



Sara Alexandra Carapinha Simões da Cruz

AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS SISTEMAS SEMAFÓRICOS DE CONTAGEM REGRESSIVA NO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES

EVALUATION OF THE EFFECT OF SIGNAL COUNTDOWN DISPLAYS ON USERS
BEHAVIOUR

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva e pelo Professor Doutor Álvaro Jorge Maia Seco

Coimbra, 7 de Setembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Sara Alexandra Carapinha Simões da Cruz

AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS SISTEMAS SEMAFÓRICOS DE CONTAGEM REGRESSIVA NO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES

EVALUATION OF THE EFFECT OF SIGNAL COUNTDOWN DISPLAYS ON USERS BEHAVIOUR

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva e pelo Professor Doutor Álvaro Jorge Maia Seco

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 7 de Setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação assinala o fim de mais uma etapa da minha vida. Durante este percurso, muitas foram as pessoas que me marcaram, incentivaram e ajudaram a desenvolver-me pessoal e profissionalmente, e a quem não posso deixar de manifestar o meu profundo reconhecimento.

À Professora Ana Bastos e ao Professor Álvaro Seco pela orientação, ajuda e disponibilidade concedida, mesmo quando o tempo que tinham era escasso. As suas intervenções construtivas foram essenciais para o resultado final.

Aos meus pais e irmã pelo apoio incondicional ao longo da vida. Um obrigado especial à minha mãe, o meu pilar, por toda a ajuda e horas perdidas durante o meu percurso académico, para que eu fosse uma aluna e pessoa melhor.

Ao meu namorado, Francisco Cruz, que me acompanhou nos últimos seis anos, nos bons e maus momentos, e que sempre foi um exemplo de força e perseverança.

À minha melhor amiga, Mariana Girão, que caminha comigo, lado a lado, desde os nossos cinco anos. Um obrigado pelo apoio dado ao longo da vida e por ter sido uma peça fundamental na realização da componente prática desta dissertação.

A todos os que, de alguma forma, me ajudaram na realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

À memória do meu Avô e da minha Tia
que me deixaram durante este projeto.

RESUMO

As interseções assumem um papel essencial na eficiência do funcionamento de um sistema urbano rodoviário. Com o atual crescimento do volume de tráfego, torna-se fundamental não só aumentar os níveis de segurança, diminuindo os pontos de conflito entre correntes conflituantes, mas também melhorar as condições de escoamento. Por este motivo, cada vez mais a sinalização luminosa e o controlo do tráfego são estudados e aperfeiçoados. Com o intuito de otimizar o desempenho das interseções, diminuindo os tempos perdidos entre fases e consequentemente, aumentando os níveis de capacidade, surgiram no mercado os sistemas semafóricos com contagem regressiva. Estes podem ser utilizados durante o tempo de verde (GSCD) e/ou o tempo de vermelho (RSCD), podendo ser destinados a veículos e/ou peões, consoante o objetivo pretendido.

Nesta linha de ação, o presente trabalho centra-se na avaliação do impacto que o uso dos sistemas semafóricos de contagem regressiva assume no desempenho da interseção. Numa primeira fase, foi efetuado um levantamento bibliográfico, focado em estudos que englobam os diferentes tipos de utilização destes sistemas, isto é, contagem regressiva associada ao tempo de verde e/ou ao de vermelho, e destinada a veículos e/ou peões. Posteriormente, realizou-se o caso prático, optando-se por condicionar o estudo apenas aos sistemas semafóricos com contagem regressiva no tempo de vermelho, uma vez que os sistemas com contagem no tempo de verde são escassos em Portugal, não existindo nenhum exemplo na cidade de Coimbra. O desenvolvimento do trabalho baseia-se assim em recolhas de campo executadas em interseções semaforizadas com e sem este tipo de sistema, de forma a avaliar as alterações comportamentais associadas aos condutores. A abordagem utilizada centra-se na comparação dos resultados obtidos ao nível de três indicadores de desempenho: tempo perdido no arranque, débito de saturação e capacidade das vias.

Do trabalho realizado foi possível concluir que o tempo perdido no arranque é inferior nas interseções com sistemas semafóricos de contagem regressiva. Além disso, verificou-se uma inconsistência nos resultados ao nível do débito de saturação, correspondendo ao expectável já que este indicador depende das características da via e do tráfego, e houve o cuidado de selecionar interseções com características semelhantes. Constatou-se também que não seria possível comparar capacidades associadas a interseções distintas, sendo necessário recorrer a uma simulação para que fosse possível retirar algumas conclusões relativamente a este indicador. Verificou-se assim que o aumento do tempo perdido no arranque traduziu-se num ligeiro aumento da capacidade das interseções quando instalados sistemas semafóricos com

contagem regressiva. O mesmo trabalho permitiu também concluir que a duração do ciclo e a inclinação longitudinal da via influencia o tempo perdido no arranque, tendendo o tempo perdido a aumentar quando os dois parâmetros referidos também aumentam.

Palavras-chave: Sistema Semafórico, Contagem Regressiva, Tempo Perdido no Arranque, Débito de Saturação, Capacidade.

ABSTRACT

Intersections play an essential role in the efficient operation of an urban road system. With the current increase in traffic volume, it is essential not only to increase safety levels, reducing the points of conflict between conflicting flows, but also to improve the flow conditions. For this reason, traffic lights and traffic control are being increasingly studied and improved. In order to optimize the performance of the intersections, decreasing the time lost between phases and consequently, increasing capacity levels, the signals countdown displays have appeared on the market. These can be used during green phase (GSCD) and/or red phase (RSCD), and they can be used for vehicles and/or pedestrians, depending on the intended purpose.

Therefore, the present work focuses on the evaluation of the impact that the use of the signal countdown displays takes on the performance of the intersection. Firstly, it was carried out a bibliographic survey, focused on studies that cover the different types of use of these systems, i.e., countdown associated with green and/or red phases, and aimed to vehicles and/or pedestrians. Subsequently, it was made the case study, where it was decided to limit the study to the signal countdown displays during the red phase, since the systems with countdown during the green phase are scarce in Portugal, and there are no examples in Coimbra. The development of the work is based on data collections in the field, carried out at signalized intersections with and without this type of system, in order to evaluate the behavioral changes in drivers. The approach used focuses on the comparison of the results obtained at the level of three performance indicators: start-up lost time, saturation flow and capacity.

From the work carried out, it was possible to conclude that the start-up lost time is lower at the intersections with signal countdown displays. In addition, there was an inconsistency in the results of saturation flow, corresponding to the expected since this indicator depends on the characteristics of the road and traffic, and it was selected intersections with similar characteristics. It was also found that it would not be possible to compare capacities associated with distinct intersections, so it was necessary to use a simulation to draw some conclusions on this indicator. It was found that the increase in the time lost at start-up resulted in a slight increase in the capacity of the intersections when installed signal countdown displays. The same work also allowed us to conclude that the cycle length and inclination of the traffic lanes influence the start-up lost time. Start-up lost time shows a trend to increase when the two mentioned parameters also increase.

Keywords: Traffic Light System, Countdown Timer, Start-up Lost Time, Saturation Flow, Capacity.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.2 Objetivos da Dissertação.....	2
1.3 Metodologia de Abordagem	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2 SISTEMAS LUMINOSOS COM CONTAGEM REGRESSIVA	5
2.1 Introdução	5
2.2 Conceitos.....	5
2.2.1 Fase e Ciclo.....	5
2.2.2 Sistema Semafórico de Contagem Regressiva.....	7
2.2.3 Red-running e Red-stopping	9
2.2.4 Headway	9
2.2.5 Débito de Saturação	10
2.2.6 Tempo Perdido no Arranque.....	12
2.2.7 Capacidade.....	13
2.2.8 Zona de Dilema.....	14
2.3 Influência da Contagem Regressiva no Comportamento do Condutor	15
2.4 Influência da Contagem Regressiva no Comportamento do Peão.....	22
2.5 Metodologias de Cálculo do Débito de Saturação e Tempo Perdido no Arranque	25
2.6 Considerações Finais	29
3 METODOLOGIA DE ABORDAGEM.....	32
3.1 Introdução	32
3.2 Indicadores de Desempenho	32
3.3 Método Australiano – Medição do Tempo Perdido e Débito de Saturação	32
3.4 Seleção dos Locais de Estudo	35
3.4.1 Portagem (Ponte Santa Clara – Estação Nova) e Casa do Sal (Circular externa – Estação Velha).....	36
3.4.2 Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues) e Casa do Sal (Rotunda Casa do Sal - Estrada de Coselhas)	37
3.4.3 Cruzamentos de Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas) e do Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)	38
3.4.4 Portagem (Estação Nova – Av. Emídio Navarro) e Casa do Sal (Circular externa – Rotunda da Casa do Sal).....	39

3.4.5 Celas (Alameda Calouste Gulbenkian - Cruz de Celas) e Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães – Casa do Sal).....	40
3.4.6 Indicadores dos Sistemas Semafóricos Analisados	40
3.5 Períodos da Recolha de Dados.....	41
3.6 Sessões de Recolha de Dados	42
4 ANÁLISE DE RESULTADOS	44
4.1 Introdução	44
4.2 Tempo Perdido no Arranque.....	44
4.3 Débito de Saturação	47
4.4 Capacidade.....	48
4.5 Análise da Relação entre o Ciclo e o Tempo Perdido no Arranque	51
4.6 Relação Inclinação – Tempo Perdido no Arranque	52
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	55
5.1 Conclusões.....	55
5.2 Trabalhos Futuros	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO A	A-1
ANEXO B	B-1
ANEXO C	C-1
ANEXO D	D-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de um plano de regulação aplicado a um entroncamento.....	6
Figura 2.2 – Diagrama de fases de um exemplo de uma interseção.....	7
Figura 2.3 - Semáforo de contagem regressiva destinado ao condutor.....	8
Figura 2.4 - Semáforo de contagem regressiva destinado ao peão.....	8
Figura 2.5 – Headway entre veículos.....	10
Figura 2.6 – Variação da taxa de descarga numa fila (Seco et al., 2008- B).....	12
Figura 2.7 – Relação entre a duração do ciclo, a capacidade e a demora (Seco et al.,2008- B)	14
Figura 2.8 – Esquematização da zona de dilema (Liu e Herman, 1996).....	14
Figura 3.1 – Par A: Fila de espera no semáforo da (a) Portagem – sentido Ponte Santa Clara- Estação Nova; (b) Casa do Sal – sentido Circular externa- Estação Velha.....	37
Figura 3.2 - Par B: Fila de espera no semáforo do (a) Arnado; (b) Casa do Sal – sentido Rotunda da Casa do Sal- Estrada de Coselhas.....	38
Figura 3.3 - Par C: Fila de espera no semáforo de (a) Celas – sentido Rua Dr. Augusto Rocha- Cruz de Celas; (b) Cidral.....	39
Figura 3.4 - Par D: Fila de espera no semáforo da (a) Portagem – sentido Estação Nova- Av. Emídio Navarro; (b) Casa do Sal – sentido Circular externa- Rotunda da Casa do Sal	39
Figura 3.5 - Par E: Fila de espera no semáforo de (a) Celas – sentido Alameda Calouste Gulbenkian- Cruz de Celas; (b) Av. Fernão Magalhães – sentido Av. Fernão Magalhães- Casa do Sal.....	40
Figura 4.1 – Cruzamento do Arnado.....	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Fatores que influenciam o débito de saturação (Stokes, 1989, apud Luna, 2003)	11
Quadro 2.2 - Tempo perdido no arranque, em segundos (Chiou e Chang, 2010)	16
Quadro 2.3 – Avanço ao sinal vermelho, em percentagem (Chiou e Chang, 2010)	17
Quadro 2.4 – Probabilidade de cruzar a interseção, em percentagem (Chiou e Chang, 2010)	18
Quadro 2.5 - Número médio de red-running, por dia (Lum e Halim, 2006)	19
Quadro 2.6 – Número médio de red-stopping, por dia (Lum e Halim, 2006)	19
Quadro 2.7 – Headway, tempos perdidos e capacidade, para cada cidade (Spigolon, 2010)	21
Quadro 2.8 - Número de acidentes no ano anterior e posterior à instalação dos semáforos de contagem regressiva (Spigolon, 2010)	22
Quadro 2.9 – Definição do início do período saturado para cada metodologia	28
Quadro 3.1 – Exemplo de medição do débito de saturação (Seco et al., 2008- B)	34
Quadro 3.2 – Sistemas semafóricos analisados	36
Quadro 3.3 – Indicadores dos sistemas semafóricos analisados	41
Quadro 3.4 – Distribuição dos postos de recolha de dados	43
Quadro 4.1 – Parâmetros assumidos no cálculo de cada capacidade (real e simulada), para cada interseção	49
Quadro A.1 - Resumo dos estudos efetuados aos sistemas semafóricos de contagem regressiva para veículos	A-1
Quadro B.1 - Resumo dos estudos efetuados aos sistemas semafóricos de contagem regressiva para peões	B-1
Quadro C.1 – Exemplo de registo das contagens realizadas	C-1

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Tempo perdido no arranque obtido para cada interseção.....	45
Gráfico 4.2 – Débito de saturação obtido para cada interseção.....	47
Gráfico 4.3 – Capacidade real e simulada obtidas para cada interseção.....	50
Gráfico 4.4 – Relação entre a duração do ciclo e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos com contagem regressiva.....	51
Gráfico 4.5 - Relação entre a duração do ciclo e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos convencionais.....	51
Gráfico 4.6 - Relação entre a inclinação e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos com contagem regressiva.....	53
Gráfico 4.7 - Relação entre a inclinação e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos convencionais.....	53

SIMBOLOGIA

C – Duração do ciclo

g – Tempo de verde útil

G – Tempo de verde real

h – Headway

h – Hora

Km – Quilómetro

Q – Capacidade

s – Débito de saturação

seg – Segundos

t_{ap} – Tempo adicional de passagem

t_{pa} – Tempo perdido no arranque

t_{pf} – Tempo perdido no final da fase

t_{pi} – Tempo perdido no início da fase

t_{pt} – Tempo perdido total

uvl – Unidade de veículo ligeiro

ABREVIATURAS

CCDR-N – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte

GSCD – Green Signal Countdown Display

RSCD – Red Signal Countdown Display

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

A eficiência de um sistema urbano rodoviário depende fortemente da eficácia do funcionamento das interseções, uma vez que é nesses elementos infraestruturais que maioritariamente se tendem a concentrar as demoras (Sharma, 2011). No entanto, em presença de grandes volumes de tráfego, as interseções onde vigoram medidas de regulação das prioridades relativas das diferentes correntes de tráfego, deixam de ser funcionais. O uso da sinalização luminosa aparece, portanto, como uma solução para este problema, uma vez que leva a uma redução substancial dos pontos de conflito e o seu custo de instalação e manutenção é relativamente baixo (Seco *et al.*, 2008- B).

É também sabido que para garantir o bom funcionamento da rede viária é necessário garantir níveis de capacidade superiores aos da procura de tráfego. Contudo, segundo Haperen (2015), a procura de tráfego tem vindo a aumentar exponencialmente nas últimas décadas e, particularmente nos centros urbanos, a referida sinalização luminosa convencional pode não conseguir responder a esse incremento da procura. Embora os sistemas semafóricos convencionais desempenhem um papel importante no controlo da fluidez do tráfego, estes podem impor uma significativa perda de tempo e, por inerência a redução da capacidade da interseção. Nesta linha de ação, foram desenvolvidos equipamentos capazes de informar os condutores e os peões da aproximação de uma mudança de fase. Um desses equipamentos é o semáforo com sistema de contagem regressiva, o qual pode ser usado quer no tempo de verde quer no tempo de vermelho, podendo ser destinado a veículos e/ou a peões.

Os sistemas semafóricos de contagem regressiva são considerados como um dos equipamentos mais promissores para aumentar a eficiência da interseção ao nível da segurança e conforto, bem como ao nível da capacidade e fluidez do tráfego oferecidas. No entanto, atualmente decorre um debate entre a comunidade científica a fim de se perceber se estes sistemas asseguram efetivamente um aumento do nível de segurança (Papaioannou, 2014). A segurança é um fator fundamental a ter em conta no estudo dos sistemas semafóricos de contagem regressiva, uma vez que um dos objetivos destes sistemas é precisamente prevenir os acidentes de viação, influenciando o comportamento tanto dos condutores como dos peões.

De notar que é essencial ter em consideração não só o condutor, mas também o peão, sendo este o elemento mais vulnerável do sistema de circulação rodoviária. Até recentemente, o peão era habitualmente relegado para um segundo nível de prioridade comparativamente aos outros modos, designadamente aos veículos motorizados. Contudo, atualmente é notória uma alteração deste paradigma sendo cada vez mais comum encontrar, em muitos países europeus, boas práticas na definição de áreas pedonais (Keegan e O'Mahony, 2003).

Nesta linha de ação, a presente dissertação expõe alguns estudos, centrados na avaliação da eficácia deste tipo de sistemas semafóricos e do seu impacto no comportamento dos condutores e dos peões. O caso prático dá particular destaque aos sistemas semafóricos com contagem regressiva no tempo de vermelho e ao seu efeito no comportamento dos condutores.

1.2 Objetivos da Dissertação

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o efeito dos sistemas semafóricos de contagem regressiva, mais especificamente os que fornecem a informação da contagem regressiva no tempo de vermelho (RSCD), comparando-os com sistemas semafóricos convencionais, e assim analisar o seu impacto no comportamento dos condutores.

Complementarmente, constituem objetivos desta dissertação:

- Revisão bibliográfica centrada em estudos relativos à influência dos sistemas semafóricos de contagem regressiva no comportamento não só dos condutores, mas também dos peões;
- Análise e comparação dos resultados obtidos, com o intuito de verificar se os sistemas semafóricos com contagem regressiva são, efetivamente, mais vantajosos quando comparados com os semáforos convencionais, ao nível dos três indicadores de desempenho em estudo;
- Análise de regressão com o intuito de correlacionar os resultados obtidos em termos do tempo perdido no arranque, com a duração do ciclo e com a inclinação longitudinal da via.

1.3 Metodologia de Abordagem

O âmbito da presente dissertação passa pela avaliação do efeito dos sistemas semafóricos de contagem regressiva no tempo de vermelho (RSCD – *Red Signal Countdown Display*) no comportamento dos utilizadores. Optou-se apenas pelo estudo dos RSCD uma vez que em Portugal existe um número muito limitado de sistemas semafóricos com contagem regressiva no tempo de verde (GSCD – *Green Signal Countdown Display*), não existindo qualquer exemplo na cidade de Coimbra. Tendo consciência da existência de inúmeros indicadores a ter em conta no desempenho de uma interseção semaforizada, por motivos de limitação de tempo,

o presente trabalho foca-se apenas no estudo das interseções ao nível do tempo perdido no arranque, débito de saturação e níveis de capacidade oferecidos pela interseção.

Dadas as limitações da aplicação dos diferentes métodos existentes para medição dos indicadores de desempenho, optou-se por utilizar o Método Australiano por se tratar de um método versátil ao admitir tempos de verde variáveis, e por possibilitar a obtenção de outros parâmetros importantes no desempenho de uma interseção regulada por sistemas semafóricos.

Assim sendo, numa primeira fase, foi necessário proceder à seleção dos locais em estudo, optando-se por condicionar a mesma a cinco pares de interseções, sendo cada par constituído por uma interseção equipada com sistema semafórico de contagem regressiva e outra com sistema semafórico convencional. É, igualmente, de salientar que cada par apresenta características semelhantes em termos de geometria, procura de tráfego e movimento direcional associados à corrente de tráfego, de forma a ser possível a comparação entre as interseções constituintes de cada um deles. Contudo, não sendo, de todo, correto comparar capacidades associadas a duas interseções distintas, uma vez que possuem planos de temporização distintos, optou-se por utilizar um processo diferente do usado nos restantes indicadores de desempenho. Assim, para cada uma das dez interseções foi calculada a capacidade real da interseção e uma capacidade simulada, determinada em função do tempo perdido no arranque e do tempo adicional de passagem da interseção que com ela faz par. Desta forma, foi possível a comparação entre ambas as capacidades.

Posteriormente, procedeu-se à recolha de dados e ao cálculo dos três indicadores de desempenho, tornando-se finalmente possível comparar e analisar os valores obtidos e retirar conclusões relativamente ao desempenho dos sistemas semafóricos com contagem regressiva.

Por fim, de modo a complementar a presente dissertação, realizou-se uma análise aos efeitos que a duração do ciclo e a inclinação longitudinal da via têm sobre o tempo perdido no arranque.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos conforme a seguir apresentados:

No primeiro capítulo é feito o enquadramento do tema com alguns aspetos gerais relativos aos sistemas semafóricos de contagem regressiva e são também apresentados os principais objetivos da dissertação.

O segundo capítulo é fundamental para uma melhor compreensão do desenvolvimento do trabalho. Começa-se por fazer uma abordagem aos conceitos teóricos referentes não só a

sistemas semafóricos convencionais, mas também a sistemas equipados de contagem regressiva e a alguns indicadores de desempenho que caracterizam o funcionamento de um cruzamento. Posteriormente, são expostos alguns estudos relativos à influência dos sistemas semafóricos com contagem regressiva no comportamento dos condutores e dos peões. Por fim, são apresentadas diversas metodologias de cálculo dos indicadores de desempenho a serem estudados nos capítulos seguintes.

No terceiro capítulo começa-se por identificar os três indicadores de desempenho em estudo e por apresentar a metodologia adotada para o cálculo dos mesmos. Posteriormente, são apresentados os locais de estudo selecionados e estabelecidos os pares de interseções com características semelhantes. São revelados ainda os períodos de recolha de dados, bem como o dimensionamento dos recursos humanos.

O quarto capítulo consiste na análise dos dados recolhidos e na apresentação dos resultados obtidos pela utilização do método selecionado. Com base em representações gráficas, será feita uma comparação de resultados não só entre pares de interseções, mas também entre interseções com características e geometrias semelhantes. No mesmo capítulo é também analisada a influência que a duração do ciclo e a inclinação longitudinal das vias têm no tempo perdido no arranque.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões com a apreciação do sistema semafórico com contagem regressiva. Para finalizar, propõem-se alguns estudos que poderão ser desenvolvidos no futuro.

2 SISTEMAS LUMINOSOS COM CONTAGEM REGRESSIVA

2.1 Introdução

Atualmente, os sistemas semafóricos de contagem regressiva encontram-se pouco desenvolvidos em Portugal, existindo poucos estudos efetuados sobre o seu efeito nos utilizadores do sistema de circulação rodoviária. Assim sendo, o presente capítulo baseia-se numa recolha alargada de bibliografia estrangeira, centrada em estudos relativos à influência dos sistemas semafóricos de contagem regressiva não só no comportamento dos condutores, mas também no dos peões. Atendendo a que esses estudos nem sempre apontam para resultados consensuais, este capítulo apresenta uma compilação dos mesmos, complementada por uma breve contextualização teórica.

Por fim, são expostas diversas metodologias de cálculo dos indicadores de desempenho a serem estudados nos capítulos seguintes.

2.2 Conceitos

2.2.1 Fase e Ciclo

O termo fase, aplicado a sinais luminosos, é utilizado para designar o tempo durante o qual todos os sinais luminosos mantêm o mesmo estado. Isto é, uma fase representa uma fração de tempo durante a qual pelo menos uma das correntes de tráfego está em movimento, estando os restantes fluxos interrompidos. Uma fase tem início quando uma corrente de tráfego passa a ter permissão para avançar e termina quando pelo menos uma corrente de tráfego perde esse direito (Seco *et al.*, 2008- B).

Para uma melhor compreensão da definição de fase, a Figura 2.1 apresenta um exemplo de um plano de regulação aplicável a uma interseção, onde se podem observar as diferentes fases que o constituem.

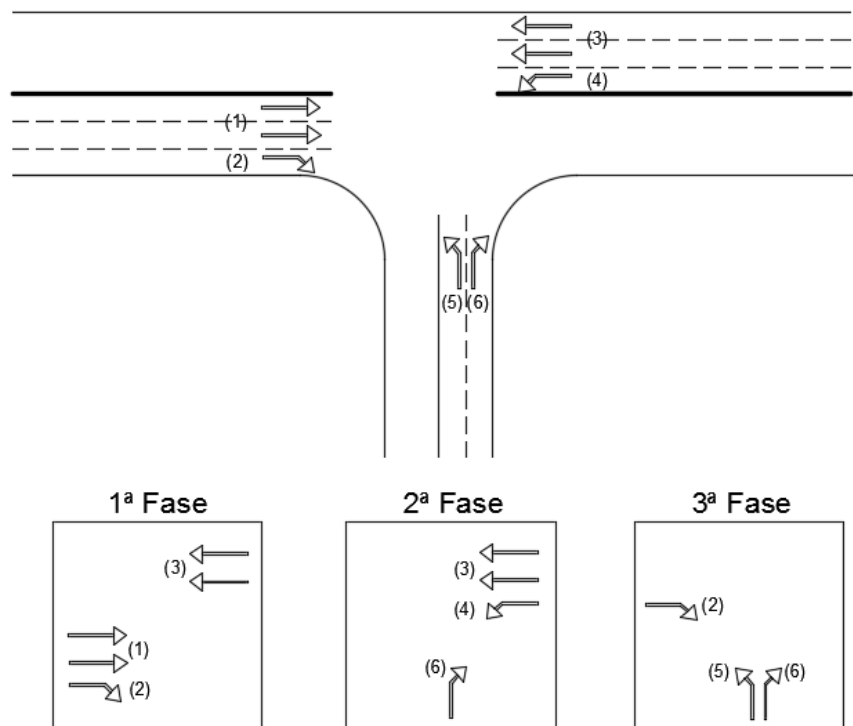


Figura 2.1 - Exemplo de um plano de regulação aplicado a um entroncamento

Seco *et al.* (2008- B) referem também que entre o fim de uma fase e o início da fase seguinte, isto é, a separar o fim de um tempo de verde do início do verde seguinte, terá de ocorrer um intervalo de tempo de transição imposto por razões de segurança, sendo este período de transição constituído pelos tempos de amarelo e de limpeza. A Figura 2.2 apresenta o diagrama de fases do exemplo da interseção apresentada na Figura 2.1, sendo possível observar este período de transição entre os tempos de verde.

Ao intervalo de tempo no qual se repete a programação chama-se ciclo (Seco *et al.*, 2008- B). Na Figura 2.2 é possível observar que um ciclo compreende o tempo total em que decorre a sequência completa de uma sinalização numa interseção. Assim que termina um ciclo, inicia outro, começando novamente o tempo de verde para as correntes de tráfego da 1ª fase.

Habitualmente, os valores de ciclo admissíveis estão compreendidos entre 30 e 120 segundos. É importante a existência de um limite mínimo para que a procura da interseção não exceda a sua capacidade, ou seja, para que esta não fique saturada. Já o limite máximo imposto para um ciclo tem como intuito evitar os ciclos muito longos que originam demoras significativas e, por inerência, incentivam à desobediência ao sinal vermelho por parte dos veículos e dos peões.

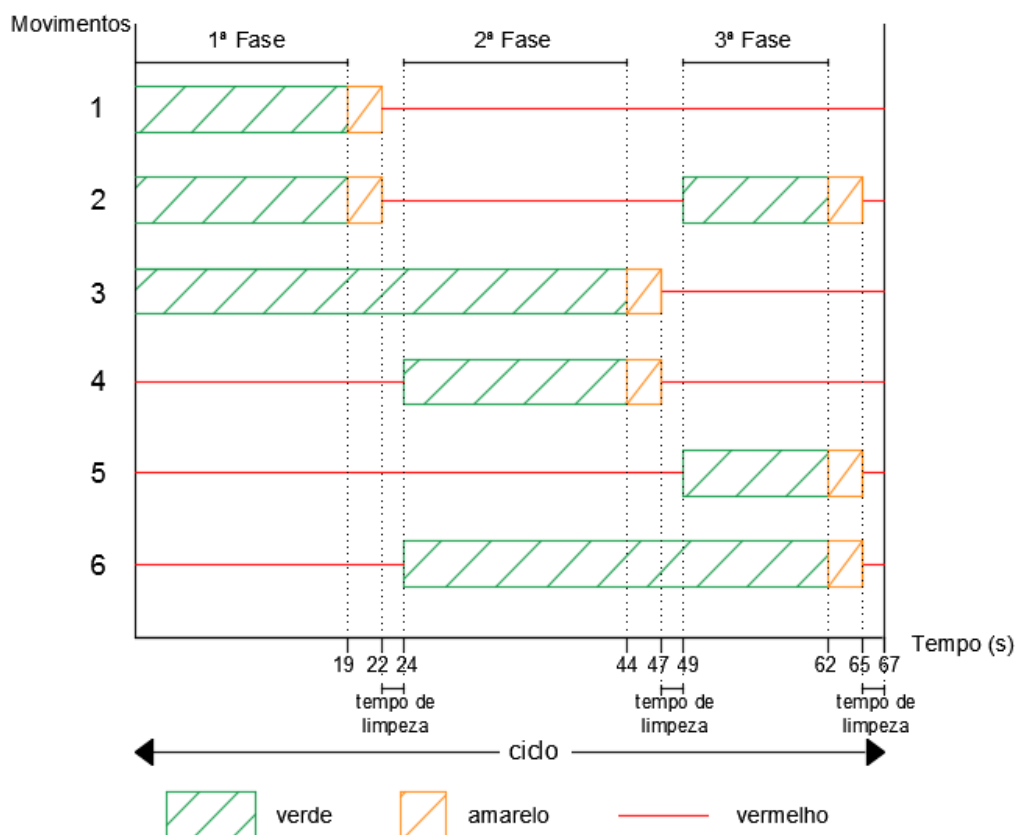


Figura 2.2 – Diagrama de fases de um exemplo de uma interseção

2.2.2 Sistema Semafórico de Contagem Regressiva

Um sistema semafórico de contagem regressiva é um equipamento que funciona integrado com o semáforo e tem como função informar o condutor e o peão do tempo restante de determinada fase do ciclo, exibindo uma contagem regressiva. Este sistema surgiu baseando-se na dedução lógica de que, se um condutor e um peão têm uma informação avançada, irão tomar melhores decisões mais facilmente (Lum e Halim, 2006, *apud* Wei *et al.*, 2010).

Os semáforos de contagem regressiva dividem-se em dois grupos consoante o alvo a que se destinam, isto é, se se aplicam aos veículos ou aos peões.

Segundo Chiou e Chang (2010), o temporizador destinado aos veículos tem como objetivo indicar o tempo restante numa determinada fase, seja de vermelho ou de verde. Assim, o temporizador é discriminado de acordo com o período do ciclo em que ele é empregue. Quando utilizado durante o verde denomina-se *Green Signal Countdown Display* (GSCD) e quando utilizado durante o vermelho designa-se *Red Signal Countdown Display* (RSCD). Na Figura

2.3 está apresentado um exemplo de semáforo de contagem regressiva no tempo de vermelho (a) e no tempo de verde (b), destinado aos veículos.

Por sua vez, os semáforos de contagem regressiva destinados aos peões surgiram com o intuito de reduzir o número de atravessamentos feitos fora do tempo de verde, aumentando assim a sua segurança (Wanty e Wilkie, 2010). A Figura 2.4 apresenta um exemplo de um semáforo com contagem regressiva para peões durante o tempo de vermelho (a) e o tempo de verde (b).



Figura 2.3 - Semáforo de contagem regressiva destinado ao condutor
(a) RSCD; (b) GSCD



Figura 2.4 - Semáforo de contagem regressiva destinado ao peão
(a) RSCD; (b) GSCD

Existem vários tipos de semáforos de contagem regressiva aplicados ao peão, sendo os principais e mais utilizados os seguintes:

- Dispositivo que apresenta a contagem regressiva durante o tempo de vermelho, isto é, indica o tempo de espera restante para o peão poder iniciar o atravessamento da via. Este tipo de temporizador foi estudado por Keegan e O'Mahony (2003);
- Dispositivo que apresenta a contagem regressiva durante o tempo de verde, ou seja, indica o tempo restante que o peão possui para terminar o atravessamento da via, concluindo a contagem regressiva antes do início do tempo de limpeza. Este tipo de temporizador foi estudado por Huang e Zegeer (2000);
- Dispositivo que apresenta a contagem regressiva durante o tempo de limpeza, isto é, indica o tempo restante que o peão possui para terminar o atravessamento da via, concluindo a contagem regressiva antes do início do tempo de vermelho. Este tipo de temporizador foi estudado por Botha *et al.* (2002);
- Dispositivo que apresenta a contagem regressiva durante o tempo de verde até ao final do tempo de limpeza, ou seja, indica o tempo restante que o peão possui para terminar o atravessamento da via, concluindo a contagem regressiva antes do início do tempo de vermelho.

Em Portugal conta-se já com diversas aplicações deste tipo, sendo os sistemas que apresentam contagem regressiva durante o tempo de vermelho e os que apresentam contagem regressiva

durante o tempo de vermelho e os que apresentam contagem regressiva durante o tempo de verde até o início do tempo de limpeza, os mais comuns.

2.2.3 Red-running e Red-stopping

Apesar de ter surgido com o objetivo de auxiliar o condutor na sua tomada de decisões, o temporizador pode influenciar de forma diferenciada o seu comportamento. O *red-running* e *red-stopping* são variáveis de tráfego geralmente analisadas durante pesquisas acerca dos temporizadores.

O *red-running* é um dos comportamentos impróprios efetuado pelos condutores, quando estes se encontram perante um sistema semafórico. Entende-se por *red-running* o conjunto de todos os condutores que passam a linha de paragem e entram na interseção depois do início do tempo de vermelho, ou seja, são os veículos que avançam perante o sinal vermelho (Kwan, 2008). A desobediência ao sinal vermelho pode acontecer por diversas razões, mas normalmente ocorre quando alguns condutores durante o tempo de amarelo, embora estejam a uma determinada distância da linha de paragem, optam por acelerar e cruzar a interseção, em vez de reduzir a velocidade e parar.

Pelo contrário, o *red-stopping* é o conjunto de todos os veículos que param antes da linha de paragem, assim que se inicia o tempo de amarelo. Portanto, o *red-stopping* contabiliza todos os veículos que preferem parar em vez de entrar na interseção durante o tempo crítico, que tem início no final do tempo de verde, até aos três primeiros segundos do tempo de vermelho. Num sistema semafórico de contagem regressiva com GSCD, este fenómeno é mais comum pois os condutores têm a informação do tempo de verde restante que possuem para atravessar a interseção (Lum e Halim, 2006) e, ao aperceberem-se do final do tempo de verde, muitas vezes optam por diminuir a velocidade e parar, em vez de cruzar a interseção. Num semáforo convencional, o *red-stopping* ocorre quando inicia o tempo de amarelo e o condutor opta por parar.

2.2.4 Headway

Entende-se por *headway* o intervalo de tempo (em segundos) entre dois veículos sucessivos, tomando como referência um ponto em comum dos veículos, durante a dissipação de uma fila numa interseção semaforizada, sendo habitualmente expresso em segundos. No caso do primeiro veículo da fila, que não tem nenhum outro automóvel na sua frente, o *headway* é medido como o tempo decorrido desde o início do tempo de verde até ao momento em que o ponto de referência do veículo cruza a linha de referência da via (Silva e Jacques, 2002). Adotando como ponto de referência a dianteira do veículo, o conceito de *headway* encontra-se esquematizado na Figura 2.5 para uma melhor compreensão do mesmo.

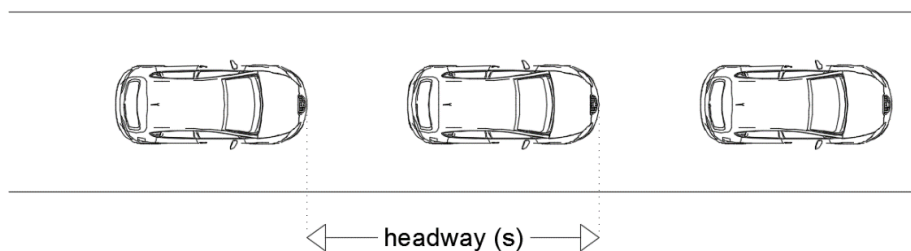


Figura 2.5 – *Headway* entre veículos

Segundo o HCM (2000), *apud* Rijavec *et al.* (2013), devido à existência de um tempo de reação do condutor no início do tempo de verde, o ritmo de partidas é lento. Apenas após a passagem do quarto veículo que espera na fila, o *headway* se aproxima dos valores correspondentes a um fluxo de tráfego não saturado, estabilizando num valor mínimo. Assim, o *headway* médio dos i ciclos, do quarto ao último veículo da fila é calculado através de:

$$h_i = \frac{t_{j,i} - t_{4,i}}{N - 4} \quad (1)$$

Onde:

$t_{j,i}$ - Instante de passagem do veículo número j da fila (seg);

$t_{4,i}$ - Instante de passagem do quarto veículo da fila (seg);

N - Último veículo da fila.

2.2.5 Débito de Saturação

O débito de saturação (ou fluxo de saturação) corresponde ao fluxo máximo da passagem de veículos que se verifica após a passagem do quarto veículo imobilizado na fila. O HCM (2000) refere que o débito de saturação (s) está relacionado com o *headway* médio (h), através da seguinte equação:

$$s (uvl/h) = \frac{3600}{h (s/uvl)} \quad (2)$$

Segundo Stokes (1989), *apud* Luna (2003) são vários os elementos que influenciam o débito de saturação em interseções semaforizadas. Estes são apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Fatores que influenciam o débito de saturação (Stokes, 1989, *apud* Luna, 2003)

Condições operacionais	Programação semafórica
	Características de pico
	Atividades de estacionamento
Características do tráfego	Composição de tráfego
	Movimentos de conversão
	Atividade de peões
Fatores ambientais e outros	Clima
	Comportamento do motorista
	Condições da superfície da pista

Por sua vez, o HCM (2000) propõe um modelo para estimativa do débito de saturação, onde é assumido um valor de débito de saturação base de 1900 uvl/h, que se verifica se forem satisfeitas as seguintes condições (Seco *et al.*, 2008- B):

- Via exclusiva para movimento em frente sem oposição;
- Corrente de tráfego constituída apenas por veículos ligeiros;
- Largura da via de 3,3 metros;
- Via com um perfil longitudinal em patamar;
- Localização do cruzamento em zona de características médias e via afastada do passeio.

Este valor base pode ser corrigido através de onze fatores de ajustamento. A equação geral do modelo é dada por:

$$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (3)$$

Onde:

s_0 - Débito de saturação base (1900 uvl/h);

N - Número de vias;

f_w - Fator de ajustamento devido à largura da via;

f_{HV} - Fator de ajustamento devido aos veículos pesados;

f_g - Fator de ajustamento devido ao declive da via;

f_p - Fator de ajustamento devido à existência de estacionamento adjacente à via de circulação;

f_{bb} - Fator de ajustamento devido à existência de paragem de autocarros;

f_a - Fator de ajustamento devido à localização do cruzamento;

f_{LU} - Fator de ajustamento devido à uniformidade da utilização das vias;

f_{LT} - Fator de ajustamento devido à mudança de direção para a esquerda;

f_{RT} - Fator de ajustamento devido à mudança de direção para a direita;

f_{Lpb} - Fator de ajustamento devido aos peões em conflito com os veículos que mudam de direção para a esquerda;

f_{Rpb} - Fator de ajustamento devido aos peões e bicicletas em conflito com os veículos que mudam de direção para a direita.

2.2.6 Tempo Perdido no Arranque

Segundo o TRB - HCM (2000), o tempo perdido no arranque é definido como o tempo adicional utilizado pelos primeiros veículos de uma fila numa interseção semaforizada, devido à existência de um tempo de reação do condutor, no início do tempo de verde. É, portanto, o tempo no qual não ocorre nenhum fluxo na interseção, iniciando-se no princípio do verde real e terminando no início do verde útil.

Na Figura 2.6 encontra-se esquematizada a variação do débito de partidas com o tempo.

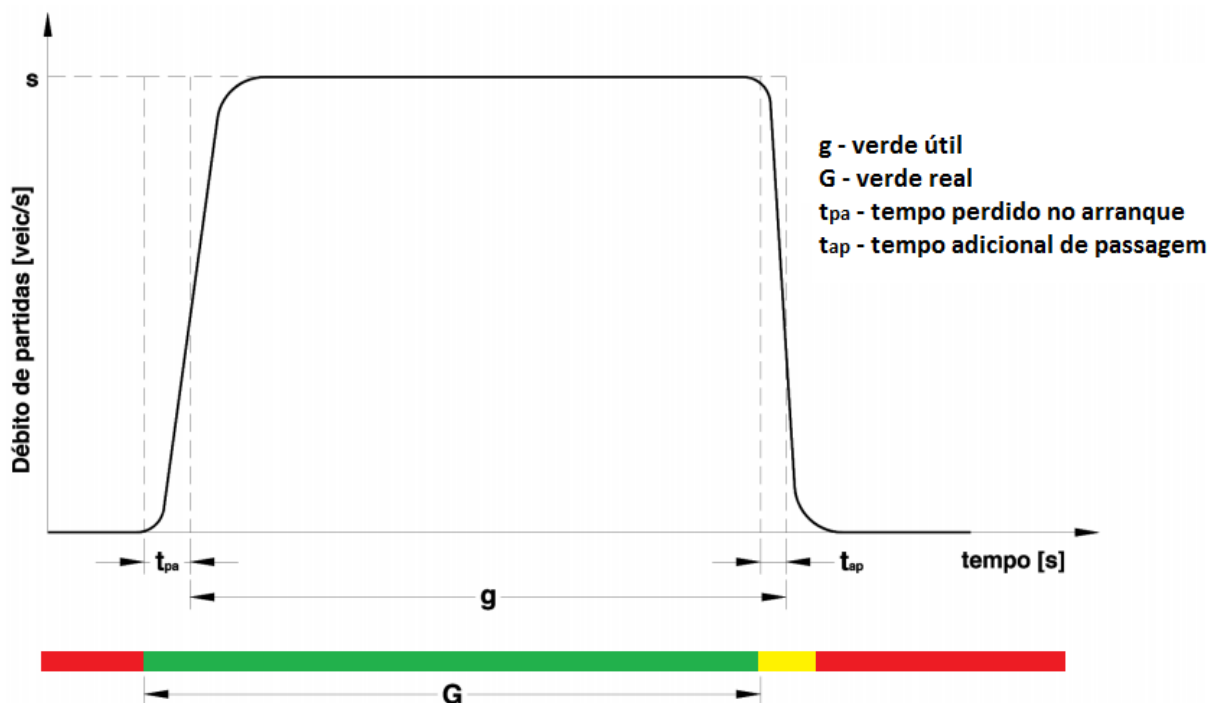


Figura 2.6 – Variação da taxa de descarga numa fila (Seco *et al.*, 2008- B)

De acordo com Bester e Varndell (2002), o tempo perdido no arranque é influenciado por diversos fatores, entre os quais:

- Tempo de reação do condutor;
- Tipo de veículo;
- Inclinação da via;
- Fatores psicológicos (paciência, confiança e experiência do condutor);
- Existência de peões na interseção.

2.2.7 Capacidade

Como refere o TRB - HCM (2000), a capacidade de uma via é o número máximo de veículos ou peões que pode passar numa seção da mesma, durante um determinado período de tempo, sendo geralmente associada às correntes de tráfego. A capacidade depende de múltiplos fatores, designadamente do tipo de veículos, volume e repartição do tráfego, ambiente e geometria da via.

No HCM (2000) é apresentado um conjunto de condições fundamentais para que a capacidade da aproximação de uma interseção atinja o seu valor máximo:

- Boas condições climáticas;
- Boas condições do pavimento;
- Condutores familiarizados com o local;
- Sem presença de peões;
- Largura da faixa com 3,66 metros;
- Sem estacionamentos junto à aproximação da interseção;
- Fluxo de tráfego apenas com veículos ligeiros;
- Nenhuma paragem de autocarro nas vias de tráfego;
- Interseção não deve estar localizada numa área central/de negócios

Segundo Seco *et al.* (2008- B), conhecido o débito de saturação, s (veic/h), o tempo de verde útil, g (seg), e a duração do ciclo, C (seg), a capacidade, Q (veic/h), resulta da aplicação da seguinte equação:

$$Q = s \frac{g}{C} \quad (4)$$

Entende-se por verde útil (g) o período durante o qual os veículos efetivamente entram no cruzamento, e é dado por:

$$g = G - t_{pa} + t_{ap} \quad (5)$$

O valor dado pela equação (4) representa a capacidade teoricamente possível. A partir desta mesma equação, verifica-se que a capacidade de um cruzamento tende a crescer à medida que aumenta a duração do ciclo. Isto ocorre devido ao facto de o valor dos tempos perdidos totais se manter constante independentemente da duração do ciclo, quando não se verifica alteração do faseamento do plano de regulação adotado. Deste modo, o rácio $\frac{g}{C}$ irá aumentar quando o valor de C aumenta (Figura 2.7).

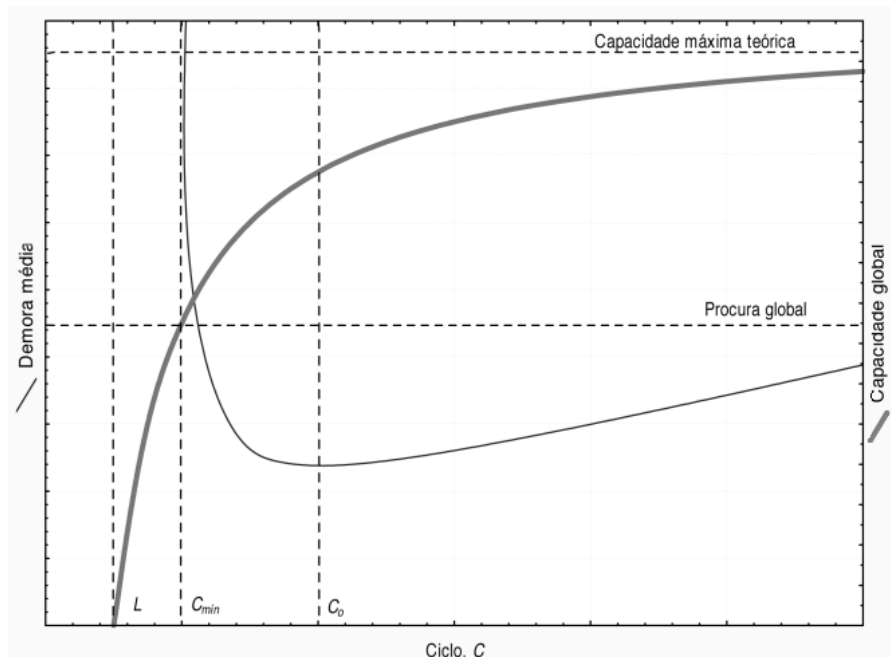


Figura 2.7 – Relação entre a duração do ciclo, a capacidade e a demora (Seco et al.,2008- B)

2.2.8 Zona de Dilema

Um veículo encontra-se na zona de dilema quando não consegue parar em segurança nem prosseguir e sair da zona de conflito, antes do fim do tempo de amarelo. Quando inicia o tempo de amarelo, o condutor pode encontrar-se numa posição em que é difícil para ele tomar a decisão de parar ou avançar, por estar demasiado perto, mas ao mesmo tempo demasiado longe da interseção, para proceder em segurança, principalmente quando a duração do tempo de amarelo é demasiado curta (Gazis *et al.*, 1960 *apud* Liu e Herman, 1996).

A Figura 2.8 apresenta uma interseção onde é possível observar a zona de dilema.

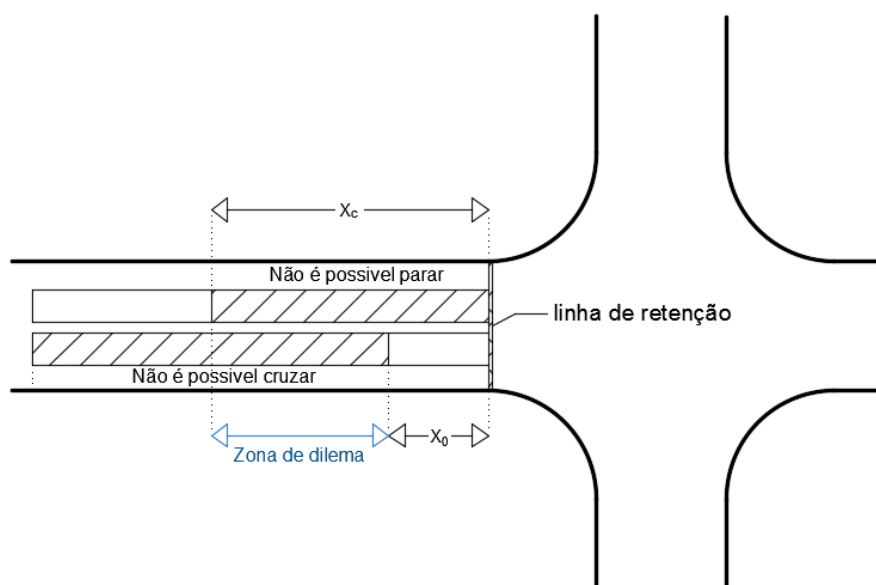


Figura 2.8 – Esquematização da zona de dilema (Liu e Herman, 1996)

O comprimento X_C é a distância crítica de travagem, e X_0 designa-se pela distância máxima a que um veículo pode estar da linha de paragem, no início do amarelo, e ainda assim pode cruzar a interseção.

2.3 Influência da Contagem Regressiva no Comportamento do Condutor

À medida que os semáforos de contagem regressiva se vão tornando mais utilizados por todo o mundo, vai surgindo a necessidade do estudo e aperfeiçoamento dos mesmos. Assim, torna-se importante analisar os efeitos deste tipo de sistemas no comportamento do condutor, com implicações quer na segurança rodoviária quer na capacidade do cruzamento. Este ponto apresenta de forma resumida, os resultados de estudos realizados por diferentes autores e respetivas metodologias de avaliação do impacto dos sistemas semafóricos de contagem regressiva no condutor.

Tal como foi referido no capítulo 2.2, o sistema semafórico de contagem regressiva pode ser utilizado durante o tempo de verde, sendo neste caso denominado por *Green Signal Countdown Display* (GSCD), ou pode ser utilizado durante o tempo de vermelho, passando a designar-se *Red Signal Countdown Display* (RSCD). Chiou e Chang (2010) desenvolveram um estudo com o objetivo de analisar o efeito que estes dois tipos de equipamentos teriam sobre o comportamento dos condutores. Estes autores defendem que o GSCD e o RSCD afetam o comportamento dos condutores de forma diferente, isto é, o GSCD afeta os condutores na transição do estado móvel para o imóvel, enquanto que o RSCD afeta no sentido oposto. Por este motivo, as duas situações foram analisadas separadamente.

No caso do RSCD, foram avaliados três indicadores recorrendo a observações reais: o *headway* de descarga, o tempo perdido no arranque e o *early start ratio*, isto é, o número de veículos que avançam e atravessam a linha de paragem antes do início do tempo de verde. Para este estudo foi utilizado o método “antes e depois” com o intuito de comparar as diferenças no comportamento dos condutores antes e após a instalação do RSCD. Assim, o estudo baseou-se em quatro períodos de observação: um antes da instalação do RSCD, e os restantes três realizaram-se 1,5 meses, 3 meses e 4,5 meses após a sua instalação. Para tal, foram efetuadas filmagens numa interseção localizada em Taiwan, complementada pela recolha manual de outros dados. É de referir que estas filmagens ocorreram sempre durante um dia da semana, a fim de evitar a inconsistência e alterações de tráfego que se verificam aos fins-de-semana, tendo sido realizadas em dois períodos: durante a hora de ponta (7h00 – 9h00) e fora da hora de ponta (9h00 – 11h00).

É, também, de salientar que Chiou e Chang (2010) estudaram quatro áreas de espera diferentes, sendo duas delas destinadas apenas a veículos de duas rodas e outra a transportes coletivos. Sendo assim, os resultados apresentados de seguida dizem respeito apenas à área de espera

restante que se destina aos veículos individuais de quatro rodas, uma vez que se tratam dos mais comuns e mais interessantes tendo em conta o tema do presente trabalho.

Com o objectivo de conhecer o efeito do RSCD sobre a *headway* de descarga, foi utilizado um modelo de regressão que depende de dois parâmetros estimados: *headway* de saturação e tempo perdido de arranque acumulado. A análise dos resultados permitiu concluir que, durante a hora de ponta, a *headway* de saturação tende a diminuir com o tempo após a instalação do equipamento, passando de 2,25 para 2 segundos. Porém, durante o período que se encontra fora da hora de ponta a *headway* de saturação reduziu ligeiramente após 1,5 meses da instalação do sistema, mas tende a aproximar-se novamente dos níveis pré-RSCD depois de 3 – 4,5 meses. Assim, Chiou e Chang (2010) concluíram que o RSCD tende a ser mais eficiente durante a hora de ponta, período no qual se registou a maior tendência para a diminuição do *headway* de saturação.

Relativamente ao tempo perdido no arranque acumulado observou-se um aumento de aproximadamente apenas 1 segundo, logo após a instalação do RSCD, tanto na hora de ponta como fora desta. No entanto, ao fim de 4,5 meses o tempo perdido no arranque acumulado passou a ser ligeiramente inferior àquele que se verificava antes da aplicação do RSCD, o que se reverteu num ligeiro aumento da eficiência e da capacidade do cruzamento. É de realçar que as observações deste estudo deveriam abranger um maior período de tempo para que os resultados se tornassem realmente fidedignos.

Relativamente à segunda variável analisada, verificou-se que o tempo perdido no arranque, tal como seria expectável, é inferior no período da hora de ponta comparativamente ao período fora da hora de ponta. Segundo Chiou e Chang (2010), é expectável que tal se deva à pressa dos condutores para chegarem à escola ou aos seus locais de trabalho. Curiosamente, verificou-se ainda que, estando ou não na hora de ponta, o tempo perdido no arranque sofreu um aumento significativo no primeiro mês após a aplicação do RSCD, reduzindo ao fim de 4,5 meses para valores abaixo dos registados antes da instalação deste sistema. Segundo os autores, este fenómeno deve-se ao facto de no período inicial imediatamente após a instalação do sistema, os condutores não estarem familiarizados com este tipo de equipamentos e, por vezes, não saberem o seu significado. Após a adaptação ao RSCD, os condutores tendem a reduzir o seu tempo perdido no arranque, aumentando assim a eficiência da interseção. Estes resultados encontram-se especificados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Tempo perdido no arranque, em segundos (Chiou e Chang, 2010)

Condição do tráfego	TEMPO PERDIDO NO ARRANQUE (SEG)			
	Antes da Intervenção	Depois da Intervenção		
		1,5 meses depois	3 meses depois	4,5 meses depois
Hora de ponta	3,74	4,62	4,45	3,24
Fora da hora de ponta	3,88	4,79	4,06	3,61

Chiou e Chang (2010) verificaram ainda que o número de veículos que optavam pelo *early start ratio* diminuiu, passando de 7% para apenas 3% dos veículos ao fim de 3 meses após a instalação do RSCD durante a hora de ponta. No período fora da hora de ponta o *early start ratio* atingiu o seu mínimo ao fim de 1,5 meses, tendo o número de veículos que o praticavam diminuído de 11% para praticamente 0%. Contudo, após 4,5 meses da instalação do RSCD os níveis do *early start ratio* apresentaram valores superiores aos existentes antes da instalação do RSCD, registando-se uma quantidade de veículos que praticavam o *early start ratio* correspondente a aproximadamente 15% e 13% para a hora de ponta e fora da hora de ponta, respetivamente. Conclui-se assim que a instalação deste sistema reduz o número de veículos que avançam no sinal vermelho antes do tempo de verde apenas a curto prazo.

Ao analisarem os impactos do *Green Signal Countdown Display* (GSCD) nos condutores, Chiou e Chang (2010) avaliaram três indicadores: número de veículos que avançavam no sinal vermelho (*red-running*), a decisão de cruzar a interseção, e a extensão da zona de dilema.

No caso do condutor se encontrar na zona de dilema, é-lhe difícil decidir se deve avançar ou parar. Se o condutor preferir parar quando nota que o tempo de verde está a terminar (*red-stopping*), pode ocorrer uma colisão traseira com o veículo que o persegue pois este pode tencionar atravessar a interseção ainda naquela fase. Se, por outro lado, o condutor toma a decisão de avançar e cruzar a interseção (*red-running*) pode originar colisões laterais com veículos de fluxos conflitantes (Lum e Halim, 2006).

Assim, utilizando uma abordagem “com e sem” *Green Signal Countdown Display* (GSCD), foram selecionadas duas interseções consecutivas, uma com GSCD e outra sem. As filmagens realizaram-se do mesmo modo do estudo do RSCD. De notar que os autores consideraram que a contagem regressiva incluía o tempo de verde mais o tempo de amarelo.

Como é possível observar pelos resultados do Quadro 2.3, conclui-se que o número de veículos que avançavam no sinal vermelho (*red-running*) era menor na interseção com o GSCD.

Quadro 2.3 – Avanço ao sinal vermelho, em percentagem (Chiou e Chang, 2010)

	Distância dos veículos à linha de paragem assim que o tempo de vermelho começa (metros)			
	0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20
Com GSCD	34,62	20	14,29	31,25
Sem GSCD	83,33	50	25	50

Relativamente à decisão de atravessar a interseção, os autores decidiram explorar vários cenários. Assim, determinaram a probabilidade de o veículo cruzar a interseção durante os últimos 3 segundos da contagem regressiva do tempo verde e os últimos 3 segundos da

contagem regressiva do tempo amarelo, e fizeram a comparação para diferentes velocidades e diferentes distâncias à linha de paragem. O Quadro 2.4 apresenta os resultados aproximados obtidos apenas para o último segundo de contagem regressiva do tempo amarelo.

Quadro 2.4 – Probabilidade de cruzar a interseção, em percentagem (Chiou e Chang, 2010)

		Velocidade de aproximação (Km/h)							
		30		40		50		60	
		Com GSCD	Sem GSCD	Com GSCD	Sem GSCD	Com GSCD	Sem GSCD	Com GSCD	Sem GSCD
Distância da linha de paragem (metros)	20	40	30	55	70	67	90	75	100
	30	15	10	25	22	30	55	40	82
	40	3	0	5	5	10	15	15	40
	50	0	0	0	0	2	2	2	10
	60	0	0	0	0	0	0	0	1
	70	0	0	0	0	0	0	0	0

Concluiu-se que os condutores que notam, com a ajuda do GSCD, que dispõem de um tempo adequado para efetivarem a travessia e que circulam a velocidades mais elevadas, tendem a cruzar a interseção. Já o condutor que se encontra mais distante da interseção tende a parar. Logo, segundo estes autores, o GSCD resulta no aumento do *red-stopping*.

Quanto à zona de dilema decidiram medir a extensão da zona de dilema numa interseção semaforizada comparativamente a outra sem GSCD. Segundo Chiou e Chang (2010), Zegeer (1977) sugeriu que o comprimento da zona de dilema fosse medido entre dois pontos em que 10% e 90% dos condutores que se aproximam da interseção decidem parar. Com base neste processo de medição, os comprimentos das zonas de dilema das duas interseções foram determinados e comparados. Verificou-se que numa interseção com GSCD a extensão da zona de dilema era de aproximadamente 58 metros, enquanto que numa interseção sem este dispositivo a extensão da zona de dilema era apenas de 30 metros, concluindo assim que há um aumento da zona de dilema de 28 metros com a utilização do GSCD. Deste modo, Chiou e Chang (2010) constataram que o GSCD assume um impacte significativo no comportamento dos condutores. Os condutores mais conservadores decidem parar antes da linha de paragem. Este aumento da zona de dilema e a inconsistência verificada nas decisões dos condutores, cria um risco acrescido de colisões traseiras, sugerindo que o GSCD tende a assumir um impacto negativo na segurança da interseção.

Tal como Chiou e Chang (2010), também Lum e Halim (2006) desenvolveram estudos com o intuito de analisar a influência do *red-running* e do *red-stopping* no comportamento dos condutores recorrendo a uma abordagem “antes e depois” da instalação do GSCD, comparando os impactos antes e vários meses depois da sua aplicação, nomeadamente 1,5, 4,5 e 7,5 meses após. A interseção estudada localiza-se em Singapura, na confluência de duas vias arteriais e as observações decorreram sempre de domingo a quarta-feira.

Lum e Halim (2006) decidiram instalar o GSCD de forma a avisar os condutores do fim iminente do tempo de verde, mas não fornecendo a informação exata do tempo restante. Isto porque um estudo realizado anteriormente por Wong *et al.* (2000), concluiu que ao se aperceberem do GSCD os condutores tendem a acelerar para evitar atingir o cruzamento já durante o tempo de vermelho. Assim, o GSCD foi instalado com uma contagem regressiva nos últimos nove segundos de verde.

De notar que foram estudadas apenas duas vias de tráfego, tendo estas sido equipadas cada uma com dois sensores:

- Um antes da linha de paragem: tem a função de detetar se o veículo teve a oportunidade de cruzar a interseção, mas optou por parar;
- Um depois da linha de paragem: localizado dois metros depois da linha de paragem, tem a função de reunir detalhes dos condutores que optam pelo *red-running*.

Assim sendo, Lum e Halim (2006) verificaram que nos primeiros meses após a instalação do GSCD houve uma redução significativa nos condutores que praticaram o *red-running*. Contudo, após 7,5 meses, os avanços ao sinal vermelho voltaram praticamente aos níveis anteriores à aplicação do GSCD, embora ligeiramente mais baixos. Estes resultados encontram-se especificados no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Número médio de *red-running*, por dia (Lum e Halim, 2006)

Via	NÚMERO MÉDIO DE RED-RUNNING			
	Antes da intervenção	Depois da intervenção		
		1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
1	31,75	6,5	7	21,25
2	14,75	6,5	5,25	14,25

Concluíram também que o GSCD se revela eficaz para volumes de tráfego baixos, perdendo eficiência quando as vias estão mais carregadas.

Foi imposto como limite máximo do *red-stopping* a paragem do veículo até dois segundos depois de iniciado o vermelho, de modo a ser possível identificar os condutores que optaram por parar em vez de atravessar a interseção. No Quadro 2.6 está exposto o número de condutores que optaram pelo *red-stopping*.

Quadro 2.6 – Número médio de *red-stopping*, por dia (Lum e Halim, 2006)

Via	NÚMERO MÉDIO DE RED-STOPPING			
	Antes da intervenção	Depois da intervenção		
		1,5 meses depois	4,5 meses depois	7,5 meses depois
1	10,5	57,25	53,5	54,5
2	5	31	36,5	27,25

A partir dos resultados acima apresentados, Lum e Halim (2006) puderam concluir que houve um aumento significativo do *red-stopping* com o decorrer do período após a instalação do sistema, mantendo-se os níveis relativamente estáveis a partir dos 4,5 meses.

Para concluir, Lum e Halim (2006) verificaram então que o uso do GSCD levou a uma diminuição do *red-running* a curto prazo, sendo que ao longo do tempo o impacto deste sistema se dissipou tendendo novamente os valores para os obtidos anteriormente à sua instalação. Já o *red-stopping* demonstrou um grande aumento, o que conduz a efeitos positivos na segurança do cruzamento. Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Chiou e Chang (2010).

Spigolon (2010) realizou também um estudo, no Estado de São Paulo, Brasil, com o intuito de pesquisar e comparar o desempenho, ao nível da capacidade e segurança, de cruzamentos com sistemas semafóricos convencionais em relação aos providos de sistemas semafóricos com contagem regressiva no tempo de vermelho. Assim, foi avaliado o tempo perdido e o débito de saturação.

Analisaram-se cruzamentos semaforizados, localizados em três cidades diferentes, três providos de sistemas semafóricos convencionais e três com indicação do tempo verde/vermelho restante. As observações foram realizadas durante a hora de ponta da tarde, das 17h00 às 18h00, e analisaram-se três variáveis: *headway* (h), tempo perdido no início (t_{pi}) e tempo perdido no final da fase (t_{pf}). Assim, o tempo perdido total (t_{pt}) será o somatório do tempo perdido no início e do tempo perdido no final da fase. O tempo perdido no início do verde depende dos tempos perdidos de arranque dos quatro primeiros veículos que se encontram na fila. O tempo perdido no final foi calculado subtraindo ao tempo de entre-verdes (tempo de amarelo mais tempo de limpeza) o instante de passagem do último veículo após o aparecimento do tempo de amarelo (ou seja, o tempo aproveitado para a passagem após surgir o amarelo).

Spigolon (2010) calculou a média das três interseções para cada cidade, com e sem contagem regressiva, obtendo o Quadro 2.7 apresentado de seguida.

Quadro 2.7 – *Headway*, tempos perdidos e capacidade, para cada cidade (Spigolon, 2010)

Parâmetro	Cidade A		Cidade B		Cidade C	
	Sem contagem regressiva	Com contagem regressiva	Sem contagem regressiva	Com contagem regressiva	Sem contagem regressiva	Com contagem regressiva
Ciclo (seg)	80	80	60	60	100	100
Quantidade de fases	2	2	2	2	2	2
<i>Headway</i> (seg)	2,18	2,23	2,1	2,18	2,1	2,16
Tempo perdido total (seg)	5,16	4,6	4,35	3,9	6,08	5,9
Tempo perdido no ciclo (seg)	10,32	9,2	8,7	7,8	12,16	11,8
Capacidade (uvl/h)	1438	1429	1466	1437	1506	1470

Foi possível concluir que nas interseções dotadas de semáforos com contagem regressiva, o *headway* médio registado é ligeiramente superior em todas as cidades. Assim, este incremento do *headway* médio conduz a valores de débito de saturação inferiores na presença de sistemas com contagem regressiva. Contudo, Spigolon (2010) não foi capaz de justificar este facto.

Observou-se também que o tempo perdido no início e o tempo perdido no final, e consequentemente o total, era inferior com a utilização da contagem regressiva. O tempo perdido no início é menor provavelmente devido ao aviso que os condutores têm do tempo restante, fazendo com que estes estejam mais atentos à mudança do vermelho para o verde. Já o tempo perdido no final é inferior pois os condutores tendem a acelerar e a atravessar o cruzamento quando notam que o tempo de verde está a terminar.

Por fim, concluiu-se que o aumento do *headway* médio se sobrepõe à diminuição do tempo perdido total, levando a níveis de capacidade do cruzamento ligeiramente inferiores no caso deste ser equipado com sistemas semafóricos de contagem regressiva. Assim, confirma-se a divergência de resultados entre Spigolon (2010) e Chiou e Chang (2010). De salientar que o facto de calcular as médias, misturando dados de diferentes interseções com características geométricas e de procura diferenciadas, tende a conduzir a resultados com um erro associado, por inclusão de outras variáveis não incluídas na análise.

Spigolon (2010) analisou também o impacto dos semáforos de contagem regressiva sobre o número de acidentes. Para isso, foi feito um levantamento do número de acidentes antes e depois da instalação da contagem regressiva, em cada uma das três cidades. O método utilizado

por Spigolon (2010) na análise da segurança das interseções em estudo baseou-se na comparação do desempenho das mesmas, um ano antes e um ano após a aplicação da contagem regressiva, em cada uma das três cidades.

Foram analisadas seis interseções na cidade A e sete interseções nas cidades B e C, um ano antes e um ano após a aplicação dos semáforos de contagem regressiva, para assim comparar os dois cenários. Os resultados obtidos encontram-se resumidos no Quadro 2.8, já com o somatório do número de acidentes ocorridos nas interseções de cada cidade.

Quadro 2.8 - Número de acidentes no ano anterior e posterior à instalação dos semáforos de contagem regressiva (Spigolon, 2010)

Período de análise	NÚMERO DE ACIDENTES		
	Cidade A	Cidade B	Cidade C
1 ano antes	55	37	56
1 ano depois	37	36	37

Spigolon (2010) concluiu assim que houve uma tendencial redução no número de acidentes em todas as cidades após a alteração dos semáforos convencionais para semáforos de contagem regressiva, em cerca de 34%, 5% e 35%, respetivamente, registando-se assim um aumento da segurança dos cruzamentos.

2.4 Influência da Contagem Regressiva no Comportamento do Peão

Os sistemas semafóricos de contagem regressiva para peões são cada vez mais utilizados, tendo como grande objetivo dar a conhecer aos peões o tempo restante para poderem utilizar a passadeira em segurança, e assim, reduzir o número de acidentes e atropelamentos, aumentando a segurança no atravessamento da via. Portanto, torna-se necessário analisar os efeitos que estes sistemas semafóricos tendem a assumir no comportamento deste tipo de utilizadores.

Um fator importante que influencia a segurança dos peões é o número de peões que iniciam o atravessamento durante o período de vermelho. Este indicador foi estudado por Keegan e O'mahony (2003). O semáforo de contagem regressiva utilizado neste estudo é associado ao tempo de vermelho dos peões, isto é, mostra aos peões quanto tempo falta para poderem iniciar o atravessamento da via. Localizado em Dublin, foi utilizada uma abordagem “antes e depois” da instalação do sistema semafórico de contagem regressiva. Foram realizados questionários aos peões para avaliar a atitude e a perceção que têm destes dispositivos, e foram também feitas filmagens para avaliar o seu comportamento enquanto esperam pelo tempo de verde.

Keegan e O'Mahony (2003) concluíram que a aplicação dos semáforos de contagem regressiva originou uma diminuição do número de atravessamentos da via durante o período de vermelho, reduzindo de 35% para 24%.

Foi também analisado se a duração do ciclo influenciava a decisão dos peões atravessarem no tempo de vermelho, comparando um ciclo de 106 segundos com um de 77 segundos. Concluiu-se que, antes da implantação do semáforo com temporizador, o número de peões que iniciou o atravessamento durante o sinal vermelho diminuiu de 41% para 26%, respetivamente para cada duração do ciclo. Verificou-se também que, após a aplicação do semáforo com temporizador, o número de peões que iniciaram o atravessamento durante o sinal vermelho reduziu de 28% para 20%, para um ciclo de 106 segundos e 77 segundos, respetivamente. Assim sendo, concluiu-se que a diminuição da duração do ciclo origina uma melhoria no comportamento dos peões, aumentando a sua obediência em relação ao sinal vermelho.

O resultado deste estudo é consensual com os resultados retirados do estudo de Botha *et al.* (2002), que se baseou na análise do comportamento dos peões face à instalação de um sistema semafórico que incorpora um sistema de contagem regressiva no período de limpeza, indicando os segundos restantes para o peão terminar o atravessamento da via. O objetivo foi verificar o número de peões que iniciavam o atravessamento no tempo de vermelho e no período de limpeza. Verificou-se que, ao instalar os semáforos de contagem regressiva, a quantidade de peões que iniciou o atravessamento da via durante o sinal vermelho diminuiu em três das quatro interseções estudadas, favorecendo a segurança dos peões, o que comprova o resultado do estudo de Keegan e O'Mahony (2003). Já o número de peões que iniciaram o atravessamento durante o período de limpeza sofreu um aumento nas quatro interseções, após a aplicação da contagem regressiva.

Segundo uma pesquisa mais aprofundada de Botha *et al.* (2002), concluiu-se que os peões não têm noção do tempo que necessitam para atravessar a via e, para além disso, não têm uma noção correta do conceito “período de limpeza”, isto é, alguns peões interpretam a mensagem fornecida pelo semáforo como uma autorização para entrar na via porque o sinal vermelho ainda não iniciou. Concluindo, a interpretação incorreta, por parte do peão, do período de limpeza e a não perceção do tempo necessário para atravessar a via, levaram os peões a utilizar mais o período de limpeza, não sendo este comportamento considerado o mais adequado e seguro.

Botha *et al.* (2002) estudaram também outro indicador importante para avaliar a segurança dos peões: o número de peões que terminavam o atravessamento ainda no período de limpeza ou no tempo de vermelho. Os resultados levaram a concluir que a quantidade de peões que terminavam o atravessamento da via ainda no período de limpeza aumentou bastante, enquanto que o número de peões que terminavam o atravessamento já no tempo de vermelho reduziu ligeiramente. Botha *et al.* (2002) consideraram este resultado positivo uma vez que indica que

os peões estão a atravessar a via no tempo permitido, mesmo que para isso tenham que aumentar a velocidade da sua caminhada.

Foram efetuados outros estudos importantes com base na segurança dos peões, nomeadamente o realizado por Huang e Zegeer (2000), que teve como objetivo avaliar os efeitos dos sistemas semafóricos de contagem regressiva em interseções da Florida. Foram estudados três indicadores: a obediência dos peões ao sinal verde, o número de peões que iniciaram o atravessamento da via durante o período de verde ou de limpeza e terminaram no tempo de vermelho, e o número de peões que tiveram que correr quando o tempo de vermelho iniciou e eles ainda se encontravam a realizar o atravessamento. Para tal, compararam duas interseções que possuíam semáforos de contagem regressiva com três interseções de características semelhantes, mas sem este tipo de semáforos, sendo as cinco interseções equipadas de botoneiras para os peões. Os dados foram recolhidos durante o dia, através de filmagens em todas as interseções, durante seis meses.

Huang e Zegeer (2000) concluíram que os peões foram menos obedientes ao sinal verde nos locais com semáforos de contagem regressiva, isto é, verificou-se menos peões a iniciar o atravessamento durante o tempo de verde. Aproximadamente 59% dos peões demonstraram obediência ao sinal verde nas interseções sem contagem regressiva enquanto que apenas 47% dos peões obedeceram ao tempo de verde nos locais com semáforos de contagem regressiva.

Verificou-se também que, nas interseções com contagem regressiva, o número de peões que iniciou o atravessamento da via no período de verde e de limpeza e terminaram no tempo de vermelho (8%) foi ligeiramente inferior que o registado nas interseções sem contagem regressiva (11%), não sendo esta uma diferença significativa. Segundo Huang e Zegeer (2000), o facto de a contagem regressiva não ter tido efeitos sobre o número de peões que iniciaram o atravessamento no período de verde e de limpeza e concluíram durante o período de vermelho, pode ser consequência dos peões que terminaram o atravessamento durante o período de limpeza, acelerando a caminhada para que não iniciasse o tempo de vermelho.

Quanto ao número de peões que começou a correr quando o tempo de limpeza iniciou, foi significativamente menor nos locais com contagem regressiva (3%) do que nos locais sem este dispositivo (10%). Esta diferença leva os autores a depreender que os peões têm a perceção do significado da mensagem dada pelo semáforo de contagem regressiva e têm atenção à mesma.

Assim, Huang e Zegeer (2000) concluíram que o sistema de contagem regressiva tem impactos positivos e negativos na segurança do peão, sendo o maior problema destes sistemas o encorajamento à utilização do período de limpeza para atravessar a via. Com base nestes resultados, os autores não recomendam a contagem regressiva. No entanto, assumem a fragilidade da metodologia usada ao referirem que se deveria ter recolhido os dados antes e

depois da instalação dos semáforos de contagem regressiva e que se deveria ter analisado um maior número de interseções.

2.5 Metodologias de Cálculo do Débito de Saturação e Tempo Perdido no Arranque

Este ponto introduz de forma detalhada a metodologia adotada no próximo capítulo, aplicada ao caso de estudo. Como será apresentado posteriormente, a abordagem utilizada baseia-se na comparação dos resultados obtidos ao nível de três indicadores de desempenho: tempo perdido no arranque, débito de saturação e capacidade. Posto isto, no presente capítulo irão ser referenciadas algumas metodologias utilizadas por diferentes autores na medição dos primeiros dois parâmetros. A capacidade, sendo um parâmetro dependente do débito de saturação, é geralmente calculada utilizando a equação (4), não sendo por esse motivo referida de seguida.

O estudo efetuado por Bester e Varndell (2002) tem como base a medição do tempo perdido no arranque e do débito de saturação em duas interseções equipadas com sistemas semafóricos convencionais. A metodologia utilizada consiste em contabilizar o tempo desde o instante em que o sinal luminoso fica verde até o eixo traseiro do sexto e o décimo segundo veículo da fila passarem a linha de paragem. Deste modo, o tempo perdido no arranque e o débito de saturação são calculados utilizando as seguintes equações:

$$t_{pa} = t_6 - (t_{12} - t_6) \quad (6)$$

$$h = \frac{t_{12} - t_6}{6} \quad (7)$$

$$s = \frac{3600}{h} \quad (8)$$

Este método assume, conservativamente, que os primeiros seis veículos que se encontram na fila estão associados a um tempo de reação, traduzido num tempo perdido no arranque. Assim, assegura-se que o tempo total perdido no arranque é incluído.

A metodologia utilizada por Bester e Varndell (2002) implicou o uso de cronómetro para a medição dos tempos perdidos, o que poderia levar a resultados pouco fidedignos devido à incorporação de erro humano. Contudo, o efeito desse erro foi minimizado devido ao grande número de medições que foi realizado - mais de 100 medições em cada interseção.

Tal como Bester e Varndell (2002), também Sun *et al.* (2013) desenvolveram estudos com o intuito de analisar o débito de saturação e o tempo perdido no arranque numa interseção semaforizada. O principal objetivo foi estudar a influência de más condições meteorológicas nestes dois parâmetros. Foi necessário calcular o *headway* individual (h_i) e o *headway* de saturação (h_s), a fim de se determinar o débito de saturação e o tempo perdido no arranque. A metodologia utilizada consistiu em considerar que o *headway* individual era o intervalo de

tempo entre dois veículos sucessivos, tomando como referência o eixo dianteiro do veículo. Relativamente ao *headway* de saturação, foi obtido realizando a média entre os *headways* do sexto ao décimo quinto veículo da fila.

Sun *et al.* (2013) referem que os primeiros quatro *headways* devem ser desprezados e que a partir do sexto veículo da fila, o fluxo de tráfego atinge valores mínimos de saturação. Assim, calculou-se o *headway* individual e o *headway* de saturação a partir das equações seguintes:

$$h_i = t_i - t_{i-1} \quad (9)$$

$$h_l = SRT + \frac{t_5 - t_1}{4} \quad (10)$$

$$h_s = \frac{\sum_{i=6}^{15} h_i}{10} \quad (11)$$

Onde:

i - Posição do veículo na fila, $i = 2, 3, \dots$;

h_i - *Headway* do veículo i (seg);

SRT - *Starting Response Time*, isto é, tempo de reação do primeiro veículo da fila, geralmente admitido 0,8 – 1,2 (seg);

t_i - Tempo medido quando o eixo dianteiro do veículo i passa a linha de paragem (seg).

Posto isto, foi possível determinar o débito de saturação utilizando a seguinte equação:

$$s = \frac{3600}{h_s} \quad (12)$$

Por fim, o tempo perdido no arranque é dado pela soma do *SRT* com o tempo adicional utilizado na dissipação dos primeiros cinco veículos da fila, através da equação seguinte:

$$t_{pa} = SRT + \sum_{i=2}^5 h_i - 4 \times h_s \quad (13)$$

Henderson e Wood (2005) utilizaram uma metodologia de cálculo do débito de saturação e do tempo perdido no arranque diferente dos referidos anteriormente, tendo por base um algoritmo computacional. Para tal, foi necessária a utilização de sensores indutivos (dispositivos capazes de medir a aproximação de veículos) em duas posições distintas: na linha de paragem e a uma distância máxima de 50 metros a montante da linha de paragem.

Os dados usados para estimar o débito de saturação são fornecidos por estes dois tipos de sensores, existindo dois métodos para o efeito: o método da ‘fila longa’ e o método da ‘fila curta’. O primeiro efetua uma medição convencional do débito de saturação, contando os veículos que atravessam o sensor posicionado na linha de paragem e medindo o tempo total para a descarga dos mesmos.

O método da ‘fila longa’ nem sempre pode ser utilizado nos sensores a montante pois muitas vezes não há veículos suficientes para além do sensor para que o método seja fiável. Por este motivo, criou-se o método da ‘fila curta’ que faz suposições sobre a descarga dos veículos que se mantiveram no sinal vermelho entre o sensor a montante e a linha de paragem, estimando assim o débito de saturação. De notar que na metodologia empregue por Henderson e Wood (2005) considera-se que existe uma fila longa se pelo menos 8 veículos forem detetados ao atravessarem o sensor de medição do débito de saturação.

Assim sendo, o método da ‘fila longa’ pode ser utilizado tanto nos sensores localizados na linha de paragem como nos sensores a montante, ao contrário do método da ‘fila curta’ que é usado somente nos sensores a montante. Este último método é calculado juntamente com o método da ‘fila longa’ e serve como um substituto quando as vias são curtas ou a fila não tem veículos suficientes. O método da ‘fila curta’ funciona estimando o débito de saturação na linha de paragem com base em medições no sensor a montante. Assim, a estimativa do débito de saturação de uma ‘fila curta’ pode ser calculada através de:

$$S_{short} = \frac{v_{downstream} + v_{startup} + v_{satflow}}{t_{det\ to\ stop} + t_{satflow}} \quad (14)$$

Onde:

$v_{downstream}$ - Número de veículos em fila entre o sensor da linha de paragem e o sensor a montante, no início do sinal verde;

$v_{startup}$ - Número de veículos que atravessa o sensor a montante e que se considera que sofrem tempo perdido no arranque;

$v_{satflow}$ - Número de veículos que atravessa o sensor a montante durante o sinal verde, até que o fim da saturação seja detetado pelo sensor a montante, ou até o início do tempo amarelo;

$t_{det\ to\ stop}$ - Tempo necessário para um veículo se deslocar do sensor a montante para a linha de paragem (seg);

$t_{satflow}$ - Tempo registado a partir do início do verde efetivo até que o fim da saturação seja detetado pelo sensor a montante (seg).

Por fim, o cálculo do tempo perdido no arranque é efetuado apenas em ciclos onde também é medido o débito de saturação, isto é, ciclos nos quais é detetado um mínimo de 8 veículos nos sensores de medição do débito de saturação. Desta forma, o tempo perdido no arranque é dado por:

$$t_{pa} = (t_{satflowstart} - t_{greenstart}) - \frac{v_{startup}}{f_{satflowmean}} \quad (15)$$

Onde:

$t_{satflowstart}$ - Tempo a partir do qual o primeiro veículo presente no fluxo de saturação passa pelo sensor. Admite-se que este é o quarto veículo que se encontra em fila após o início do tempo de verde (seg);

$t_{greenstart}$ - Tempo a partir do qual se inicia o sinal verde (seg);

$v_{startup}$ - Número de veículos considerados que sofrem tempo perdido no arranque. Admite-se que são três veículos;

$f_{satflowmean}$ - Fluxo de saturação médio de uma via, calculado na linha de paragem através do método da ‘fila longa’ (uvl/h).

Seco et al. (2008- B) apresentam também um método simples de medição do débito de saturação e do tempo perdido no arranque, denominado Método Australiano. Este método consiste na contagem do número de veículos que partem da fila de espera durante três períodos diferentes, sendo que o início do período saturado se dá após os primeiros 10 segundos de verde. Este será o método utilizado no caso prático, estando o seu procedimento descrito detalhadamente no capítulo 3.3 do presente trabalho.

Até então foram apresentadas diferentes abordagens de cálculo do tempo perdido no arranque e do débito de saturação. Posto isto, é possível verificar a existência de uma grande diversidade de processos da estimativa deste tempo perdido. Para além das fórmulas de determinação deste parâmetro serem distintas para cada metodologia, a definição do início do período saturado é também diferente, contudo, similar em alguns casos (Quadro 2.9). Já o débito de saturação apresenta-se dependente do *headway* de saturação nas metodologias expostas, com exceção do método de Henderson e Hood e do HCM (2000) que dependem de dados como número de veículos e tempos de saturação, recolhidos no local.

Quadro 2.9 – Definição do início do período saturado para cada metodologia

MÉTODO	INÍCIO DO PERÍODO SATURADO
HCM (2000)	Após a passagem do quarto veículo
Bester e Varndell	Após a passagem do sexto veículo
Sun et al.	Após a passagem do sexto veículo
Henderson e Hood	Após a passagem do quarto veículo
Australiano	Após 10 segundos de verde

2.6 Considerações Finais

Ao longo dos anos, com o surgimento e a crescente adesão aos sistemas semafóricos de contagem regressiva, tornou-se necessário o estudo dos mesmos a fim de conhecer as vantagens e desvantagens inerentes a estes sistemas, tanto para o condutor como para o peão. Relativamente aos semáforos de contagem regressiva destinados aos veículos, neste capítulo foram apresentados três estudos importantes para a avaliação do efeito destes sistemas no comportamento dos condutores.

Os estudos efetuados por Chiou e Chang (2010) e Lum e Halim (2006) têm em comum dois indicadores analisados: o avanço ao sinal vermelho (*red-running*) e a decisão de cruzar a interseção. Ambos os estudos concluíram que o avanço ao sinal vermelho (*red-running*) era inferior com a presença da contagem regressiva, no entanto, Lum e Halim (2006) verificaram que ao fim de 7,5 meses os valores voltaram praticamente aos níveis anteriores à aplicação do GSCD, embora ligeiramente mais baixos. Chiou e Chang (2010) e Lum e Halim (2006) concluíram também que o GSCD provoca o aumento do *red-stopping*, tendo os primeiros autores verificado que o condutor que se encontra mais distante da interseção, recebe a informação de que o tempo restante para atravessar não é suficiente e opta por parar, sendo este um aspeto positivo para a segurança da interseção. No entanto, Chiou e Chang notaram também que os veículos que circulavam a velocidades mais elevadas tendiam a acelerar para cruzar a interseção ainda no tempo permitido.

Chiou e Chang (2010) avaliaram ainda a zona de dilema, comparando o seu comprimento numa interseção com semáforo de contagem regressiva e noutra sem este sistema. Verificaram que houve um aumento da zona de dilema de aproximadamente 28 metros, com a utilização do GSCD. Assim, concluiu-se que o sistema de contagem regressiva cria um risco de colisões traseiras, assumindo um impacto negativo na segurança da interseção. Ao estudar os impactos do RSCD sobre os condutores, os mesmos autores concluíram que o número de veículos que praticavam o *early start ratio* diminuía apenas a curto prazo, uma vez que após 4,5 meses os valores registados ultrapassavam os verificados antes da instalação do sistema.

O *headway* entre veículos foi um indicador analisado tanto por Chiou e Chang (2010) como por Spigolon (2010). Contudo, verificou-se uma divergência nos seus resultados. Os primeiros autores concluíram que o *headway* apresentou uma diminuição após a instalação do RSCD e que este sistema tende a ser mais eficiente durante a hora de ponta. Pelo contrário, Spigolon (2010) verificou que o *headway* era superior nas interseções com semáforos de contagem regressiva. Esta diferença de resultados pode advir dos erros associados à metodologia de estudo utilizada por Spigolon (2010) que calculou as médias das três cidades analisadas, misturando dados de várias interseções com características distintas.

Spigolon (2010) estudou ainda o tempo perdido inicial, isto é, o tempo perdido no arranque. Verificou-se que este era inferior com a utilização do sistema de contagem regressiva. Assim, Spigolon (2010) concluiu que o incremento verificado no *headway* se sobrepõe ao decréscimo do tempo perdido total (tempo perdido inicial mais tempo perdido final), resultando em níveis de capacidade do cruzamento ligeiramente inferiores no caso deste ser equipado com sistemas semafóricos de contagem regressiva.

Tal como Spigolon (2010), Chiou e Chang (2010) concluíram que o tempo perdido no arranque diminui a longo prazo, com a aplicação do RSCD. Porém, no primeiro mês após a introdução deste sistema registou-se um aumento desta variável, tendo decrescido apenas a partir daí. Este fenómeno é explicado pelos autores que referem que inicialmente os condutores não estão familiarizados com este tipo de sistema e, por esse motivo, apenas após a adaptação ao mesmo, tendem a reduzir o tempo perdido no arranque, levando a um aumento da eficiência da interseção. É essencial referir também que, tal como seria expectável, verificou-se que o tempo perdido no arranque é inferior no período da hora de ponta, comparativamente ao período fora da hora de ponta.

Em suma, Chiou e Chang (2010) concluíram que o RSCD é menos controverso e mais benéfico que o GSCD. Já Spigolon (2010) e Lum e Halim (2006) verificaram que a utilização dos sistemas semafóricos de contagem regressiva traz mais vantagens do que desvantagens, ao nível do comportamento dos condutores e da eficiência da interseção.

No Anexo A é apresentado um quadro que resume os resultados dos estudos realizados aos sistemas de contagem regressiva para veículos, mencionados anteriormente.

Quanto aos semáforos de contagem regressiva destinados aos peões, neste capítulo foram apresentados três estudos importantes para a avaliação do efeito destes sistemas no comportamento dos peões.

Keegan e O'mahony (2003) e Botha *et al.* (2002) analisaram os efeitos da contagem regressiva no número de peões que iniciava o atravessamento no tempo de vermelho. Verificou-se que os dois estudos estavam em acordo, sendo que ambos concluíram que este número diminuía após a instalação do sistema de contagem regressiva. Para além disso, Keegan e O'mahony (2003) concluíram também a diminuição da duração do ciclo origina uma melhoria no comportamento dos peões, aumentando a obediência ao sinal vermelho.

Botha *et al.* (2002) avaliaram também os impactos no número de peões que iniciava o atravessamento da via no tempo de limpeza e no número de peões que terminava o atravessamento no tempo de vermelho e no tempo de limpeza.

Concluíram que a quantidade de peões que iniciava o atravessamento durante o tempo de limpeza aumentava com a instalação do semáforo de contagem regressiva. Isto deve-se ao facto de os peões não interpretarem corretamente o período de limpeza, levando-os a supor que a mensagem enviada pelo semáforo é uma autorização para entrar na via pois o tempo de vermelho ainda não iniciou, não sendo este comportamento o mais seguro.

Quanto ao número de peões que terminava o atravessamento da via no tempo de vermelho e no tempo de limpeza, Botha *et al.* (2002) concluíram que aumentava e diminuía, respetivamente, com a aplicação da contagem regressiva. Para os autores este é um resultado positivo uma vez que indica que os peões estão a atravessar a via no tempo permitido, mesmo que para isso tenham que aumentar a velocidade da sua caminhada.

Outro indicador estudado por Botha *et al.* (2002) foi o número de peões à espera para atravessar a via, tendo-se concluído que este diminuiu após a instalação da contagem regressiva, sugerindo que o peão acredita que pode realizar a travessia com segurança quando a contagem mostra um tempo elevado de espera.

Huang e Zegeer (2000) contribuíram também para os estudos dos sistemas de contagem regressiva, tendo concluído que, com a utilização destes sistemas, a obediência ao sinal verde e o número de peões que começaram a correr no período de limpeza diminuíram. Já o número de peões que iniciava o atravessamento no tempo de verde e de limpeza e terminava no vermelho apresentou-se indiferente à presença de contagem regressiva, levando a crer que os peões terminavam o atravessamento durante o período de limpeza, acelerando a caminhada para que não iniciasse o tempo de vermelho.

Em suma, Huang e Zegeer (2000) concluíram que o sistema de contagem regressiva tem impactos positivos e negativos na segurança do peão, sendo o maior problema destes sistemas o encorajamento à utilização do período de limpeza para atravessar a via. Botha *et al.* (2002) constatam também que os peões não têm uma noção correta do conceito “tempo de limpeza”, pois tendem a atravessar a via durante este período. Já Keegan e O’mahony (2003) depararam-se com resultados positivos ao concluírem que a obediência dos peões ao sinal vermelho aumentava.

No Anexo B é apresentado um quadro que resume os resultados dos estudos efetuados aos sistemas de contagem regressiva para peões, mencionados anteriormente.

3 METODOLOGIA DE ABORDAGEM

3.1 Introdução

O objetivo central do trabalho é avaliar a eficácia dos sistemas semafóricos de contagem regressiva, comparando-os com sistemas semafóricos convencionais e assim analisar o seu impacto no comportamento dos condutores. Este capítulo centra-se, assim, na apresentação geral da metodologia de abordagem adotada, dando-se particular destaque aos indicadores de desempenho utilizados, métodos de medição de cada um desses indicadores, e locais selecionados.

A abordagem adotada baseou-se na comparação dos resultados obtidos ao nível dos indicadores de desempenho em sistemas integrados em cruzamentos com sinais luminosos providos, ou não, de sistemas regressivos do tipo *Red Signal Countdown Display* (RSCD).

3.2 Indicadores de Desempenho

Sendo o RSCD um sistema que afeta o comportamento do condutor na transição do estado imóvel para o móvel, é essencial proceder ao estudo de indicadores como o tempo perdido no arranque. Ao disporem da informação do tempo de vermelho sobranete, os condutores podem, ou não, optar por iniciar a marcha mais cedo, influenciando o tempo perdido no início do verde. As reações dos condutores perante um sistema deste tipo são influenciadas por diversos fatores que podem afetar diretamente não só o tempo perdido no arranque, mas também o débito de saturação e, por inerência, a capacidade das vias.

Assim, a metodologia de abordagem utilizada passa por verificar se uma interseção equipada com sistema semafórico de contagem regressiva afeta de forma considerada significativa o comportamento do condutor e, conseqüentemente o débito de saturação e a capacidade oferecidos.

3.3 Método Australiano – Medição do Tempo Perdido e Débito de Saturação

Tal como apresentado no capítulo 2.5, existem diferentes métodos de medição do tempo perdido no arranque e do débito de saturação. No entanto, há diversas limitações para a aplicação destes métodos. Para além de implicarem a utilização de equipamentos muito específicos tais como câmaras de filmar ou cronómetros com décimos de segundo, grande parte baseia-se em medições efetuadas em condições de circulação saturadas. Desta forma, a maioria dos métodos existentes apenas são aplicáveis a partir de determinados níveis de saturação, tendo

sido a procura de cruzamentos com esta característica uma das principais condicionantes à realização do presente trabalho.

A metodologia utilizada por Henderson e Wood (2005) é a única que apresenta um método destinado especificamente a filas de espera de pequeno comprimento – método da ‘fila curta’ – mas, mais uma vez, a sua aplicação associa-se a algumas limitações uma vez que tem por base um algoritmo computacional.

Nesta linha de ação, optou-se por utilizar o Método Australiano por se tratar de um método bastante expedito e pela sua versatilidade, uma vez que admite tempos de verde variáveis, sendo adequado a sistemas semafóricos atuados e de controlo em tempo real. Este método revela-se adequado à medição no terreno do débito de saturação e o seu processo encontra-se descrito no Manual da CCDR-N, no fascículo “Sinais Luminosos”. Trata-se de um procedimento de aplicação simples e apresenta a vantagem de permitir a obtenção de outros parâmetros relevantes na modelação de uma interseção regulada por sinais luminosos (Seco *et al*, 2008-B).

O seu procedimento requer a contagem, em cada ciclo, dos veículos que atravessam a linha de paragem após os mesmos estarem imobilizados na fila devido ao sinal vermelho. Esta contagem é dividida em três períodos de tempo:

- Período inicial: composto pelos 10 primeiros segundos de verde;
- Período intermédio: inicia logo após os 10 primeiros segundos de verde e termina no fim do tempo de verde saturado;
- Período final: inicia quando o sinal luminoso passa a amarelo e termina após a passagem do último veículo do ciclo em estudo, que esteve presente na fila de espera.

O fim do tempo de verde saturado ocorre na situação que acontecer primeiro entre as duas seguintes: (1) o instante de passagem do último veículo que se encontrava imobilizado na fila ou (2) o fim do verde real, isto é, quando o sinal luminoso passa a amarelo. As observações onde se verifica que o tempo de verde saturado é inferior a 10 segundos são desprezadas, uma vez que se admite que nestas condições não se chega a atingir o débito de saturação (Seco *et al.*, 2008- B).

Adicionalmente, o Método Australiano requer a medição do tempo de verde saturado e da duração do verde real. Estes dois valores serão iguais sempre que a fila de espera permanece para além do fim do tempo de verde, ou seja, sempre que o tempo de verde é integralmente saturado. É de referir que durante o tempo de verde saturado o grupo de veículos que deve ser contabilizado inclui não só os que chegaram durante o tempo de vermelho, mas também os que foram chegando durante o tempo de verde e têm que parar pois à sua frente a fila de espera ainda não se dissipou (Seco *et al.*, 2008- B). Este processo deve ser repetido para 30 ciclos válidos, no mínimo, de modo a que os resultados obtidos sejam fiáveis.

Ao realizar as contagens podem ocorrer três diferentes situações:

- Registo nos três períodos: quando se tem um tempo de verde integralmente saturado;
- Registo nos períodos inicial e intermédio: quando o tempo de verde saturado é inferior à duração do verde;
- Registo apenas no período inicial: quando o tempo de verde saturado é inferior a 10 segundos. Admite-se que não se chega a atingir o débito de saturação, pelo que estes registos não são considerados.

Assim sendo, é importante escolher um período de observação que forneça valores representativos dos dois primeiros períodos, para que os resultados finais sejam credíveis.

No Quadro 3.1 está representado um excerto de um exemplo do registo de contagens realizadas utilizando o Método Australiano.

Quadro 3.1 – Exemplo de medição do débito de saturação (Seco *et al.*, 2008- B)

Nº Ciclo	Período inicial (veic)	Período intermédio (veic)	Período final (veic)	Tempo de saturação (seg)	Tempo de verde (seg)
1	3	12	1	35	35
2	3	6	-	24	30
3	2	-	-	-	12
4	3	23	1	35	35
Total	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Amostra	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅

O Método Australiano permite determinar não só o débito de saturação (s), mas também o tempo perdido no arranque (t_{pa}) e o tempo adicional de passagem (t_{ap}) para cada via de um ramo de entrada de uma interseção regulada por sinais luminosos. Para tal, utilizam-se as seguintes equações:

$$s = \frac{X_2}{X_4 - 10N_4} \quad (16)$$

$$t_{pa} = 10 - \frac{X_1}{s \times N_1} \quad (17)$$

$$t_{ap} = \frac{X_3}{s \times N_3} \quad (18)$$

Onde:

X₁ - Número total de veículos contados no período inicial, nos ciclos válidos (com tempo de saturação superior a 10 segundos)

X₂ - Número total de veículos contados no período intermédio

X₃ - Número total de veículos contados no período final

X_4 - Tempo total de verde saturado

N_1, N_4 - Número de ciclos válidos

N_3 - Número total de períodos finais observados

É importante referir que o tempo adicional de passagem será determinado para efeitos de cálculo do verde útil (equação 5) mas não será discutido no presente trabalho, uma vez que os casos práticos se baseiam no estudo dos RSCD e estes sistemas não influenciam este parâmetro.

A partir dos resultados obtidos pelo Método Australiano é também possível determinar a capacidade de uma corrente de tráfego. Utilizando a equação (4) anteriormente apresentada, obteve-se a capacidade de cada uma das vias analisadas.

Em geral, os três parâmetros alvos de estudo foram obtidos segregadamente por via de tráfego. Por esse motivo, no caso de sistemas semafóricos associados a uma corrente de tráfego com duas vias, assumiu-se que o respetivo débito de saturação, tempo perdido no arranque e capacidade são dados pela média destes parâmetros correspondentes a cada uma das vias.

Importa também referir que a combinação de veículos de classes diferentes numa mesma fila de espera perturba a fluidez da fila devido às características individuais de cada veículo, tais como a sua dimensão, peso e capacidade de manobra (Luna, 2003). Para efeitos de estudos comparativos, o uso de equivalência veicular (uvl) torna-se essencial, a fim de minimizar o erro presente nos resultados finais. No entanto, a aplicação de um método que considerasse o uso de equivalência veicular implicaria uma avaliação detalhada do modo de como obter os fatores apropriados capazes de anular os efeitos das características de cada veículo. Apesar da relevância desta avaliação, faria mais sentido ser abordada num trabalho elaborado para esse propósito. Por esse motivo, optou-se por calcular os indicadores de desempenho diretamente em veículos (veic), em diferentes locais sob condições geométricas semelhantes, de modo a que fosse possível a comparação de resultados. Uma vez que não foi aplicada a equivalência veicular, isto é, não foi feita a distinção de classes de veículos, tentou-se atenuar o erro dos resultados considerando apenas ciclos cuja fila de espera possuía, no máximo, um veículo pesado e/ou um veículo de duas rodas.

3.4 Seleção dos Locais de Estudo

Sendo ainda limitado o número de sistemas de contagem regressiva aplicados em Portugal, e de forma a facilitar os trabalhos de recolha de dados, optou-se por condicionar a seleção dos locais à cidade de Coimbra. Foram selecionadas 10 interseções semaforizadas, 5 delas com contagem regressiva e outras 5 sem serem dotadas desse tipo de sistemas. Os locais de estudo foram escolhidos de forma a apresentar alguma diversidade de características, nomeadamente quanto ao número de vias da corrente de tráfego, à inclinação longitudinal no trecho de aproximação, ao cruzamento e ao movimento direcional associados à corrente de tráfego.

Atendendo a que o comportamento do condutor tende a diferir consoante o sistema de contagem regressiva seja aplicado a um cruzamento ou a passagens pedonais isoladas, optou-se por limitar a seleção de locais a sistemas integrados em cruzamentos semaforizados de forma a eliminar essa variabilidade. Foram selecionados cruzamentos que apresentem trechos a jusante da intersecção completamente desimpedidos, de forma a garantir que a dissipação das filas estudadas não fosse comprometida. Como o tempo disponível para o desenvolvimento desta dissertação não se revela compatível com o desenvolvimento de estudos “antes e depois”, optou-se ainda por selecionar locais com características geométricas e de procura de tráfego semelhantes entre cada duas intersecções, com e sem contagem regressiva, respetivamente. Como referido anteriormente, o principal objetivo é comparar os valores obtidos ao nível de um conjunto limitado de indicadores de desempenho em vias associadas a cinco cruzamentos semaforizados com contagem regressiva e a cinco semáforos convencionais. No Quadro 3.2 encontram-se os pares de sistemas semafóricos utilizados nas análises comparativas. Apresenta-se de seguida uma descrição pormenorizada de cada local selecionado.

Quadro 3.2 – Sistemas semafóricos analisados

PARES DE SISTEMAS SEMAFÓRICOS	COM CONTAGEM REGRESSIVA	SEM CONTAGEM REGRESSIVA
A	Portagem (Ponte Santa Clara - Estação Nova)	Casa do Sal (Circular externa - Estação velha)
B	Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues)	Casa do Sal (Rotunda da Casa do Sal - Estrada de Coselhas)
C	Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas)	Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)
D	Portagem (Estação Nova - Av. Emídio Navarro)	Casa do Sal (Circular externa - Rotunda da Casa do Sal)
E	Celas (Alameda Calouste Gulbenkian - Cruz de Celas)	Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães - Casa do Sal)

3.4.1 Portagem (Ponte Santa Clara – Estação Nova) e Casa do Sal (Circular externa – Estação Velha)

Estas duas intersecções são de extrema importância para a circulação de Coimbra uma vez que são compostos por vias distribuidoras principais, fazendo a ligação entre as periferias e o centro da cidade.

O sistema semafórico com contagem regressiva analisado situa-se na interseção denominada de “largo da Portagem”, tendo sido selecionado o movimento direcional de viragem à esquerda, Ponte de Santa Clara - Estação Nova. Trata-se de uma corrente de tráfego com apenas uma via, numa zona plana. Atinge níveis elevados de procura de tráfego durante o período de ponta da manhã já que representa uma das principais entradas no centro urbano de Coimbra. Igualmente, a interseção selecionada na Casa do Sal dispõe também de uma via e de um ângulo de viragem similar ao registado no Largo da Portagem, contudo, está associado a um movimento direcional de viragem à direita e não possui contagem regressiva. Esta via faz a ligação entre a Circular externa e a Estação Velha, sendo mais utilizada durante o período de ponta da tarde.

Na Figura 3.1 é possível observar as filas de espera formadas pelos sistemas semafóricos objeto de estudo nos dois locais de Coimbra.



Figura 3.1 – Par A: Fila de espera no semáforo da (a) Portagem – sentido Ponte Santa Clara- Estação Nova; (b) Casa do Sal – sentido Circular externa- Estação Velha

3.4.2 Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues) e Casa do Sal (Rotunda Casa do Sal - Estrada de Coselhas)

À semelhança dos cruzamentos anteriores, também o cruzamento do Arnado em estudo é considerado como uma entrada na cidade, atingindo níveis de procura de tráfego muito elevados durante o período da manhã. O sistema semafórico estudado nesse local possui contagem regressiva e é destinado aos veículos que vêm da zona Norte da Avenida Fernão de Magalhães com destino à Rua Dr. Manuel Rodrigues - viragem à esquerda (Figura 3.2).

O semáforo selecionado para efeitos de comparação situa-se na Casa do Sal e é destinado aos veículos que se encontram junto ao cruzamento da Casa do Sal (norte) e viram em direção à Estrada de Coselhas (viragem à esquerda). É também um movimento sujeito a elevados níveis de procura de tráfego, designadamente durante o período da manhã já que é um dos principais acessos aos Hospitais da Universidade de Coimbra (HUC). Tal como todos os sistemas semafóricos da Casa do Sal, este também se trata de um semáforo convencional.

Ambos os semáforos se localizam em zonas planas, destinando-se a vias distribuidoras principais, onde as correntes de tráfego oferecem duas vias de tráfego.

A Figura 3.2 identifica os movimentos selecionados e as filas de espera criadas pelos sistemas semafóricos estudados nestes dois locais.



Figura 3.2 - Par B: Fila de espera no semáforo do (a) Arnado; (b) Casa do Sal – sentido Rotunda da Casa do Sal- Estrada de Coselhas

3.4.3 Cruzamentos de Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas) e do Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)

As vias selecionadas nestes dois cruzamentos são caracterizadas por estarem associadas a uma inclinação longitudinal positiva, ou seja, os veículos ficam imobilizados numa subida aquando do sinal luminoso vermelho, o que poderá influenciar o tempo perdido no arranque.

Em Celas, o movimento semafórico selecionado destina-se à corrente de tráfego de uma via que faz a ligação da Rua Dr. Augusto Rocha ao Largo da Cruz de Celas. A via possui uma inclinação média de aproximadamente 8% e é equipada de um sistema semafórico com contagem regressiva. Já no Cidral, mais precisamente no cimo da Rua Miguel Torga, o semáforo em estudo não possui contagem regressiva e destina-se a uma corrente de tráfego de uma via com uma inclinação média de 6,4%.

Celas e Cidral apesar de serem dois cruzamentos urbanos estão igualmente sujeitos a níveis elevados de procura de tráfego uma vez que se inserem na rede estruturante urbana de Coimbra, classificadas como distribuidoras principais. Estas vias são bastante procuradas no período de ponta da manhã devido à existência de diversos equipamentos escolares nas suas proximidades. De notar que tanto o sistema semafórico de Celas como o do Cidral possuem duas vias associadas, mas apenas foi contabilizada a via da esquerda, uma vez que o fluxo da via da direita poderia causar constrangimentos por permitir a viragem partilhada à direita.

Na Figura 3.3 é possível observar a fila de espera formada pelo sistema semafórico com contagem regressiva existente em Celas, onde é visível também a via da direita que não foi contabilizada pelo motivo já referido anteriormente. O semáforo presente no Cidral pode ser também observado na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Par C: Fila de espera no semáforo de (a) Celas – sentido Rua Dr. Augusto Rocha- Cruz de Celas; (b) Cidral

3.4.4 Portagem (Estação Nova – Av. Emídio Navarro) e Casa do Sal (Circular externa – Rotunda da Casa do Sal)

Os dois sistemas semafóricos alvos de estudo servem correntes de tráfego com duas vias associadas ao movimento de ida em frente. São ambos integrados em vias distribuidoras principais e encontram-se numa zona plana.

O semáforo situado na Portagem possui contagem regressiva tendo sido selecionado o sentido Estação Nova – Avenida Emídio Navarro. Para efeitos comparativos foi selecionado o sistema semafórico presente na Casa do Sal que não possui contagem regressiva e integra as duas vias que asseguram a ligação entre a Circular externa e o acesso à Ponte Açude e à Avenida Fernão de Magalhães.

Na Figura 3.4 observam-se as filas de espera criadas pelos sistemas semafóricos estudados nestes dois locais.

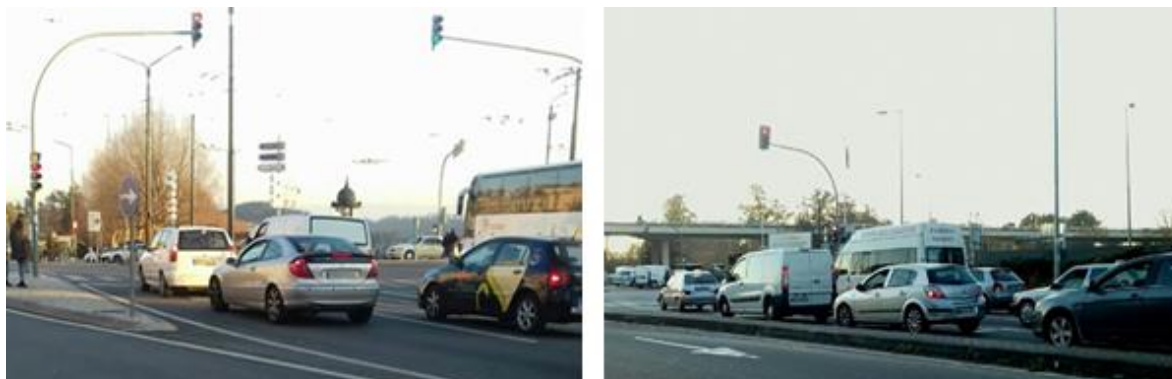


Figura 3.4 - Par D: Fila de espera no semáforo da (a) Portagem – sentido Estação Nova- Av. Emídio Navarro; (b) Casa do Sal – sentido Circular externa- Rotunda da Casa do Sal

3.4.5 Celas (Alameda Calouste Gulbenkian - Cruz de Celas) e Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães – Casa do Sal)

Os dois locais selecionados são caracterizados por se destinarem a correntes de tráfego com duas vias, de movimento em frente, sendo que as respetivas vias da direita servem também veículos que tencionam virar à direita. Inseridos em vias distribuidoras principais, ambos os sistemas semafóricos estão situados em cruzamentos sujeitos a níveis elevados de procura de tráfego.

O sistema com contagem regressiva localizado em Celas, faz a ligação entre a Alameda Calouste Gulbenkian e o Largo da Cruz de Celas, estando próximo não só de escolas básicas e secundárias, mas também de um dos polos da Universidade de Coimbra e dos Hospitais centrais. É, portanto, um local bastante procurado no período da manhã.

O semáforo selecionado para efeitos de comparação situa-se no fim da Avenida Fernão de Magalhães, no sentido da Rotunda da Casa do Sal, e é considerada uma saída da cidade, atingindo uma elevada procura de tráfego ao fim da tarde.

A Figura 3.5 apresenta as filas de espera criadas nos dois locais selecionados.



Figura 3.5 - Par E: Fila de espera no semáforo de (a) Celas – sentido Alameda Calouste Gulbenkian- Cruz de Celas; (b) Av. Fernão Magalhães – sentido Av. Fernão Magalhães- Casa do Sal

3.4.6 Indicadores dos Sistemas Semafóricos Analisados

Neste capítulo são apresentados alguns indicadores que caracterizam as interseções em estudo, designadamente o tempo de verde associado ao movimento selecionado, duração do ciclo e movimento direcional associado às correntes de tráfego a estudar. Estes encontram-se especificados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Indicadores dos sistemas semafóricos analisados

Pares de interseções	Local do sistema semafórico	Tempo de verde (seg)	Duração do ciclo (seg)	Movimento de viragem
A	Portagem (Ponte Santa Clara - Estação Nova)	46	125	esquerda
	Casa do Sal (Circular externa - Estação velha)	32	148	direita
B	Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues)	55	109	esquerda
	Casa do Sal (Rotunda da Casa do Sal - Estrada de Coselhas)	40	94	
C	Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas)	24	91	frente
	Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)	60	115	
D	Portagem (Estação Nova - Av. Emídio Navarro)	34	129	frente
	Casa do Sal (Circular externa - Rotunda da Casa do Sal)	32	136	
E	Celas (Alameda Calouste Gulbenkian - Cruz de Celas)	28	91	frente
	Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães - Casa do Sal)	49	130	

3.5 Períodos da Recolha de Dados

À semelhança da maioria dos centros urbanos, a cidade de Coimbra apresenta dois picos horários bem definidos: um no período da manhã, correspondente aos deslocamentos para o emprego e escolas, e outro ao fim da tarde, referente aos deslocamentos de regresso a casa. Atendendo a que o método australiano só é aplicável a períodos saturados, optou-se por fazer a recolha de dados em cada local durante os respetivos picos horários, de forma garantir essas condições de circulação.

Assim, as observações locais decorreram na hora de ponta da manhã, entre as 8h10 e as 9h30, na maior parte dos locais em estudo, uma vez que as vias selecionadas são maioritariamente utilizadas por condutores que entram na cidade, a fim de se dirigirem aos respetivos empregos. No entanto, excetuam-se as três vias provenientes da Circular externa com destino à Estação Velha ou à rotunda da Casa do Sal, já que existe uma maior procura destas vias no período de ponta da tarde, consequência do grande número de condutores que saem da cidade com destino às suas casas.

As medições decorreram durante várias semanas devido à dificuldade em reunir recursos humanos suficientes para abranger todas as interseções selecionadas. No entanto, é expectável que tal opção não acarrete diferenças significativas, uma vez que os dias selecionados para as

contagens mantiveram as características de base idênticas, ou seja, ocorreram durante dias de funcionamento normal da rede, desconhecendo-se que tenham ocorrido eventos relevantes que possam ter alterado o padrão de comportamentos na circulação. Não foram levadas a cabo observações durante o fim-de-semana por se considerar que o espectro de condutores tende a ser distinto do associado ao dia da semana, designadamente pela presença mais acentuada de condutores não habituais e com diferenciados motivos de viagem. É ainda importante referir que as condições meteorológicas foram similares nos vários dias em que decorreram as observações, com condições climatéricas favoráveis (boa luminosidade e pavimento seco).

3.6 Sessões de Recolha de Dados

A aplicação do Método Australiano para medição do débito de saturação, baseia-se num processo simples, mas que exige a disponibilidade de recursos humanos e uma pequena formação para que os observadores compreendam as tarefas a desempenhar. Para a recolha de dados é necessário recorrer a múltiplos observadores, uma vez que o método implica não só contar veículos e diferenciá-los por corrente de tráfego, mas também medir os tempos de verde e os três respetivos períodos (inicial, intermédio e final) associados a cada corrente de tráfego. Contudo, as limitações associadas aos recursos humanos levaram a que se optasse por estudar individualmente cada movimento, realizando observações de forma faseada.

De notar que os postos de observação se situam junto aos semáforos em estudo, e foram selecionados de forma a perceber o estado do sinal e simultaneamente conseguir visualizar o último veículo parado em fila de espera.

Para a utilização do Método Australiano as variáveis a medir, para cada via, são:

- Tempo de verde real de cada ciclo;
- Tempo de verde saturado, ou seja, o tempo de verde utilizado até a passagem do último veículo presente na fila;
- Número de veículos que passam em cada um dos três períodos (inicial, intermédio e final).

As tarefas foram divididas pelos dois operadores da seguinte forma: um cronometrava o tempo, enquanto que o outro contabilizava o número de veículos. A aplicação desta metodologia, exige assim 4 observadores para avaliação de correntes de tráfego com duas vias e apenas 2 para correntes de tráfego com uma via.

O processo de recolha de dados iniciava-se sempre que o sinal do sistema semafórico passava a verde. Trabalhando em conjunto, um operador fazia a cronometragem dos tempos associados a cada período enquanto o outro realizava a contagem de veículos, até passar o último veículo

integrado, no início do verde, na correspondente fila de espera. Este mesmo operador ficava responsável por anotar os tempos e o número de veículos nas folhas de medição.

No Quadro 3.3 é apresentado um resumo dos operadores associados a cada sistema semafórico.

Quadro 3.4 – Distribuição dos postos de recolha de dados

Pares de interseções	Local do sistema semafórico	Função		Corrente de tráfego
		Cronometragem	Contagem	
A	Portagem (Ponte Santa Clara - Estação Nova)	1	1	1 via
	Casa do Sal (Circular externa - Estação velha)	1	1	1 via
B	Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues)	2	2	2 vias
	Casa do Sal (Rotunda da Casa do Sal - Estrada de Coselhas)	2	2	2 vias
C	Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas)	1	1	1 via
	Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)	1	1	1 via
D	Portagem (Estação Nova - Av. Emídio Navarro)	2	2	2 vias
	Casa do Sal (Circular externa - Rotunda da Casa do Sal)	2	2	2 vias
E	Celas (Alameda Calouste Gulbenkian - Cruz de Celas)	2	2	2 vias
	Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães - Casa do Sal)	2	2	2 vias

Em consequência do elevado número de tabelas obtidas com a recolha de dados em todos os locais de estudo, o Anexo C apresenta, a título de exemplo, o registo das contagens realizadas apenas no sistema semafórico da Portagem (Ponte Santa Clara – Estação Nova), utilizando o Método Australiano.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo são analisados os dados recolhidos nas diferentes interseções e apresentados os respetivos resultados obtidos. A fim de determinar os três indicadores de desempenho em estudo, recorreu-se ao Método Australiano por se tratar de um método expedito. Assim, utilizando as equações (16), (17) e (4) apresentadas anteriormente, determinou-se o débito de saturação, o tempo perdido no arranque e, por inerência, a capacidade.

É importante realçar que no caso dos sistemas semafóricos associados a uma corrente de tráfego com duas vias, os três parâmetros foram determinados segregadamente por via de tráfego. Caso contrário, o número de veículos que atravessavam as interseções no período inicial seria muito elevado, para veículos que supostamente estariam a iniciar a marcha. Por conseguinte, assumiu-se que após obter os três indicadores de desempenho para cada uma das duas vias da corrente de tráfego, seria efetuada a média de ambas as vias, sendo esse o valor final obtido para cada indicador.

Nessa ótica, os resultados obtidos para cada interseção e para cada indicador são posteriormenete comparados, com base em representações gráficas. Optou-se ainda por fazer uma comparação de resultados não só entre pares de interseções, mas também entre interseções com características e geometrias semelhantes. Por fim, é também efetuada uma análise de regressão que procura correlacionar os resultados com a duração do ciclo e com a inclinação da via. No Anexo D encontram-se determinados os vários indicadores de desempenho.

As análises apresentadas neste capítulo assentam na aplicação do Quadro 3.3 e do Quadro 3.4, onde se encontram expostos os locais correspondentes a cada par de interseções e as correspondentes características prevaescentes.

4.2 Tempo Perdido no Arranque

A aplicação do Método Australiano à estimação do tempo perdido no arranque, resultou nos dados apresentados no Gráfico 4.1.

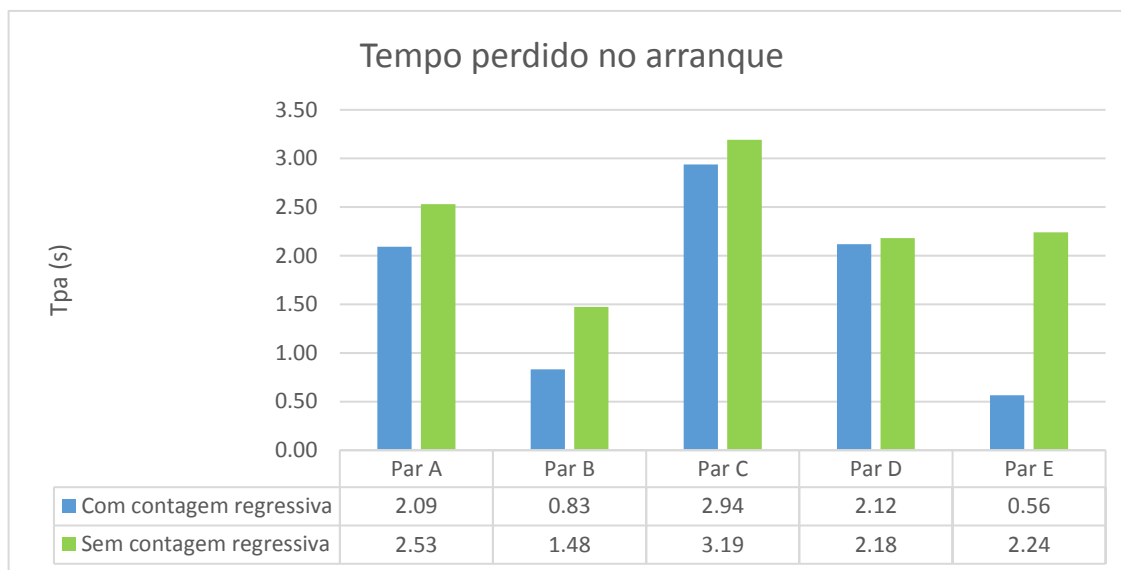


Gráfico 4.1 - Tempo perdido no arranque obtido para cada interseção

Como se pode constatar a partir do gráfico anterior, o tempo perdido no início de verde é, de forma generalizada, inferior nas interseções equipadas de sistemas com contagem regressiva. Apesar dessa tendência, verifica-se que a amplitude dessas diferenças é bastante diferenciada entre interseções, o que indicia a existência de outras variáveis relevantes. Este resultado responde ao expectável uma vez que os condutores, estando familiarizados com este tipo de sistemas, tendem a estar mais atentos à informação disponibilizada, diminuindo o tempo de reação. Deste modo, os condutores reduzem o seu tempo perdido no arranque, tornando a interseção mais eficiente a esse nível.

Observando o Gráfico 4.1, constata-se que as interseções localizadas no Cidral (par C) e na ligação da Rua Dr. Augusto Rocha à Cruz de Celas (par C), possuem os valores mais elevados de tempo perdido no arranque, com 3,19 e 2,94 segundos, respetivamente. Como já foi referido, o tempo perdido no início do verde tende a ser influenciado por diversos fatores, nomeadamente pela inclinação da via, uma vez que, os condutores tendem a arrancar mais devagar em rampas. Dado que as vias existentes em ambas as interseções têm uma inclinação de 6,4% e 8%, respetivamente, os tempos perdidos apresentam-se significativamente superiores aos das restantes interseções em análise, que se encontram em zonas planas.

Analisando de um modo geral, a diferença entre o tempo perdido mais elevado (par C – sem contagem regressiva) e o mais reduzido (par E – com contagem regressiva) é notória, atingindo praticamente os 2,65 segundos. Esta disparidade é explicada maioritariamente pela diferença nas inclinações das duas vias, mas importa ter em conta um aspecto adicional. A interseção correspondente ao menor tempo perdido no arranque situa-se em Celas (pertencente ao par E), e o sistema semafórico em estudo está associado ao movimento direcional Alameda Calouste

Gulbenkian – Cruz de Celas. Contudo, verificou-se que este tempo perdido é bastante pequeno atingindo um valor de 0,56 segundos. Na realidade, é provável que este valor inclua algum erro associado à imprecisão de medição. Este erro deve-se à dificuldade em identificar visualmente o fim da fila de espera, dada a existência de uma curva que dificulta a sua visualização. Contribui ainda para este resultado, o facto de, em alguns ciclos, a distância entre veículos se mostrar extremamente variável, o que provoca algumas inconsistências. A título de exemplo, num ciclo verificou-se que no período inicial de 10 segundos passaram 5 veículos e no período intermédio de 18 segundos passaram apenas 6 veículos, o que resulta em débitos de saturação inferiores aos fluxos obtidos no período de arranque.

Tal como o sistema semafórico situado no final da Alameda Calouste Gulbenkian, o do Arnado (referente ao par B) apresenta um tempo perdido no arranque bastante baixo, com apenas 0,83 segundos. Mais uma vez, este resultado pode dever-se ao facto de existir um outro sistema semafórico localizado 50 metros a montante do sistema em estudo e, por inerência, à tendencial formação de pelotões. Isto influencia os resultados finais uma vez que os últimos veículos presentes na fila de espera do sistema semafórico em estudo, tinham que parar quando o sinal do sistema a montante ficava vermelho. Desta forma, quando iniciava o tempo de verde no semáforo em análise, os últimos carros da fila de espera não entravam na contagem, já que ficavam retidos no semáforo anterior. Para uma melhor compreensão, a Figura 4.1 apresenta a localização do sistema semafórico alvo de estudo (ponto verde) e do sistema semafórico a montante que levou ao erro referido (ponto azul).



Figura 4.1 – Cruzamento do Arnado

Por fim, é possível observar uma grande discrepância entre o tempo perdido no arranque das duas interseções pertencentes ao par E, o que não se verifica nos restantes pares. Enquanto o

par E apresenta uma diferença entre tempos perdidos de aproximadamente 1,70 segundos, os restantes pares têm uma diferença de apenas décimos de segundo. Este facto deve-se em parte ao erro introduzido pela dificuldade em determinar o final da fila de espera no sistema semafórico de Celas.

4.3 Débito de Saturação

Os resultados correspondentes ao débito de saturação, para cada interseção, são apresentados no Gráfico 4.2.

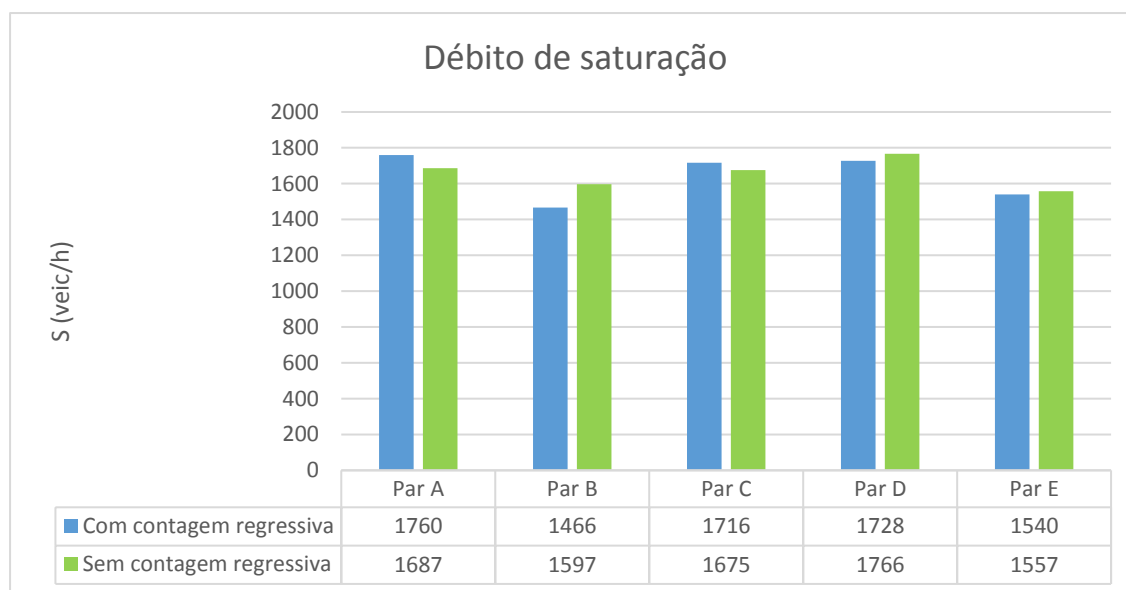


Gráfico 4.2 – Débito de saturação obtido para cada interseção

A partir do Gráfico 4.2 é possível verificar que não existe um padrão nos resultados obtidos, isto é, alguns pares de interseções apresentam um débito de saturação ligeiramente superior quando equipados de contagem regressiva, enquanto outros, apontam para valores ligeiramente inferiores.

Os pares A e C apresentam um débito de saturação mais elevado nas interseções providas de sistemas semafóricos com contagem regressiva, atingindo valores de 1760 e 1716 veic/h, respetivamente. Contudo, observa-se que as diferenças existentes entre os débitos de saturação em sistemas com e sem contagem regressiva nos pares A e C, são pouco significativas, não ultrapassando os 73 veic/h (4%, no par A). O mesmo acontece para os restantes pares de interseções, B, D e E, onde esta diferença apresenta-se mínima, não excedendo os 131 veic/h (8%, par B). Constata-se também que as interseções equipadas de sistemas semafóricos com contagem regressiva, pertencentes a estes últimos três pares referidos, possuem um débito de saturação menor do que nas interseções associadas aos sistemas convencionais.

Tendo em conta estes resultados, é possível afirmar que não se verifica uma diferença significativa no desempenho das interseções ao nível do débito de saturação, quando estas são equipadas com sistemas semafóricos de contagem regressiva em relação a interseções dotadas de sistemas convencionais. Estes resultados respondem ao expectável, uma vez que o débito de saturação depende das características da via (geometria, largura, movimentos de conversão, etc) e não do plano de temporização, pelo que as diferenças registadas se devem às diferenças intrínsecas entre os locais emparelhados e não propriamente à existência de sistema de contagem regressiva. Uma vez que houve o cuidado de se selecionar interseções com características muito semelhantes, de forma a ser possível a comparação, já seria de esperar as pequenas diferenças que se verificam, correspondentes aos erros intrínsecos à metodologia empregue.

4.4 Capacidade

A análise do desempenho das interseções em termos de capacidade teve por base um método diferente do utilizado na avaliação dos restantes indicadores. Não é possível a comparação entre os resultados associados a duas interseções distintas uma vez que o plano de temporização muda de interseção para interseção. Dessa forma, optou-se por avaliar o impacto da medida ao nível da capacidade de cada interseção em estudo, comparando a capacidade real calculada com uma capacidade simulada, caso essa interseção fosse (des)provida de sistema de contagem regressiva. Esta última é calculada efetuando-se uma simulação do modo que a interseção se comportaria em termos de capacidade se tivesse um tipo de sistema semafórico diferente, em função do tempo perdido no arranque e do tempo adicional de passagem da interseção que com ela faz par. Assim, foi necessário fazer esta comparação de interseção em interseção, mantendo o plano temporal, isto é, mantendo o tempo de verde real e a duração do ciclo constantes. Deste modo, obteve-se uma capacidade real e uma capacidade simulada, para cada uma das dez interseções estudadas.

É de salientar que nas situações em que não há registos no período final (ciclos não saturados), se optou por adoptar um tempo adicional de passagem nulo. Refira-se que não é expectável o registo de uma variação muito significativa do tempo adicional de passagem no final da fase associado a situações com e sem contagem regressiva, já que os sistemas estudados não eram providos de verde regressivo (GSCD). Por essa razão, nas intersecções não saturadas onde não se registou o período final, optou-se por anular o efeito desta variável.

Torna-se, também, importante referir que ao contrário dos restantes sistemas semafóricos em estudo, o semáforo destinado à corrente de tráfego que faz a ligação entre a Av. Fernão de Magalhães e a Casa do Sal é atuado, isto é, o tempo de verde é influenciado pela deteção imediata de veículos (TRB - HCM, 1997 *apud* Bonetti, 2001). Uma vez que se verificou a existência de diferentes tempos de verde no referido semáforo, para efeitos de cálculo da

capacidade assumiu-se que o verde útil (g) é obtido subtraindo-se o tempo perdido ao maior tempo de verde real (G) verificado, de todos os ciclos analisados – correspondente à temporização em tempos fixos.

O Quadro 4.1 apresenta, para cada intersecção estudada, os parâmetros assumidos nesta análise comparativa.

Quadro 4.1 – Parâmetros assumidos no cálculo de cada capacidade (real e simulada), para cada intersecção

	Capacidade	C (seg)	G (seg)	g (seg)	tpa (seg)	tap (seg)
Intersecção 1	real	125	46	48,1	2,09	4,16
	simulada			47,0	2,53	3,52
Intersecção 2	real	148	32	33,0	2,53	3,52
	simulada			34,1	2,09	4,16
Intersecção 3	real	109	55	54,2	0,83	0
	simulada			53,5	1,48	0
Intersecção 4	real	94	40	42,5	1,48	3,94
	simulada			43,1	0,83	3,94
Intersecção 5	real	91	24	23,6	2,94	2,52
	simulada			23,3	3,19	2,52
Intersecção 6	real	115	60	56,8	3,19	0
	simulada			57,1	2,94	0
Intersecção 7	real	129	34	33,4	2,12	1,49
	simulada			33,3	2,18	1,49
Intersecção 8	real	136	32	33,2	2,18	3,38
	simulada			33,3	2,12	3,38
Intersecção 9	real	91	28	30,0	0,56	2,58
	simulada			28,3	2,24	2,58
Intersecção 10	real	130	49	46,8	2,24	0
	simulada			48,4	0,56	0

Sendo:

Par A

1 - Portagem (Ponte Santa Clara - Estação Nova)

2 - Casa do Sal (Circular externa - Estação velha)

Par B

3 - Arnado (Av. Fernão Magalhães - Rua Dr. Manuel Rodrigues)

4 - Casa do Sal (Rotunda da Casa do Sal - Estrada de Coselhas)

Par C

5 - Celas (Rua Dr. Augusto Rocha - Cruz de Celas)

6 - Cidral (Rua Miguel Torga - Rua Santa Teresa)

Par D

7 - Portagem (Estação Nova - Av. Emídio Navarro)

8 - Casa do Sal (Circular externa – Rotunda da Casa do Sal)

Par E

9 - Celas (Alameda Calouste Gulbenkian – Cruz de Celas)

10 - Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães – Casa do Sal)

Os resultados da capacidade obtidos, para cada interseção, encontram-se apresentados no Gráfico 4.3.

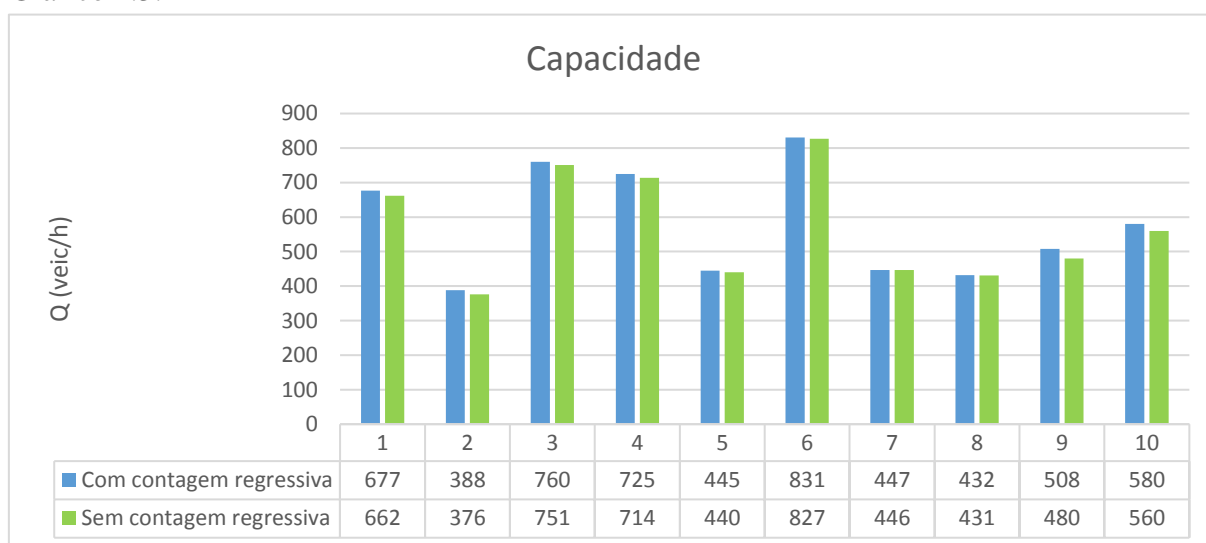


Gráfico 4.3 – Capacidade real e simulada obtidas para cada interseção

Os resultados apresentados no Gráfico 4.3 permitem concluir que a presença dos sistemas de contagem regressiva se traduz num ligeiro aumento da capacidade das interseções, sendo esse aumento patente em todas as interseções estudadas. Este resultado era expectável já que, como se tinha concluído anteriormente, o tempo perdido no arranque tende a diminuir ligeiramente nas interseções associadas a sistemas semafóricos com contagem regressiva. O impacto na capacidade depende naturalmente de forma direta do ciclo adoptado, sendo tanto maior quanto menor for esse ciclo. As interseções estudadas estão maioritariamente associadas a valores de ciclo de grande dimensão, tendo, por isso, o aumento na capacidade se mantido em valores ténues (inferiores a 5%).

Apesar disso, importa ter presente que a instalação de sistemas de contagem regressiva obriga à adopção de sistemas com funcionamento a tempos fixos, pelo que em termos práticos, o ligeiro aumento obtido ao nível da capacidade tende a ser francamente ultrapassado pela perda de eficiência do sistema, por não se revelar compatível com sistemas atuados. A sua aplicação, nomeadamente em interseções que funcionem perto do limiar de saturação (e, portanto, associados a ciclos de maior dimensão), não se revela recomendável.

4.5 Análise da Relação entre o Ciclo e o Tempo Perdido no Arranque

De forma a avaliar se a duração dos ciclos analisados influencia o tempo perdido no arranque em cada interseção, foram desenvolvidas regressões simples entre estas variáveis. A análise foi feita de forma segregada para os sistemas semafóricos com contagem regressiva e para os sistemas semafóricos convencionais. A curva que melhor se ajustou à distribuição dos pontos foi a curva polinomial. O coeficiente de determinação, R^2 , apresenta um valor bastante próximo da unidade para ambos os casos, indicando a qualidade do ajuste do modelo aos dados obtidos. A referida relação encontra-se esquematizada no Gráfico 4.4, no caso dos sistemas semafóricos com contagem regressiva, e no Gráfico 4.5, para os sistemas semafóricos convencionais. Cada interseção encontra-se representada pela respetiva designação do par a que pertence.

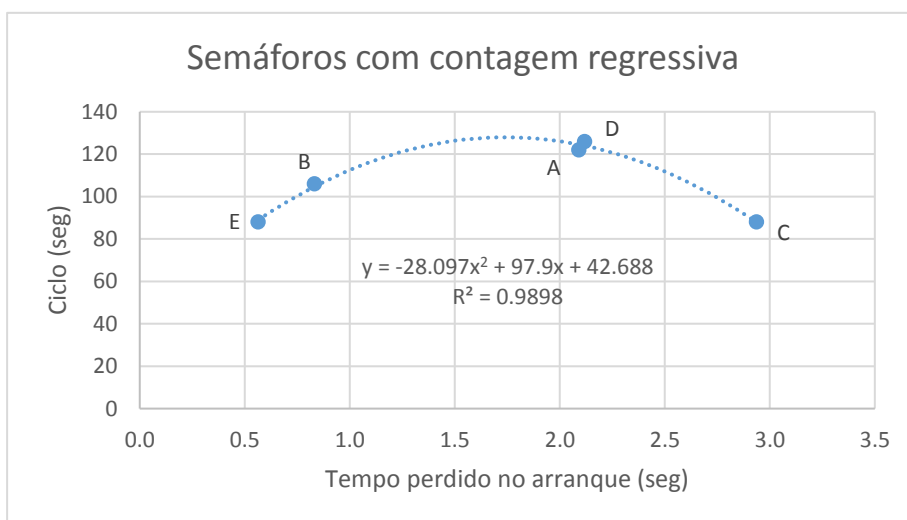


Gráfico 4.4 – Relação entre a duração do ciclo e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos com contagem regressiva

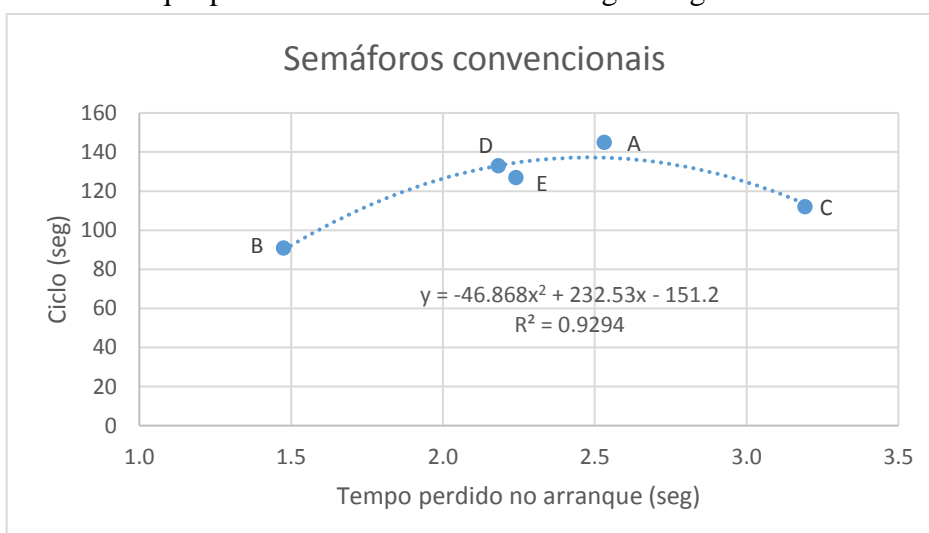


Gráfico 4.5 - Relação entre a duração do ciclo e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos convencionais

A observação dos gráficos anteriores evidencia que a curva polinomial segue a mesma tendência para os dois tipos de sistema semafórico. É evidente o aumento do tempo perdido no arranque com o aumento da duração do ciclo. É igualmente notório que para a mesma duração do ciclo, existem duas interseções (pertencentes aos pares E e C) que registam tempos perdidos no arranque bastante diferentes. A mesma tendência é observável no Gráfico 4.5, onde se verifica que a interseção equipada com semáforos convencionais pertencente ao par C, possui um tempo perdido no arranque muito elevado para uma duração de ciclo baixa, quando comparada com outras interseções com menor tempo perdido no arranque. É assim deduzível a existência de outros fatores que influenciam o t_{pa} . A inclinação longitudinal positiva, característica das duas interseções pertencentes ao par C, é o elemento diferenciador mais marcante pelo que se optou por estudar esta potencial correlação (ver ponto seguinte). Refira-se que o par C é o único associado a uma inclinação longitudinal significativa, mantendo a restante amostra inclinações compreendidas entre os 0 e os 2%, sensivelmente (ou seja, terreno plano). Se na correlação anterior, for eliminado o par C, a correlação entre o t_{pa} e o ciclo torna-se muito clara e acentuada.

Estes resultados respondem mais uma vez ao expectável, uma vez que ao ter a informação que o tempo de vermelho restante é elevado, os condutores tendem a desviar a sua atenção do semáforo e se distraírem com outras atividades e focos de interesse (telemóvel, leituras, diálogos, transeuntes, etc), não se apercebendo da mudança para o período de verde e causando maiores atrasos no arranque. O mesmo acontece no caso dos semáforos sem contagem regressiva, onde os condutores já familiarizados com o semáforo sabem, por experiência própria, que o tempo de espera vai ser longo, acabando por se distraírem.

4.6 Relação Inclinação – Tempo Perdido no Arranque

Foi elaborado um gráfico para cada um dos tipos de sistemas semafóricos de modo a perceber de que forma a inclinação longitudinal da via influencia o tempo perdido no arranque. Para tal, recorreu-se à cartografia pertença da Câmara Municipal de Coimbra, a fim de se estimar, com rigor, as inclinações longitudinais associadas a cada uma das interseções em estudo. Os resultados são sintetizados no Gráfico 4.6 e no Gráfico 4.7, correspondentes aos semáforos com contagem regressiva e aos semáforos convencionais, respetivamente.

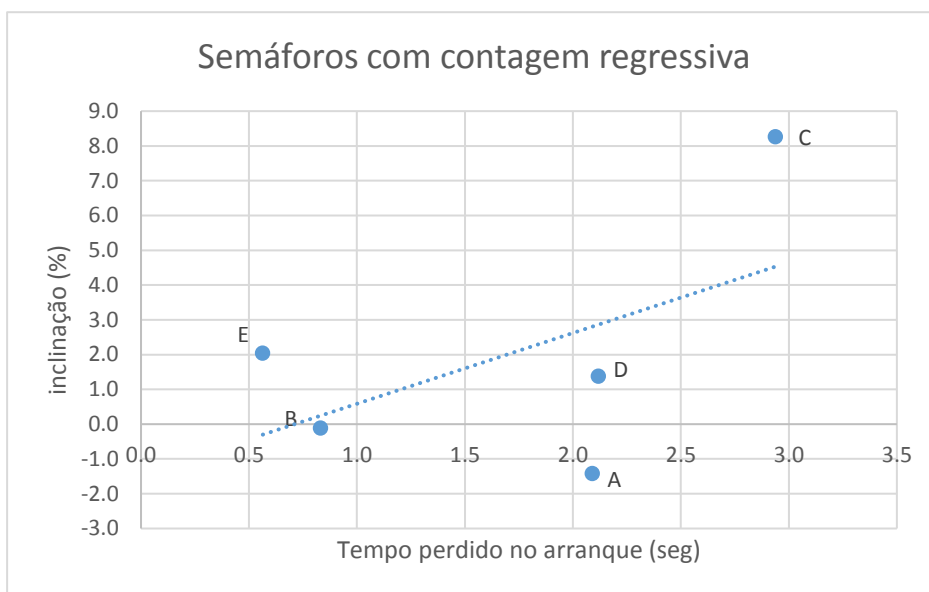


Gráfico 4.6 - Relação entre a inclinação e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos com contagem regressiva

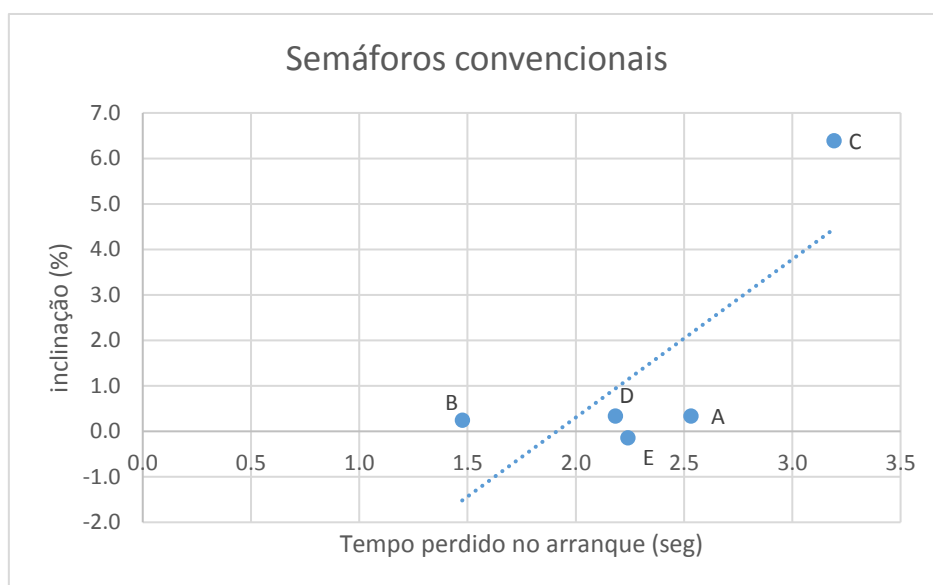


Gráfico 4.7 - Relação entre a inclinação e o tempo perdido no arranque, nas interseções que possuem semáforos convencionais

Nota-se que todas as interseções, com exceção das duas pertencentes ao par C, possuem uma inclinação extremamente reduzida, não tendo efeitos físicos consideráveis na dificuldade do arranque do veículo. É possível observar que, para inclinações bastante próximas, o tempo perdido no arranque toma valores muito diferentes, situação explicada pelas diferenças existentes nas características geométricas de cada interseção e no plano de temporização adotado (ver ponto anterior). A pequena dimensão da amostra, aliada à pouca variabilidade da

variável, já que a clara maioria das intersecções estudadas mantiveram inclinações longitudinais inferiores a 2%, inviabiliza a definição de uma relação robusta entre estas duas variáveis. Apesar disso, a tendência de aumento do tempo perdido no arranque com a inclinação longitudinal é perfeitamente evidente.

De facto, verifica-se que as intersecções relativas ao par C possuem inclinações elevadas, de aproximadamente 8,3% no caso da intersecção equipada com contagem regressiva e de 6,4% na intersecção com semáforo convencional. O par C é também o que possui um maior tempo perdido no arranque, como já se tinha concluído anteriormente.

Em síntese, e face às limitações da amostra, não é possível afirmar que exista uma correlação significativa entre a inclinação da via e o tempo perdido no arranque, sendo, contudo, evidente a existência de uma tendência clara.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A presente dissertação tinha como principal objetivo avaliar o efeito dos sistemas semafóricos de contagem regressiva no comportamento dos condutores, designadamente em termos de tempo de reação. Assim sendo, estudou-se e comparou-se o desempenho de sistemas integrados em cruzamentos “com e sem” *Red Signal Countdown Display* (RSCD), ao nível de três indicadores: tempo perdido no arranque, débito de saturação e capacidade. Para tal, foram selecionadas dez interseções semaforizadas, localizadas na cidade de Coimbra, sendo cinco equipadas com contagem regressiva e outras cinco sem serem dotadas desse tipo de sistemas, obtendo assim cinco pares de interseções, emparelhados entre si, e tendo por base as suas características prevaescentes semelhantes (geometria, condições de circulação).

Embora este estudo não se revele um trabalho acabado, permanecendo um conjunto de tarefas que deverão justificar a prossecução dos trabalhos, os resultados exploratórios obtidos permitem reunir, desde já, um conjunto de conclusões interessantes. Foi assim possível concluir que, genericamente, a implementação de um sistema de contagem regressiva se traduz na ligeira diminuição do tempo perdido no arranque e, por inerência, no aumento da capacidade do movimento. Esse impacto tende a ser relativamente modesto, verificando-se que o mesmo é diretamente dependente do ciclo adotado.

O trabalho permitiu ainda chegar a algumas conclusões específicas relacionadas com a relação existente entre o tempo perdido no arranque e alguns parâmetros que caracterizam o plano de regulação e a via onde este é aplicado, nomeadamente a duração do ciclo e a inclinação da via.

Posto isto, as principais conclusões a retirar da análise de resultados são as descritas em seguida:

- O tempo perdido no arranque tende a diminuir nas interseções equipadas de sistemas com contagem regressiva, tendo essa tendência sido observada nos cinco pares de cruzamentos em estudo. Este resultado responde ao expectável uma vez que, o condutor por conhecer o tempo de vermelho restante, tende a estar mais atento à informação fornecida pelo RSCD;
- Os resultados obtidos ao nível do débito de saturação foram instáveis e não consistentes, indiciando por isso a inexistência de uma influência direta do RSCD nesta variável. Apesar disso, também a este nível os resultados respondem ao expectável, uma vez que

este indicador depende maioritariamente das características prevaescentes da via e das características do tráfego, tendo-se tido o cuidado de selecionar para a amostra, interseções com características similares;

- A diminuição do tempo perdido no arranque, traduziu-se num ligeiro aumento da capacidade das interseções sempre que implantados sistemas semafóricos com contagem regressiva, embora esses aumentos se tenham revelado muito ligeiros, sendo sempre inferiores a 5%;
- O tempo perdido no arranque tende a aumentar à medida que a duração do ciclo também aumenta, o que indicia que, face a ciclos longos, os condutores tendem a desviar a sua atenção para outros focos de interesse;
- Existe uma tendência para o aumento do tempo perdido no arranque, à medida que a inclinação da via também aumenta.

Comparando os resultados obtidos no trabalho realizado com os apresentados na recolha bibliográfica, verifica-se que determinadas conclusões dos autores, vão de encontro às conclusões retiradas da presente dissertação.

Chiou e Chang (2010) efetuaram o estudo do tempo perdido no arranque, utilizando uma abordagem ‘antes e depois’ da instalação do sistema semafórico de contagem regressiva. Já Spigolon (2010) analisou, igualmente, o tempo perdido, mas também o débito de saturação e a capacidade, optando por realizar uma análise ‘com e sem’ o mesmo sistema. Tal como o presente trabalho, ambos os estudos concluíram que o tempo perdido no arranque seria menor na presença de um sistema com contagem regressiva. Contudo, Chiou e Chang (2010) verificaram que estes sistemas só seriam vantajosos em termos de tempo perdido, ao fim de 4,5 meses da instalação do equipamento.

Relativamente ao débito de saturação, Spigolon (2010) concluiu que este diminuía ligeiramente em todas as interseções em estudo. Igualmente, no presente trabalho constatou-se a existência de uma ligeira diferença entre o débito de saturação registado nas interseções com contagem regressiva e nas que não possuem este sistema. No entanto, os resultados apresentaram-se mais inconsistentes, não existindo um padrão nos mesmos. Posto isto, e tendo em conta que se utilizou também uma abordagem ‘com e sem’ semáforo de contagem regressiva, as ligeiras diferenças verificadas por Spigolon (2010) reforçam a ideia de que o débito de saturação depende das características da via e não do plano de temporização, pelo que estas diferenças se devem aos erros intrínsecos à metodologia adotada e não propriamente à existência do RSCD. Por fim, Spigolon (2010) efetuou o cálculo da capacidade e comparou os resultados obtidos entre interseções distintas, não sendo este o método mais correto uma vez que o plano de temporização muda de interseção para interseção. Assim sendo, ao contrário do que se concluiu na presente dissertação, o autor apresentou valores de capacidade ligeiramente inferiores nos

sistemas semafóricos com contagem regressiva. Porém, estes resultados são de fraca qualidade devido à metodologia adotada.

Em síntese, verifica-se que a implantação de um sistema de contagem regressiva afeta o comportamento do condutor, designadamente em termos de tempo perdido no arranque. Contudo em termos práticos, o ganho em termos de capacidade revelou ser praticamente negligenciável, pelo que a decisão de aplicar ou não este tipo de sistemas não deve ser pautada por critérios de capacidade e fluidez, tratando-se meramente de uma opção de política local. O custo adicional associado à aquisição do sistema, não deverá justificar os ganhos obtidos em termos operacionais, principalmente se se tiver ainda em atenção que a aplicação destes sistemas obriga a que os planos de regulação funcionem a tempos fixos e por consequência, sem poder tirar partido da adaptação do plano de regulação às condições reais da procura. A sua aplicação, não é, portanto, recomendável em interseções que funcionem perto do limiar de saturação.

Importa, contudo, ter presente que o trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação não contempla o impacto destes sistemas na segurança rodoviária, nem sobre os restantes utilizadores do sistema, pelo que as conclusões gerais deverão necessariamente ficar dependentes dessa análise global e multicritério.

5.2 Trabalhos Futuros

O trabalho desenvolvido na presente dissertação serve de referência para futuros estudos que tenham como objetivo avaliar a eficiência dos sistemas semafóricos com contagem regressiva. A metodologia empregue, mantém algumas fragilidades que importa ultrapassar em trabalhos futuros, seja em termos de dimensão da amostra, seja nas análises comparativas.

Assim, com o intuito de aprofundar e desenvolver este trabalho, apresentam-se de seguida algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo antes e depois da instalação dos sistemas semafóricos com contagem regressiva, a fim de assegurar a coerência e qualidade dos resultados. Poderá ser aproveitado um plano da Câmara Municipal que passe por instalar contagem regressiva nos sistemas semafóricos já existentes, e efetuar assim as contagens necessárias para o estudo, algumas semanas antes e depois desta alteração;
- Analisar um maior número de interseções, minimizando assim os efeitos de possíveis erros introduzidos pela metodologia aplicada ou simplesmente por erro humano;
- Ter em conta as diferentes classes de veículos que constituem o tráfego, convertendo cada tipo de veículo em unidade de veículo ligeiro (uvl). Deste modo, serão tidas em conta as características individuais de cada veículo, não comprometendo a credibilidade dos resultados finais;

- Avaliar o impacto dos sistemas semafóricos de contagem regressiva sobre os peões;
- Avaliar o desempenho destes sistemas em termos de segurança rodoviária.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamos, G., Nathanail, E. (2016). "Predicting the effectiveness of road safety campaigns through alternative research designs". *Journal of safety research*, v. 59, pp. 83-95.
- Bester, C. J., Varndell, P. J. (2002). "The effect of a leading green phase on the start-up lost time of opposing vehicles". 21st Annual South African Transport Conference.
- Bonetti, W., Pietrantonio, H. (2001). "Utilização de semáforos atuados pelo tráfego". Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Botha, J. L.; Zabyshny, A. A.; Day, J. E.; Northouse, R. L.; Rodriguez, J. O. e Nix, T. L. (2002). "Pedestrian countdown signals: an experimental evaluation". San Jose, v.1.
- Chiou, Y. C., Chang, C. H. (2010). "Driver responses to green and red vehicular signal countdown displays: Safety and efficiency aspects". *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, pp. 1057-1065.
- Haperen, W. (2015). "The effect of countdown timers on traffic flow and safety". Master Thesis in Transportation Sciences at the University of Hasselt, Belgium.
- HCM (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington D. C, Transportation Research Board.
- Henderson, I., Wood, K. (2005). "Computerised real-time saturation flow measurement for signalized traffic junctions". Transport Research Laboratory, UK. Association for European Transport.
- Huang, H. e Zegeer, C. (2000). "The effects of pedestrian countdown signals in Lake Buena Vista". Florida Department of Transportation.
- Keegan, O. e O'Mahony, M. (2003). "Modifying pedestrian behaviour". *Transportation Research, Part A.*, pp. 889-901.
- Kwan, W. L. (2008). "The use of vehicular countdown traffic signal in Hong Kong- A feasibility analysis". M.A. in Transport Policy and Planning Dissertation at the University of Hong Kong.
- Liu, C., Herman, R., Gazis, D. C. (1996) "A Review of the yellow interval dilemma", *Transportation Research A*, v. 30, n. 5, pp. 333-348.
- Lum, K. M., & Halim, H. (2006). "A before-and-after study on green signal countdown device installation". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v.9, pp. 29-41.
- Luna, M. (2003). "Fluxo de saturação: conceituação, aplicação, determinação e variação". Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, Brasil.

- Papaioannou, P., Politis, I. (2014). "Preliminary impact Analysis of countdown signal timer installations at two intersections in Greece". *Procedia Engineering*, v.84, pp. 634-647.
- Rijavec, R., Zakovsek, J., Maher, T. (2013). "Acceptability of countdown signals at an urban signalized intersection and their influence on drivers behaviour". *Traffic&Transportation*, v. 25, pp. 63-71.
- Seco, A. J. M., Antunes, A. J. P., Costa, A. H. P., Silva, A. M. B. (2008- A). "Manual de planeamento das acessibilidades e da gestão viária – Princípios básicos de organização de redes viárias". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Seco, A. J. M., Costa, A. H. P., Vasconcelos, A. L. P. (2008- B). "Manual de planeamento das acessibilidades e da gestão viária – Sinais luminosos". Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Sharma, A. (2011). "Impact of signal timing information on safety and efficiency of signalized intersections". *Civil Engineering Faculty Publications*. Paper 39.
- Silva, A. B. "Sinais luminosos". Departamento de Engenharia Civil da FCTUC.
- Silva, T. L. P. Q., Jacques, M. A. P. (2003). "Estimativa do headway de descarga em interseções semaforizadas com auxílio de redes neurais artificiais". *Revista Transportes*, v. 11, pp. 25-32.
- Spigolon, L. M. G. (2010). "Semáforo: Grupo Focal Convencional X Grupo Focal com Informação do Tempo de Verde/Vermelho Restante". Dissertação de Mestrado em Ciências, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Sun, H., Yang, J., Wuang, L., Li, L., Wu, B. (2013). "Saturation flow rate and start-up lost time of dual-left lanes at signalized intersection in raint weather condition". *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, v. 96, pp. 270-279.
- Wanty, D. K., Wilkie, S. M. (2010). "Trialling pedestrian countdown timers at traffic signals". NZ Transport Agency research report 428.
- Wei, C. H., Chen, C. H., Hu, S. R., Wen, C. L. (2010). "Driver behavior under the green signal countdown information", Taiwan National Science Council Research.

Google Maps.

<https://www.google.pt/maps/@40.2115435,-8.4247448,54m/data=!3m1!1e3>.

Acedido: novembro de 2016.

<https://www.google.pt/maps/place/Coimbra/@40.2068476,-8.429824,86a,35y,1.43h/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd22f8c2c7cbeeb7:0x400ebbde49031d0!8m2!3d40.2048286!4d-8.4403573>.

Acedido: novembro de 2016.

ANEXO A

Quadro A.1 - Resumo dos estudos efetuados aos sistemas semafóricos de contagem regressiva para veículos

Autor(es)	Metodologia de avaliação	Tempo em que a contagem regressiva é utilizada	Indicadores avaliados	Principais conclusões	Possíveis erros na metodologia
Chiou e Chang (2010)	Comparação de duas interseções: uma com e outra sem contagem regressiva	todo o tempo de verde e de amarelo (GSCD)	avanço ao sinal vermelho (<i>red-running</i>)	diminuiu	Foram utilizadas duas interseções diferentes
			zona de dilema	aumentou	
			decisão de cruzar a interseção	aumentaram as inconsistências nas decisões	
	Uma interseção: Comparação antes e depois da instalação da contagem regressiva	todo o tempo de vermelho (RSCD)	tempo perdido no arranque	aumentou após a instalação, mas diminuiu ao fim de 4,5 meses	As observações deste estudo deveriam abranger um maior período de tempo
<i>headway</i>			diminuiu		
<i>early start ratio</i>			diminuiu após a instalação, mas aumentou ao fim de 4,5 meses		
Lum e Halim (2006)	Uma interseção: Comparação antes e depois da instalação da contagem regressiva	Nove últimos segundos de verde	avanço ao sinal vermelho (<i>red-running</i>)	diminuiu	-
			decisão de cruzar a interseção	aumentou o <i>red-stopping</i>	
Spigolon (2010)	três cidades: em cada uma delas foram analisadas três interseções com contagem regressiva e três interseções sem contagem regressiva	tempo de verde e de vermelho	<i>headway</i>	aumentou	Foi utilizado uma média global para cada cidade, misturando dados de interseções diferentes
			tempo perdido	diminuiu	
	três cidades: em cada uma delas foram analisadas seis ou sete interseções, um ano antes e um ano após a instalação da contagem regressiva	tempo de verde e de vermelho	número de acidentes	diminuiu	-

ANEXO B

Quadro B.1 - Resumo dos estudos efetuados aos sistemas semafóricos de contagem regressiva para peões

Autor(es)	Metodologia de avaliação	Tempo em que a contagem regressiva é utilizada	Indicadores avaliados	Principais conclusões	Possíveis erros na metodologia
Keegan e O'mahony (2003)	Uma interseção: Comparação antes e depois da instalação da contagem regressiva	tempo de vermelho	número de peões que inicia o atravessamento no tempo de vermelho	diminuiu	-
Botha <i>et al.</i> (2002)	Quatro interseções: Comparação antes e depois da instalação da contagem regressiva	tempo de limpeza	número de peões que inicia o atravessamento no tempo de vermelho e no tempo de limpeza	o número de peões que iniciou o atravessamento no tempo de vermelho diminuiu; o número de peões que iniciou o atravessamento no tempo de limpeza aumentou	-
			número de peões que termina o atravessamento no tempo de vermelho e no tempo de limpeza	o número de peões que terminou o atravessamento no tempo de vermelho diminuiu; o número de peões que terminou o atravessamento no tempo de limpeza aumentou	
			número de peões á espera para atravessar a via	diminuiu	
Huang e Zegeer (2000)	Comparação de duas interseções com semáforos de contagem regressiva com três interseções com os semáforos convencionais	tempo de verde	obediência dos peões ao sinal verde	diminuiu	Foram utilizadas interseções diferentes
			número de peões que iniciou o atravessamento da via no tempo de verde e de limpeza e terminou no de vermelho	indiferente	
			número de peões que correram quando o tempo de vermelho iniciou e eles ainda se encontravam a realizar o atravessamento	diminuiu	

ANEXO C

Método Australiano – Par A

Local: Portagem (Ponte Santa Clara – Estação Nova)

Data: 16 de janeiro de 2017

Hora de início: 8h20

Quadro C.1 – Exemplo de registo das contagens realizadas

Nº Ciclo	Período inicial (veic)	Período intermédio (veic)	Período final (veic)	Tempo de saturação (seg)	Tempo de verde (seg)
1	3	16	0	46	46
2	4	19	2	46	46
3	4	18	2	46	46
4	4	19	3	46	46
5	5	17	3	46	46
6	4	19	2	46	46
7	3	19	3	46	46
8	5	17	3	46	46
9	5	18	1	46	46
10	5	17	1	46	46
11	4	20	2	46	46
12	4	20	2	46	46
13	4	19	1	46	46
14	4	18	1	46	46
15	4	19	1	46	46
16	3	19	2	46	46
17	4	18	3	46	46
18	3	18	3	46	46
19	4	17	3	46	46
20	5	15	3	46	46
21	4	18	1	46	46
22	3	16	2	46	46
23	3	14	1	46	46
24	4	16	1	46	46
25	3	17	3	46	46
26	2	18	2	46	46
27	3	16	2	46	46
28	4	17	1	46	46
29	4	18	2	46	46
30	5	16	3	46	46
TOTAL	116	528	59	1380	1380
AMOSTRA	30	30	29	30	30

ANEXO D

➤ Método Australiano – Par A

Local: Portagem (Ponte Santa Clara – Estação Nova)

Tempo de vermelho	76	seg
Verde útil (g)	48	seg
Verde útil (simulado)	47	seg
Duração ciclo (C)	125	seg

Débito de saturação	s	0,49	veic/seg	→	1760	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,09	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	4,16	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,188	veic/seg	→	677	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,184	veic/seg	→	662	veic/h

Local: Casa do Sal (Circular externa – Estação Velha)

Tempo de vermelho	113	seg
Verde útil (g)	33	seg
Verde útil (simulado)	34	seg
Duração ciclo (C)	148	seg

Débito de saturação	s	0,47	veic/seg	→	1687	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,53	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,52	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,104	veic/seg	→	376	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,108	veic/seg	→	388	veic/h

➤ Método Australiano – Par B

Local: Arnado (Av. Fernão Magalhães – Rua Dr. Manuel Rodrigues)

Tempo de vermelho	51	seg
Verde útil (g)	54	seg
Verde útil (simulado)	54	seg
Duração ciclo (C)	109	seg

Via direita

Débito de saturação	s	0,42	veic/seg	→	1530	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	0,90	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,211	veic/seg	→	760	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,209	veic/seg	→	751	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,39	veic/seg	→	1403	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	0,76	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,194	veic/seg	→	697	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,191	veic/seg	→	689	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,41	veic/seg	→	1466	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	0,83	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,202	veic/seg	→	729	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,200	veic/seg	→	720	veic/h

Local: Casa do Sal (Rotunda da Casa do Sal – Estrada de Coselhas)

Tempo de vermelho	51	seg
Verde útil (g)	42	seg
Verde útil (simulado)	43	seg
Duração ciclo (C)	94	seg

Via direita

Débito de saturação	s	0,44	veic/seg	→	1581	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	1,73	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,80	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,198	veic/seg	→	714	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,201	veic/seg	→	725	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,45	veic/seg	→	1614	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	1,22	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	4,09	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,203	veic/seg	→	729	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,206	veic/seg	→	740	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,44	veic/seg	→	1597	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	1,48	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,94	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,200	veic/seg	→	722	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,203	veic/seg	→	733	veic/h

➤ Método Australiano – Par C

Local: Celas (Rua Dr. Augusto Rocha – Cruz de Celas)

Tempo de vermelho	64	seg
Verde útil (g)	24	seg
Verde útil (simulado)	23	seg
Duração ciclo (C)	91	seg

Débito de saturação	s	0,48	veic/seg	→	1716	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,94	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	2,52	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,124	veic/seg	→	445	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,122	veic/seg	→	440	veic/h

Local: Cidral (Rua Miguel Torga – Rua Santa Teresa)

Tempo de vermelho	52	seg
Verde útil (g)	57	seg
Verde útil (simulado)	57	seg
Duração ciclo (C)	115	seg

Débito de saturação	s	0,47	veic/seg	→	1675	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	3,19	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,230	veic/seg	→	827	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,231	veic/seg	→	831	veic/h

➤ Método Australiano – Par D

Local: Portagem (Estação Nova – Av. Emídio Navarro)

Tempo de vermelho	92	seg
Verde útil (g)	33	seg
Verde útil (simulado)	33	seg
Duração ciclo (C)	129	seg

Via Direita

Débito de saturação	s	0,47	veic/seg	→	1693	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,06	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	2,98	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,122	veic/seg	→	438	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,121	veic/seg	→	437	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,49	veic/seg	→	1763	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,17	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,127	veic/seg	→	456	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,126	veic/seg	→	455	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,48	veic/seg	→	1728	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,12	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	1,49	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,124	veic/seg	→	447	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,124	veic/seg	→	446	veic/h

Local: Casa do Sal (Circular externa – Rotunda da Casa do Sal)

Tempo de vermelho	101	seg
Verde útil (g)	33	seg
Verde útil (simulado)	33	seg
Duração ciclo (C)	136	seg

Via direita

Débito de saturação	s	0,50	veic/seg	→	1805	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,36	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,35	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,122	veic/seg	→	441	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,123	veic/seg	→	442	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,48	veic/seg	→	1727	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,01	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,42	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,117	veic/seg	→	422	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,117	veic/seg	→	422	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,49	veic/seg	→	1766	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,18	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	3,38	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,120	veic/seg	→	431	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,120	veic/seg	→	432	veic/h

➤ Método Australiano – Par E

Local: Celas (Alameda Calouste Gulbenkian – Cruz de Celas)

Tempo de vermelho	60	seg
Verde útil (g)	30	seg
Verde útil (simulado)	28	seg
Duração ciclo (C)	91	seg

Via direita

Débito de saturação	s	0,43	veic/seg	→	1564	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	1,10	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	2,80	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,143	veic/seg	→	516	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,135	veic/seg	→	487	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,42	veic/seg	→	1516	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	0,03	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	2,37	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,139	veic/seg	→	500	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,131	veic/seg	→	472	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,43	veic/seg	→	1540	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	0,56	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	2,58	seg			
Capacidade real	Q_c / contagem regressiva	0,141	veic/seg	→	508	veic/h
Capacidade simulada	Q_s / contagem regressiva	0,133	veic/seg	→	480	veic/h

Local: Av. Fernão Magalhães (Av. Fernão Magalhães – Casa do Sal)

Tempo de vermelho	78	seg
Verde útil (g)	47	seg
Verde útil (simulado)	48	seg
Duração ciclo (C)	130	seg

Via direita

Débito de saturação	s	0,44	veic/seg	→	1587	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	3,04	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,159	veic/seg	→	571	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,164	veic/seg	→	591	veic/h

Via esquerda

Débito de saturação	s	0,42	veic/seg	→	1528	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	1,44	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,153	veic/seg	→	550	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,158	veic/seg	→	569	veic/h

Média

Débito de saturação	s	0,43	veic/seg	→	1557	veic/h
Tempo perdido no arranque	tpa	2,24	seg			
Tempo adicional de passagem	tap	0	seg			
Capacidade real	Q_s / contagem regressiva	0,156	veic/seg	→	560	veic/h
Capacidade simulada	Q_c / contagem regressiva	0,161	veic/seg	→	580	veic/h