



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **Strolling Dial-a-Ride Problem:**

### **Definição e Aplicabilidade**

**IVO ROSA BERNARDO**

Licenciado em Engenharia Civil

Dissertação de Natureza Científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

Orientadores:

Doutor Esteve del Acebo, Professor e Investigador no Departamento de Ciência Computacional e Matemática Aplicada (Universitat de Girona)

Mestre Paulo Matos Martins (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa)

Júri:

Presidente: Licenciada Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa)

Vogais:

Mestre Maria Cristina Coutinho (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa)

Mestre Paulo Matos Martins (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa)

**Janeiro de 2017**



## Resumo

As cidades de tamanho pequeno/médio de hoje em dia, necessitam de apresentar soluções aos seus cidadãos, tendo em conta a procura dos mesmos e das suas necessidades. Em termos de transporte público, esta procura pode ser satisfeita com um novo tipo de serviço, baseado no problema apresentado neste documento: o Problema Strolling Dial-a-Ride.

Este problema é uma variante do Problema Dial-a-Ride, onde é esperado que os passageiros deste serviço caminhem entre o ponto de origem e o ponto de levantamento e, depois de serem entregues no ponto de entrega, se dirijam entre esse ponto e o ponto de destino.

Neste documento, o Problema Strolling Dial-a-Ride é definido, tendo em base o Problema Dial-a-Ride e as várias variáveis, tais como as janelas temporais e a distância máxima que os passageiros estão dispostos para caminhar. Esta nova definição permite estudar um novo método de transportar passageiros, através de um simulador computacional com o propósito de aplicar o novo problema e o algoritmo responsável por encontrar soluções de entrada de passageiros no sistema. Alguns resultados são apresentados neste documento e são posteriormente discutidos, de forma a poder ser feita uma comparação com o problema clássico e o problema definido neste estudo.

Palavras-Chave: Problema Strolling Dial-a-Ride, Problema Dial-a-Ride

## **Abstract**

Small/medium size cities of today, need to present solutions to their citizens, taking into account the demand and their needs. In terms of public transportation, this demand can be satisfied by a new type of service, based on the presented problem of this document: the Strolling Dial-a-Ride Problem.

This problem is a variant of the Dial-a-Ride Problem, in which is expected that the passengers walk to get picked up and to reach their destination point, after they are delivered.

In this document, the Strolling Dial-a-Ride Problem is defined, taking into account the Dial-a-Ride Problem and the innumerous variables, such as time-windows and the maximum distance that the passenger is willing to walk. This new definition allows the study of a new method of transporting passengers, through a computerized simulator with the purpose of applying this new problem and the algorithm that is responsible to find entry solutions of passengers into the system. Some results are presented in this document and are also discussed, in order to compare the results of the classical problem and the new one that is defined in this study.

In this document, the Strolling Dial-a-Ride problem is explained and results from a computer simulation, of the problem, are presented and discussed.

Keywords: Strolling Dial-a-Ride Problem, Dial-a-Ride Problem

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e à Universitat de Girona pela oportunidade de poder ter realizado parte deste projeto no programa internacional ERASMUS+, especialmente a Dra. Maria Luisa Marsal Llacuna e Dr. Josep Lluís de la Rosa por me terem dado a oportunidade de estudar na Universitat de Girona.

Em segundo lugar, quero agradecer ao Professor Paulo Matos Martins pelo esforço e pelos seus conselhos que ditaram o sucesso desta importante etapa da minha vida académica, como também de ter aceite este desafio.

Em terceiro lugar, quero agradecer ao Dr. Esteve Del Acebo pela sua orientação durante a minha estadia na cidade de Girona e pela oportunidade que me deu para estudar este problema.

Seguidamente, gostaria de deixar o meu agradecimento pessoal a toda a equipa do Agents Research Laboratory, especialmente ao Dr. Albert Trias i Mansilla pela sua ajuda, paciência e clareza, que sem as mesmas este trabalho não estaria completo.

Em último lugar, gostaria de agradecer a toda a minha família e todos os meus amigos de longa data, especialmente ao meu pai, António Bernardo, e à minha mãe, Maria Aline Bernardo, pela força e motivação dada, que foi crucial nesta fase da minha vida, e a Henrique Ferreira pela sua disponibilidade e ajuda neste projeto. Também gostaria de deixar um agradecimento especial a Daniela Rodrigues pela motivação e conselhos durante a construção deste trabalho e de todo o meu trajeto.

## **Lista de Abreviaturas**

DARP – Dial-a-Ride Problem

SDARP – Strolling Dial-a-Ride Problem

ADART – Autonomous Dial-a-Ride Transit

AP – Action Points

MinTime – Tempo Mínimo de uma Janela Temporal

MaxTime – Tempo Máximo de uma Janela Temporal

# Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos .....	6
1.3. Estrutura do documento .....	6
2. Estado de Arte.....	8
2.1.1. Serviço Dial-a-Ride .....	8
2.1.2. Autonomous Dial-a-Ride Transit (ADART).....	10
2.1.3. Problema Dial-a-Ride.....	11
2.1.4. Problema Dial-a-Ride – Estático .....	13
2.1.5. Problema Dial-a-Ride – Dinâmico.....	17
3. Metodologia e Implementação .....	21
3.1. Strolling Dial-a-Ride Service .....	21
3.2. Strolling Dial-a-Ride Problem .....	22
3.3. Função de Custo .....	24
3.4. Algoritmo direcionado ao Strolling Dial-a-Ride.....	26
3.5. Simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem.....	29
4. Resultados .....	39
4.1. Combinações de fatores simulados .....	43
4.2. Resultados do SDARP .....	45
4.2.1. Resultados do SDARP – Primeira Combinação de Fatores.....	45
4.2.2 Resultados do SDARP – Segunda Combinação de Fatores.....	47
4.2.3. Resultados do SDARP – Terceira Combinação de Fatores .....	49
4.3. Resultados do DARP .....	51
4.4. Discussão dos Resultados.....	53
5. Conclusões.....	63
Referências Bibliográficas .....	65

### Índice de Figuras

Figura 1 – População mundial urbana e rural, 1950 - 2050, World Urbanization Prospects – (United Nations,2014).....	2
Figura 2 - Percentagem da população na UE que habita em zonas urbanas (Caragliu et al. 2011).....	3
Figura 3 - Esquema de Comunicação do ADART (Dial, 2003).....	11
Figura 4 - Possíveis Action Points de Entrada e de Saída .....	27
Figura 5 - Diagrama de Classes do Simulador.....	34
Figura 6 - Estrutura do Simulador .....	35
Figura 7 - Estrutura do Passo de Simulação.....	36
Figura 8 - Janela Principal do "Strolling Dial-a-Ride Simulator" .....	39
Figura 9 - Janela das Settings do "Strolling Dial-a-Ride Simulator" .....	40
Figura 10 - Estrutura de dados Input.....	41
Figura 11 - Estrutura de dados de Output - Passageiros .....	42
Figura 12 - Estrutura de dados de Output - Veículos .....	43
Figura 13 - Resultados de Distâncias Totais para Todas as Combinações .....	54
Figura 14 - Resultados dos Tempos Médios de Espera para Todas as Combinações .....	55
Figura 15 - Resultados da Distância Média Percorrida para Todas as Combinações .....	55
Figura 16 - Comparação da Distância Viajada na Primeira Situação.....	56
Figura 17 - Comparação da Distância Viajada na Segunda Situação.....	57
Figura 18 - Comparação da Distância Viajada na Terceira Combinação .....	57
Figura 19 - Comparação do Tempo Médio de Espera na Primeira Combinação .....	58
Figura 20 - Comparação do Tempo Médio de Espera para a Segunda Combinação .....	59
Figura 21 - Comparação do Tempo Médio de Espera para a Terceira Combinação .....	60
Figura 22 - Comparação da Taxa de Inserção para a Primeira Combinação ..	61
Figura 23 - Comparação da Taxa de Inserção para a Segunda Combinação .	61
Figura 24 - Comparação da Taxa de Inserção para a Terceira Combinação...	62

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Características de uma "Cidade Inteligente" .....	4
Tabela 2 - Lista de restrições nos métodos heurísticos para o Problema Dial-a-Ride Estático .....	16
Tabela 3 - Lista de Restrições para os métodos heurísticos para o Problema Dial-a-Ride Dinâmico.....	19
Tabela 4 - Resultados da Primeira Combinação .....	45
Tabela 5 - Taxa de Inserção de Passageiros na Primeira Combinação.....	47
Tabela 6 - Resultados da Segunda Combinação .....	48
Tabela 7 - Taxa de Inserção da Segunda Combinação .....	49
Tabela 8 - Resultados da Terceira Combinação .....	50
Tabela 9 - Taxa de Inserção da Terceira Combinação .....	51
Tabela 10 - Resultados das Distâncias do DARP .....	52
Tabela 11 - Tempo Médio de Espera no DARP .....	53
Tabela 12 - Taxa de Inserção no DARP.....	53

### 1. Introdução

As cidades dos dias de hoje têm como principal objetivo, melhorar a capacidade de manter os seus cidadãos satisfeitos, ao tornar-se uma cidade mais dinâmica na forma como aborda os problemas que são colocados pelos seus cidadãos. Desta forma, os responsáveis têm maneira de apresentar soluções mais céleres e mais inteligentes, fazendo com que a própria cidade se torne mais “inteligente”.

Uma das características mais importantes de uma cidade é a capacidade de mobilização que é oferecida aos seus cidadãos. Apesar de todas as características que fazem uma cidade inteligente serem relevantes, é a mobilidade que dita o ritmo dos seus cidadãos nas áreas urbanas, que faz com que os cidadãos façam melhor uso do seu tempo e dos seus recursos.

As grandes cidades do mundo apresentam redes de transporte público complexas, onde a cidade consegue responder à procura feita pelos seus cidadãos, no entanto cidades pequenas/médias podem apresentar alguma dificuldade em utilizar o seu serviço de transporte público, quando tentam satisfazer a maioria dos seus cidadãos. Acontece que na maioria das cidades deste tamanho, existe muita pouca oferta de transporte público e os preços aplicados aos cidadãos são elevados, fazendo com que haja uma desistência de utilização deste tipo de transporte e passe-se a utilizar mais recorrentemente o transporte automóvel.

Este documento propõe uma solução para uma variante do Dial-a-Ride Problem (DARP), chamado Strolling Dial-a-Ride Problem (SDARP), onde é explorada, através de simulações computacionais, a interação entre um número de cidadãos que pretende ser transportado por veículos, de forma a perceber a possibilidade de aplicar esta solução e o seu sucesso.

O SDARP é um problema com base no DARP, que é um problema de otimização, orientado a transportes, onde veículos transportam passageiros, dos seus pontos de origem até aos de destino. Cada passageiro indica dois intervalos temporais, o primeiro está relacionado com a altura do dia em que este está disponível para entrar no veículo, enquanto que o segundo indica quando é que o passageiro quer ser entregue no seu ponto de destino.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

A diferença entre o DARP e o SDARP está na existência de pontos de entrada e de entrega já pré-definidos, onde é esperado que os passageiros caminhem desde os seus pontos de origem até aos pontos de entrada e, depois de serem entregues, desde os seus pontos de entrega até aos seus pontos de destino.

### 1.1. Enquadramento

Através do relatório “World Urbanization Prospects”, produzido pelo Departamento de Economia e Assuntos Sociais das Nações Unidas, 54% da população mundial habita, hoje, em áreas urbanas e é esperado que essa percentagem suba para os 66% dentro de 40 anos, ou seja, dois terços da população mundial viverá em cidades no ano 2050. Na Figura 1 podemos observar o aumento de população urbana durante os próximos anos.

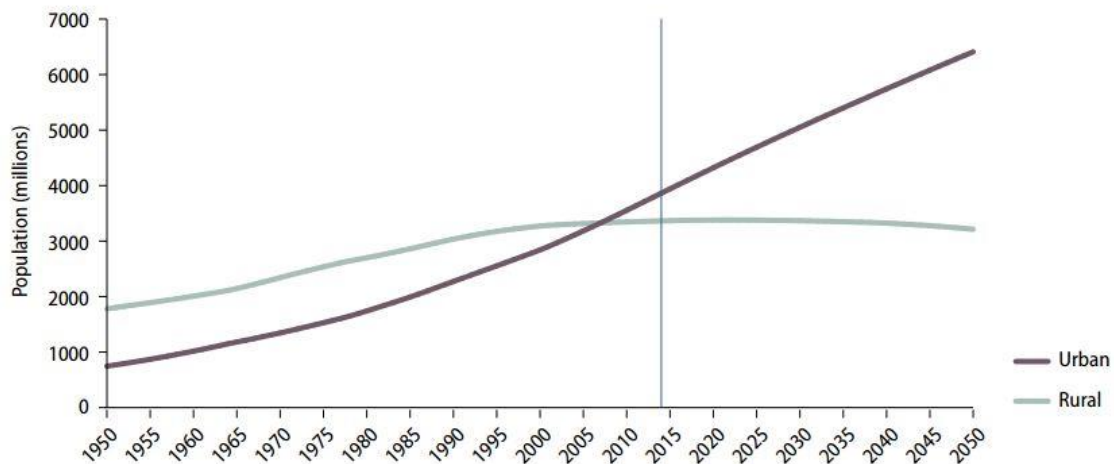


Figura 1 – População mundial urbana e rural, 1950 - 2050, World Urbanization Prospects – (United Nations, 2014)

Embora esse aumento seja mais perceptível nos países em desenvolvimento, o continente europeu também irá sofrer um aumento populacional nas zonas urbanas, como se pode observar na Figura 2. Desde 1950 até 2010, a população europeia que vivia em cidades passou dos 50% para os 75% e, a previsão para 2050, indica que essa percentagem vai aumentar para 85% (Caragliu et al. 2011).

Mesmo que as previsões não tenham os resultados esperados, a percentagem atual de população em zonas urbanas, na Europa, já é bastante elevada. As

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

idades necessitam de se adaptar a esta realidade e tentar manter, ou melhorar, a qualidade de vida dos seus cidadãos.

Desta forma, algumas ideias foram surgindo e alguns conceitos-chave começaram a aparecer, como o conceito de “cidade inteligente”.

O conceito de “cidade inteligente” pode ser visto com um grande corpo orgânico, em que cada peça crucial está conectada, de forma a que a cidade seja sustentável e habitável (Chourabi, 2012).

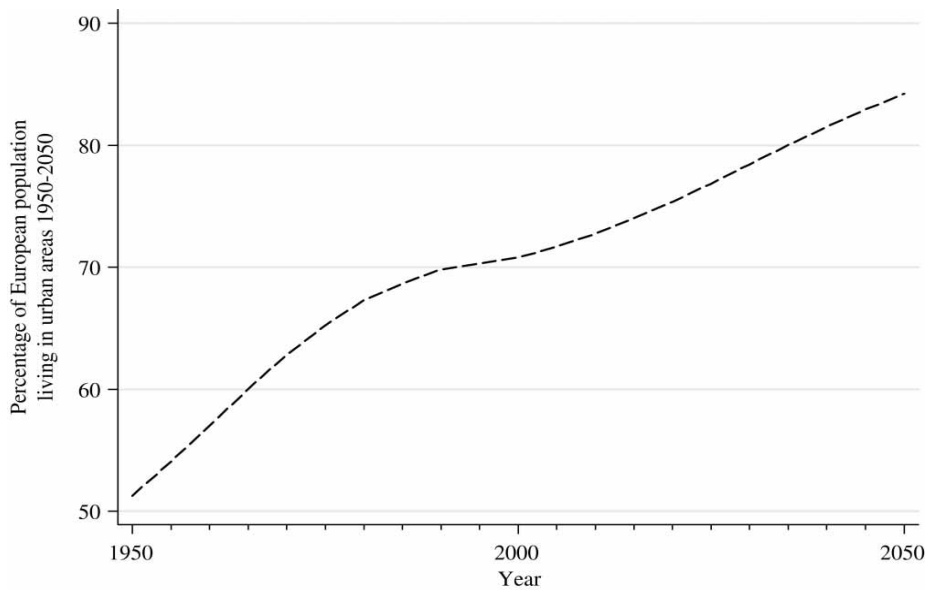


Figura 2 - Percentagem da população na UE que habita em zonas urbanas (Caragliu et al. 2011)

As seis características principais de uma “cidade inteligente” estão apresentadas na Tabela 1 - Características de uma "Cidade Inteligente" e a sua combinação é o que torna uma cidade “inteligente”.

O conceito de cidade “inteligente” é utilizado de uma maneira vaga e, normalmente, define uma cidade que é evoluída em termos tecnológicos, principalmente tecnologias de informação. O conceito é muito mais que isto, porque uma cidade só pode ser chamada “inteligente”, quando utiliza os seus recursos de forma sustentável e encontra soluções, que oferecem as melhores condições possíveis aos seus cidadãos. A utilização de tecnologias de informação oferece ferramentas que auxiliam o armazenamento de dados sobre os cidadãos; que ajudam a perceber o comportamento social; e auxiliam na predição, ou simulação, de soluções. O melhor uso destas ferramentas ajuda uma cidade a tornar-se mais inteligente.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Em termos de mobilidade, uma “cidade inteligente” necessita de saber quais são as soluções que melhor encaixam nas necessidades dos seus cidadãos, que podem ser novas infraestruturas ou o melhoramento das já existentes.

*Tabela 1 - Características de uma "Cidade Inteligente"*

Características	Constituintes
Economia Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Espírito Inovador</li><li>• Empreendedorismo</li><li>• Produtividade</li><li>• Ligações Internacionais</li></ul>
População Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Qualificação</li><li>• Equilíbrio Social</li><li>• Criatividade</li><li>• Participação Pública</li></ul>
Governança Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estratégias Políticas Definidas</li><li>• Governança Transparente</li><li>• Perceção das necessidades</li><li>• Poder para agir</li></ul>
Mobilidade Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Acessibilidade</li><li>• Sistemas de transporte público sustentáveis</li><li>• Disponibilidade de Infraestruturas</li><li>• Comunicação Tecnológica</li></ul>
Ambiente Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Preocupação com a poluição</li><li>• Proteção Ambiental</li><li>• Controlo de Resíduos</li><li>• Gestão sustentável de recursos</li></ul>
Bem-estar Inteligente	<ul style="list-style-type: none"><li>• Instalações Culturais e de Educação</li><li>• Saúde</li><li>• Qualidade de Habitação</li><li>• Coesão Social</li></ul>

Como está descrito na Tabela 1 - Características de uma "Cidade Inteligente", as características principais de uma “cidade inteligente” estão ligadas entre si e

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

quando, por exemplo, a mobilidade sofre um melhoramento substancial, outras características são afetadas de uma maneira positiva.

Em termos de economia, uma melhor solução de mobilidade pode ser uma, que ofereça a mesma infraestrutura, mas com um custo mais razoável; como também pode ser uma infraestrutura que oferece um melhor serviço, mas com o mesmo custo que as existentes; ou uma com melhor serviço e um preço mais baixo.

A mobilidade pode influenciar também as características sociais de uma cidade, isto porque oferece uma melhor qualidade de vida aos seus utilizadores, ao ser mais eficiente e mais adaptável aos seus desejos. Do ponto de vista ambiental, uma solução de mobilidade pode oferecer condições, onde os cidadãos compreendam que é melhor utilizar esta solução, em detrimento de outras, como o seu veículo privado.

Um estudo, realizado por Caragliu et al. (2011), indica que existe uma relação recíproca entre a eficiência do transporte público e níveis elevados de riqueza. Os autores afirmam que uma boa rede de transporte público pode ajudar a resolver problemas associados a áreas com uma densidade urbana média/alta e, ao mesmo tempo, pode reduzir os custos diretos e indiretos dos congestionamentos.

Com este ponto de vista, cada cidade necessita de perceber o movimento dos seus cidadãos, de forma a que seja possível estudar, e aplicar, soluções de mobilidade. No caso das cidades de tamanho pequeno/médio, não faz sentido aplicar as mesmas soluções que se aplicam numa cidade grande. Nestas, a procura é sempre elevada e, com isto, a construção de infraestruturas que conseguem suportar essa procura fazem sentido. Nas cidades de tamanho médio, as soluções têm de ser adaptadas à sua realidade, de forma que a satisfação seja priorizada.

Supondo que se está perante uma cidade de tamanho pequeno/médio, com uma população de tamanho pequeno/médio, em que esta cidade não é um subúrbio de uma grande cidade e, ao mesmo tempo, a maioria dos cidadãos vive, e trabalha aí, que tipos de movimentos existem nessa cidade?

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

Por norma, estas cidades apresentam uma rede de transportes públicos simples, onde prima a existência de autocarros, em que, normalmente, a sua frequência é bastante baixa, ou seja, o intervalo de espera entre o aparecimento dos autocarros é muito elevado. Em condições normais, os cidadãos preferem utilizar maneiras diferentes para se deslocarem, como o veículo privado, em vez de esperarem demasiado tempo pelo próximo autocarro.

Numa cidade como esta, quais são as possíveis consequências? Os cidadãos podem abandonar o uso do sistema de transporte público e isto é uma consequência direta, no entanto existem algumas consequências indiretas que podem ser previstas, como: o aumento do número de veículos privados nas ruas desta cidade; aumento da poluição; e redução de espaço direcionado aos cidadãos, que é transformado em parques de estacionamento.

Considerando um tipo de cidade como a que foi descrita acima, o seguinte problema surge: é possível criar/melhorar as condições do transporte público, onde é possível perceber a procura durante o tempo de serviço, ou seja, de forma dinâmica, em que é provável evitar o aumento gradual do tráfego de veículos privados?

### **1.2. Objetivos**

O principal objetivo a ser alcançado neste estudo é a criação de um novo tipo de variante do Problema Dial-a-Ride.

Em primeiro lugar, esta variante deverá ser definida e explicada no documento, onde serão demonstradas as vantagens que este modelo deverá apresentar. Seguidamente, a criação de software, próprio para o este tipo de problemas, será realizada para que seja possível verificar a existência dessas vantagens e de algum outro aspeto que não tenha sido considerado inicialmente.

Finalmente, depois de realizada a análise de resultados, serão apresentadas as conclusões desta nova variante do problema e apresentados alguns aspetos que poderão ser estudados futuramente.

### **1.3. Estrutura do documento**

Este documento está organizado em cinco capítulos.

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

No primeiro capítulo apresenta-se o enquadramento do objeto de estudo e definem-se os objetivos principais do mesmo.

Seguidamente, no segundo capítulo, é descrito o estado de arte do tema em estudo, ou seja, será analisada toda a bibliografia relevante deste tema, dando realce aos métodos heurísticos que foram sendo utilizados para o Dial-a-Ride Problem.

No terceiro capítulo explicar-se-á a metodologia utilizada no desenvolvimento da nova variante Strolling Dial-a-Ride Problem, o algoritmo utilizado e, também, o software criada com o propósito de estudar esta variante.

No quarto capítulo será feita a demonstração de resultados do software e a sua análise.

Finalmente, no quinto capítulo serão apresentadas as conclusões deste projeto e as propostas de desenvolvimento do problema no futuro.

### 2. Estado de Arte

#### 2.1.1. Serviço Dial-a-Ride

As grandes cidades de hoje em dia, oferecem várias opções de transporte público, onde os seus cidadãos têm várias hipóteses de escolha, para que possam chegar aos seus destinos. Esta oferta de transporte público é suportada por uma rede complexa e organizada de comboios, metropolitanos e autocarros, que permitem aos cidadãos escolher as opções que melhor servem as suas necessidades, de forma a que cheguem aos seus destinos.

Este tipo de rede de transportes satisfaz a maioria da população das cidades, no entanto pessoas idosas e/ou pessoas com mobilidade reduzida apresentam algumas dificuldades, em utilizar os meios de transporte convencionais. Com isto, foram desenvolvidas algumas alternativas de sistemas de transporte público, que podem satisfazer estes cidadãos.

Uma alternativa conhecida é o serviço *paratransit*, que é um serviço de resposta à procura. Este serviço trabalha de uma forma, em que o serviço responde a pedidos de transporte entre pontos de origem e de destino. Um serviço *paratransit* bastante conhecido é o serviço Dial-a-Ride, onde os passageiros entram em contacto com o centro de comunicações do serviço, para solicitar uma viagem, onde eles dão informação relacionada com essa viagem e, este tipo de serviço, é normalmente um serviço de transporte público partilhado (Hall et al. 2012).

Um serviço como o Dial-a-Ride é um onde as rotas e os horários não estão fixos, como acontece numa linha de autocarro. O objetivo do serviço é transportar o passageiro do ponto A ao ponto B, onde o uso mais comum deste serviço é providenciar transporte a pessoas idosas e de mobilidade reduzida, desde as suas casas até aos hospitais e clínicas.

Em termos do posicionamento nas classes de transporte público, o serviço Dial-a-Ride encontra-se entre o autocarro e o táxi. Isto acontece, porque o Dial-a-Ride não apresenta rotas e horários fixos, como os autocarros normalmente apresentam, e, também, não apresentam a flexibilidade que um táxi normalmente oferece, visto que este utiliza sempre a uma rota direta, sem a necessidade de partilhar a viagem com outros passageiros.

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

Visto que o serviço não tem rotas e horários fixos, os utilizadores têm uma flexibilidade em partir dos seus pontos de origem e chegar aos seus destinos, na altura em que desejam.

Normalmente, quando um passageiro comunica com o serviço Dial-a-Ride, este especifica uma janela de tempo, que é um intervalo temporal, onde o primeiro valor representa a altura mais cedo, que o passageiro está disponível para ser transportado, e o segundo a altura mais tardia. Estes valores são extremamente importantes, porque com esta informação, o serviço consegue perceber quando o passageiro pode ser transportado e quando não é fazível fazer esse transporte, porque se o veículo chegar depois da altura mais tardia, o passageiro deixa de estar disponível para ser transportado. O mesmo princípio aplica-se à ação de entrega.

Desta maneira, os passageiros têm um papel ativo no serviço e, a função do último, é satisfazer-los tendo em conta as restrições impostas.

O serviço Dial-a-Ride é suportado por uma frota de veículos, que pode ser homogénea ou heterogénea. A frota heterogénea pode ser composta por vários tipos de assentos (Madsen et al. 1995), com diferentes combinações, enquanto que a frota homogénea apresenta as mesmas especificações em todos os veículos.

Os passageiros, que indicam ao serviço o seu desejo de viajar, comunicam com o departamento central de operações, que é responsável por criar esses pedidos no sistema. Tendo em conta as condições dadas pelos passageiros e a frota disponível, este departamento tenta encontrar a melhor solução para o utilizador. Este departamento é o cerne de um serviço como o Dial-a-Ride (Beaudry et al. 2010).

Quando o serviço foi implementado, uma equipa de pessoas, pertencentes ao departamento central de operações, era responsável pela inserção destes pedidos nas rotas e nos horários dos veículos. Nos dias de hoje e com as capacidades de tecnologia referentes à comunicação, ao cálculo e de georreferenciação, é possível construir um departamento de operações automático, com pouca intervenção humana, onde é possível realizar o mesmo trabalho, mas com mais eficiência (Fu, 2002).

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

### 2.1.2. Autonomous Dial-a-Ride Transit (ADART)

Com os avanços tecnológicos, um novo serviço Dial-a-Ride pode ser construído, como foi referido no capítulo anterior. Em 1995, Robert B. Dial descreveu um sistema similar com o serviço Dial-a-Ride, mas mais sofisticado e com uma abordagem mais comercial. Este sistema chama-se *Autonomous Dial-a-Ride Transit* e, segundo o autor, esta sofisticação está associada com a descentralização dos sistemas de rotas e de atribuição de horários aos veículos. O ADART tem um sistema de distribuição totalmente automático, em que o hardware e software de operações encontra-se presente nos computadores, que cada veículo tem. É este serviço descentralizado, que dá a definição a este serviço de “autonomous”.

Um sistema como o ADART deve apresentar um serviço com vários veículos espalhados pela rede e, cada um destes, deve ter o seu próprio computador. Estes computadores são responsáveis por trabalhar com a informação do passageiro, de forma a perceber onde estes estão, para onde desejam viajar e quando estão disponíveis para realizar esse trajeto.

De acordo com o mesmo autor (Dial, 2003) e como está representado na Figura 3 - Esquema de Comunicação do ADART (Dial, 2003), a comunicação é feita entre três agentes: o passageiro, o computador de cada veículo e o computador central do serviço. Numa primeira instância, o passageiro interage com o sistema, através do computador central, que acaba por comunicar com o computador do veículo.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

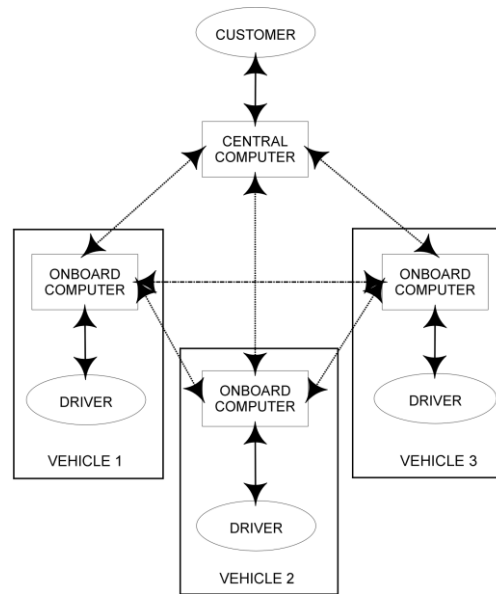


Figura 3 - Esquema de Comunicação do ADART (Dial, 2003)

Depois do computador central estabelecer a comunicação com o computador do veículo, este calcula o custo de inserir este pedido (define-se como custo de inserção) no seu horário. Após saber o custo, este computador comunica com os outros computadores para saber se algum apresenta um custo de inserção mais baixo. Se sim, o veículo transfere esse pedido ao veículo com menor custo de inserção, caso contrário, o veículo guarda esse pedido para si e insere-o no seu horário de pedidos (Dial, 1995).

### 2.1.3. Problema Dial-a-Ride

O Problema Dial-a-Ride é um problema de transportes e de otimização, sobre o planeamento de rotas e de horários para um número de veículos, existentes numa frota de um serviço Dial-a-Ride (Cordeau and Laporte, 2007).

O Problema Dial-a-Ride consiste em criar soluções factíveis para os pedidos realizados pelos passageiros, onde eles especificam as localizações dos pontos de entrada e de entrega (Beaudry et al. 2010).

Neste problema existem algumas restrições associadas e, uma das mais utilizadas, são as janelas temporais. Estas são dadas pelos passageiros, que indicam a altura do dia em que estão disponíveis para sair do seu ponto de origem e, ao mesmo tempo, o tempo que eles desejam chegar ao seu ponto de destino (Hall et al. 2012).

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

Com esta característica das janelas temporais, um problema mais específico foi criado, que se denomina de Problema Dial-a-Ride com Janelas Temporais, onde o serviço procura uma solução para esses passageiros, de acordo com a sua disponibilidade temporal para viajar. Desta forma, os tempos de partida e de chegada, para cada passageiro, dependem das suas respectivas janelas temporais (Coslovich et al. 2006).

Uma outra restrição associada ao Problema Dial-a-Ride é a frota disponível. Esta frota pode estar localizada num único terminal ou em vários espalhados pela rede da cidade, e a sua composição pode ser homogénea ou heterogénea (Coslovich et al. 2006).

O Problema Dial-a-Ride é um problema desafiante, na medida em que tem de satisfazer duas perspetivas: o serviço e os passageiros. No primeiro, deseja-se minimizar o custo da operação, ao utilizar o número mínimo de veículos para servir todos os pedidos e, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida. Do ponto de vista do passageiro, o serviço tenta minimizar o tempo de viagem e de espera para cada passageiro, de forma a obter uma melhor qualidade de serviço (Fu and Teply, 1999).

O Problema Dial-a-Ride pode trabalhar de forma estática, onde os pedidos já são conhecidos, antes de se iniciar o serviço. O problema também pode trabalhar de uma forma dinâmica, onde os pedidos são feitos durante o tempo de serviço (Colomi and Righini, 1999).

Tanto para o problema estático como para o dinâmico, foram desenvolvidos métodos exatos e heurísticos, para os resolver. Os métodos exatos são estratégias utilizadas para encontrar a solução ótima, enquanto que para os métodos heurísticos, o propósito é encontrar uma solução razoável. O objetivo da heurística é encontrar soluções num tempo menor, que o que é necessário para encontrar uma solução ótima.

Nos próximos pontos, será feita uma breve sinopse dos métodos exatos e heurísticos para o Problema Dial-a-Ride estático e dinâmico.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

### 2.1.4. Problema Dial-a-Ride – Estático

Uma das formas de ver o Problema Dial-a-Ride é através do ponto de vista estático, onde o serviço sabe *a priori* os pedidos realizados pelos passageiros. O planejamento e os horários são criados antes do serviço começar (Colorni and Righini, 1999).

#### 2.1.4.1. Métodos Exatos

Psaraftis (1980) e Desrosiers et al. (1986) desenvolveram métodos exactos com algoritmos, que atuam de forma estática. O primeiro autor considera uma restrição, como critério de qualidade, que é a máxima posição de mudança de um passageiro no horário de um veículo. O segundo autor incorporou no seu algoritmo uma característica de inconveniência ao passageiro, como o tempo total de viagem.

Cordeau (2006) desenvolveu um algoritmo *branch and cut*, onde é utilizada uma formulação de *mixed integer*, com 3 índices. O maior número de instâncias estudado foi de 36 pedidos.

Uma estratégia similar foi usada por Ropke et al. (2007), onde foram utilizados dois algoritmos *branch and cut*, com formulações de 2 índices. O maior número de instâncias estudado foi de 96 pedidos.

#### 2.1.4.2. Métodos Heurísticos

Em 1985, Sexton and Bodin (1985) desenvolveram um algoritmo, para um veículo, que resolveu o problema ao iterar a recriação de rotas e a atribuição de tarefas. A soma de dois fatores, onde o primeiro está relacionado com a diferença entre o tempo de viagem real e o expectável, e o segundo com a diferença entre o tempo de chegada real e o expectável, pertencem a uma função de inconveniência que é minimizada, de forma a apresentar uma solução factível para o serviço Dial-a-Ride.

Um passo importante para o desenvolvimento de algoritmos para vários veículos, apareceu em 1986, com Jaw et al. (1986). Neste modelo, os passageiros têm de especificar as janelas temporais para serem transportados e, ao mesmo tempo, o tempo máximo que estão disponíveis para viajar. Estes fatores eram avaliados pelo algoritmo do autor, com a utilização de uma função

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

objetivo, relacionada com a inconveniência do passageiro e, assim, o algoritmo escolhia a opção que adiciona menos custo ao valor da função.

No que respeita ao desenvolvimento de programação dinâmica, Madsen et al. (1995) publicaram uma solução, com base num caso real. Os autores foram abordados pelo departamento de bombeiros da cidade de Copenhaga, com o problema de transportar pessoas idosas e com mobilidade reduzida. Os autores construíram um modelo que é capaz de planear rotas e horários do ponto de vista estático, onde existiam vários objetivos que podiam ser priorizados. No entanto, todos estes objetivos dependiam do número de veículos (heterogéneos) da frota, do comprimento de viagem e de alguns parâmetros ligados aos passageiros. Os pedidos têm uma diferença particular com outros do mesmo tipo de problema, isto porque os passageiros só podem especificar uma janela temporal, ou de entrada ou de chegada. Antes do algoritmo processar os pedidos, estes são ordenados, de forma a que o primeiro a ser inserido no sistema, seja aquele que tenha uma maior dificuldade em ser inserido. O algoritmo de Madsen et al. (1995) foi testado em situações reais.

Toth and Vigo (1996) desenvolveram uma heurística para um problema real na cidade de Bolonha. A heurística desenvolvida pelos autores insere os novos pedidos de transporte em todas as rotas existentes e, depois de avaliar o custo de inserção em cada uma delas, escolhe a que tem menos impacto no custo total da operação.

Cordeau and Laporte (2003) criaram uma heurística que utiliza a *tabu search*, de forma a encontrar soluções factíveis. As mesmas especificações de janelas temporais estão neste modelo desenvolvido. As restrições da heurística estão relacionadas com a capacidade dos veículos; distância máxima de viagem; e tempo máximo de viagem, para cada pedido. O algoritmo retira e adiciona o pedido nas várias rotas, de forma a escolher a solução com os melhores resultados. O objetivo nesta solução é minimizar o comprimento total viajado dos veículos.

Outro tipo de objetivo pode ser a minimização do número de veículos utilizados, como foi descrito por Rekiek et al. (2006). Na primeira fase do algoritmo, onde os passageiros são agregados para uma rota comum, é aplicado um algoritmo

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

genético. Depois disto, é implementado o algoritmo de inserção dos pedidos, que pertence à segunda fase. O software utilizado pelos autores oferece soluções com qualidade, num tempo de cálculo a rondar os 30 minutos. Os resultados dos testes foram feitos, através de instâncias aleatórias e com datasets da cidade de Bruxelas, no entanto não apresentam informação quanto à distância e tempo de viagem dos veículos da frota.

No mesmo ano, Xiang et al. (2006) estudaram o problema, onde a função objetivo tem de minimizar a combinação dos seguintes aspetos: custos fixos e variáveis dos veículos; custo do condutor; tempo de espera dos passageiros; e o tempo ativo dos veículos. O mecanismo de busca utilizado neste modelo utiliza uma segunda função objetivo, que se foca no tempo inativo dos veículos.

Wolfler Calvo and Colorni (2006) estudaram o Problema Dial-a-Ride, tendo em conta um número fixo de veículos de frota do serviço. Nesta heurística desenvolvida pelos autores, é usada uma função objetivo, onde o algoritmo tenta servir um número máximo de passageiros e tem o objetivo de minimizar a inconveniência destes. Isto é avaliado através do tempo de espera e o excesso de tempo de viagem, por parte do passageiro. A heurística tenta criar um número de rotas principais e, ao resolver um problema de atribuição, constrói rotas secundárias que podem ser adicionadas às outras, na fase de criação de rotas.

Os testes realizados com este modelo utilizaram instâncias entre os 10 e 180 passageiros e, ao comparar com um algoritmo simples de inserção, a heurística criada pelos autores obteve melhores resultados no que respeita a passageiros rejeitados e ao nível de serviço.

Na Tabela 2 podemos verificar um resumo das restrições utilizadas para o problema Dial-a-Ride Estático em todas as referências bibliográficas anteriormente mencionadas.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Tabela 2 - Lista de restrições nos métodos heurísticos para o Problema Dial-a-Ride Estático

Referência	Restrições
Sexton and Bodin (1985)	Janelas Temporais Capacidade do veículo
Jaw et al. (1986)	Janelas Temporais Capacidade do veículo Relação entre o tempo de viagem mínimo e o real
Madsen et al. (1995)	Janelas Temporais Frota Heterogénea Capacidade do veículo Duração Máxima de Viagem Desvio Máximo entre o tempo mínimo e real de viagem
Toth and Vigo (1996)	Janelas Temporais Capacidade do veículo Tempo Máximo de viagem
Cordeau and Laporte (2003)	Janelas Temporais Capacidade do veículo Tempo Máximo de Viagem
Rekiek et al. (2006)	Janelas Temporais Capacidade do veículo
Xiang et al. (2006)	Janelas Temporais Frota Heterogénea Capacidade do veículo Duração Máxima de Viagem Intervalos dos Condutores Horário de trabalho dos Condutores
Wolfler Calvo and Colorni (2006)	Janelas Temporais Capacidade do veículo

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

### 2.1.5. Problema Dial-a-Ride – Dinâmico

Uma outra variação do Problema Dial-a-Ride é o Problema Dial-a-Ride dinâmico, onde os pedidos são realizados durante o tempo de serviço.

O problema replica um departamento central de operações, que tem de atribuir novos pedidos às rotas e horários dos veículos, em tempo real. Contrariamente ao problema estático, o sistema dinâmico é mais flexível, porque consegue reagir a inconveniências inesperadas, como o congestionamento e/ou às avarias dos veículos da sua frota. Isto significa, que o problema tenta encontrar soluções que otimize, continuamente rotas e horários, durante o tempo de serviço (Colorni and Righini, 1999; Beaudry et al. 2010).

#### 2.1.5.1. Métodos Exatos

Quando os pedidos comportam-se de forma dinâmica, é muito complicado considerar uma solução como “ótima”, isto porque o tempo que é necessário para encontrar uma solução “ótima” é bastante maior, quando comparado com o tempo que é necessário para tomar uma decisão. Desta forma, os métodos exatos não foram estudados com muita tenacidade.

Psaraftis (1980) desenvolveu um algoritmo dinâmico para um veículo. Este algoritmo é responsável por planear uma nova solução, tendo em conta a rota e o horário existente. Este algoritmo é uma adaptação ao caso estático do mesmo autor.

#### 2.1.5.2. Métodos Heurísticos

De acordo com Teodorovic and Radivojevic (2000), uma forma para encontrar uma solução para o Problema Dial-a-Ride dinâmico é a utilização de *fuzzy logic*. Os autores criaram dois algoritmos de *approximate reasoning*, onde o primeiro é responsável em escolher qual o veículo mais apropriado para o novo pedido e, depois disto, o segundo algoritmo realiza as tarefas de verificar a melhor posição do novo pedido na rota e no horário do veículo. O primeiro algoritmo toma a sua decisão depois de avaliar a distância viajada extra do veículo e o seu tempo de espera, enquanto que o segundo algoritmo, analisa a distância viajada e o tempo de viagem extra, para cada passageiro dentro do veículo. Estas avaliações são realizadas através de regras que estão no algoritmo, onde a combinação dos

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

valores *fuzzy*, **small**, **medium** ou **large**, indicam a preferência dos pedidos como **very weak**, **weak**, **medium**, **strong** ou **very strong**. Este modelo foi testado em condições artificiais com 900 pedidos.

Attanasio et al. (2004) desenvolveram um *parallel algorithm* que, no início do planeamento cria rotas estáticas, baseadas nos pedidos já processados. Quando um novo pedido de transporte ocorre, as várias threads inserem este pedido nas rotas, ao acaso, e a é utilizada a *tabu search* de forma a encontrar uma solução fazível. Depois disto, a próxima fase é aplicada, onde os pedidos são otimizados novamente. Testes foram realizados com várias instâncias, com um número máximo de pedidos igual a 144.

Em 2006, Coslovich et al. estudaram uma nova variante do Problema Dial-a-Ride com Janelas Temporais dinâmico. Esta variante tem a característica de inserir pedidos inesperados, que ocorrem durante o tempo de serviço. Estes pedidos aparecem quando o veículo está à espera da entrada e/ou da saída de passageiros. Os passageiros inesperados perguntam ao condutor se é possível serem transportados até ao destino que estes desejam. Os autores criaram um algoritmo de duas fases, onde a primeira trabalha de forma off-line e entre as duas paragens da viagem que está a realizar. Quando o veículo se encontra entre essas duas paragens, o algoritmo cria um conjunto de todos os possíveis desvios de rota, tendo em conta as restrições temporais impostas pelos passageiros, que já se encontram dentro do veículo. Na segunda fase, o algoritmo tenta inserir os passageiros inesperados nas rotas e escolher a melhor opção. A variante apresenta maus resultados, quando o número de passageiros inesperados aumenta, no entanto, em alguns casos, o algoritmo é capaz de encontrar soluções estáticas, com a chegada dinâmica desses passageiros. Em alguns casos, o algoritmo foi capaz de inserir 92% dos passageiros inesperados nas rotas existentes.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Tabela 3 - Lista de Restrições para os métodos heurísticos para o Problema Dial-a-Ride Dinâmico

Referência	Restrições
Teodorovic and Radivojevic (2000)	Janelas Temporais Capacidade do Veículo
Attanasio et al. (2004)	Janelas Temporais Tempo Máximo de viagem Capacidade do Veículo
Coslovich et al. (2006)	Janelas Temporais Capacidade do Veículo Tempo Máximo de viagem
Xiang et al. (2008)	Janelas Temporais Frota Heterogénea Tempo Máximo de Viagem Intervalos dos Condutores Tempo Máximo de Trabalho
Beaudry et al. (2010)	Janelas Temporais Frota Heterogénea Capacidade do Veículo Tempo Máximo de Viagem

Uma solução diferente para este problema dinâmico foi estudada por Xiang et al. (2008). Neste modelo, os autores consideraram eventos estocásticos, como a avaria de veículos, o não aparecimento de passageiros, tráfego, etc. A inserção destes novos pedidos é feita por *local search*, que atua em todas as rotas existentes, ou seja, que cada pedido é inserido em todas as rotas, até que seja encontrada a melhor solução possível. A estratégia de diversificação é implementada à *local search*, onde uma função secundária é utilizada, com o objetivo de diminuir o “custo perdido”, ou seja, o custo associado ao não movimento do veículo. O algoritmo foi testado em várias instâncias, com um número máximo de 610 pedidos.

Uma outra estratégia de duas fases foi conduzida por Beaudry et al. (2010), quando estudaram o transporte de pacientes para hospitais. Neste problema dinâmico, algumas restrições foram analisadas, tais como os diferentes tipos de

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

emergência e transporte disponível. Na primeira fase, os pedidos são inseridos nas rotas existentes, tendo em conta a proximidade espacial e temporal entre aquele e os pedidos que já foram processados pelo algoritmo. Depois disto, a segunda fase do algoritmo utiliza a *tabu search* para melhorar as soluções que já foram processadas, movendo os pedidos entre as rotas, de forma a encontrar soluções ainda melhores. Este modelo foi testado com dados reais de um hospital alemão, no qual foi possível reduzir o tempo de espera entre passageiros e o número de veículos utilizados.

Na Tabela 3 podemos encontrar um resumo das restrições utilizadas para o problema Dial-a-Ride dinâmico.

### 3. Metodologia e Implementação

A entidade responsável pela mobilidade dos cidadãos de uma região, ou cidade, tem como objetivo principal, compreender os movimentos daqueles, melhorar as condições de transporte e/ou criar novas soluções. Tendo em conta a estratégia dessas entidades, é necessário perceber quais são as melhores soluções para se satisfazer esses cidadãos.

A questão colocada no final do capítulo 1.1 pode ter como solução o Strolling Dial-a-Ride Service.

#### 3.1. Strolling Dial-a-Ride Service

O Strolling Dial-a-Ride Service é uma ideia, que tem por base o serviço Dial-a-Ride.

O propósito deste serviço é transportar passageiros, após ser feito um pedido de transporte pelos mesmos, ou seja, o Strolling Dial-a-Ride Service é um transporte reativo, conforme a procura existente nesse serviço.

Tal como o Dial-a-Ride Service, esta nova variante pode atuar de forma estática ou dinâmica.

Os princípios do Autonomous Dial-a-Ride Transit, explicados no capítulo 2.1.2, são tidos em conta na definição deste serviço, principalmente os que se referem ao tratamento de pedidos. Como fora dito nesse capítulo, os pedidos são tratados automaticamente pelos veículos, evitando-se assim um centro de operações, exclusivamente criado com esse propósito.

O Strolling Dial-a-Ride Service é definido como um serviço que espera que os seus veículos tomem as decisões de inserir, ou não, novos passageiros. A este serviço foi também definido uma nova característica, que não é comum nos serviços clássicos do Dial-a-Ride: os passageiros terão de caminhar para serem transportados pelos veículos.

O serviço Dial-a-Ride é um serviço *door-to-door*, ou seja, transporta os passageiros dos seus pontos de origem até aos seus pontos de destino. No Strolling Dial-a-Ride Service, os passageiros terão de caminhar dos seus pontos de origem até um ponto onde entrarão no veículo para serem transportados.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Após o seu transporte, o veículo deixará este passageiro num ponto, onde esse terá de caminhar até ao seu ponto de destino.

Os pontos onde existem estas ações de entrada e saída de passageiros são chamados Action-Points (AP). Estes pontos estão definidos na rede da região ou cidade.

Em suma, esta nova variante do serviço Dial-a-Ride tem como diferença principal a necessidade dos passageiros caminharem para serem transportados, esperando-se, assim, uma diminuição nas distâncias percorridas pelos veículos, tendo em conta que as situações estudadas tenham as mesmas características.

### 3.2. Strolling Dial-a-Ride Problem

Tal como sucedeu para o serviço Dial-a-Ride, também para o Strolling Dial-a-Ride Service é criado um problema, onde se pode estudar este serviço, do ponto de vista de investigação. O problema é definido como Strolling Dial-a-Ride Problem (SDARP).

Este problema é estudado num cenário que tem como dimensões  $N \times M$ . É dentro destas limitações que tanto os veículos e passageiros se deslocam.

Os Action Points são pontos existentes nesse cenário e são pontos fixos. A localização destes pontos é pré-definida antes da análise do problema se realizar. É nestes pontos que os passageiros entram e saem dos veículos.

Os veículos que atuam no problema pertencem à mesma frota e comunicam entre si para escolherem os pedidos que são realizados ao longo do dia. A frota de veículos pode ser homogénea ou heterogénea. Cada veículo tem associada uma capacidade e uma velocidade, que é constante.

Cada passageiro apresenta uma velocidade que é constante.

Os pedidos de transporte, feitos pelos passageiros, apresentam várias características. Cada pedido está associado a um único passageiro, onde este pode pedir o transporte não só para ele, como também para outros que o acompanhem.

Ao realizar o pedido, o passageiro terá de indicar as coordenadas dos seus pontos de origem e de destino.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

O Strolling Dial-a-Ride Problem é um problema que tem em conta as janelas temporais, por isso, quando o passageiro realiza o pedido, esse terá de indicar a sua disponibilidade temporal para entrar e sair do veículo, de forma a chegar a horas ao seu destino. Essa disponibilidade temporal é representada por duas janelas temporais, uma para cada ação. Cada janela temporal apresenta um tempo mínimo e um tempo máximo.

Neste problema é esperado que os passageiros caminhem, como tal, quando um pedido é feito, também é necessário indicar a distância máxima que aquele pretende realizar. Visto que os passageiros terão de caminhar duas vezes, esta distância máxima é igual à soma das distâncias para cada um desses movimentos.

Resumidamente, o problema pode ser definido da seguinte forma:

- uma janela de interação com tamanho  $N \times M$ ;
- um conjunto de AP =  $\{ap_0, ap_1, \dots, ap_T\}$ , com  $T = \left(\frac{N}{APDirect}\right) \times \left(\frac{M}{APDirect}\right)$ ;
- APDirect é distância entre os vários Action Points;
- a frota do serviço é composta por um conjunto de veículos  $V = \{v_0, v_1, \dots, v_{(N-1)}\}$ ;

$N$  – Número de veículos presentes no problema;

- um conjunto de passageiros,  $P = \{p_0, p_1, \dots, p_{(N-1)}\}$ ;

$N$  – número de passageiros presentes no problema

- um conjunto de pedidos,  $R = \{r_0, r_1, \dots, r_{(N-1)}\}$ ;

$N$  – número de pedidos presentes no problema

Cada veículo ( $v_k$ ) apresenta as seguintes características:

- $C_k$ : capacidade do veículo;
- $S_k$ : velocidade do veículo

Cada passageiro ( $p_k$ ) tem as seguintes características:

- $S_k$ : velocidade do passageiro

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Cada pedido ( $rk$ ) é feito por um passageiro, pertencente a  $P$ . As suas características:

-  $(x_0, y_0)$  – coordenadas do ponto de origem.  $(0,0) \leq (x_0, y_0) \leq (N, M)$ ;

-  $(x_f, y_f)$  – coordenadas do ponto de destino.  $(0,0) \leq (x_f, y_f) \leq (N, M)$ ;

- Pickup  $[MinTime; MaxTime]$  – valores da janela de entrada;

Pickup  $MaxTime > Pickup MinTime$

- Delivery  $[MinTime; MaxTime]$  – valores da janela de saída;

Delivery  $MaxTime > Delivery MinTime$

- O primeiro valor da ação de saída, tem de ser maior ao segundo valor da ação de entrada;

Delivery  $MinTime > Pickup MaxTime$

-  $N_{pass}$  – número de passageiros de  $rk$ ;

-  $x_{max}$  – distância máxima que o passageiro está disponível para caminhar.

### 3.3. Função de Custo

A razão para a existência de uma função de custo é a utilização desta no problema e na simulação, de forma a que se escolha a melhor possibilidade, entre todas as que podem ser inseridas nos veículos. Esta função de custo, calcula o custo associado a dois valores temporais e a um valor de distância.

$$cost\ function = DP \times DF \times DetourDist + WP \times WF \times WaitT + WalkP \times WKF \times WalkT$$

**DP** – Custo Quilométrico do desvio [€/Km];

**DF** – Fator de peso à distância percorrida pelo veículo no desvio;

**DetourDist** – Distância percorrida pelo veículo ao fazer o desvio;

**WP** – Custo associado ao tempo que o passageiro espera;

**WF** – Fator de peso ao tempo de espera do passageiro;

**Wait T** – Tempo de espera do passageiro;

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

**WalkP** – Custo associado ao tempo que o passageiro caminha;

**WalkT** – Tempo que o passageiro caminha;

**WKF** – Fator de peso da distância caminhada pelo passageiro.

O valor de distância é atribuído com base no desvio que o veículo necessita de realizar de forma a que seja possível realizar as tarefas de entrada e de saída para esse pedido. Este desvio é uma adição que é dada à rota do veículo, ou seja, se um veículo já tiver uma lista de tarefas, a posição da nova tarefa (criada a partir de um novo pedido) é colocada entre essas tarefas e a diferença de distâncias entre as tarefas existentes e a nova tarefa é o desvio. Esta diferença é a adição dada à rota e é este valor que é atribuído à variável **DetourDist**.

O primeiro valor do tempo de espera é o tempo entre a altura em que o passageiro entra no veículo e o valor mínimo da janela temporal que esse definiu.

O segundo valor temporal está associado à distância total caminhada pelo passageiro, entre o seu ponto de origem e ponto de entrada e, também, entre o seu ponto de saída e o ponto de destino. Tendo em conta esta distância e a velocidade do passageiro, tem-se o tempo que este despende para caminhar durante a sua viagem.

O custo associado ao desvio que um veículo tem de fazer para transportar um passageiro é cerca de 0.6€/Km. Os custos relacionados com os passageiros para o tempo de espera e para o tempo a caminhar são 24€/Hora e 18€/Hora, respetivamente. Os valores de custo para o desvio do veículo foram estimados a partir do “Handbook on estimation of external costs in the transport sector” do projeto europeu IMPACT (Maibach et al., 2008). Tanto o tempo de espera e o tempo de caminhada dos passageiros foram majorados tendo em conta o tempo de viagem puro.

Os três fatores, associados com os valores acima descritos, são utilizados para manipular o comportamento da simulação. Com estes três fatores, é possível verificar os efeitos de cada uma das parcelas. Os valores dos fatores podem variar entre 0 e 1, sendo que o primeiro representa o desprezo total de uma parcela, enquanto que o segundo reproduz a priorização total dessa parcela.

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

### **3.4. Algoritmo direcionado ao Strolling Dial-a-Ride**

Para resolver este problema, um algoritmo foi criado, tendo em conta as várias vertentes do problema, nomeadamente as características dos intervenientes (veículos, passageiros e Action Points) e as janelas temporais que os passageiros colocam nos pedidos.

Como fora anteriormente explicado, o Strolling Dial-a-Ride Service utiliza a ideia desenvolvida no Autonomous Dial-a-Ride Transit para o algoritmo, ou seja, o algoritmo é responsável pela atribuição dos pedidos, através dos veículos.

O algoritmo reproduz o processo de decisão por parte dos veículos da frota. O objetivo é atualizar as rotas e os horários das tarefas, conforme os pedidos vão chegando durante o dia.

Em primeiro lugar, são analisadas as várias combinações de Action-Points que cada passageiro tem. Cada combinação tem associados dois Action-Points, um para a entrada do passageiro e outro para a saída do mesmo. Uma combinação é válida quando a distância caminhada pelo passageiro do seu ponto de origem, para o Action-Point de entrada e a distância entre o Action-Point de saída e o ponto de destino, não ultrapassa o valor máximo que o passageiro estipulou, na altura em que fez o pedido.

Na Figura 4 - Possíveis Action Points de Entrada e de Saída, pode-se verificar um simples exemplo, onde estão os possíveis Action-Points de entrada e de saída para um passageiro.

Com esta informação, cada veículo verifica quais são as coordenadas dos pontos onde este pode apanhar e entregar o passageiro.

O veículo que está a analisar o novo pedido deverá verificar algumas situações para aceitar este pedido.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

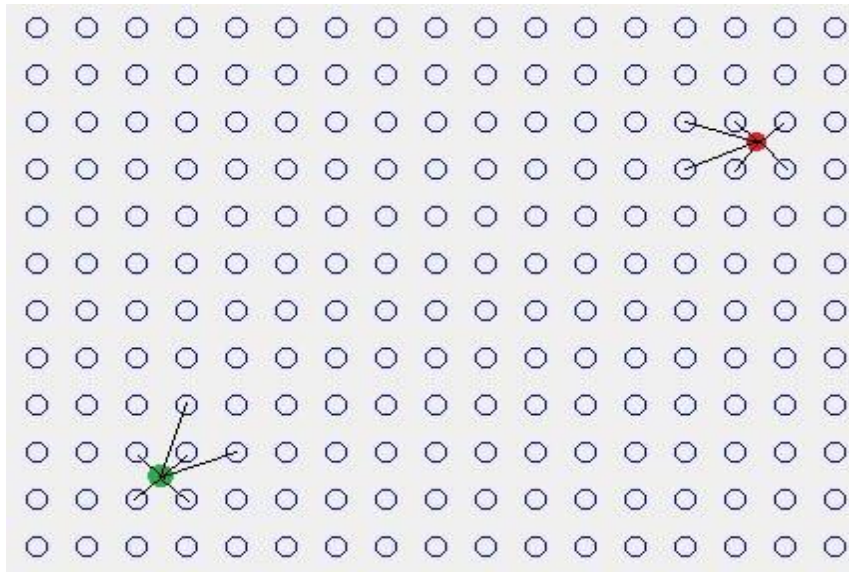


Figura 4 - Possíveis Action Points de Entrada e de Saída

Começando pelo caso mais simples, o de não ter quaisquer tarefas atribuídas, o veículo terá de verificar duas situações. A primeira é se, consoante a sua posição atual, consegue chegar a tempo de apanhar o passageiro, ou seja, se a altura em que o veículo chega ao Action-Point está entre os valores mínimos e máximos da janela temporal do passageiro. A segunda situação a verificar é se o veículo consegue entregar o seu passageiro no Action-Point de destino, dentro da janela temporal.

Se a solução for válida, o veículo regista a distância que terá de percorrer para satisfazer este pedido, o tempo que o passageiro terá de esperar para ser transportado e, também, a distância que terá de caminhar durante o processo de transporte.

Com estes três registos, o veículo vai utilizar a função de custo, para saber o valor atribuído à realização deste pedido. O custo é guardado pelo veículo.

Estas verificações são feitas para todas as possíveis combinações de Action-Points.

A opção que o veículo apresenta é a que apresenta o custo mais baixo de inserção.

O caso mais complexo é aquele quando o veículo já tem tarefas atribuídas. Neste caso, irão ser feitas mais algumas verificações que no caso mais simples.

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

Supondo que em dada altura do dia, um passageiro faz um pedido de transporte. Um dos veículos da frota já tem tarefas agendadas para realizar e recebe a informação do novo pedido.

Existem várias possibilidades de inserção, no entanto ter-se-ão de verificar algumas condições. Em primeiro lugar, a primeira tarefa a ser colocada é a de entrada do passageiro. Esta tarefa pode ficar antes da primeira tarefa já agendada; entre as várias tarefas já existentes; depois da última tarefa agendada.

No caso de se estar a analisar antes da primeira tarefa agendada, o veículo terá de verificar se chega a tempo de realizar essa nova tarefa, consoante a posição atual dele. Ao mesmo tempo terá de verificar se tem capacidade para suportar esse novo passageiro e, também, se a entrada desse passageiro vai prejudicar a entrada de futuros, que já estavam agendados.

Algo que também terá de ser verificado é se a entrada deste passageiro vai fazer com que outras tarefas sejam realizadas fora da janela temporal, ou seja, depois do tempo máximo da janela temporal.

Se a análise estiver a ser feita, depois da última tarefa, o veículo terá de verificar se depois de terminar a última tarefa, consegue chegar a tempo de realizar a nova tarefa, consoante a posição da última tarefa, que é o ponto de partida para a nova operação.

No caso de a análise estar a ser realizada entre as tarefas, o veículo verifica se consoante a posição das tarefas agendadas, chega a tempo de realizar a nova. Também terá de verificar se a inserção de uma nova tarefa, vai afetar a realização das que já foram agendadas, ou seja, se chegará atrasado às tarefas. Depois disto, verifica se tem capacidade para suportar um novo passageiro entre as tarefas e, também, se isto não afeta a entrada de novos passageiros já agendados.

Depois de atribuída a tarefa de entrada do passageiro, o veículo terá de verificar se é possível colocar a tarefa de saída do passageiro. As verificações são exatamente as mesmas que as que são feitas para a tarefa de entrada, sendo

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

que a diferença é que a ordem de inserção terá de ser sempre depois da tarefa de entrada.

Quando todas as possibilidades, se existirem, forem analisadas e validadas, o veículo vai escolher a melhor de todas, baseando-se na função de custo descrita no presente documento.

Este processo é feito para cada veículo.

Após cada veículo apresentar a sua melhor solução, se tiver, ocorre a fase de “leilão”, onde o veículo que apresentar a solução com o custo mais baixo, é o veículo que adiciona as tarefas de entrada e de saída do novo passageiro.

### **3.5. Simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem**

Uma das ferramentas mais importantes para a ciência, é a simulação. A simulação é o ato de produzir uma experiência, baseada num propósito teórico, onde se apresentam as condições de uma experimentação real. Com a utilização da simulação, é possível antever de que forma se comporta o propósito teórico, antes de ser necessária a experimentação.

Um fator muito importante que resulta da simulação é o aspeto da abordagem. Tendo um modelo teórico definido e aplicado a uma plataforma de simulação, é possível testar várias vezes o mesmo modelo, de forma a que se possam obter dados suficientes para compreender o comportamento do modelo. Esta abordagem permite ter um ponto de vista geral do modelo. Uma outra forma de abordar a simulação é a procura das condições iniciais, para que se possa obter determinado resultado, ou seja, o objetivo é encontrar todos os aspetos referentes à simulação que permitem que se chegue a um resultado desejado. Este ponto de vista é mais objetivo.

A abordagem de simulação que foi usada para o desenvolvimento deste tema é a abordagem mais geral, ou seja, o simulador foi criado com o propósito de perceber quais são os resultados obtidos, com a variação de pressupostos iniciais. Embora a maneira como o simulador permite explorar os mais variados tipos de resultados, o objetivo é perceber o comportamento do modelo do Strolling Dial-a-Ride Problem e analisar os resultados.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

O simulador utilizado neste estudo tem o objetivo de representar a interação entre um conjunto de veículos, que pertencem à frota do Strolling Dial-a-Ride Service, e um número de passageiros, que pretendem ser transportados dos seus pontos de origem até aos seus pontos de destino.

O simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem foi criado, de maneira a que existisse uma independência de cada agente, ou seja, cada veículo e cada passageiro são considerados objetos. Visto que cada um tem as suas próprias características, a melhor maneira de desenhar um simulador que pudesse replicar esses objetos teria de utilizar uma linguagem computacional, onde é possível realizar uma programação orientada a objetos. A linguagem escolhida foi o C#, visto que é uma das mais comuns no mundo computacional, para resolver este tipo de problemas. Com este tipo de linguagem, consegue-se simular o movimento dos veículos e passageiros, sendo que cada um destes agentes apresenta algumas características e funções específicas.

Este software simula o movimento de veículos e de passageiros e, como tal, é importante existir uma componente gráfica, que permita verificar o correto funcionamento dos agentes. Como tal, foi criado um interface gráfico que permitisse visualizar os movimentos dos vários agentes, durante o tempo de simulação.

A definição do problema implica uma janela de simulação com as dimensões  $N \times M$ , como tal o simulador terá um mapa de interação entre agentes, com essas dimensões. Para isto, foi considerado um tamanho de janela, similar com o tamanho de uma cidade pequena. O tamanho desta cidade foi considerado 6km por 6km, isto porque o alvo deste tipo de investigação está orientado para cidades com este tipo de tamanho. No modelo computacional desenvolvido, as unidades de comprimento são as unidades *pixel*. Decidiu-se que a janela do modelo, deveria ter um tamanho de 700 pixels por 700 pixels.

Esta decisão permite ter uma base para a conversão de valores ditos “reais” para “virtuais”.

O cenário de simulação criado apresenta um conjunto de Action-Points espalhados na janela, criando assim a rede de interação entre veículo e passageiro. Num cenário de experimentação real, estes Action-Points estariam

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

em zonas onde a procura de transporte fosse maior, tendo um grande número em pontos de atração de viagens, como hospitais, zonas culturais e de lazer, locais com uma grande densidade de emprego e equipamentos escolares. No entanto, como o modelo é uma representação teórica do problema, foi decidido que estes Action-Points estariam espalhados pelo cenário com distâncias entre eles iguais, ou seja, os pontos estariam equidistantes uns dos outros.

### 3.5.1. Classes do Simulador

A programação orientada a objetos utiliza um sistema de classes. Uma classe pode ser definida como o modelo de um objeto, ou seja, um objeto é criado tendo características e funções que são definidas pela classe. Utilizando o exemplo do objeto veículo, este é criado tendo em conta as características típicas de um veículo, que são o movimento, a entrada e saída de passageiros. Estas características são ditadas pela classe responsável do veículo.

Este simulador apresenta seis classes, que são utilizadas para criar objetos cruciais para o correto funcionamento daquele.

As duas classes mais importantes deste simulador são as classes Vehicle e Passenger. Se tivermos atenção, os objetos criados por estas duas classes apresentam características e funções comuns, tais como a posição dos objetos na janela do simulador; a posição que pretendem viajar; o facto de cada um apresentar uma velocidade de movimento; e a habilidade de se movimentarem no cenário.

Visto terem características e funções comuns, é criada uma classe denominada MovingObject. Todas essas características e funções são definidas nesta classe.

Apesar de serem definidas pela classe MovingObject, os veículos e os passageiros apresentam características diferentes entre si.

A classe Vehicle tem três atributos específicos: Capacity; CurrentOccupancy; e VTaskList. O primeiro é responsável por atribuir a quantidade de assentos que cada veículo tem à sua disposição para colocar passageiros e é do tipo inteiro. O segundo atributo é responsável por registar a quantidade de assentos utilizados em cada momento da simulação e é do tipo inteiro. O último é uma lista de objetos, que são definidos por uma classe chamada Task.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Cada objeto criado pela classe Vehicle tem três funções específicas: `passengerThere()`, `TellPassEnter()` e `TellPassExit()`. A primeira função serve para verificar se na altura em que o objeto veículo está num Action-Point para ir buscar um passageiro, este encontra-se nesse mesmo Action-Point à espera para entrar no veículo. Como é uma função que tem um resultado tipo booleano (resulta num valor Verdadeiro ou Falso), enquanto este for Falso, a função continua ativa até retornar um valor Verdadeiro, ou seja, continua ativa até o passageiro encontrar-se no mesmo Action-Point que o veículo. A segunda função é utilizada quando a função anterior tiver um resultado Verdadeiro, isto é, quando o passageiro estiver no mesmo Action-Point que o veículo, este dá autorização ao passageiro para entrar e ser transportado. A terceira e última função “`TellPassExit()`” é utilizada quando o veículo se encontra no Action-Point de saída de um passageiro, dando a indicação a este que deve sair.

Os objetos definidos pela classe Passenger apresentam várias características específicas.

A primeiro é o tempo de criação do objeto que é denominado de  $t_0$ . É nesta altura temporal que o passageiro aparece no cenário de simulação. Os atributos ACOX e ACOY são valores inteiros que representam a posição do Action-Point de entrada para cada passageiro. O mesmo acontece para o Action-Point de saída que tem como coordenadas (ACDX,ACDY).

Cada passageiro tem as suas janelas temporais para entrar e sair do veículo e são definidas por estas quatro características: `OriginTMin`; `OriginTMax`; `DestinTMin`; `DestinTMax`. A janela temporal de entrada é representada como `[OriginTMin; OriginTMax]` e a de saída `[DestinTMin; DestinTMax]`.

De forma a indicar ao sistema que está disponível para entrar ou sair de um veículo, o passageiro tem duas características que definem essas possibilidades: `Enter` e `Exit`.

Um valor que está associado a um passageiro é o valor de distância máxima que ele pretende caminhar para realizar a sua viagem. Este valor é guardado em cada passageiro e é definido como `maximumDistance`.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Existem três valores que representam um registro de atividade do passageiro, que são o tempo em que este entrou no veículo; o tempo em que saiu; e o tempo que esteve à espera para entrar no veículo. Estas variáveis são definidas como `timeWhenPicked`; `timeWhenDelivered`; `waitingTime`, respectivamente.

Uma classe que já foi referida na explicação da classe Vehicle, é a classe Task. Existem dois tipos de objetos que derivam da classe `Task`: as tarefas de ir buscar um passageiro e as de o ir entregar. Estas tarefas necessitam de informação referente à posição espacial das mesmas, que são definidas pelas características `x` e `y`. Ao mesmo tempo, cada tarefa tem um tempo mínimo e máximo de execução, que estão associadas às variáveis `TaskTimeMin` e `TaskTimeMax`. Uma tarefa é denominada tarefa de entrada de um passageiro, se a sua variável `Status` tiver um valor inteiro igual a zero, enquanto que se for denominada tarefa de saída de um passageiro tem o valor inteiro igual a um.

A existência da classe StorageInput tem como propósito guardar os valores de input que são colocados pelo utilizador, que depois serão utilizados na simulação. Esta classe tem seis atributos que são os seis valores de input que são requeridos.

A classe Hyphotesis é a classe responsável por criar uma possibilidade de inserir um pedido no veículo. Cada objeto Hyphotesis tem associado um veículo, que a calculou, as duas tarefas de entrada e saída do passageiro (`PickupTask` e `DeliveryTask`), o custo da hipótese e os vários fatores utilizados na função que determina o custo. Esta é a classe mais importante entre as seis, porque é onde é aplicado o algoritmo de escolha dos veículos. Aqui estão os métodos de cálculo para a distância percorrida pelo veículo para um dado pedido; a distância caminhada pelo passageiro; e o tempo de espera para o mesmo.

Na Figura 5 podemos observar um diagrama das classes utilizadas neste simulador, com as variáveis mais relevantes.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

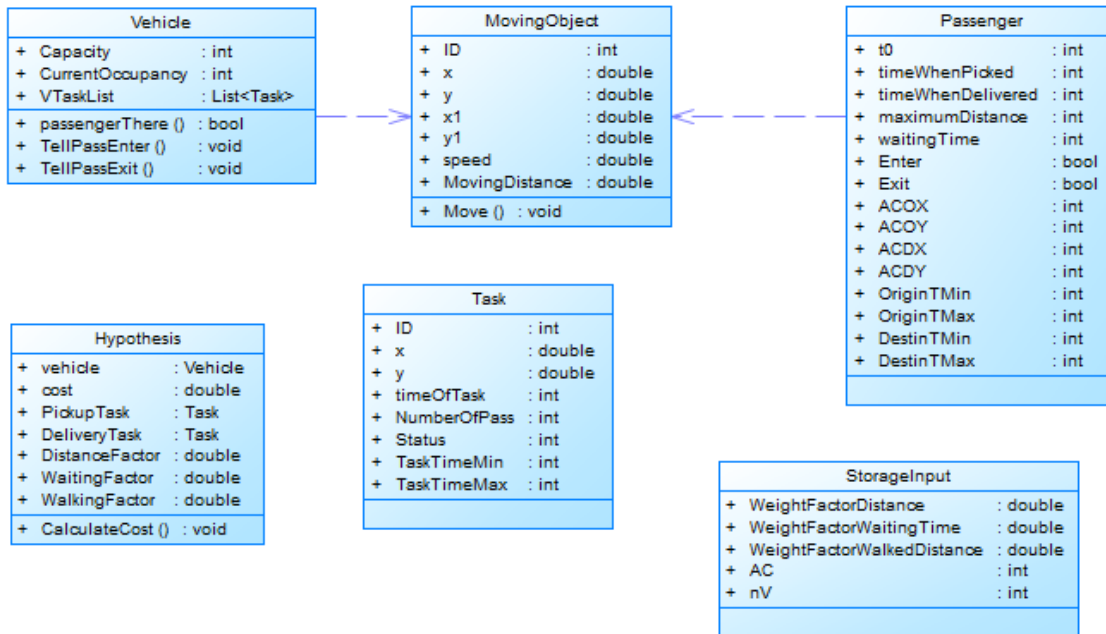


Figura 5 - Diagrama de Classes do Simulador

### 3.5.1. Estrutura do Simulador

A estrutura geral do simulador está representada pela Figura 6 - Estrutura do Simulador, onde no primeiro passo “**Iniciar APs()**”, o simulador calcula o número necessário de Action Points para a simulação, tendo em conta a distância entre cada um. Este passo permite determinar a posição destes pontos na janela de simulação. Quando atua o “**Iniciar Vehicles()**”, o simulador cria os veículos, com todas as suas características, tais como a sua posição original na rede, o seu ID e a sua lista de tarefas.

O passo “**Iniciar Passengers()**” cria os passageiros, baseando-se no *input* feito pelo utilizador e preenche todas as características necessárias, tais como os pontos de origem e de destino; a distância máxima que pretendem caminhar e, também, as janelas temporais para entrarem e saírem do veículo.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

```
Iniciar APs()
Iniciar Veículos()
Iniciar Passageiros()
Iniciar Simulação
{
    While( $t \leq t_{max}$ )
    {
        Passo de Simulação();
        Desenhar Vehicles();
        Desenhar Passengers();
    }
}
```

Figura 6 - Estrutura do Simulador

No “**Iniciar Simulação**”, todo o processo de simulação começa. Enquanto  $t$  (passo de simulação) for menor ou igual que  $t_{max}$  (tempo máximo de simulação), os seguintes passos são realizados.

Quando o passo “**Passo Simulação()**” inicia, conforme demonstrado na Figura 7, este começa por verificar se num dado  $t$ , existem novos pedidos de transporte, para serem processados. Se existem, o algoritmo do simulador verifica se é possível inserir este novo pedido na lista de tarefas de cada veículo. Esta verificação baseia-se na capacidade do veículo, entre as tarefas que já existem na sua lista. Se a inserção das novas tarefas não provocar atrasos às tarefas que já foram processadas, essa inserção é válida. O algoritmo do simulador atua como um “leilão” entre todos os veículos presentes na rede, ou seja, cada veículo comunica com todos os veículos e, se a inserção desse pedido for possível, apresenta um determinado custo. Este custo está associado a uma função de custo, que é uma função que determina o custo de inserção de certo pedido. Depois de comunicarem entre si, o veículo com o custo de inserção mais baixo é o escolhido para adicionar essas tarefas à sua lista, para que as possa efetuar. Neste passo, os passageiros que realizaram os pedidos são informados, em que Action Points estes vão entrar e sair do veículo. Caso os pedidos sejam impossíveis de serem inseridos, os passageiros não recebem informação.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

```
Passo de Simulação
{
    Verificar Existência de Novos Pedidos();
    Processar Novos Pedidos
    {
        if (Novos pedidos são Fazíveis)
        {
            Adicionar Novas Tarefa ao
                veículo Escolhido

            Informar Passageiros dos
                Pontos de Entrada
                e Saída
        }
    }

    Calcular o Movimento dos Veículos();
    Calcular o Movimento dos Passageiros();
}
```

*Figura 7 - Estrutura do Passo de Simulação*

Depois de terminado o processo de colocação dos novos pedidos, o simulador continua ao calcular o movimento dos veículos e dos passageiros.

Quando o passo de simulação termina, o simulador desenha tanto os passageiros, como os veículos, baseando-se nos cálculos efetuados acima.

### 3.5.2. Escala e valores relevantes do modelo

Visto que o simulador é capaz de criar a interação entre passageiros e uma frota de veículos, o tamanho da cidade em questão é uma das características mais importantes e esse foi considerado similar ao de uma cidade pequena/média.

O tamanho desta cidade fictícia foi considerado como 6 km x 6 km, que no modelo computacional é igual a 700 pixels x 700 pixels. Este pressuposto é a base para futuros valores de velocidade e distâncias, presentes no modelo de simulação.

Neste modelo, o tempo de serviço foi considerado igual ao tempo normal de serviço de um sistema de transportes públicos, especificamente de um serviço de autocarros. Este tipo de serviço, por norma, começa às 06:00 e termina às 21:00. Visto que o serviço atua durante 15 horas e, cada passo de simulação é igual a um minuto, o tempo máximo de simulação é igual a 900 passos.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Em termos das características dos veículos, a velocidade média considerada é igual à velocidade média de um sistema de autocarros, que é sensivelmente 25 km/h. Esta velocidade tem em conta a flutuação de tráfego durante o dia e, ao mesmo tempo, o tempo necessário para a entrada e/ou saída de passageiros do veículo, nas paragens (Action Points). Neste modelo, a velocidade é convertida para unidades úteis para o simulador, ou seja, esta velocidade é igual a 50 pixels/passos. A capacidade para cada veículo é igual a 9 lugares, que é aproximadamente igual aos veículos utilizados no serviço Dial-a-Ride.

A velocidade média de um ser humano é igual a 5 km/h e, para este modelo, foi considerada igual a 10 pixels/passos.

A distância entre Action Points foi de 200 metros, que quando convertidos são aproximadamente 25 pixels.

### 3.5.3. Limites para os pedidos

A geração de pedidos é feita de forma aleatória, para que sejam geradas viagens de vários tipos, tais como viagens de grande e média distância, à escala da cidade em questão. Visto que a aplicação do serviço Strolling Dial-a-Ride, para este modelo, é feita numa cidade com tamanho pequeno/médio, as viagens curtas foram desprezadas, nessa geração. As viagens curtas são consideradas viagens em que um passageiro pode fazer num tempo máximo de 10 minutos, ou seja, são viagens que o passageiro, em condições normais, não iria pedir o transporte de um veículo e, como a geração é aleatória, algumas destas viagens poderiam aparecer e não seriam dados relevantes para tirar conclusões do modelo.

A geração de viagens também teve em conta a não criação de viagens que são impossíveis de realizar, dadas as janelas temporais impostas pelos passageiros. Por exemplo, se um passageiro dá um espaço de tempo muito limitado entre cada janela temporal e, ao mesmo tempo, o tempo de viagem direto entre o ponto de entrada e de saída for muito elevado, esse pedido não é possível de concretizar.

De forma a obter resultados relevantes da simulação, estes dois limites foram considerados para a geração de pedidos.

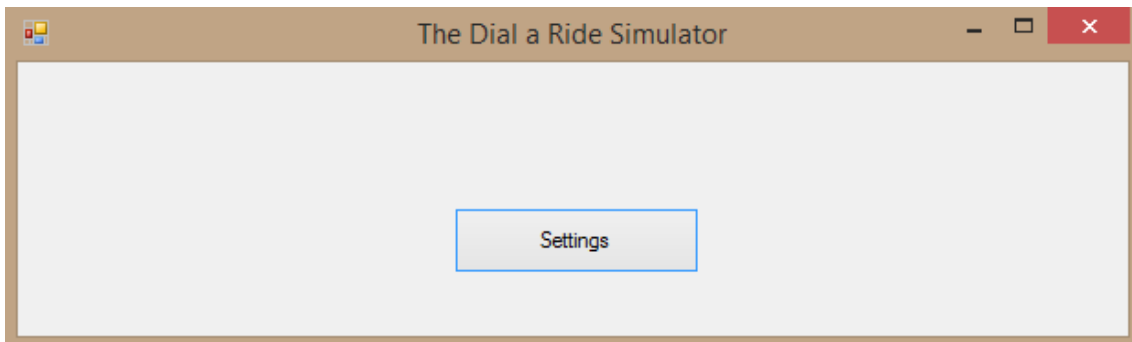
## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

Existem outras duas limitações, mas estas estão relacionadas com a distância mínima a percorrer pelos passageiros. A distância a percorrer por estes é igual à soma das distâncias entre os pontos de origem e o ponto de entrada, e entre o ponto de saída e o ponto de destino. O primeiro limite representa a distância mínima percorrida pelo passageiro entre o ponto de origem até ao Action Point mais próximo (para a entrada do veículo), e a distância entre o ponto de destino e o Action Point mais próximo (para a saída do veículo). A segunda limitação é a consideração de uma distância máxima realizada pelo passageiro, que é considerada confortável, ou seja, essa distância é igual ao equivalente a caminhar durante 15 minutos. Esta distância, convertida para o modelo, é igual a 146 pixels.

### 4. Resultados

Para conseguir realizar a simulação e obter resultados, o software necessita de um input de dados. Os dados inseridos no simulador são referentes a todos os intervenientes do simulador, ou seja, o input terá de ter valores relacionados com os passageiros, veículos.

Quando se inicia o simulador, a janela principal apresenta um único botão, onde o utilizador ao carregar é obrigado a colocar os dados referentes aos intervenientes do Strolling Dial-a-Ride Problem, conforme demonstra a Figura 8.



*Figura 8 - Janela Principal do "Strolling Dial-a-Ride Simulator"*

Conforme está demonstrado Figura 9 - Janela das Settings do "Strolling Dial-a-Ride Simulator", o utilizador terá de colocar os dados referentes ao número de veículos utilizados na simulação, bem como o número de passageiros que irão realizar pedidos de viagem.

Os fatores de peso para a função de custo, criada para este problema, também são necessários, visto que são estes pesos que irão perceber a afetação que cada um destes tem perante os resultados finais da simulação.

A distância entre os Action-Points também é um dado a colocar, se o utilizador estiver interessado na influência que essa distância tem sobre os resultados obtidos pela simulação.

Para que o simulador consiga encontrar as diretorias de *input* e *output*, é necessário que o utilizador indique nos respetivos campos, a localização dos ficheiros a utilizar para fazer a simulação e, ao mesmo tempo, o local no seu computador onde os ficheiros referentes aos resultados devam ser colocados.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

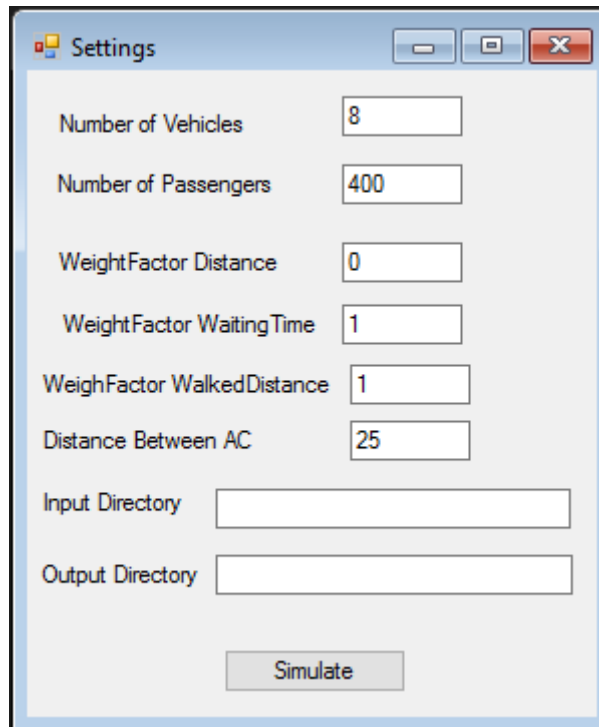


Figura 9 - Janela das Settings do "Strolling Dial-a-Ride Simulator"

De maneira a que os resultados tivessem mais preponderância, decidiu-se criar um conjunto de amostras de dados referentes aos passageiros, sendo que o número de amostras utilizado foi de 100, onde cada uma contém 400 passageiros.

Cada amostra contém os dados necessários para que o simulador possa criar as condições de obtenção de resultados. Esses dados são referentes aos passageiros e estão relacionados com os locais de origem e destino e as janelas temporais de cada um. As amostras são ficheiros do tipo ".txt", em que estão dispostos os dados por cada linha, onde cada dado está identificado pelos seguintes campos:

- pID – este valor é o que identifica o passageiro;
- pox – este valor indica a posição em X do ponto de Origem do passageiro;
- poy – este valor indica a posição em Y do ponto de Origem do passageiro;
- pdx – este valor indica a posição em X do ponto de Destino do passageiro;

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

- `pdY` – este valor indica a posição em Y do ponto de Destino do passageiro;
- `t0` – este valor indica a altura durante a simulação, em que o passageiro efetua o pedido à rede de veículos;
- `pick_Min` – este valor indica a altura a partir da qual o passageiro pode ser recolhido pelos veículos no seu Ponto de Origem;
- `pick_Max` – este valor indica a altura máxima até que o passageiro está disponível para ser recolhido pelos veículos no seu Ponto de Origem;
- `del_Min` – este valor indica a altura a partir da qual o passageiro pode ser libertado pelos veículos no seu Ponto de Destino;
- `del_Max` – este valor indica a altura máxima até que o passageiro pode ser libertado pelos veículos no seu Ponto de Destino.

```
0,154,395,217,637,6,20,38,26,57  
1,331,360,295,187,17,48,68,52,95  
2,691,86,451,50,44,65,81,70,108  
3,567,214,480,22,30,44,67,49,88  
4,604,228,466,288,30,42,66,46,75  
5,666,88,699,385,26,39,60,46,72  
6,81,449,601,306,17,56,74,68,107  
7,288,278,70,560,27,45,60,53,76
```

Figura 10 - Estrutura de dados Input

Na Figura 10 pode-se verificar a estrutura necessária de dados, de forma a que o simulador consiga compreendê-los.

Os ficheiros “.txt” utilizados devem ser nomeados como: “pass0”, “pass1”, ..., “pass99”. Os números para além de servirem para o utilizador conseguir distinguir os ficheiros uns de outros, servem também para que o software consiga perceber que está a tratar de um ficheiro distinto, fazendo com que simule um ficheiro novo, depois de o antigo terminar.

Ao inserir a diretoria de *output*, o utilizador deverá obter dois ficheiros de resultados, em que o primeiro é referente aos dados dos passageiros e o segundo está relacionado com os dados dos veículos. O primeiro ficheiro é denominado “output\_results\_passengers” e o segundo “output\_results\_vehicles”.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

O primeiro ficheiro terá dados referentes a campos relacionados com os passageiros, tais como:

- plD – este valor é o que identifica o passageiro;
- pick\_Min – este valor indica a altura a partir da qual o passageiro pode ser recolhido pelos veículos no seu Ponto de Origem;
- pick\_Time – este valor indica a altura em que o passageiro foi efetivamente recolhido pelo veículo no seu Ponto de Origem;
- pick\_Max – este valor indica a altura máxima até que o passageiro está disponível para ser recolhido pelos veículos no seu Ponto de Origem;
- del\_Min – este valor indica a altura a partir da qual o passageiro pode ser libertado pelos veículos no seu Ponto de Destino;
- del\_Time – este valor indica a altura em que o passageiro foi efetivamente libertado pelo veículo no seu Ponto de Destino;
- del\_Max – este valor indica a altura máxima até que o passageiro pode ser libertado pelos veículos no seu Ponto de Destino;
- walked\_Distance – este valor indica a distância efetivamente caminhada pelo passageiro entre os pontos de ação e os pontos de Origem e Destino.

```
29,38,38,55,51,58,68,15.2340226089306
8,15,15,34,21,21,62,32.5133863975829
33,37,37,58,45,56,74,79.7528969040031
25,43,54,65,51,65,91,23.7134352969069
24,39,39,57,48,54,87,29.7748519865487
0,20,20,38,26,26,57,35.1115819984602
21,27,27,42,35,35,71,39.079818692249
19,41,42,56,45,46,64,9.68831380576221
32,39,39,59,43,66,79,38.9709054962869
```

*Figura 11 - Estrutura de dados de Ouput - Passageiros*

Na Figura 11 pode-se verificar a estrutura dos resultados referentes aos passageiros, ordenados pelos campos acima explicados.

O segundo ficheiro obtido pelo simulador está relacionado com os resultados dos veículos presentes na simulação. Os resultados apresentados estão associados aos seguintes campos:

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

- vID – este valor é o valor que identifica o veículo;
- moving\_Distance – este valor representa a distância total viajada por cada veículo em cada simulação.

```
0,28243.2055500042
1,28411.8923518958
2,27896.7744857478
3,22948.8455394995
4,23936.1997581035
5,22013.7608589122
6,20895.8937961829
7,21101.5333001692
```

*Figura 12 - Estrutura de dados de Output - Veículos*

Com estes resultados foi possível verificar qual a distância percorrida por cada um dos veículos ao longo de toda a simulação, de forma a poder perceber a influência da função de custo, na distância viajada pelos veículos.

Os resultados obtidos pelo simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem são dados em bruto durante as 100 simulações realizadas, no entanto os resultados que foram analisados são os seguintes:

- Tempo médio de espera dos passageiros, em minutos;
- Distância média caminhada dos passageiros, em metros;
- Distância média viajada dos veículos, em quilômetros;
- Distância total viajada dos veículos, em quilômetros.

Estes resultados são os resultados escolhidos para que se pudesse fazer uma análise das várias variáveis presentes no simulador, como o número de veículos utilizados e os fatores de função de custo.

### 4.1. Combinações de fatores simulados

Antes de serem revelados os resultados obtidos no simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem, ter-se-á de explicar uma estratégia utilizada para perceber o efeito da função de custo nos resultados.

A função de custo apresenta três fatores relacionados com o serviço de transporte e a qualidade de serviço prestada aos passageiros. O primeiro está relacionado com a distância percorrida pelos veículos aquando do desvio

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

realizado para adicionar um novo passageiro. O segundo está relacionado com o tempo de espera, de cada passageiro, e o terceiro é um fator referente à distância, que cada passageiro terá de caminhar durante todo o processo de viagem.

A atribuição de valores a estes fatores faz com que a função de custo tome comportamentos distintos e, como tal, utilizaram-se algumas combinações, de forma a compreender esses comportamentos.

A primeira combinação escolhida é a de priorizar todos os intervenientes, ou seja, os três fatores apresentavam o mesmo valor de peso na função. Decidiu-se, então, atribuir para cada um deles, o valor de 1, que significa que a função tem em conta todos os valores, com um peso de 100%. Compreende-se, assim, que tanto o passageiro, como o veículo, têm a mesma importância para as simulações, sendo que os resultados são os melhores possíveis para todos os intervenientes.

A segunda combinação escolhida é a de priorizar apenas o serviço, ou seja, só o fator relacionado com o veículo é priorizado. Assim, atribuiu-se o valor de 1 ao fator ligado à distância percorrida pelo veículo para apanhar e entregar um passageiro. Tendo um peso de 100% neste fator, espera-se que as distâncias percorridas sejam mais baixas que a combinação anterior, visto que é o único elemento da função de custo a ser tido em conta. Como consequência, os valores referentes ao passageiro deverão ter piores resultados que a combinação anterior.

A terceira combinação escolhida é a de priorizar apenas a qualidade de serviço prestada aos passageiros. Com isto, os fatores relacionados com o tempo de espera e de distância caminhada têm valores de 1, enquanto que o fator de distância viajada pelos veículos é igual a 0. Segundo este princípio, espera-se que os resultados referentes aos passageiros sejam mais baixos que as duas combinações acima, enquanto que os resultados relacionados com os veículos sejam mais elevados que essas mesmas combinações.

Com esta estratégia, o objetivo passa por verificar a veracidade da função de custo, de forma a que os intervenientes desta simulação sejam devidamente priorizados, quando é caso para tal. Outro objetivo é analisar os resultados

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

obtidos de situações de priorização máxima e se os resultados são viáveis, para um transporte público coletivo, como o Strolling Dial-a-Ride Service.

### 4.2. Resultados do SDARP

#### 4.2.1. Resultados do SDARP – Primeira Combinação de Fatores

Os resultados obtidos para a primeira combinação de fatores (todos os valores são priorizados com o máximo valor) estão representados na Tabela 4.

Ao analisarem-se os resultados, verifica-se que quando o número de veículos nas simulações aumenta, os valores médios de tempos de espera, distância caminhada e distância viajada diminuem. Isto acontece porque o aumento do número de veículos, faz com que existam mais soluções possíveis, fazendo com que estes valores diminuam.

Os tempos de espera dos passageiros apresentam valores entre os 4,25 e os 5,54 minutos. Este último valor representa o tempo médio de espera de um passageiro, quando existem 8 veículos no tempo de simulação. Quando esse número de veículos passa para 9, o tempo de espera sofre um decréscimo a rondar os 11%.

Tabela 4 - Resultados da Primeira Combinação

		8	9	10
Veículos e Passageiros são priorizados a 100% na função de custo	Tempo Médio de Espera (min)	5,54	4,95	4,25
	Distância Média Caminhada (metros)	436,62	429,74	424,61
	Distância Média Viajada (Km)	193,66	181,13	169,79
	Distância Total Viajada nas 100 Simulações(Km)	154928,40	163018,19	169786,37

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Comparando o caso de 8 veículos, com o de 10 veículos, verifica-se que existe um elevado decréscimo de tempo de espera, que é sensivelmente igual a 23%. Quando se analisam os resultados entre as situações com 9 e 10 veículos verifica-se, também, um decréscimo, que apresenta um valor de 14%.

A nível de distância média caminhada, os passageiros caminham entre 424,61 e 436,62 metros. Quando são utilizados 8 veículos na simulação, o passageiro percorre em média 436,62 metros. Tendo em conta que a velocidade dos passageiros é igual a 5km/h, o passageiro passa cerca de 5,24 minutos a caminhar para ser transportado. Ao compararmos os resultados com 8 veículos, com os resultados para 9 veículos e 10 veículos, verifica-se que existe um decréscimo de 1,6% e de 2,75%, respetivamente. Se tivermos em conta, os resultados das situações com 9 e 10 veículos, verifica-se que existe um decréscimo de 1,2% entre a primeira e a segunda situação. No caso de existirem 10 veículos no ambiente de simulação, o passageiro passa 5,09 minutos a caminhar.

Tal como os outros aspetos apresentados, o aumento do número de veículos também influencia um decréscimo dos resultados, relacionados com a distância média viajada por cada veículo.

Com 8 veículos no ambiente de simulação, cada veículo teve de percorrer em média cerca de 193,66 quilómetros. Com o aumento de 8 para 9 veículos, há um decréscimo de 6,5% na distância viajada, ao passo que quando esse aumento passa para 10 veículos, o decréscimo é ainda maior, tendo um valor de 12,3%. Ao comparar os resultados de 9 e 10 veículos, verifica-se que existe um decréscimo de quilometragem, a rondar os 6,3%.

Ao analisarmos o resultado referente à distância total viajada por todos os veículos, nas 100 simulações efetuadas, verifica-se que com 8 veículos o valor é igual a 154.928,4 quilómetros. Com o número de veículos a aumentar, esta distância total, também sofre um aumento, que se verifica como 5% e 8,8%, quando comparamos os resultados obtidos dos 8 veículos com os de 9 e 10, respetivamente.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

A Tabela 5 mostra a percentagem de passageiros aceites durante as simulações realizadas. Com o número de veículos a aumentar, aparecem melhores resultados referentes à entrada de passageiros no sistema. As percentagens apresentadas encontram-se acima dos 85%.

*Tabela 5 - Taxa de Inserção de Passageiros na Primeira Combinação*

	8	9	10
Veículos e Passageiros são priorizados a 100% na função de custo	87,3%	91,4%	94,7%

### 4.2.2 Resultados do SDARP – Segunda Combinação de Fatores

Os resultados obtidos para a segunda combinação de fatores, que indica que os valores da função de custo relacionados com o veículo são priorizados ao máximo, enquanto que os outros fatores apresentam um valor igual a zero, estão apresentados na Tabela 6.

Ao analisarem-se os resultados desta nova combinação, verifica-se que quando o número de veículos nas simulações aumenta, os valores médios de tempos de espera, distância caminhada e distância viajada diminuem, tal como aconteceu na combinação anteriormente descrita.

Os tempos médios de espera para cada passageiro variam entre 9,35 e 10,38 minutos. Quando existem 8 veículos no ambiente de simulação, o passageiro médio espera cerca de 10,38 minutos. Ao comparar-se com a situação de 9 veículos, esse tempo de espera diminui cerca de 4%, ao passo que com 10 veículos, o valor do tempo de espera é 9,35 minutos, que corresponde a um decréscimo de 9,9%. Se compararmos os valores do tempo de espera para 9 e 10 veículos, nota-se que este decresce cerca de 6,12%.

A nível de distância média percorrida por cada passageiro, os valores também apresentam um decréscimo, quando o número de veículos aumenta. Comparando a situação de 8 veículos com as restantes, nota-se que existe uma

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

diferença de 0,6% e de 0,9%, para as situações de 9 e de 10 veículos, respetivamente. Se compararmos os resultados para 9 e 10 veículos, nota-se que existe um decréscimo a rondar os 0,3%.

Os resultados referentes à distância média viajada revelam que com 8 veículos, cada um deles percorre 175,21 quilómetros. Quando esse número aumenta para 9, a distância percorrida é igual a 163,86 quilómetros, o que indica que existe um decréscimo de 6,5%. Ao compararem-se os resultados com 8 e 10 veículos, verifica-se que existe um decréscimo ainda maior, a rondar os 12,4%.

Tabela 6 - Resultados da Segunda Combinação

		8	9	10
Veículos são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	Tempo Médio de Espera (min)	10,38	9,96	9,35
	Distância Média Caminhada (metros)	724,50	720,22	718,01
	Distância Média Viajada (Km)	175,21	163,86	153,56
	Distância Total Viajada nas 100 Simulações(Km)	140168,12	147471,97	153562,92

A nível de distância total percorrida por todos os veículos, em todas as simulações realizadas, verifica-se que existe um aumento de quilometragem, quando o número de veículos aumenta. Se tivermos como base, o resultado para 8 veículos, nota-se que existem aumentos a rondar os 5% e os 8,7%, quando se compara esse resultado com os resultados obtidos para os 9 e 10 veículos, respetivamente. Quando se comparam os resultados entre os 9 e os 10 veículos, existe um acréscimo de quilometragem a rondar os 4%.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Tabela 7 - Taxa de Inserção da Segunda Combinação

	8	9	10
Veículos são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	85,8%	89,4%	91,8%

Quando só o veículo é priorizado, os valores percentuais de aceitação de passageiros estão descritos na Tabela 7. Conforme o caso anterior, estas percentagens aumentam, quando o número de veículos na simulação, também aumenta. Os valores apresentados indicam uma percentagem de aceitação acima dos 85%.

### 4.2.3. Resultados do SDARP – Terceira Combinação de Fatores

Os resultados obtidos para a terceira combinação de fatores, que indica que os valores da função de custo relacionados com o passageiro são priorizados ao máximo, estão apresentados na Tabela 8.

Ao analisarem-se os resultados desta nova combinação, verifica-se que quando o número de veículos nas simulações aumenta, os valores médios de tempos de espera, distância caminhada e distância viajada diminuem, tal como aconteceu nas combinações anteriormente descritas.

O tempo médio de espera varia entre os 4,07 e os 5,06 minutos. Quando se utilizam 8 veículos, cada passageiro espera em média 5,06 minutos. Se compararmos este resultado com as situações em que se utilizam 9 e 10 veículos, verifica-se uma diminuição destes resultados na ordem dos 9,9% e 19,5%, respetivamente. Existe uma diminuição a rondar os 10,7%, quando temos em atenção os resultados referentes aos 9 e 10 veículos.

Em termos de distância média caminhada por cada passageiro, os valores variam entre os 423,29 metros e os 427,78 metros. A diminuição entre cada uma das situações é pequena, como se pode verificar ao comparar os resultados.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Entre a situação de 8 veículos e as de 9 e 10 veículos, concluiu-se que as diminuições são de 0,11% e 0,86%, respectivamente.

Os resultados obtidos para a distância média viajada por cada veículo apresentam valores que se encontram entre os 190,67 quilômetros e os 211,22 quilômetros. Quando comparamos os resultados de 9 e 10 veículos, com a utilização de apenas 8, verifica-se que existe uma diminuição de distância percorrida a rondar os 4,94% e 9,73%, respectivamente. Se analisarmos os resultados obtidos para 9 e 10 veículos, verifica-se que existe, também, um decréscimo de 5,04% de distância percorrida, quando se utiliza mais um veículo.

Finalmente, ao analisarem-se os resultados obtidos para a distância total obtida para todos os veículos, nas 100 simulações realizadas para esta combinação de fatores, verifica-se que a distância percorrida aumenta, conforme aumenta o número de veículos no ambiente de simulação. Existe um aumento percentual de 6,5% quando se comparam os resultados obtidos para 8 e 9 veículos. Também, existe um grande aumento a rondar os 11,37%, quando o número de veículos passa de 8 para 10. No caso de se passarem de 9 para 10 veículos, o aumento de distância percorrida por todos os veículos sobe cerca de 5,22%.

*Tabela 8 - Resultados da Terceira Combinação*

		8	9	10
Passageiros são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	Tempo Médio de Espera (min)	5,06	4,56	4,07
	Distância Média Caminhada (metros)	427,78	427,33	423,29
	Distância Média Viajada (Km)	211,22	200,78	190,67
	Distância Total Viajada nas 100 Simulações(Km)	168978,86	180703,88	190665,65

Os valores de percentagem de aceitação, para o caso de quando só os passageiros são priorizados, estão apresentados na Tabela 9. O aumento de

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

percentagem, quando o número de veículos aumenta, também se verifica neste caso e em todos os casos, esses valores estão acima dos 80% de aceitação.

Tabela 9 - Taxa de Inserção da Terceira Combinação

	8	9	10
Passageiros são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	82,5%	86,8%	90,6%

### 4.3. Resultados do DARP

De forma a que se pudesse fazer uma comparação com o Dial-a-Ride Problem (DARP), que é o problema já existente e esmiuçado durante anos, e a nova variante deste problema, que é o tema deste presente documento, decidiu-se criar um simulador parecido com o utilizado para o Strolling Dial-a-Ride Problem. Este simulador foi utilizado com o intuito de obter os mesmos resultados, tendo um algoritmo muito parecido, retirando a parte do cálculo, relacionada com a distância que cada passageiro teria de caminhar para obter transporte. Isto acontece porque no problema clássico, o passageiro espera no seu ponto de origem e é entregue pelo veículo no seu ponto de destino.

Os dados inseridos neste simulador são exatamente os mesmos que foram colocados para o simulador do Strolling Dial-a-Ride Problem. Só assim, é possível fazer uma comparação favorável da inovação descrita.

Assim, obtiveram-se resultados referentes à distância média viajada por veículo e distância total viajada por todos os veículos, durante as 100 simulações realizadas. Ao mesmo tempo, o simulador do Dial-a-Ride Problem oferece dados referentes ao tempo de espera dos passageiros e a sua taxa de inserção.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Tabela 10 - Resultados das Distâncias do DARP

		Veículos e Passageiros são priorizados a 100% na função de custo	Veículos são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	Passageiros são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo
Distância Média Viajada (Km)	8	200,62	189,37	211,25
	9	189,21	177,91	201,23
	10	178,89	167,57	191,62
Distância Total Viajada nas 100 Simulações(Km)	8	160492,85	151494,08	169002,28
	9	170286,00	160117,32	181105,77
	10	178893,53	167572,43	191618,58

Em todas as combinações utilizadas, que são iguais às combinações descritas para o Strolling Dial-a-Ride Problem demonstram o mesmo comportamento de dados, ou seja, quando o número de veículos aumenta, a distância média percorrida por cada veículo diminui e, ao mesmo tempo, a distância total viajada nas 100 simulações aumenta.

Na Tabela 10 estão demonstrados os resultados referentes às distâncias obtidas no simulador Dial-a-Ride Problem.

A nível do tempo médio de espera, conforme o número de veículos aumenta, os passageiros esperam menos tempos para serem transportados pelos veículos. Esses resultados estão presentes na Tabela 11.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

Tabela 11 - Tempo Médio de Espera no DARP

		Veículos e Passageiros são priorizados a 100% na função de custo	Veículos são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	Passageiros são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo
Tempo Médio de Espera (min)	8	5.65	9.88	5.65
	9	5.08	9.54	5.14
	10	4.57	9.15	4.68

As taxas de inserção de passageiros também foram obtidas através do simulador e os resultados encontram-se na Tabela 12. Verifica-se que, como seria de esperar, o aumento do número de veículos presentes na simulação, aumenta a percentagem de inserção dos passageiros.

Tabela 12 - Taxa de Inserção no DARP

		Veículos e Passageiros são priorizados a 100% na função de custo	Veículos são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo	Passageiros são os únicos a serem priorizados a 100% na função de custo
Taxa de Aceitação (%)	8	80,1%	83,0%	79,7%
	9	84,9%	87,8%	84,3%
	10	88,9%	91,9%	88,1%

### 4.4. Discussão dos Resultados

Depois da análise individual para cada uma das combinações, utilizadas no Strolling Dial-a-Ride Problem e a análise dos resultados obtidos para o Dial-a-Ride Problem, os próximos parágrafos destinam-se à discussão dos resultados.

Em termos de distância total viajada por todos os veículos, o comportamento dos dados mostra que cada combinação de fatores apresenta resultados diferentes, como era expectável, como se pode verificar na Figura 13 e Figura 23.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

No caso de priorizar o serviço, ou seja, quando os veículos são os únicos a serem priorizados, a distância total viajada pelos veículos é a que apresenta o valor mais baixo, em comparação com as outras duas situações. No lado oposto, onde os veículos não são priorizados e a função de custo tem apenas em conta os fatores relacionados com os passageiros, a distância total viajada pelos veículos apresenta os valores mais altos.

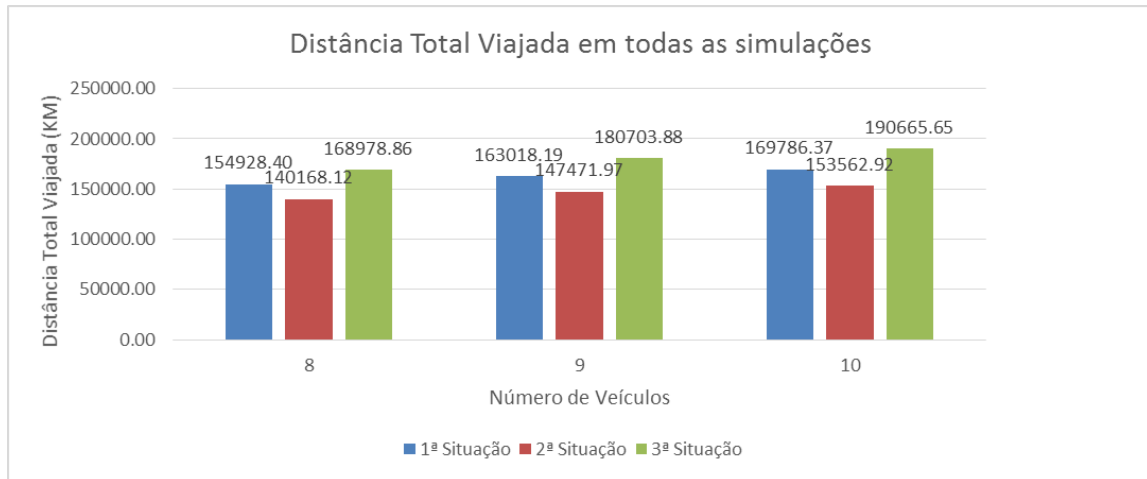


Figura 13 - Resultados de Distâncias Totais para Todas as Combinações

A combinação, onde todos os fatores são priorizados, apresenta uma distância total viajada entre as outras duas combinações referidas acima. Isto era algo esperado, porque é a situação onde todos os intervenientes são priorizados, fazendo com que a distância total viajada seja inferior àquela onde só os passageiros são priorizados e, ao mesmo tempo, seja superior quando são os veículos. Isto significa, que com esta função de custo e com o número de veículos e passageiros existentes em sistema, que existe uma grande diferença entre a combinação de fatores exclusiva só para veículos e exclusiva só para passageiros, em termos de distância total viajada pelos veículos.

Ao mesmo tempo, a situação onde todos os fatores são priorizados, apresenta valores de tempos de espera razoáveis, como se pode observar na Figura 14. Quando se comparam os valores do tempo de espera, onde todos os fatores são priorizados e só os passageiros são priorizados, a diferença entre eles não é muito elevada. No entanto, quando comparado com a situação onde só os veículos são priorizados, essa diferença é considerável. Isto indica que a função

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

de custo, com a priorização aos passageiros, apresenta tempos de espera razoáveis, conforme seria esperado da mesma.

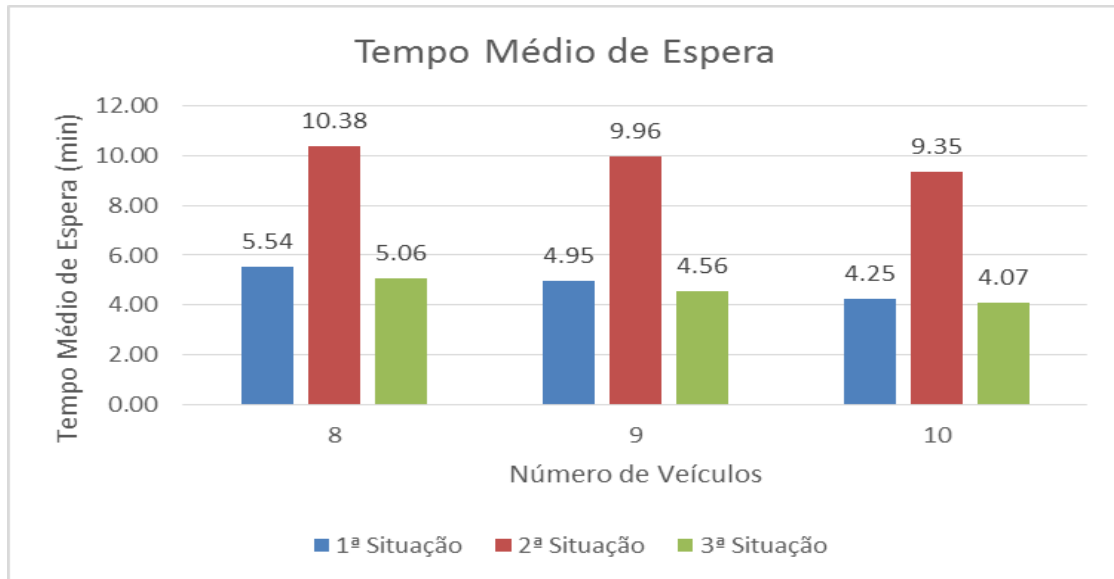


Figura 14 - Resultados dos Tempos Médios de Espera para Todas as Combinações

Em termos de distância caminhada pelos passageiros entre os pontos de origem e de levantamento e, também, entre os pontos de entrega e de destino, o comportamento dos dados entre as várias combinações varia, tal como demonstra a Figura 15.

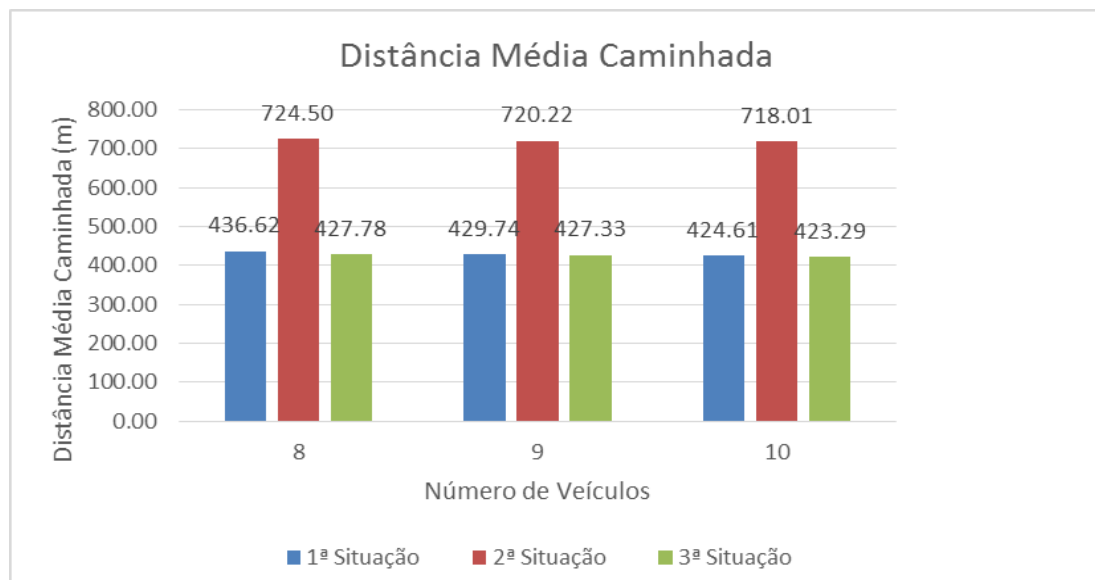


Figura 15 - Resultados da Distância Média Percorrida para Todas as Combinações

Os passageiros percorrem as maiores distâncias quando os veículos são os únicos a serem priorizados. Isto é expectável, visto que esse fator de distância

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

que o passageiro tem de percorrer não é priorizado. A diferença entre esses valores e os valores relacionados com a priorização só do passageiro é na ordem dos 300 metros, que representa cerca de 3.6 minutos de caminhada.

De notar que conforme o número de veículos aumenta, a distância caminhada pelos passageiros, em todas as combinações de fatores, não diminui substancialmente. Isto indica que o número de veículos não aumenta assim tanto as opções de pontos de levantamento/entrega mais próximas dos pontos de origem e de destino, verificando-se assim que a distância máxima indicada pelos passageiros é mandatória na escolha desses mesmos pontos.

Ao analisarmos a comparação de resultados do SDARP com o DARP na Figura 16, tendo em conta a distância total viajada pelos veículos nas 100 simulações, verifica-se que para a primeira combinação de fatores, os resultados diminuem para todos os números de veículos utilizados nas simulações. No caso de se utilizarem 8 veículos, a distância percorrida sofre um decréscimo a rondar os 3.47%. Utilizando 9 e 10 veículos, o comportamento dos dados aponta, também, para um decréscimo da distância viajada na ordem dos 4.27% e 5.09%, respetivamente.

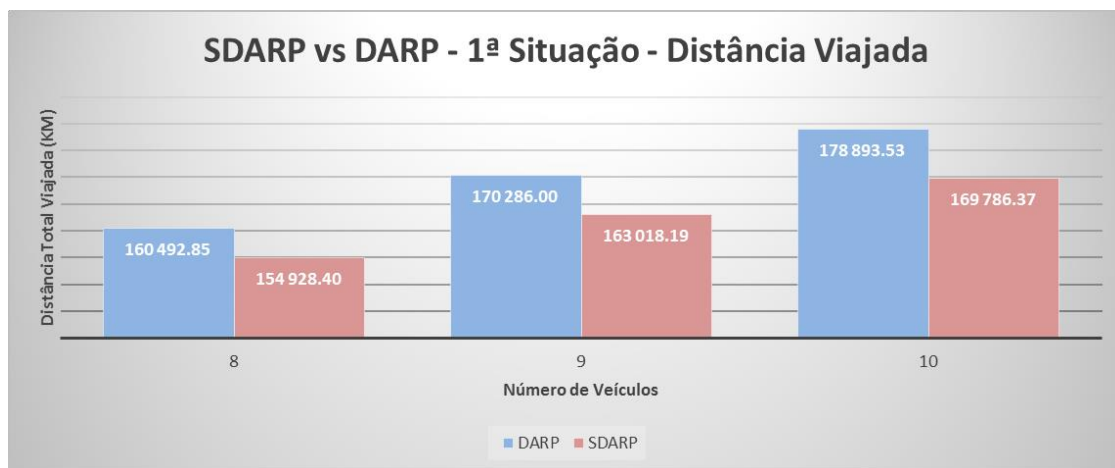


Figura 16 - Comparação da Distância Viajada na Primeira Situação

Utilizando a segunda combinação de fatores, a distância total viajada pelos veículos nas 100 simulações diminui, independentemente do número de veículos utilizados. Utilizando 8 veículos, a distância percorrida sofre um decréscimo de 7.48%, conforme demonstrado na Figura 17.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

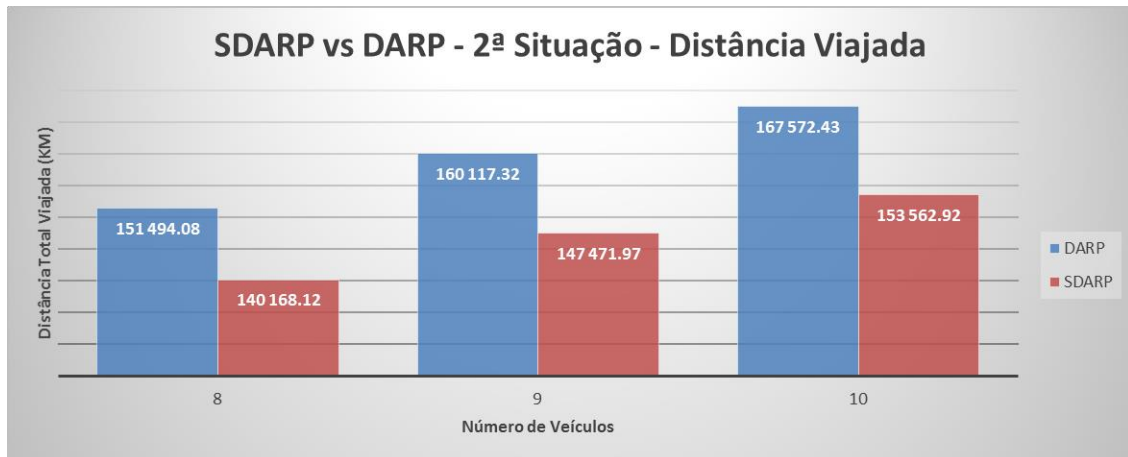


Figura 17 - Comparação da Distância Viajada na Segunda Situação

Tendo 9 veículos a transportar passageiros, verifica-se que existe um decréscimo de distância percorrida igual a 7.9%, enquanto que utilizando 10 veículos, o decréscimo ronda os 8.36%.

Na situação de se utilizar a terceira combinação de fatores, o SDARP não apresenta diminuições de distância viajada significativas, em comparação com o DARP, conforme mostra a Figura 18. Caso sejam utilizados 8 veículos, o decréscimo ronda os 0.01%, enquanto que para 9 e 10 veículos, os decréscimos sejam iguais a 0.22% e 0.5%, respetivamente.

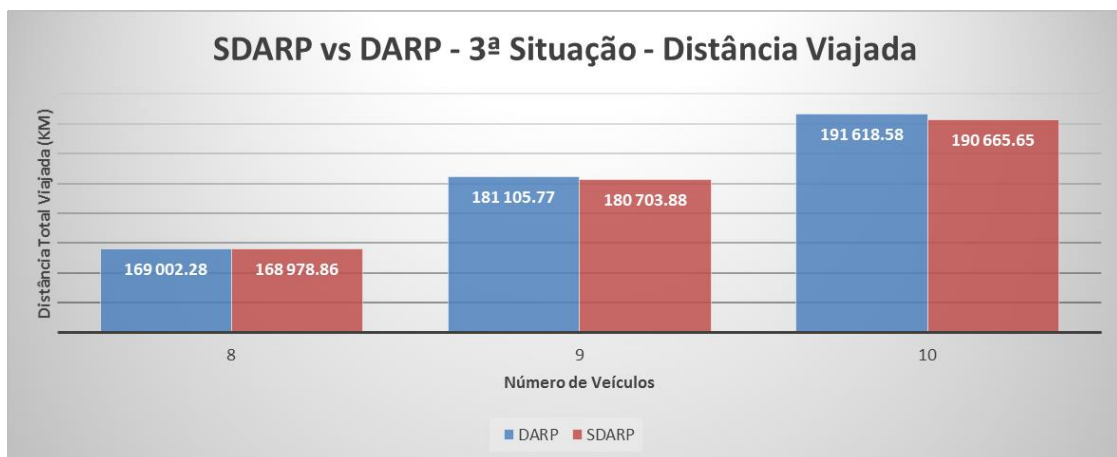


Figura 18 - Comparação da Distância Viajada na Terceira Combinação

No que respeita à distância viajada pelos veículos, para a primeira combinação (todos os fatores priorizados) e para a segunda combinação (só os fatores relacionados com os veículos) o SDARP apresenta melhores resultados que o DARP, tendo em conta a função de custo utilizada. Já para a terceira

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

combinação, o SDARP não apresenta uma melhoria de resultados significativos, utilizando esta função.

Verifica-se então que comparando o SDARP e o DARP, as primeira e segunda combinações de fatores da função de custo influenciam positivamente os resultados da distância viajada, enquanto que a terceira combinação, apesar de ser melhor, não apresenta melhorias muito significativas.

Comparando os resultados do SDARP e do DARP, tendo em conta o tempo médio em espera dos passageiros, demonstra-se que para duas situações esse tempo apresenta melhores resultados para o SDARP.

No caso da primeira combinação de fatores, os tempos de espera são melhores no SDARP, onde com 8 veículos, os passageiros esperam em média menos de 0.11 minutos. Utilizando 9 e 10 veículos, o tempo médio de espera decresce 0.13 minutos e 0.32 minutos, respetivamente, tal como mostra a Figura 19.

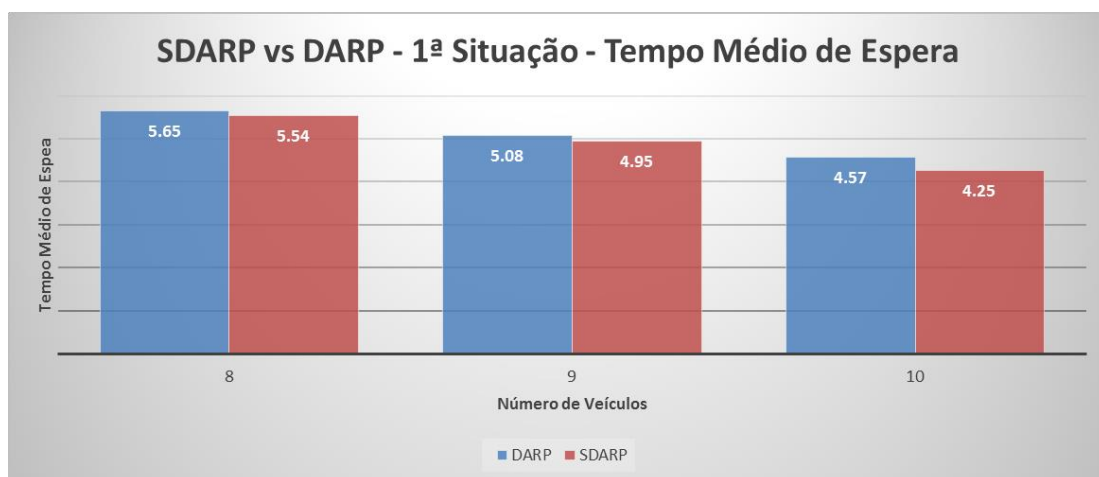


Figura 19 - Comparação do Tempo Médio de Espera na Primeira Combinação

Utilizando a segunda combinação de fatores, os tempos de espera não são tão bons, onde o SDARP apresenta um tempo médio de espera superior ao DARP. Embora as diferenças temporais diminuam de valor, conforme o número de veículos aumenta, estes valores são mais elevados que para o problema clássico. Com 8 veículos, os passageiros esperam cerca de mais 0.5 minutos no SDARP. Essa diferença diminui com 9 veículos, onde os passageiros esperam mais 0.42 minutos e, com 10 veículos, esse valor é igual a 0.20 minutos. Estes resultados podem ser observados na Figura 20.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

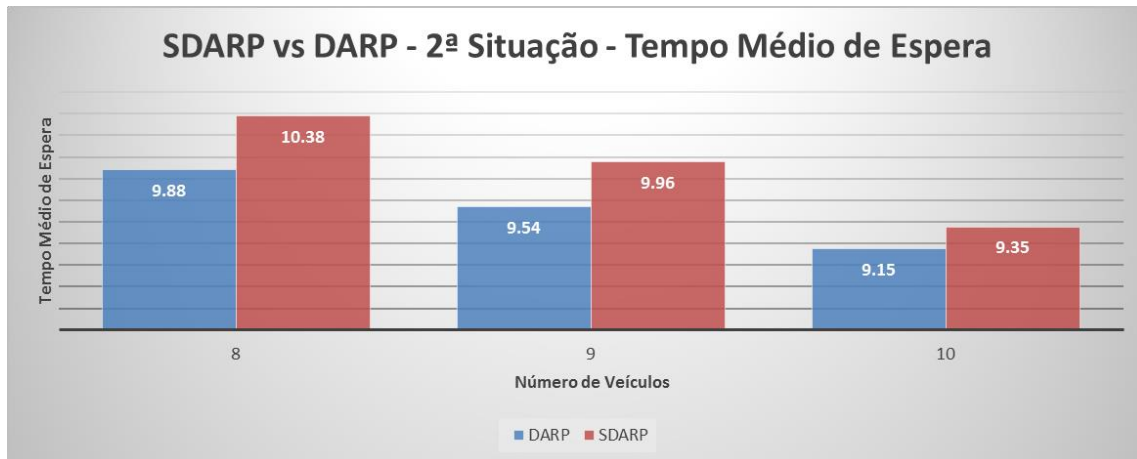


Figura 20 - Comparação do Tempo Médio de Espera para a Segunda Combinação

Na terceira combinação, em que os passageiros são os únicos a serem priorizados, a diferença de tempo de espera é notória, onde para 8 veículos, o SDARP apresenta um tempo de espera menor em 0.59 minutos. Com 9 veículos, a diferença é cerca de 0.58 minutos. Já com 10 veículos, os passageiros esperam menos de 0.61 minutos no SDARP, em comparação com o DARP, conforme se pode observar na Figura 21.

Em suma, nas combinações de fatores em que o passageiro é priorizado, os tempos médios de espera são melhores no SDARP, que no DARP, tendo em conta a função de custo utilizada. Estas diferenças entre o SDARP e o DARP, poderão estar também relacionadas com o facto de o passageiro ter de caminhar até aos pontos de levantamento, onde ao caminhar acaba por estar a despende tempo, que no DARP poderia estar à espera. No caso de se utilizar a segunda combinação de fatores, verifica-se que os tempos médios de espera são menos bons para o SDARP, quando comparado com os mesmos resultados no DARP.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

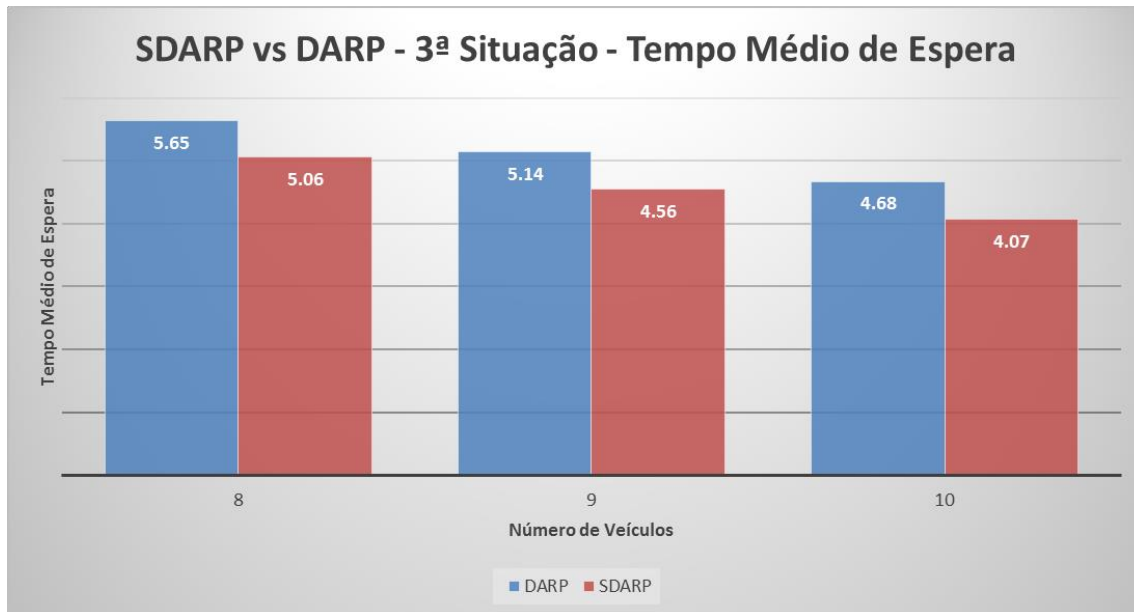


Figura 21 - Comparação do Tempo Médio de Espera para a Terceira Combinação

Verifica-se assim que para duas das três combinações, a função de custo influencia positivamente os tempos médios de espera dos passageiros, ao passo que para a combinação de fatores, exclusivamente orientados aos veículos, não influencia positivamente. Apesar dos resultados serem melhores, a sua diferença não é muito elevada, o que permite concluir que a alteração do serviço DARP para o SDARP não apresenta alterações negativas para o passageiro. Ou seja, é possível manter, ou melhorar, os tempos de espera para os passageiros e melhorar a distância viajada pelos veículos ao transportar os mesmos, quando é utilizado o Strolling Dial-a-Ride Problem.

Analisando os dados relativos à taxa de inserção de passageiros para a primeira combinação de fatores, verifica-se que as taxas de inserção são superiores para o SDARP. Utilizando 8 veículos, a taxa de inserção aumenta em 7.2% para o SDARP, quando comparado com o DARP. Para 9 veículos e 10 veículos, as taxas de inserção aumentam 6.5% e 5.8%, respectivamente, como se pode verificar pelos resultados demonstrados na Figura 22

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

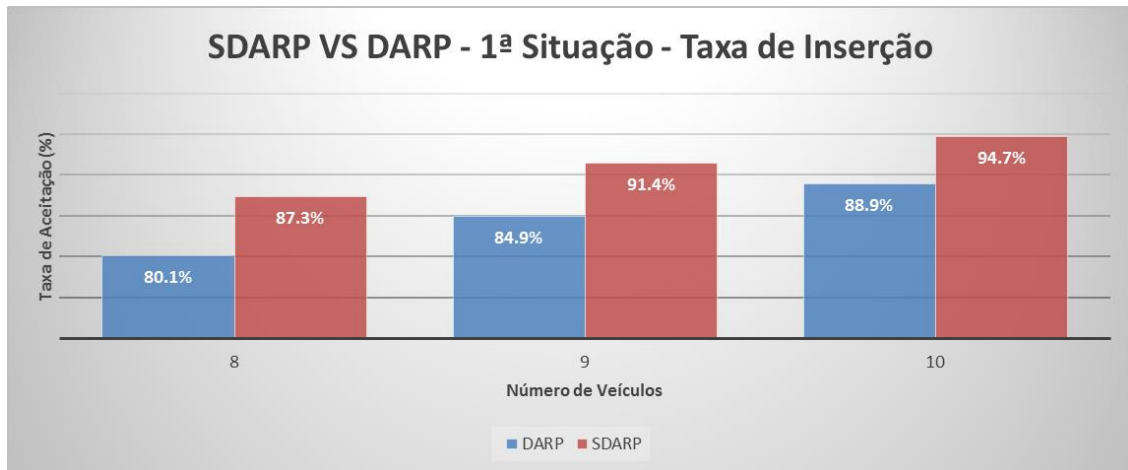


Figura 22 - Comparação da Taxa de Inserção para a Primeira Combinação

Na segunda combinação de fatores, as taxas de inserção são superiores quando são utilizados 8 ou 9 veículos, no entanto, quando são utilizados 10 veículos, o SDARP tem uma taxa de inserção inferior ao DARP. Através da Figura 23, pode-se verificar que com 8 veículos, a taxa de inserção aumenta cerca de 2.8% e quando são utilizados 9 veículos essa taxa aumenta 1.6%. No caso de serem utilizados 10 veículos, a taxa de inserção diminui cerca de 0.1%.

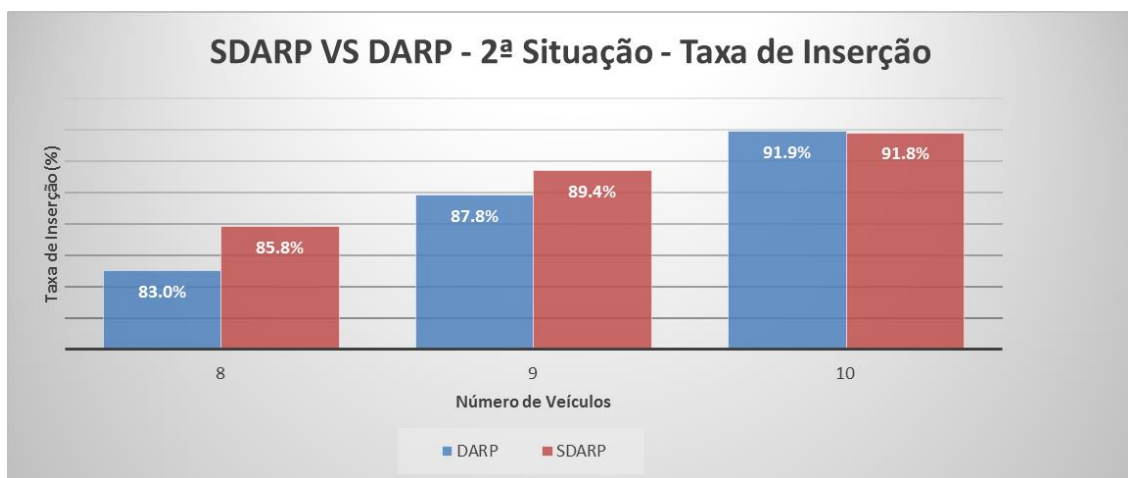


Figura 23 - Comparação da Taxa de Inserção para a Segunda Combinação

Utilizando a terceira combinação de fatores, as taxas de inserção são superiores no SDARP. Com 8 veículos, a taxa de inserção sobe 2.8%, enquanto que para 9 e 10 veículos, as taxas de inserção sobem 2.5%, conforme observado na Figura 24

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

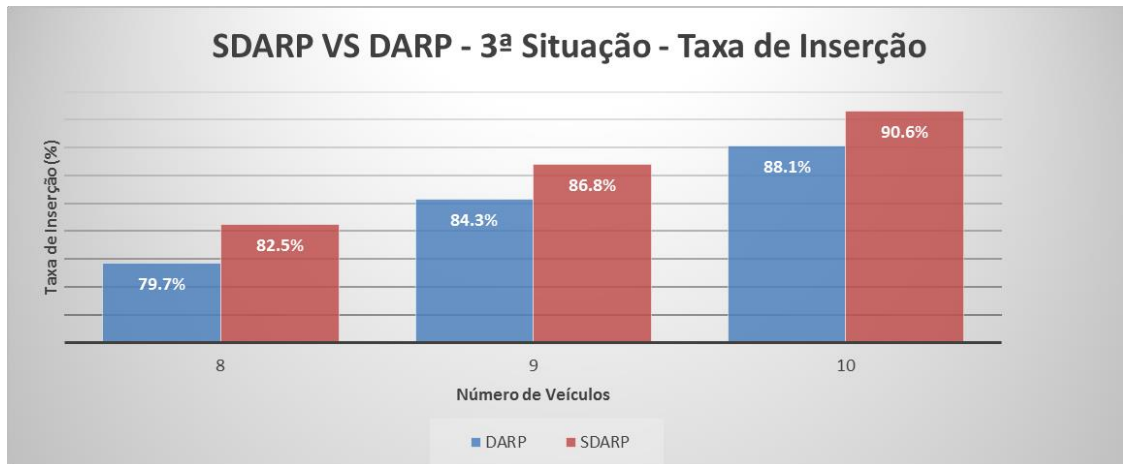


Figura 24 - Comparação da Taxa de Inserção para a Terceira Combinação

Verificando a comparação dos resultados, pode-se verificar que a função de custo influencia positivamente a taxa de inserção de passageiros nos veículos, excetuando na utilização da segunda combinação de fatores com 10 veículos a recolher e a entregar passageiros. No entanto, verifica-se que a terceira combinação de fatores, que é responsável por priorizar apenas os fatores relacionados com os passageiros, acaba por não apresentar os melhores resultados de taxa de inserção. Inclusive, os resultados mais positivos a nível de taxa de inserção encontram-se na primeira combinação de fatores, ou seja, a função de custo não influencia positivamente a taxa de inserção quando o passageiro é o único a ser priorizado.

Comparando os valores, verifica-se que o algoritmo e a função de custo utilizada permite concluir que o SDARP tem um melhor resultado de taxa de inserção que o DARP.

### 5. Conclusões

Neste documento é definida a nova variante do Dial-a-Ride Problem, chamada Strolling Dial-a-Ride Problem. Nesta nova variante do problema, é expectável que os passageiros caminham para serem levantados e entregues pelos veículos em pontos específicos, de forma a viajarem desde o seu ponto de origem até ao seu ponto de destino.

O estudo deste tipo de serviço foi realizado através de simulação computacional, onde passageiros e veículos interagem numa rede, que representa uma cidade de tamanho pequeno/médio. Esta simulação teve em conta a possibilidade de comunicação entre veículos, de forma a que se decidisse qual destes tinham o custo de inserção de um passageiro na rede mais baixo. Esta decisão é realizada através de leilão, onde, neste caso, o veículo que apresentasse o valor mais baixo de inserção, era o veículo que tinha a responsabilidade de levantar e entregar o passageiro. O custo de inserção é baseado numa função de custo, que tem em conta a distância do desvio que o veículo tem de fazer para levantar e entregar o passageiro; o tempo que o passageiro tem de esperar para ser levantado pelo veículo; e a distância que o passageiro terá de caminhar entre o ponto de origem e o ponto onde é levantado e, ao mesmo tempo, a distância que terá de caminhar entre o ponto onde é entregue e o ponto de destino. Estes três aspetos podem ser priorizados na função de custo, através de fatores de peso, que podem ser alterados no ambiente de simulação, de forma a que se possa observar a influência de cada peso nos resultados.

Em termos de trabalho futuro, o Strolling Dial-a-Ride Problem pode ser resolvido através de outras estratégias heurísticas e com funções de custo distintas. Seria interessante perceber que com outras estratégias, que tipo de resultados seriam possíveis de se obter, assim como com uma função de custo, que tomasse em conta variáveis distintas das que foram estudadas, quais seriam as conclusões que se poderiam obter. Ao mesmo tempo, seria interessante adicionar uma nova funcionalidade ao algoritmo, onde o serviço poderia negociar com o passageiro, quando este apresentava janelas de tempo de levantamento e de entrega impossíveis de realizar ou, então, poderia negociar novas janelas de tempo (mesmo que as que o passageiro deu fossem possíveis), que permitissem aos

## **Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade**

veículos ter um custo mais baixo de inserção do passageiro, que aquele que teria se não houvesse negociação.

Também será de interesse, estudar um cenário onde a função de custo fosse dinâmica, ou seja, conforme a altura do dia e o número de pedidos de transporte feitos em dado momento, a função de custo alterava as prioridades tanto para os fatores relacionados com os veículos, como com os fatores relacionados com os passageiros.

Considerando a simulação, seria de extrema importância, testar este problema com uma rede de uma cidade real, com dados de passageiros reais, de forma a perceber os efeitos do serviço Strolling Dial-a-Ride num caso real.

### Referências Bibliográficas

ATTANASIO, Andrea, et al. Parallel tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem. *Parallel Computing*, 2004, 30.3: 377-387.

BEAUDRY, Alexandre, et al. Dynamic transportation of patients in hospitals. *OR spectrum*, 2010, 32.1: 77-107.

CALVO, Roberto Wolfler; COLORNI, Alberto. An effective and fast heuristic for the dial-a-ride problem. *4OR*, 2007, 5.1: 61-73.

CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara; NIJKAMP, Peter. Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 2011, 18.2: 65-82.

CHOURABI, Hafedh, et al. Understanding smart cities: An integrative framework. In: *System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on*. IEEE, 2012. p. 2289-2297.

COLORNI, Alberto; RIGHINI, Giovanni. Modeling and Optimizing Dynamic Dial-a-Ride Problems. *International Transactions in Operational Research*, 2001, 8.2: 155-166.

CORDEAU, Jean-Francois. A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem. *Operations Research*, 2006, 54.3: 573-586.

CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. The dial-a-ride problem (DARP): Variants, modeling issues and algorithms. *Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies*, 2003, 1.2: 89-101.

CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of Operations Research*, 2007, 153.1: 29-46.

COSLOVICH, Luca; PESENTI, Raffaele; UKOVICH, Walter. A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem. *European Journal of Operational Research*, 2006, 175.3: 1605-1615.

DESROSIERS, Jacques; DUMAS, Yvan; SOUMIS, Francois. A dynamic programming solution of the large-scale single-vehicle dial-a-ride problem with time windows. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 1986, 6.3-4: 301-325.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

DIAL, Robert B. Autonomous dial-a-ride transit introductory overview. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1995, 3.5: 261-275.

DIAL, Robert B.; GHANI, Gisela. The ADART Driver Interface. 2003.

FU, Liping; TEPLY, Stan. On-Line and Off-Line Routing and Scheduling of Dial-a-Ride Paratransit Vehicles. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 1999, 14.5: 309-319.

FU, Liping. A simulation model for evaluating advanced dial-a-ride paratransit systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2002, 36.4: 291-307.

HÄLL, Carl H.; HÖGBERG, Magdalena; LUNDGREN, Jan T. A modeling system for simulation of dial-a-ride services. *Public Transport*, 2012, 4.1: 17-37.

JAW, Jang-Jei, et al. A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1986, 20.3: 243-257.

MADSEN, Oli BG; RAVN, Hans F.; RYGAARD, Jens Moberg. A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities, and multiple objectives. *Annals of operations Research*, 1995, 60.1: 193-208.

MAIABACH, M.; Schreyer, C.; Sutter, D.; Van Essen, H. P.; Boon, B. H.; Smokers, R.; ... & Bak, M. (2008). Handbook on estimation of external costs in the transport sector. CE Delft.

PARRAGH, Sophie N.; DOERNER, Karl F.; HARTL, Richard F. A survey on pickup and delivery problems. *Journal für Betriebswirtschaft*, 2008, 58.1: 21-51.

PSARAFTIS, Harilaos N. A dynamic programming solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem. *Transportation Science*, 1980, 14.2: 130-154.

REKIEK, Brahim; DELCHAMBRE, Alain; SALEH, Hussain Aziz. Handicapped person transportation: An application of the grouping genetic algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2006, 19.5: 511-520.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade

RØPKE, Stefan; CORDEAU, Jean-François; LAPORTE, Gilbert. Models and a branch-and-cut algorithm for pickup and delivery problems with time windows. *Networks*, 2007, 49.4: 258-272.

SEXTON, Thomas R.; BODIN, Lawrence D. Optimizing single vehicle many-to-many operations with desired delivery times: I. Scheduling. *Transportation Science*, 1985, 19.4: 378-410.

SEXTON, Thomas R.; BODIN, Lawrence D. Optimizing single vehicle many-to-many operations with desired delivery times: II. Routing. *Transportation Science*, 1985, 19.4: 411-435.

TEODOROVIC, Dusan; RADIVOJEVIC, Gordana. A fuzzy logic approach to dynamic dial-a-ride problem. *Fuzzy sets and systems*, 2000, 116.1: 23-33.

TOTH, Paolo; VIGO, Daniele. Fast local search algorithms for the handicapped persons transportation problem. In: *Meta-Heuristics*. Springer US, 1996. p. 677-690.

United Nations, World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York 2014

XIANG, Zhihai; CHU, Chengbin; CHEN, Haoxun. A fast heuristic for solving a large-scale static dial-a-ride problem under complex constraints. *European Journal of Operational Research*, 2006, 174.2: 1117-1139.

XIANG, Zhihai; CHU, Chengbin; CHEN, Haoxun. The study of a dynamic dial-a-ride problem under time-dependent and stochastic environments. *European Journal of Operational Research*, 2008, 185.2: 534-551.

## Strolling Dial-a-Ride Problem: Definição e Aplicabilidade