



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Otimização de ordenamentos de tráfego: servir pessoas em vez de veículos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação.

Autor

Luís Miguel Coimbra Simões

Orientador

Álvaro Jorge da Maia Seco

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Janeiro, 2015

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à comunidade docente e não docente do Departamento de Engenharia Civil por me ter providenciado com 5 anos de ensino de qualidade, bom ambiente de aprendizagem e acima de tudo pôr ao meu dispor todas as ferramentas necessárias e acessórias para poder ter concluído o meu curso com aproveitamento e com um sentido de confiança nos meus conhecimentos paradoxalmente associada a um reconhecimento humilde de que ainda tenho muito que aprender.

De uma maneira mais particular, tenho de deixar expressa a minha gratidão aos professores da Área de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação que sempre se mostraram disponíveis para ensinar, explicar, ajudar e encantar com os desafios colocados pela prática da engenharia nesta área. Em especial, deixo um agradecimento ao Professor Álvaro Seco cuja orientação neste projeto, com toda a paciência, disponibilidade e muitas palavras de sabedoria, ajudou-me a crescer como nunca tinha crescido, quer profissional quer pessoalmente.

Para a minha família dou o reconhecimento de ter desempenhado um papel sem o qual não poderia estar onde estou hoje. Todos os sacrifícios económicos e pessoais que fizeram com a esperança de me dar a oportunidade de um futuro melhor parecem impossíveis de compensar. Apenas posso prometer que farei o meu melhor para dar de volta aquilo que me foi dado a mim.

Finalmente, mas não menos importante quero agradecer a todos os meus amigos, quer sejam da “terra”, do secundário, da noite, dos grupos de trabalhos, da sala de estudo, aos que pagam sempre um copo, os amigos dos núcleos, da académica, do *facebook*, da universidade, da faculdade, do pólo 2, do DEC, aos amigos que vieram de longe e de perto, aos que cravam sempre um copo, às amigas, aos amigos dos amigos, aos que ajudam na gramática e na matemática e em especial aqueles que sei que vão ser amigos para sempre. Tive a sorte de no meu percurso académico conhecer um sem número de pessoas como colegas, professores, funcionários, estudantes e não estudantes que hoje chamo orgulhosamente de amigos. Ao fim deste meu percurso académico sinto que levo muito mais do que um diploma, levo em mim a saudade de Coimbra.

RESUMO

O desenvolvimento de soluções de ordenamento de tráfego em ambientes urbanos assenta cada vez mais numa análise multi-objetivo dos problemas onde questões de maximização de capacidades e minimização de demoras, têm que ser pesadas face a objetivos de minimização de impactos ambientais, energéticos ou de intrusão resultantes do análise multi-objetivo dos problemas onde questões de maximização de capacidades e minimização de demoras, têm que ser pesadas face a objetivos de minimização de impactos ambientais, energéticos ou de intrusão resultantes do funcionamento do sistema de transportes.

Nesta perspetiva qualquer processo de ordenamento do tráfego, deve basear-se cada vez mais na aplicação de um conceito de otimização do sistema associado a uma minimização de recursos utilizados ou custos envolvidos por pessoa servida e não tanto por veículo servido. Deste modo, as políticas de prioridade aos transportes que apresentem um maior rácio de pessoas transportadas por espaço rodoviário utilizado

Neste projeto foram inventariada e avaliadas diferentes estratégias que privilegiam o uso de transporte público ou *carpooling*, especialmente soluções baseadas no conceito de via reservada para o transporte coletivo ou para veículos de alta ocupação (VAO). O objetivo deste trabalho é avaliar o *trade-off* entre os benefícios obtidos pelo transporte coletivo e pelos VAO e as desvantagens sofridas pelos restantes modos de transporte, na perspetiva de pessoas servidas. Para isso, a análise de cada estratégia será uma avaliação de cada pessoa servida em termos de velocidade, tempo de atraso e fiabilidade do serviço de transporte público.

Em primeiro lugar, uma análise de várias políticas de prioridade ao transporte público e a VAO, em especial de vias reservadas, resultou no seguinte conjunto de estratégias a ser comparadas: uma situação sem vias reservadas; outra com vias reservadas apenas ao transporte coletivo e uma terceira com vias reservadas ao transporte coletivo e a VAO.

Para avaliar o desempenho de cada estratégia, foi contruída um rede de tráfego que simule o mais realisticamente possível um arruamento urbano comum. Esta rede é composta por um eixo central com quatro cruzamentos sinalizados com vias secundárias. A modelação desta rede foi feita por primeiro usando o *software* TRANSYT para dimensionar e otimizar o plano semafórico e seguidamente construindo um modelo de micro-simulação em AIMSUN.

Os resultados obtidos permitiram comparar um conjunto de cenários em que se variou o nível de tráfego presente na rede, o volume dos autocarros e VAO assim como os ocupantes por autocarro. Chegou-se à conclusão que para situações com pouco tráfego a introdução da via reservada não tem grandes impactos no desempenho da rede. Para os casos de grave congestionamento, a implementação de uma via reservada apenas a autocarros agrava o bloqueio da rede de tal maneira que acaba por ser prejudicial para os próprios autocarros. Todavia, ao permitir o uso da via reservada aos VAO, para taxas de ocupação altas dos autocarros, mostrou-se como uma solução viável para minimizar o atraso por pessoa servida.

ABSTRACT

The development of traffic planning solutions in urban environments based in multi-objective analysis have become almost common practice, where the problems of maximizing capacity and minimizing delay have to be compared and weighted with the minimization of environmental and energetic impact that result of the operation of traffic systems.

In this view, any process of traffic planning or management should be based even more on a model of optimization centered in minimizing of the usage of resources or costs per person served and not by vehicle served.

This project will display and evaluate several strategies that privilege the usage of public transport or carpooling, specially directed to solutions based on the concept of “reserved lane” for public transit or for high occupancy vehicles (HOV). The objective of this work is to measure the trade-off between the benefits obtained by the transit and HOV and the disbenefits obtained by the other traffic types, in the perspective of each person served. For that, the analysis of each strategy will be an evaluation of the global results for person served, in terms of velocity, delay and reliability of the transit service.

Firstly, an analysis of the several public transit and HOV priority policies, especially reserved lanes, resulted in the following set of strategies to be compared: a situation without a reserved lane, another with reserved lanes exclusive to public transit, and a third with reserved lanes to public transit and HOV.

To evaluate the performance of each strategy, a traffic network was constructed so that it emulates as realistically as possible a standard urban street. This network is composed of a central axis with four signalized intersections with secondary streets. The modelling of this network will be done by first using the software Transyt to design and optimize the traffic signal plan and secondly by establishing a microsimulation model in Aimsun.

The analysis' results allowed to evaluate a set of scenarios that represented variations in the degree of saturation of the network, the number of buses and HOV and even the ridership of buses. In situations of low traffic density, the implementation of a reserved lane didn't have much impact in the performance of the network. Moreover, the cases that presented severe congestion problems the reservation of a lane to public transport aggravated the traffic blockage in such a way that even the buses experienced a loss in performance. However, allowing the HOV to use the reserved lane in scenarios with high bus ridership revealed itself to be a feasible solution to the delay per person served.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1. Os Espaços Canais – A competição entre usos e políticas de prioridade	3
2.2. Tipologias de Soluções.....	4
2.2.1. Vias reservadas ao transporte público	4
2.2.2. Vias reservadas a veículos de alta ocupação	7
2.2.3. Medidas de prioridade em cruzamentos	8
2.2.4. Vias Reversíveis	11
2.3. BUS/HOV/Auto Individual – A segregação como política de Prioridade.....	13
2.3.1. A segregação como política de prioridade mais utilizada.....	13
2.3.2. Indicadores de desempenho – A análise da fiabilidade	15
3. Metodologia	16
3.1. Objetivos do Problema	16
3.2. As bases de análise.....	17
3.2.1. Plano Semafórico Base – Grupos semafóricos, fases e tempos de limpeza ...	19
3.2.2. Procura na Rede - Matriz O/D	22
3.3. Estratégias e Soluções Tipo em Teste.....	23
3.3.1. Solução generalista	24
3.3.2. Solução com Via Reservada a Autocarros.....	24
3.3.3. Solução com Via Reservada a Autocarros e VAO	24
3.4. Cenários de Análise de Referência.....	25
3.4.1. Níveis de Procura – Variação da Taxa de Saturação.....	25
3.4.2. Percentagem dos BUS	26
3.4.3. Percentagem de HOV.....	26
3.4.4. Taxa de ocupação nos Autocarros	27
3.4.5. Extensão das vias reservadas	27
3.5. Indicadores de Desempenho seleccionados	27
3.5.1. Fiabilidade dos Autocarros – Desvio Padrão do tempo de percurso dos Autocarros	28
3.5.2. Velocidade média para cada tipo de veículo e por pessoa	28
3.5.3. Tempo de percurso médio para cada tipo de veículo e por pessoa	28
3.6. Otimização dos planos de regulação– Transyt	28
3.6.1. Modelos intrínsecos ao programa e suas características (vantagens e limitações)	28
3.6.2. Princípios de otimização utilizados	30

3.7.	Simulação – AIMSUN	31
3.7.1.	Modelos intrínsecos ao programa;.....	31
3.7.2.	Princípios de Simulação	32
3.8.	Construção do modelo.....	34
3.8.1.	Construção do modelo em TRANSYT	35
3.8.2.	Parâmetros de <i>input</i> para inserir em TRANSYT	36
3.8.3.	Resultados sumários do TRANSYT	37
3.8.4.	Construção do Modelo em AIMSUN	38
3.8.5.	Parâmetros de <i>input</i> para inserir em AIMSUN	39
3.8.6.	Resultados sumários do AIMSUN.....	39
3.8.7.	Processo de Calibração – TRANSYT VS AIMSUN.....	39
3.8.8.	Fluxograma da metodologia do modelo global.....	40
4.	Análise dos Resultados	42
4.1.	Via reservada a autocarros por oposição à via generalista	42
4.1.1.	Cenário com Grau de Saturação de 60%	42
4.1.2.	Cenário com Grau de Saturação de 80%	44
4.1.3.	Cenário com Grau de Saturação de 100%	47
4.1.4.	Cenário com Grau de Saturação de 60%	49
4.1.5.	Cenário com Grau de Saturação de 80%	52
4.1.6.	Cenário com Grau de Saturação de 100%	55
5.	Conclusões.....	60
6.	Referências Bibliográficas	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquema base das correntes de tráfego nos cruzamentos.....	20
Figura 3.2. - Fases do plano semaforico.....	21
Figura 3.3 – Diagrama da rede e disposição de centróides.	22
Figura 3.4 - Modelos macro utilizados por cada troço da rede.....	36
Figura 3.5 - Diagrama que representa o fluxograma da metodologia.....	41
Figura 4.1 -Tempos de percurso por pessoa para os cenários de 60 passageiros por autocarros e 50% de VAO.	43
Figura 4.2 Velocidade média por pessoa para os cenários de 20 passageiros por autocarros e 30% VAO.....	44
Figura 4.2- Tempos de percurso por tipo de veículo para o cenário de 15 % de BUS e 10 % VAO.....	45
Figura 4.3. - Desvio padrão do tempo de percurso do BUS para o cenário com grau de saturação de 80%.	46
Figura 4.4 -Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para o cenário com grau de saturação de 100%, 5% de BUS e 30% de VAO.	47
Figura 4.5. – Velocidade por tipo de veículo e por pessoa para o cenário com grau de saturação de 100%, 5% de BUS e 30% de VAO.	48
Figura 4.6. -Desvio padrão dos tempos de percurso do autocarros para o cenário de 100% de grau de saturação.A inclusão dos VAO na via reservada	49
Figura 4.7 - Tempos de percurso por pessoa para o cenário de 60% do grau de saturação, 20 pessoas por autocarro e 5% de BUS.	50
Figura 4.8 Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para os cenários com grau de saturação de 60%, 10% BUS, 50% de VAO e 20 passageiros por BUS.	51
Figura 4.9 - Velocidades médias por pessoa para o cenários de 40 pessoas por BUS e grau de saturação de 60%.	51
Figura 4.10 - Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para o cenários de grau de saturação de 80%, 20 pessoas por BUS,30% VAO e 5% BUS.	53
Figura 4.11 - Velocidades médias por pessoa para o cenário de 40 passageiros por BUS e grau de saturação de 80%.	54
Figura 4.12Desvio padrão dos tempos de percurso do autocarro par a um cenário de grau de saturação de 80%.	55
Figura 4.13. - Tempos de percurso por pessoa para o cenário com grau e saturação de 100%, 10% BUS e 60 passageiros por autocarro.	56
Figura 4.14. - Evolução das velocidades médias totais para o cenário de grau de saturação de 100% e 40 pessoas por autocarro.	57
Figura 4.15. -Desvio padrão do tempo de percurso do autocarro para a situação de 100% de grau de saturação.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Valores para cálculo do "set-back" de uma via BUS.	19
Tabela 3.2 Conflitos entre grupos semaforicos	20
Tabela 3.3 - Tempos de limpeza entre grupos semaforicos.	21
Tabela 3.4 - Parâmetros da modelação microscópica dos veículos ligeiros e VAO.	33
Tabela 3.5 - Parâmetros de modelação microscópica dos autocarros.	34
Tabela 3.6 - Velocidades utilizadas para a calibração do modelo TRANSYT.....	40
Tabela 4.1 - Percentagem da variação dos tempos de percurso por tipo de veículo entre a solução generalizada e via reservada ao BUS.....	42

ABREVIATURAS

VAO – Veículo de alta ocupação

UVL – unidade de veículo ligeiro

PAX – Pessoas

DOS – Grau de saturação

SIMBOLOGIA

L_S – Extensão ótima do “set-back” de uma via reservada a autocarros.

s – Fluxo de saturação

g – Tempo de verde efetivo

X – Grau de Saturação desejado para dimensionar o “set-back”

V_E – Volume equivalente de veículos ligeiros que circulam na via reservada

C .- Tempo total do ciclo

$tl_{(T,I)}$ – Tempo de limpeza entre um grupo semaforico que termina o tempo de verde, T e um grupo semaforico que irá ter verde, I

d_T – Distância que o veículo do grupo semaforico que termina o tempo de verde tem que percorrer para passar o ponto de conflito

v_T - Velocidade do grupo semaforico que termina o tempo de verde

v_I – Velocidade do veículo um grupo semaforico que irá ter verde

D_I - Distância que o veículo do grupo semaforico que irá ter verde tem que percorrer para passar o ponto de conflito

d_v – Dimensão do veículo para cálculo do tempo de limpeza

C_A - Custo por cada uvl.hora de atraso

A_i – Tempo de atraso por veículo ligeiro

A_i^{BUS} – Tempo de atraso por autocarro

A_i^{VAO} - Tempo de atraso por VAO

e_i – Excesso do grau de saturação para veículos ligeiros

e_i^{VAO} - Excesso do grau de saturação para VAO

C_e - Custo por cada unidade acima do limite do grau de saturação

W_{BUS} – Peso relativo dos autocarros

W_{VAO} - Peso relativo dos VAO

OCC_{BUS} - Ocupação em número de pessoas para os autocarros

OCC_{VAO} - Ocupação em número de pessoas para os VAO

$UVLE_{BUS}$ – Unidade de veículo ligeiro correspondente um autocarro

$UVLE_{VAO}$ - Unidade de veículo ligeiro correspondente a um VAO

i_{pax} – valor de um determinado indicador de desempenho por pessoa

i_{BUS} – valor de um determinado indicador de desempenho por autocarro

i_{CAR} – valor de um determinado indicador de desempenho por veículo ligeiro

i_{VAO} - valor de um determinado indicador de desempenho por VAO

P^{BUS} - percentagem do volume total de tráfego que representam os autocarros

P^{CAR} - percentagem do volume total de tráfego que representam os veículos ligeiros

P^{VAO} - percentagem do volume total de tráfego que representam os VAO

E_i – erro entre os tempos de percurso obtidos no TRANSYT e AIMSUN

$tp_i^{TRANSYT}$ – é o tempo do percurso i obtido pelo TRANSYT

tp_i^{AIMSUN} – é o tempo do percurso i obtido pelo AIMSUN

1. INTRODUÇÃO

É reconhecido que existem certos modos de transporte, como por exemplo o transporte público, que apresentam mais eficiência na medida em que conseguem transportar um número superior de pessoas, ocupando menos espaço na via. Da mesma forma também os veículos de alta ocupação (VAO) se revelam mais eficientes do que os veículos correntes. Baseadas nesta premissa, foram definidas vários tipos de políticas de prioridade ao transporte público e a VAO, sendo que a medida que atualmente é a mais difundida é a criação de vias exclusivas para a circulação de autocarros.

Todavia, em redes urbanas, há uma grande escassez de espaço resultante de uma elevada densidade de construção não sendo possível na maior parte das vezes construir uma nova via. Assim, obriga a que, ao introduzir este tipo de medidas de prioridade ao transporte público e aos VAO seja retirado o espaço necessário ao restante tráfego ao reservar uma via previamente destinada ao tráfego generalizado, havendo uma situação de *trade-off* entre os modos de transporte.

Esta situação obriga a uma análise integrada do funcionamento global da rede, de maneira a testar a viabilidade dessa medida de política. Isto é, para confirmar se de fato ao dar prioridade ao transporte coletivo, o desempenho global aumenta. Normalmente a metodologia para testar essa viabilidade baseia-se na análise do desempenho da rede para a totalidade dos veículos. No entanto, visto que a própria justificação para atribuição da prioridade se prende pelo fato de os veículos de transporte público serem capazes de transportar um maior número de pessoas de maneira mais eficiente, é pertinente que a análise da viabilidade da solução seja feita analisando o benefício global por pessoa servida e não por veículo servido.

Este trabalho foi desenvolvido à volta do objetivo de estabelecer uma metodologia para a avaliação do desempenho por pessoa deste tipo de medidas de prioridade assim como estabelecer um conjunto de situações para as quais se irá testar a viabilidade destas. A avaliação desse desempenho será centrada no *trade-off* entre os benefícios obtidos pelos transportes coletivos e VAO e pelos prejuízos sofridos pelos restantes utilizadores do restante espaço rodoviário em termos de pessoas servidas.

Para isso foi construída uma rede de tráfego que pretende simular um arruamento urbano comum de maneira realista que servirá como base para testar uma série de estratégias representativas das medidas de prioridade aos VAO e veículos de transporte público. Esta análise foi feita utilizando duas ferramentas distintas: um programa com base em macro-modelos de trânsito que permite dimensionar e otimizar planos de regulação semafóricos, designado por TRANSYT e o software de micro-simulação AIMSUN.

No presente capítulo foram abordadas as principais questões que levaram à elaboração deste trabalho, assim como os principais objetivos que se pretendem alcançar.

O capítulo dois apresenta um estudo de base bibliográfico que identificou as principais medidas de prioridade ao transporte público, com especial atenção às soluções de vias reservadas, assim como o estudo de trabalhos anteriores que tenham realizado algum tipo de análise do desempenho deste tipo de medidas.

A base da metodologia que servirá como pilar principal do presente trabalho é apresentada no capítulo três. Aqui, serão expostos os principais pressupostos tidos em conta para a análise do desempenho de cada solução, os modelos utilizados e a variação dos cenários testados.

No quarto capítulo é feita a discussão dos resultados obtidos, analisando para que situações são obtidos os maiores benefícios ou prejuízos ao aplicar cada estratégia proposta.

Finalmente, no capítulo cinco serão apresentadas as conclusões que este trabalho permitiu alcançar. Para além disso, irá ser apresentada uma discussão da metodologia aplicada, mais precisamente as suas limitações e eventuais trabalhos futuros recomendados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Os Espaços Canais – A competição entre usos e políticas de prioridade

Nas cidades modernas a distribuição do espaço público é um dos maiores desafios para o planeamento urbano. Este problema é especialmente importante no desenvolvimento de políticas de alocação do espaço de arruamentos aos vários modos de transporte: os peões querem passeios largos e atravessamentos frequentes e seguros, os utilizadores de transportes individuais querem mais vias de circulação e estacionamento e os que escolhem o transporte coletivo querem vias próprias de circulação e paragens confortáveis e espaçosas. Nestes exemplos verifica-se claramente que não existe espaço para beneficiar todos os utilizadores ao mesmo tempo, sendo necessário estabelecer políticas de gestão de espaço de maneira a estabelecer prioridades para um ou outro modo de transporte, em função do tipo de utilização que se pretende para cada parte da cidade.

É, assim, pertinente identificar critérios de alocação do espaço urbano, identificando metodologias que permitam avaliar o benefício global de cada solução. Estas devem ser estabelecidas de maneira clara e com resultados que permitam facilmente uma comparação direta entre cada medida de política alternativa.

Todavia, ao estabelecer políticas de ordenamento que beneficiem um determinado modo, há que ter em conta que na vasta maioria das situações os recursos são limitados e a beneficiação de um corresponde a prejudicar, direta ou indiretamente, os restantes. Assim, as políticas devem ser estabelecidas com base em critérios pertinentes e claros, quer sejam relativos a poupança de recursos, minimização do impacto ambiental, melhoria da circulação ou outras vertentes da questão que permitam concluir que, embora alguns modos e utilizadores sejam prejudicados, o benefício global da política tem sempre que ser positivo. Nesta perspetiva está-se perante uma situação de análise de *trade-off* entre todos os utilizadores do espaço canal.

Uma dessas políticas corresponde à atribuição de prioridade à otimização da mobilidade das pessoas ao invés da mobilidade de veículos. Isto é, dependendo do modo de transporte, existem níveis variáveis de pessoas transportadas. Por exemplo, se considerarmos um autocarro, este tem capacidade de transporte cerca de 20 vezes superior à de um carro ligeiro e ocupa apenas o triplo do espaço (Arasan & Vedagiri, 2006). Assim, é perfeitamente pertinente estabelecer em avenidas e cruzamentos urbanos, medidas que deem prioridade ao transporte público. Por outro lado, a própria ocupação do carro ligeiro pode ser alvo de atenção, visto que a maior parte das viagens são feitas em veículos com apenas uma pessoa, sendo pertinente premiar os veículos ligeiros com “alta ocupação”, isto é, que transportem duas, três ou mais pessoas, face a veículos com apenas um ocupante. Facilmente se entende

que, no mínimo, um veículo de alta ocupação transporta o dobro das pessoas, ocupando o mesmo espaço.

Portanto, uma vez que os autocarros, metro ligeiro, elétricos e outros tipos de transportes coletivos urbanos conseguem servir um maior número de pessoas por unidade de área ocupada pelo veículo do que é o caso dos veículos automóveis ligeiros, são claramente bons candidatos a serem privilegiados em termos de espaço público alocado.

2.2. Tipologias de Soluções

2.2.1. Vias reservadas ao transporte público

Uma das políticas de beneficiação de transportes públicos corresponde à alocação para a circulação destes de uma via reservada, genericamente designada de via BUS (Viegas & Lu, 2007), onde outros veículos são totalmente ou parcialmente interditos de circular. Com isto pretende-se que os BUS consigam evitar os condicionamentos provocados pelo tráfego indiferenciado e, especialmente, o congestionamento, circulando em troços segregados fisicamente ou apenas através de marcas rodoviárias. Assim, consegue-se obter melhores velocidades de operação dos veículos para além de aumentar a fiabilidade do serviço, por redução da variabilidade entre diferentes tempos de percurso, tornando os transportes coletivos mais atraentes para os utentes e portanto mais competitivos. No entanto, há que ter em conta as frequências dos serviços de autocarros, assim como a taxa de ocupação visto que este tipo de políticas implicam sempre um trade-off entre transporte público e tráfego generalizado, não sendo adequado estar a retirar a prioridade a um modo para dar a outro, se não existirem benefícios globais.

Este tipo de via pode existir apenas em certos troços ao longo das zonas mais congestionadas, sendo que fora destes, os transportes públicos circulam com o restante tráfego, ou podem constituir redes completas em que em toda a sua extensão, exceto nos cruzamentos, é interdito o restante tráfego. Este último sistema é designado de Bus Rapid Transit (BRT) e tem tido uma crescente popularidade nos últimos anos (Levinson et al, 2003). Este tipo de soluções é muito comparado ao serviço de metro ligeiro visto que os níveis de serviço e velocidades de operação são semelhantes, embora geralmente inferiores, com a vantagem de ter custos bastante inferiores. Levinson et al. (2003) refere um estudo de 1976 em Ottawa que descobriu que comparando com um sistema de metro ligeiro, os custos de implantação de BRT eram cerca de metade e os custos de operação seriam 20% menores.

Em adição, a direção da circulação dos transportes coletivos pode ser a mesma das vias adjacentes ou também em contra fluxo, isto é, no sentido contrário ao da circulação do restante tráfego (Urbanik et al, 1977). Contudo, esta é uma solução mais suscetível de causar um aumento da sinistralidade, sendo inclusive recomendado que nestas situações a via seja segregada fisicamente para minimizar estes riscos. Posto isto, pode ser também muito benéfica nomeadamente em arruamentos de sentido único de maneira a encurtar carreiras ou facilitar viagens de ida e volta. Se não existir espaço suficiente para colocar duas vias BUS, pode-se também adotar a filosofia de via reversível (funciona no sentido do trânsito num determinado período e no sentido contrário ao trânsito no restante tempo) em função da

necessidade. Todavia, as vias reversíveis não são apenas aplicáveis a este tipo de situações e vão ser explicadas de maneira mais detalhada no ponto 2.1.4.

Todavia há que ter algumas atenções ao nível de como introduzir estes corredores. Como nem sempre existe espaço livre para implantar este tipo de vias, sendo necessário mudar o propósito de uma via generalista para via reservada para transportes públicos, e. Esta mudança tem que ser muito ponderada, visto que retirar uma via ao restante tráfego pode amplificar de tal maneira o congestionamento, que não seja benéfico para nenhum modo a implantação deste sistema. Há um fator que minora este problema que é a migração entre modos de transporte: como o transporte público se torna mais rápido e mais fiável, existem pessoas que deixam de utilizar o transporte individual e passam a usar o transporte público (Currie et al. 2007).

Em termos de extensão da implantação deste tipo de medidas, esta deve ser suficiente para se conseguir garantir que os serviços que se pretende privilegiar conseguem ser protegidos da totalidade das zonas congestionadas, tendo em atenção que ao introduzir este tipo de solução as zonas congestionadas tendem a alongar-se e não se obtém nenhum benefício se ao sair da zona protegida se deparar com atrasos acrescidos a jusante desta (Arasan & Vedagiri, 2006). Quando existem graves problemas de congestionamento os ganhos obtidos pelos transportes públicos tendem a ser inferiores às perdas do transporte individual, sendo que a solução não deve ser aplicada (Currie et al., 2003). Isto pois a reserva de uma via implica uma perda de capacidade significativa que causa um aumento da zona congestionada, isto é, um aumento do tamanho das filas de trânsito. Se estas forem de tal grandeza que possam bloquear cruzamentos a montante a via BUS deixa de fazer sentido, visto que o ganho que os transportes coletivos têm na sua extensão, não compensa o tempo perdido nas filas a montante.

Não é apenas a extensão que é crítica, o ponto de começo e término da via também é muito importante. Nos cruzamentos é muitas vezes vantajoso terminar a via reservada um pouco antes de chegar ao cruzamento sendo retomada um pouco depois de este terminar, de maneira a facilitar as mudanças de direção dos veículos não prioritários sem implicar acréscimos significativos das demoras sofridas pelos BUS. Os valores mais indicados são cerca de 2 a 3 metros por segundo de verde, para garantirem “stockagem” aceitável que possa ser servida num único ciclo, sendo que o veículo de transporte coletivo, mesmo que esteja no final desta fila, é sempre servido no mesmo ciclo em que chega ao cruzamento (Costa, 2008). No entanto, em cruzamentos semaforizados pode ser benéfico estender a via até ao cruzamento de maneira a poder dar ainda mais benefícios ao transporte público também em termos de tempo de verde ou mesmo criando uma fase própria. Este tipo de medidas vão ser expostas mais detalhadamente mais adiante no capítulo 4.

Para além disso, fora dos períodos de ponta e com níveis de tráfegos baixos, a criação de vias reservadas pode não fornecer benefícios significativos. Uma solução potencialmente interessante para esta situação é fazer de maneira que a via apenas seja interdita aos transportes individuais durante as horas de maior congestionamento, funcionando como uma via normal ou como espaço de estacionamento ou carga e descarga nos restantes períodos, podendo ser implementado um sistema de informação fixo (via é reservada apenas nas horas de ponta) ou variável, implementando vias BUS intermitentes, geralmente designadas por IBL

(intermittent bus lanes). Neste sistema, existe um sistema de deteção que obriga o tráfego a sair da via quando um veículo de transporte público quer entrar nessa via, isto pode funcionar através de painéis de informação variável ou outros sistemas dinâmicos (Costa, 2008).

Quando existem justificações para isso, pode-se permitir o acesso de outro tipo de veículos a estas vias reservadas, como por exemplo táxis, serviços de emergência ou veículos não poluentes ou híbridos, mas também bicicletas. Assim, pode-se maximizar a utilização da capacidade da via quando esta não está a ser utilizada por transportes públicos, sendo contudo necessário garantir que não existam níveis de tráfego que prejudiquem a circulação deste tipo de transportes devido à sua presença. De notar que, mais que o tempo médio de percurso, a fiabilidade do serviço dos transportes públicos é um barómetro muito mais pertinente da qualidade de serviço (Currie et al., 2003) e, embora a adição de outro tipo de veículos à via reservada não prejudique muito o tempo ou a velocidade médio de percurso, pode ser condicionante para o nível de serviço se de algum modo criar situações que levem a uma variabilidade demasiado grande nas condições de circulação.

Existe ainda outra desvantagem relativamente a este tipo de solução, que é a perda do espaço para criar estacionamento ou zonas de cargas e descargas. Eventualmente, para mitigar este impacto, pode-se adotar um horário de funcionamento da via reservada, de maneira que, fora deste horário esta possa ser utilizada para estacionar veículos ou para cargas e descargas. Todavia, a supressão de estacionamentos pode ser ainda mais um fator dissuasor do transporte individual, constituindo uma medida indireta de dar prioridade aos transportes coletivos.

Outro fator a ter em atenção é a falta de respeito pelas áreas reservadas. Em situações de tráfego denso intenso é muito apetecível para um condutor cometer uma infração e usar a via BUS ilegalmente. Em casos extremos, pode ser causado embaraço aos veículos que realmente têm o direito de circular nessas vias. Assim, torna-se necessário uma apertada vigilância por parte das entidades de fiscalização, para garantir que o funcionamento seja aquele que foi inicialmente proposto.

Em termos de infraestrutura, a largura adequada de uma via reservada a transportes públicos é de 3,5 metros, podendo ir a um mínimo de 3,0 metros e em casos específicos pode-se admitir 2,8 metros, embora neste caso já existe demasiada proximidade dos peões podendo causar situações perigosas que ponham em causa a integridade destes (Costa, 2008, Silva 2014) A localização mais corrente é alocar a via mais à direita, isto é, mais próxima ao passeio para transportes públicos, se bem que em algumas situações se possa colocar na via central, mas neste caso já se criam problemas em relação à localização das paragens que é preciso considerar (Costa et al, 2008). Para além disso, é necessário colocar marcações rodoviárias de maneira a garantir que não são criadas situações de conflito por falta de informação. Em primeiro lugar, tanto em sinais verticais, como em marcas rodoviárias deve ser claramente indicado o início e o fim de cada via BUS. Para além disso, é necessário demarcar a separação entre estas vias e as restantes, recorrendo-se a marcas longitudinais no pavimento ou, caso se considere necessário, uma separação física utilizando lancis elevados ou outro tipo de formas que se revelem pertinentes.

No caso das vias reservadas a transporte público apenas em determinados períodos do dia, têm que ter essa informação perfeitamente visível. Se o tempo de funcionamento for fixo, pode-se apenas recorrer a sinalização vertical, no entanto uma solução de via intermitente exige a existência de sistemas de informações dinâmicos como por exemplo painéis de informação variável. Nesta situação podemos ter duas variações da solução: após detetado o veículo de transporte público, o trânsito a circular a jusante deste na via reservada pode ser forçado a sair ou se apenas se impede a entrada de novos veículos. No caso de não se expulsar os veículos ligeiros da via, há necessidade para complementar esta solução com eventuais extensões do período de verde nos cruzamentos semaforizados seguintes de maneira a facilitar a dispersão das filas. No entanto, pode-se causar perda de capacidade nas vias secundárias e aumentar o atraso global no cruzamento (Eichler e Daganzo, 2005).

2.2.2.Vias reservadas a veículos de alta ocupação

A filosofia de que é aceitável beneficiar um veículo se este transportar um maior número de pessoas que o habitual também se pode, como acima referido, estender aos veículos ligeiros. Isto é, um veículo ligeiro que transporte duas pessoas tem o dobro da eficiência de um carro que apenas transporte um passageiro. Assim tem lógica implantar políticas que permitam beneficiar os veículos que transportem mais do que o condutor, designados por veículos de alta ocupação (VAO), de maneira semelhante aos transportes públicos (Daganzo & Cassidy, 2007). Uma medida para fazer aplicar esta política é a implementação de vias reservadas. Estas funcionam de maneira muito semelhante às vias BUS, na medida em que permitem a circulação de VAO e impedem a circulação do restante tráfego. Na generalidade das situações é também permitida a circulação de autocarros e outros veículos de transporte coletivo nestas vias. O limite mínimo de ocupantes é estabelecido em função do que se pretende, mas há que ter em conta que quanto maior for o número de ocupantes requerido, menor será a procura da via reservada, podendo estar-se a criar uma solução em que o benefício não é globalmente positivo. Para além de ser uma maneira de otimizar o espaço de uma estrada, indiretamente também serve de incentivo ao carpooling, isto é, à partilha do veículo por várias pessoas.

Nestas situações existe o mesmo problema que nas vias BUS tradicionais quando há espaço limitado disponível: a necessidade de passar uma via generalista para uma via reservada. Esta problemática é ainda mais importante no caso dos VAO porque, quando no caso dos transportes públicos existe uma frequência de veículos definida, neste caso a procura deste tipo de vias não é facilmente determinável. Assim, ao retirar uma via ao restante tráfego para reservar para veículos de alta ocupação, pode-se estar a retirar capacidade para não obter benefício algum. Aliás, a subutilização deste tipo de vias é um problema que tem posto em causa a sua aplicabilidade (Konishi & Mun, 2010).

Kwon e Varaiya (2007) fizeram um estudo à rede de vias reservadas a VAO no estado da Califórnia nos Estados Unidos da América chegando à conclusão de que, embora não haja grandes benefícios em converter uma via geral para uma via reservada em termos de pessoas transportadas por hora, redução do tempo de deslocação nem aumento velocidade de circulação, existem ganhos na fiabilidade no caso dos VAO e também existem nichos onde a introdução deste tipo de solução é altamente benéfica, nomeadamente partilhando com autocarros e outros tipos de veículos. Considerando que também é referido que a

operacionalidade global normalmente não diminui (não são criados atrasos) este tipo de medidas tornam-se mais apelativas.

Uma solução alternativa passível de minimizar o efeito da subutilização das vias reservadas aos VAO, é permitir ao acesso de veículos de ocupação normal, mediante pagamento de uma determinada taxa. Assim, é possível manter a política de prioridade aos veículos de alta ocupação e permitir o uso da reserva de capacidade na via reservada para quem estiver disponível para pagar pelo privilégio. No entanto há que ter cuidado com o número de veículos que se permitem circular na via reservada, pois esta perde o seu propósito se exibir congestionamento. Relativamente às condições de aplicação deste tipo de taxa, um estudo feito por Konishi e Mun (2010) identificou ainda um outro risco associado ao facto de que ao se permitir que qualquer veículo use a via reservada, se desincentivam as soluções de carpooling. A melhor estrutura de cobrança será a de cobrar em todas as vias de circulação, permitindo aos VAO circular sem custos. Isto é um forte incentivo à partilha de veículos, aumentando o número de veículos de alta ocupação, baixando o nível de subutilização das vias e libertando as vias adjacentes de tráfego, visto que os utilizadores migram para um modo partilhado de transporte.

2.2.3. Medidas de prioridade em cruzamentos

Não é só em trechos de estrada em que é necessário intervir de maneira a diminuir as demoras e estabelecer políticas de prioridade de veículos de transporte público ou de alta ocupação. Os cruzamentos são, também e especialmente, pontos críticos em termos de congestionamento. No entanto, as soluções que privilegiam um determinado modo de transporte em cruzamento, muitas vezes dependem ou são aplicadas em conjunto com as soluções apresentadas nos subcapítulos anteriores.

Um desses casos é a prioridade aos transportes públicos em cruzamentos semaforizados. Este tipo de cruzamento pode ser muito condicionante para a fiabilidade deste serviço, visto que a demora varia bastante dependendo de um determinado veículo chegar à intersecção e ter verde ou ter vermelho e ter que esperar pelo verde.

Uma solução para este problema tende a passar pela instalação de um plano de regulação ativo nos controladores dos semáforos, capaz de discriminar positivamente os transportes públicos (Urbanik et al, 1977). Uma maneira de evitar as demoras impostas pelo sinal vermelho é permitir ao controlador estender o período de verde se for detetado um autocarro a aproximar-se. No entanto há que garantir que não é permitido um período de verde demasiado longo, que penalize os veículos nas correntes de tráfego conflituantes que em paralelo vão ter o período de vermelho alongado, e é necessário existir uma via reservada aos autocarros de maneira a permitir a instalação de detetores nessa via. Ainda assim, mesmo com a via reservada, se esta permitir a circulação de outros veículos para além do transporte público (por exemplo táxis), estes também serão detetados e torna-se necessário analisar se é desejável dar prioridade no cruzamento também para esses veículos. Se isso não for desejável, têm que se considerar maneiras alternativas da deteção dos autocarros que apenas detetem estes.

Hoje em dia, graças ao avanço da tecnologia, é relativamente fácil de aplicar, já existem vários sistemas como por exemplo o GPS ou outros sistemas que podem ser instalados nos veículos que comunicam diretamente com o controlador e lhes disponibilizam informação em tempo real nomeadamente sobre a sua identidade, localização e velocidade (Ma et al, 2013). Este tipo de instalações, não só permitem que apenas sejam beneficiados os veículos desejados, como providencia mais versatilidade ao sistema: deixa de ser necessária uma via BUS até ao cruzamento pois os veículos passam a ser detetados individualmente e permite saber se um determinado veículo está atrasado ou adiantado. Este último parâmetro é muito importante, pois pode-se programar o controlador para só para dar prioridade aos veículos atrasados. Assim aumenta-se muito a fiabilidade do modo público de transporte, dando só prioridade àqueles que necessitam, uma vez que se fosse dada uma prioridade a todos os transportes coletivos, não só o apoio dado a cada um teria que ser necessariamente bastante reduzido, como as demoras para os outros veículos podiam tornar-se incomportáveis.

Contudo, este tipo de soluções não é sempre aplicável. Por exemplo, quando há múltiplos pedidos de prioridade por veículos de transportes coletivos em movimentos conflituantes não é possível dar prioridade em simultâneo a todos (Ma et al.,2013). Este problema pode ser resolvido através de uma metodologia “first-come-first-serve”, isto é, são servidos os primeiros a chegar. Isto pode resolver o problema em cruzamentos simples, mas em intersecções com muita procura é necessário optar por soluções mais complexas que envolvam a otimização do sistema, tanto para estabelecer as prioridades entre os diversos veículos de transporte público, como também entre estes e os veículos correntes (Ma et al.,2013).

Para além disto, mais do que dar prioridade é importante o como se dá essa prioridade, pois, mesmo em termos de planos de regulação semaforicos, existem estratégias divergentes. Estas podem ser divididas em três grupos: soluções passivas, ativas e otimização tempo real.

As soluções passivas são geralmente aplicadas em semáforos que estão a funcionar em plano de regulação em tempos fixos, em artérias com uma sucessão de cruzamentos. A metodologia consiste em manipular as “ondas verdes” de maneira a considerar o tempo de viagens dos autocarros e não o dos veículos de baixa ocupação. Uma “onda verde” é uma maneira de diminuir as demoras numa avenida com vários cruzamentos semaforizados e consiste em garantir que, uma vez que um veículo tem verde numa determinada interseção, irá ter também verde nos semáforos seguintes. Isto pode ser feito coordenando os diferentes ciclos dos sucessivos cruzamentos, tendo em consideração o tempo que um determinado veículo demora a ir de um cruzamento para o seguinte. A única grande limitação é que todos os ciclos dos diversos planos semaforicos têm que ser iguais ou múltiplos uns dos outros. Para beneficiar os autocarros, este desfasamento deve ser calculado em função da velocidade dos transportes públicos, que tendem a ser inferiores aos restantes veículos, e ter em conta a existência de paragens para entrada e saída de passageiros. Para além disso, pode obter-se um grande melhoramento se se alternarem as paragens localizadas perto do cruzamento entre serem localizadas antes da interseção ou depois desta, sucessivamente. Assim evita-se o atraso devido aos transportes coletivos terem de parar devido ao sinal vermelho e por terem de parar para descarregar passageiros, passando a só ter de parar uma vez (Skabardonis, 1998). No entanto, os maiores ganhos são obtidos apenas para pequenas frequências de autocarros, por exemplo, com 10 veículos de transporte coletivo por hora, obtém-se um ganho muito grande para os autocarros, sem grandes influências no tráfego

restante. Para grandes volumes de autocarros, começa-se a degradar gravemente o serviço aos veículos correntes, sem obter grandes benefícios para o transporte público. Em adição, a incerteza da chegada dos autocarros, associada atrito lateral ao longo da via e interação com os restantes veículos, pode ser um fator condicionante no sucesso da aplicação deste tipo de soluções. Se houver um desfaseamento significativo pode-se estar a piorar ainda mais o serviço, diminuindo ainda mais a fiabilidade dos transportes (Skabardonis, 1998).

Outra técnica de atribuição de prioridade em planos de regulação passivos é o “metering”. Este consiste no controlo da entrada de demasiados veículos numa via de maneira a controlar o nível de procura, impedindo o congestionamento nela e garantindo bons níveis de circulação. Isto pode ser feito criando uma fase de vermelho específica para o efeito. Assim, pode ser dado o direito de preferência aos transportes coletivos, por exemplo dando sempre verde na fase de “metering” nas vias reservadas ao transporte público se estas existirem, por exemplo (Garrow & Machemehl, 1997).

Em adição, ao dividir as fases de verde em partes pode-se beneficiar bastante os transportes coletivos. Isto é, uma fase de verde que seja calculada para ter uma determinada duração pode ser dividida em subfases, cujo somatório de tempo de fase seja igual à original. Por exemplo se os transportes coletivos circularem numa fase A com duração de t segundos, pode ser dividida em duas fases com duração $t/2$ segundos de maneira a que dois veículos sucessivos com chegadas desfasadas, ambos tenham verde aquando a chegada ao cruzamento. Isto pode diminuir significativamente o atraso dos autocarros, sem aumentar o tempo de fase e causando transtornos desprezíveis ao restante tráfego (Garrow & Machemehl, 1997).

As estratégias de prioridade ativa já foram referidas anteriormente, e consistem na alteração do plano de regulação se forem detetados veículos de transporte público. Uma dessas soluções é a extensão do tempo de verde, de maneira a permitira que o veículo que esteja muito próximo do cruzamento mas não próximo o suficiente para ainda aproveitar o tempo de verde. Assim, para evitar que tenha de esperar pelo próximo ciclo, o tempo de verde é alongado alguns segundos, permitindo a passagem do veículo.

Todavia, nem todas as interseções são passíveis de implementar este tipo de soluções. Em primeiro lugar, tem que haver um “resto” de tempo de verde, que se possa usar para estender a prioridade. Isto é, o cruzamento não pode estar sobrecarregado, tendo que haver uma margem no ciclo que possa ser utilizada para este fim. Para além disso, tem de ser considerada a chegada dos veículos ao cruzamento seguinte. Ao avançar o tempo de verde a montante pode resultar num atraso maior a jusante. Se não for conseguido nenhum benefício em termos de rede, e considerando que cada vez que se dá prioridade ao transporte público se está a colocar o trânsito comum em segundo plano, o trade-off entre os modos pode implicar um sacrifício que não é compensado (Skabardonis, 1998). Finalmente, há que considerar a questão de cumprimento de horários. Dar o direito de preferência aos transportes públicos pode resultar em que alguns deles estejam adiantados, o que em termos de serviço é pior do que estar atrasado. Assim, não se justifica e pode ser prejudicial dar prioridade a estes veículos, pois não necessitam dela. Por outro lado, o benefício pode ser muito significativo para autocarros atrasados, permitindo-lhes recuperar algum tempo perdido, ajudando a aumentar a fiabilidade do sistema (Skabardonis, 1998). Contudo, isto implica

sistemas de deteção, reconhecimento mais sofisticados, que permitam saber exatamente qual é o autocarro e se está ou não a horas e se precisa ou não de prioridade.

Existem outros métodos que podem, eventualmente, vencer as limitações apresentadas. Uma muito semelhante à extensão do tempo de verde é a redução do tempo de vermelho. Esta funciona de maneira semelhante, à anterior: quando um veículo de transporte coletivo se aproxima de um semáforo que ainda esteja vermelho, a fase verde pode ser antecipada “cortando o vermelho”, isto é passar para verde antecipadamente. Posteriormente, a fase de verde pode terminar também mais cedo, não sendo necessária a existência de reserva de verde (Garrow & Machemehl, 1997). Numa outra alternativa, o sinal vermelho pode ser temporariamente interrompido, introduzindo uma nova fase de verde mais curta, tendo apenas a duração que permite ao veículo de alta ocupação passar, voltando ao vermelho em seguida (Garrow & Machemehl, 1997).

Quando se está numa situação em que o trânsito conflituante é muito pouco significativo, pode-se suprimir por completo uma fase de verde para as vias secundárias, que apenas poderão seguir viagem no ciclo seguinte (Garrow & Machemehl, 1997).

Se um veículo de transporte público for detetado a demasiada distância do cruzamento, pode-se reduzir a fase de verde presente, de maneira a dar tempo para o ciclo terminar e voltar a verde a tempo daquele ter passagem quando finalmente chegar à intersecção (Garrow & Machemehl, 1997).

As soluções de otimização tempo real são, de certo modo, uma variante das estratégias ativas. A diferença é que, para além da deteção, a prioridade é dada em função da computação em tempo real do desempenho ótimo da rede. Esta tipologia de regulação é claramente mais cara, porque exige mais do que a deteção de veículos de transporte público, no entanto permite a implantação de um sistema que está permanentemente em adaptação em resposta à realidade de procura no cruzamento em cada momento.

2.2.4.Vias Reversíveis

Genericamente verifica-se que, principalmente em avenidas de entrada ou saída numa cidade, as solicitações das vias em termos de procura, não são uniformes por sentido. Por exemplo, em arcos que sirvam de entrada/saída na cidade verifica-se que durante o pico da manhã existe muita procura no sentido de fora para dentro, enquanto o sentido oposto tem tráfego reduzido. No pico da tarde acontece o inverso. Aproveitar o excesso de capacidade de um sentido para compensar o sentido contrário apresenta-se como uma solução não só desejável, mas que pode trazer grandes benefícios. Para isso podem-se introduzir as chamadas vias reversíveis. Estas de certo modo funcionam como uma combinação de vias reservadas em fluxo concorrente e vias em contra fluxo (Urbanik et al.,1977), sendo que o sentido de trânsito é determinado em função da hora do dia, adaptando-se às necessidades do trânsito. Assim, otimiza-se a oferta à procura evitando ocupar mais espaço, que em plano urbano pode ser condicionante. Este tipo de soluções podem ser aplicadas a todos os modos de transporte, ou ser reservado a transportes públicos e VAO's. Assim, acaba por funcionar

como as políticas de prioridade explicadas nos capítulos 3 e 4, pelo que nesta parte se irá apenas incidir nas características próprias deste tipo de soluções

As vias reversíveis combinam os benefícios das vias reservadas, tanto em fluxo concorrente como em contra fluxo, com a vantagem de dar o direito de preferência apenas nas horas de maior necessidade e no sentido necessário, sem ser preciso retirar demasiado espaço ao restante tráfego. Por exemplo, se se quisesse adotar uma solução do tipo de vias reservadas numa avenida com dois sentidos, ter-se-ia que ocupar duas vias, uma por sentido. Com este tipo de soluções apenas é necessário ocupar uma via, que terá o sentido estabelecido de forma dinâmica ao longo do dia, em função das necessidades.

No entanto, a aplicação deste tipo de estratégia também tem as suas desvantagens. O potencial para a existência de acidentes é aumentado devido à complexidade de movimentos introduzidos pela introdução da via reversível. Este problema pode ser mitigado, criando separadores físicos entre estas e as restantes vias, mas o problema do atravessamento dos peões mantém-se devido à alternância do sentido de tráfego, especialmente em vias de sentido único, em que o peão está à espera que o trânsito apenas venha de um sentido, quando pode vir no sentido contrário. Acresce que, se houver a necessidade de fazer carga e descarga de passageiros ao longo destas vias, é criado também um problema de segurança (Urbanik et al., 1977). De notar também que, caso existam cruzamentos semaforizados, tem de ser tida em conta a via reversível no plano de regulação (NCHRP, 2004).

A caracterização de uma via reversível pode ser estabelecida através de dois tipos de parâmetros: espacial e temporal. Em termos de espaço, é importante definir a extensão do arruamento onde que a via reversível irá funcionar. Mais importante que isso é definir as zonas de transição e de aproximação. Na aproximação, é necessário informar com rigor aos utentes que estão prestes a entrar numa via reversível qual o atual sentido de todas as vias, em ambas as direções.

Na zona de transição, há que garantir que as mudanças de via são feitas da maneira mais fluida possível, pois é esta zona a mais propícia a acidentes, tanto em número como em gravidade. É também nesta zona que é condicionada a capacidade de toda a via. Se não for dimensionada corretamente pode criar congestionamento, condicionando o nível de serviço de toda a via. Após esta zona, entra-se na zona da via reversível propriamente dita. Finalmente, existe outra zona de transição e finalmente o afastamento, voltando a uma circulação normal (NCHRP, 2004).

Para além disso, há que estabelecer a condição por defeito da via reversível. Em faixas de rodagem com dois sentidos de tráfego sem separação física isto não é condicionante, mas em situações de avenidas de sentido único ou quando os sentidos de trânsito têm separador central entre direções de fluxo pode ser. Nestas tipologias podem ser criadas situações perigosas, em especial em situações fora das horas de pico, com volumes reduzidos de tráfego (NCHRP, 2004).

As características temporais podem ser estabelecidas de maneira muito semelhante às espaciais. É necessário definir os tempos de transição, que corresponde ao tempo necessário

para passar das vias generalistas para as vias reversíveis e vice-versa, assim como o tempo de operação, que é o tempo que é necessário para atravessar toda a zona reversível. O tempo total de operação em cada sentido tem que incorporar o tempo de atravessamento, isto é, a soma dos tempos de transição e de operação. Normalmente as horas de funcionamento das vias reversíveis são nas horas de ponta, 2h de manhã e 2h de tarde, mas também é comum estabelecer planos bi-diários, funcionando de manhã num sentido e à tarde e noite no sentido oposto. No entanto, recorrendo a sistemas de informação dinâmicos, como por exemplo painéis de mensagens variáveis, pode-se mudar a regulação a qualquer altura (NCHRP, 2004).

Em termos de tempo, a situação mais crítica é nos períodos de inversão de sentido. Tem que se dar tempo suficiente para todos os veículos saírem da via, para que os veículos que querem circular no sentido oposto possam usufruir da via. Este tempo depende muito da extensão da via reversível, tendo em conta as zonas de transição, e é tanto maior quanto maior for o comprimento desta. O período de inversão deve ser o mais breve possível mas garantindo sempre as condições de segurança adequadas (NCHRP, 2004).

2.3. BUS/HOV/Auto Individual – A segregação como política de Prioridade

2.3.1.A segregação como política de prioridade mais utilizada

De todas as políticas de prioridade explanadas no ponto 2.1 a reserva de vias para serem usadas exclusivamente pelo transporte público é uma prática corrente na europa contando com mais de 25 anos de aplicação (Jepson and Ferreira, 1999).

A instalação de vias reservadas a transportes coletivos requer que seja construída uma nova via de trânsito ou que seja retirada uma via destinada ao tráfego generalizado. Esta segunda opção é muito mais crítica por corresponde a uma perda imediata de capacidade por parte dos restantes utilizadores (Xue et al, 2010). Dando o exemplo de uma avenida comum urbana com duas vias por sentido, a perda de capacidade para o tráfego generalizado pode ser de 50%, o que pode ter impactos graves na circulação nesse troço.

A introdução de vias reservadas a autocarros está diretamente associada a um aumento da velocidade comercial, diminuição do tempo perdido e até a um aumento de utilizadores. Todavia, no caso das vias em que podem circular autocarros e VAO's o efeito é o contrário, havendo uma diminuição dos utilizadores do transporte público, mesmo não havendo diminuição na qualidade de serviço destes (Balcombe et al, 2004).

A longa história do uso de vias reservadas ao transporte público levou a diversas abordagens diferentes relativamente à sua aplicabilidade. Todavia, as justificações utilizadas foram muitas vezes limitadas pois só consideravam alguns fatores individualmente como a maior capacidade de transporte de passageiros, diminuição do tempo de percurso, a poupança de dinheiro e de outros recursos. Adicionalmente, a análise do aumento da fiabilidade muitas vezes não é considerada e quando o é, não é de maneira totalmente explícita (Currie et al, 2007).

Em termos de análises previamente feitas ao desempenho de vias reservadas de autocarros e a VAO a bibliografia é considerável, mas as análises feitas têm incidido quase sempre sobre os mesmos pontos e utilizando ferramentas semelhantes.

Existem vários estudos sobre o funcionamento de vias reservadas a VAO, mas centram-se essencialmente na análise de troços ou artérias não considerando o efeito de cruzamentos (Daganzo e Cassidy, 2007, Kwon e Varaiya,2007)

Relativamente à análise do desempenho de uma via BUS existe um número significativo de estudos usando a micro-simulação. Currie et al. (2003) definiu um modelo deste tipo para simular a influência de introduzir uma via BUS numa rede composta por um conjunto de dois cruzamentos semaforizados a uma distância de 500 metros entre si. A análise foi feita para um conjunto de cenários de níveis de tráfego e variação do comprimento do “set-back”. Este comprimento representa a distância à linha de paragem do próximo cruzamento em que a via reservada é interrompida de maneira a fornecer uma capacidade adicional na proximidade da intersecção. As conclusões deste estudo foram que até um nível de 1000 uvl/h por via havia um pequeno benefício para o autocarro, mas perdas insignificantes para os restantes utilizadores da rede. A partir desse valor, o benefício para os autocarros subia significativamente, mas à custa de um aumento de demora também significativo para o tráfego generalizado, sendo que nesta situação o desempenho dependia bastante do comprimento do “set-back”. Todavia, de longe o resultado mais interessante desta análise é que para níveis de tráfego muito elevados, cerca de 1250 veic/h por via, a rede ficava bloqueada, não havendo benefício algum para o transporte coletivo.

Jepson e Ferreira (1999,2000) estabelecem uma análise do impacto de várias medidas de prioridade num conjunto de dois cruzamentos semaforizados espaçados de 250 metros entre si, havendo duas vias em cada sentido. A base deste estudo consiste em comparar dois cenários para a introdução de uma nova via de circulação: o primeiro considera que essa via servirá qualquer tipo de veículo e o segundo cenário define essa via como reservada aos autocarros. Para além da micro-simulação, usam também um modelo macro de análise de redes de cruzamentos semaforizados. A análise de desempenho que estabelecem é baseada no tempo de atraso por pessoa servida, na medida que estabelecem uma equação que define o número mínimo de utilizadores do transporte público para que uma determinada medida de prioridade seja justificável. As conclusões a que chega não fogem da norma, na medida em que, para volumes de trânsito pequenos há pequenos benefícios para o transporte coletivo e virtualmente nenhuma perda de capacidade de circulação do restante tráfego, para volumes um pouco maiores as vantagens para o transporte público implicam um aumento de atraso para o trânsito generalista e que para uma situação de bloqueio devido a um nível de trânsito muito elevado, não é sustentável inserir uma via reservada aos autocarros.

Centrando-se numa análise da variação da velocidade média por cada modo de transporte, Arasan e Vedagiri (2007) analisaram um arco com 3 vias por sentido. Embora não tendo simulado intersecções as conclusões a que chegaram vão de encontro aos estudos já apresentados com a nuance de que é definido que não devem ser inseridas vias reservadas em situações em que o rácio entre o volume e a capacidade excede o valor de 0,53.

2.3.2. Indicadores de desempenho – A análise da fiabilidade

Na maior parte dos estudos analisados, os indicadores usados para avaliar a introdução de uma via reservada incidem essencialmente na análise de tempos de percurso e de atraso e de velocidade comercial. Adicionalmente, em várias destas análises é referido que é a fiabilidade do transporte público a principal maneira que os utilizadores percecionam o nível de qualidade desse serviço. Contudo, muitas destas análises não analisam esta questão, ou quando analisam, estabelecem indicadores pouco intuitivos. Assim, torna-se necessário analisar alguns estudos que analisam a questão da fiabilidade do transporte público.

Yu et al. (2011) avalia a fiabilidade através do tempo médio de espera dos passageiros. O cálculo é feito por cada autocarro. Isto é, um autocarro sai de um determinado local, de onde inicia a carreira. No final da carreira faz-se a média de todos os tempos de espera dos passageiros nas sucessivas paragens. A fórmula que retorna a fiabilidade toma em conta um coeficiente de variabilidade do intervalo entre autocarros e uma média desses intervalos.

Como no caso a analisar não serão colocadas paragens, não é pertinente avaliar a fiabilidade com esta metodologia.

El-geneidy et al. (2011) analisa uma série de dados estatísticos provenientes de um sistema de AVL (Localização Automática de Veículos) O objetivo é identificar os fatores que contribuem para a perda de fiabilidade de um sistema de transportes públicos. É referido que a fiabilidade deve ser associada ao cumprimento do calendário previsto das viagens, sendo que para isso podem ser usados como indicadores o atraso no tempo de percurso, a variação do tempo de percurso e a variação do intervalo entre passagens. Para além disso, é exposto que os passageiros têm a sua própria noção de fiabilidade, diferente dos controladores, que tem como parâmetros a facilidade de acesso à paragem, as chegadas à hora prevista, tempo de espera reduzido, tempos de percurso baixos e pouco variáveis.

3. METODOLOGIA

3.1. Objetivos do Problema

Com este trabalho pretende-se estudar medidas de políticas de apoio ao transporte público e a veículos de alta ocupação ou VAO, numa perspetiva de analisar os benefícios obtidos para cada pessoa, ao invés de analisar apenas os veículos em que estas circulam. De uma maneira mais simples, irá estudar-se a influência na mobilidade global ao dar prioridade aos veículos que apresentem a maior eficiência na ocupação de espaço de circulação. Todavia, não poderão ser analisadas todas as medidas de política em todas as realidades urbanas possíveis.

Assim, há que estabelecer um estudo de caso que seja simultaneamente simples de estudar em tempo útil e permita obter resultados que possam ser extrapolados para um conjunto o mais abrangente possível de diferentes tipos de geometrias viárias e respetivas condições de operação. Este estudo de caso não irá ser um caso de aplicação real, pois assim poderia incorrer-se no erro de uma análise local com uma capacidade limitada de generalização. O que se pretende é definir um caso fictício que reflita ao mesmo tempo diversos aspetos da realidade da mobilidade urbana e fazer um estudo de diversos cenários que permitam extrapolar a aplicabilidade de medidas de prioridade para casos reais. Não é intuito deste trabalho definir regras rígidas para a decisão da implantação de políticas de prioridade mas sim estabelecer uma série de parâmetros intuitivos que possam ser utilizados numa fase de estudo de viabilidade permitindo analisar as propostas existentes de maneira a colocar de parte aquelas que se mostrarem inviáveis, permitindo poupar tempo e recursos.

A medida de prioridade escolhida para ser analisada neste projeto é a de estabelecer uma via reservada para a circulação de transportes coletivos. A escolha foi feita tendo em conta o facto de esta ser uma medida que conta já com inúmeros casos de aplicação por todo o mundo o que leva ao facto de haver uma quantidade significativa de bibliografia sobre todos os parâmetros de desempenho da rede global de tráfego e da rede de transportes públicos. Por outro lado, uma das principais críticas à sua utilização é a reserva de capacidade excessiva que muitas vezes se verifica nestas situações. Assim testou-se também a possibilidade de permitir o uso da via reservada também aos VAO para aproveitar a reserva de capacidade.

A via reservada será introduzida numa situação em que é retirada uma via ao trânsito generalizado pois é a situação que é apontada como mais crítica, devido a implicar uma perda de capacidade significativa para os restantes modos de transporte.

Construir um modelo cujos resultados possam ser extrapolados para o maior número de realidades possíveis implica estabelecer diversos cenários em que se fará variar vários parâmetros, como a procura de tráfego, percentagem de veículos pesados (autocarros), percentagem de VAO e taxas de ocupação de cada tipo de veículo. Através da combinação destes vários cenários irão ser identificadas as situações em que será mais benéfico introduzir uma via reservada e também as situações em que esta medida é mais prejudicial, realizando sempre uma análise em termos globais por pessoa servida.

3.2. As bases de análise

Para poder reproduzir o melhor possível o ambiente urbano é necessário definir um caso de estudo que, embora fictício, seja suficientemente realista para que os resultados obtidos possam ter uma aplicabilidade alargada. Considerando que nas cidades atuais os locais mais solicitados em termos de tráfego são as avenidas centrais que servem de distribuidoras principais para todas ou para uma percentagem significativa das viagens realizadas, é pertinente simular um troço deste tipo de avenida.

Este tipo de avenidas urbanas geralmente tem duas ou mais vias por sentido. Todavia, para que seja possível introduzir uma via reservada é necessário que o espaço canal e a largura das vias seja adequado para circulação de autocarros. Assim, é recomendável existirem pelo menos 3 vias por sentido para ser a situação de introduzir uma via bus seja praticável (Arasan and Vedagiri, 2007).

Em termos de largura de via, esta deve ser suficiente para que os autocarros quando circularem perto dos passeios, não coloquem em perigo os peões que estejam a circular nos passeios ou que estejam à espera de embarcar nas paragens do transporte público. Assim, é recomendado um valor mínimo de 3,0 metros para que estas condições sejam satisfeitas (Costa, 2008). Todavia, pretende-se que exista um ambiente favorável à circulação dos veículos pesados de transporte público, pelo que se irá utilizar uma largura de 3,5 metros para todas as vias.

Para simular com detalhe satisfatório a mobilidade em ambiente urbano não basta modelar as vias e os troços existentes nele mas também os pontos em que estes se cruzam, pois a capacidade de uma determinada rede urbana está intimamente ligada ao desempenho dos cruzamentos que a compõem (Seco et al,2008). Existem vários tipos de regulação para estes cruzamentos, mas nas zonas com maior procura é o controlo semaforico que é mais comum, pois permite bons índices de desempenho, mesmo em situações de elevada solicitação em termos de tráfego (Costa et al, 2008). Para ser possível construir um modelo simples e exequível, a sinalização será a tempos fixos.

Para estudar o problema da introdução de duas vias reservadas ao transporte público terá que se estudar pelo menos uma avenida com 2 cruzamentos com níveis de saturação variáveis. Contudo, ao considerar apenas duas intersecções semaforizadas cria-se uma rede demasiado dependente do funcionamento desses cruzamentos. Isto é, os resultados teriam

uma grande variabilidade pois comparando um veículo que entre na rede e tenha em ambos os cruzamentos sinal verde teria um tempo de percurso muito menor do que um outro veículo que tivesse vermelho. Para mitigar a influência desta situação, serão introduzidos dois cruzamentos adicionais nos extremos do eixo da avenida para servir de controlo e diluir o efeito dos sinais de trânsito. Para simplificar a análise considerou-se que todos os cruzamentos são equidistantes, a uma distância de 250 metros entre si, medidos perpendicularmente entre os eixos das faixas de rodagens das vias secundárias de intersecções adjacentes.

Ainda na questão dos cruzamentos há que ter em conta a influência das viragens, em especial as viragens à esquerda. Se estas causarem demasiado embaraço ao trânsito irão certamente influenciar a análise. Todavia, não é objetivo deste trabalho analisar o desempenho das viragens pelo que se irá introduzir uma via curta de viragem à esquerda de maneira a permitir estes movimentos numa fase própria, numa via com alguma capacidade de armazenamento de veículos, garantindo que não existirá bloqueio devido a esta situação. Esta resolução vai de encontro à realidade pois normalmente em avenidas com 3 vias em cada sentido, existe um separador central de largura significativa. Este separador é introduzido para fornecer um espaço para permitir o atravessamento dos peões, alocar estacionamento, ou simplesmente para delimitar o espaço para não haver conflitos entre as correntes de tráfego que circulam em sentidos opostos. De qualquer forma, é aceitável que este separador possa ter uma diminuição na sua largura para acomodar uma via curta de viragem à esquerda. A extensão desta via deve ser suficiente para acomodar todas as viragens à esquerda sem que estas contribuam para a formação de filas a montante. Costa et al. (2008) mostra que o comprimento de uma via exclusiva de viragem à esquerda tem que ser tal que consiga armazenar todos os veículos que chegam à linha de paragem durante o tempo do ciclo do semáforo. Para garantir que este comprimento é suficiente, considerou-se que o tamanho de um veículo ligeiro é de 5 metros e que o débito dos veículos que irão virar à esquerda é de 350 uvl/h, um valor baseado nos que foram usados na análise, obtendo um comprimento mínimo para a via de viragem à esquerda de 48,6 metros. Para simplificar utilizou-se o comprimento de 50 metros.

No entanto, não é só nos cruzamentos que se criam situações de perdas pontuais de capacidade ou de aumento de demora, existem outras situações como: nas passadeiras destinadas ao atravessamento dos peões (semáforizados ou não), o atrito lateral devido à existência de estacionamento ou ao bloqueio do tráfego devido à paragem de um autocarro para carga e descarga de passageiros. Todavia ter em conta estes elementos levaria à necessidade de criação de um modelo excessivamente complexo, que iria decerto fornecer resultados mais detalhados mas que não compensariam o esforço investido. Assim, não se considerou a existência de atravessamentos pedonais, a existência de estacionamento na via nem a existência de paragens de autocarro.

Já foi discutido que existe uma perda significativa em termos de capacidade quando se retira uma via de tráfego generalizado para introduzir uma via BUS. Esta perda é ainda mais acentuada na aproximação às intersecções pois não permite o uso da via mais à direita para fazer as viragens à direita. Uma maneira de minimizar esta influência é terminar a via reservada alguns metros antes do cruzamento, também designado por “set-back”, de maneira a permitir a utilização da via BUS apenas nesse espaço pelos veículos que viram à direita. Jepsen e Ferreira (1999) provaram que a existência deste “set-back” ajuda a maximizar os

benefícios das vias BUS quando analisados os benefícios globais no cruzamento. Para dimensionar a extensão ótima do “set-back” foi utilizada a fórmula proposta por Polus e Reshetnik (2001):

$$L_s = \frac{(s \times g \times X - V_E \times C) \times h}{3600} \quad (1)$$

Onde L_s é a extensão ótima do “set-back” em metros, s é o fluxo de saturação na via reservada em unidades veículo ligeiro por hora, g é o tempo de verde efetivo em segundos, X é o grau de saturação desejado na via, V_E é o volume equivalente de veículos ligeiros que circulam na via reservada (prioritários e não prioritários que viram à direita), C é o tempo total do ciclo em segundos e h é o espaço ocupado por um veículo parado na via (valor recomendado pelo autor de 7 metros). Uma vez que ainda não existem resultados, foram usados alguns valores de referência para duas situações, para dimensionar o “set-back”, apresentados na tabela 3.1: Estes valores são baseados nos valores de *input* das matrizes origem destino que definem a procura da rede e serão analisadas as duas situações extremas em termos de volume de trânsito, isto é, a que tem o maior e aquela que apresenta o menor volume de veículos que usam a via reservada e de viragem à direita.

Tabela 3.1 - Valores para cálculo do "set-back" de uma via BUS.

Variável	Maior Volume	Menor Volume
Fluxo de Saturação, s (uvt/h)	1800	1800
Tempo de verde, g (s)	40	40
Grau de Saturação, X	0,9	0,9
Volume, V_E (uvt/h)	340	450
Tempo de ciclo, C (s)	100	100
Espaço por veíc., h (m)	7	7
“Set-back” ótimo, L_s (m)	59,8	38,5

Com base nos valores obtidos, optou-se por estabelecer o valor de 50 metros para o “set-back”, por ser o valor médio entre ambas as situações analisadas. Ao contrário das vias curtas de viragem à esquerda, não se pretende dimensionar um “set-back” com capacidade tal que dispense a análise do desempenho das viragens à direita, porque o desempenho do “set-back” está intimamente interligado ao desempenho da rede com a via reservada. Assim, não é recomendável sobre dimensionar o comprimento do “set-back”, pelo que um valor médio permite um melhoramento ao modelo, sem correr o risco de influenciar os resultados de maneira excessiva.

3.2.1.Plano Semafórico Base – Grupos semafóricos, fases e tempos de limpeza

Já foi referido que os cruzamentos presentes na rede são semaforizados com soluções a tempos fixos.

Em primeiro lugar definiram-se 6 grupos semafóricos que englobam as correntes de tráfego presentes no cruzamento. Em termos de atribuição de grupos a correntes, na maioria dos

casos cada corrente de tráfego corresponde a um grupo semafórico, à exceção dos movimentos em frente e viragem à direita na via principal que serão servidos no mesmo grupo semafórico. Na figura 3.1 são apresentadas as diversas correntes de tráfego assim como o número do grupo semafórico a que estão associadas.

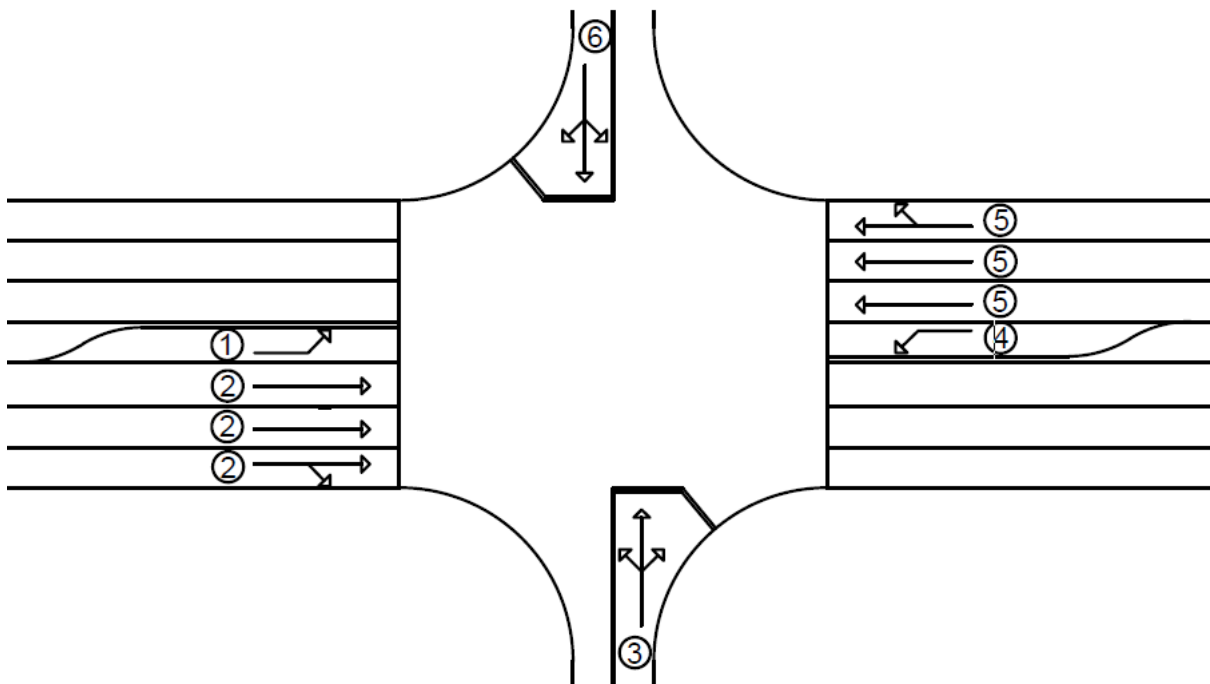


Figura 3.1 - Esquema base das correntes de tráfego nos cruzamentos.

De seguida foram definidas 3 fases, baseadas na compatibilidade entre as correntes de tráfego presentes em cada grupo semafórico, de maneira a colocar correntes com carga semelhante na mesma fase e evitar conflitos de nível 1 e de nível 2. As fases e os grupos semafóricos correspondentes podem ser visualizados na figura 3.2.

Tabela 3.2 Conflitos entre grupos semafóricos¹

Grupo Semafórico	1	2	3	4	5	6
1			●		●	●
2			✗	●		✗
3	●	✗		●	✗	
4		●	●		●	
5	●		✗			✗
6	●	✗		●	✗	

¹ Os conflitos de nível 2 são representados por um círculo amarelo, ● e os conflitos de nível 1 são representados por cruces vermelhas ✗

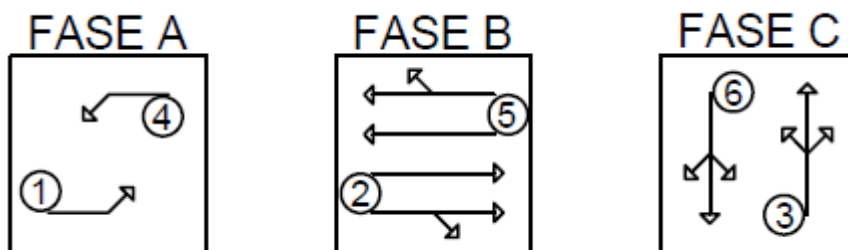


Figura 13.2. - Fases do plano semafórico.

O tempo de amarelo a utilizar tem que ter duração suficiente para que um condutor ao visualizar o sinal, tenha tempo de parar antes de chegar à interseção. Costa et al (2008) recomenda a utilização de 3 segundos em situações em que as velocidades de circulação são inferiores a 50 km/h. Como o caso a analisar se situa numa zona urbana com alguma densidade de trânsito pode-se aceitar o valor recomendado pois as velocidades são da ordem dos 40 a 30 km/h.

Finalmente, os tempos de limpeza foram calculados de maneira a que qualquer que seja a corrente tráfego que esteja numa fase que perde o direito de passagem tenha tempo para atravessar completamente o cruzamento antes que uma corrente que seja conflituante consigo inicie o seu movimento e chegue ao ponto de conflito. Para isso foi utilizada uma fórmula definida por Costa et al (2008) que define os tempos de limpeza entre movimentos conflituantes em função das distâncias que têm de percorrer até ao ponto de conflito e a velocidade a que circulam:

$$tl_{(T,I)} = \frac{d_T + d_v}{v_T} - \frac{d_I}{v_I} \tag{2}$$

Tabela 3.3 - Tempos de limpeza entre grupos semafóricos.

Tempos de limpeza(s)	1	2	3	4	5	6
1			1		1	2
2			4	2		2
3	1	1 ¹		1 ¹	1	
4		1	2			1
5	1		2			4
6	1 ²	1		1	1 ¹	

O valor do tempo de ciclo está intimamente ligado à capacidade de um cruzamento semaforizado sendo que um ciclo demasiado curto pode levar facilmente a uma situação de

² O valor inserido é 1 pois o tempo de limpeza calculado foi negativo. Este facto acontece quando existe uma folga considerável entre movimentos conflituantes de maneira que é impossível existir conflito com as velocidades consideradas.

congestionamento. Por outro lado, um ciclo demasiado longo aumenta significativamente a demora global no cruzamento. Costa et al. (2008) recomenda que sejam adotados valores entre os 30 e os 120 segundos. O ciclo escolhido foi o de 100 segundos pois foi o que se revelou mais versátil no equilíbrio as questões da capacidade e da demora na variação de cenários que foram analisados.

3.2.2.Procura na Rede - Matriz O/D

Apenas a construção da rede não é suficiente, é necessário alocar tráfego a esta. A maneira mais simples de fazer isso é contruir uma matriz origem-destino que defina todas as viagens feitas na rede. Para isso, foram definidos 10 pontos geradores/atratores de tráfego ou centróides, sendo que cada um está associado a uma entrada e/ou saída de cada cruzamento no eixo modelado, como o mostrado na figura 3.3

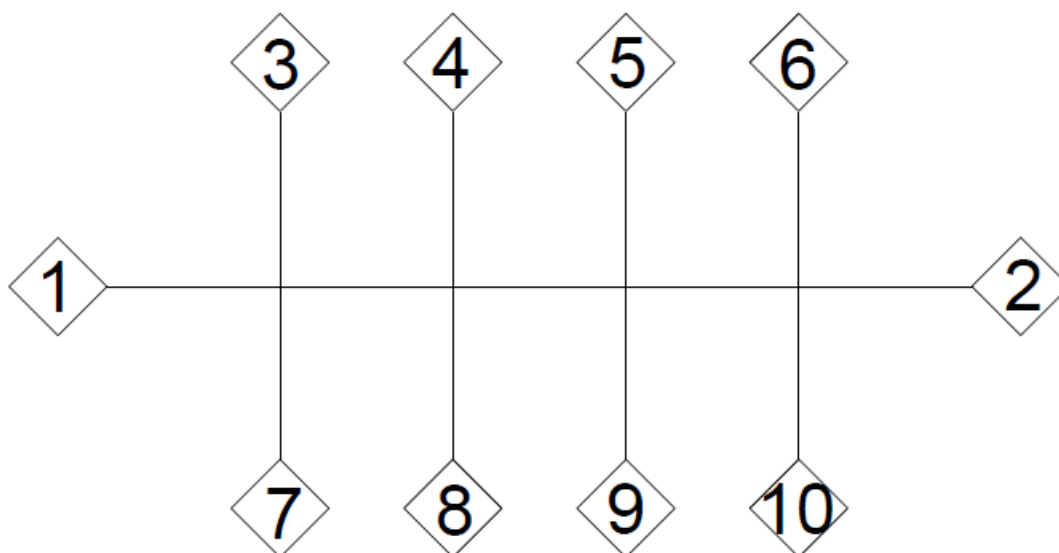


Figura 3.3 – Diagrama da rede e disposição de centróides.

Os valores das viagens entre cada par de centróides foram definidos de maneira a que os cruzamentos centrais fossem os mais carregados, sendo que os cruzamentos mais extremos servem de controlo para mitigar os efeitos de grande flutuação dos tempos devido ao efeito dos semáforos. Além disso, foi dada mais atenção aos movimentos que atravessam o eixo principal, isto é, a ligação de 1 a 2 e vice-versa, por ser neste corredor onde se irá introduzir a via reservada e onde se irá centrar a análise do modelo. Relativamente às viagens, foram definidas de maneira a garantir que as condições apresentadas acima fossem cumpridas, assim como surgir como oposição aos movimentos principais de maneira o mais realista possível.

Os valores de base da matriz a ser utilizada são apresentados na tabela 3.3e estão expressos em uvl por hora. Para facilitar e agilizar a análise do problema, cada vez que se pretendeu avaliar diferentes níveis de tráfego aplicaram-se vários fatores de multiplicação aos valores da matriz estabelecida. Assim, qualquer outra matriz a ser utilizada é um múltiplo desta. Por um lado esta abordagem é limitativa pois não permite a variação da proporção entre os movimentos existentes, mas como a análise é feita através da comparação do desempenho entre os modos, admite-se que todos seriam influenciados da mesma forma por este fator, resultando numa diferença global nula.

Adicionalmente, a matriz base foi estabelecida com valores expressos em uvl. Para a transformar nas matrizes de viagens por modo basta multiplicar pela percentagem de veículos desse modo e pelo fator de equivalência ao veículo ligeiro. Para este estudo considerou-se que cada VAO corresponde a 1 uvl e cada autocarro a 2 uvl.

Tabela 3.3 - Matriz O/D base.

Origens	Destinos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1000	0	25	100	100	200	50	0	25
2	1000	0	25	0	50	200	100	100	25	0
3	25	50	0	100	0	50	0	50	0	50
4	25	50	200	0	0	0	0	0	250	25
5	100	125	0	0	0	200	0	125	0	50
6	100	50	75	0	25	0	0	75	0	0
7	50	100	0	0	75	0	0	25	0	75
8	125	100	50	0	125	0	200	0	0	0
9	50	25	25	250	0	0	0	0	0	200
10	50	25	50	0	50	0	50	0	100	0

3.3. Estratégias e Soluções Tipo em Teste

Para estudar o problema serão definidas três estratégias a serem comparadas. Estas estratégias foram definidas em função das situações onde se pretendia comparar a performance da rede. Cada estratégia corresponde a uma medida de política de prioridade específica, sendo que o objetivo é determinar qual será a melhor medida e para que situações.

Em primeiro lugar será analisado o desempenho de uma solução generalista que representa a situação prévia à introdução da via reservada permitindo analisar uma situação que serve de base de comparação entre o desempenho das várias estratégias. Em segundo lugar irá analisar-se a situação em que se reserva ao transporte público a via mais à direita, em ambas as direções. Finalmente irá testar-se a estratégia de permitir a circulação de veículos de alta ocupação na via reservada.

3.3.1.Solução generalista

Para estabelecer uma boa metodologia de análise, há que construir uma situação que serve de base ou de controlo para todas as situações a serem comparadas. Para além disso, ajuda a definir alguns parâmetros base que não são possíveis de ser definidos numa fase prévia.

No projeto a analisar o que faz mais sentido é considerar como estratégia de defeito a não aplicação de nenhuma medida de prioridade ao transporte público. Isto é, as vias de trânsito são todas generalistas, podendo qualquer modo ocupar qualquer via para realizar o seu trajeto.

Esta estratégia para servir além de controlo dos resultados, foi utilizada para determinar o ciclo ótimo, visto que o tempo de ciclo não irá variar para as diferentes estratégias.

3.3.2.Solução com Via Reservada a Autocarros

A principal medida de política a ser testada é reservar, por cada sentido no eixo principal, a via mais à direita para o transporte coletivo. Assim, apenas os autocarros podem circular nesta via, sendo que o restante tráfego tem a circulação limitada às duas vias restantes. Não será dado nenhum tratamento prioritário nas vias secundárias.

Como já foi explicado, esta via irá ser interrompida a 50 metros do cruzamento de maneira a permitir que o restante tráfego usufrua desse espaço para fazer as viragens à direita. Este valor de “set-back” não será alterado em nenhum cenário, mantendo-se constante para todas as situações.

3.3.3.Solução com Via Reservada a Autocarros e VAO

Uma das desvantagens apontadas para a instauração de vias reservadas ao transporte público é a reserva de capacidade excessiva nessas vias que muitas vezes é verificada, devido ao volume reduzido de autocarros. Uma maneira de usufruir dessa reserva de capacidade é permitir ao outro tipo de veículos que circule nessa via. Um bom candidato para essa discriminação positiva são os VAO, visto que ao levar mais passageiros são mais eficientes do que um carro ligeiro normal na ocupação do espaço de circulação.

Assim, testou-se uma variação da medida de política anterior. A sua definição é na mesma reservar uma via de trânsito com a nuance de para além de permitir a circulação de autocarros, permite também a circulação de veículos de alta ocupação ou VAO. As condições estabelecidas nesta estratégia são as mesmas da estratégia da via reservada a autocarros (ponto de início e término da via, extensão, “set-back”,...).

3.4. Cenários de Análise de Referência

Para garantir que os resultados obtidos possam ser extrapolados para um maior número de casos possível, é necessário incorporar no problema a variação de algumas características da rede que possam ter maior influência nos valores obtidos.

Para esse efeito foi implementada uma análise de sensibilidade do desempenho das diferentes estratégias de referência, através da sistemática variação dos valores assumidos por um conjunto relevante de variáveis. Naturalmente, tendo em atenção a natureza do trabalho e do esforço, nomeadamente computacional, envolvidos, apenas foi possível fazer uma avaliação de gamas de valores limitados e reservada às variáveis identificadas como tendencialmente as mais relevantes.

3.4.1. Níveis de Procura – Variação da Taxa de Saturação

Um fator importante que tende a condicionar significativamente as condições de operação de uma rede viária é o nível de procura. Dependendo da saturação da rede, as vantagens ou desvantagens da aplicação de cada medida tenderão a ser significativamente diferentes. Para simplificar o problema, toda a procura será estabelecida como uma proporção de uma situação base, que corresponde aos dois cruzamentos centrais (correntes de tráfego críticas de cada fase) estarem a ser serem os mais solicitados da rede.

Assim, basta multiplicar a matriz O/D base já construída por fatores para aumentar ou diminuir a procura global na rede, de modo a que esta esteja a funcionar aos níveis desejados.

Portanto, estudaram-se três situações com proporções distintas para cada período de cálculo: uma em que a rede está a funcionar com alguma reserva de capacidade, outra no limite da capacidade e uma terceira em que a rede está gravemente sobrecarregada. Para quantificar esta utilização de capacidade teve-se em conta o grau de saturação (S) do cruzamento mais carregado

Adicionalmente, e apenas para o caso da análise por micro-simulação, introduziu-se uma procura de um nível muito baixo, de maneira a carregar um pouco a rede, criando um período de aquecimento (*"ramp-up period"* na terminologia inglesa). Este período tem como finalidade eliminar o erro que aconteceria aquando do início da simulação, enquanto os primeiros veículos a entrar na rede circulariam em quase em regime livre, de modo a não influenciar os resultados.

Em resumo, os cenários a serem testados são os seguintes:

1. Período de aquecimento – $S=40\%$
2. Funcionamento abaixo da capacidade – $S=60\%$

3. Funcionamento próximo da capacidade máxima – $S=80\%$
4. Rede muito sobrecarregada – $S=100\%$

De notar que estes valores são apenas de referência para afetar a matriz O/D pois os níveis de saturação que efetivamente estão na rede variam de troço para troço. Os valores de grau de saturação apresentados correspondem aos troços que servem as correntes críticas no cruzamento.

Considera-se que para um valor de grau de saturação de 80% está perto do limite de capacidade pois geralmente considera-se que a capacidade máxima de um cruzamento corresponde a um grau de saturação de 90%. Ao considerar um valor um pouco abaixo desse máximo, é possível avaliar a rede para uma situação com alguma margem de capacidade.

Esses graus de saturação _Os fatores de redução da matriz O/D para cada situação serão apresentados nos anexos

3.4.2.Percentagem dos BUS

O número de autocarros é também um fator muito importante. É intuitivo dizer que quantos mais autocarros houver, mais facilmente será justificável a existência de uma via reservada, todavia é o ponto de viragem que é importante analisar, isto é, qual é o número mínimo de autocarros que são necessários para justificar a via reservada. Portanto, analogamente à variação da taxa de saturação global, irão analisar-se 3 situações distintas: com uma percentagem de autocarros pequena, média e grande. Esta percentagem é relativa à matriz O/D a ser utilizada mas apenas existem viagens entre o par de centróides 1-2, pois apenas circulam autocarros no eixo principal.

1. Percentagem pequena de autocarros – 5%
2. Percentagem média de autocarros – 10 %
3. Percentagem grande de autocarros – 15 %

3.4.3.Percentagem de HOV

Da mesma maneira que a percentagem de autocarros irá privilegiar a existência de uma via reservada, a percentagem de HOV irá ter a mesma influência, pois também poderão circular nesta. Assim, irão ter-se em conta três níveis de trânsito de HOV, analogamente aos autocarros.

1. Percentagem pequena de HOV – 10%

2. Percentagem média de HOV – 30%
3. Percentagem grande de HOV – 50 %

3.4.4.Taxa de ocupação nos Autocarros

O objetivo da análise deste projeto é analisar a performance por pessoa e não por veículo. Isto implica que um autocarro a circular com 50 pessoas não é igual a um com 25 pessoas. Para analisar esta situação, irá variar-se a taxa de ocupação dos autocarros em 4 classes diferentes, considerando que os autocarros têm uma capacidade para transportar no máximo 80 pessoas.

1. Autocarro a funcionar com $\frac{1}{4}$ dos lugares ocupados – 25% da capacidade
2. Autocarro a funcionar com metade dos lugares ocupados – 50 % da capacidade
3. Autocarro a funcionar a funcionar como $\frac{3}{4}$ dos lugares ocupados – 75 % da capacidade

3.4.5.Extensão das vias reservadas

Nos casos em que se esteja a analisar a aplicação de vias reservadas, a extensão destas é preponderante. Todo o princípio base da aplicação deste tipo de política é o facto de permitir aos veículos que nela possam circular, possam evitar as zonas mais congestionadas.

Assim, a extensão das vias foi variada da seguinte forma:

1. A via reservada começa após o primeiro cruzamento e termina antes do terceiro;
2. Toda a avenida é atravessada pela via reservada.

3.5. Indicadores de Desempenho selecionados

Para comparar o desempenho de cada medida de política é necessário estabelecer indicadores adequados. Estes devem ser estabelecidos de maneira criteriosa, para resultar numa análise mais abrangente possível. Para além disto, estes devem ser independentes de cada cenário, de maneira que não sejam calculados resultados tendenciosos que possam favorecer ou desfavorecer uma determinada situação *a priori*.

3.5.1.Fiabilidade dos Autocarros – Desvio Padrão do tempo de percurso dos Autocarros

Já foi explicado que a perceção da qualidade de um serviço de transporte público é feita mais através da fiabilidade do serviço, do que propriamente do tempo de percurso. Então há que criar um indicador para demonstrar a fiabilidade do sistema. Visto que a fiabilidade pode ser entendida por uma variabilidade no tempo de percurso, irá considerar-se o desvio padrão do tempo de percurso dos autocarros como indicador. Como os autocarros apenas irão circular no eixo principal, este valor apenas é calculado para as viagens entre os pares O/D 1/2 e 2/1 ligados aos centróides 1 e 2.

3.5.2.Velocidade média para cada tipo de veículo e por pessoa

Para além de um indicador para o nível de serviço dos autocarros é necessário um indicador para o nível de serviço para o tráfego generalizado. O tráfego terá melhor funcionamento quanto mais fluido for, isto é, quanto maior for a sua velocidade comercial. Portanto calculou-se a velocidade média não só para cada tipo de veículos como também para o conjunto de todos os veículos, assim como a velocidade média por pessoa.

3.5.3.Tempo de percurso médio para cada tipo de veículo e por pessoa

Finalmente, há que complementar a análise do nível de serviço do tráfego generalizado, de maneira a representar também a variação do tempo de percurso. Para isso comparou-se o tempo de percurso por cada tipo de veículo e o tempo de percurso por pessoa entre cada estratégia, para os diversos cenários.

3.6. Otimização dos planos de regulação– Transyt

3.6.1.Modelos intrínsecos ao programa e suas características (vantagens e limitações)

Para definir os planos de regulação aplicáveis a cada uma das geometrias/estratégias de regulação da rede rodoviária, aplicou-se um programa de otimização de sinais luminosos de referência, o programa Transyt (versão 15F). Este programa foi desenvolvido pelo Transportation Research Laboratory, que é uma empresa dedicada ao estudo da engenharia de tráfego mais precisamente no estudo, construção e distribuição de *software* de apoio ao dimensionamento de vários elementos de redes de mobilidade.

O programa TRANSYT é um programa de macro-simulação de tráfego, clássico mas de referência internacional, que permite dimensionar planos de controlo semafóricos a tempos fixos em redes viárias, especialmente quando existe um conjunto de interseções que se

pretende coordenar entre si. Este dimensionamento consiste na otimização do ciclo, dos tempos de verde e dos offsets entre cruzamentos de maneira a minimizar os atrasos e demoras globais na rede.

O programa TRANSYT é um programa de macro-simulação de tráfego que permite dimensionar planos de controlo semaforicos em redes viárias, especialmente quando existe um conjunto de intersecções que se pretende coordenar entre si. Este dimensionamento consiste na otimização dos tempos de verde e offsets entre cruzamentos de maneira a minimizar os atrasos e demoras globais na rede.

Para isso recorre a um índice designado simplesmente por “Performance Index” (ou índice de desempenho) cujo valor é expresso em unidades monetárias e é calculado, na sua forma mais simples, pela soma pesada das demoras e das paragens em todos os troços. Todavia, é possível adicionar parâmetros adicionais como o excesso de grau de saturação, excesso de filas e até definir penalizações individuais a cada troço. Assim, pode-se dizer que a função objetivo do TRANSYT é simplesmente a minimização do “Performance Index”. Esta minimização é feita através de um processo incremental, em que em cada incremento é modificado o valor dos tempos por cada controlador de maneira a encontrar um mínimo local para esse controlador. De seguida faz o mesmo processo por cada controlador, sendo que o processo termina após terem sido calculados os mínimos para todos os incrementos.

O valor monetário da demora e das paragens apenas podem ser definidos para toda a rede e são exprimidos em € por uvl.hora e em € por 100 paragens respetivamente. Outros valores como a penalização devido ao excesso do grau de saturação e devido ao excesso de fila são estabelecidos individualmente para cada troço e apenas são contabilizados numa situação em que estes valores sejam superiores a um valor pré-estabelecido como limite.

Além disso, é possível definir pesos diferentes para cada valor de desempenho, isto é, beneficiar a otimização de um fator em relação aos restantes. Estes pesos podem ser definidos por defeito para toda a rede, podendo ser alterados para cada troço ou para cada tipo de veículo.

Em termos da macro-simulação em si o TRANSYT permite a utilização de dois tipos de modelação: o Platoon Dispersion Model, ou PDM, e o Cell Transmission Model, ou CTM.

O primeiro modela o trânsito como um fluxo cíclico que é construído a partir dos valores médios da procura de tráfego e das filas. Embora não haja representação dos veículos individuais a técnica deste modelo pode ser considerada da seguinte forma: assume-se que cada veículo segue em velocidade de cruzeiro ao longo de um arco. Se encontrar um sinal vermelho ou uma fila que ainda não tenha sido despejada, para imediatamente. As filas são dispostas verticalmente na linha de paragem e assim que o sinal passe para verde, os veículos são despejados um a um, sendo que aceleram imediatamente para a velocidade de cruzeiro no arco a jusante. Este último é o fator mais condicionante deste tipo de modelação, visto que uma vez que as filas são dispostas verticalmente, não é possível analisar o problema do bloqueio de cruzamentos a montante. Todavia, devido à sua simplicidade leva a tempos de cálculo relativamente curtos.

No caso do CTM, os arcos são discretizados em células com uma determinada extensão. Este também é um modelo macroscópico, mas em que o tráfego é transmitido de célula em célula, dependendo das condições de tráfego, isto é, da ocupação da célula a jusante. Pode-se dizer que neste tipo de modelo, as filas são dispostas horizontalmente ao longo dos arcos, dependendo o movimento do bloqueio das células seguintes. Este tipo de modelação é mais precisa mas leva a que o tempo de cálculo do programa aumente significativamente.

3.6.2.Princípios de otimização utilizados

Como já foi explorado no ponto anterior, o programa TRANSYT apresenta-se como muito versátil na modelação e otimização de redes viárias. Contudo, é necessário definir os parâmetros que serão mais relevantes para testar o problema em causa.

Em termos de que parâmetros se pretendem otimizar, há que fazer uma escolha que resulte numa função de "Performance Index" que traduza o melhor possível o nível de serviço da rede. Por defeito o programa apresenta uma função objetivo que procura minimizar em simultâneo o tempo de atraso e as paragens. Todavia, é o tempo de atraso que é mais crítico para analisar o desempenho de uma solução e muitas vezes é o único indicador utilizado (TRB 2000, 2010).

Contudo, uma vez que o programa apenas realiza o cálculo de maneira a minimizar o atraso total na rede não tem em conta o grau de saturação a que cada corrente de tráfego está sujeita. Esta limitação é especialmente grave quando uma intersecção serve correntes de tráfego com níveis de tráfego muito diferentes, que é o que acontece no caso em questão: as vias no sentido principal serviam um muito maior número de veículos, as vias secundárias era postas em segundo plano, apresentando um excesso de fila e um nível de serviço muito baixo. Para mitigar este fato, foi definido um fator de penalização para cada arco que excedesse 100% em termos de grau de saturação.

Assim, a função objetivo a que foi considerada no TRANSYT foi a seguinte:

$$\min PI = \sum_{i=1}^n [C_A \times (A_i + W_{BUS} \times A_i^{BUS} + W_{VAO} \times A_i^{VAO}) + C_e \times (e_i + W_{VAO} \times e_i^{VAO})] \quad (3)$$

Em que C_A é o custo por cada uvl.hora de atraso, A_i , A_i^{BUS} e A_i^{VAO} são o tempo de atraso por veículo ligeiro, autocarro e VAO respetivamente no troço i , e_i e e_i^{VAO} são os valores do excesso do grau de saturação para veículos ligeiros e VAO respetivamente no troço i , C_e corresponde ao custo por cada unidade acima do limite do grau de saturação e W_{BUS} e W_{VAO} correspondem ao peso relativo dos autocarros e VAO respetivamente.

Os valores considerados para C_A e C_e foram de 1 e 100€ respetivamente. Estes valores foram estabelecidos essencialmente para que o custo de exceder o grau de saturação máximo fossem tão grandes comparados com o tempo de atraso que obrigasse que nunca fosse excedido o grau de saturação de 100 % em nenhum troço.

Os valores do peso relativo para os autocarros e VAO foram definidos em função da sua taxa de ocupação. Isto é, o tempo de atraso calculado por veículo foi convertido para tempo de atraso por pessoa, o que implica que os próprios tempos semafóricos serão otimizados por pessoa servida e não por veículo servido. Os pesos atribuídos foram calculados através das equações 4 e 5 para o autocarro e VAO respetivamente.

$$W_{BUS} = \frac{Occ_{BUS}}{UVLE_{BUS}} \quad (4)$$

$$W_{VAO} = \frac{Occ_{VAO}}{UVLE_{VAO}} \quad (5)$$

Sendo que Occ_{BUS} e Occ_{VAO} são as ocupações em número de pessoas para os autocarros e para os VAO respetivamente e $UVLE_{BUS}$ e $UVLE_{VAO}$ traduzem as unidades de veículo ligeiro correspondentes aos autocarros e aos VAO respetivamente. Como os VAO são essencialmente um veículo ligeiro com mais ocupantes o valor $UVLE_{VAO}$ considerado foi de 1 uvl e, segundo os valores de referência recomendados pelo TRB (2010), o valor de $UVLE_{BUS}$ usado foi de 2 uvl.

Contudo, de maneira a não influenciar demasiado a análise do problema ao dar demasiado peso aos autocarros e VAO foi considerado que ambos circulam com um número mínimo de passageiros. Para o autocarro foi estabelecido que circula com um mínimo de 20 passageiros e o VAO circula com 2 pessoas.

3.7. Simulação – AIMSUN

Para o teste do desempenho potencial das diferentes estratégias de ordenamento do tráfego face aos diferentes cenários de procura testados recorreu-se ao programa de micro-simulação Aimsun (versão 7.0.0). Este tipo de simulação surge como um tipo de modelação que permite testar ao detalhe qualquer tipo de realidade de tráfego através de um processo de criação de um ambiente virtual que corresponda a uma situação real. Assim, oferece uma grande potencialidade para analisar várias alternativas para uma determinada solução antes da aplicar podendo ter conhecimento *a priori* do funcionamento desta.

3.7.1. Modelos intrínsecos ao programa;

O AIMSUN é um programa de micro-simulação, isto é, simula individualmente cada veículo numa determinada rede viária, baseando-se em diversos parâmetros e sub-modelos, que muitas vezes se baseiam em cálculo probabilístico de maneira a representar a aleatoriedade verificada na realidade do tráfego viário. Assim, desde o momento da entrada na rede, velocidades adotadas e restantes fatores inerentes aos condutores são escolhidos de uma maneira aleatória com a base numa curva que segue uma determinada lei de probabilidade.

A circulação de cada veículo é fortemente condicionada não só pelas condições da via em que circula mas também de como é feita a circulação do restante tráfego. Para considerar estas situações o AIMSUN tem em si uma série de sub-modelos que permitem traduzir estes

efeitos. Não são apresentados todos os sub-modelos presentes no *software*, uma vez que esse não é o propósito deste trabalho, sendo apenas apresentados aqueles que devido a considerações diretas ou indiretas (e.g. calibração entre modelos) de modelação do problema a analisar.

O sub-modelo de “car following”, como o nome indica, determina a velocidade a que um determinado veículo circula em função do veículo que circula à sua frente. Este sub-modelo é dividido em duas partes: a primeira em que a velocidade máxima a que um veículo pode circular é condicionada pela sua aceleração e a segunda em que a velocidade que um veículo circula é dependente da velocidade do veículo que o precede. O sub-modelo define que a velocidade a que um veículo efetivamente circula é o valor mínimo entre estas.

Este sub-modelo quando em situações em que existem duas ou mais vias por sentido é complementado pelo sub-modelo de “lane changing”. Este sub-modelo é definido como um processo de decisão que avalia três fatores em simultâneo: a necessidade da mudança de via na aproximação de cruzamentos de maneira a que o veículo esteja na via correta para realizar o movimento pretendido, a consideração da ultrapassagem se veículo tiver uma velocidade desejada superior à velocidade a que circula o veículo que o precede e a verificação de que existe espaço suficiente na via para realizar a manobra em segurança.

Nos cruzamentos, o sub-modelo que rege as situações de cedência do direito de prioridade é designado por “*gap-acceptance model*” ou “*give way behaviour*”. De uma maneira muito simples, é considerada a distância de dois veículos até a ponto de colisão destes de maneira a que a decisão de avançar ou não é condicionada pelo risco de acidente. Isto é, quando um veículo chega à linha de paragem de um cruzamento em que tem de ceder o direito de passagem aos veículos que circulem na via com prioridade de passagem, em primeiro lugar avalia as velocidades a que estes circulam e a sua própria capacidade de aceleração e depois calcula se tem tempo suficiente para atravessar o cruzamento antes do outro veículo chegar a um ponto de colisão com ele. Este tempo é dependente da margem de segurança atribuída a cada condutor segundo uma função probabilística. Todavia, também é considerado um tempo máximo, identificado no programa como “*maximum give-way time*”, para o qual um condutor parado à espera de espaço para passar “perde a paciência” e fica mais ousado, ou seja, esteja disposto a considerar uma margem de segurança inferior.

3.7.2.Princípios de Simulação

Todos os sub-modelos podem ser calibrados até um certo limite, alterando alguns parâmetros que os influenciam, de maneira a contruir um modelo de micro-simulação o mais fidedigno e representante da realidade possível. Estes parâmetros estão intimamente ligados às características dos tipos de veículos a simular e são estabelecidos através dos valores médios, desvio padrão e os valores mínimo e máximo. A partir destes é construída uma curva de distribuição que segue a lei Normal, sendo que para cada veículo simulado se consideram diferentes valores de cada parâmetro consoante a sua probabilidade.

Um dos parâmetros mais importantes a definir para cada veículo é a velocidade. Para a definir é necessário primeiro definir a velocidade a que cada veículo deseja circular, que, como o

nome indica, representa a velocidade ideal a que o veículo circulará, numa situação que não existem condicionantes.

Adicionalmente é necessário estabelecer um conjunto de acelerações de maneira a definir como são feitas as mudanças de velocidade por um veículo: a aceleração máxima, a desaceleração normal que serve para traduzir situações normais de abrandamento e a desaceleração máxima que traduz situações de travagens de emergência.

Para além disso, cada veículo tem inerente uma aceitação do limite de velocidade. Este parâmetro define a predisposição do condutor para aceitar os limites de velocidade, sendo que um valor de 1 significa que nunca são excedidos os limites, superior a 1 representa situações em que a velocidade máxima é superior ao limite de velocidade e inferior a 1 traduz que nunca sequer é atingido esse limite.

Por outro lado existe ainda outro parâmetro que é extremamente importante para este tipo de simulação que é o espaço mínimo entre veículos. Em termos de regras de circulação, este parâmetro pode ser explicado essencialmente como a distância mínima a que um veículo pode circular em relação ao veículo que circula à sua frente.

É de conhecimento comum que nem todos os veículos que circulam numa determinada via têm todos a mesma extensão. Assim, também é tida em conta a variabilidade da extensão e espaço ocupado por um veículo numa via.

Os valores utilizados para este parâmetro foram os valores por defeito pelo programa e são apresentados na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Parâmetros da modelação microscópica dos veículos ligeiros e VAO.

Parâmetro	Média	Desvio	Valor Mínimo	Valor máximo
Comprimento dos veículos	4,00 m	0,50 m	3,50 m	4,50 m
Velocidade máxima desejada	110 km/h	10 km/h	80 km/h	150 km/h
Aceleração Máxima	3,00 m/s ²	0,20 m/s ²	2,60 m/s ²	3,40 m/s ²
Desaceleração normal	4,00 m/s ²	0,25 m/s ²	3,50 m/s ²	4,50 m/s ²
Desaceleração máxima	6,00 m/s ²	0,50 m/s ²	5 m/s ²	7 m/s ²
Aceitação de Velocidade	1,1	0,1	0,9	1,3
Distância mínima entre veículos	1,00 m	0,30 m	0,50 m	1,50 m
“Maximum Give-way time”	10 s	2,5 s	5,0 s	15 s

Tabela 3.5 - Parâmetros de modelação microscópica dos autocarros.

Parâmetro	Média	Desvio	Valor Mínimo	Valor máximo
Comprimento dos veículos	12 m	0 m	12 m	12 m
Velocidade máxima desejada	90 km/h	5 km/h	90 km/h	100 km/h
Aceleração Máxima	1,00 m/s ²	0,30 m/s ²	0,80 m/s ²	1,80 m/s ²
Desaceleração normal	2,00 m/s ²	1,00 m/s ²	1,50 m/s ²	4,50 m/s ²
Desaceleração máxima	5,00 m/s ²	1,00 m/s ²	4 m/s ²	6 m/s ²
Aceitação de Velocidade	1	0,1	0,9	1,1
Distância mínima entre veículos	1,50 m	0,50 m	1,00 m	2,50 m
“Maximum Give-way time”	35 s	10 s	20 s	60 s

3.8. Construção do modelo

A modelação da rede a ser testada irá ser feita recorrendo a dois *softwares* distintos. Cada um tem características diferentes que permitem fazer uma análise rigorosa do problema em causa e em múltiplos níveis.

O primeiro, designado por TRANSYT 15 é um programa de otimização do plano de regulação semafórico. Para fazer essa otimização recorre a modelos de macro-simulação de fluxos de trânsito com o objetivo de minimizar as paragens e o atraso dos veículos na rede. Este programa foi desenvolvido pelo Transport Research Laboratory (TRL) originário do Reino Unido, que já conta com alguns anos de desenvolvimento e várias aplicações em sistemas urbanos de tráfego. A utilização deste programa tem como principal objetivo otimizar o desempenho coletivo dos vários controladores semafóricos, obtendo um plano de regulação para cada situação a analisar.

Todavia a análise principal deste trabalho será feita através do software de micro-simulação Aimsun 7.0 do Transport Simulation Systems (TSS). Este programa permite simular o funcionamento da rede numa perspetiva de veículo a veículo. A utilização desta ferramenta tem como objetivo avaliar o desempenho de cada estratégia de política para cada conjunto de cenários.

3.8.1. Construção do modelo em TRANSYT

A modelação definida no *software* TRANSYT teve em conta vários parâmetros para garantir a validade do modelo e facilitar a interpretação dos resultados.

Uma vez que o programa funciona a um nível de macro-simulação, a maneira como as correntes de tráfego são representadas é relativamente simples. O TRANSYT não modela veículos mas sim fluxos de trânsito. Estes fluxos circulam por arcos definidos e têm em conta os movimentos das correntes de tráfego.

Para cada arco foi definido um fluxo de saturação que define o valor máximo do fluxo de veículos que pode circular nesse arco sem este ficar bloqueado. No TRB (2000) é recomendado a utilização de um valor de 1900 uvl/h de fluxo de saturação, que deve ser multiplicado por vários fatores relativos a diversas condições da via pelo que o valor que se utilizou foi um pouco mais conservativo de 1800 uvl/h.via. Adicionalmente, foi estabelecido um limite de aviso para quando um arco está numa situação em que é o fluxo presente no arco é 90% do fluxo de saturação. Diz-se que neste caso o arco está acima do limite recomendado do fluxo de tráfego.

Em termos de velocidades médias foram utilizados os valores por defeito no programa de 15 km/h para os autocarros e de 30 km/h para os veículos ligeiros e VAO. Estes valores foram depois ajustados em cada arco no processo de calibração que é descrito no ponto 3.8.7.

Na versão utilizada do TRANSYT não foi possível criar a classe de veículo VAO, pelo que foram alterados os parâmetros do tipo de veículo "TRAM" para corresponderem a um veículo ligeiro. Com esta mudança foi possível retirar resultados para todos os tipos de veículo independentemente uns dos outros.

Para calcular o tamanho das filas é necessário estabelecer o espaço utilizado (inclui a dimensão do veículo mais a distância mínima de segurança para o veículo precedente, quando parados) por um uvl na via. O valor que foi utilizado foi o valor de 5,75 metros, que é o valor fornecido por defeito pelo programa.

Para definir a procura na rede foram introduzidos dois tipos de matrizes O/D: 4 matrizes locais para cada cruzamento e uma matriz geral. Esta decisão foi tomada essencialmente por restrições do *software*, pois em redes de alguma dimensão, como é o caso, não é recomendável a utilização de apenas uma matriz geral, pois a distribuição do tráfego é feita apenas tendo em conta os tempos de percurso e não restrições locais, o que levava a situações irrealistas. Para corrigir a situação, foram introduzidas matrizes locais, em cada cruzamento, de maneira a equalizar os fluxos entre vias que permitem os mesmos movimentos. Os valores destas matrizes são atribuídos a partir da matriz global que continua a fazer a distribuição tendo em conta os tempos de percurso, isto é, procura distribuir o tráfego de maneira a que dois percursos alternativos, no final de todo o tráfego atribuído, devem demorar o mesmo tempo a percorrer.

Outra limitação do *software* é que não considera automaticamente o efeito de exceder o fluxo de saturação num determinado arco ao calcular os tempos de verde. Isto é, o programa apenas realiza o cálculo de maneira a minimizar o atraso total na rede, não tendo em conta particular o grau de saturação de cada corrente de tráfego. Esta limitação é especialmente grave quando uma intersecção serve correntes de tráfego com níveis de tráfego muito diferentes, que é o que acontece no caso em questão: as vias no sentido principal serviam um muito maior número de veículos, as vias secundárias era postas em segundo plano, apresentando um excesso de fila e um nível de serviço muito baixo.

A escolha do modo como o tráfego foi modelado em cada arco incidiu essencialmente na necessidade de considerar se é pertinente analisar as filas e o fenómeno de “*blocking back*”. Assim, os arcos que servem de saída da rede foram modelados com o PDM, pois não estão sujeitos a bloqueio algum na ligação ao centróide de saída. Todos os restantes arcos foram modelados com o modelo CTM.

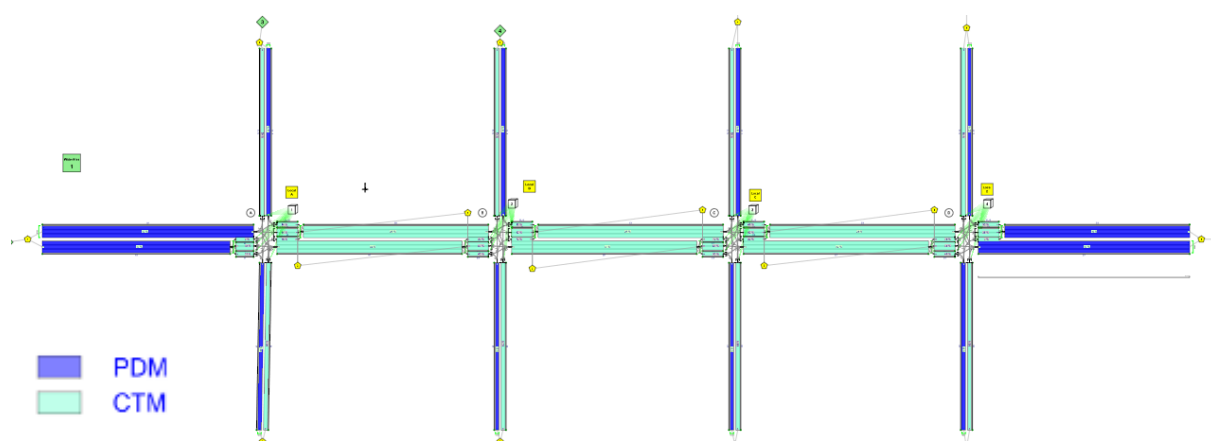


Figura 3.4 - Modelos macro utilizados por cada troço da rede.

3.8.2. Parâmetros de *input* para inserir em TRANSYT

Já foi referido que o objetivo da utilização do TRANSYT para o projeto é essencialmente para fazer o dimensionamento do plano semafórico a utilizar na rede. Deste modo é necessário introduzir todos os dados de *input* necessários.

No ponto 3.2. foram explicadas as características base para a geometria do cruzamento, plano semafórico e as matrizes O/D. Estes dados são os primeiros a ser introduzidos na modelação do TRANSYT.

Os grupos semafóricos, fases, tempos de limpeza e tempos de amarelo foram definidos no ponto 3.2.1.

Normalmente em situações reais o tempo de verde que é alocado a uma determinada fase não é completamente utilizado. Em primeiro lugar, no arranque os veículos em espera não

iniciam o movimento logo que vêm o verde, pois perdem alguns segundos a reagir e a acelerar até à velocidade de cruzeiro. Este tempo é designado por tempo perdido no arranque e o valor escolhido para o modelo foi de 2 segundo, que é o valor pré-estabelecido pelo programa. Por outro lado, quando o sinal passa de amarelo e por vezes mesmo para vermelho, existe um certo número de veículos que estão tão próximos da linha de passagem que se torna impossível parar em segurança. O que acontece é que estes veículos irão utilizar alguns segundos do tempo de amarelo para passar, sendo que este tempo é designado por tempo adicional de passagem. Mais uma vez foi utilizado o valor por defeito do programa que é de 3 segundos.

Adicionalmente, existe um problema de segurança e ou desconforto quando o tempo de verde de uma fase é demasiado curto, pois pode impedir que os veículos sequer iniciem o movimento, ou permitir o início do movimento mas interrompê-lo logo de seguida, traíndo a expectativa dos condutores. O valor utilizado para o verde mínimo foi de 8 segundos (Costa et al. 2008)

3.8.3.Resultados sumários do TRANSYT

Os resultados que se pretendem retirar do TRANSYT podem ser divididos em 3 tipos: os tempos de demora, os tempos do plano semafórico otimizado para cada combinação de cenários-estratégia e finalmente os tempos de percurso entre pares O/D.

Relativamente à avaliação de desempenho da rede não foi retirado nenhum indicador diretamente a partir do TRANSYT. Inicialmente estava proposto que se iria utilizar os valores obtidos da soma pesada dos atrasos para analisar o desempenho de cada solução por cruzamento. Todavia, como apenas se dimensionou os semáforos para a situação generalizada, devido a restrições de tempo, não era possível estabelecer bases de comparação entre soluções.

Um outro parâmetro que foi calculado através do TRANSYT foram os tempos de verde para cada fase no plano de controlo semafórico. Estes serviram como *input* para contruir o modelo de micro-simulação no programa AIMSUN. Adicionalmente, devido ao facto de este tipo de modelos implicar grandes tempos de computação, não foi possível calcular os tempos semafóricos para todas as combinações de cenários, pelo que se admitiu que o plano semafórico será igual para a análise de todas as estratégias. Ou seja, apenas serão dimensionados os semáforos para a solução generalista. À primeira pode parecer limitativo mas não deixa de ser realista considerar que ao passar uma via generalista para via reservada, não haja reformulação dos planos semafóricos nas intersecções.

De qualquer modo trata-se de uma limitação metodológica fácil de ultrapassar em fases posteriores de investigação

Finalmente, para garantir que os modelos construídos em TRANSYT e AIMSUN correspondem à mesma realidade foi feito um processo de calibração, tendo por base os tempos de percurso por uvl entre cada par O/D.

3.8.4. Construção do Modelo em AIMSUN

Em primeiro lugar foi necessário definir os cruzamentos com todos os movimentos permitidos. Todavia teve que se estabelecer que nas correntes de tráfego 3 e 6, que ocorrem na mesma fase, teve que se considerar que os movimentos de viragem à esquerda de ambas as correntes tinham que ceder passagem aos movimentos que seguem em frente da corrente oposta.

Para além disso definiram-se todos os cruzamentos como “yellow box”, isto é, um veículo só entra no cruzamento se for previsível que este não irá ficar bloqueado antes de terminar o movimento. Isto implica que quando um veículo prevê que irá ficar parado no centro do cruzamento devido à saída estar interdita este não iniciará o seu movimento. Isto evita que as filas atravessem a zona central dos cruzamentos efetivamente bloqueando todos os movimentos dentro destes. A razão desta definição é que em Portugal é proibido para um condutor iniciar a sua circulação numa intersecção se prever que irá ficar imobilizado no centro desta. Em termos de computação, o AIMSUN irá impedir a entrada de um veículo que se aproxima do cruzamento, se o veículo anterior a este que já entrou na intersecção se desloque abaixo de uma determinada velocidade. A velocidade utilizada foi a indicada por defeito pelo programa de 15 km/h.

Para modelar as condições de circulação num espaço canal urbano foi definido uma tipologia de faixa de rodagem do género arterial urbano, em que as velocidades máximas praticadas são de 50 km/h. Adicionalmente foi definido uma capacidade máxima de 1700 uvl/h (TRB, 2000). A visibilidade dos condutores, isto é a distância máxima que o foi mantida no seu valor estabelecido por defeito de 30 metros

A definição das vias reservadas foi feita de maneira a que seja opcional para os VAO utilizarem essas vias. Embora seja intuitivo prever que estes irão sempre utilizar a via reservada, é pertinente fazer esta análise para as situações em que é permitido a ambos os modos circular na via e o nível de tráfego que nela circula é significativo. Assim, a fluidez da circulação dos autocarros é perturbada o mínimo possível, pois apenas se pretende que os VAO utilizem a reserva de capacidade na via BUS e não a excedam. Por outro lado a circulação dos autocarros nas vias reservadas foi definida como obrigatória devido à possível existência de paragens, que embora não tenham sido consideradas na modelação, é realista considerar que elas existam, obrigando os autocarros a circular na via mais à direita.

Foram modelados 3 tipos de veículos: os veículos ligeiros, os veículos ligeiros de alta ocupação e os autocarros. Em termos de parâmetros de modelação, os VAO são em tudo equivalentes aos veículos ligeiros pois na realidade são em tudo iguais a estes tirando o facto de que transportam um maior número de pessoas.

Visto que o AIMSUN se baseia muito em leis probabilísticas para simular diversas características relativas à circulação de tráfego, por vezes pode apresentar resultados muito variados para a mesma situação, devido à aleatoriedade como são geradas essas características. Para mitigar esse fato, foram consideradas 10 replicações independentes para cada situação, sendo que os resultados retirados foram relativos à média entre essas replicações.

3.8.5.Parâmetros de *input* para inserir em AIMSUN

Analogamente ao TRANSYT também é necessário introduzir todos os dados relativos à geometria da rede e dos cruzamentos e as matrizes O/D que foram definidos no ponto 3.2.

Adicionalmente há que inserir os parâmetros de modelação e simulação explicados no ponto 3.7.2.

Outro fator especialmente importante é a definição do plano semaforico. Como já foi explicado, o dimensionamento dos tempos semaforicos foi feito recorrendo ao *software* TRANSYT e através dos resultados obtidos, é definido o plano semaforico ótimo para cada cenário em análise.

3.8.6.Resultados sumários do AIMSUN

Como já foi referido, é através do programa AIMSUN que é feita a principal análise do problema.

Os resultados a retirar da modelação em AIMSUN podem ser divididos em três grupos: média dos tempos de percurso entre cada par O/D e para cada tipo de veículo, desvio padrão dos tempos de percurso dos autocarros entre os centróides 1 e 2 e a velocidade média por veículo e por pessoa.

Os valores obtidos para cada um deste grupo de resultados vão ser utilizados como base para calcular os indicadores de desempenho apresentados no ponto 3.5.

Adicionalmente, os tempos médios de percurso irão ser utilizados para o processo de calibração entre os modelos feitos em TRANSYT e em AIMSUN.

3.8.7.Processo de Calibração – TRANSYT VS AIMSUN.

Neste projeto foram utilizados dois tipos de modelação muito diferentes, cada um com *software* e princípios de cálculo próprio. Para garantir que os resultados obtidos pelos dois programas representam de facto a mesma realidade, foram realizados alguns ajustes a cada modelo.

Em primeiro lugar foi definido um indicador que permitisse avaliar a compatibilidade dos dois modelos. Este teria que ser um resultado que ambos os programas podiam calcular. Assim, optou-se por centrar o processo de calibração na proximidade dos tempos médios de percurso entre centróides. A utilidade deste indicador é facilmente compreensível pois se em ambos os modelos, o tempo para percorrer um determinado percurso for semelhante, pode-se inferir que estes estão a modelar a realidade desse caminho da mesma maneira. Para contabilizar essa semelhança foi definida a equação 6 que traduza a diferença ou erro entre os valores de cada modelo. Este erro, E_i , é calculado tendo em conta o tempo de percurso médio obtido no

TRANSYT para o par O/D i ($tp_i^{TRANSYT}$) e o tempo de percurso médio obtido no AIMSUN para o mesmo par O/D tp_i^{AIMSUN} :

$$E_i = \frac{tp_i^{TRANSYT} - tp_i^{AIMSUN}}{tp_i^{AIMSUN}} \times 100 \quad (6)$$

Considerou-se uma calibração satisfatória quando o valor médio desse erro para a globalidade dos pares O/D fosse inferior a 20 %.

Relativamente ao AIMSUN o parâmetro que foi alterado no processo de calibração foi o tempo de reação do condutor. Costa e Macedo (2008) explicam que o tempo de reação de um condutor pode variar entre 0,5 a 4 segundos. Tendo em conta essa referência o tempo de reação para o qual se obteve os menores erros foi de 1,75 segundos.

No TRANSYT a calibração incidiu nas velocidades médias dos veículos. Verificou-se que havia uma grande disparidade entre as velocidades médias que o AIMSUN apresentava e as que foram introduzidas no TRANSYT. Assim optou-se por definir novos valores para as velocidades médias praticadas por cada tipo de veículo no TRANSYT, que podem ser visualizadas na tabela 3.6.

Tabela 3.4 - Velocidades utilizadas para a calibração do modelo TRANSYT.

Tipo de Veículo	Velocidade inicial nos arcos centrais	Velocidade após calibração
Carro ligeiro e VAO	40 km/h	50 km/h
Autocarro	30 kmH	40 km/h

3.8.8.Fluxograma da metodologia do modelo global

Em resumo, a metodologia utilizada segue uma ordem rigorosa de passos. Em primeiro lugar estabeleceram-se os parâmetros base do problemas, nomeadamente a geometria da rede e dos cruzamentos. De seguida define-se uma estratégia para avaliar e para essa estratégia um conjunto de cenários. Depois, constrói-se o modelo no TRANSYT obtendo os tempos de percurso para cada par O/D e o plano semaforico a utilizar. Posto isto, define-se o modelo em AIMSUN de maneira a obter os tempos de percurso sendo que estes vão ser utilizados como base para a calibração. Se o erro obtido for inferior a 20% podem-se definir os indicadores de desempenho. Todavia, se isso não acontecer é necessário repetir o processo de calibração.

Para sintetizar tudo o que foi explicado neste capítulo é apresentado um diagrama na figura 3.5

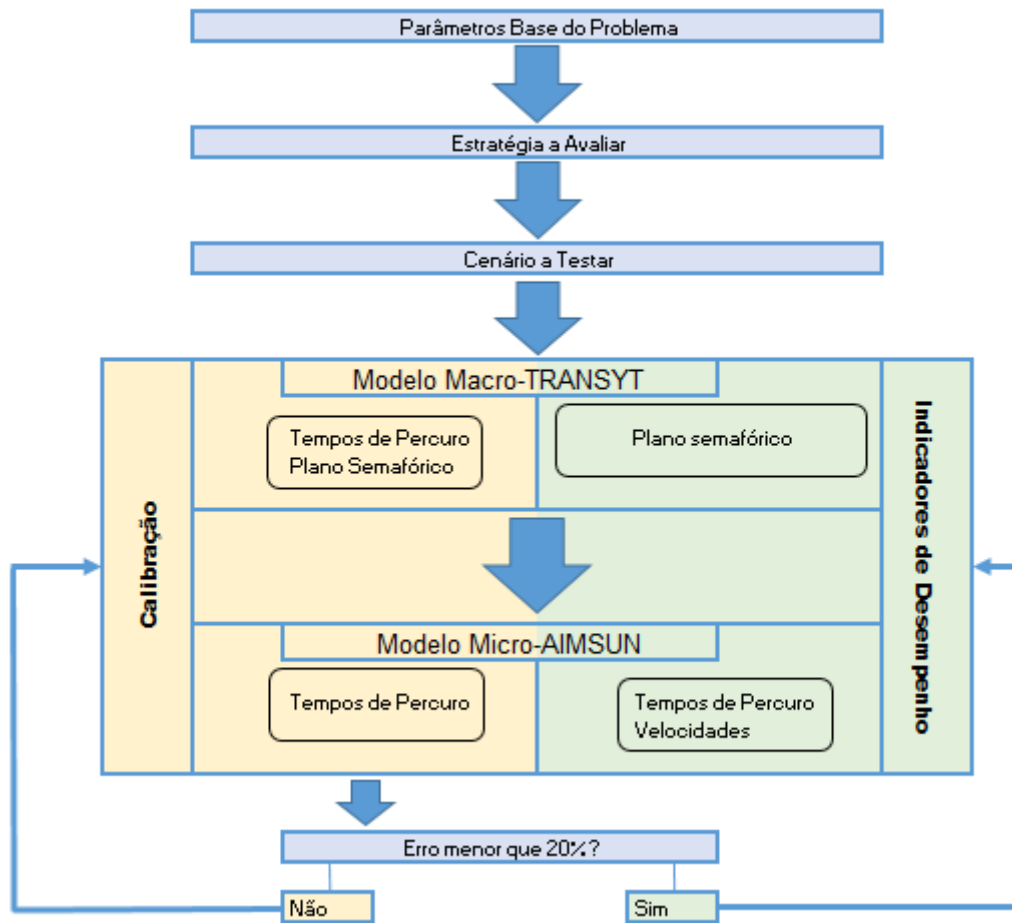


Figura 3.5 - Diagrama que representa o fluxograma da metodologia.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise do funcionamento de cada estratégia foi baseada nos valores dos indicadores de desempenho explicados no ponto 3.5. Os programas utilizados para coadjuvar a realização deste trabalho permitem retirar quase todos os resultados diretamente do output do *software* por cada tipo de veículo independente e para o total dos veículos. Todavia, para fazer uma análise em termos de pessoa servida foi necessário desenvolver uma fórmula que permitisse converter as resultantes por cada modo de transporte para um valor que englobasse também os passageiros de cada veículo. Desta forma foi definida a equação 7 que afeta cada resultado por tipo de veículo em função das pessoas que transporta e também em função da percentagem do volume total de veículos na rede que esse tipo de veículo representa. Esta equação será aplicada de igual forma aos tempos de percurso, fiabilidade e velocidades médias.

$$i_{pax} = \frac{0,3 \times p^{BUS} \times i_{BUS} \times \frac{Occ_{BUS}}{UVLE_{BUS}} + p^{CAR} \times i_{CAR} + p^{VAO} \times \frac{Occ_{VAO}}{UVLE_{VAO}}}{0,3 \times p^{BUS} \times \frac{Occ_{BUS}}{UVLE_{BUS}} + p^{CAR} + p^{VAO} \times \frac{Occ_{VAO}}{UVLE_{VAO}}} \quad (7)$$

A razão pela qual a percentagem de autocarros é multiplicada pelo fator de 0,3 é devido à redução do volume total de autocarros por estes só circularem no eixo principal.

4.1. Via reservada a autocarros por oposição à via generalista

4.1.1. Cenário com Grau de Saturação de 60%

Em situações em que o nível de trânsito é baixo, isto é, com um grau de saturação de cerca de 60%, ao introduzir a via reservada a autocarros a dinâmica de circulação na rede muda muito pouco. Ao analisar o tempo de percurso por pessoa verifica-se que, embora o tempo de percurso dos autocarros diminua um pouco, para cada situação verifica-se intermitentemente pequenos aumentos e perdas do tempo de percurso, mas nenhuma mudança significativa.

Tabela 4.1 - Percentagem da variação dos tempos de percurso por tipo de veículo entre a solução generalizada e via reservada ao BUS.

%BUS	%VAO	Todos	Veíc. Ligeiro	BUS	VAO
5	10	-1,6	-1,7	5,4	-1,8
10	10	-0,9	-0,9	2,5	-1,1
15	10	0,5	0,1	1,7	3,2
5	30	-0,9	-0,6	7,4	-2,1

10	30	-1,0	-1,0	2,2	-1,2
15	30	-2,0	-2,4	2,2	-1,6
5	50	-2,4	-2,0	3,6	-2,9
10	50	-1,4	-0,9	2,5	-1,9
15	50	2,3	2,9	0,9	2,0

Como se pode ver na tabela 4.1 os tempos de percurso por tipo de veículo variam muito pouco entre cenários. Em termos gerais verifica-se uma pequena redução dos tempos para os autocarros à custa de um ligeiro aumento para os restantes modos. Este facto traduz-se em mudanças pouco significativas em termos de tempo de viagem por pessoa, como é exemplificado na figura 4.1.

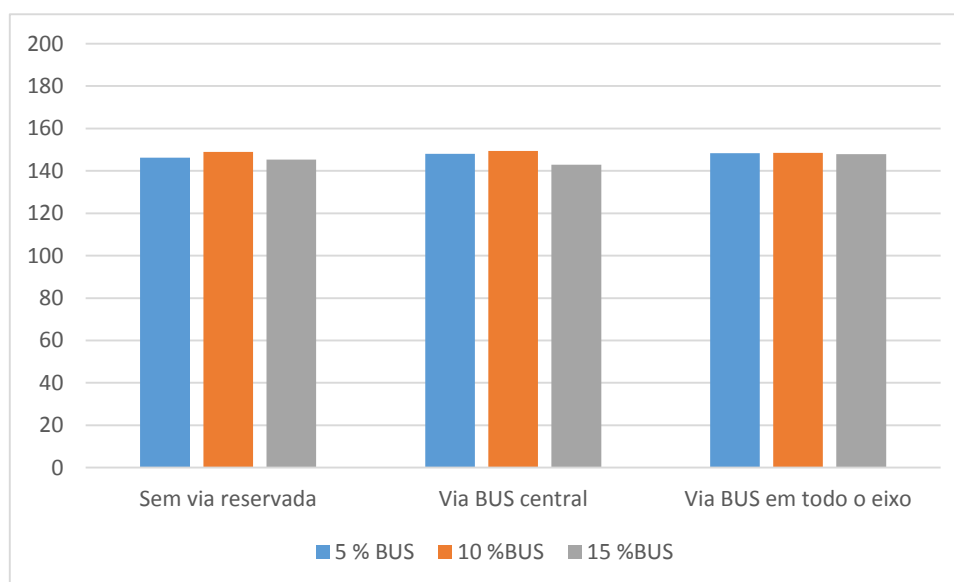


Figura 4.1 - Tempos de percurso por pessoa para os cenários de 60 passageiros por autocarros e 50% de VAO.

Adicionalmente, ao estender o comprimento da via reservada para ocupar todo o eixo da rede, os tempos de percurso mantêm-se virtualmente inalterados.

Ao analisar as velocidades médias por cada tipo de veículo verifica-se que estas são independentes da existência da via reservada, com valores de 27 a 30 km/h, o que significa que todo o trânsito circula a uma velocidade muito próxima de fluxo livre. À semelhança dos tempos de percurso, não há variação significativa nas velocidades, sendo raras as variações acima de 1%. Analogamente à situação anterior, o prolongamento da via reservada a todo o eixo não resulta em mudanças significativas.

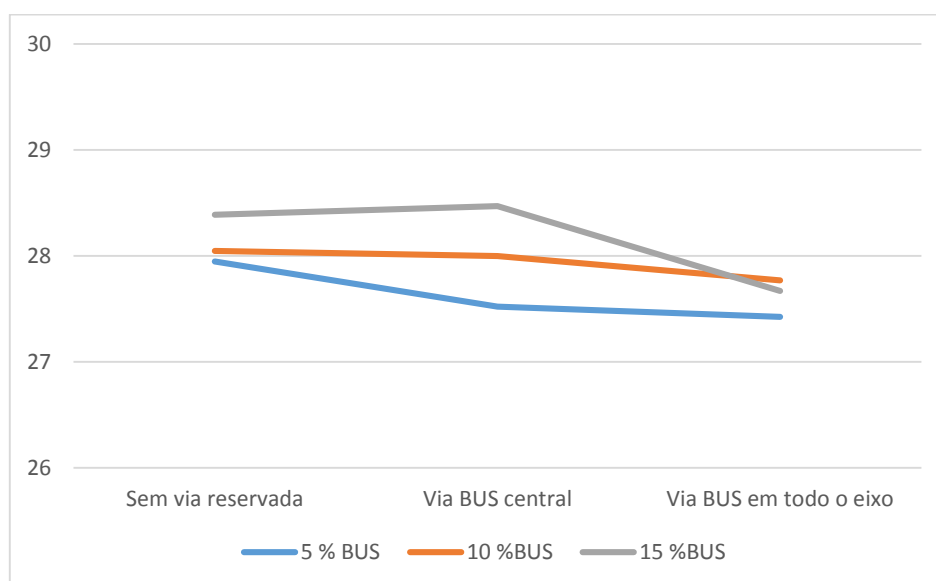


Figura 4.2 Velocidade média por pessoa para os cenários de 20 passageiros por autocarros e 30% VAO.

Em termos de fiabilidade do transporte público, não é possível retirar grandes conclusões pois não se consegue identificar nenhum padrão, visto que os resultados apresentam uma grande variabilidade. A razão para este fato pode residir no próprio modelo de micro-simulação. Como este tipo de modelos se baseiam em leis de probabilidade para simular os parâmetros do elementos da rede de tráfego há a possibilidade de o desvio padrão calculado resultar da variação desses elementos.

Em conclusão, numa situação em que há bastante folga em termos de capacidade, ao introduzir uma via reservada, o tráfego existente tem espaço suficiente para se redistribuir, mantendo a fluidez de circulação. Assim, a construção de uma via BUS nestas circunstâncias dependerá de outros fatores não abordados nesta análise.

4.1.2. Cenário com Grau de Saturação de 80%

Para um volume de tráfego com grau de saturação de 80%, os resultados obtidos traduzem uma realidade diferente. O trade-off entre o tráfego generalizado e o transporte público é claramente visível nesta situação: enquanto se verifica uma redução no tempo de percurso dos autocarros, há um aumento quase proporcional do tempo para os restantes modos.

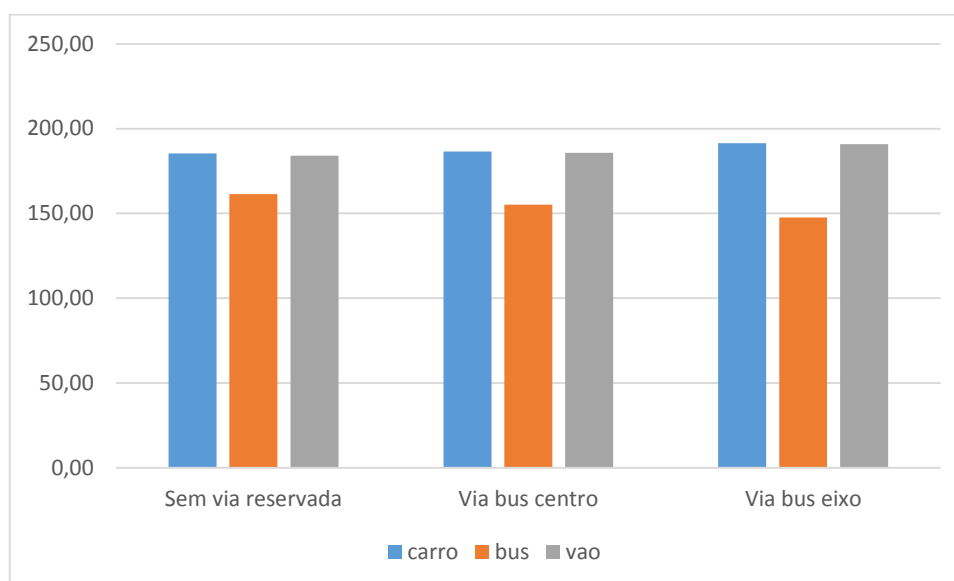


Figura 4.2-Tempos de percurso por tipo de veículo para o cenário de 15 % de BUS e 10 % VAO.

Tabela 4.2 -Percentagem da variação do tempo de percurso por tipo de veículo entre as soluções generalizada e via reservada ao BUS.

% BUS	% HOV	Total	Veíc. Ligeiro	BUS	BUS
5	10	-0,6	-0,7	3,8	-0,9
10	10	-0,5	-0,5	2,4	-2,1
15	10	-5,2	-5,4	3,6	-8,0
5	30	-7,0	-6,8	5,4	-8,1
10	30	-3,7	-4,1	2,8	-3,6
15	30	-5,2	-5,5	4,9	-6,3
5	50	-3,2	-3,4	5,1	-3,2
10	50	0,2	-0,7	3,8	0,8
15	50	-4,4	-4,7	2,7	-4,8

Em termos de tempos de percurso por pessoa servida continua a verificar-se poucas alterações ao inserir a via reservada a autocarros, só que desta vez obteve-se quase sempre algum aumento global, embora sendo de apenas de alguns segundos. O tempo de percurso perdido adicional por pessoa servida é menor para taxas de ocupação do autocarro superiores, mas é sempre perdido.

Em adição, em termos de fiabilidade verifica-se geralmente um aumento do desvio padrão quando se insere a via reservada, o que implica uma ligeira perda de fiabilidade por parte do transporte coletivo.

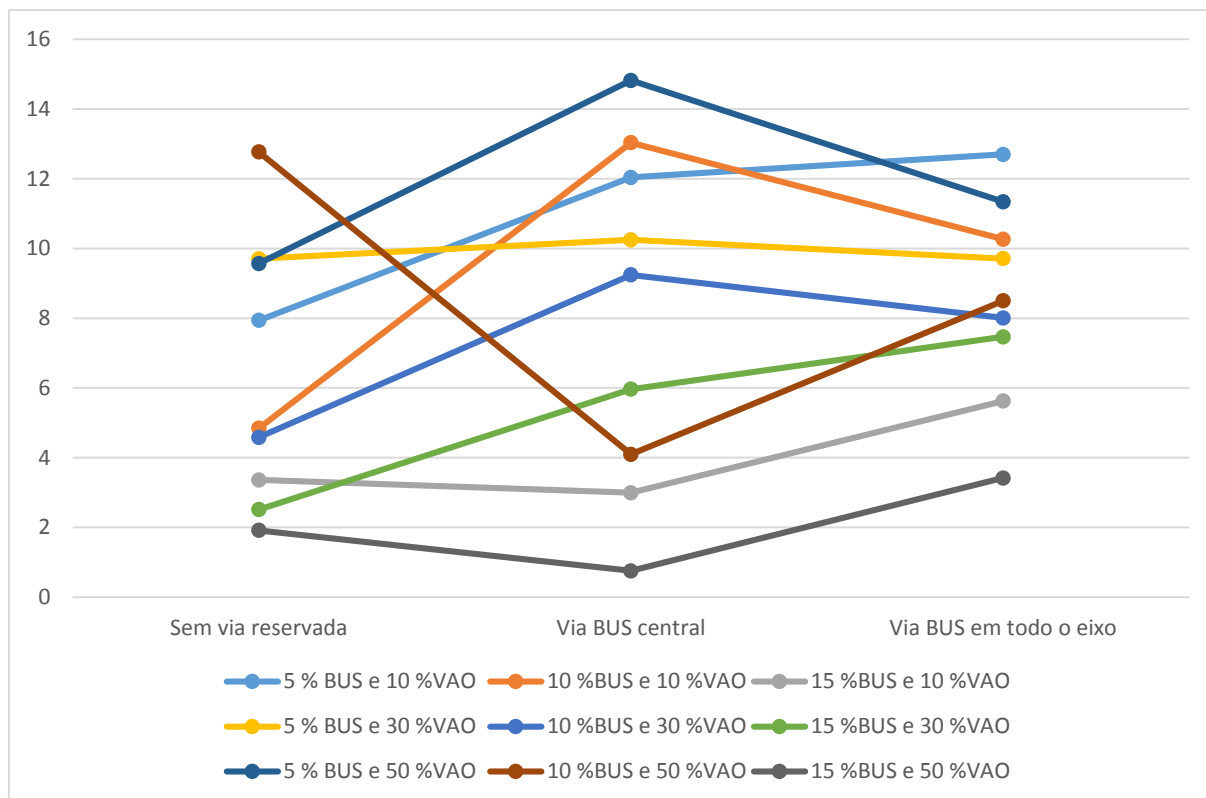


Figura 4.3. - Desvio padrão do tempo de percurso do BUS para o cenário com grau de saturação de 80%.

Analisando as velocidades praticadas verificou-se que a média para todos os modos de transporte é bastante semelhante, andando na ordem dos 22 a 25 km/h. Ao introduzir a via reservada nota-se uma pequena diminuição na velocidade média para quando a taxa de ocupação dos autocarros é de 20 ou 40 pessoas. Todavia, na situação em que circulam 60 pessoas por cada autocarro, nota-se uma ligeira subida.

Comparando com a situação em que a rede funciona com um grau de saturação de 60% não se pode deixar de verificar algumas semelhanças. Embora as velocidades praticadas sejam ligeiramente inferiores, a variação dos tempos de percurso continua a ser reduzida. Ao analisar a poupança no tempo obtida pelo autocarro verifica-se que em ambas as situações há aumentos na mesma ordem de grandeza. Isto leva à conclusão que com um nível de tráfego analisado, a rede ainda funciona muito perto de uma situação de fluxo livre, sendo indiferente a introdução ou não da via reservada.

4.1.3. Cenário com Grau de Saturação de 100%

A grande diferença em termos de funcionamento ocorre na situação em que se considera que circula um volume de tráfego superior à capacidade instalada. Os tempos de percurso por pessoa aumentam significativamente, sendo que em algumas situações aproximam-se do dobro ao introduzir a via reservada. Para além disso, ao fazer uma análise apenas aos tempos dos autocarros verifica-se que estes também aumentam com a introdução da via reservada no centro. Mesmo na situação em que a via é definida em todo o eixo principal, embora se tenha identificado ganhos muito significativos para o autocarro, numa perspectiva global o balanço é negativo. Para ilustrar este fato pode-se visualizar a figura 4.4, que embora apenas mostre os resultados dos cenários de 60 pessoas por autocarro, 5 % de BUS e 30 % de HOV, a tendência verifica-se para todas as situações.

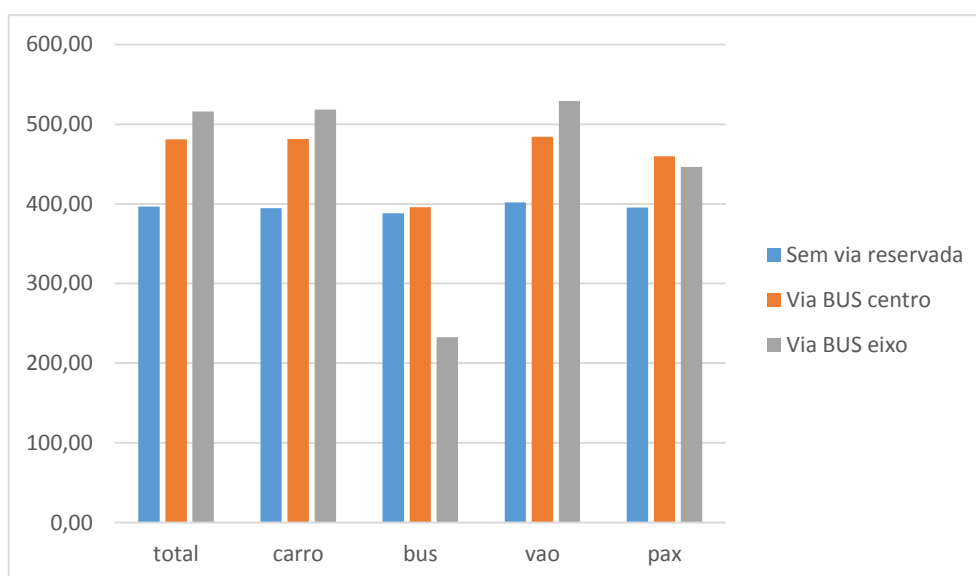


Figura 24.4 - Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para o cenário com grau de saturação de 100%, 5% de BUS e 30% de VAO.

No entanto há outro fator que convém salientar: o tempo de percurso varia fortemente quando se varia a proporção do volume de autocarros, mesmo nas mesmas estratégias. A justificação deste fator reside na construção da matriz O/D para o problema, uma vez que existe uma matriz pré-definida que é afetada pela proporção de cada tipo de veículo a circular na rede. Como o valor base é constante, ao aumentar a percentagem de um modo de transporte, neste caso o autocarro, o volume de veículos ligeiros na rede irá diminuir. Uma vez que das matrizes O/D dos autocarros só são consideradas as viagens que atravessam o eixo principal, existe uma diminuição do volume total de veículos que fornece uma pequena folga. Mesmo assim, para uma mesma percentagem de autocarros, os tempos de percurso continuam a apresentar valores muito superiores quando se introduz a via reservada ao transporte coletivo.

Ao analisar a variação das velocidades médias verifica-se muito facilmente que a circulação está fortemente condicionada. Mesmo na situação generalizada as velocidades por pessoa

são muito reduzidas, mas ainda diminuem um pouco ao reservar uma via aos autocarros. Contudo, há que salientar que embora tenha um desempenho inferior à situação generalista, o cenário em que a via reservada ao autocarro ocupa toda a via apresenta resultados melhores do que a situação em que esta apenas atravessa os cruzamentos centrais.

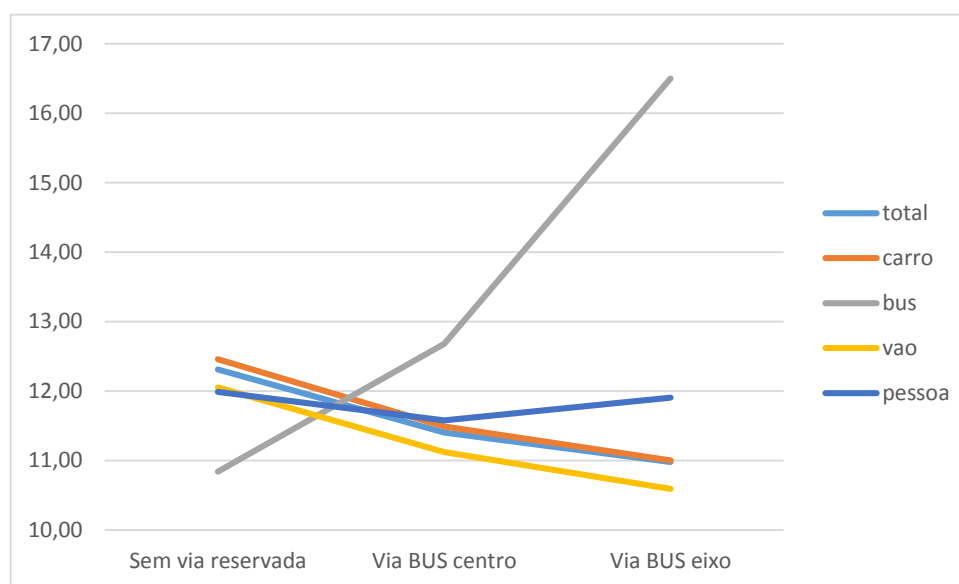


Figura 4.5. – Velocidade por tipo de veículo e por pessoa para o cenário com grau de saturação de 100%, 5% de BUS e 30% de VAO.

Também a fiabilidade é afetada nesta situação. Quando a via reservada é introduzida nos troços centrais da rede, há um aumento significativo do desvio padrão dos tempos de percurso dos autocarros. No entanto, dependendo do cenário a analisar, o comportamento da evolução do desvio padrão é diferente. Numa primeira análise, na maioria das situações há uma perda de fiabilidade por parte dos autocarros ao introduzir a via reservada. Estes resultados são contra intuitivos numa primeira análise, pois seria espectável que a fiabilidade aumentasse. A única conclusão que se pode retirar desta análise é que existem outros fatores que influenciam o desvio padrão dos tempos de percurso para os autocarros para além das condições de circulação na rede.

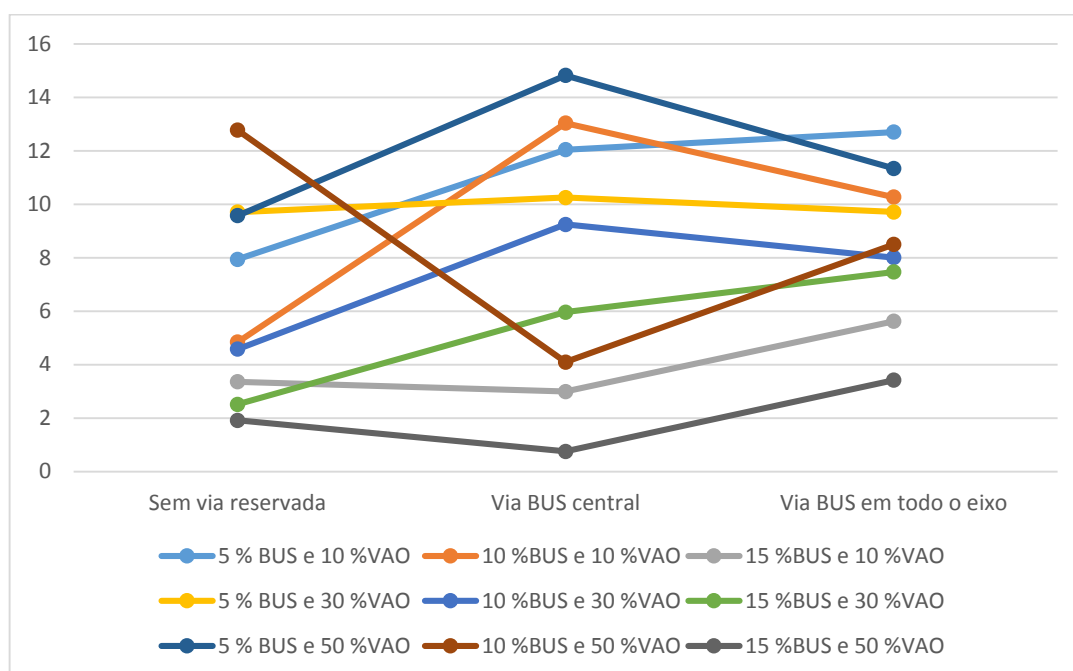


Figura 4.6. -Desvio padrão dos tempos de percurso do autocarros para o cenário de 100% de grau de saturação. A inclusão dos VAO na via reservada

4.2. A inclusão dos VAO na via reservada

4.2.1. Cenário com Grau de Saturação de 60%

A segunda medida de prioridade analisada correspondeu à estratégia de permitir também aos VAO circularem na via reservada.

Em primeiro lugar, para a situação de um volume de tráfego pouco significativo, as alterações ao desempenho da rede são relativamente pequenas em termos de tempo por pessoa servida, especialmente em situações considerando poucos passageiros para o autocarro.

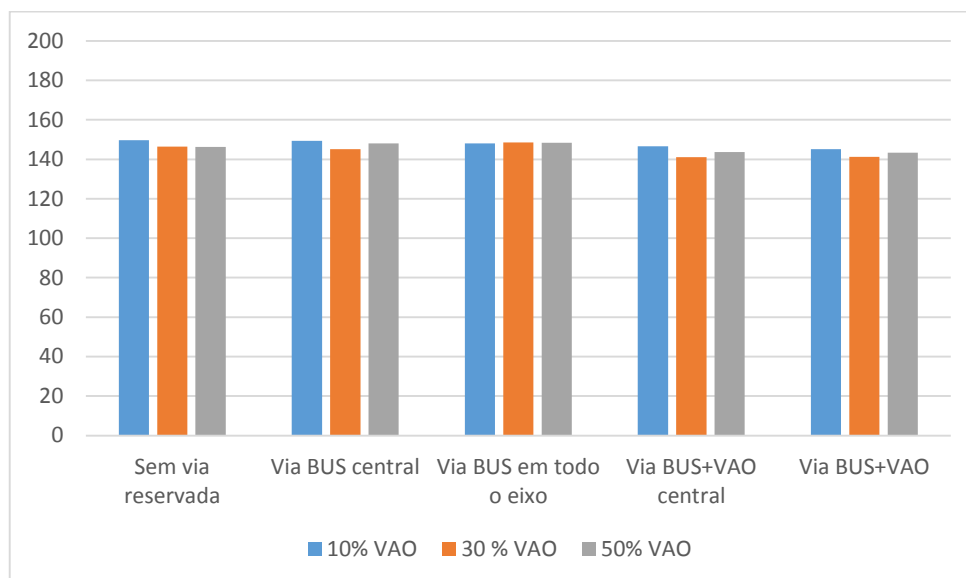


Figura 4.7 - Tempos de percurso por pessoa para o cenário de 60% do grau de saturação, 20 pessoas por autocarro e 5% de BUS.

Contudo, ao aumentar a percentagem do volume de VAO e de autocarros, a variação do tempo de percurso por pessoa pode ser reduzido até 5 % relativamente ao tempo obtido na solução generalista. A poupança no tempo é superior para quando a via é prolongada para ocupar todo o eixo.

Ao analisar a variação do tempo de percurso apenas para os veículos ligeiros normais, verificou-se que nas soluções em que se permite a circulação de VAO na via reservada, há uma diminuição do tempo de percurso.

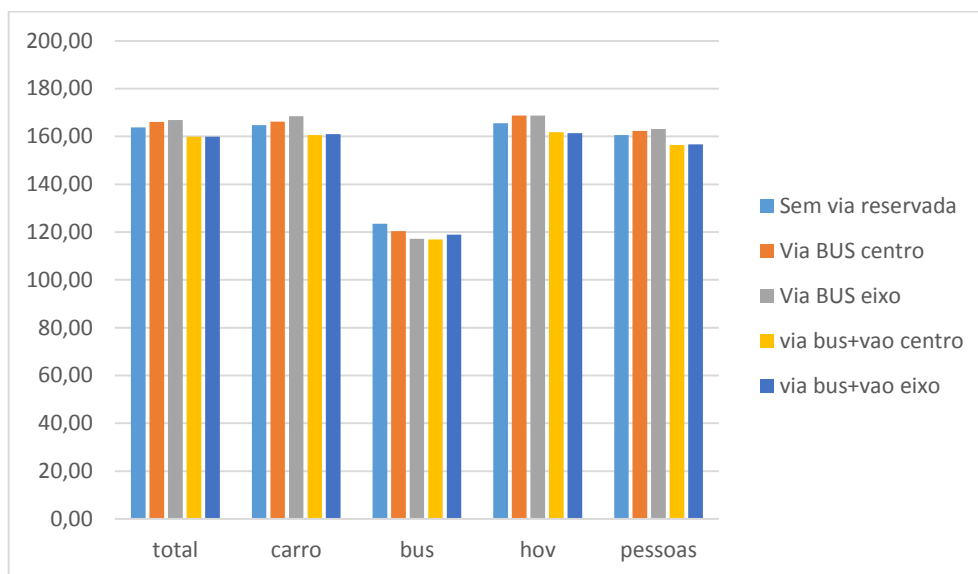


Figura 4.8 Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para os cenários com grau de saturação de 60%, 10% BUS, 50% de VAO e 20 passageiros por BUS.

Ao reservar a via aos VAO e aos transportes coletivos, as velocidades médias por pessoa registaram um pequeno aumento. Este aumento é maior na situação em que a extensão da via ocupa todo o eixo principal da rede.

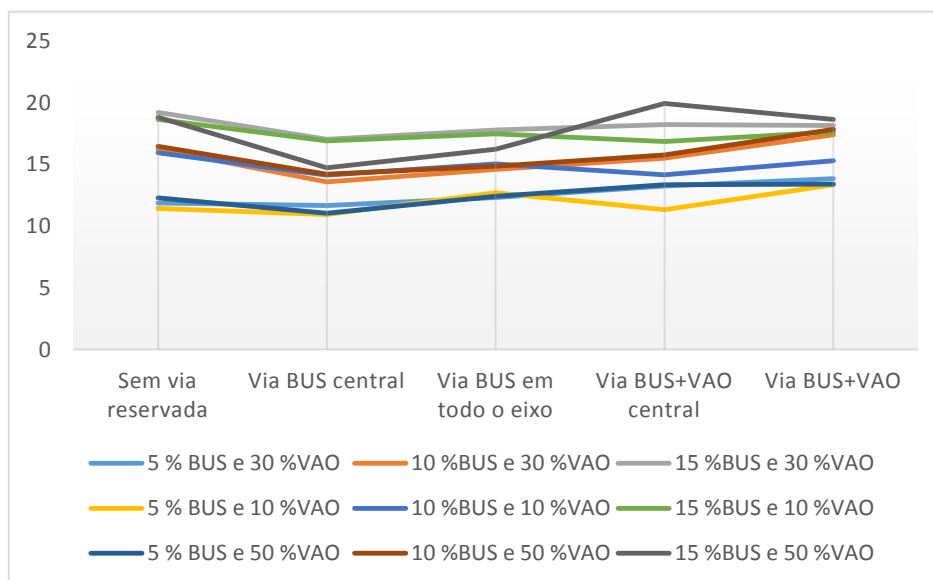


Figura 4.9 - Velocidades médias por pessoa para o cenários de 40 pessoas por BUS e grau de saturação de 60%.

Ao analisar o desvio padrão dos tempos de percurso do autocarro verificou-se que havia uma dispersão tendencialmente aleatória dos valores, não sendo possível retirar quaisquer

conclusões. Mais uma vez verifica-se que, numa condição de fluxo livre, os valores do desvio padrão estão sujeitos aos efeitos da aleatoriedade associada ao modelo de micro-simulação.

Numa visão global chega-se à conclusão que há grandes ganhos ao introduzir vias reservadas aos VAO e aos autocarros numa situação de pequenos fluxos de trânsito na rede.

Com este tipo de solução consegue-se aumentar o desempenho da rede, melhorando os tempos de percurso para veículos de transporte público e VAO sem causar embaraço ao restante tráfego. Todavia é pertinente analisar a razão pela qual, ao contrário da solução com a via reservada apenas aos autocarros, o fato de apenas ao introduzir também VAO nessa via conseguem-se melhores resultados. Uma possível explicação é que, ao retirar o trânsito de veículos ligeiros da via BUS consegue-se atribuir aos autocarros um ligeiro aumento de capacidade, que se traduz numa diminuição do tempo de percurso. Além disso, ao permitir aos VAO circularem nessa via, é utilizada qualquer reserva de capacidade existente que, de outra forma seria desperdiçada. Assim, tem-se que existe um pequeno aumento do desempenho dos autocarros e dos VAO à custa de muito pouca perda por parte dos veículos ligeiros. Assim, como os primeiros têm taxas de ocupação muito superiores, o resultado global será positivo.

No entanto é necessário também colocar a análise em perspectiva, isto é, fazer uma análise também em termos absolutos. O maior benefício em termos de diminuição de tempos de percurso foi de aproximadamente 5 %. Todavia, em termos absolutos a poupança foi de apenas 4 segundos por quilómetro. Assim, também se pode concluir que a aplicabilidade das estratégias propostas para estas realidades não pode ser avaliada pela análise proposta por este trabalho.

4.2.2. Cenário com Grau de Saturação de 80%

Ao aproximar a procura ao limite do grau de saturação, ao permitir a circulação na via reservada aos VAO são obtidos alguns benefícios moderados, sendo que estes aumentam em função da taxa de ocupação dos autocarros e da percentagem do volume de autocarros e de VAO. Isto é, a poupança relativamente ao tempo de percurso por pessoa é maior quanto maiores forem estes parâmetros.

Todavia, nesta situação continua-se a um nível em que a rede funciona com folga de capacidade, sendo que ao retirar uma via de circulação ao tráfego generalizado não são criadas problemáticas de fluidez.

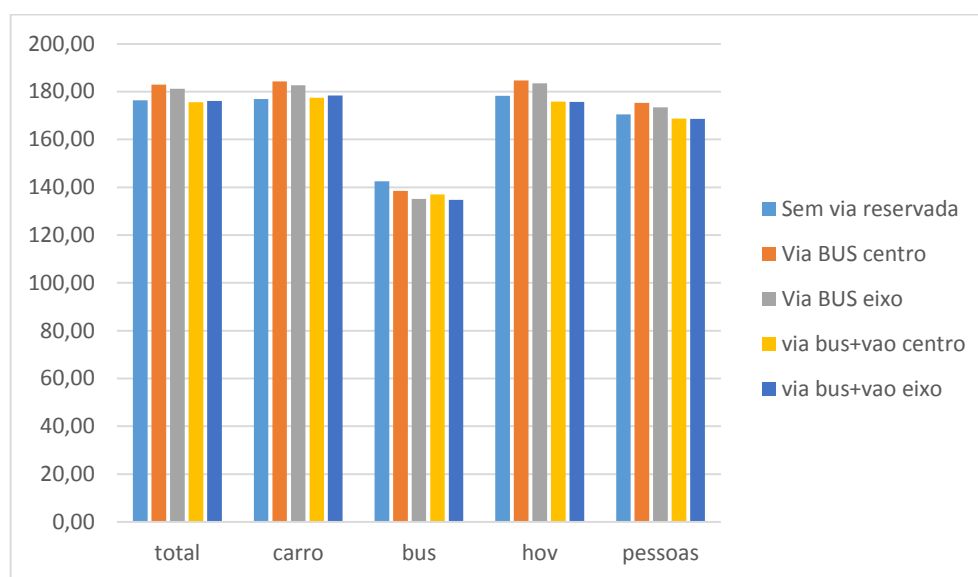


Figura 4.10 - Tempos de percurso por tipo de veículo e por pessoa para o cenários de grau de saturação de 80%, 20 pessoas por BUS, 30% VAO e 5% BUS.

Esta redução do tempo de viagem pode ser até 3% ao comparar com a solução generalista e verifica-se na combinação dos cenários de volumes de autocarros de 15%, volume de VAO de 50% e com a via reservada a funcionar na totalidade do eixo da rede.

Ao analisar apenas os tempos de percurso dos autocarros, verifica-se que mesmo para percentagens de VAO mais elevadas, estes são mais elevados para a estratégia de reservar a via apenas aos autocarros na via central do que nas soluções em que a prioridade se estende aos VAO. À primeira vista estes valores podem não parecer realistas, pois ao alargar a possibilidade de circular na via reservada aos VAO implica que nessa via haja um aumento de tráfego e conseqüentemente um aumento para todos os tipos de veículos que nele circulam. Uma explicação para este fato é que, uma vez que num grau de saturação de 80% ainda não se atingiu uma situação congestionada, a introdução ou não da via reservada a autocarro e BUS não afeta em grande medida os autocarros, pois estes mantêm a sua fluidez de circulação e a diminuição do tempo é devido à variação das variáveis aleatórias calculadas pelo programa para modelar os autocarros.

Na mesma linha de desempenho, as velocidades médias por pessoa resultam uma grande melhoria em relação às restantes soluções. Mais uma vez, os benefícios são tanto maiores quanto maiores forem os volumes de veículos de transporte público e VAO e a taxa de ocupação dos autocarros também

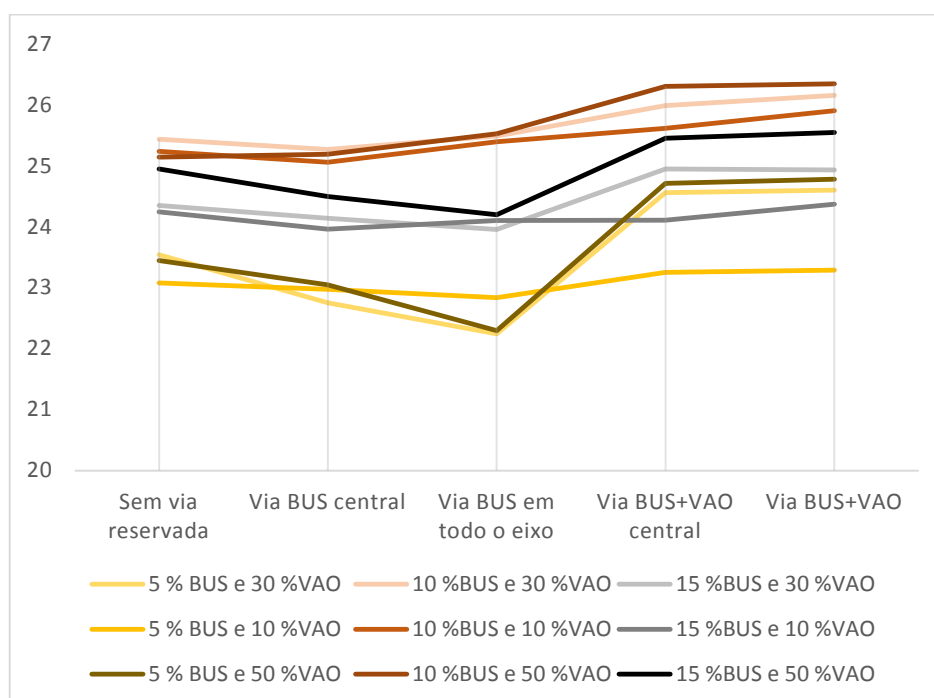


Figura 4.11 - Velocidades médias por pessoa para o cenário de 40 passageiros por BUS e grau de saturação de 80%.

Relativamente ao desvio padrão dos tempos de percurso dos autocarros, também foram obtidos resultados favoráveis, verificando-se uma descida deste valor na grande maioria de combinações de cenários. Contudo, as flutuações são de pouca intensidade, apresentando resultados que representam apenas pequenos ganhos.

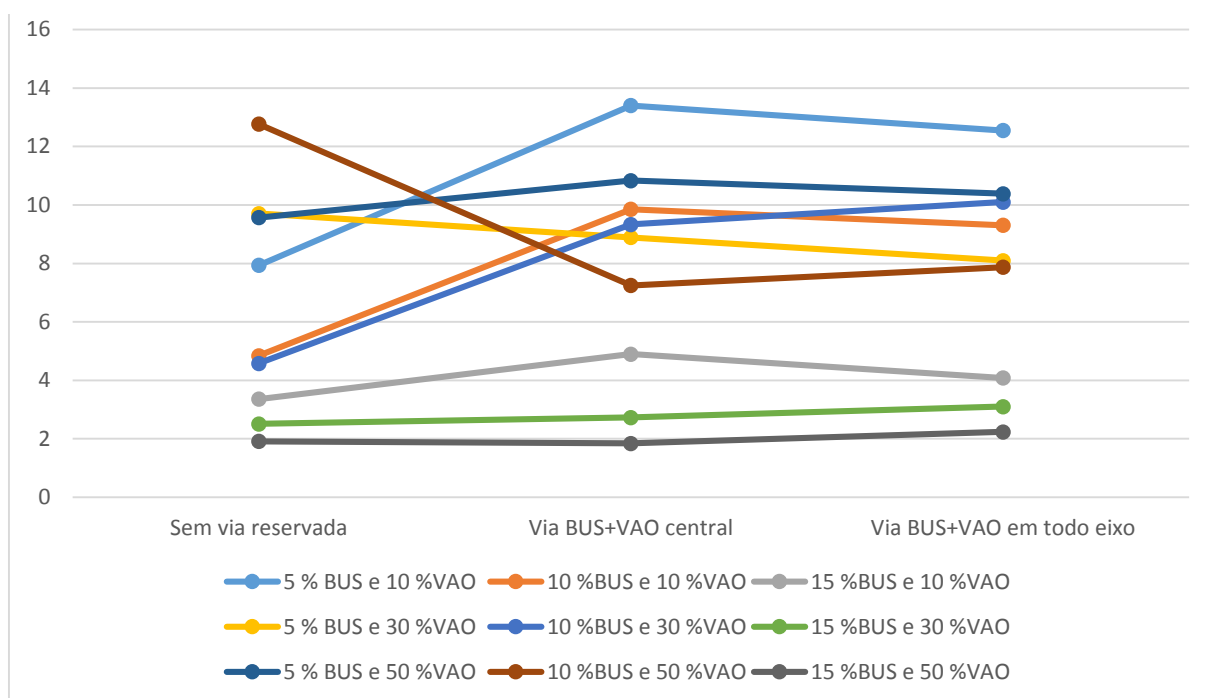


Figura 4.12 - Desvio padrão dos tempos de percurso do autocarro par a um cenário de grau de saturação de 80%.

No final de analisar todos os resultados obtidos, pode-se chegar à conclusão de que é viável aplicar a via reservada a VAO e a autocarros. Todavia, analogamente do que foi feito no capítulo anterior, é pertinente fazer uma análise em termos absolutos., Observando os resultados da situação em que houve a maior redução de tempo de percurso, o valor dessa poupança foi de 7 segundos por quilómetro. Além disso, o cenário para o qual se obtêm esse valor corresponde a uma percentagem de VAO de 50%, o que é um valor que se pode revelar demasiado extremo em situações reais.

Mais uma vez se verifica que, embora todos os indicadores apresentem a solução com benefícios positivos, traduzindo esses valores para valores absolutos, chega-se à conclusão de que, embora haja resultados favoráveis, a sua ordem de grandeza não é suficiente para tomar uma decisão com confiança.

4.2.3. Cenário com Grau de Saturação de 100%

Esta é de longe a situação que teve resultados mais díspares em termos de ganhos e perdas de tempo de viagem por pessoa na rede.

O cenário que em que se considera que a taxa de ocupação dos autocarros é de 60 pessoas e a percentagem de VAO é de 30% foi o cenário com melhores resultados. Todavia, apenas foram identificadas melhorias nos tempos de percurso para as situações em que a

percentagem de autocarros é de 5% e 10% para a solução de via reservada em todo o eixo aos VAO e BUS, sendo que a estratégia de via central apenas obteve melhorias para um volume de 5% de autocarros, mas neste caso as melhorias foram pouco significativas.

Por outro lado, ao considerar 50 % de veículos de alta ocupação, os cenários com 5 % e 15 % do volume em autocarros também apresentaram reduções no tempo de viagem. Todavia, para 10% de veículos de transporte público os tempos pioraram relativamente à solução generalista.

Na situação em que a ocupação dos veículos de transporte coletivo é considerada de 40 passageiros, só existe diminuição no tempo de percurso nos cenários com percentagem de VAO acima de 30 %, sendo que para a via reservada no centro este valor tem de ser 50%. Além disso, quando os autocarros representam 15% do volume de trânsito, há um aumento do tempo de percurso por pessoa.

O pior cenário em termos de ocupação dos autocarros, de 20 pessoas por autocarros, apenas resultou numa diminuição dos tempos de percurso apenas para a solução de via reservada na totalidade do eixo, para os cenários em que a percentagem de VAO é superior a 30% e percentagem de autocarros inferior a 15%.

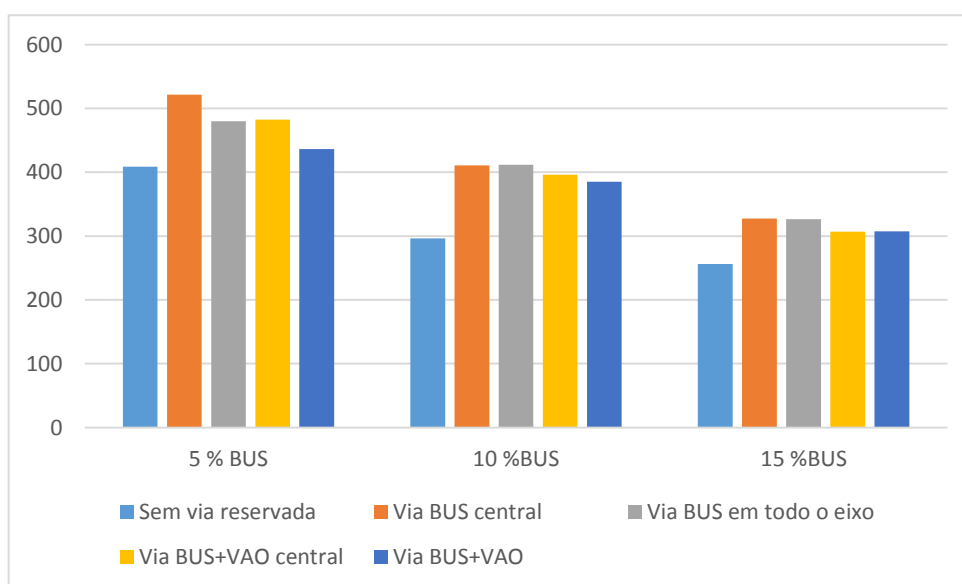


Figura 4.13. - Tempos de percurso por pessoa para o cenário com grau e saturação de 100%, 10% BUS e 60 passageiros por autocarro.

As velocidades médias têm resultados muito variados ao inserir esta estratégia. Quando combinação de cenários em que o volume de VAO é superior a 30% (à exceção da que a percentagem de autocarros é de 10%) verifica-se uma perda de velocidade ao introduzir a via reservada no centro da rede e depois um aumento, ao estendê-la a todo o eixo. A situação

contrária verifica-se nas situações com percentagem de VAO igual a 50 % e para os cenários de 5% e 15% de veículos de transporte público, em que primeiro há um aumento e depois uma diminuição da velocidade.

Para além disso, a situação de bloqueio na rede continua claramente visível, pois a ordem de grandeza das velocidades médias varia entre 10 a 18 km/h. Uma outra conclusão que se pode retirar ao analisar os perfis das velocidades médias para o total dos veículos (ver figura 4.14) para cada estratégia ao comparar as soluções das vias reservadas com e sem VAO, esta última apresenta um conjunto de valores maiores. Isto pode-se traduzir numa diminuição do congestionamento da rede. Este fato pode ser a justificação principal para que a solução de via reservada com VAO apresente melhor desempenho do que a via apenas reservada aos autocarros.

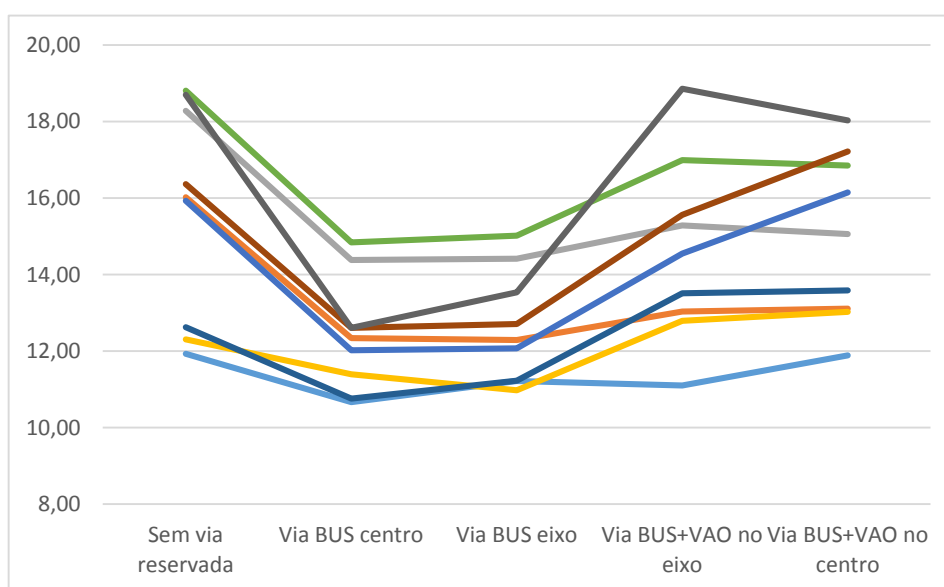


Figura 4.14. - Evolução das velocidades médias totais para o cenário de grau de saturação de 100% e 40 pessoas por autocarro.

Finalmente, analisando a fiabilidade, os resultados obtidos indicam uma detioração da operação ao introduzir a via reservada a autocarros e VAO no troços centrais da rede, mas ao fazer um prolongamento desta até ocupar a totalidade do eixo principal, verifica-se um aumento moderado de fiabilidade, resultando numa situação superior à obtida através da solução generalista.

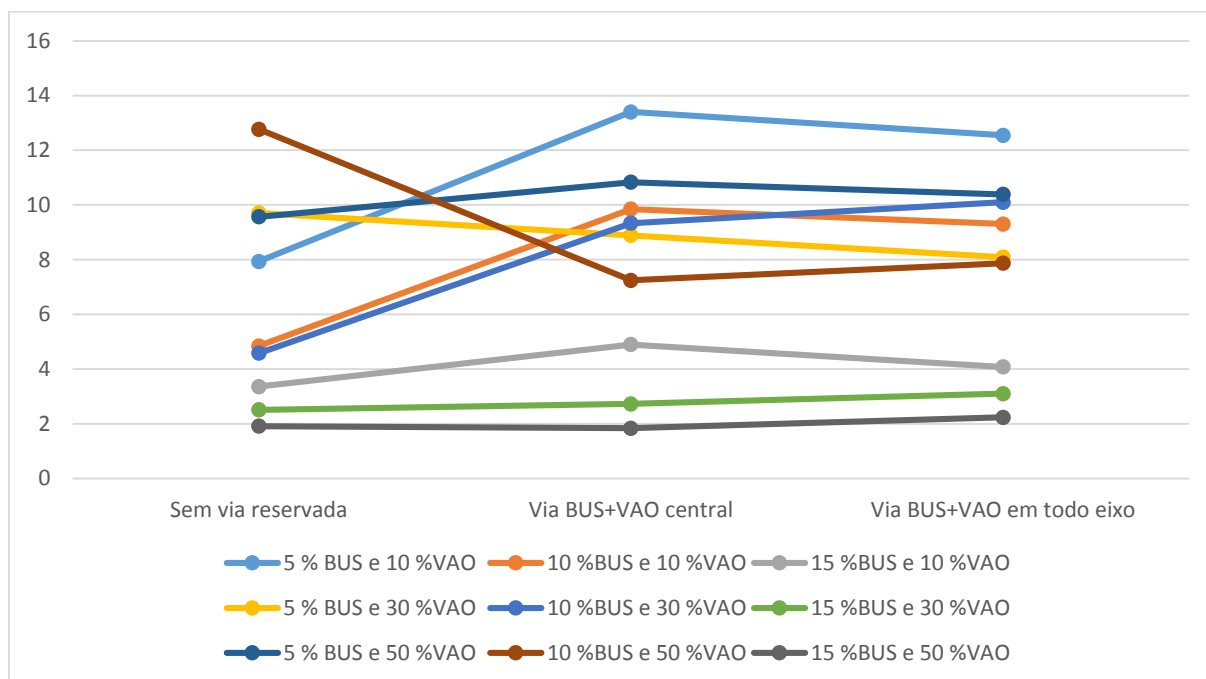


Figura 4.15. -Desvio padrão do tempo de percurso do autocarro para a situação de 100% de grau de saturação.

Ao analisar a globalidade dos resultados pode-se dizer que é nesta situação que se encontram os maiores problemas mas também as melhores potencialidades da aplicação de uma via reservada. Esta variação na aplicabilidade desta medida de política advém essencialmente da condição de bloqueio na rede em que todos os modos sofrem gravemente de perda de fluidez de circulação.

A primeira conclusão que se pode retirar é que, ao permitir aos VAO circular na via reservada torna-se uma solução que previamente era claramente inviável numa estratégia que pode beneficiar a circulação na rede, pelo menos em situações muito concretas.

Para além disso, a taxa de ocupação dos autocarros é um fator que tem uma grande influência no desempenho da rede em termos de tempos de viagem. É para o cenário com o maior número de passageiros por autocarros que apresentou um maior número de combinações de situações para o qual o balanço da introdução de uma via reservada a autocarros e VAO foi positivo e também a aquelas com um maior valor absoluto de benefício.

Outro fator importante é que, mais do que a percentagem de veículos de transporte público, é a proporção de VAO que mais condiciona a solução uma vez que para o cenário correspondente ao menor volume de VAO não consta de nenhuma combinação de situações que apresentem um valor de benefício global positivo.

Finalmente, há que avaliar os resultados em valores absolutos. A combinação de cenários que apresentou melhores resultados em termos de diminuição do tempo de percurso foi a

situação com 60 passageiros por autocarro e com 5% e 30% de percentagem de veículos de transporte público e VAO respetivamente, sendo que a diferença obtida foi de cerca de 30 segundos por quilómetro. Este valor já permite afirmar com confiança que para a situação em causa, a solução de via reservada a VAO e autocarros apresenta viabilidade para ser aplicada.

5. CONCLUSÕES

Este projeto desenvolveu-se em torno de uma análise ao desempenho de estratégias de priorização do transporte público e de veículos de alta ocupação. A análise da literatura de referência identificou e analisou diversas medidas de política de prioridade a este tipo de veículos, em especial medidas que consistem na reserva de vias de trânsito para os veículos que tenham grande potencial de servir um maior número de pessoas, ocupando o menor espaço possível. Assim, desenvolveu-se o presente estudo, que pretende avaliar o desempenho global por pessoa servida de uma situação em que se introduz uma via reservada a autocarros e uma via reservada a VAO e autocarros num arruamento urbano. A base desta análise foi estabelecida construindo uma rede rodoviária típica de uma zona central de uma cidade com alguma dimensão, constituída por um eixo principal com 3 vias de circulação por sentido, com 4 cruzamentos semaforizados com vias secundárias com uma via em cada sentido. Para dimensionar os tempos dos planos semaforicos recorreu-se a um modelo de macro-otimização que permite calcular os tempos de verde e offsets de todos os controladores de maneira integrada, minimizando o tempo de atraso na rede. Para testar realidades urbanas diferentes, foi elaborado um conjunto de cenários para os quais foi testado o desempenho de cada estratégia através de um modelo de micro-simulação.

Verificou-se que, para cenários que traduzem uma realidade em que a rede se encontra pouco carregada, (cerca 60 % do grau de saturação máximo) todas as estratégias apresentaram resultados muito semelhantes. Nesta situação, devido à existência de uma grande folga relativamente à capacidade, todos os veículos circulam com velocidades perto das de fluxo livre, o que implica que ao retirar uma via de trânsito, não é limitada de nenhuma forma a circulação. _Todavia, há um aumento residual em termos de desempenho para os VAO e autocarros quando se introduz uma via reservada_.

Nas situações em que a rede funciona apenas um pouco abaixo do limite de capacidade, com grau de saturação da ordem dos 80% nos cruzamentos críticos, ao se introduzir uma via reservada apenas aos autocarros o desempenho global piora comparando com uma solução generalista, embora se tenha verificado um aumento de fluidez para os autocarros. Para a via reservada ser uma política viável é necessário permitir também a circulação de VAO de maneira a mitigar o aumento de congestionamento devido à perda de uma via generalizada e em simultâneo aumentando a fluidez de circulação para este tipo de veículos.

A um grau de saturação de 100% verificou-se uma situação de congestionamento bastante denso. Nesta situação, a introdução da via reservada implica um custo demasiado grande em termos de perda de capacidade que aumenta ainda mais os problemas de circulação até um ponto em que só se verificam benefícios para os autocarros se a via BUS ocupar todo o eixo da rede. Todavia, para as situações em que o volume de autocarros é inferior a 10 % e a

percentagem de VAO é mais pronunciado e para o cenário de 60 passageiros por autocarro, correspondente a taxas de ocupação dos autocarros bastante elevadas, chegou-se à conclusão de que se pode obter um benefício significativo ao introduzir uma via reservada a autocarros e a VAO. Para além disso, o desempenho desta solução de prioridade para os dois modos de transporte depende muito mais do número de VAO na rede do que dos autocarros.

Assim, globalmente mas de forma preliminar e apenas tendencial pode-se dizer que os resultados obtidos indiciam que para níveis de tráfego baixos, a influência da introdução de uma via reservada é muito pouco significativa havendo pequenos ganhos por parte dos modos de transporte privilegiados, que em termos absolutos acabam por se revelar insuficientes para estabelecer esta medida de prioridade.

Ao aproximar o volume do tráfego ao limite da capacidade, os ganhos por parte dos autocarros e VAO são mais significativos, mas o cenário que foi definido para testar esta realidade (grau de saturação de 80%) acabou por se revelar aquém do objetivo proposto, na medida em que não causou um nível de congestionamento suficiente que permitisse mudar de paradigma relativamente ao cenário com grau de saturação de 60 %.

Com uma rede gravemente sobrecarregada verificou-se que a introdução de uma via reservada exponenciava o problema do congestionamento, havendo até uma perda de nível de serviço por parte dos autocarros. Além disso, embora em alguns cenários a aplicabilidade de uma via reservada a autocarros e VAO se tenha revelado viável, estes representavam realidades demasiado específicas para se poder afirmar que deveria se aplicar esta medida de prioridade.

Relativamente aos indicadores de desempenho escolhidos, os resultados obtidos revelaram algumas fragilidades para a aplicação destes. Numa análise baseada num modelo microscópico a aleatoriedade das propriedades geradas para cada parâmetro traduziram uma grande variabilidade nos resultados do desvio padrão do tempo de percurso obtidos. Nas situações em que a rede funcionava a 60% de capacidade, os valores do desvio padrão revelaram-se completamente díspares. Assim, embora para os restantes níveis de saturação se tenham obtido resultados menos voláteis, é recomendável que num estudo próximo se analise em maior detalhe a influência dos elementos do modelo de micro-simulação no desvio padrão dos resultados.

Finalmente, é de referir que se considera que foi desenvolvida uma metodologia sólida para aplicação na avaliação deste tipo de problemas, recorrendo a um conjunto de modelos de otimização e simulação de tráfego de referência internacional, tendo-se conseguido criar uma ferramenta integrada onde o modelo de otimização alimenta o modelo de simulação, que por sua vez permite testar um número alargado de diferentes estratégias de regulação.

Para garantir uma avaliação sistemática e coerente das diferentes estratégia de regulação alternativas, foram de uma forma sistemática identificados um conjunto de cenários de referência, resultantes da aplicação de análises de sensibilidade aplicadas a variáveis potencialmente relevantes (níveis de saturação dos elementos mais críticos da rede;

percentagem de autocarros e VAO no tráfego global;). A pluralidade dos cenários estabelecidos permitiu analisar várias realidades urbanas diferentes. No entanto, tendo em atenção as limitações de tempo associado a projetos deste tipo e ao facto de o modelo global de análise ainda ter componentes que implicam um tratamento manual de dados, foi necessário reduzir a gama de cenários inicialmente definida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arasan, V. & Vedagiri, P. (2007), Bus Priority on Roads Carrying Heterogeneous Traffic: a Study using Computer Simulation, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1-20.

Balcombe, R., Mackett, R., Paulley, N., Preston, J., Shires, J., Titheridge, H., Wardman, M., White, P. (2004): *The Demand for Public Transport: A Practical Guide*, TRL Report TRL593,

Costa, A (2008), *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes*, vol. 13 - Transportes Públicos, CCDRN, 48-51.

Costa, A., Seco, A., Vasconcelos, A., 2008, *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes*, vol. 7 - Sinais Luminosos, CCDRN, 1-109.

Costa, A. e Macedo, J., 2008, *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes*, vol. 1 – Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos, CCDRN, 1-109.

Currie, G., Sarvi, M., Young, W. (2003), A Comprehensive Approach to Balanced Road Space Allocation in Relation to Transit Priority, *Transportation Research Record*, 1-14.

Currie, G., Sarvi, M., Young, W. (2007), A new approach to evaluating on-road public transport priority projects: balancing the demand for limited road-space,

Daganzo, C. & Cassidy, M. (2007), *Deploying Lanes For High Occupancy Vehicles In Urban Areas*, Working Paper, Berkeley Center for Future Urban Transport, 1-26.

Eichler, M. & Daganzo, C. (2005), Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation, *Transportation Research Part B* 40 (2006), 731-744.

El-Geneidy, A., Horning, J., & Krizek, K., (2011). Analyzing transit service reliability using detailed data from automatic vehicular locator systems, *Journal of Advanced Transportation*, 45, 66-79.

Garrow & Machemehl (1997) Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies, Relatório de Investigação, Southwest Region University Transportation Center Center for Transportation Research University of Texas at Austin, Texas, 5-22.

Garrow, M. & Machemehl, R. (1997), Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies, Relatório de Investigação, Southwest Region University Transportation Center: Center for Transportation Research University of Texas at Austin, 1-148.

Jepson, D. and Ferreira, L. (1999), Assessing travel time impacts of measures to enhance bus operations: Part 1 - Past evidence reviewed, Road and Transport Research 8, 41-54.

Jepson, D. and Ferreira, L. (2000), Assessing travel time impacts of measures to enhance bus operations: Part 2 Study methodology and main findings, Road and Transport Research 9, 4-19.

Jepson, D., Ferreira, L. (2000).Assessing travel time impacts of measures to enhance bus operations. Part II: Assessment criteria and main findings. Road & Transport Research Journal, 9 (1), 3-18.

Konishi, H e Mun, S. (2010), Carpooling and congestion pricing: HOV and HOT lanes, Regional Science and Urban Economics 40, 173-186.

Kwon, J e Varaiya, P. (2007), Effectiveness of California's High Occupancy Vehicle (HOV) system, Transportation Research Part C 16, 98-115.

Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J. e Gast, J. et al (2003), Bus Rapid Transit: Synthesis of Case Studies, 2003 Annual Meeting Transportation Research Board Washington, D.C., 1-31.

Ma, W, Liu, Y. e Yang, X. (2013), A Dynamic Programming Approach for Optimal Signal Priority Control Upon Multiple High-Frequency Bus Requests, Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, 17:4, 282-293.

NCHRP (2004), Convertible Roadways and Lanes, National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C. Estados Unidos da América, 1-105.

Seco, A.,Antunes, A, Silva, A Costa, A. ., (2008), Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes, vol. 4 –, Princípios Básicos De Organização De Redes Viárias, CCDRN, 1-109

Silva (2013), Medidas de Prioridade aos Transportes Públicos, Sebenta de apoio da disciplina de Engenharia de Tráfego, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 1-37.

Silva, A., , Seco, A., Vasconcelos, A., 2008, Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes, vol. 5 – Intersecções Prioritárias e de Viragem À Direita, CCDRN, 1-109.

Skabardonis, A. (1998), Control Strategies For Transit Priority, California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH), 1-52.

TRB (2000), Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washinton, DC, Estados Unidos da América.

TRB (2010), Highway Capacity Manual Volume 2 – Interrupted Flow, Transportation Research Board, Washinton, DC, Estados Unidos da América.

Urbanik et al. (1977), Evaluation of Priority Techniques for High Occupacy Vehicles in Arterial Streets, Relatório de Investigação, Texas Transportation Institute, 1-48.

Polus, A. e Reshetnik, I (2001), Optimal Setback Planning And Delay Analysis For Hov Lanes, Journal of Transportation Engineering vol 127.

Viegas & Lu (2007) Widening the scope for bus priority with intermittent bus lanes, Transportation Planning and Technology, 1-25.

Yu, B et al, 2012, Real-time partway deadheading strategy based on transit service, reliability assessment, Transportation Research Part A, 1-1265-1279.

ANEXOS

A- Resultados dos Tempos de Percurso por veículo e por pessoa para a solução generalisada

Occ bus	DOS	%bus	%hov	%erro	total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	12,95	184,84	185,31	161,32	184,08	182,1063
20	80	10	10	15,73	180,86	182,10	144,94	181,03	173,36
20	80	15	10	19,59	151,81	151,31	164,89	149,81	155,4607
20	80	5	30	15,04	175,05	175,16	163,05	175,43	173,9782
20	80	10	30	16,84	176,32	176,93	142,44	178,23	170,552
20	80	15	30	20,38	152,34	151,82	165,71	151,27	155,5203
20	80	5	50	14,74	177,79	177,30	162,16	178,77	176,7994
20	80	10	50	18,35	181,35	181,44	145,42	183,40	176,2365
20	80	15	50	21,26	149,71	149,05	161,27	149,19	152,1828
20	60	5	10	18,39	154,64	154,76	137,24	156,11	152,795
20	60	10	10	16,72	162,79	163,95	123,61	165,18	154,83
20	60	15	10	20,14	163,15	164,83	123,20	168,78	152,0132
20	60	5	30	13,99	150,25	151,01	135,94	149,20	148,6196
20	60	10	30	17,38	162,08	161,84	123,36	166,33	155,94
20	60	15	30	18,88	159,27	160,45	122,32	162,70	150,5697
20	60	5	50	18,39	150,50	151,17	131,66	150,48	148,9097
20	60	10	50	16,72	163,84	164,68	123,49	165,53	157,9112
20	60	15	50	19,40	165,66	167,88	122,57	167,98	156,6081
20	100	5	10	21,63	409,18	409,34	407,06	408,05	408,84
20	100	10	10	19,76	309,53	311,62	245,73	310,87	296,2992
20	100	15	10	23,57	279,64	284,16	198,33	283,44	256,4689
20	100	5	30	19,97	396,78	394,75	388,25	401,66	397,015
20	100	10	30	25,30	329,88	332,51	228,32	334,69	312,544
20	100	15	30	23,45	264,14	265,25	189,61	273,00	246,8825
20	100	5	50	22,62	374,22	370,27	373,22	377,94	375,3403
20	100	10	50	20,97	305,44	306,33	228,24	309,67	294,5141
20	100	15	50	22,38	265,04	264,59	198,57	271,61	251,985
40	80	5	10	12,95	184,84	185,31	161,32	184,08	179,7967
40	80	10	10	15,73	180,86	182,10	144,94	181,03	168,0313
40	80	15	10	15,04	151,81	151,31	164,89	149,81	157,7543
40	80	5	30	15,04	175,05	175,16	163,05	175,43	172,9206
40	80	10	30	16,84	176,32	176,93	142,44	178,23	165,8667
40	80	15	30	20,38	152,34	151,82	165,71	151,27	157,7571
40	80	5	50	14,74	177,79	177,30	162,16	178,77	175,5446
40	80	10	50	18,35	181,35	181,44	145,42	183,40	171,614
40	80	15	50	21,26	149,71	149,05	161,27	149,19	154,0002
40	60	5	10	18,39	154,64	154,76	137,24	156,11	151,0667
40	60	10	10	16,72	162,79	163,95	123,61	165,18	148,9763
40	60	15	10	20,14	163,15	164,83	123,20	168,78	145,0046
40	60	5	30	13,99	150,25	151,01	135,94	149,20	147,3926
40	60	10	30	17,38	162,08	161,84	123,36	166,33	150,51
40	60	15	30	18,88	159,27	160,45	122,32	162,70	144,3685
40	60	5	50	18,39	150,50	151,17	131,66	150,48	147,4311
40	60	10	50	16,72	163,84	164,68	123,49	165,53	152,748
40	60	15	50	19,40	165,66	167,88	122,57	167,98	149,8004

40	100	5	10	21,63	409,18	409,34	407,06	408,05	408,6422
40	100	10	10	19,76	309,53	311,62	245,73	310,87	286,8175
40	100	15	10	23,57	279,64	284,16	198,33	283,44	242,327
40	100	5	30	19,97	396,78	394,75	388,25	401,66	396,1668
40	100	10	30	25,30	329,88	332,51	228,32	334,69	298,5067
40	100	15	30	23,45	264,14	265,25	189,61	273,00	234,3105
40	100	5	50	22,62	374,22	370,27	373,22	377,94	375,1586
40	100	10	50	20,97	305,44	306,33	228,24	309,67	284,573
40	100	15	50	22,38	265,04	264,59	198,57	271,61	241,302
60	80	5	10	12,95	184,84	185,31	161,32	184,08	177,949
60	80	10	10	15,73	180,86	182,10	144,94	181,03	164,3853
60	80	15	10	19,59	151,81	151,31	164,89	149,81	159,1504
60	80	5	30	15,04	175,05	175,16	163,05	175,43	172,0497
60	80	10	30	16,84	176,32	176,93	142,44	178,23	162,52
60	80	15	30	20,38	152,34	151,82	165,71	151,27	159,1886
60	80	5	50	14,74	177,79	177,30	162,16	178,77	174,4879
60	80	10	50	18,35	181,35	181,44	145,42	183,40	168,1974
60	80	15	50	21,26	149,71	149,05	161,27	149,19	155,2119
60	60	5	10	18,39	154,64	154,76	137,24	156,11	149,684
60	60	10	10	16,72	162,79	163,95	123,61	165,18	144,9711
60	60	15	10	20,14	163,15	164,83	123,20	168,78	140,7385
60	60	5	30	13,99	150,25	151,01	135,94	149,20	146,3821
60	60	10	30	17,38	162,08	161,84	123,36	166,33	146,6314
60	60	15	30	18,88	159,27	160,45	122,32	162,70	140,3998
60	60	5	50	18,39	150,50	151,17	131,66	150,48	146,1861
60	60	10	50	16,72	163,84	164,68	123,49	165,53	148,9317
60	60	15	50	19,40	165,66	167,88	122,57	167,98	145,262
60	100	5	10	21,63	409,18	409,34	407,06	408,05	408,484
60	100	10	10	19,76	309,53	311,62	245,73	310,87	280,33
60	100	15	10	23,57	279,64	284,16	198,33	283,44	233,7189
60	100	5	30	19,97	396,78	394,75	388,25	401,66	395,4682
60	100	10	30	25,30	329,88	332,51	228,32	334,69	288,48
60	100	15	30	23,45	264,14	265,25	189,61	273,00	226,2644
60	100	5	50	22,62	374,22	370,27	373,22	377,94	375,0055
60	100	10	50	20,97	305,44	306,33	228,24	309,67	277,2252
60	100	15	50	22,38	265,04	264,59	198,57	271,61	234,18

B- Resultados dos Tempos de Percurso por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros.

Occ bus	DOS	%bus	%hov	Via bus centro				
				total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	185,98	186,58	155,25	185,78	182,5304
20	80	10	10	181,79	182,97	141,39	184,88	173,6685
20	80	15	10	159,68	159,47	158,93	161,72	159,6179
20	80	5	30	187,37	187,06	154,19	189,70	184,6696
20	80	10	30	182,90	184,24	138,50	184,67	175,264
20	80	15	30	160,23	160,15	157,56	160,78	159,6578
20	80	5	50	183,46	183,39	153,89	184,43	181,2744

20	80	10	50	180,94	182,72	139,95	182,00	174,7488
20	80	15	50	156,31	156,10	156,99	156,41	156,4947
20	60	5	10	157,19	157,42	129,87	158,98	154,2363
20	60	10	10	164,19	165,46	120,55	167,06	155,3423
20	60	15	10	162,41	164,72	121,07	163,30	150,4868
20	60	5	30	151,67	151,94	125,82	152,35	149,3171
20	60	10	30	163,64	163,45	120,70	168,25	156,82
20	60	15	30	162,43	164,24	119,63	165,34	152,1059
20	60	5	50	154,04	154,12	126,88	154,83	152,01
20	60	10	50	166,08	166,20	120,42	168,74	159,6153
20	60	15	50	161,84	163,05	121,48	164,66	153,5519
20	100	5	10	530,63	530,58	441,22	543,33	521,535
20	100	10	10	446,99	453,69	271,19	449,52	410,9331
20	100	15	10	372,91	382,33	210,91	383,87	327,4507
20	100	5	30	480,80	481,27	395,97	484,09	473,3393
20	100	10	30	456,95	462,80	279,43	463,76	426,51
20	100	15	30	366,17	369,73	212,80	384,16	331,0047
20	100	5	50	518,88	513,09	420,82	526,87	513,0522
20	100	10	50	437,25	437,48	244,66	449,21	410,3529
20	100	15	50	437,25	437,48	244,66	449,21	395,7917
40	80	5	10	185,98	186,58	155,25	185,78	179,4993
40	80	10	10	181,79	182,97	141,39	184,88	167,6163
40	80	15	10	159,68	159,47	158,93	161,72	159,4505
40	80	5	30	187,37	187,06	154,19	189,70	181,72
40	80	10	30	182,90	184,24	138,50	184,67	169,1367
40	80	15	30	160,23	160,15	157,56	160,78	159,1973
40	80	5	50	183,46	183,39	153,89	184,43	178,9271
40	80	10	50	180,94	182,72	139,95	182,00	169,529
40	80	15	50	156,31	156,10	156,99	156,41	156,5938
40	60	5	10	157,19	157,42	129,87	158,98	151,5289
40	60	10	10	164,19	165,46	120,55	167,06	148,8188
40	60	15	10	162,41	164,72	121,07	163,30	143,3314
40	60	5	30	151,67	151,94	125,82	152,35	147,0432
40	60	10	30	163,64	163,45	120,70	168,25	150,8
40	60	15	30	162,43	164,24	119,63	165,34	144,9771
40	60	5	50	154,04	154,12	126,88	154,83	149,856
40	60	10	50	166,08	166,20	120,42	168,74	153,736
40	60	15	50	161,84	163,05	121,48	164,66	147,1376
40	100	5	10	530,63	530,58	441,22	543,33	512,6111

40	100	10	10	446,99	453,69	271,19	449,52	384,7313
40	100	15	10	372,91	382,33	210,91	383,87	299,103
40	100	5	30	480,80	481,27	395,97	484,09	465,8519
40	100	10	30	456,95	462,80	279,43	463,76	401,9967
40	100	15	30	366,17	369,73	212,80	384,16	305,0573
40	100	5	50	518,88	513,09	420,82	526,87	505,1466
40	100	10	50	437,25	437,48	244,66	449,21	385,499
40	100	15	50	437,25	437,48	244,66	449,21	365,5653
60	80	5	10	185,98	186,58	155,25	185,78	177,0743
60	80	10	10	181,79	182,97	141,39	184,88	163,4753
60	80	15	10	159,68	159,47	158,93	161,72	159,3487
60	80	5	30	187,37	187,06	154,19	189,70	179,2909
60	80	10	30	182,90	184,24	138,50	184,67	164,76
60	80	15	30	160,23	160,15	157,56	160,78	158,9026
60	80	5	50	183,46	183,39	153,89	184,43	176,9505
60	80	10	50	180,94	182,72	139,95	182,00	165,6709
60	80	15	50	156,31	156,10	156,99	156,41	156,6598
60	60	5	10	157,19	157,42	129,87	158,98	149,363
60	60	10	10	164,19	165,46	120,55	167,06	144,3553
60	60	15	10	162,41	164,72	121,07	163,30	138,9759
60	60	5	30	151,67	151,94	125,82	152,35	145,1706
60	60	10	30	163,64	163,45	120,70	168,25	146,5
60	60	15	30	162,43	164,24	119,63	165,34	140,4146
60	60	5	50	154,04	154,12	126,88	154,83	148,0421
60	60	10	50	166,08	166,20	120,42	168,74	149,3904
60	60	15	50	161,84	163,05	121,48	164,66	142,8613
60	100	5	10	530,63	530,58	441,22	543,33	505,472
60	100	10	10	446,99	453,69	271,19	449,52	366,8037
60	100	15	10	372,91	382,33	210,91	383,87	281,8478
60	100	5	30	480,80	481,27	395,97	484,09	459,6859
60	100	10	30	456,95	462,80	279,43	463,76	384,4871
60	100	15	30	366,17	369,73	212,80	384,16	288,451
60	100	5	50	518,88	513,09	420,82	526,87	498,4892
60	100	10	50	437,25	437,48	244,66	449,21	367,1287
60	100	15	50	437,25	437,48	244,66	449,21	345,4144

C- Resultados dos Tempos de Percurso por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros em todo o eixo.

Occ bus	DOS	%bus	%hov	via bus eixo				pax
				total	carro	bus	hov	

20	80	5	10	190,70	191,45	147,60	190,83	185,8654
20	80	10	10	185,11	186,66	133,72	188,28	174,6923
20	80	15	10	161,91	162,13	155,03	163,28	160,0121
20	80	5	30	193,67	193,69	150,62	195,78	189,9711
20	80	10	30	181,27	182,65	135,12	183,42	173,452
20	80	15	30	164,55	164,88	154,77	165,42	162,2391
20	80	5	50	193,57	193,56	148,00	195,02	190,2013
20	80	10	50	180,20	181,00	133,07	182,52	173,4359
20	80	15	50	161,97	162,14	153,71	162,62	160,2992
20	60	5	10	156,49	156,65	126,17	160,01	153,4
20	60	10	10	168,53	169,92	116,56	172,90	158,0646
20	60	15	10	165,53	167,24	117,09	173,46	152,0089
20	60	5	30	156,92	157,15	123,52	157,95	153,8896
20	60	10	30	161,82	162,76	117,47	164,27	154,306
20	60	15	30	176,85	180,08	117,03	179,61	162,1709
20	60	5	50	155,06	154,45	124,26	156,55	152,9322
20	60	10	50	166,93	168,54	117,14	168,78	159,6106
20	60	15	50	174,70	177,20	118,18	177,78	162,7672
20	100	5	10	509,56	514,59	234,10	518,21	480,1321
20	100	10	10	461,92	470,11	205,86	485,49	411,4954
20	100	15	10	376,64	386,71	195,31	394,46	326,2957
20	100	5	30	516,06	518,25	232,58	528,98	492,2411
20	100	10	30	468,29	475,96	209,01	484,13	425,838
20	100	15	30	359,21	369,66	185,93	369,55	317,9447
20	100	5	50	489,41	488,41	224,46	499,67	470,7022
20	100	10	50	438,05	440,41	205,38	452,26	405,9047
20	100	15	50	401,17	406,35	197,43	418,25	360,7311
40	80	5	10	190,70	191,45	147,60	190,83	181,6137
40	80	10	10	185,11	186,66	133,72	188,28	167,01
40	80	15	10	161,91	162,13	155,03	163,28	158,8003
40	80	5	30	193,67	193,69	150,62	195,78	186,1629
40	80	10	30	181,27	182,65	135,12	183,42	167,0633
40	80	15	30	164,55	164,88	154,77	165,42	160,5995
40	80	5	50	193,57	193,56	148,00	195,02	186,584
40	80	10	50	180,20	181,00	133,07	182,52	167,381
40	80	15	50	161,97	162,14	153,71	162,62	158,9813
40	60	5	10	156,49	156,65	126,17	160,01	150,3744
40	60	10	10	168,53	169,92	116,56	172,90	150,2825
40	60	15	10	165,53	167,24	117,09	173,46	143,5151

40	60	5	30	156,92	157,15	123,52	157,95	150,9506
40	60	10	30	161,82	162,76	117,47	164,27	148,1667
40	60	15	30	176,85	180,08	117,03	179,61	152,262
40	60	5	50	155,06	154,45	124,26	156,55	150,4746
40	60	10	50	166,93	168,54	117,14	168,78	153,24
40	60	15	50	174,70	177,20	118,18	177,78	153,8498
40	100	5	10	509,56	514,59	234,10	518,21	452,7952
40	100	10	10	461,92	470,11	205,86	485,49	372,9388
40	100	15	10	376,64	386,71	195,31	394,46	294,4343
40	100	5	30	516,06	518,25	232,58	528,98	467,1126
40	100	10	30	468,29	475,96	209,01	484,13	389,7
40	100	15	30	359,21	369,66	185,93	369,55	288,9659
40	100	5	50	489,41	488,41	224,46	499,67	449,5957
40	100	10	50	438,05	440,41	205,38	452,26	375,826
40	100	15	50	401,17	406,35	197,43	418,25	328,0709
60	80	5	10	190,70	191,45	147,60	190,83	178,2123
60	80	10	10	185,11	186,66	133,72	188,28	161,7537
60	80	15	10	161,91	162,13	155,03	163,28	158,0626
60	80	5	30	193,67	193,69	150,62	195,78	183,0268
60	80	10	30	181,27	182,65	135,12	183,42	162,5
60	80	15	30	164,55	164,88	154,77	165,42	159,5502
60	80	5	50	193,57	193,56	148,00	195,02	183,5379
60	80	10	50	180,20	181,00	133,07	182,52	162,9057
60	80	15	50	161,97	162,14	153,71	162,62	158,1028
60	60	5	10	156,49	156,65	126,17	160,01	147,954
60	60	10	10	168,53	169,92	116,56	172,90	144,9579
60	60	15	10	165,53	167,24	117,09	173,46	138,345
60	60	5	30	156,92	157,15	123,52	157,95	148,5303
60	60	10	30	161,82	162,76	117,47	164,27	143,7814
60	60	15	30	176,85	180,08	117,03	179,61	145,9202
60	60	5	50	155,06	154,45	124,26	156,55	148,405
60	60	10	50	166,93	168,54	117,14	168,78	148,5313
60	60	15	50	174,70	177,20	118,18	177,78	147,9048
60	100	5	10	509,56	514,59	234,10	518,21	430,9257
60	100	10	10	461,92	470,11	205,86	485,49	346,5579
60	100	15	10	376,64	386,71	195,31	394,46	275,0404
60	100	5	30	516,06	518,25	232,58	528,98	446,4185
60	100	10	30	468,29	475,96	209,01	484,13	363,8871
60	100	15	30	359,21	369,66	185,93	369,55	270,4194

60	100	5	50	489,41	488,41	224,46	499,67	431,8218
60	100	10	50	438,05	440,41	205,38	452,26	353,5939
60	100	15	50	401,17	406,35	197,43	418,25	306,2974

D- Resultados dos Tempos de Percurso por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros e VAO.

Occ bus	DOS	%bus	%hov	via hov centro				
				total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	184,23	185,74	157,02	175,58	180,4567
20	80	10	10	178,42	180,11	139,65	176,12	170,1592
20	80	15	10	158,95	159,41	158,66	155,58	158,6218
20	80	5	30	171,78	173,00	149,74	170,11	169,2693
20	80	10	30	175,59	177,47	137,06	175,88	168,752
20	80	15	30	153,37	154,16	154,56	151,67	153,3388
20	80	5	50	170,19	171,15	150,81	169,91	168,4681
20	80	10	50	172,07	173,48	137,56	173,07	166,9
20	80	15	50	150,27	150,58	151,89	149,92	150,5408
20	60	5	10	154,71	155,18	126,28	155,33	151,5925
20	60	10	10	157,16	158,74	120,30	155,96	149,4415
20	60	15	10	168,06	170,59	118,20	170,90	153,7946
20	60	5	30	145,86	146,64	127,63	145,00	143,9004
20	60	10	30	159,57	160,15	116,32	162,54	152,34
20	60	15	30	156,04	158,17	117,80	158,21	146,8309
20	60	5	50	149,09	149,89	125,85	149,00	147,08
20	60	10	50	159,91	160,57	116,97	161,82	153,6112
20	60	15	50	166,91	169,60	118,03	169,39	156,5908
20	100	5	10	491,37	496,37	437,02	458,01	482,5579
20	100	10	10	423,58	432,24	302,15	392,46	396,0992
20	100	15	10	341,78	352,19	225,02	321,08	306,8696
20	100	5	30	419,04	437,16	333,55	383,18	402,9246
20	100	10	30	369,94	383,94	240,49	356,10	344,114
20	100	15	30	308,42	319,99	204,01	302,94	280,9769
20	100	5	50	374,59	382,02	327,08	369,30	368,9194
20	100	10	50	337,65	346,12	246,64	336,51	322,9118
20	100	15	50	270,13	272,08	177,96	277,15	251,3667
40	80	5	10	184,23	185,74	176,3078	175,58	182,1388
40	80	10	10	178,42	180,11	170,8362	176,12	176,1336
40	80	15	10	158,95	159,41	152,0505	155,58	155,4156
40	80	5	30	171,78	173,00	164,1081	170,11	170,1603
40	80	10	30	175,59	177,47	168,088	175,88	173,8127

40	80	15	30	153,37	154,16	146,6935	151,67	150,1532
40	80	5	50	170,19	171,15	162,6167	169,91	168,9786
40	80	10	50	172,07	173,48	164,8213	173,07	170,6774
40	80	15	50	150,27	150,58	143,6273	149,92	147,5056
40	60	5	10	154,71	155,18	126,28	155,33	148,78
40	60	10	10	157,16	158,74	120,30	155,96	143,9775
40	60	15	10	168,06	170,59	118,20	170,90	145,1365
40	60	5	30	145,86	146,64	127,63	145,00	142,3258
40	60	10	30	159,57	160,15	116,32	162,54	146,3367
40	60	15	30	156,04	158,17	117,80	158,21	140,4583
40	60	5	50	149,09	149,89	125,85	149,00	145,2603
40	60	10	50	159,91	160,57	116,97	161,82	148,115
40	60	15	50	166,91	169,60	118,03	169,39	148,8787
40	100	5	10	491,37	496,37	437,02	458,01	477,4981
40	100	10	10	423,58	432,24	302,15	392,46	378,4838
40	100	15	10	341,78	352,19	225,02	321,08	286,9603
40	100	5	30	419,04	437,16	333,55	383,18	396,211
40	100	10	30	369,94	383,94	240,49	356,10	326,8433
40	100	15	30	308,42	319,99	204,01	302,94	264,0817
40	100	5	50	374,59	382,02	327,08	369,30	365,3331
40	100	10	50	337,65	346,12	246,64	336,51	311,471
40	100	15	50	270,13	272,08	177,96	277,15	236,6853
60	80	5	10	184,23	185,74	157,02	175,58	175,7693
60	80	10	10	178,42	180,11	139,65	176,12	160,5247
60	80	15	10	158,95	159,41	158,66	155,58	158,6367
60	80	5	30	171,78	173,00	149,74	170,11	165,8229
60	80	10	30	175,59	177,47	137,06	175,88	159,6971
60	80	15	30	153,37	154,16	154,56	151,67	153,7784
60	80	5	50	170,19	171,15	150,81	169,91	165,68
60	80	10	50	172,07	173,48	137,56	173,07	159,2461
60	80	15	50	150,27	150,58	151,89	149,92	150,9906
60	60	5	10	154,71	155,18	126,28	155,33	146,53
60	60	10	10	157,16	158,74	120,30	155,96	140,2389
60	60	15	10	168,06	170,59	118,20	170,90	139,8663
60	60	5	30	145,86	146,64	127,63	145,00	141,0291
60	60	10	30	159,57	160,15	116,32	162,54	142,0486
60	60	15	30	156,04	158,17	117,80	158,21	136,3798
60	60	5	50	149,09	149,89	125,85	149,00	143,7279
60	60	10	50	159,91	160,57	116,97	161,82	144,0526

60	60	15	50	166,91	169,60	118,03	169,39	143,7372
60	100	5	10	491,37	496,37	437,02	458,01	473,4503
60	100	10	10	423,58	432,24	302,15	392,46	366,4311
60	100	15	10	341,78	352,19	225,02	321,08	274,8415
60	100	5	30	419,04	437,16	333,55	383,18	390,6821
60	100	10	30	369,94	383,94	240,49	356,10	314,5071
60	100	15	30	308,42	319,99	204,01	302,94	253,2688
60	100	5	50	374,59	382,02	327,08	369,30	362,3132
60	100	10	50	337,65	346,12	246,64	336,51	303,0148
60	100	15	50	270,13	272,08	177,96	277,15	226,8978

E- Resultados dos Tempos de Percurso por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros e VAO em todo o eixo

Occ bus	DOS	%bus	%hov	via hov eixo				
				total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	186,49	188,65	151,48	173,59	181,4938
20	80	10	10	179,27	181,35	135,44	175,29	169,8231
20	80	15	10	158,51	159,23	155,31	154,45	157,2871
20	80	5	30	172,30	173,93	147,87	169,84	169,385
20	80	10	30	176,06	178,38	134,71	175,74	168,59
20	80	15	30	153,96	155,08	154,57	151,69	153,6653
20	80	5	50	170,23	171,64	149,06	169,60	168,2481
20	80	10	50	172,43	173,99	137,59	173,32	167,1724
20	80	15	50	149,65	149,73	151,31	149,46	149,975
20	60	5	10	154,04	154,61	122,91	154,20	150,5792
20	60	10	10	162,70	164,05	116,74	165,96	153,4262
20	60	15	10	160,41	162,95	117,21	161,29	148,0107
20	60	5	30	147,89	149,38	122,99	145,85	145,0396
20	60	10	30	159,93	160,38	118,82	163,17	153,184
20	60	15	30	154,57	156,77	117,10	155,99	145,3203
20	60	5	50	148,50	149,55	126,06	148,22	146,5166
20	60	10	50	159,91	160,93	118,89	161,45	153,8171
20	60	15	50	155,73	158,60	117,29	157,21	147,5003
20	100	5	10	469,13	489,63	245,91	351,21	436,095
20	100	10	10	431,57	449,50	227,36	363,22	384,9631
20	100	15	10	353,17	366,72	201,86	323,41	307,5421
20	100	5	30	406,51	432,05	279,33	346,28	378,9286
20	100	10	30	319,21	334,24	203,29	301,26	294,858
20	100	15	30	298,51	308,98	205,08	293,95	274,1219
20	100	5	50	370,95	379,15	331,78	364,59	365,6091

20	100	10	50	299,20	303,25	203,01	301,89	284,7606
20	100	15	50	274,38	279,12	203,20	277,50	259,24
40	80	5	10	186,49	188,65	178,5137	173,59	184,1664
40	80	10	10	179,27	181,35	171,4565	175,29	176,8824
40	80	15	10	158,51	159,23	151,7463	154,45	155,0725
40	80	5	30	172,30	173,93	165,021	169,84	170,6224
40	80	10	30	176,06	178,38	168,4082	175,74	174,1761
40	80	15	30	153,96	155,08	147,5837	151,69	150,7967
40	80	5	50	170,23	171,64	163,1202	169,60	169,0138
40	80	10	50	172,43	173,99	165,0926	173,32	170,9858
40	80	15	50	149,65	149,73	143,3419	149,46	147,0547
40	60	5	10	154,04	154,61	122,91	154,20	147,5048
40	60	10	10	162,70	164,05	116,74	165,96	146,5475
40	60	15	10	160,41	162,95	117,21	161,29	140,5186
40	60	5	30	147,89	149,38	122,99	145,85	142,9058
40	60	10	30	159,93	160,38	118,82	163,17	147,4567
40	60	15	30	154,57	156,77	117,10	155,99	139,1256
40	60	5	50	148,50	149,55	126,06	148,22	144,7631
40	60	10	50	159,91	160,93	118,89	161,45	148,578
40	60	15	50	155,73	158,60	117,29	157,21	141,4582
40	100	5	10	469,13	489,63	245,91	351,21	414,9633
40	100	10	10	431,57	449,50	227,36	363,22	355,4125
40	100	15	10	353,17	366,72	201,86	323,41	281,8357
40	100	5	30	406,51	432,05	279,33	346,28	369,29
40	100	10	30	319,21	334,24	203,29	301,26	279,5967
40	100	15	30	298,51	308,98	205,08	293,95	258,9663
40	100	5	50	370,95	379,15	331,78	364,59	362,7094
40	100	10	50	299,20	303,25	203,01	301,89	272,498
40	100	15	50	274,38	279,12	203,20	277,50	248,032
60	80	5	10	186,49	188,65	151,48	173,59	175,491
60	80	10	10	179,27	181,35	135,44	175,29	158,9653
60	80	15	10	158,51	159,23	155,31	154,45	156,5135
60	80	5	30	172,30	173,93	147,87	169,84	165,5882
60	80	10	30	176,06	178,38	134,71	175,74	158,91
60	80	15	30	153,96	155,08	154,57	151,69	153,991
60	80	5	50	170,23	171,64	149,06	169,60	165,2184
60	80	10	50	172,43	173,99	137,59	173,32	159,4552
60	80	15	50	149,65	149,73	151,31	149,46	150,42
60	60	5	10	154,04	154,61	122,91	154,20	145,0453

60	60	10	10	162,70	164,05	116,74	165,96	141,8411
60	60	15	10	160,41	162,95	117,21	161,29	135,9583
60	60	5	30	147,89	149,38	122,99	145,85	141,1485
60	60	10	30	159,93	160,38	118,82	163,17	143,3657
60	60	15	30	154,57	156,77	117,10	155,99	135,161
60	60	5	50	148,50	149,55	126,06	148,22	143,2866
60	60	10	50	159,91	160,93	118,89	161,45	144,7057
60	60	15	50	155,73	158,60	117,29	157,21	137,4302
60	100	5	10	469,13	489,63	245,91	351,21	398,058
60	100	10	10	431,57	449,50	227,36	363,22	335,1937
60	100	15	10	353,17	366,72	201,86	323,41	266,1883
60	100	5	30	406,51	432,05	279,33	346,28	361,3524
60	100	10	30	319,21	334,24	203,29	301,26	268,6957
60	100	15	30	298,51	308,98	205,08	293,95	249,2668
60	100	5	50	370,95	379,15	331,78	364,59	360,2676
60	100	10	50	299,20	303,25	203,01	301,89	263,4343
60	100	15	50	274,38	279,12	203,20	277,50	240,56

F- Resultados das velocidades médias por veículo e por pessoa para a solução generalista

Occ bus	DOS	%bus	%hov	%erro	Sem via reservada				
					total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	12,95	23,09	23,09	23,05	23,07	23,08
20	80	10	10	15,73	24,72	24,68	26,2	24,59	25,02
20	80	15	10	19,59	25,85	26	22,33	26,25	24,86
20	80	5	30	15,04	23,70	23,76	22,91	23,62	23,61
20	80	10	30	16,84	24,93	24,94	26,6	24,77	25,20
20	80	15	30	20,38	25,79	25,96	22,25	26,02	24,94
20	80	5	50	14,74	23,54	23,61	23,02	23,5	23,49
20	80	10	50	18,35	24,83	24,96	26,09	24,65	24,98
20	80	15	50	21,26	26,24	26,45	22,76	26,39	25,49
20	60	5	10	18,39	27,55	27,53	27,85	27,62	27,59
20	60	10	10	16,72	27,95	27,83	30,21	28,18	28,43
20	60	15	10	20,14	28,15	28,12	29,78	27,67	28,59
20	60	5	30	13,99	27,85	27,75	27,83	28,07	27,90
20	60	10	30	17,38	27,98	28,07	30,20	27,57	28,30
20	60	15	30	18,88	28,36	28,27	29,97	28,27	28,75
20	60	5	50	18,39	27,85	27,79	28,86	27,88	27,95
20	60	10	50	16,72	27,71	27,73	30,19	27,53	28,05
20	60	15	50	19,40	27,97	27,82	29,93	27,89	28,39

20	100	5	10	21,63	11,93	11,95	10,25	11,96	11,74
20	100	10	10	19,76	16,02	16,04	15,90	15,87	15,98
20	100	15	10	23,57	18,28	18,25	18,94	18,18	18,46
20	100	5	30	19,97	12,31	12,46	10,84	12,05	12,11
20	100	10	30	25,30	15,93	15,99	16,74	15,72	16,03
20	100	15	30	23,45	18,81	18,92	19,68	18,48	18,97
20	100	5	50	22,62	12,63	12,83	11,31	12,48	12,47
20	100	10	50	20,97	16,37	16,55	16,71	16,20	16,37
20	100	15	50	22,38	18,70	19,15	19,09	18,33	18,68
40	80	5	10	12,95	23,09	23,09	23,05	23,07	23,08
40	80	10	10	15,73	24,72	24,68	26,20	24,59	25,24
40	80	15	10	15,04	25,85	26,00	22,33	26,25	24,24
40	80	5	30	15,04	23,70	23,76	22,91	23,62	23,54
40	80	10	30	16,84	24,93	24,94	26,60	24,77	25,44
40	80	15	30	20,38	25,79	25,96	22,25	26,02	24,35
40	80	5	50	14,74	23,54	23,61	23,02	23,50	23,45
40	80	10	50	18,35	24,83	24,96	26,09	24,65	25,14
40	80	15	50	21,26	26,24	26,45	22,76	26,39	24,95
40	60	5	10	18,39	27,55	27,53	27,85	27,62	27,61
40	60	10	10	16,72	27,95	27,83	30,21	28,18	28,77
40	60	15	10	20,14	28,15	28,12	29,78	27,67	28,88
40	60	5	30	13,99	27,85	27,75	27,83	28,07	27,89
40	60	10	30	17,38	27,98	28,07	30,20	27,57	28,61
40	60	15	30	18,88	28,36	28,27	29,97	28,27	29,02
40	60	5	50	18,39	27,85	27,79	28,86	27,88	28,02
40	60	10	50	16,72	27,71	27,73	30,19	27,53	28,37
40	60	15	50	19,40	27,97	27,82	29,93	27,89	28,70
40	100	5	10	21,63	11,93	11,95	10,25	11,96	11,57
40	100	10	10	19,76	16,02	16,04	15,90	15,87	15,97
40	100	15	10	23,57	18,28	18,25	18,94	18,18	18,58
40	100	5	30	19,97	12,31	12,46	10,84	12,05	11,99
40	100	10	30	25,30	15,93	15,99	16,74	15,72	16,15
40	100	15	30	23,45	18,81	18,92	19,68	18,48	19,12
40	100	5	50	22,62	12,63	12,83	11,31	12,48	12,37
40	100	10	50	20,97	16,37	16,55	16,71	16,20	16,42
40	100	15	50	22,38	18,70	19,15	19,09	18,33	18,76
60	80	5	10	12,95	23,09	23,09	23,05	23,07	23,08
60	80	10	10	15,73	24,72	24,68	26,20	24,59	25,39
60	80	15	10	19,59	25,85	26,00	22,33	26,25	23,87

60	80	5	30	15,04	23,70	23,76	22,91	23,62	23,49
60	80	10	30	16,84	24,93	24,94	26,60	24,77	25,60
60	80	15	30	20,38	25,79	25,96	22,25	26,02	23,97
60	80	5	50	14,74	23,54	23,61	23,02	23,50	23,41
60	80	10	50	18,35	24,83	24,96	26,09	24,65	25,27
60	80	15	50	21,26	26,24	26,45	22,76	26,39	24,58
60	60	5	10	18,39	27,55	27,53	27,85	27,62	27,64
60	60	10	10	16,72	27,95	27,83	30,21	28,18	28,99
60	60	15	10	20,14	28,15	28,12	29,78	27,67	29,06
60	60	5	30	13,99	27,85	27,75	27,83	28,07	27,88
60	60	10	30	17,38	27,98	28,07	30,20	27,57	28,84
60	60	15	30	18,88	28,36	28,27	29,97	28,27	29,19
60	60	5	50	18,39	27,85	27,79	28,86	27,88	28,09
60	60	10	50	16,72	27,71	27,73	30,19	27,53	28,61
60	60	15	50	19,40	27,97	27,82	29,93	27,89	28,90
60	100	5	10	21,63	11,93	11,95	10,25	11,96	11,44
60	100	10	10	19,76	16,02	16,04	15,90	15,87	15,96
60	100	15	10	23,57	18,28	18,25	18,94	18,18	18,65
60	100	5	30	19,97	12,31	12,46	10,84	12,05	11,89
60	100	10	30	25,30	15,93	15,99	16,74	15,72	16,23
60	100	15	30	23,45	18,81	18,92	19,68	18,48	19,22
60	100	5	50	22,62	12,63	12,83	11,31	12,48	12,29
60	100	10	50	20,97	16,37	16,55	16,71	16,20	16,46
60	100	15	50	22,38	18,70	19,15	19,09	18,33	18,82

G- Resultados das velocidades médias por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros .

Occ bus	DOS	%bus	%hov	Via bus centro				
				total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	22,75	22,73	23,83	22,71	22,86417
20	80	10	10	24,06	23,99	26,93	23,70	24,62385
20	80	15	10	24,68	24,79	23,15	24,50	24,22143
20	80	5	30	22,52	22,58	24,00	22,31	22,61643
20	80	10	30	24,19	24,06	27,64	24,10	24,792
20	80	15	30	24,72	24,84	23,34	24,70	24,36563
20	80	5	50	22,88	22,92	24,03	22,81	22,95531
20	80	10	50	24,37	24,30	27,37	24,24	24,80647
20	80	15	50	25,14	25,23	23,40	25,22	24,76694
20	60	5	10	26,99	26,95	29,27	27,02	27,25167
20	60	10	10	27,63	27,49	30,99	27,74	28,33615

20	60	15	10	27,63	27,48	30,30	27,58	28,40071
20	60	5	30	27,53	27,45	30,16	27,57	27,79179
20	60	10	30	27,66	27,74	30,82	27,17	28,128
20	60	15	30	27,52	27,41	30,67	27,26	28,27063
20	60	5	50	27,34	27,33	29,71	27,28	27,52188
20	60	10	50	27,48	27,44	31,11	27,29	27,99941
20	60	15	50	28,01	27,91	30,19	27,89	28,46889
20	100	5	10	10,67	10,70	11,72	10,29	10,75917
20	100	10	10	12,34	12,20	16,26	12,20	13,13692
20	100	15	10	14,38	14,16	18,90	13,73	15,62214
20	100	5	30	11,40	11,49	12,68	11,12	11,45893
20	100	10	30	12,02	12,00	15,91	11,67	12,65
20	100	15	30	14,84	14,85	19,23	14,10	15,80063
20	100	5	50	10,76	11,02	12,36	10,47	10,80188
20	100	10	50	12,61	12,88	17,13	12,12	13,18294
20	100	15	50	12,61	12,88	17,13	12,12	13,52028
40	80	5	10	22,75	22,73	23,83	22,71	22,97148
40	80	10	10	24,06	23,99	26,93	23,70	25,05625
40	80	15	10	24,68	24,79	23,15	24,50	23,96081
40	80	5	30	22,52	22,58	24,00	22,31	22,75032
40	80	10	30	24,19	24,06	27,64	24,10	25,26667
40	80	15	30	24,72	24,84	23,34	24,70	24,14049
40	80	5	50	22,88	22,92	24,03	22,81	23,04743
40	80	10	50	24,37	24,30	27,37	24,24	25,191
40	80	15	50	25,14	25,23	23,40	25,22	24,49356
40	60	5	10	26,99	26,95	29,27	27,02	27,47593
40	60	10	10	27,63	27,49	30,99	27,74	28,83375
40	60	15	10	27,63	27,48	30,30	27,58	28,8627
40	60	5	30	27,53	27,45	30,16	27,57	28,02097
40	60	10	30	27,66	27,74	30,82	27,17	28,57667
40	60	15	30	27,52	27,41	30,67	27,26	28,79732
40	60	5	50	27,34	27,33	29,71	27,28	27,70943
40	60	10	50	27,48	27,44	31,11	27,29	28,466
40	60	15	50	28,01	27,91	30,19	27,89	28,81311
40	100	5	10	10,67	10,70	11,72	10,29	10,86593
40	100	10	10	12,34	12,20	16,26	12,20	13,7225
40	100	15	10	14,38	14,16	18,90	13,73	16,41946
40	100	5	30	11,40	11,49	12,68	11,12	11,5771
40	100	10	30	12,02	12,00	15,91	11,67	13,19333

40	100	15	30	14,84	14,85	19,23	14,10	16,55341
40	100	5	50	10,76	11,02	12,36	10,47	10,93543
40	100	10	50	12,61	12,88	17,13	12,12	13,775
40	100	15	50	12,61	12,88	17,13	12,12	14,24222
60	80	5	10	22,75	22,73	23,83	22,71	23,05733
60	80	10	10	24,06	23,99	26,93	23,70	25,35211
60	80	15	10	24,68	24,79	23,15	24,50	23,80217
60	80	5	30	22,52	22,58	24,00	22,31	22,86059
60	80	10	30	24,19	24,06	27,64	24,10	25,60571
60	80	15	30	24,72	24,84	23,34	24,70	23,9964
60	80	5	50	22,88	22,92	24,03	22,81	23,125
60	80	10	50	24,37	24,30	27,37	24,24	25,47522
60	80	15	50	25,14	25,23	23,40	25,22	24,3113
60	60	5	10	26,99	26,95	29,27	27,02	27,65533
60	60	10	10	27,63	27,49	30,99	27,74	29,17421
60	60	15	10	27,63	27,48	30,30	27,58	29,14391
60	60	5	30	27,53	27,45	30,16	27,57	28,20971
60	60	10	30	27,66	27,74	30,82	27,17	28,89714
60	60	15	30	27,52	27,41	30,67	27,26	29,1344
60	60	5	50	27,34	27,33	29,71	27,28	27,86737
60	60	10	50	27,48	27,44	31,11	27,29	28,81087
60	60	15	50	28,01	27,91	30,19	27,89	29,04259
60	100	5	10	10,67	10,70	11,72	10,29	10,95133
60	100	10	10	12,34	12,20	16,26	12,20	14,12316
60	100	15	10	14,38	14,16	18,90	13,73	16,90478
60	100	5	30	11,40	11,49	12,68	11,12	11,67441
60	100	10	30	12,02	12,00	15,91	11,67	13,58143
60	100	15	30	14,84	14,85	19,23	14,10	17,0352
60	100	5	50	10,76	11,02	12,36	10,47	11,04789
60	100	10	50	12,61	12,88	17,13	12,12	14,21261
60	100	15	50	12,61	12,88	17,13	12,12	14,72352

H- Resultados das velocidades médias por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros em todo o eixo.

Occ bus	DOS	%bus	%hov	via bus eixo				pax
				total	carro	bus	hov	
20	80	5	10	22,25	22,21	25,06	22,15	22,55625
20	80	10	10	23,73	23,59	28,43	23,48	24,69
20	80	15	10	24,50	24,57	23,64	24,43	24,25107
20	80	5	30	21,78	21,82	24,55	21,55	21,99679

20	80	10	30	24,25	24,09	28,22	24,15	24,94
20	80	15	30	24,19	24,25	23,65	24,14	24,04
20	80	5	50	21,84	21,90	24,93	21,68	22,04656
20	80	10	50	24,39	24,41	28,65	24,10	24,97588
20	80	15	50	24,41	24,48	23,85	24,41	24,28361
20	60	5	10	27,14	27,12	29,90	26,87	27,42583
20	60	10	10	27,30	27,15	31,95	27,10	28,25
20	60	15	10	27,70	27,56	31,27	27,24	28,70679
20	60	5	30	27,00	26,97	30,42	26,91	27,31393
20	60	10	30	27,47	27,37	31,77	27,25	28,202
20	60	15	30	27,06	26,84	31,29	26,84	28,09156
20	60	5	50	27,22	27,33	30,33	27,03	27,42375
20	60	10	50	27,06	26,89	31,87	26,89	27,76882
20	60	15	50	26,78	26,57	30,96	26,57	27,6675
20	100	5	10	11,22	11,15	16,45	10,84	11,76083
20	100	10	10	12,29	12,13	18,44	11,45	13,48154
20	100	15	10	14,42	14,16	19,91	13,56	15,9225
20	100	5	30	10,98	11,00	16,50	10,59	11,41357
20	100	10	30	12,07	12,00	18,44	11,45	13,068
20	100	15	30	15,02	14,86	20,51	14,38	16,26906
20	100	5	50	11,23	11,36	16,83	10,90	11,58531
20	100	10	50	12,71	12,91	18,76	12,12	13,47765
20	100	15	50	13,54	13,68	19,40	12,84	14,64333
40	80	5	10	22,25	22,21	25,06	22,15	22,83444
40	80	10	10	23,73	23,59	28,43	23,48	25,39125
40	80	15	10	24,50	24,57	23,64	24,43	24,10243
40	80	5	30	21,78	21,82	24,55	21,55	22,24387
40	80	10	30	24,25	24,09	28,22	24,15	25,48667
40	80	15	30	24,19	24,25	23,65	24,14	23,95439
40	80	5	50	21,84	21,90	24,93	21,68	22,29371
40	80	10	50	24,39	24,41	28,65	24,10	25,527
40	80	15	50	24,41	24,48	23,85	24,41	24,19689
40	60	5	10	27,14	27,12	29,90	26,87	27,70074
40	60	10	10	27,30	27,15	31,95	27,10	28,94375
40	60	15	10	27,70	27,56	31,27	27,24	29,33027
40	60	5	30	27,00	26,97	30,42	26,91	27,61452
40	60	10	30	27,47	27,37	31,77	27,25	28,79667
40	60	15	30	27,06	26,84	31,29	26,84	28,79366
40	60	5	50	27,22	27,33	30,33	27,03	27,67286

40	60	10	50	27,06	26,89	31,87	26,89	28,384
40	60	15	50	26,78	26,57	30,96	26,57	28,326
40	100	5	10	11,22	11,15	16,45	10,84	12,28185
40	100	10	10	12,29	12,13	18,44	11,45	14,41125
40	100	15	10	14,42	14,16	19,91	13,56	16,89243
40	100	5	30	10,98	11,00	16,50	10,59	11,90581
40	100	10	30	12,07	12,00	18,44	11,45	13,96333
40	100	15	30	15,02	14,86	20,51	14,38	17,2
40	100	5	50	11,23	11,36	16,83	10,90	12,03486
40	100	10	50	12,71	12,91	18,76	12,12	14,27
40	100	15	50	13,54	13,68	19,40	12,84	15,59467
60	80	5	10	22,25	22,21	25,06	22,15	23,057
60	80	10	10	23,73	23,59	28,43	23,48	25,87105
60	80	15	10	24,50	24,57	23,64	24,43	24,01196
60	80	5	30	21,78	21,82	24,55	21,55	22,44735
60	80	10	30	24,25	24,09	28,22	24,15	25,87714
60	80	15	30	24,19	24,25	23,65	24,14	23,8996
60	80	5	50	21,84	21,90	24,93	21,68	22,50184
60	80	10	50	24,39	24,41	28,65	24,10	25,93435
60	80	15	50	24,41	24,48	23,85	24,41	24,13907
60	60	5	10	27,14	27,12	29,90	26,87	27,92067
60	60	10	10	27,30	27,15	31,95	27,10	29,41842
60	60	15	10	27,70	27,56	31,27	27,24	29,70978
60	60	5	30	27,00	26,97	30,42	26,91	27,86206
60	60	10	30	27,47	27,37	31,77	27,25	29,22143
60	60	15	30	27,06	26,84	31,29	26,84	29,243
60	60	5	50	27,22	27,33	30,33	27,03	27,88263
60	60	10	50	27,06	26,89	31,87	26,89	28,8387
60	60	15	50	26,78	26,57	30,96	26,57	28,765
60	100	5	10	11,22	11,15	16,45	10,84	12,69867
60	100	10	10	12,29	12,13	18,44	11,45	15,04737
60	100	15	10	14,42	14,16	19,91	13,56	17,48283
60	100	5	30	10,98	11,00	16,50	10,59	12,31118
60	100	10	30	12,07	12,00	18,44	11,45	14,60286
60	100	15	30	15,02	14,86	20,51	14,38	17,7958
60	100	5	50	11,23	11,36	16,83	10,90	12,41342
60	100	10	50	12,71	12,91	18,76	12,12	14,85565
60	100	15	50	13,54	13,68	19,40	12,84	16,22889

I- Resultados das velocidades médias por veículo e por pessoa para a solução de via reservada aos autocarros e VAO.

Occ bus	DOS	%bus	%hov	via hov centro				
				total	carro	bus	hov	pax
20	80	5	10	23,01	22,86	23,76	24,14	23,18583
20	80	10	10	24,68	24,49	27,16	25,46	25,25538
20	80	15	10	24,83	24,84	23,21	25,40	24,39607
20	80	5	30	24,45	24,29	24,61	24,82	24,55143
20	80	10	30	25,08	24,83	27,82	25,31	25,62
20	80	15	30	25,69	25,64	23,78	26,06	25,27438
20	80	5	50	24,70	24,54	24,51	24,85	24,73094
20	80	10	50	25,78	25,62	27,61	25,79	26,07118
20	80	15	50	26,20	26,27	24,18	26,31	25,76972
20	60	5	10	27,38	27,28	29,83	27,91	27,70375
20	60	10	10	27,86	27,70	31,04	28,20	28,54769
20	60	15	10	27,56	27,36	30,96	27,58	28,54857
20	60	5	30	28,13	28,01	29,51	28,35	28,31643
20	60	10	30	27,79	27,66	32,28	27,63	28,572
20	60	15	30	28,45	28,21	31,12	28,48	29,12969
20	60	5	50	28,13	27,95	29,84	28,25	28,31469
20	60	10	50	28,01	27,93	31,91	27,86	28,59118
20	60	15	50	27,89	27,55	31,03	27,85	28,58667
20	100	5	10	11,10	10,94	11,60	12,42	11,26917
20	100	10	10	13,04	12,79	15,34	14,30	13,61077
20	100	15	10	15,29	14,93	17,98	16,59	16,1475
20	100	5	30	12,79	12,18	13,67	14,09	13,15821
20	100	10	30	14,55	14,10	16,64	15,22	15,056
20	100	15	30	16,99	16,60	19,26	17,37	17,63688
20	100	5	50	13,51	13,32	12,62	13,70	13,49188
20	100	10	50	15,56	15,47	16,08	15,61	15,66
20	100	15	50	18,86	18,93	21,21	18,59	19,31111
40	80	5	10	23,01	22,86	23,76	24,14	23,24963
40	80	10	10	24,68	24,49	27,16	25,46	25,6125
40	80	15	10	24,83	24,84	23,21	25,40	24,10757
40	80	5	30	24,45	24,29	24,61	24,82	24,5571
40	80	10	30	25,08	24,83	27,82	25,31	25,98667
40	80	15	30	25,69	25,64	23,78	26,06	24,94634
40	80	5	50	24,70	24,54	24,51	24,85	24,712
40	80	10	50	25,78	25,62	27,61	25,79	26,302
40	80	15	50	26,20	26,27	24,18	26,31	25,45178

40	60	5	10	27,38	27,28	29,83	27,91	27,94
40	60	10	10	27,86	27,70	31,04	28,20	29,015
40	60	15	10	27,56	27,36	30,96	27,58	29,13514
40	60	5	30	28,13	28,01	29,51	28,35	28,43194
40	60	10	30	27,79	27,66	32,28	27,63	29,19
40	60	15	30	28,45	28,21	31,12	28,48	29,56659
40	60	5	50	28,13	27,95	29,84	28,25	28,44543
40	60	10	50	28,01	27,93	31,91	27,86	29,089
40	60	15	50	27,89	27,55	31,03	27,85	29,07533
40	100	5	10	11,10	10,94	11,60	12,42	11,30593
40	100	10	10	13,04	12,79	15,34	14,30	13,935
40	100	15	10	15,29	14,93	17,98	16,59	16,59324
40	100	5	30	12,79	12,18	13,67	14,09	13,20774
40	100	10	30	14,55	14,10	16,64	15,22	15,32
40	100	15	30	16,99	16,60	19,26	17,37	17,99317
40	100	5	50	13,51	13,32	12,62	13,70	13,41714
40	100	10	50	15,56	15,47	16,08	15,61	15,723
40	100	15	50	18,86	18,93	21,21	18,59	19,69089
60	80	5	10	23,01	22,86	23,76	24,14	23,30067
60	80	10	10	24,68	24,49	27,16	25,46	25,85684
60	80	15	10	24,83	24,84	23,21	25,40	23,93196
60	80	5	30	24,45	24,29	24,61	24,82	24,56176
60	80	10	30	25,08	24,83	27,82	25,31	26,24857
60	80	15	30	25,69	25,64	23,78	26,06	24,7364
60	80	5	50	24,70	24,54	24,51	24,85	24,69605
60	80	10	50	25,78	25,62	27,61	25,79	26,47261
60	80	15	50	26,20	26,27	24,18	26,31	25,23981
60	60	5	10	27,38	27,28	29,83	27,91	28,129
60	60	10	10	27,86	27,70	31,04	28,20	29,33474
60	60	15	10	27,56	27,36	30,96	27,58	29,49217
60	60	5	30	28,13	28,01	29,51	28,35	28,52706
60	60	10	30	27,79	27,66	32,28	27,63	29,63143
60	60	15	30	28,45	28,21	31,12	28,48	29,8462
60	60	5	50	28,13	27,95	29,84	28,25	28,55553
60	60	10	50	28,01	27,93	31,91	27,86	29,45696
60	60	15	50	27,89	27,55	31,03	27,85	29,40111
60	100	5	10	11,10	10,94	11,60	12,42	11,33533
60	100	10	10	13,04	12,79	15,34	14,30	14,15684
60	100	15	10	15,29	14,93	17,98	16,59	16,86457

60	100	5	30	12,79	12,18	13,67	14,09	13,24853
60	100	10	30	14,55	14,10	16,64	15,22	15,50857
60	100	15	30	16,99	16,60	19,26	17,37	18,2212
60	100	5	50	13,51	13,32	12,62	13,70	13,35421
60	100	10	50	15,56	15,47	16,08	15,61	15,76957
60	100	15	50	18,86	18,93	21,21	18,59	19,94407

J- Resultados dos desvios padrão dos tempos de percurso por autocarro

DOS	%bus	%hov	%erro	Sem via reservada	Via bus centro	via bus eixo	via hov centro	via hov eixo
80	5	10	12,95	2,62	4,57	4,74	6,15	3,72
80	10	10	15,73	2,86	3,31	3,49	3,43	2,76
80	15	10	19,59	2,50	1,14	2,04	3,6	3,15
80	5	30	15,04	5,40	3,1	5,37	2,81	1,26
80	10	30	16,84	3,33	2,99	3,74	3,62	4,79
80	15	30	20,38	4,03	1,93	1,63	2,51	2,64
80	5	50	14,74	6,06	4,31	4,25	4,04	3,41
80	10	50	18,35	4,14	2,13	3,44	2,62	3,39
80	15	50	21,26	1,39	0,84	1,58	2,8	2,59
60	5	10	18,39	4,66	5,03	1,66	4,61	3,45
60	10	10	16,72	2,39	2,11	2,09	1,82	2,35
60	15	10	20,14	0,62	1,45	0,52	0,81	0,79
60	5	30	13,99	4,10	1,03	3,90	4,01	2,21
60	10	30	17,38	1,44	1,43	2,08	2,72	2,99
60	15	30	18,88	1,02	1,80	1,27	1,06	1,28
60	5	50	18,39	2,55	4,66	3,87	2,78	2,81
60	10	50	16,72	2,29	1,40	1,76	1,79	4,68
60	15	50	19,40	1,53	1,35	1,92	1,00	0,86
100	5	10	21,63	24,53	48,47	7,19	33,88	7,21
100	10	10	19,76	27,26	48,07	4,38	61,54	21,49
100	15	10	23,57	11,26	12,44	14,52	32,32	13,90
100	5	30	19,97	27,27	92,28	6,50	38,93	34,45
100	10	30	25,30	20,25	49,34	4,90	23,32	8,63
100	15	30	23,45	12,03	24,80	9,61	14,98	32,43
100	5	50	22,62	56,54	41,04	6,13	8,65	31,77
100	10	50	20,97	19,01	23,89	5,99	24,75	16,56
100	15	50	22,38	15,03	23,89	7,40	7,65	22,88

K- Tempos dos planos semaforicos.

	Controlador	FASE	5% BUS		10% BUS		15% BUS	
			Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Grau de saturação 60 %	1	C	18	34	58	74	14	28
		A	38	90	78	33	32	91
		B	95	13	38	53	96	9
	2	C	17	43	43	65	2	26
		A	47	94	69	20	30	80
		B	99	12	25	38	85	97
	3	C	26	54	33	57	6	28
		A	58	3	61	10	32	86
		B	8	21	15	28	91	1
	4	C	42	58	39	53	7	19
		A	62	17	57	17	23	85
		B	22	37	22	34	90	2
Grau de Saturação 80%	1	C	98	16	62	80	99	19
		A	20	68	84	36	23	71
		B	73	93	41	57	76	94
	2	C	92	21	44	71	94	23
		A	25	68	75	20	27	69
		B	73	87	25	39	74	89
	3	C	98	27	34	61	92	22
		A	31	75	65	12	26	68
		B	80	93	17	29	73	87
	4	C	12	31	35	52	99	19
		A	35	85	56	8	23	72
		B	90	7	13	30	77	94
Grau de Saturação 100%	1	C	15	35	89	7	72	90
		A	39	84	11	60	94	45
		B	89	10	65	84	50	67
	2	C	84	15	78	7	63	91
		A	19	60	11	54	95	39
		B	65	79	59	73	44	58
	3	C	90	21	67	96	79	7
		A	25	66	0	43	11	56
		B	71	85	48	62	61	74
	4	C	17	41	75	93	89	6
		A	45	89	97	48	10	62
		B	94	12	53	70	67	84