entre viaturas e central;
- Vários tipos de redes suportadas (GSM, 3G, TCP, GPRS, Satélite);
- Diversos dispositivos de comunicação, como aparelhos RFID.

A nível de segurança e avisos, destacam-se:

- A protecção do veículo, carga e recursos humanos;
- Identificação dos condutores;
- Alarme inteligente anti-roubo;
- Permite bloquear viatura com controle remoto;
- Detecção de acidente ou de condução perigosa do veículo.

Ao nível da gestão de operações, destacam-se:

- A gestão total da frota, desde viaturas, condutores e documentação;
- Controlo online de custos e despesas por viatura;
- Gestão e optimização de rotas;
- Integração nativa com sistemas core – ERPs.

Ao nível do desempenho e produtividade destacam-se:

- Garantir um aumento da eficácia;
- Aumento da eficiência e do controlo e gestão da frota;
- Aumento da produtividade;
- Aumento da competitividade;
- Aumento do nível de satisfação dos clientes.

2.3. Aplicações internacionais: análise e discussão

Devido à impossibilidade, por parte das empresas, de fornecer versões teste das suas soluções, é impossível concluir qual a melhor aplicação em termos de optimização de rotas, redução de custos, maximização da utilização de recursos, ou garantir qual a solução mais completa.

De acordo com o anteriormente apresentado é possível constatar que, em termos de funcionalidade, as aplicações são semelhantes nas características de optimização de rotas. De facto, existem uma série de factores chave comuns a todas elas, porém, umas cumprem algumas características e outras não, conforme é possível constatar pela análise das Figuras 6 e 7, desenvolvidas com o auxílio do estudo efectuado pela ORMS Today (ORMS Vehicle Routing Softwares Survey, 2012).

No trabalho realizado, apenas tinha interesse apresentar aplicações que considerassem a optimização a nível do carregamento de veículos, tendo em conta o peso e o tamanho dos objectos e, neste aspecto, as aplicações comportam-se de modo bastante diferente.

A título de exemplo, o ORTEC e COPTIMAL oferecem uma solução distinta para controlar o modo como o carregamento é efectuado (COPTIMAL: AutoloadPRO; ORTEC: *Ortec Loaddesigner*) apesar de ambos oferecerem visualização/optimização do carregamento em 3D. Por outro lado a Roadnet também tem um módulo dedicado ao carregamento, o *FleetLoader*, mas este, é efectuado em 2D. O Optrak como foi descrito em cima, trabalha em 2D mas consegue simular 3D, pois permite a visualização por camadas. A aplicação que levanta mais dúvidas é o DISC devido à falta de informação e à indisponibilidade da empresa em ceder informações. Pela descrição disponível no website da empresa, a aplicação possui um módulo dedicado ao carregamento que optimiza a construção do plano de carga. Por outro lado, o Paragon, permite gerir as restrições de carga nos veículos, mas não permite a visualização 3D do carregamento. A JOpt como já foi referido no capítulo, durante o carregamento do veículo, considera múltiplas dimensões mas não possui a visualização. Por fim, a OTM segundo o documento (Oracle & Paper, 2013) durante o carregamento dos veículos considera o volume e peso dos artigos e permite que esta seja efectuada em três dimensões.

PRODUTO	Oracle Transportation Management	OPTRAK	COPTIMAL	Roadnet Transportation Suite	ORTEC's Advanced Planning & Scheduling	DISC
EMPRESA	Oracle	Optrak Distribution Software Ltd	Coptimal Logistics	Roadnet Technologies	ORTEC	MUC2
ANO LANÇAMENTO	2006	1992	2002	1983	Década de 80	1990
PLATAFORMAS	Windows, Linux, Solaris	Windows, Linux	Windows	Windows, Linux, Unix	Windows	Windows, Linux, Unix
[[[Tamanho Máximo do problema resolvido pelo Sistema]]]						
Nº de paragens	-	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	-	Não tem limite fixado
Nº de Veículos	-	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	-	Não tem limite fixado
Nº de Terminais	-	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	Não tem limite fixado	-	Não tem limite fixado
Processador	-	2Ghz	1Ghz	2 GHz	-	Depende da aplicação
Memória/Tamanho em Disco	-	4GB/20 GB	2 GB/700 MB	4 GB/4x36 GB (Paid 1)	-	Depende da aplicação
[[[Performance]]]						
1) Que tipos de algoritmos são considerados	Vários	5+ minutos	-	< 30 segundos	-	< 30 segundos
[[[Funções de roteamento]]]						
Roteamento por nós	-	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Roteamento por arcos	-	Não	-	-	-	Sim
Roteamento diário	-	Sim	-	Sim	Sim	Sim
Planeamento e análise de rotas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
incorpora informações de tráfego de tempo real na criação de rotas	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2) Carregamento	-	Sim	-	Sim	-	Sim
[[[Carregamento]]]						
Carregamento 3D	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Visualização do carregamento como factores considerados no carregamento para além do peso	Volume	Por camadas 2D	visualização em 3D	-	visualização em 3D	-
[[[Preço]]]						
Licença simples	Preço por aplicação e por módulo	Preço por aplicação	-	-	-	preço por aplicação
Licença inclui mapa de região	-	Sim	-	-	-	-
Qual é o mapa incluído	NAVTEQ	Depende do País	-	vários fornecedores globais	-	vários
Instalação/preço suporte	-	Preço na aplicação	-	225 dollars	-	preço por aplicação
número de horas para instalação	-	Depende dos requisitos personalizados	-	80 dollars	-	-
[[[Algoritmos de Solução]]]						
Como são especificadas as janelas de tempo	Regras	Regras configuráveis	Regras configuráveis	prioridade de clientes	Regras configuráveis	Regras configuráveis
□ planeamento de rotas considera restrições geográficas	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
[[[Mapamento]]]						
Solução integrada com mapas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Que fornecedores de mapas	NAVTEQ	Depende do País. Ex: OS, NAVTEQ	Google Map e Earth, GIS	Vários	-	Vários
[[[Produto disponível como parte de um conjunto que oferece]]]						
Display eletrónico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
mensagens wireless	Sim	Sim	Sim	Sim	-	Sim
rastreamento de veículo em tempo real	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Scanner RFID	Sim	Não	Sim	-	-	Sim
Software de Gestão de cadeia de suprimentos (Gestão de inventário)	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Sistema de processo de pedidos de clientes	-	Não	Sim	-	-	Sim
[[[Características]]]						
Atribui motoristas individuais	-	Sim	Sim	Sim	-	Sim
instruções de rota "turn-by-turn"	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
plano de carga do carregamento do camião	-	Sim	Sim	-	Sim	Sim
Informações da Previsão do tempo exibido no display	-	Não	Sim	-	-	Sim
Hora prevista de chegada - enviada automaticamente para o cliente	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
[[[Tipos de frotas que atualmente usam este produto]]]						
Recolha e entrega local	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Longa distância	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Correio	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
[[[Características Especiais]]]						
Características especiais	Acessibilidade via cloud, Cargas em 3D	Gráficos das cargas, Cargas em 3D	Visualização total em 3D do carregamento e descarga do veículo	Planeamento integrado, roteamento, expedição e telemática	Renderização 3D da carga de cada camião	-
Serviço ao cliente de 24 horas por dia	Sim	Limpeza para granéis líquidos	-	Sim	Sim	Sim
Inovação recente do produto integrado no sistema	-	Não	-	Permitir que GPS's de qualquer fonte possam ser utilizados para integração com o MobileCast	-	-
Suporte para smartphones e tablets	Sim	Para lubrificantes, otimização de limpeza para minimizar os preços de limpeza	-	Sim	Sim	Sim
Que aparelhos pessoais de navegação suportam	-	Não	Sim	ALK Copilot Truck	-	-
Número de empresas que utilizam o software	-	Soluções de negócio TomTom	Windows Mobile	1000+	1750+	100-500
Empresas mais significantes	CISCO, Sears, Rioch	3663, Matthew Clark, Oakwood, Filshill	CMC, COSTCO, IKEA, Genius, etc...	Dr Pepper Snapple Group, Busch, Apria Healthcare	Pepsi, Coca-Cola, Tesco	-

Figura 6 - Lista de Aplicações I

Nota:

- 1) Tempo de computação para um problema com 50 rotas, 1000 paragens, com janelas temporais de 2 horas
- 2) Utiliza dados históricos de tempo de viagem e tempos de paragens em encaminhamento

PRODUTO	SysCargo	Eye Peak	JOpt.AAS	JOpt.SDK	Paragon Routing and Scheduling Optimizer
EMPRESA	ELACONTA	Sinfic	DNA Evolutions GmbH	DNA Evolutions GmbH	Paragon
ANO LANÇAMENTO	2009	2011	2009	2005	1997
PLATAFORMAS	Windows	Windows Server - Mobile	Windows, Unix, Linux	Windows, Unix, Linux	Windows
[[[Tamanho Máximo do problema resolvido pelo Sistema]]]					
Nº de paragens	-	-	Não tem limite	Não tem limite	20000
Nº de Veículos	-	-	Não tem limite	Não tem limite	3000
Nº de Terminais	-	-	Não tem limite	Não tem limite	2000
Processador	-	1,6 Ghz+	-	3 Ghz	3,6 Ghz
Memória/Tamanho em Disco	-	2 GB/20 GB	-	4 GB/200 MB	512 MB/2 GB
[[[Performance]]]					
1)	-	-	5 minutos	5 minutos	2 minutos +/-
Que tipos de algoritmos são considerados	-	-	Algoritmo Genérico, Construtivo, Arefecimento simulado	Algoritmo Genérico, Construtivo, Arefecimento simulado	algoritmos de melhoria e de redução de custos
[[[Funções de roteamento]]]					
Roteamento por nós	Sim (através de outro software)	Sim (Através do Quatenus)	Sim	Sim	Sim
Roteamento por arcos	-	-	Sim	Sim	Sim
Roteamento diário	Sim (através de outro software)	Sim (Através do Quatenus)	Sim	Sim	Sim
Planeamento e análise de rotas	Sim	Sim (Através do Quatenus)	-	-	Sim
incorpora informações de tráfego de tempo real na criação de rotas	-	-	-	-	-
2)	-	-	-	-	Sim
[[[Carregamento]]]					
Carregamento 3D	-	-	Não	Não	Não
Visualização do carregamento como	-	-	Não	Não	Não
factores considerados no carregamento para além do peso	-	-	várias dimensões para além do peso	várias dimensões para além do peso	volume, unidades, caixas, barris
[[[Preço]]]					
Licença simples	-	-	Mensalidade	5000 Dollars	39000 Dollars
Licença inclui mapa de região	-	-	-	-	Sim
Qual é o mapa incluído	TomTom	-	qualquer mapa, com matriz de distância e tempo	qualquer mapa, com matriz de distância e tempo	NAVTEQ
Instalação / preço suporte	-	-	375 Dollars	Gratuito	850- 1050 dollars por dia
número de horas para instalação	-	-	4 horas	Menos de uma hora	80
[[[Algoritmos de Solução]]]					
Como são especificadas as janelas de tempo	-	-	Algoritmo genérico de custo difuso	Algoritmo genérico de custo difuso	-
O planeamento de rotas considera restrições geográficas	-	Sim	Sim	Sim	Sim
[[[Mapeamento]]]					
Solução integrada com mapas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Que fornecedores de mapas	TomTom	-	qualquer mapa, com matriz de distância e tempo	qualquer mapa, com matriz de distância e tempo	NAVTEQ
[[[Produto disponível como parte de um conjunto que oferece]]]					
Display eletrónico	-	Sim	Não	Não	-
mensagens wireless	-	Sim	-	-	Sim
rastreamento de veículo em tempo real	-	Sim	-	-	Sim
Scanner RFID	-	Sim	Não	Não	-
Software de Gestão de cadeia de suprimentos (Gestão de inventário)	-	Sim	-	-	-
Sistema de processo de pedidos de clientes	Sim	Sim	-	-	-
[[[Características]]]					
Atribui motoristas individuais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
instruções de rota " turn-by-turn "	Sim (através de outro software)	Sim (Através do Quatenus)	-	-	Sim
plano de carga do carregamento do camião	-	Sim	-	-	-
Informações da Previsão do tempo exibido no display	Sim (através de outro software)	Não	-	-	-
Hora prevista de chegada - enviada automaticamente para o cliente	-	Sim	-	-	Sim
[[[Tipos de frotas que atualmente usam este produto]]]					
Recolha e entrega local	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Longa distância	-	Sim	Sim	Sim	Sim
Correio	-	Sim	Sim	Sim	Sim
[[[Características Especiais]]]					
Características especiais	Análise de gastos por viatura, por quilómetro percorrido.	Indicadores chave de performance (KPI)	função de custo flexível para diferentes objectivos de planeamento	função de custo flexível com diferentes objectivos	planeamento para frotas de multi-zona; visualização multi-tela; permite criar relatórios flexíveis
Serviço ao cliente de 24 horas por dia	-	Não	-	-	Sim
Inovação recente do produto integrado no sistema	Parceria com a TomTom	-	suporte multi-core, melhorando o algoritmo	suporte multi-core, melhorando o algoritmo até 4x, avaliação do CO2	ligação a rastreamento de camiões
Suporte para smartphones e tablets	Sim	Sim	-	-	-
Que aparelhos pessoais de navegação suportam	TomTom	Windows Mobile	-	-	Navman Wireless, Peoplenet, TomTom Work e outros
Número de empresas que utilizam o software	-	-	100+	100+	101-500
Empresas mais significantes	Transportes Mariano	Additional Logistics, Rede Expresso, Aldis etc...	Saudi Aramco, CAMS Pro, New York Department of Health	Saudi Aramco, CAMS Pro, New York Department of Health	McLane Company, Exel Logistics, Golden State Foods

Figura 7 - Lista de Aplicações II

Nota:

- 1) Tempo de computação para um problema com 50 rotas, 1000 paragens, com janelas temporais de 2 horas
- 2) Utiliza dados históricos de tempo de viagem e tempos de paragens em encaminhamento

3. O problema de encaminhamento com restrições de carregamento

3.1. Caracterização do problema em estudo

O problema em estudo foi igualmente contemplado por Iori, num trabalho desenvolvido em 2007 (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007). O problema é caracterizado por um depósito central onde estão colocados diversos veículos que se destinam a transportar encomendas de clientes. O objectivo é minimizar tanto a distância total percorrida assim como o número de veículos. Com este propósito são criadas rotas de clientes em que cada rota tem um veículo associado, e dentro do veículo seguem os itens requisitados pelos clientes.

Um veículo k é caracterizado por uma capacidade máxima D (peso máximo que o veículo pode carregar), uma altura H e uma largura W . Um cliente c , ($c = 1, \dots, n$) é caracterizado por um conjunto de itens rectangulares m_c , com uma capacidade total de d_c e cada item tem uma altura e uma largura, respectivamente h_{ct} e w_{ct} , ($t = 1, \dots, m_c$). Por fim, cada item é caracterizado por um par de índices (c, t) .

A área total dos itens de um cliente é definida pela expressão:

$$a_c = \sum_{t=1}^{m_c} w_{ct} h_{ct}$$

O número total de itens é calculado pela expressão:

$$M = \sum_{c=1}^n m_c$$

O carregamento de itens no veículo é sujeito a uma série de restrições:

- Agrupamentos dos itens – Todos os itens do mesmo cliente têm de ser carregados no mesmo veículo.
- Orientação dos Itens – Os itens tem orientação fixa, não podem ser rodados, e devem ser carregados no veículo com os lados paralelos aos lados da área disponível do veículo.

Associados estão ainda uma série de restrições que visam tornar este problema exequível e mais perto da realidade.

R1 : A capacidade do veículo não pode ser ultrapassada.

R2 : Os itens têm de ser completamente contidos na área de carregamento.

R3 : Quaisquer dois itens não se podem sobrepor.

R4 : Carregamento Sequencial – A descarga dos itens só pode ser efectuada por um lado do veículo e os itens dentro do veículo não podem sofrer mudanças de posição. Os clientes seguem uma política LIFO no que diz respeito à entrada e saída, ou seja, o primeiro cliente a entrar no veículo vai ser o último a sair e o último cliente a entrar no veículo vai ser o primeiro a sair.

As restrições R2, R3 e R4 encontram-se ligadas ao carregamento do veículo. A zona de carregamento pode ser definida como um eixo cartesiano, na qual o ponto (0,0) corresponde ao canto mais baixo e mais à esquerda do veículo.

Para maior detalhe relativamente a estas restrições pode ser consultado o trabalho realizado por Iori (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007) .

3.2. Abordagens de resolução

Nos algoritmos desenvolvidos consideramos três partes críticas:

- Estratégias de selecção dos clientes;
- Estratégias de colocação dos itens nos veículos;
- Estratégia para controlar a distância percorrida - Raio de movimentação dos veículos entre clientes.

De seguida são apresentados diagramas ilustrativos de cada um dos algoritmos desenvolvidos.

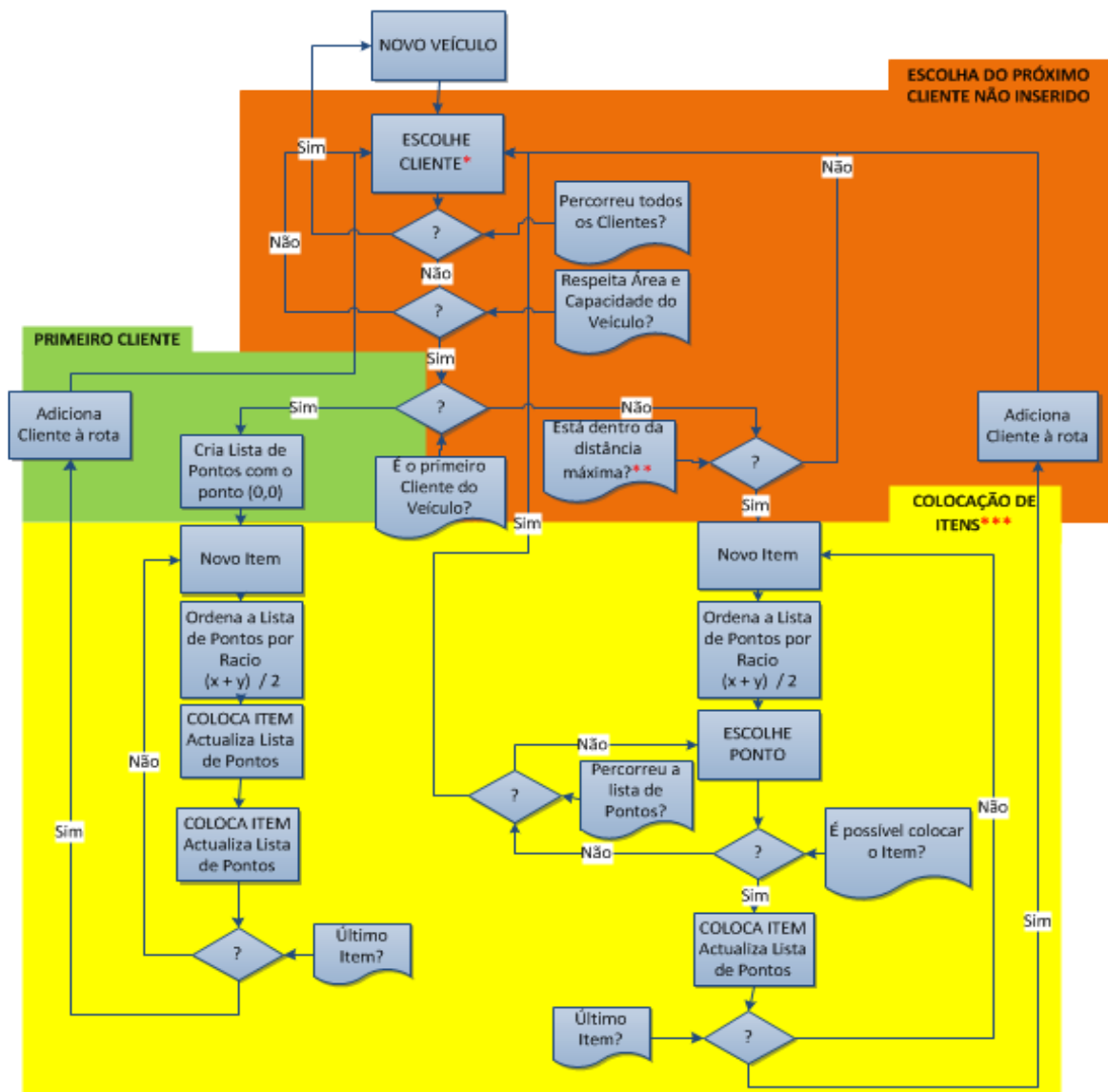


Figura 8 - Diagrama do Algoritmo Rácio - Maior Área Ocupada

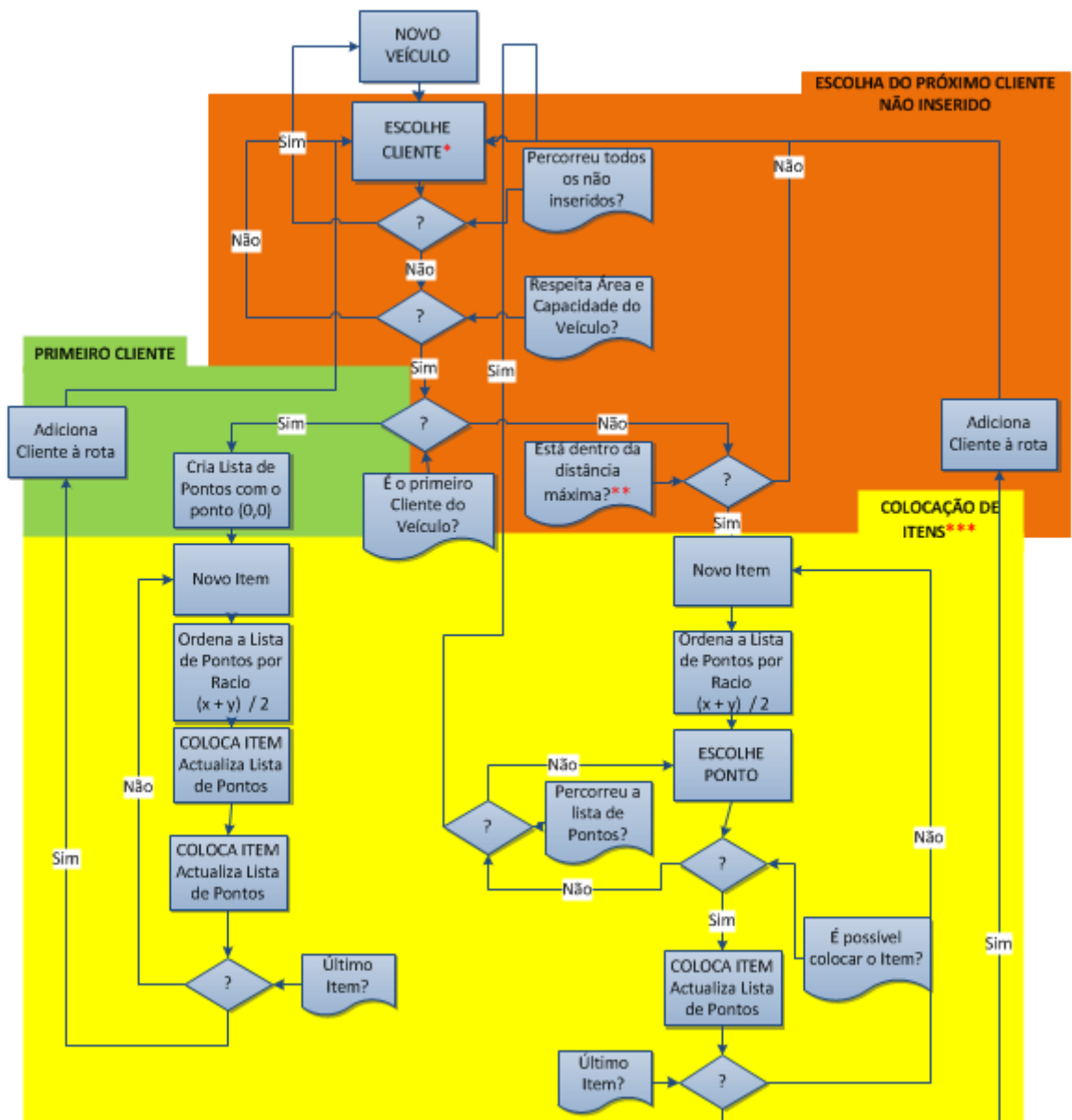


Figura 9 – Diagrama do Algoritmo CmP v1.0

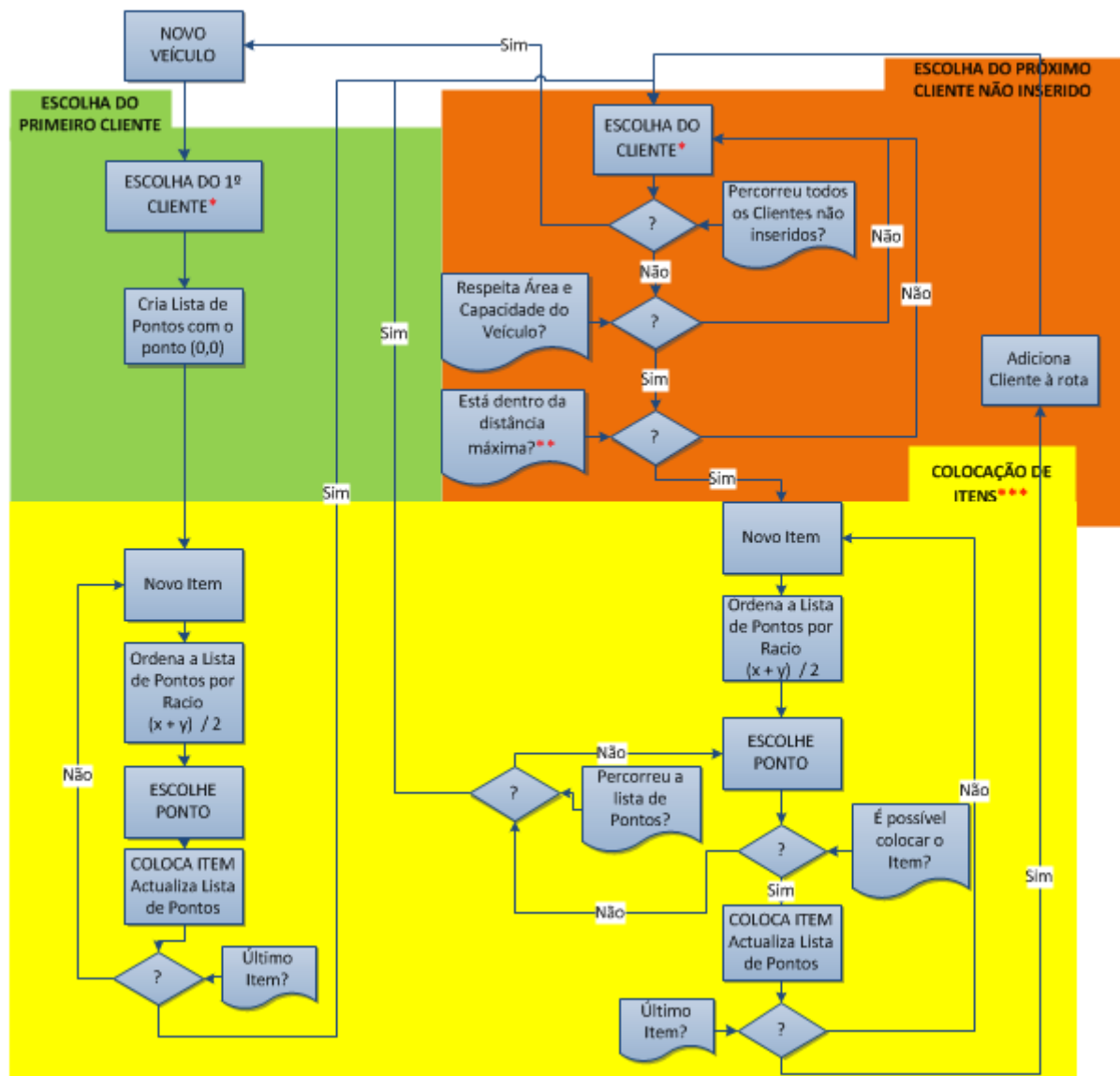


Figura 10 - Diagrama do Algoritmo CmP v2.0

Para facilitar a compreensão dos diagramas estes foram divididos em três zonas:

- Zona verde – Diferencia a parte do algoritmo onde é escolhido o primeiro cliente após a criação de um novo veículo.
- Zona laranja – Diferencia a parte do algoritmo onde são escolhidos os próximos clientes de cada veículo excepto o primeiro.
- Zona amarela – Diferencia a parte do algoritmo onde é efectuada a inserção dos itens de cada cliente no veículo.

De todo o código desenvolvido, os algoritmos diferem apenas na ordem pela qual os clientes são ponderados o que será explicada na secção seguinte. Estas zonas críticas estão diferenciadas por diferentes notações:

- ESCOLHA DO CLIENTE* - Diz respeito ao método de escalonamento de escolha dos clientes, diferente para cada um dos algoritmos. Este método está explicado no ponto 3.2.1.
- ESTÁ DENTRO DA ÁREA MÁXIMA?*** - Diz respeito ao método de distância máxima permitida para movimentação dos veículos entre clientes. Este método foi testado para limites diferentes para cada um dos algoritmos e a sua explicação está descrita no ponto 3.2.2.
- COLOCAÇÃO DE ITENS*** - Diz respeito ao método de colocação de itens nos veículos que é igual nos três algoritmos. A explicação destes métodos está desenvolvida no ponto 3.2.3.

3.2.1. Estratégias de selecção dos clientes

Estratégia baseada no rácio – Maior Área.

A ordem pela qual os clientes são escolhidos para serem colocados no veículo é efectuada por um valor de rácio que é calculado pelo somatório da área total ocupada pelos diferentes itens i de um cliente sobre o total de itens desse cliente.

$$Maior \text{ Área} = \frac{\sum_{i=0}^i \text{Área } i}{n^{\circ} \text{ itens}}$$

Este rácio foi considerado pois num caso real, para potenciar o espaço de um veículo, deve colocar-se primeiro os itens com maior área.

O algoritmo é caracterizado por tentar utilizar o menor número possível de veículos.

Numa situação em que a distância não é considerada como um factor restritivo, seja num negócio local ou mesmo um negócio em que os clientes de cada zona sejam servidos por um armazém local, a distância percorrida pelos veículos pode-se tornar irrelevante, o factor com maior preponderância passa a ser o número de veículos utilizados para satisfazer os clientes. Nesta situação, o algoritmo, apresenta bons resultados ao reduzir o número total de veículos utilizados pela empresa.

Quando o veículo está vazio, os clientes são ordenados por ordem decrescente de Maior Área e efectua-se o processo descrito sobre o ponto Estratégia para controlar a distância percorrida - Raio de movimentação dos veículos entre clientes descrito no ponto 3.2.3. A partir do momento em que o veículo já tem pelo menos um cliente pode ser considerada, ou não, a distância.

Em caso negativo, percorre-se a lista ordenada dos rácios à procura do próximo cliente não inserido, que o poderá ser, se respeitar todas as restrições (R1, R2, R3 e R4). Este processo repete-se até ser impossível inserir qualquer cliente ainda não associado.

Quando se verifica esta condição é criada a rota dos clientes inseridos no veículo e fecha-se o mesmo. De seguida é inicializado um novo veículo repetindo-se todo o processo descrito anteriormente, até todos os clientes estarem associados.

No caso de se considerar a distância como restrição, o processo é igual, mas para além do cliente candidato ter de respeitar as restrições (R1, R2, R3 e R4) tem ainda de verificar se a distância do próximo cliente ao último cliente inserido no veículo é menor ou igual ao valor máximo de distância considerada para a instância.

Estratégia baseada na selecção do Cliente Mais Próximo 1.0 (CmP v1.0)

A grande diferença entre este algoritmo e o anterior está na ordem pela qual os clientes são escolhidos, ou seja, em vez de serem ordenados por um rácio-Maior Área, neste os clientes são ordenados por valores crescentes de distância.

Numa situação real, em que a viatura poderá ter de se deslocar percorrendo grandes distâncias, deve considerar-se este tipo de restrição de forma a evitar desvios enormes nas rotas. Um cliente deverá ser sempre associado a veículos com outros clientes escolhidos em zonas próximas à sua, de forma a não alargar a sua zona de circulação, ou seja, criam-se zonas de clientes o que evita gastos associados à circulação em distâncias exageradas.

Quando o veículo está vazio, os clientes são ordenados segundo a sua distância ao depósito e efectua-se o processo descrito na Secção 3.2.3, onde é demonstrada a relevância do factor distância.

A partir do momento em que o veículo já tem pelo menos um cliente associado, a lista volta a ser ordenada por ordem crescente de distância ao último cliente inserido. Depois de ordenada a lista, é escolhido o primeiro cliente não visitado e este poderá ser associado ao veículo caso respeite todas as restrições (R1, R2, R3 e R4) e se o seu valor de distância ao último cliente inserido for menor ou igual ao valor máximo de distância considerada para a instância. Este processo repete-se até ser impossível inserir qualquer cliente ainda não associado. Quando se verifica esta condição é criada a rota dos clientes inseridos no veículo e fecha-se o mesmo. De seguida é inicializado um novo veículo repetindo-se todo o processo acima descrito, até todos os clientes estarem associados.

Estratégia baseada na selecção do Cliente Mais Próximo 2.0 (CmP v2.0)

Este algoritmo é uma evolução do anterior, diferindo na escolha do primeiro cliente visitado. Ao contrário da primeira versão, que escolhe como primeiro cliente o mais próximo ao depósito, esta versão escolhe o cliente mais distante. Esta alteração foi efectuada pois no primeiro algoritmo, em certos casos, se a distância entre os clientes ainda não associados não permitir agrupá-los num só veículo, o total de distância percorrida poderá ser mais elevada e poderá conduzir à utilização de mais viaturas (como pode ser visto na imagem em baixo). O restante algoritmo é igual ao algoritmo 1.0.

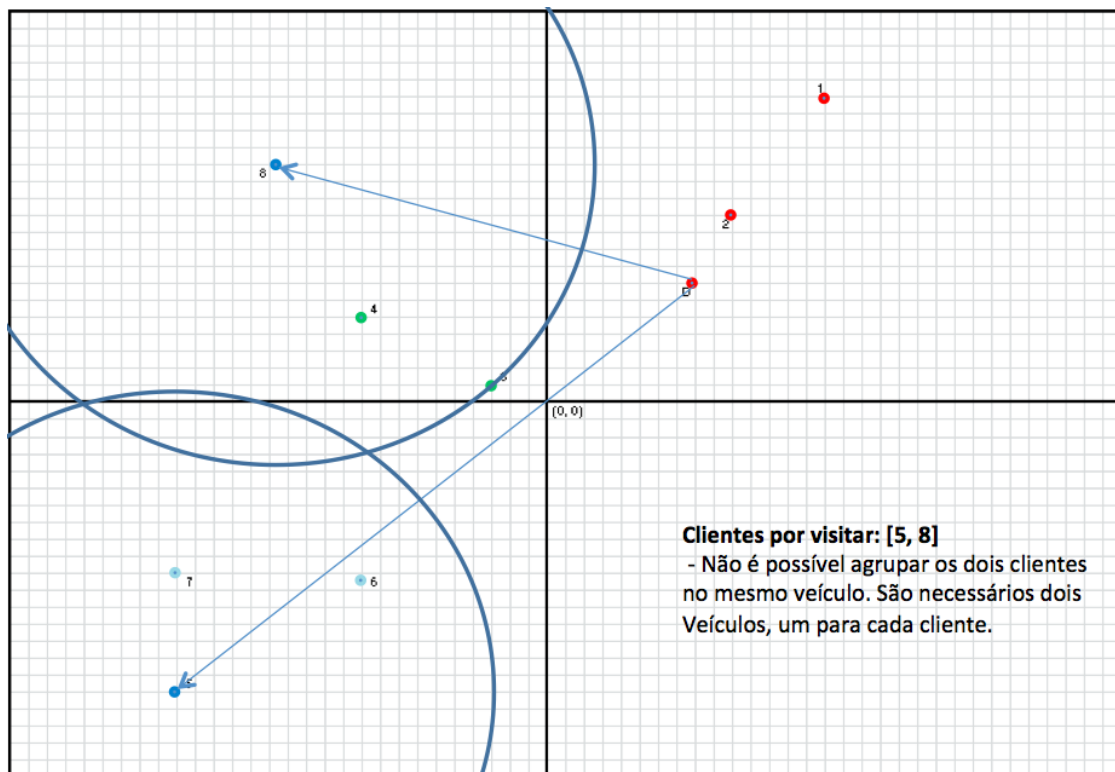


Figura 11 - Imagem ilustrativa sobre o problema do CmP v1.0

Neste exemplo ao utilizar o algoritmo CmP v1.0, ficaram por visitar os clientes 5 e 8, clientes que, devido à distância um do outro, não são agrupados numa só viatura. Se o algoritmo utilizado neste caso fosse o CmP v2.0, se ficassem 2 clientes por visitar, seriam o Cliente 1 e Cliente 2 (no CmP v2.0 o primeiro cliente a ser associado é o mais distante, logo seria o Cliente 5, e num segundo veículo o Cliente 8) que estão perto do depósito e seria possível agrupá-los num só veículo.

3.2.2. Estratégia de colocação dos itens nos veículos

Os algoritmos partilham a estratégia de colocação de itens no veículo. Para facilitar a compreensão deste método recorreu-se a imagens ilustrativas do carregamento. Nessas figuras, podemos observar a viatura na esquerda, o item a ser testado no veículo no centro da imagem e do lado direito, os itens do cliente a serem testados no veículo.

Exemplo demonstrativo da colocação de clientes e itens nos veículos

No exemplo retratado, temos 5 clientes que estão numerados de acordo com algoritmo Maior Área, ou seja, são ordenados por ordem crescente de rácio Maior Área, que é dado pela formula:

$$Maior \ Área = \frac{\sum_{i=0}^i \Área \ i}{n^o \ itens}$$

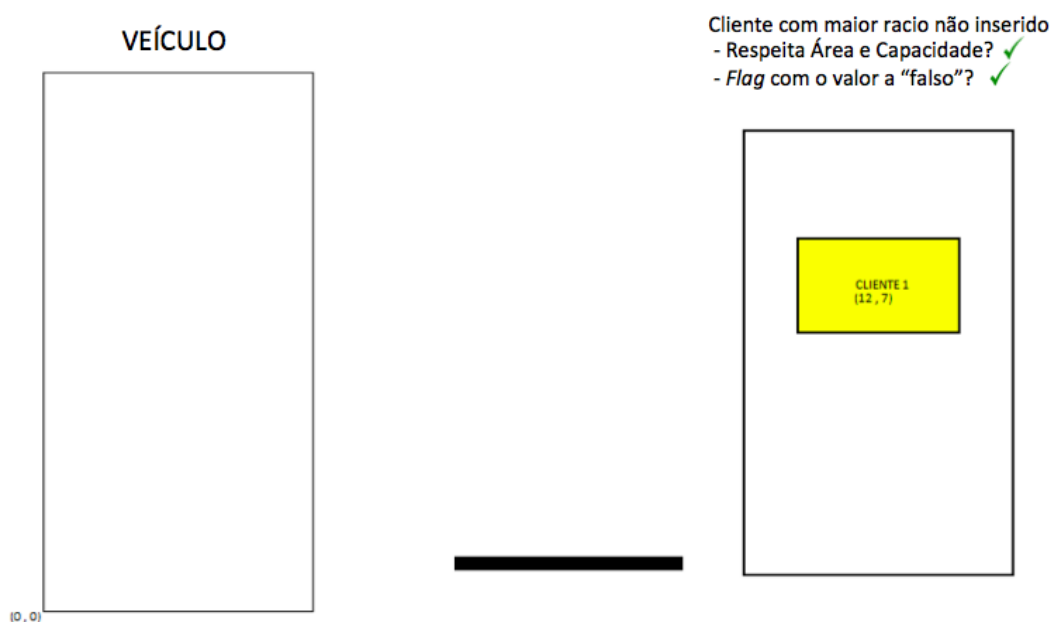


Figura 12 - Colocação de itens em veículo – Passo 1

Inicialmente é criado um veículo vazio, Veículo 1, com o ponto (0, 0), onde será inserido o primeiro item do primeiro cliente. Os clientes são ordenados e escolhidos por ordem decrescente de rácio. Um cliente escolhido para ser testado no veículo tem de respeitar a Área e a Capacidade disponível no mesmo e ter o valor da *flag* de teste a falso. Esta *flag* fica como “verdadeiro” quando o cliente é testado na viatura e não pode ser inserido. Assim foi escolhido o Cliente 1 que tem um único item de dimensões [12, 7].

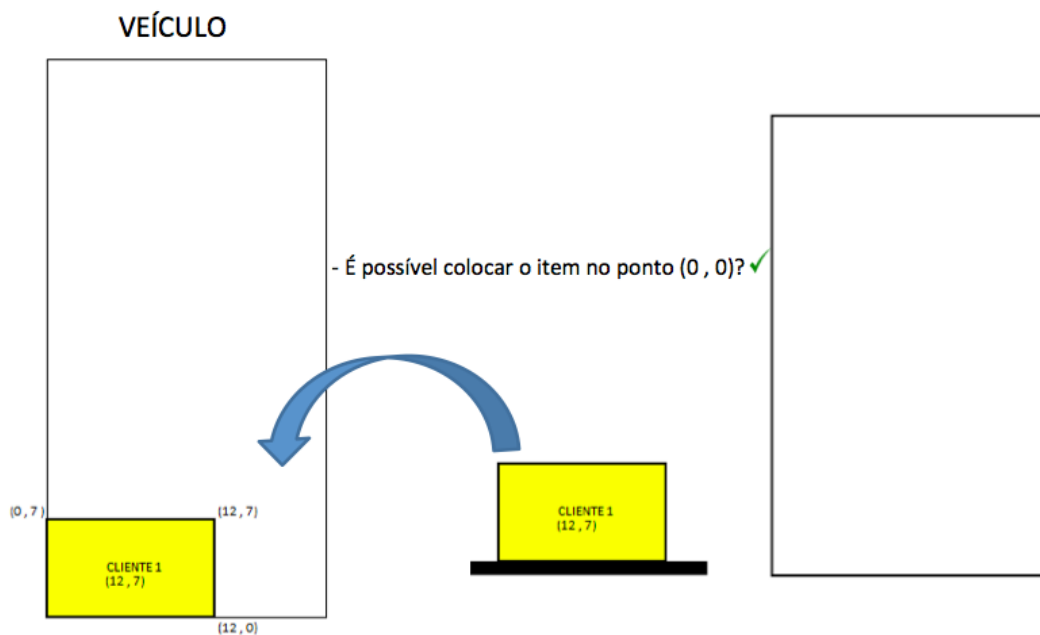


Figura 13 - Colocação de itens em veículo – Passo 2

O item passa na verificação, e assim é colocado no veículo no ponto (0, 0). Sempre que um item é inserido são criados 2 novos pontos, e o ponto onde o item foi inserido é actualizado. É actualizado relativamente aos valores de altura e largura do novo item, ou seja, $x = x + w$ e $y = y + h$, em que w é a largura do item e h a altura. Neste caso o ponto actualizado fica (12, 7). Um dos pontos criados fica com o valor de x igual ao valor de x do ponto onde o item foi inserido e o valor de y igual ao valor de y do ponto actualizado; o outro ponto fica com o valor de x igual ao valor de x do ponto actualizado e o valor de y igual ao valor de y onde o item foi inserido. Nesta situação os pontos criados são o (0, 7) e o (12, 0) e a partir da colocação do primeiro item ficamos com uma lista de pontos.

No fim da inserção de um item a lista de pontos é ordenada por ordem crescente de um rácio, valor médio do ponto, que é dado pela seguinte fórmula:

$$\text{Valor Médio do Ponto} = \frac{x + y}{2}$$

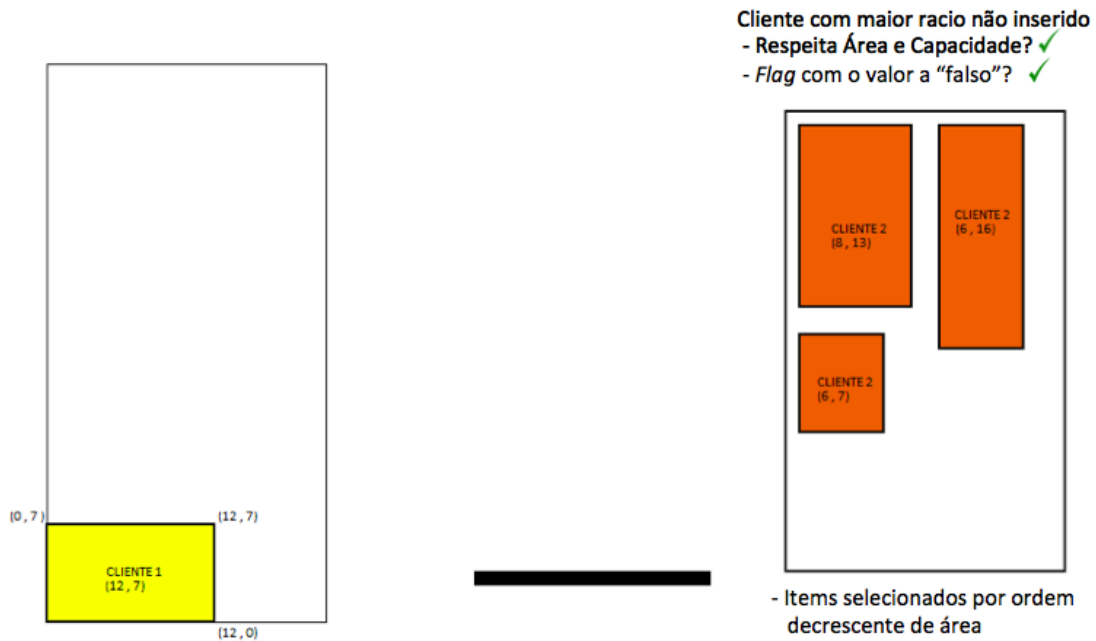


Figura 14 - Colocação de itens em veículo – Passo 3

Finalizado o primeiro cliente, é escolhido o próximo a respeitar as restrições acima descritas. Neste caso, o cliente seleccionado tem 3 itens, que são testados por ordem decrescente de área.

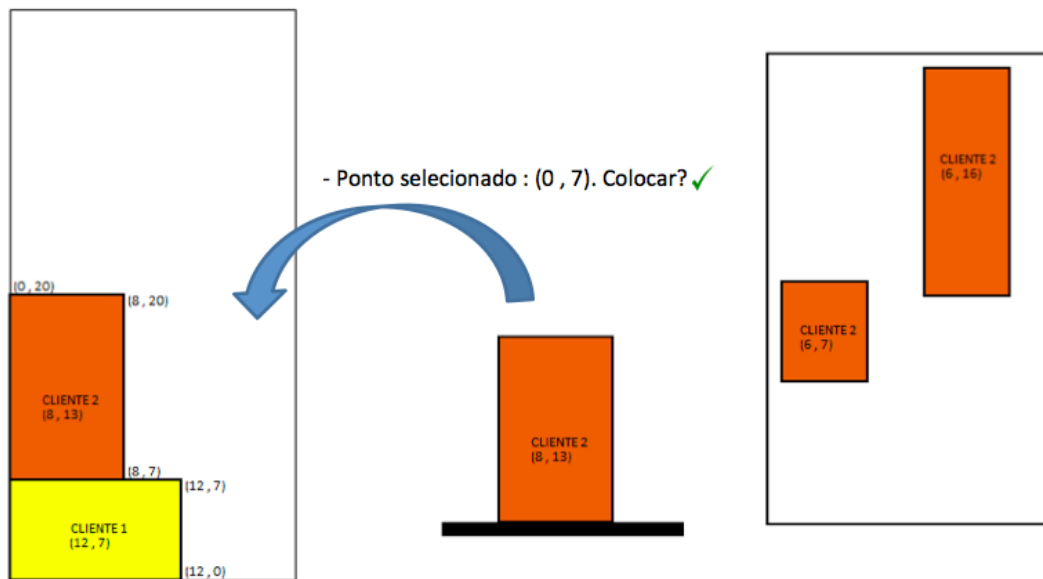


Figura 15 - Colocação de itens em veículo – Passo 4

Aqui foi escolhido o item de dimensões [8, 13]. Nesta fase temos 3 pontos possíveis (0, 7), (12, 0), e (12, 7) que são testados pela ordem constante na lista.

O ponto escolhido para o próximo item é (0, 7), este é inserido com sucesso, e o ponto (0, 7) é atualizado para (8, 20). São criados os pontos (0,20) e (8, 7) e a lista é ordenada.

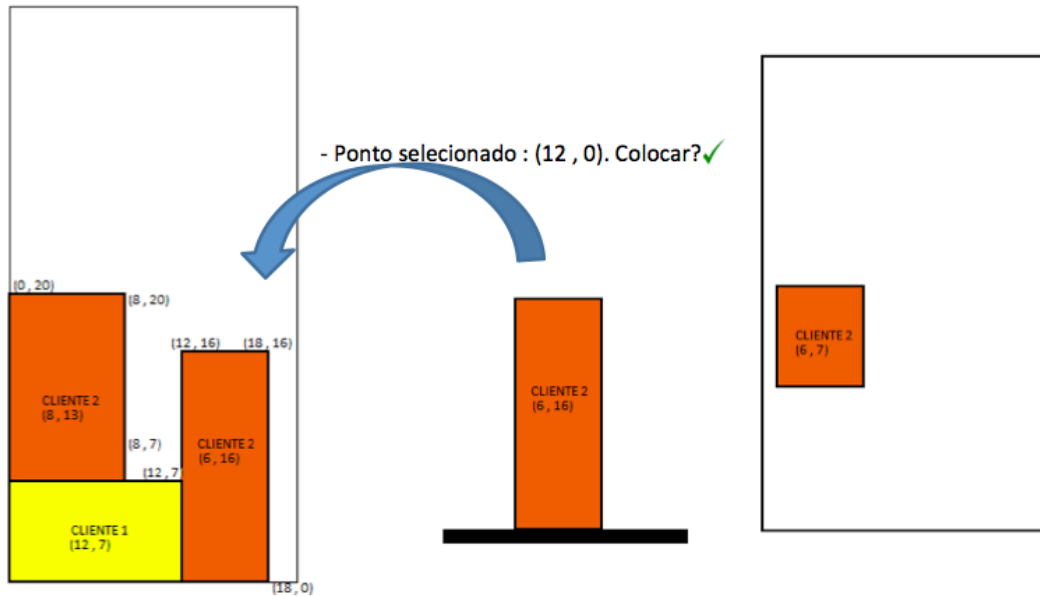


Figura 16 - Colocação de itens em veículo – Passo 5

Em seguida, é escolhido o maior item por inserir do Cliente 2, o item [6, 16]. É efectuada a ordenação dos pontos de inserção, sendo escolhido o ponto (12, 0). O item é inserido com sucesso e o ponto (12, 0) é atualizado para (18, 16), são criados os pontos (18, 0) e (12,16) e ordenada a lista de pontos.

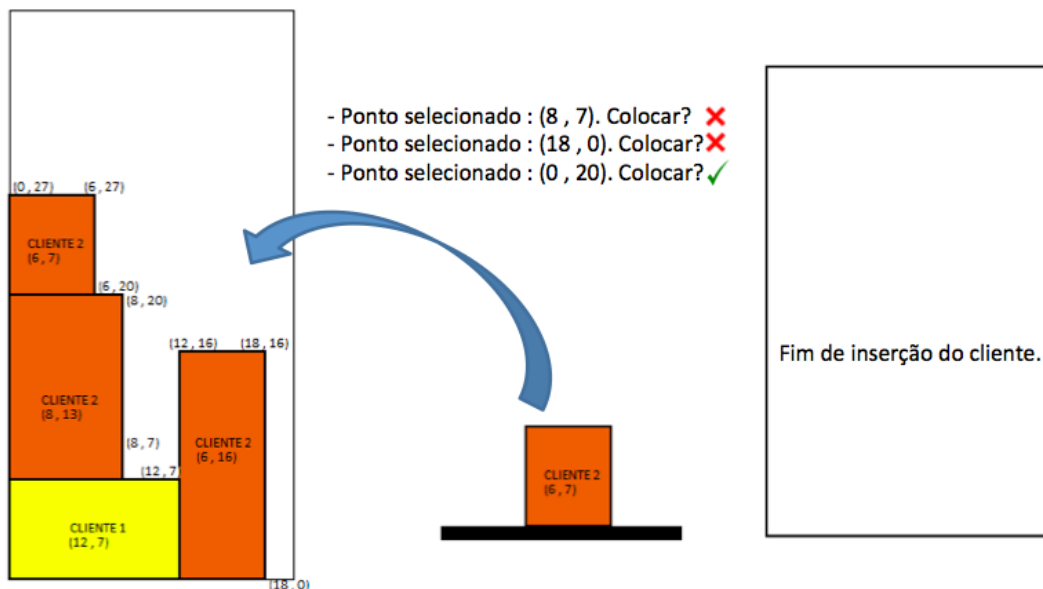


Figura 17 - Colocação de itens em veículo – Passo 6

O último item [6, 7] do Cliente 2 é então testado. Após a ordenação dos pontos, é seleccionado aquele com menor rácio, o ponto (8, 7). Não foi possível colocar o item nesse ponto pois ficaria sobreposto ao segundo item do cliente. Perante isto foi escolhido o próximo ponto com menor rácio, o ponto (18, 0). No

entanto, também neste não é possível colocar o item pois iria ultrapassar o limite de largura do veículo. É então escolhido o terceiro ponto da lista, o ponto (0, 20) e neste, o item já consegue ser inserido com sucesso, actualizando assim o ponto (0, 20) para (6, 27) e criados os pontos (0, 27) e (6, 20). A lista de pontos é ordenada.

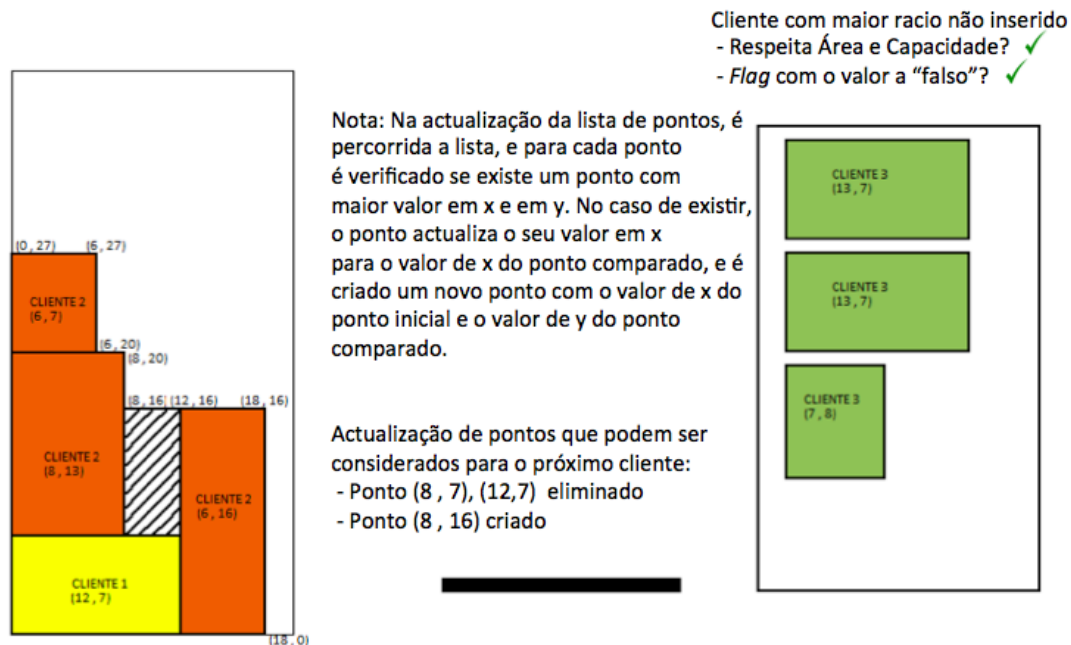


Figura 18 - Colocação de itens em veículo – Passo 7

Como está descrito na imagem, no final da inserção de um cliente, que não seja o primeiro, é actualizada a lista de pontos, de modo a eliminar áreas do veículo onde não podem ser inseridos itens de outros clientes. Este processo foi desenvolvido com a finalidade de respeitar a restrição que diz que os itens dentro dos veículos não podem ser reposicionados depois de alocados e para respeitar a política de escalonamento LIFO (*Last in, first out*). Na situação do exemplo em cima, não era necessário eliminar a área em questão, mas o algoritmo é generalizado para todas as situações. No entanto, um melhor exemplo desta eliminação de espaço, pode ser vista na imagem relativa ao fim da inserção do Cliente 3.

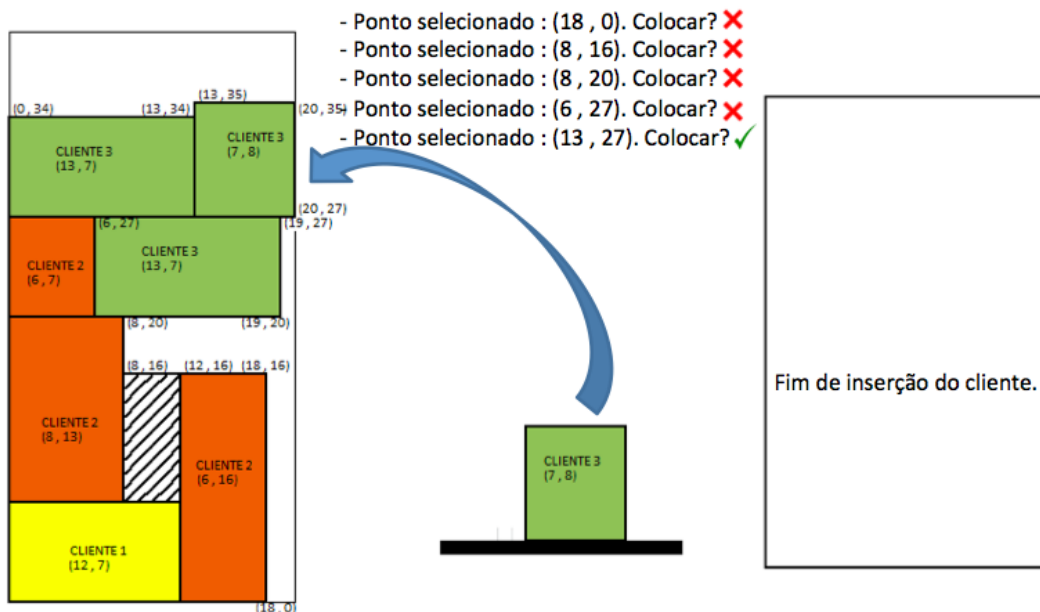


Figura 19 - Colocação de itens em veículo – Passo 8

Na inserção do Cliente 3, como não se verificou nenhuma situação não descrita anteriormente, de modo evitar que este processo se torne repetitivo, apenas se ilustra na imagem acima a visualização da inserção do terceiro e último item.

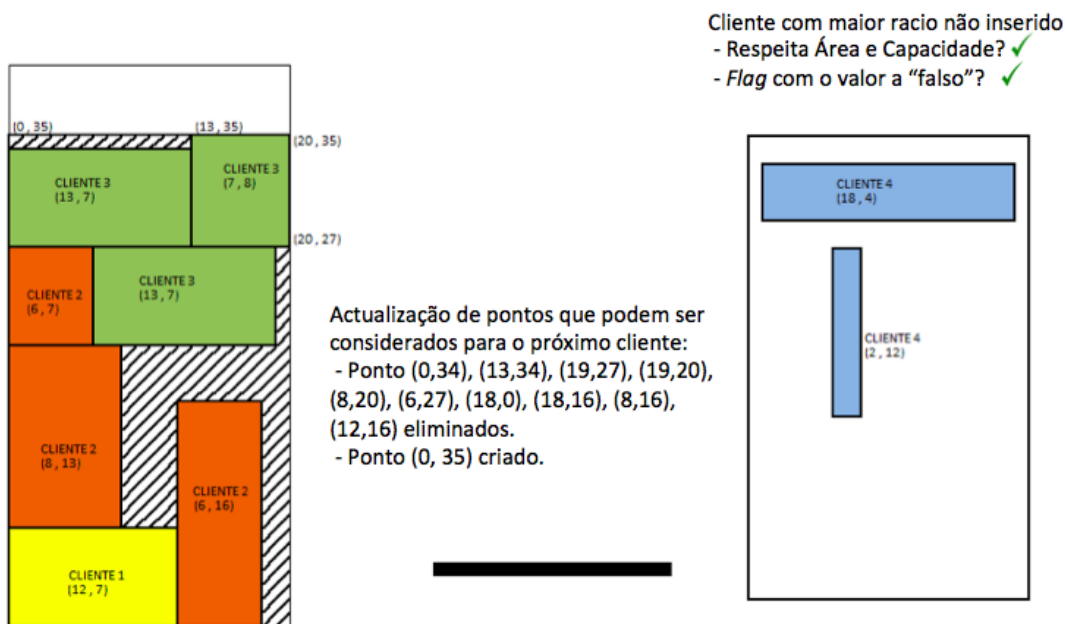


Figura 20 - Colocação de itens em veículo – Passo 9

Como mencionado anteriormente, no final da inserção de qualquer cliente, após o primeiro, é efectuada uma actualização de pontos a fim de remover áreas onde não podem ser colocados itens de outros clientes.

Aqui a actualização já faz sentido pois, se esta eliminação não fosse efectuada, o item mais pequeno do Cliente 4 (próximo cliente seleccionado), seria colocado no ponto (18, 0), o que não poderia acontecer porque o Cliente 4 é visitado primeiro que o 3 (Last in First Out) e os itens depois de colocados nas viaturas não podem sofrer movimentações, sob pena de violar esta restrição.

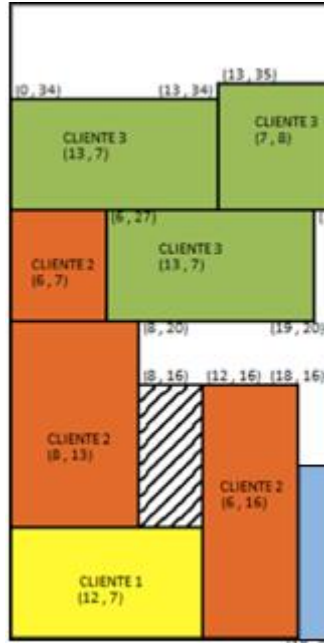


Figura 21 - Colocação de itens em veículo – Passo 10

Por fim, é escolhido como foi referido, o Cliente 4 como próximo cliente a ser inserido, que respeita a Área e a Capacidade restante do veículo.

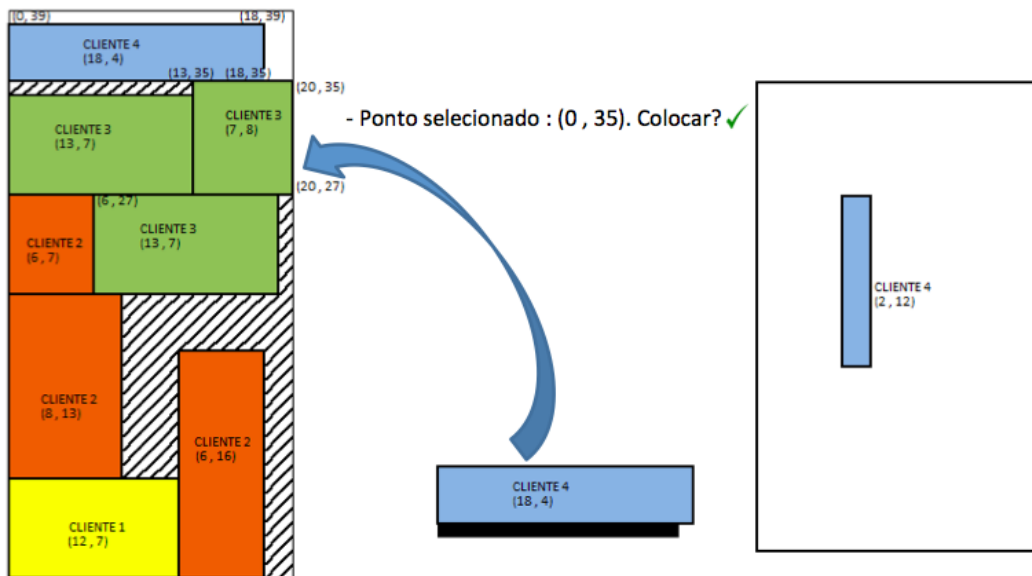


Figura 22 - Colocação de itens em veículo – Passo 11

Após testar o item de maior dimensão do Cliente 4 verifica-se que é possível colocá-lo no ponto (0,35), que é actualizado para (18,39), são criados os pontos (0,39) e (35,18) e é ordenada a lista de pontos.

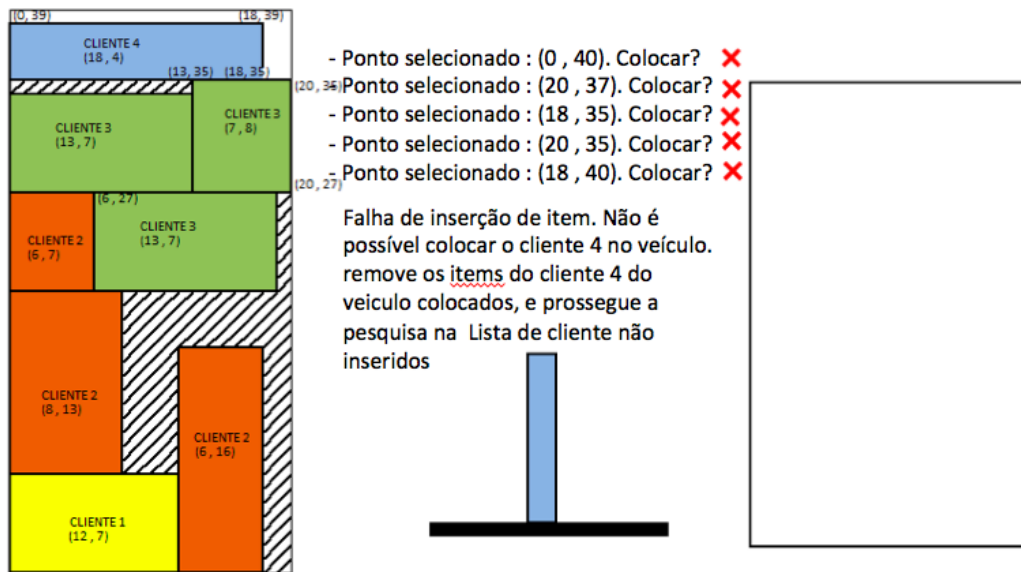


Figura 23 - Colocação de itens em veículo – Passo 12

Em seguida é necessário colocar o segundo item do Cliente 4, que, como pode ser constatado na imagem, não é possível de ser inserido no veículo em qualquer um dos pontos disponíveis, pois, ao ser colocado, ultrapassa os limites da viatura. Por este motivo, o cliente fica com o valor de *flag* a “verdadeiro”, indicando que o cliente não pode ser associado ao veículo. A inserção do Cliente 4 é cancelada e recua-se no algoritmo até à escolha do próximo cliente.

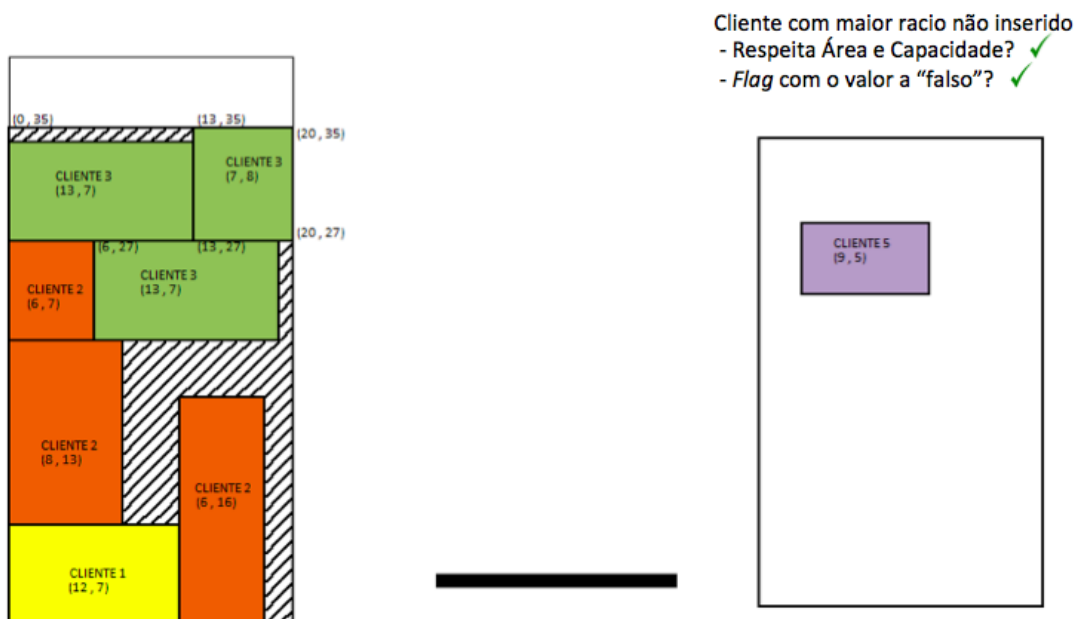


Figura 24 - Colocação de itens em veículo – Passo 13

5. É escolhido então o próximo cliente não inserido que respeita as restrições. É escolhido assim o Cliente

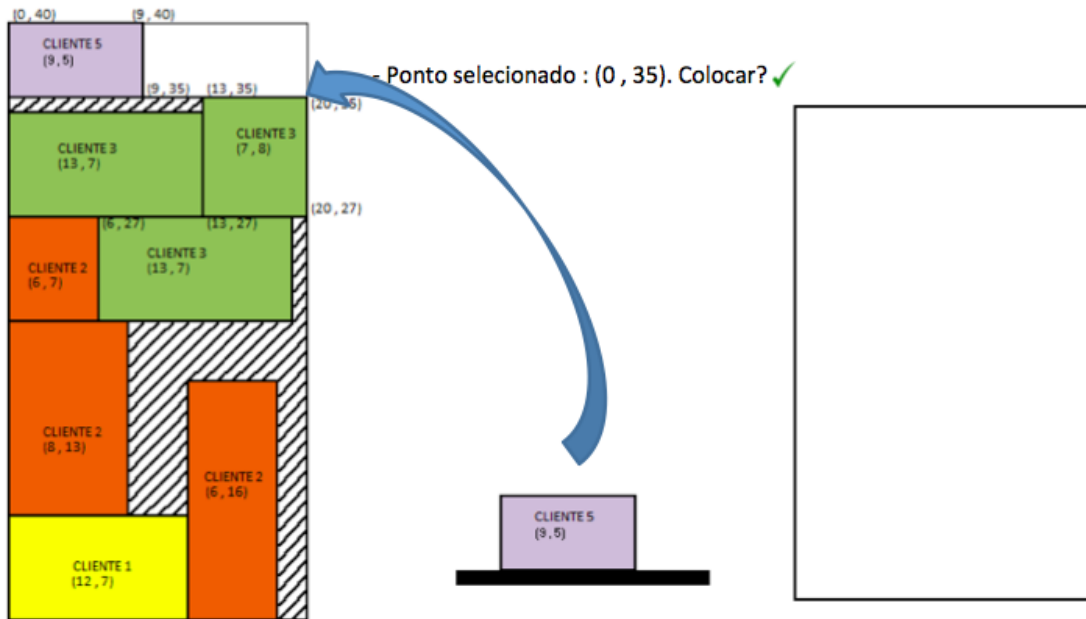


Figura 25 - Colocação de itens em veículo – Passo 14

O único item do Cliente 5, com dimensões [9, 5] é testado no ponto (0, 35) e é inserido com sucesso, actualizando o mesmo para (9, 40); são criados os pontos (9, 35) e (0, 40) e a lista de pontos é ordenada.

A colocação no Veículo 1 é encerrada, pois só falta inserir o Cliente 4, que já foi testado na viatura e não foi possível associar.

Como ainda existem clientes por inserir, é criado um novo veículo, o Veículo 2, com o ponto (0, 0).

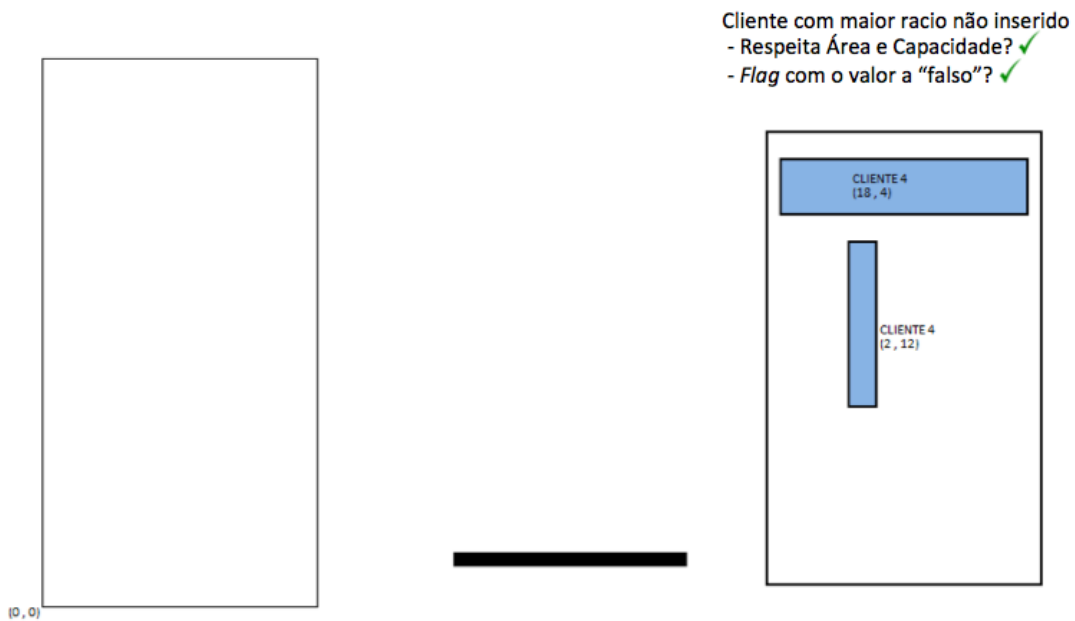


Figura 26 - Colocação de itens em veículo – Passo 15

É então efectuado o mesmo processo retratado anteriormente para o Veículo 2. É escolhido o cliente com maior rácio não inserido e que respeita as restrições, o Cliente 4.

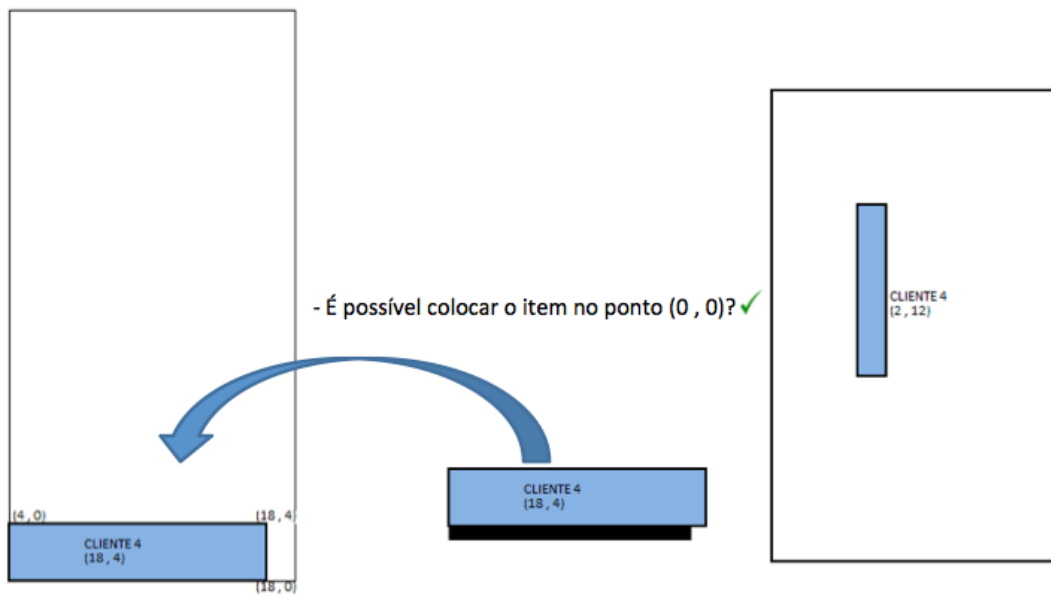


Figura 27 - Colocação de itens em veículo – Passo 16

É testado o maior item do Cliente 4, com dimensões [18, 4] no ponto (0, 0), que é inserido com sucesso, sendo o ponto actualizado para (18, 4) e criados os pontos (18, 0) e (0, 4). A lista de pontos é ordenada.

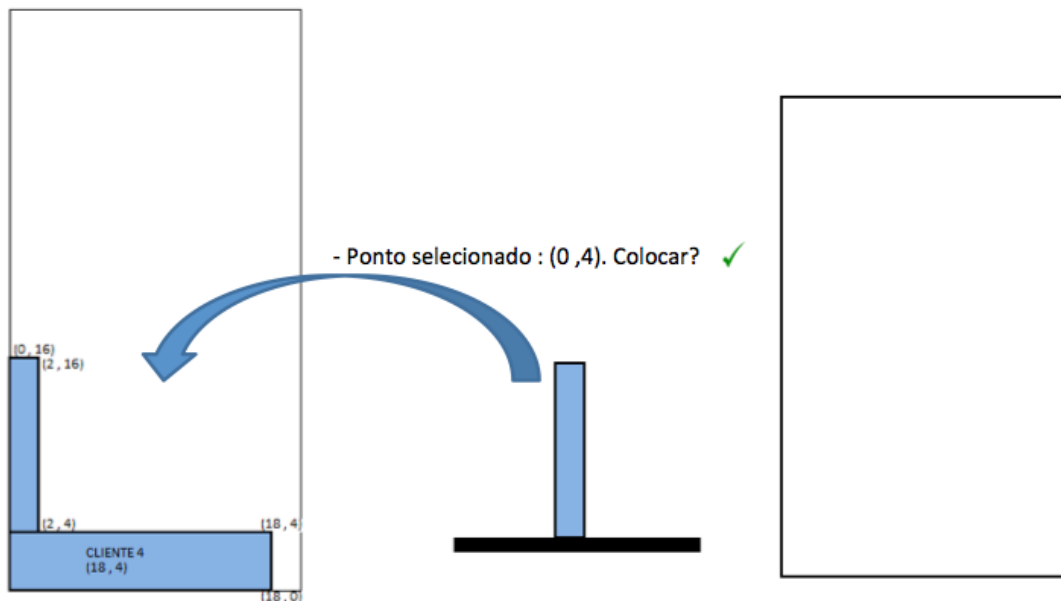


Figura 28 - Colocação de itens em veículo – Passo 17

Finda a inserção do primeiro item, é testado o segundo para o primeiro ponto da lista ordenada, o ponto (0, 4). O item é inserido com sucesso, o ponto é actualizado para (2, 16) e são criados os pontos (0, 16) e (2, 4). A lista de pontos é ordenada.

Como todos os clientes já estão associados a viaturas, a inserção no veículo 2 é fechada, terminando assim a inserção de itens nos veículos para esta instância.

3.2.3. Estratégia para controlar a distância percorrida - Raio de movimentação dos veículos

Porque é importante respeitar a importância da distância, em qualquer um dos três algoritmos, quando o veículo está vazio, é sempre considerado como primeiro cliente o que se encontra em primeiro lugar na lista ordenada, apesar de esta ordenação ser diferente de algoritmo para algoritmo, como já foi referido. No entanto, nesta primeira fase, para que nenhuma entrega falhe não existe nenhuma restrição de distância.

A partir do momento em que o veículo já tem pelo menos um cliente associado o próximo cliente é escolhido, com base nas restrições já mencionadas e consoante a distância que se encontra do último cliente inserido (com excepção em alguns testes efectuados no algoritmo Rácio).

A distância referida $D_{\max} = \alpha * Vm$, é calculada através de um valor médio de todas as distâncias do depósito ao cliente (Vm), em seguida esse valor é multiplicado por um factor $\alpha \in \{0.1, \dots, 2.0\}$ que permite ignorar, limitar ou aumentar o raio de pesquisa do próximo cliente como pode ser visto na imagem em baixo

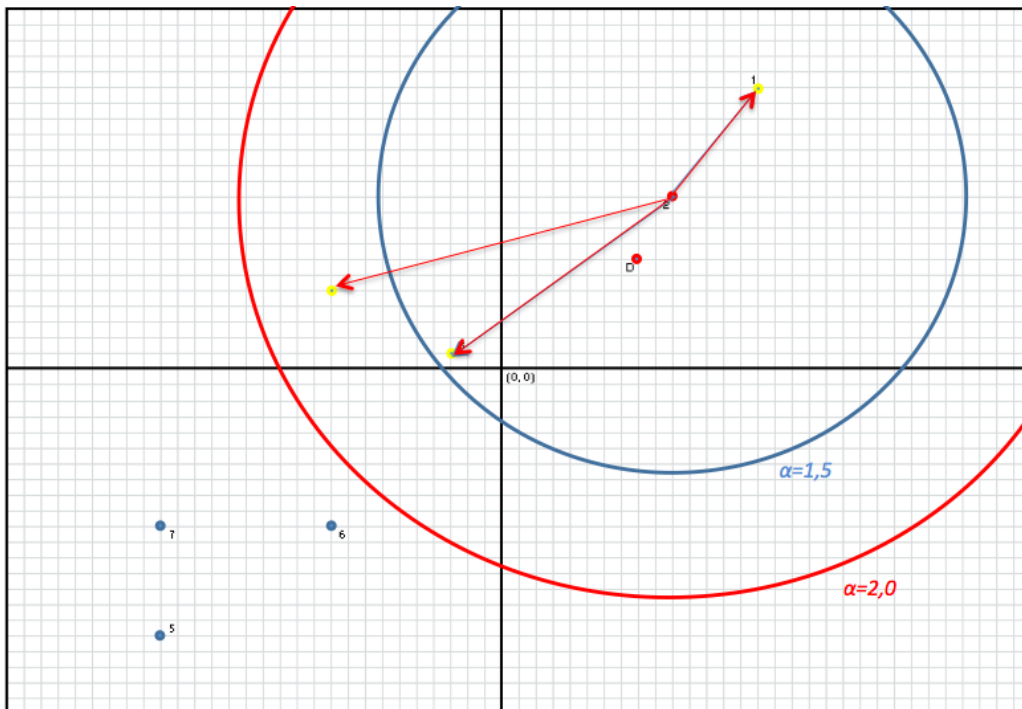


Figura 29 - Imagem ilustrativa sobre os diferentes valores de α

Aqui é possível constatar que quando o veículo se encontra no Cliente 2, para $\alpha = 1,5$, dentro do raio de pesquisa estão dois clientes, enquanto para $\alpha = 2,0$ estão três.

Exemplo demonstrativo da movimentação de veículos entre clientes

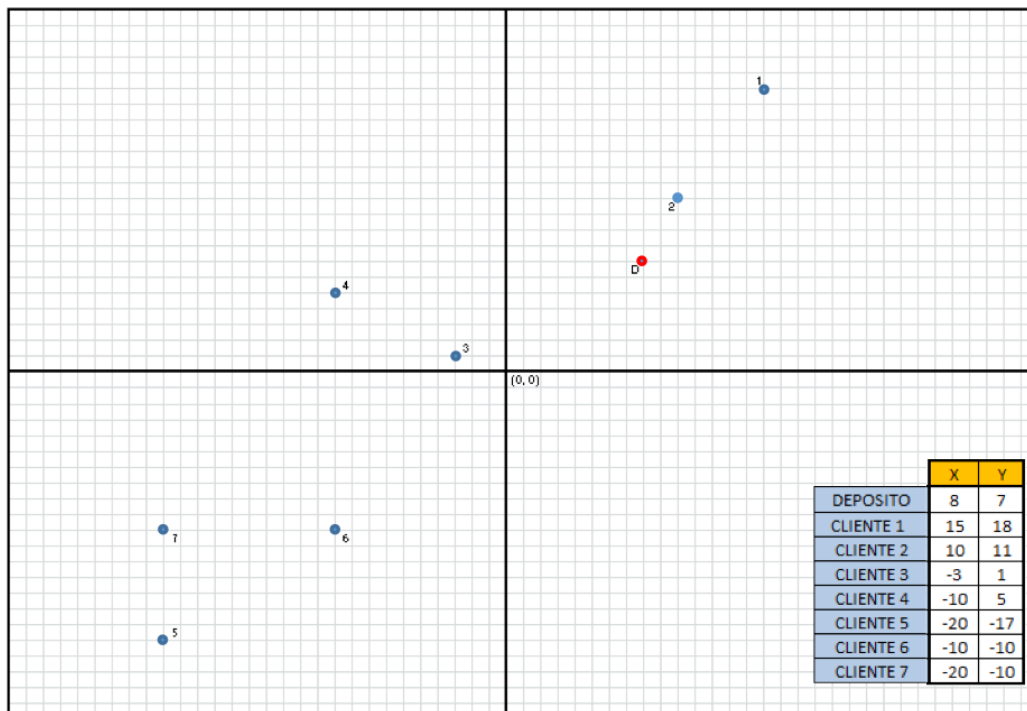


Figura 30 - Escolha do próximo cliente - parte 1

Neste exemplo interessa ver como funciona a movimentação dos veículos entre clientes, não se dando grande ênfase às restrições do problema, pois já foram explicadas em pontos anteriores. Temos um depósito e sete clientes, cujos posicionamentos podem ser consultados no quadro presente na imagem, e vai ser utilizado o algoritmo Cliente Mais Próximo v1.0 com factor $\alpha = 1,5$. O valor médio de distância dos clientes ao depósito é de 20,362, que multiplicado pelo factor corresponde ao raio de pesquisa de clientes, 30,543.

É inicializado então o algoritmo, com a criação do Veículo 1.

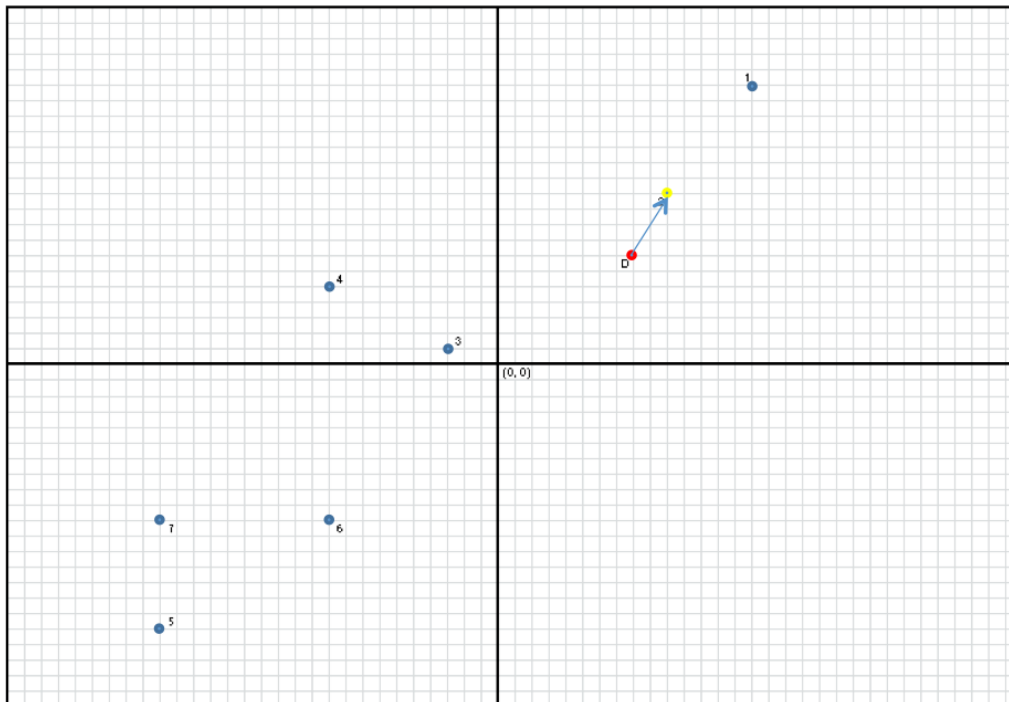


Figura 31 - Escolha do próximo cliente - parte 2

Com o veículo sem clientes associados, o primeiro cliente testado é o mais próximo em relação ao depósito sem restrições de distância. O cliente escolhido é o Cliente 2, que é testado com sucesso e assim associado ao Veículo 1. O veículo move-se para a localização do Cliente 2.

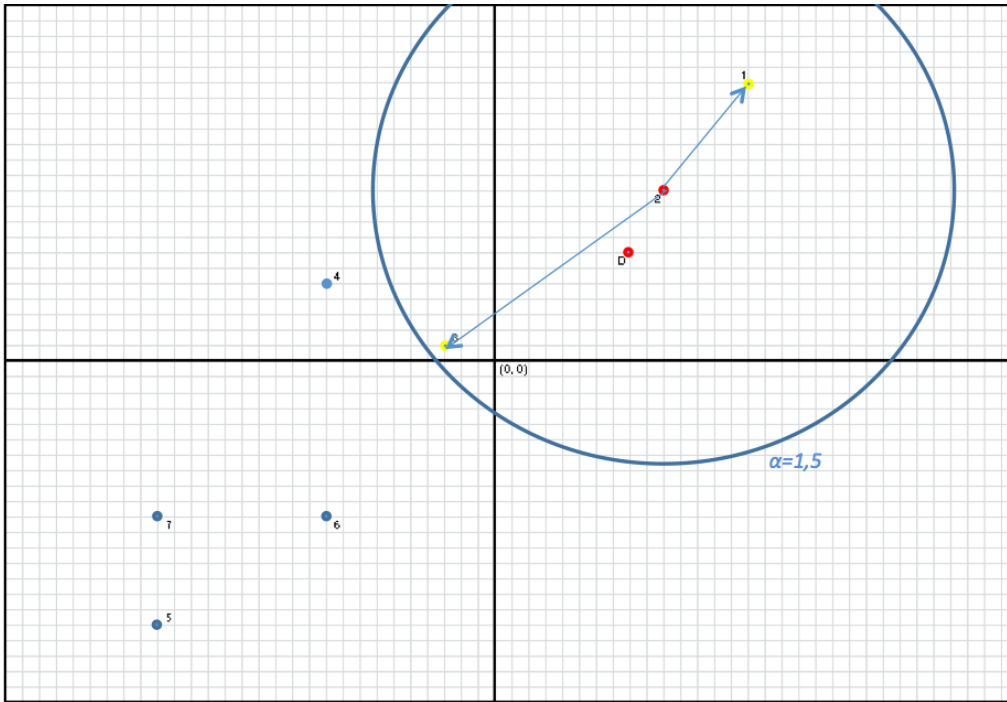


Figura 32 - Escolha do próximo cliente - parte 3

A partir do momento em que um veículo já tem um cliente associado é adicionada então a restrição de distância, ou seja, é introduzido um limite de movimentação do veículo que é efectuada pelo raio de pesquisa de clientes, este cria um círculo com centro no cliente onde o veículo se encontra. Neste caso, a viatura só pode ir para o Cliente 1 ou para o Cliente 3 conforme se constata na figura.

A decisão, sendo o algoritmo CmP v1.0, é de ir para o cliente mais próximo; o Cliente 1 é testado com sucesso, movimentando-se o veículo para a sua localização.

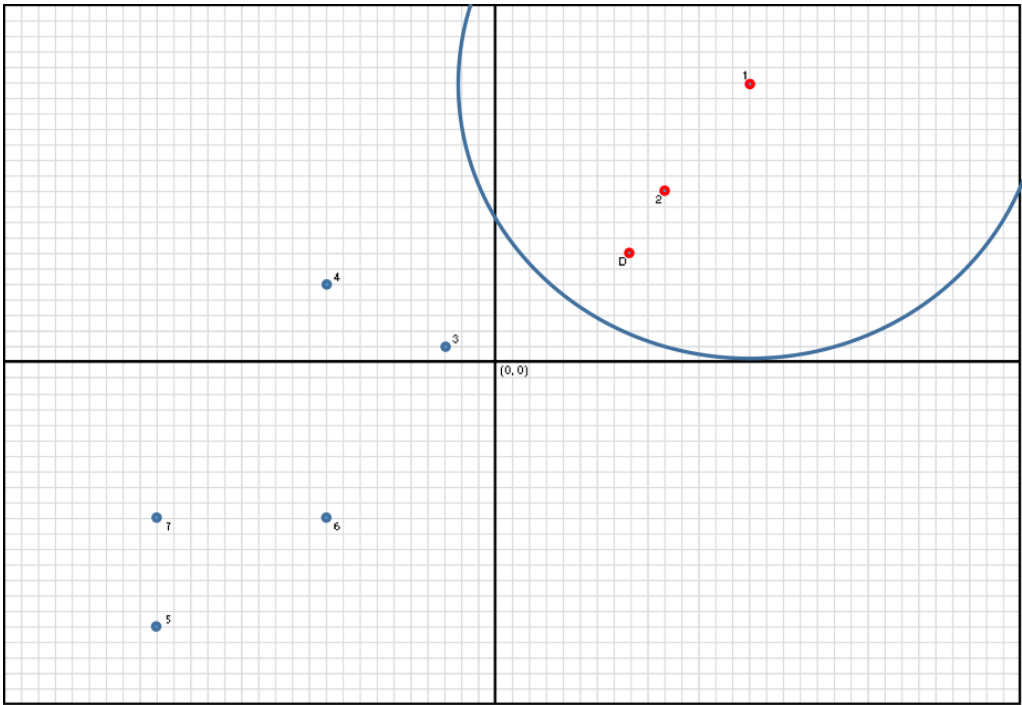


Figura 33 - Escolha do próximo cliente - parte 4

O veículo está agora no Cliente 1 e o raio de pesquisa, como pode ser visualizado na imagem, não permite a deslocação para outro cliente. Fecha-se assim a inserção de clientes na viatura e inverte-se a sua rota. Não é possível respeitar a rota, $D \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow D$, devido à restrição de escalonamento LIFO, pois o Cliente 2 entra no veículo primeiro que o Cliente 1. Assim, inverte-se a rota, ficando $D \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow D$, o que não altera os valores de distância e resolve o problema da restrição.

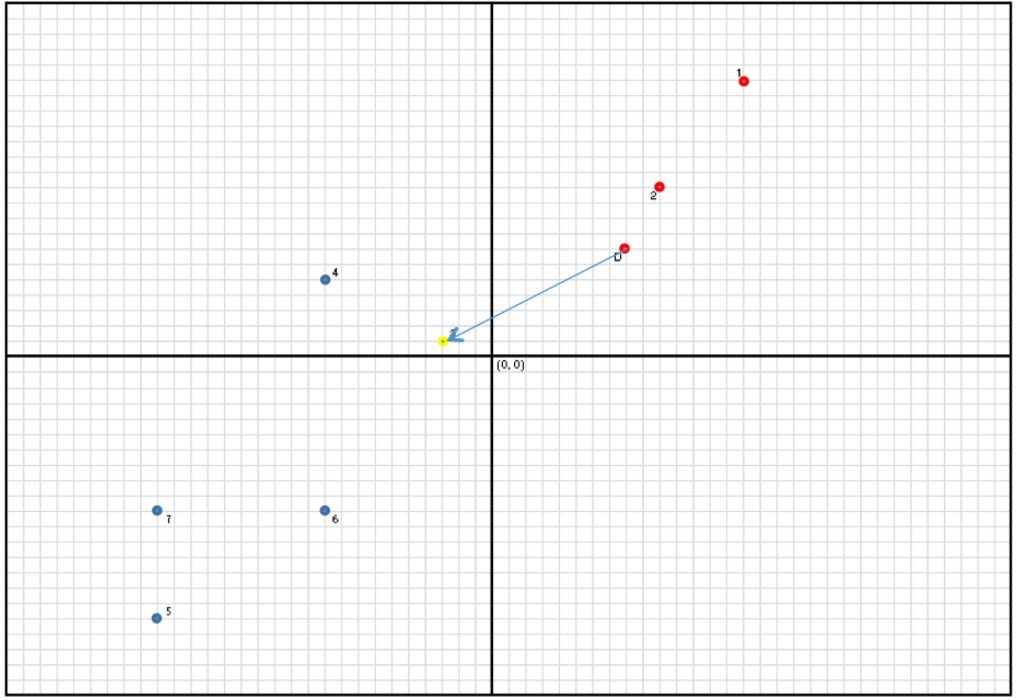


Figura 34 - Escolha do próximo cliente - parte 5

É inicializado então o Veículo 2, onde se repete todo o processo visto anteriormente. O veículo desloca-se então para o cliente mais próximo, ou seja, o Cliente 3.

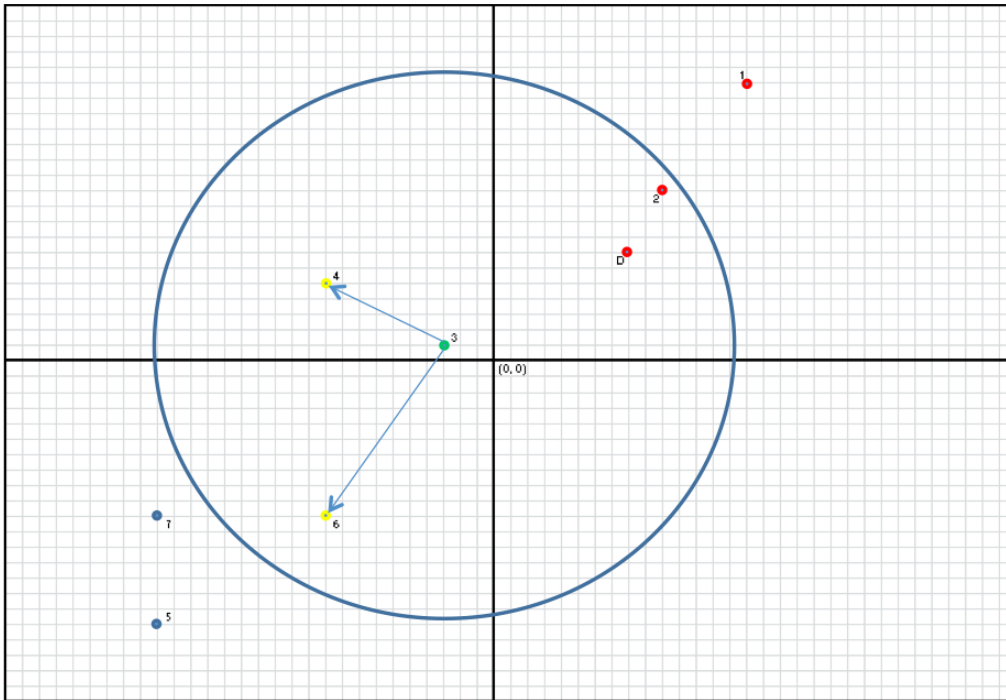


Figura 35 - Escolha do próximo cliente - parte 6

Tal como no caso anterior, este veículo já tem um cliente associado quando é adicionada a restrição de distância. Deste modo, tal como é possível observar na imagem, os clientes não visitados que se incluem no raio de pesquisa são o Cliente 4 e o Cliente 6. Assim é escolhido o cliente mais próximo, que é testado com sucesso, e a viatura move-se para o Cliente 4.

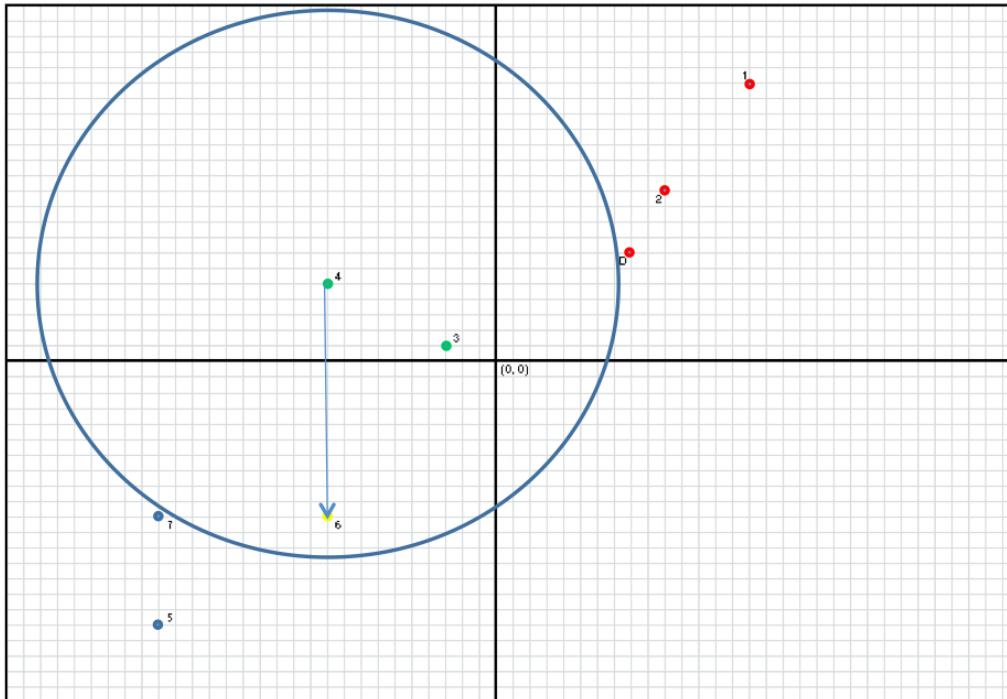


Figura 36 - Escolha do próximo cliente - parte 7

Após o Cliente 4 resta testar o Cliente 6. Neste caso, vamos considerar que as restrições, como a Área e a Capacidade do veículo, não são respeitadas, ou, mesmo que estas sejam respeitadas, os itens do cliente podem não encaixar na área do veículo que está por preencher (situação verificada Exemplo demonstrativo da inserção de clientes e itens nos veículos, quando se tentou colocar o Cliente 4 no Veículo 1).

Assim é fechada a inserção no Veículo 2, e inverte-se a sua rota, como no caso anterior, $D \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow D$.

Finalmente é inicializado o Veículo 3, onde são repetidos todos os passos demonstrados nos casos anteriores.

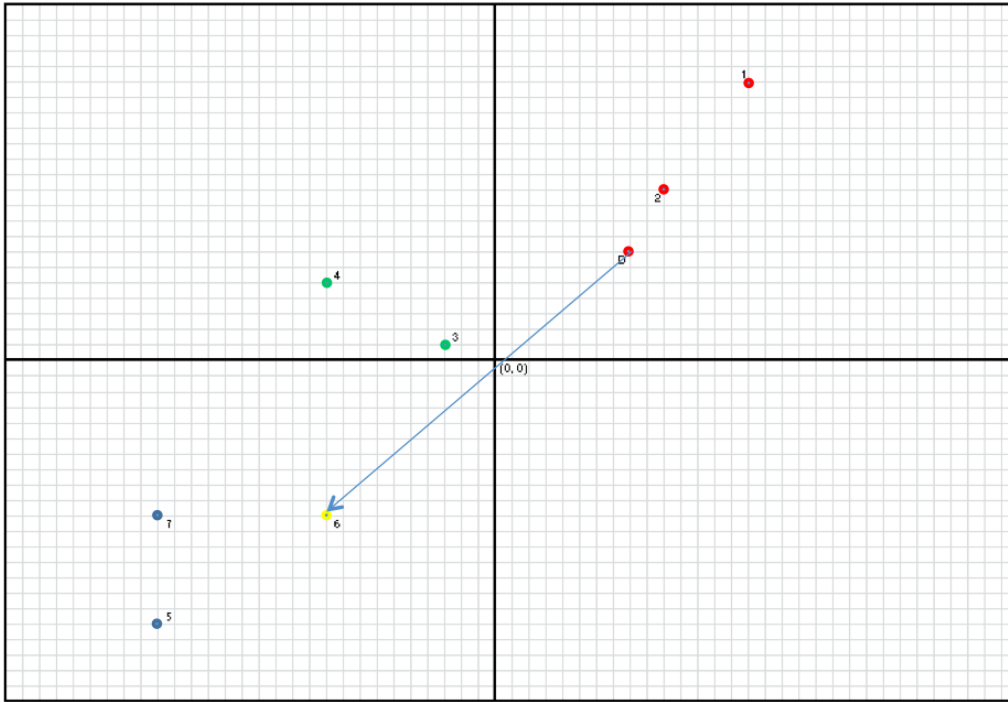


Figura 37 - Escolha do próximo cliente - parte 8

Escolhe-se o cliente mais próximo, o Cliente 6, este é testado com sucesso e o veículo movimentar-se para a sua posição.

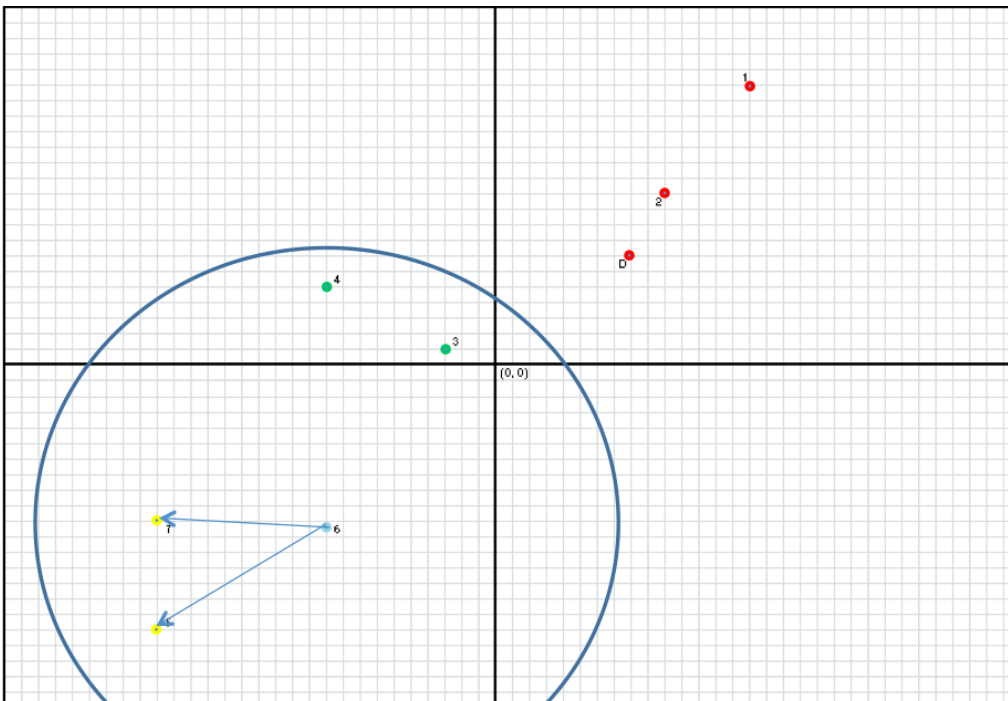


Figura 38 - Escolha do próximo cliente - parte 9

Agora, já com um cliente associado, é adicionada a restrição de distância, e na zona de pesquisa temos os clientes 5 e 7. O cliente mais próximo, Cliente 7, é testado com sucesso e o veículo movimenta-se para a localização deste.

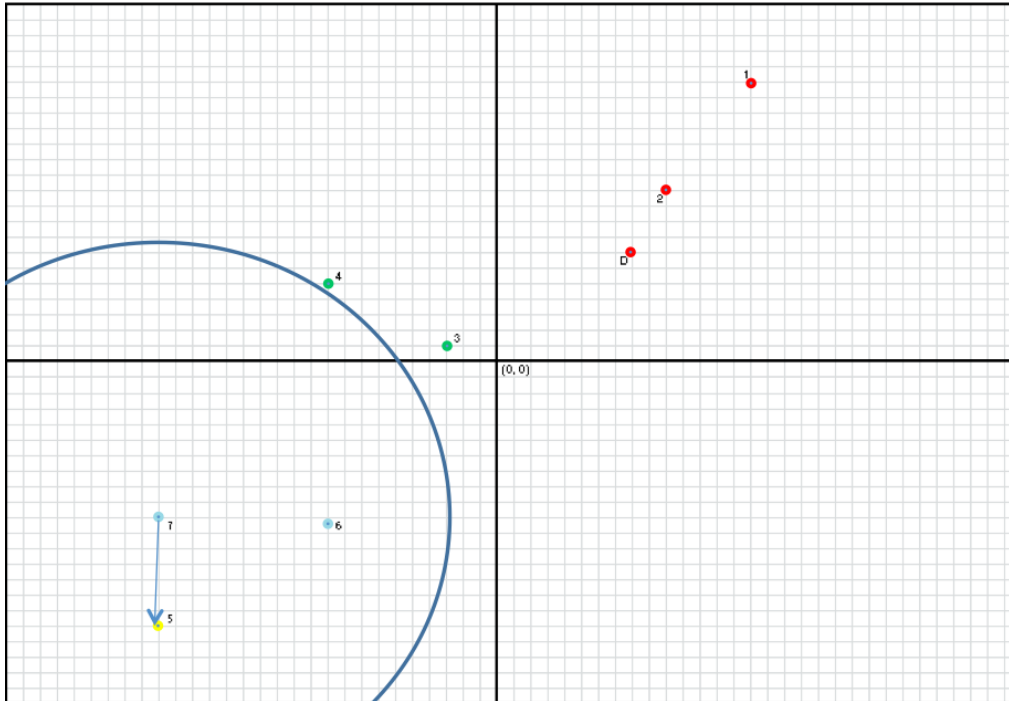


Figura 39 - Escolha do próximo cliente - parte 10

Por fim é testado com sucesso o último cliente, o Cliente 5, e o veículo é movimentado para a localização deste. Como não há mais clientes por visitar é fechada a inserção no Veículo 3 e a sua rota invertida, $D \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow D$.

Ficamos então com três rotas, $D \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow D$, $D \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow D$ e $D \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow D$.

4. Análise de Resultados

Os três algoritmos foram desenvolvidos na linguagem C++ e executados num PC com um processador AMD A8-4500 (1,9Ghz até 2,8Ghz) e 6 GB de memória RAM.

Inicialmente, de modo a poder comparar com outra abordagem da literatura ao nível do estado-da-arte, as instâncias utilizadas foram as mesmas do trabalho efectuado no artigo (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007). Estas têm até 35 clientes, 114 itens e estão divididas em 5 classes. Para a classe 1, cada cliente tem associado um item de altura $h = 1$ e largura de $w = 1$ e as dimensões dos veículos são iguais ao número de clientes, ou seja, $H = W = n$, enquanto para as restantes classes, considera-se que os veículos têm dimensões de $H = 40$ e $W = 20$ e cada cliente tem um número aleatório de itens $(1, \dots, r)$ sendo r o número da classe.

De modo a determinar o melhor algoritmo interessa analisar três factores, o total de distância percorrida, o número de veículos utilizados e o tempo total de execução. Nos três, quanto menor for o valor apresentado, melhor será o resultado.

4.1. Resultados dos algoritmos

De seguida são apresentados diversos resultados para cada um dos algoritmos. Para o algoritmo Rácio – Maior Área foram realizados testes para quatro valores de α diferentes, $\{0; 1,0; 1,5; 2,0\}$, cada instância tem 5 classes logo foram realizados 20 testes por instância. Por outro lado os algoritmos CmP v1.0 e v2.0 foram testados para os mesmos valores de α excepto para 0, o que faz com que cada instância tenha sido testada 15 vezes.

Algoritmo Rácio – Maior Área I

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa Classe	IORI		Rácio = (Total Area Ocupada Items / nº Items)											
						-	-	0			1			1,5			2		
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E016-03M	15	15	3	19,81	1	3	0,94	384,937	3	0,11	372,49	5	0,1	385,938	4	0,1	422,089	4	0,1
	15	24	3	19,81	2	3	15,53	477,813	4	0,15	431,227	7	0,12	456,998	6	0,13	477,295	5	0,13
	15	31	3	19,81	3	3	21,02	472	5	0,2	419,812	7	0,15	423,836	5	0,17	442,554	5	0,16
	15	37	4	19,81	4	4	3,09	531,473	4	0,18	480,774	8	0,17	434,433	6	0,15	458,372	6	0,18
	15	45	4	19,81	5	4	40,03	464,317	4	0,18	366,075	5	0,18	391,967	5	0,13	413,907	4	0,15
E016-05M	15	15	5	19,81	1	5	0,36	450,664	5	0,13	384,258	6	0,1	380,919	5	0,11	450,664	5	0,1
	15	25	5	19,81	2	5	4,34	424	6	0,2	389,414	7	0,16	389,414	7	0,14	446,379	6	0,14
	15	31	5	19,81	3	5	3,86	451,183	6	0,17	496,104	9	0,18	443,469	7	0,14	461,906	7	0,14
	15	40	5	19,81	4	5	19,86	453,812	6	0,17	448,402	8	0,2	452,107	7	0,16	414,404	6	0,16
	15	48	5	19,81	5	5	0,27	462,872	6	0,18	414,641	7	0,17	429,032	7	0,17	462,872	6	0,18
E021-04M	20	20	4	22,56	1	4	5,08	612,853	5	0,18	541,529	7	0,15	568,872	5	0,15	603,726	5	0,14
	20	29	5	22,56	2	5	496	720,123	7	0,27	583,575	8	0,23	654,375	7	0,2	697,854	8	0,19
	20	46	5	22,56	3	5	13,86	724,362	6	0,28	568,861	9	0,23	615,085	6	0,21	594,361	6	0,25
	20	44	5	22,56	4	5	588,69	745,705	5	0,23	624,303	9	0,2	543,958	5	0,2	672,296	5	0,22
	20	49	5	22,56	5	5	0,27	733,271	5	0,28	524,533	7	0,27	602,001	7	0,22	632,142	5	0,22
E021-06M	20	20	6	22,56	1	6	0,2	655,079	7	0,19	559,862	7	0,22	598,457	7	0,16	651,034	7	0,16
	20	32	6	22,56	2	6	2,03	757,155	7	0,23	551,514	8	0,19	589,014	7	0,18	700,457	7	0,18
	20	43	6	22,56	3	6	11,3	748,968	7	0,24	542,536	8	0,23	661,228	8	0,21	666,606	7	0,2
	20	50	6	22,56	4	6	6,14	712,653	7	0,28	558,488	9	0,24	602,663	8	0,21	702,499	8	0,23
	20	62	6	22,56	5	6	46,74	788,643	6	0,3	530,701	7	0,28	586,819	7	0,23	659,778	6	0,24
E022-04G	21	21	4	27,46	1	4	0,03	667,057	4	0,21	616,677	5	0,2	610,128	4	0,16	667,057	4	0,18
	21	31	4	27,46	2	4	2,3	695,506	5	0,27	676,07	6	0,21	704,955	6	0,19	695,738	5	0,19
	21	37	4	27,46	3	4	1,89	825,006	6	0,28	656,97	7	0,22	722,878	6	0,2	743,942	5	0,2
	21	41	4	27,46	4	4	35,42	962,399	5	0,27	598,798	5	0,26	757,808	6	0,22	770,286	6	0,2
	21	57	5	27,46	5	5	1867,38	927,397	5	0,26	595,106	5	0,27	693,25	5	0,23	770,937	5	0,24
E022-06M	21	21	6	27,46	1	6	5,78	711,226	6	0,19	631,98	7	0,21	623,954	6	0,17	711,226	6	0,17
	21	33	6	27,46	2	6	26,52	841,847	6	0,23	642,531	7	0,22	766,548	7	0,19	766,548	7	0,19
	21	40	6	27,46	3	6	36,84	822,428	7	0,23	770,88	9	0,25	726,241	8	0,22	777,704	8	0,21
	21	57	6	27,46	4	6	3,02	968,275	8	0,31	756,559	9	0,28	849,466	9	0,24	816,27	9	0,26
	21	56	6	27,46	5	6	4,74	860,94	6	0,25	567,845	7	0,27	695,563	7	0,22	773,423	6	0,24

Tabela 1 – Resultados do Algoritmo Rácio - Maior Área I

Algoritmo Rácio – Maior Área II

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa Classe	IORI		Rácio = (Total Area Ocupada Items / nº Items)											
						-	-	0		1		1,5			2				
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E023-03g	22	22	3	43,56	1	3	0	1020,79	3	0,22	856,376	5	0,18	891,363	3	0,15	950,292	3	0,16
	22	32	5	43,56	2	5	42,28	1671,18	6	0,27	1191,5	9	0,24	1261,7	7	0,21	1576,43	7	0,21
	22	41	5	43,56	3	5	3,27	1585,01	6	0,29	1109,93	8	0,23	1291,32	7	0,22	1250,42	5	0,22
	22	51	5	43,56	4	5	1959,6	1340,12	6	0,33	1131,3	8	0,25	1344,6	6	0,23	1285,84	6	0,25
	22	55	6	43,56	5	6	787,33	1647	5	0,34	940,377	7	0,26	1082,23	6	0,23	1401,94	6	0,25
E023-05s	22	22	5	43,56	1	5	0,03	1020,79	3	0,27	856,376	5	0,21	891,363	3	0,17	950,292	3	0,18
	22	29	5	43,56	2	5	18,74	1569,5	5	0,26	1223,19	9	0,23	1332,84	6	0,2	1447,07	6	0,21
	22	42	5	43,56	3	5	60,88	1409,28	6	0,27	1173,18	9	0,24	1219,28	7	0,23	1195,04	6	0,25
	22	48	5	43,56	4	5	18,59	1680,6	5	0,3	1091,45	8	0,25	1280,98	7	0,23	1313,54	6	0,24
	22	52	6	43,56	5	6	958,64	1391,49	4	0,31	1094,27	7	0,26	1160,92	5	0,23	1342,52	5	0,26
E026-08M	26	25	8	26,2	1	8	19,8	963,742	9	0,3	773,807	10	0,26	832,72	9	0,23	1019,86	9	0,24
	26	40	8	26,2	2	8	57,55	1048,51	9	0,31	757,701	10	0,31	928,866	10	0,25	988,438	10	0,25
	26	61	8	26,2	3	8	164,22	930,551	9	0,36	860,826	11	0,34	904,702	10	0,3	930,551	9	0,31
	26	63	8	26,2	4	8	258,2	1047,44	9	0,42	861,857	11	0,33	884,969	9	0,33	985,044	9	0,29
	26	91	8	26,2	5	8	43,17	1104,36	9	0,46	813,2	10	0,36	864,786	10	0,36	979,946	10	0,41
E030-03g	30	29	3	43,19	1	3	54636	934,081	3	0,26	773,186	3	0,23	773,186	3	0,2	836,853	3	0,19
	30	43	6	43,19	2	6	10268	1914,61	8	0,41	1241,44	9	0,32	1263,39	7	0,31	1669,54	8	0,31
	30	49	6	43,19	3	6	433,23	1931,95	6	0,42	1300,13	8	0,33	1268,9	7	0,3	1490,67	7	0,37
	30	72	7	43,19	4	7	23700	1878,85	7	0,51	1270,14	9	0,41	1445,23	8	0,41	1429,06	7	0,41
	30	86	7	43,19	5	7	74703	1846,17	6	0,56	1055,17	7	0,45	1197,99	7	0,44	1119,18	6	0,45
E033-03n	33	32	3	133,2	1	3	6,14	5277,1	3	0,26	3218,11	5	0,28	4512,38	5	0,22	5087,19	5	0,22
	33	44	7	133,2	2	7	86401	5695,89	7	0,44	5146,53	11	0,36	5624,29	9	0,37	4931,66	7	0,38
	33	56	7	133,2	3	7	14241	6934,57	7	0,47	5378,27	11	0,43	5553,96	9	0,38	5703,18	8	0,41
	33	78	7	133,2	4	7	86400	7085,15	8	0,59	5301,63	11	0,44	5232,98	8	0,44	5633,29	8	0,47
	33	102	8	133,2	5	8	86400	6874,11	7	0,6	4379,67	8	0,5	5758,09	8	0,49	6434,4	7	0,53
E036-11h	36	35	11	21,88	1	11	21114	1135,27	12	0,39	917,37	14	0,38	1016,7	12	0,39	1057,01	12	0,36
	36	56	11	21,88	2	11	1426,1	1298,36	12	0,48	1060,82	15	0,48	1152,84	14	0,4	1149,27	12	0,42
	36	74	11	21,88	3	11	993,34	1261,41	12	0,49	1071,91	16	0,45	1074,29	14	0,47	1171,16	13	0,46
	36	93	11	21,88	4	11	7946,7	1198,28	12	0,6	897,967	13	0,54	1038,15	13	0,47	1194,94	12	0,5
	36	114	11	21,88	5	11	1139,9	1301,15	12	0,55	945,752	14	0,54	1039,61	12	0,52	1117,69	12	0,5

Tabela 2 – Resultados do Algoritmo Rácio - Maior Área II

Algoritmo Cliente Mais Próximo v1.0 (CmP v1.0) I

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa	IORI		Cliente + próximo v1.0								
						-	-	1			1,5			2		
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
EO16-03M	15	15	3	19,81	1	3	0,94	345,247	5	0,32	338,354	4	0,31	316,741	3	0,3
	15	24	3	19,81	2	3	15,53	403,417	7	0,6	403,417	7	0,48	408,334	5	0,48
	15	31	3	19,81	3	3	21,02	372,091	6	0,45	372,091	6	0,44	387,78	5	0,42
	15	37	4	19,81	4	4	3,09	394,968	7	0,6	359,388	5	0,59	419,833	5	0,59
	15	45	4	19,81	5	4	40,03	334,844	5	0,5	368,546	5	0,48	394,316	5	0,49
EO16-05M	15	15	5	19,81	1	5	0,36	422,31	7	0,44	422,31	7	0,44	397,666	6	0,4
	15	25	5	19,81	2	5	4,34	431,486	8	0,57	407,006	7	0,56	399,376	6	0,56
	15	31	5	19,81	3	5	3,86	411,194	7	0,69	429,287	7	0,63	404,643	6	0,58
	15	40	5	19,81	4	5	19,86	479,792	9	0,69	455,312	8	0,65	409,736	6	0,63
	15	48	5	19,81	5	5	0,27	445,386	8	0,81	420,905	7	0,68	423,513	6	0,65
EO21-04M	20	20	4	22,56	1	4	5,08	456,6	6	0,83	475,506	6	0,76	462,046	5	0,76
	20	29	5	22,56	2	5	496	536,945	8	0,99	505,933	7	0,98	579,155	7	0,98
	20	46	5	22,56	3	5	13,86	540,165	8	1,09	572,262	8	1,09	551,619	6	1,03
	20	44	5	22,56	4	5	588,69	565,23	9	1,06	548,15	8	1,07	578,619	8	1,14
	20	49	5	22,56	5	5	0,27	504,009	7	1,13	461,726	6	1,04	461,726	6	1,05
EO21-06M	20	20	6	22,56	1	6	0,2	489,809	7	0,89	534,119	7	0,82	576,515	7	0,84
	20	32	6	22,56	2	6	2,03	631,782	11	1,26	618,75	9	1,15	649,547	9	1,19
	20	43	6	22,56	3	6	11,3	543,491	8	1,27	527,923	7	1,19	575,985	8	1,22
	20	50	6	22,56	4	6	6,14	572,445	9	1,48	590,867	9	1,44	557,254	8	1,43
	20	62	6	22,56	5	6	46,74	565,962	9	1,91	540,766	7	1,46	571,563	7	1,5
EO22-04G	21	21	4	27,4607	1	4	0,03	501,012	5	1,06	476,643	4	1,15	524,014	4	1,13
	21	31	4	27,4607	2	4	2,3	538,582	6	1,04	566,075	6	1,15	566,075	6	1,05
	21	37	4	27,4607	3	4	1,89	593,037	7	1,14	595,145	6	1,11	629,285	6	1,12
	21	41	4	27,4607	4	4	35,42	519,88	6	1,12	571,05	5	1,09	608,338	5	1,14
	21	57	5	27,4607	5	5	1867,38	550,772	6	1,22	528,923	5	1,23	595,788	5	1,2
EO22-06M	21	21	6	27,4607	1	6	5,78	560,413	7	1,02	628,059	7	1,14	628,059	7	1,03
	21	33	6	27,4607	2	6	26,52	632,146	8	1,13	699,853	8	1,15	699,853	8	1,16
	21	40	6	27,4607	3	6	36,84	0,23	8	1,17	695,348	8	1,16	695,348	8	1,18
	21	57	6	27,4607	4	6	3,02	633,365	8	1,3	633,365	8	1,32	633,365	8	1,32
	21	56	6	27,4607	5	6	4,74	565,152	7	1,27	565,152	7	1,28	611,153	7	1,31

Tabela 3 - Resultados do Algoritmo CmP v1.0 I

Algoritmo Cliente Mais Próximo v1.0 (CmP v1.0) II

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa	IORI		Cliente + próximo v1.0								
						-	-	1			1,5			2		
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E023-03g	22	22	3	43,56	1	3	0	627,414	4	0,83	747,43	4	0,8	747,43	4	0,81
	22	32	5	43,56	2	5	42,28	1102,48	8	1,18	1069,93	7	1,21	1094,53	7	1,17
	22	41	5	43,56	3	5	3,27	915,614	7	1,21	849,965	6	1,2	968,628	6	1,25
	22	51	5	43,56	4	5	1959,63	982,392	7	1,45	982,392	7	1,32	982,392	7	1,34
	22	55	6	43,56	5	6	787,33	961,322	7	1,45	961,322	7	1,49	928,909	6	1,47
E023-05s	22	22	5	43,56	1	5	0,03	627,414	4	1,08	747,32	4	1,03	747,43	4	1,03
	22	29	5	43,56	2	5	18,74	1018,49	8	1,13	810,836	5	1,16	839,261	5	1,16
	22	42	5	43,56	3	5	60,88	969,569	8	1,3	1007,29	7	1,24	1007,29	7	1,29
	22	48	5	43,56	4	5	18,59	869,587	6	1,27	938,868	6	1,39	938,868	6	1,27
	22	52	6	43,56	5	6	958,64	870,103	5	1,54	858,534	4	1,41	858,534	4	1,41
E026-08M	26	25	8	26,2	1	8	19,8	719,319	9	1,77	719,319	9	2,01	719,319	9	1,81
	26	40	8	26,2	2	8	57,55	772,691	11	2,06	776,234	10	2,22	822,065	10	2,03
	26	61	8	26,2	3	8	164,22	718,357	10	2,19	736,078	10	2,28	781,909	10	2,24
	26	63	8	26,2	4	8	258,2	782,32	11	2,33	809,084	11	2,3	809,084	11	2,28
	26	91	8	26,2	5	8	43,17	728,514	9	2,44	756,288	9	2,45	759,86	9	2,51
E030-03g	30	29	3	43,19	1	3	54635,61	714,388	5	1,41	660,208	4	1,39	660,208	4	1,54
	30	43	6	43,19	2	6	10267,95	1037,95	8	2,25	1037,95	8	2,21	1219,84	8	2,38
	30	49	6	43,19	3	6	433,23	992,476	8	2,54	992,476	8	2,51	992,476	8	2,71
	30	72	7	43,19	4	7	23699,77	1272,41	10	3,12	1176,43	9	3,09	1176,43	9	3,15
	30	86	7	43,19	5	7	74703,07	971,113	8	3,2	971,113	8	3,17	1024,37	7	3,45
E033-03h	33	32	3	133,157	1	3	6,14	2719,59	5	1,7	2660,48	4	1,68	2660,48	4	1,69
	33	44	7	133,157	2	7	86401,01	4731,97	12	3,23	4395,42	10	3,18	4457,07	10	3,2
	33	56	7	133,157	3	7	14240,75	4345,12	11	3,4	4339,87	10	3,47	4419	10	3,49
	33	78	7	133,157	4	7	86400,41	4360,55	11	3,82	4605,65	10	3,68	4840,38	10	3,95
	33	102	8	133,157	5	8	86400,02	4219,35	10	4,28	4219,35	10	4,46	4431,59	8	4,35
E036-11h	36	35	11	21,88	1	11	21114,28	827,322	13	4,49	869,499	13	4,5	848,112	12	4,54
	36	56	11	21,88	2	11	1426,05	813,161	14	4,72	834,147	12	4,51	860,714	12	4,66
	36	74	11	21,88	3	11	993,34	923,041	16	5,09	866,968	14	5,04	886,35	13	4,97
	36	93	11	21,88	4	11	7946,74	926,449	15	5,33	950,185	14	5,26	972,694	14	5,33
	36	114	11	21,88	5	11	1139,86	858,051	14	5,98	838,271	13	6,45	819,517	12	5,87

Tabela 4 - Resultados do Algoritmo CmP v1.0 II

Algoritmo Cliente Mais Próximo v2.0 (CmP v2.0) I

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa Classe	IORI		Cliente + próximo v2.0								
						-	-	1		1,5		2				
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E016-03M	15	15	3	19,81	1	3	0,94	305,515	3	0,54	305,515	3	0,53	305,515	3	0,75
	15	24	3	19,81	2	3	15,53	380,465	6	0,62	370,124	5	0,75	370,12	5	1,09
	15	31	3	19,81	3	3	21,02	382,023	6	0,49	378,1	5	0,61	378,1	5	1,91
	15	37	4	19,81	4	4	3,09	364,03	6	0,81	353,905	5	1,01	379,146	5	1,53
	15	45	4	19,81	5	4	40,03	366,888	5	0,63	342,408	4	0,78	342,41	4	1,14
E016-05M	15	15	5	19,81	1	5	0,36	365,931	6	0,57	365,931	6	0,53	365,931	6	0,84
	15	25	5	19,81	2	5	4,34	374,082	6	1,01	382,102	6	0,96	382,102	6	1,53
	15	31	5	19,81	3	5	3,86	380,105	7	0,94	378,502	6	1	378,502	6	1,36
	15	40	5	19,81	4	5	19,86	365,931	6	1,14	365,931	6	1,05	365,931	6	1,44
	15	48	5	19,81	5	5	0,27	365,931	6	1,3	365,931	6	1,02	365,931	6	19,81
E021-04M	20	20	4	22,56	1	4	5,08	428,445	5	1,87	454,551	4	1,73	454,551	4	2,44
	20	29	5	22,56	2	5	496	465,627	6	1,98	487,264	5	2,12	498,986	5	2,96
	20	46	5	22,56	3	5	13,86	505,704	7	1,88	494,387	7	2,35	495,923	6	2,77
	20	44	5	22,56	4	5	588,69	520,913	8	1,53	535,459	8	1,36	476,716	6	2,9
	20	49	5	22,56	5	5	0,27	439,144	6	1,9	470,093	5	2,14	470,093	5	2,78
E021-06M	20	20	6	22,56	1	6	0,2	477,053	7	1,35	495,925	7	1,31	495,925	7	2,05
	20	32	6	22,56	2	6	2,03	524,496	8	1,96	517,055	7	2,15	517,055	7	2,84
	20	43	6	22,56	3	6	11,3	519,925	8	2,15	519,925	8	2,28	519,92	8	2,75
	20	50	6	22,56	4	6	6,14	510,683	8	2,55	519,67	8	2,5	519,67	8	2,67
	20	62	6	22,56	5	6	46,74	487,594	7	2,95	538,89	7	2,93	538,89	7	3,15
E022-04G	21	21	4	27,4607	1	4	0,03	543,94	4	2,79	453,94	4	2,74	453,94	4	4,2
	21	31	4	27,4607	2	4	2,3	540,666	6	1,96	550,318	6	1,96	550,318	6	1,78
	21	37	4	27,4607	3	4	1,89	565,58	6	2,06	586,951	7	1,71	626,684	5	2,17
	21	41	4	27,4607	4	4	35,42	513,439	7	1,78	505,926	6	2,06	509,57	6	3,13
	21	57	5	27,4607	5	5	1867,38	489,937	6	2,31	484,921	5	2,52	484,92	5	4,15
E022-06M	21	21	6	27,4607	1	6	5,78	572,634	7	1,92	582,766	7	1,89	582,766	7	3,03
	21	33	6	27,4607	2	6	26,52	578,315	7	2,3	607,504	7	2,06	607,5	7	3,15
	21	40	6	27,4607	3	6	36,84	646,431	9	1,58	641,415	8	1,84	641,415	8	2,79
	21	57	6	27,4607	4	6	3,02	632,422	9	1,73	627,406	8	2	645,227	8	3,06
	21	56	6	27,4607	5	6	4,74	563,472	7	2,28	587,534	6	2,59	587,534	6	27,4607

Tabela 5 - Resultados do Algoritmo CmP v2.0 I

Algoritmo Cliente Mais Próximo v2.0 (CmP v2.0) II

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa Classe	IORI		Cliente + próximo 2.0								
						-	-	1			1,5			2		
						veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E023-03g	22	22	3	43,56	1	3	0	814,451	5	1,59	777,014	4	1,78	752,07	3	3,32
	22	32	5	43,56	2	5	42,28	1051,36	8	1,56	974,905	7	1,84	1115,06	7	3,01
	22	41	5	43,56	3	5	3,27	1.019	9	1,3	1057,9	6	2,29	1084,51	6	2,29
	22	51	5	43,56	4	5	1959,63	926,969	7	2,1	1010,74	6	2,4	1010,74	6	3,87
	22	55	6	43,56	5	6	787,33	922,001	6	2,99	1150,55	7	2,66	1143,35	6	4,6
E023-05s	22	22	5	43,56	1	5	0,03	814,451	5	2,37	777,0144	4	2,65	752,07	3	3,73
	22	29	5	43,56	2	5	18,74	1033,94	8	1,61	1018,36	5	2,65	1018,36	5	3,9
	22	42	5	43,56	3	5	60,88	1021,04	9	1,4	1061,83	8	1,78	1135,23	7	3,07
	22	48	5	43,56	4	5	18,59	981,065	8	1,79	1053,56	7	2,09	1044,76	7	3,23
	22	52	6	43,56	5	6	958,64	876,001	6	3,18	956,773	6	2,92	931,829	5	5,09
E026-08M	26	25	8	26,2	1	8	19,8	721,725	10	3,48	806,981	9	3,73	806,981	9	5,93
	26	40	8	26,2	2	8	57,55	730,516	11	3,72	746,591	10	3,48	773,137	9	5,77
	26	61	8	26,2	3	8	164,22	746,752	10	4,26	813,563	10	3,86	813,563	10	5,96
	26	63	8	26,2	4	8	258,2	732,492	11	3,7	775,16	10	3,88	873,508	10	6,21
	26	91	8	26,2	5	8	43,17	700,406	9	5,21	815,331	9	4,88	815,331	9	7,94
E030-03g	30	29	3	43,19	1	3	54635,61	725,798	5	3,17	668,881	4	3,59	735,443	3	6,79
	30	43	6	43,19	2	6	10267,95	1021,61	7	4,97	1021,61	7	4,54	994,938	7	5,96
	30	49	6	43,19	3	6	433,23	973,502	7	6,18	1076,18	7	5,73	1084,56	7	8,64
	30	72	7	43,19	4	7	23699,77	1129,3	10	5,51	1129,3	10	4,86	1120,69	9	7,69
	30	86	7	43,19	5	7	74703,07	996,266	7	8,27	996,266	7	7,6	1085,6	7	9,61
E033-03n	33	32	3	133,157	1	3	6,14	3142,17	6	2,97	3100,35	5	3,66	2860,03	3	8,38
	33	44	7	133,157	2	7	86401,01	3872,19	10	5,78	3675,77	8	7,74	3675,77	8	7,33
	33	56	7	133,157	3	7	14240,75	3946,03	10	6,05	3999,64	9	6,63	4121,3	9	7,64
	33	78	7	133,157	4	7	86400,41	4026,24	10	6,66	3868,36	9	7,09	3868,36	9	11,17
	33	102	8	133,157	5	8	86400,02	3684,86	9	9,78	3454,66	7	11,93	3454,66	7	17,18
E036-11h	36	35	11	21,88	1	11	21114,28	742,311	12	11,9	742,311	12	10,92	742,311	12	12,73
	36	56	11	21,88	2	11	1426,05	833,03	13	8,76	833,03	13	8,71	833,03	13	13,42
	36	74	11	21,88	3	11	993,34	774,157	13	9,25	774	13	9,23	819,601	12	15,91
	36	93	11	21,88	4	11	7946,74	817,003	13	10,11	841,764	12	11,48	867,923	12	15,41
	36	114	11	21,88	5	11	1139,86	755,821	12	13,69	792,797	11	15,36	792,797	11	23,17

Tabela 6 - Resultados do Algoritmo CmP v2.0 II

4.2. Comparação de algoritmos

Neste ponto os resultados dos três algoritmos desenvolvidos vão ser comparados entre eles e com os resultados do algoritmo exacto de Iori.

4.2.1. Comparação com o algoritmo exacto

Pela análise dos resultados obtidos nas tabelas, o valor de destaque, quando comparado com os resultados do algoritmo de Iori (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007) é o tempo de execução que é reduzido em cada um dos algoritmos desenvolvidos. Esta diferença ocorre por se comparar heurísticas construtivas com um algoritmo exacto, em que os primeiros devolvem apenas uma solução válida enquanto o segundo converge para soluções que são comprovadamente óptimas. Sendo assim, não é relevante comparar os dois tipos de algoritmos, mas podemos no entanto analisar a qualidade das soluções dadas por cada um (em termos de diferença do número de veículos utilizados na solução óptima com o das soluções desenvolvidas). Infelizmente, não foi possível analisar a diferença da distância percorrida entre algoritmos, por falta desse dado no artigo (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007).

Pela análise feita às tabelas, na grande maioria dos testes aos algoritmos desenvolvidos, estes ou utilizam o mesmo número de veículos ou cerca de mais um ou dois que o algoritmo exacto de Iori. De notar, que há algumas situações onde são utilizados menos veículos (p.e. para a instância E023-05s classe 1 nos três algoritmos desenvolvidos) e o pior caso, para a instância E023-05s classe 3, para o valor de $\alpha = 1$ o algoritmo Rácio e CmP v2.0 utilizaram mais quatro veículos. A diferença em valores percentuais pode ser consultada na Tabela 7.

	RACIO			v1.0		v2.0	
alfa	0	1,5	2	1,5	2	1,5	2
IORI	-9%	-22,10%	-15,01%	-28,61%	-22,9%	-20,11%	-15,58%

Tabela 7 - Diferenças percentuais entre algoritmo Iori e as heurísticas

4.2.2. Comparação entre os três algoritmos desenvolvidos

Tendo em consideração que nos testes efectuados o tempo de execução em qualquer um dos casos é mínimo, nesta fase não será contabilizado para comparações entre os algoritmos desenvolvidos.

Nos três algoritmos, os valores apresentados para $\alpha = 2$ quando comparados com os valores de $\alpha = 1,5$, mostram uma diminuição do número total de veículos e um aumento da distância percorrida por veículo, visto que o aumento do valor de α de 1,5 para 2, faz com que o raio de pesquisa aumente, o que permite aos veículos considerarem clientes mais distantes, o que possibilita um melhor aproveitamento dos espaços dos veículos, o que pode levar à diminuição do número de veículos utilizados numa instância.

A utilização de mais um veículo pode aumentar ou diminuir a distância total percorrida. Em qualquer veículo utilizado, embora seja contabilizado para a distância total percorrida a distância entre o depósito e o primeiro cliente visitado e a distância entre o último cliente visitado e o depósito, com o aumento do raio de pesquisa pelo próximo cliente nos algoritmos a distribuição dos clientes nos veículos poderá ficar diferente. Assim, é possível que os veículos percorram menores distâncias em termos gerais, como se pode constatar para o algoritmo CmP v1.0 na instância E023-05s na classe 3, na qual com a utilização de mais um veículo para o valor $\alpha = 1$ do que no algoritmo com $\alpha = 1,5$ percorre uma menor distância.

Ao considerar o mesmo peso para os outros dois factores (número de veículos e distância percorrida) todos os algoritmos apresentam melhores soluções para o valor de $\alpha = 2$, como pode ser visto na Tabela 8, pois o ganho percentual relativo à menor utilização de veículos (6,15%, 4,6% e 3,9%) é superior ao ganho percentual relativo à diminuição da distância total percorrida (5,1%, 2,5%, 0,7%) nos três algoritmos.

	alfa = 1,5			alfa = 2			ganho 1,5 -> 2	
	veic	dist	tempo	veic	dist	tempo	%veic	%dist
RACIO	431	71485,4	14,79	406	75181,3	15,26	6,16%	-5,1%
v1.0	454	57501,1	106,15	434	58992	106,23	4,6%	-2,5%
v2.0	424	55041,7	209,51	408	55348,8	348,3807	3,9%	-0,7%
IORI	353	-	477464,13					

Tabela 8 - Somatório dos resultados obtidos nos diferentes algoritmos

Dos três algoritmos desenvolvidos o que tem melhor desempenho em termos gerais, é CmP v2.0 como pode ser constatado nos valores das tabelas de resultados e nas tabela 7 e 8, embora em alguns testes, para um ou mais factores, se verifique que o algoritmo CmP v1.0 apresenta melhores resultados. Esta situação deve-se ao facto de nos dois algoritmos a escolha do primeiro cliente ser diferente (mais longe versus mais perto) o que altera as distâncias totais percorridas e o número total de veículos utilizados.

Quanto ao algoritmo Rácio, nos testes que têm em consideração a distância, é dos três algoritmos o pior, apesar de, no total de veículos utilizados, conseguir superar o algoritmo CmP v1.0. No entanto, só supera o CmP v2.0 quando não considera a distância como factor (395 veículos contra 408 veículos respectivamente).

4.2.3. Resultados e comparação dos algoritmos para instâncias de maiores dimensões

Posteriormente foram executadas instâncias de maiores dimensões, instâncias não presentes nos testes efectuados por lori (lori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007) pois no seu algoritmo, considerou o tempo máximo de execução de 86400 segundos (24 horas) e com esta restrição garantia apenas apresentar resultados para as instâncias até 25 clientes. De qualquer forma, em todas as instâncias está presente um número de veículos que o algoritmo de lori nunca ultrapassou, então para as instâncias de maiores dimensões, considerou-se esse valor como base de comparação.

Na Tabela 9, podemos verificar a percentagem utilizada a mais de veículos pelos algoritmos desenvolvidos, comparado com o valor padrão referido em cima.

	% nº veículos -> Padrão
Rácio	10,654%
v1.0	25,53%
v2.0	20,89%

Tabela 9 - Diferenças percentuais dos veículos utilizados nos algoritmos desenvolvidos e dos valores padrão

Como se consegue constatar, o algoritmo Rácio, ao não considerar o factor distância, em termos de utilização de veículos, é o que mais se aproxima dos valores padrão.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos nos testes realizados.

Instância	Nr Cli	Nr Item	Nr Veic	Raio Desloc	alfa Classe	Rácio			Cliente + próximo v1.0			Cliente + próximo v2.0		
						0			2			2		
						distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo	distância	veiculos	tempo
E101-10c	100	100	10	28,762	1	1414,61	10	1,62	1137,74	10	55,04	1014,12	10	369,35
	100	147	19	28,762	2	4525	23	5,67	2453	27	96,16	1969,64	26	183,29
	100	198	20	28,762	3	4441,1	24	6,37	2816,76	28	106,71	2292,16	26	232,4
	100	247	20	28,762	4	4411,2	25	6,88	2646,97	29	113,13	2237,82	26	237,72
	100	310	20	28,762	5	4202,39	21	7,32	2133,85	22	121,19	2015,86	23	371,88
E101-14s	100	100	14	24,956	1	2717,52	14	1,89	1520,17	14	64,59	1574,46	14	376,58
	100	152	29	24,956	2	3954,77	24	5,75	2302,35	27	97,88	2150,1	25	216,22
	100	211	22	24,956	3	3815,65	26	6,94	2473,5	30	114,16	2128,29	30	168,2
	100	245	22	24,956	4	3695,62	24	6,56	2422,83	29	119,33	2109,86	28	243,81
	100	320	22	24,956	5	3663,26	20	6,66	2077,76	25	127,97	1923,79	23	455,95
E151-12b	150	150	12	24,558	1	4041,87	12	3,08	1426,23	12	133,28	1604,62	12	1212
	150	225	29	24,558	2	5626,64	34	15,61	3162,94	39	300,64	2748,89	38	366,98
	150	298	30	24,558	3	5463,35	35	16,12	3387,7	43	303,43	2963,11	42	670,29
	150	366	30	24,558	4	5766,38	36	18,36	3348,19	42	353,98	2889,3	41	1501,6
	150	433	30	24,558	5	5543,47	28	18	2707,3	32	316,16	2316,97	32	4350,6
E200-16b	199	199	16	24,15	1	5433,4	16	4,88	1914,86	18	219,18	1958,57	17	2261
	199	307	38	24,15	2	6832,55	46	34,73	3941,75	51	557,45	3422,2	49	1584,3
	199	402	40	24,15	3	7178,82	49	42,71	3852,18	52	670,7	3568,75	54	2227
	199	513	42	24,15	4	7546,79	50	40,88	4028,73	56	731,46	3680,81	55	2684,2
	199	602	42	24,15	5	7056,22	38	38,5	3498,29	44	760,9	3101,54	43	6348,6
E253-27k	252	252	27	12,39	1	1002,05	27	8,29	1124,67	28	541,37	1243,4	26	8667,3
	252	367	45	12,39	2	4713,61	54	65,29	2392,29	63	1102,5	2145	61	3325,3
	252	507	50	12,39	3	4651,37	59	69,97	2571,14	68	1370,9	2314,34	57	6367,8
	252	634	50	12,39	4	4439,46	63	85,34	2690,65	75	1611,4	2331,6	68	5447,1
	252	762	50	12,39	5	4729,41	49	92,06	2221,23	58	1564,3	1913,53	54	16217
E256-14k	255	255	14	16,309	1	1263,79	14	7,12	750,637	14	351,19	800,215	14	5624,3
	255	387	47	16,309	2	4212,06	58	73,12	2805,31	64	1381,4	2520,38	64	7482,8
	255	511	51	16,309	3	4290,02	61	72,85	3103,08	69	1499	2789,26	69	1463
	255	606	51	16,309	4	4144,78	58	71,18	2853,97	65	1568,9	2435,77	64	9216,8
	255	786	56	16,309	5	4061	51	79	2568,38	56	1756,4	2190,17	55	17134

Tabela 10 - Resultados obtidos nos algoritmos desenvolvidos para grandes instâncias

Ainda a analisar os resultados obtidos do número de veículos, para todas as instâncias, verifica-se que para a classe 1, o número de veículos utilizados é igual ou menor nos algoritmos desenvolvidos do que o valor padrão, mas que para as restantes classes, que têm mais e diferentes itens por cliente, é pior.

Como verificado nos resultados dos primeiros testes, para a classe 1, o factor mais determinante é a distância, valor que não pode ser comparado, por ausência desses dados. Para as restantes classes os resultados são piores, no número de veículos utilizados, e aqui verifica-se que ao utilizar heurísticas construtivas, que aceita e progride quando encontra uma decisão válida e não quando encontra o melhor, o resultado final é pior que o algoritmo óptimo.

Cada um dos algoritmos foi testado para o melhor valor de α verificado nos testes realizados nas primeiras instâncias. Para o algoritmo Rácio, considerou-se os melhores resultados para $\alpha = 0$, porque os resultados obtidos pelo algoritmo para os valores de $\alpha \neq 0$ são sempre piores quando comparados com os restantes algoritmos, enquanto para $\alpha = 0$, este algoritmo reduz o número de veículos utilizados e para este parâmetro consegue ter melhores resultados que os outros algoritmos. Para os algoritmos Cliente Mais Próximo v1.0, Cliente Mais Próximo v2.0 os testes foram realizados para o valor de $\alpha = 2.0$.

Os testes realizados considera os mesmo factores que os anteriores:

- Tempo de execução;
- N° de veículos utilizados;
- Distância percorrida.

O algoritmo Rácio apresenta o pior resultado em termos de tempo de execução, 92,05 segundos, para a instância E253-27k classe 5, enquanto o CmP v1.0 e v2.0 apresentam, 1756,4 e 17134 segundos, respectivamente para a instância E256-14k classe 5. Pela análise, consegue-se perceber que os tempos de execução são díspares, mas nenhum dos testes realizados demora mais de 86400 segundos (valor máximo considerado nos testes de lori). O máximo verificado foi de 17134 segundos (cerca de 4 horas e 45 minutos).

Os valores que mais interessam analisar são a distância total percorrida e n° de veículos utilizados.

Se a distância não fosse um factor importante, o algoritmo Rácio seria o melhor, mas ao considerar o mesmo peso tanto para a distância como para o n° de veículos, o melhor algoritmo é o CmP v2.0. A justificação pode ser vista através dos dados na Tabela 11.

	Rácio			v1.0			v2.0		
	% dist	% veíc	% tempo	% dist	% veíc	% tempo	% dist	% veíc	% tempo
Rácio	-	-	-	76,64%	-11,85%	-1984,18%	102,94%	-8,46%	-11673,67%
v1.0	-	-	-	-	-	-	14,89%	3,84%	-588,34%
v2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 11 - Diferenças percentuais entre os algoritmos desenvolvidos

O algoritmo Rácio percorre em média mais 76,64% e 102,94% de distância e utiliza menos 11,85 e 8,46% veículos que os algoritmos CmP v1.0 e v2.0 respectivamente. Por sua vez o algoritmo CmP v1.0 percorre em média mais 14,89% de distância e utiliza mais 3,84% veículos que o CmP v2.0. Assim o melhor algoritmo é o CmP v2.0.

5. Conclusão e trabalho futuro

Olhando para o trabalho efectuado, podemos observar que os objectivos propostos foram cumpridos. De facto, na fase inicial deste projecto, a revisão do estado da arte foi fundamental para o enquadramento na área e a análise realizada ao trabalho de Iori e Martello (Iori & Martello, 2010), que por si só é um excelente artigo de contextualização para problemas de encaminhamento com restrições de carga, foi essencial. Finalizado este capítulo, foi efectuado o levantamento e a análise das aplicações internacionais e nacionais que optimizam rotas e estudam o carregamento dos veículos, isto permitiu ter uma noção da complexidade e ofertas disponíveis no mercado. Toda a informação relativa a estas aplicações está disponível no capítulo 2, infelizmente, devido à falta de cooperação das empresas contactadas, não foi possível testá-las. De notar que as grandes empresas que têm sistemas logísticos complexos utilizam aplicações de terceiros, empresas que se dedicam apenas a desenvolver ferramentas de optimização logísticas.

Terminada esta fase, o objectivo foi desenvolver procedimentos de resolução do tipo heurística construtiva, que não garante a obtenção da solução óptima, mas que se destaca pela eficiência e qualidade das soluções geradas. Assim foram desenvolvidos 3 algoritmos, cujos testes, como já foi dito anteriormente, se realizaram sobre instâncias presentes no trabalho desenvolvido por Iori (Iori, Salazar-Gonzalez, & Vigo, 2007). Nas heurísticas construtivas embora se soubesse desde o início que os resultados obtidos, em termos de número de veículos utilizados e distância total percorrida, seriam piores, o tempo de execução seria inferior. Isto permite ainda analisar a diferença entre o algoritmo exacto e a heurística construtiva, ou seja, ter uma ideia sobre a qualidade dos algoritmos desenvolvidos, bem como, apresentar resultados para instâncias de maiores dimensões.

O desenvolvimento de um algoritmo exacto ao nível do apresentado por Iori, para além de uma tarefa complexa, seria impraticável em termos de tempo útil. Este facto foi comprovado pelo tempo e esforço despendido no desenvolvimento das três heurísticas construtivas apresentadas, que foram por si só um desafio, e que variam apenas na fase de escalonamento dos clientes.

Em cada um dos algoritmos apresentados existem três frases críticas ao seu bom funcionamento: o modo de selecção dos clientes; a colocação de itens nos veículos e o raio de movimentação das viaturas de cliente para cliente. Assim, cada uma das fases foi incrementada de modo a respeitar as restrições do problema inicial e a torná-lo válido e próximo do pretendido. Deste modo, todas as decisões tomadas e optimizações efectuadas, cuja descrição de implementação se encontra no capítulo 3, foram essenciais para o funcionamento geral dos algoritmos.

Na fase de distribuição dos itens todas as restrições impostas, desde a remoção de áreas que não podem ser consideradas para colocação de itens até à ordem pela qual os mesmos são seleccionados (*capítulo 3.1.2*), foram importantes para a optimização do espaço de cada veículo.

Na estratégia para controlar a distância total percorrida, que pode ser visualizado no capítulo 3.1.3, após um veículo ter um cliente associado, o seguinte tem de estar a uma distância máxima, calculada pelo valor médio de todas as distâncias de cada cliente ao depósito, multiplicado por um valor de α . A adição desta restrição teve um grande impacto nos resultados dos algoritmos; foram efectuados testes em cada uma das instâncias para diferentes valores de α e quanto maior for esse valor, em geral, maiores distâncias são percorridas e menos veículos serão utilizados. Nunca esquecer o facto que qualquer veículo adicionado a uma instância, as distâncias percorridas, do depósito ao primeiro cliente visitado e do último cliente visitado ao depósito são adicionadas ao total de distância percorrida, o que por vezes faz com que a utilização de mais veículos resulte num aumento da distância total percorrida quando comparado com versões para a mesma instância que utilizou menos veículos.

Embora os dados importantes, para tirar conclusões sobre os algoritmos sejam: o número de veículos utilizados, o total de distância percorrida e o tempo de execução do algoritmo; numa primeira abordagem ao algoritmo Rácio, só se considerou fundamental minimizar o número de veículos utilizados, ou seja, a instância foi vista como um problema local, na qual o factor distância não teria relevância. Neste caso, o algoritmo Rácio apresenta bons resultados, mas se a distância tiver preponderância, este algoritmo é considerado o pior dos três.

Numa segunda abordagem, ao considerar a distância como factor determinante, foi adicionado um raio de movimentação dos veículos entre clientes de modo a restringir a sua circulação. Aqui os resultados do algoritmo, como seria de esperar, pioram quanto ao número de veículos utilizados, mas melhoram em termos de distância total percorrida.

Os outros dois algoritmos, CmP v1.0 e v2.0, que diferem quanto à escolha do primeiro cliente, cliente mais perto versus cliente mais distante, foram desenvolvidos com o intuito de considerar, como preponderante, o factor de distância total percorrida. De destacar que os melhores resultados foram apresentados pela v2.0 do algoritmo, o que permitiu concluir que a escolha do primeiro cliente de cada veículo como o mais distante, se trata de uma óptima restrição. (Pode ser visualizado no respectivo capítulo).

Os algoritmos desenvolvidos foram testados para as mesmas instâncias realizadas no trabalho desenvolvido por lori, sendo a percentagem de utilização de veículos o único factor de comparação (por falta dos valores de distância total percorrida no trabalho de lori). Assim, perante os resultados obtidos constatou-se que os algoritmos com $\alpha = 2.0$, utilizam mais 15,01% e 15,6% de veículos. Ao considerar a distância

como um factor preponderante, o melhor resultado é apresentado pelo algoritmo CmP v2.0, que utiliza, em média, mais 15,58% de veículos que o algoritmo exacto de lori. Como se trata de uma heurística construtiva podemos concluir, perante os resultados apresentados, que o algoritmo desenvolvido é de boa qualidade.

Na segunda fase de análise de resultados foram testadas instâncias de grandes dimensões, que o algoritmo de lori não consegue resolver em tempo útil, menos de 24 horas, e os resultados obtidos foram positivos. O algoritmo CmP v2.0 utiliza 20,89% mais veículos que o valor padrão e, apesar de este nunca ter sido ultrapassado nos testes realizados no trabalho desenvolvido por lori, é um resultado positivo para uma heurística construtiva como as apresentadas.

Por fim, talvez os resultados obtidas nas heurísticas construtivas pudessem ser utilizados numa primeira fase pelo algoritmo exacto, como uma solução inicial, que posteriormente seria melhorada, até se alcançar uma solução óptima.

Pela análise dos resultados obtidos é possível constatar que o melhor dos algoritmos desenvolvidos é o CmP v2.0. De futuro este poderia ser optimizado a fim de melhorar a sua performance geral, nomeadamente, tempo de execução, número de veículos utilizados e distância total percorrida. A optimização poderia ser feita em quatro níveis:

- **Código geral**, ao ser optimizado iria reduzir o tempo de execução;
- **Escalonamento dos clientes**, permitiria uma redução do número de veículos utilizados e distância total percorrida, apesar de poder causar um aumento do tempo de execução;
- **Inserção dos itens nos veículos**, melhora na utilização do espaço reduzindo o número de veículos utilizados e, possivelmente, o total de distância percorrida, sob pena de poder causar um aumento do tempo de execução.
- **Raio de movimentação dos veículos entre clientes**, poderá piorar o tempo de execução e, por vezes, o número total de veículos utilizados, mas haverá uma redução da distância total percorrida. De qualquer modo, nunca esquecer o que foi dito anteriormente sobre a utilização de mais veículos numa mesma instância.

Em prol do trabalho desenvolvido considera-se ainda que seria do maior interesse a implementação de uma parte visual. Isto iria permitir, por um lado, visualizar o carregamento dos veículos e respectivas rotas e, por outro, torná-la mais apelativa facilitando a interacção do utilizador comum com a aplicação.

Bibliografia

- Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2009). Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. *Annals of Operations Research*, 175(1), 213–245.
- Chen, C. S., Lee, S. M., & Shen, Q. S. (1995). An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*, 80(1), 68–76.
- COPTIMAL LOGICS INC. (2013). <http://www.coptimal.com/> , aceso a 24 de Outubro de 2013.
- Cordeau, J., Emilia, R., Amendola, V., & Laporte, G. (2010). A Branch-and-Cut Algorithm for the Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem with LIFO Loading. *Networks*, 55(1), 46-59.
- Cordeau, J.-F., Dell'Amico, M., & Iori, M. (2010). Branch-and-cut for the pickup and delivery traveling salesman problem with FIFO loading. *Computers & Operations Research*, 37(5), 970–980.
- Dantzig, A. G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91.
- DISC. (2013). <http://www.mjc2.com/distribution-logistics-software.htm>, aceso a 24 de Outubro de 2013.
- Doerner, K. F., Fuellerer, G., & Hartl, R. F. (2007). Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Loading Constraints. *Networks*, 49(4), 294-307.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Quilliot, A., & Toussaint, H. (2011). A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(3), 617–640.
- Eye Peak. (2013). <http://www.eyepack.com/eyepack/home>, aceso a 24 de Outubro de 2013.
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Iori, M. (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 751–759.
- Gendreau, M., Amendola, V., Emilia, R., & Laporte, G. (2008). A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints, *Networks* 51(1), 4-18.
- Hadjiconstantinou, E., & Iori, M. (2007). A hybrid genetic algorithm for the two-dimensional single large object placement problem. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1150–1166.
- Iori, M., Salazar-Gonzalez, J.-J., & Vigo, D. (2007). An Exact Approach for the Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints. *Transportation Science*, 41(2), 253–264.
- Iori, M., & Martello, S. (2010). Routing problems with loading constraints. *Top*, 18(1), 4–27.
- JOpt Vehicle Routing. (2013). <http://www.dna-evolutions.com/joptsdk.html>, aceso a 24 de Outubro de 2013.

- Leung, S. C. H., Zhou, X., Zhang, D., & Zheng, J. (2011). Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(1), 205–215.
- LUCINA - Vehicle Routing and Scheduling Optimization Software. (2013). <http://www.coptimal.com/products/lucina.htm>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Maria, A., & Moura, P. De. (2005). Abordagens Heurísticas para o Planeamento de Rotas e Carregamento de Veículos. Relatório Técnico.
- Moura, A. (2008). A Multi-Objective Genetic Algorithm for the Vehicle Routing with Time Windows and Loading Problem. *Intelligent Decision Support*, 187-201.
- Optrak (2013). <http://optrak.com/> , acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Oracle, A., & Paper, W. (2013). Oracle Transportation Management on Oracle Engineered Systems : Optimized Performance and Business Value.
- Oracle Transportation Management. (2013). <http://www.oracle.com/us/products/applications/ebusiness/logistics/018756.htm>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- ORMS Vehicle Routing Software Survey (2012). http://www.orms-today.org/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- ORTEC. (2013). <http://www.ortec-online.com/>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Paragon. (2013). <http://www.paragonrouting.com/uk> acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Pinto, T., Alves, C., & Carvalho, J. V. de. (2011). An Overview on recent approaches for Vehicle Routing Problems with Loading Constraints, *X Congresso Galego de Estatística e Investigación de Operacións*.
- Roadnet Technologies. (2013). <http://www.roadnet.com/>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Sinfic SA. (2013). <http://www.sinfic.pt/SinficWeb/homepage.do2>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Syscarga. (2013). <http://www.syscarga.pt/>, acessado a 24 de Outubro de 2013.
- Wang, F., Tao, Y., & Shi, N. (2009). A Survey on Vehicle Routing Problem with Loading Constraints. *2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 602–606.
- Wen, M. (2010). *Rich Vehicle Routing Problems and Applications*. Relatório Técnico

