

# **GESTÃO DE INTERSECÇÕES RODOVIÁRIAS – FUNCIONAMENTO EM MODELOS DE ROTUNDA**

PAULO MATOS MARTINS

*PROF. ADJUNTO, ISEL.*

EDUARDO NABAIS

*ENCARREGADO DE TRABALHOS, ISEL*

RUI CABRAL

*TÉCNICO SUPERIOR, IEP - SANTARÉM*

## **RESUMO**

Analisa-se a problemática da gestão das intersecções rodoviárias, numa perspectiva adaptativa destas às variações da procura, de forma a satisfazer os adequados níveis de capacidade, segurança<sup>1</sup> e comodidade. Faz-se referência à necessidade de proceder ao redimensionamento das intersecções de nível, enquadrando essa evolução num contexto mais lato do que a perspectiva única do aumento de capacidade. Apresenta-se um pequeno levantamento comparativo das metodologias de referência para o dimensionamento de intersecções giratórias. Com base nestas comparações podem surgir algumas interrogações acerca das motivações por detrás da dispersão, quer das formulações teóricas, quer dos resultados práticos obtidos. Apontam-se algumas pistas prováveis para as diferenças encontradas, bem como alguns caminhos para melhorar a percepção e mitigar essas diferenças.

## **1. INTRODUÇÃO**

A gestão da infra-estrutura rodoviária assenta sistematicamente num ‘confronto’ entre a oferta disponibilizada e a procura (os utilizadores). Quando esse ‘confronto’ é pacífico e corre bem podemos afirmar que estamos numa situação de equilíbrio. No entanto, este equilíbrio é dinâmico e precário a médio/longo prazo, devido à procura de transportes ser, por um lado, uma procura derivada, dependente das cadeias de actividades dos utilizadores. Por outro lado, por ser uma procura induzida, quer através da alteração da própria oferta de infra-estrutura, quer através de outros factores, intrínsecos ou não, ao Sector dos Transportes.

---

<sup>1</sup> Da intersecção em si, e como medida de *acalmia de tráfego* nas vias adjacentes.

No âmbito da gestão da infra-estrutura, apresentam-se algumas ideias relativas à problemática das intersecções rodoviárias não semaforizadas, quer estas se integrem em meio urbano, ou ambiente interurbano<sup>2</sup> (rural). Discute-se nomeadamente a problemática da transformação das intersecções clássicas (cruzamentos de nível) em intersecções giratórias (rotundas).

Não querendo aprofundar e detalhar os conceitos de engenharia de tráfego rodoviário subjacentes ao dimensionamento dos diversos tipos de intersecções, neste artigo adopta-se uma postura de síntese, na qual se procura entender quais serão, além dos conceitos técnicos já citados, outros factores que poderão estar em jogo na tomada de decisões acerca da tipologia das novas intersecções a construir, ou da remodelação de intersecções já existentes, levando à sua transformação em intersecções giratórias. A problemática da comparação e transformação em intersecções semaforizadas não é abordada no artigo.

Dois pontos concretos serão abordados com ênfase. Primeiro, o **suporte à decisão** tem que ser efectuado com base, não só nos indicadores de tráfego (capacidade, segurança e comodidade), mas antes com base na quantificação dos seus impactes sociais globais – custo das infra-estruturas, dos atrasos e congestionamento, dos acidentes potenciais, do valor subjectivo que os utilizadores atribuem ao aumento da sua comodidade. Em suma, **com base na quantificação dos custos e benefícios sociais**, através de uma análise específica, que inclua também a alternativa de *não fazer*.

No segundo ponto, a desenvolver numa perspectiva técnica mais restrita (mas indirectamente ligada à anterior), surge após algumas análises efectuadas pelos autores a diversas intersecções giratórias existentes, com condições de funcionamento distintas, cuja análise leva ao surgimento de algumas questões que os autores consideram relevante serem abordadas.

No nosso país verificou-se nos últimos 15 anos o ‘surgimento’ quase espontâneo de dezenas e dezenas de rotundas, muitas das quais tecnicamente muito bem conseguidas, havendo no entanto outras cujo resultado (e investimento) final carecem de objectividade e melhor justificação à luz do normativo técnico actual, o qual já é bastante completo, do ponto de vista do dimensionamento rodoviário [5]. É à luz desse panorama que surge a questão de tentar perceber até que ponto poderemos ir um pouco mais longe na percepção e caracterização dos comportamentos dos condutores, enquanto utilizadores das intersecções giratórias. Haverá diferenças de comportamento entre os condutores em meio urbano e em meio interurbano? Como é que essas diferenças se reflectem na capacidade e segurança? Há diferenças de comportamento entre os condutores portugueses e outros condutores europeus? Será que as diferentes formulações de cálculo são baseadas só na diferença das regras locais impostas (o

---

<sup>2</sup> Os autores adoptam neste artigo a designação interurbano para referenciar o ambiente que tradicionalmente na literatura anglo-saxónica é designado por *rural*.

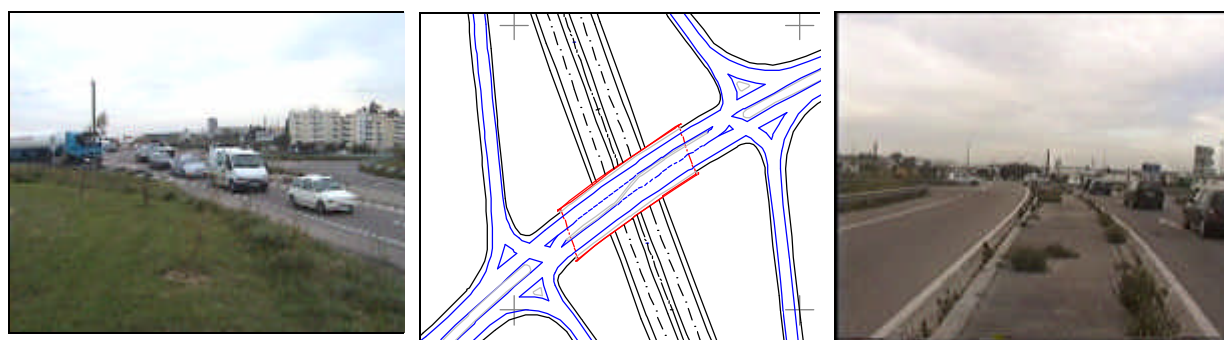
Código da Estrada) ou existem outros *drivers* de comportamento humano que explicam essas diferenças?

## 2. GESTÃO DO SISTEMA RODOVIÁRIO – REDIMENSIONAMENTO DE INTERSECÇÕES

A substituição de intersecções rodoviárias de nível por rotundas é uma das alternativas possíveis para a resolução de problemas de congestionamento e/ou segurança do sistema rodoviário. As abordagens tradicionais são muitas vezes executadas utilizando somente conceitos de engenharia de tráfego rodoviário: analisa-se o cenário actual, criam-se cenários futuros, a 10-15 anos, com base em previsões de tráfego e caracteriza-se a situação no ano horizonte, nomeadamente através da verificação da capacidade da intersecção e da classificação desta em termos de nível de serviço. Os dados base utilizados neste tipo de análise são:

- A procura (tráfego) que “usa” a intersecção;
- A configuração geométrica da intersecção e;
- As regras de trânsito aplicadas, de forma a ser possível hierarquizar os movimentos.

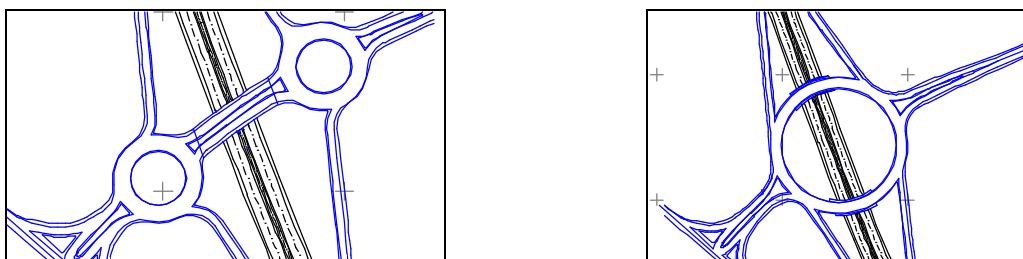
A finalidade imediata é a de determinar a capacidade e o atraso total sofrido pelos veículos que circulam, traduzindo-se num nível de serviço de cada movimento – actual e no ano horizonte. Na figura 1 apresenta-se o exemplo de um nó desnivelado<sup>3</sup>, cuja materialização resulta na existência a montante e a jusante de duas intersecções de nível.



**Figura 1 – Nó do Girão - Santarém**

<sup>3</sup> O nó apresenta uma configuração em diamante, e corresponde à resolução da intersecção desnivelada entre a via rápida, a zona industrial e a EN3.

Na figura 2 apresentam-se duas alternativas estudadas para a transformação do nó, através duma solução tipo 'Dumbell' (figura da esquerda) ou através duma solução do tipo 'ponte dupla' (figura da direita).



**Figura 2 – Ensaio de soluções com intersecções giratórias**

As alternativas estudadas devem abordar directamente as questões relacionadas com o dimensionamento da infra-estrutura, (estas serão abordadas na próxima secção), mas a avaliação das mesmas deve ser feita em função do balanço de custos e benefícios sociais previstos para cada solução – incluindo a solução de não fazer nada. Ou seja, após a identificação das alternativas possíveis/viáveis e do seu correcto dimensionamento rodoviário para a vida útil prevista, devem ser analisados todos os custos (nomeadamente de expropriação, construção/transformação e manutenção), incluindo todos os impactes sociais e ambientais que cada solução implica. Como já foi referido, devem também ser analisados os impactes da solução *nada fazer*.

As diversas opções devem ser apresentadas ao decisor que fará uma análise global e que, de acordo com as políticas/directivas de transportes implementadas, tomará em sede própria a sua decisão. A decisão política deverá tendencialmente recair, a bem da eficiência económica do sistema, na solução com um retorno sócio-ambiental mais elevado. No entanto, é aceitável que possam existir outros factores políticos de peso que tendam a alterar o sentido das decisões. Se os balanços de custos sócio-ambientais forem efectuados com rigor, poder-se-á avaliar o custo económico da decisão política de uma forma objectiva e mais perceptível para a população em geral.

Quando se aborda a problemática dos custos sócio-ambientais [2], tem que se considerar exhaustivamente todas as categorias de custos envolvidas, pois de outra forma não é possível fazer uma análise de custo-benefício ou de maximização do bem-estar social exhaustiva e correcta. Nos próximos parágrafos enumeram-se as principais categorias de custos sócio-ambientais associados aos sistemas de transportes rodoviários, assinalando-se aquelas que são mais relevantes no contexto da presente análise. As categorias de custos foram divididas em três sub-grupos, de acordo com a sua natureza:

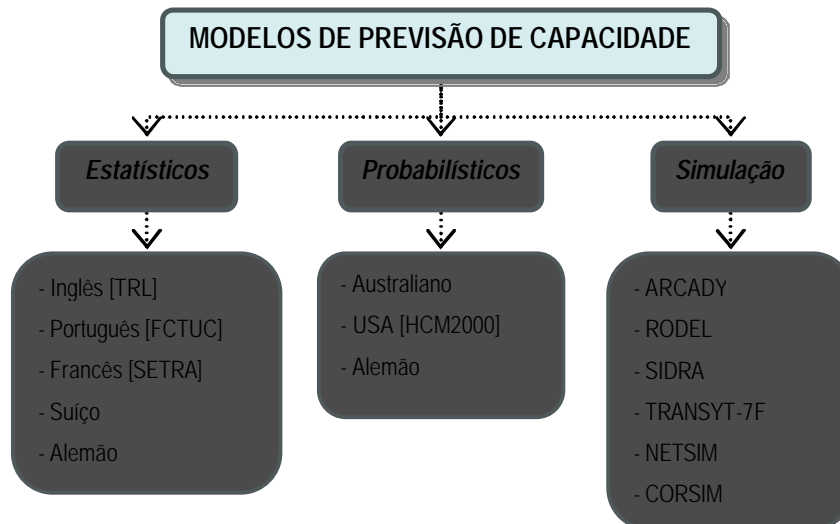
1. Custos financeiros clássicos:
  - Custo das expropriações (+++ em meio urbano; ++ em meio rural);
  - Custo da construção e/ou transformação e manutenção da infra-estrutura (+++);
  - Custos de operação dos veículos (assume especial importância nos transportes públicos) (-);
  
2. Custos associados à degradação da qualidade de vida das populações, que se podem designar por impactes de carácter social, cujo reconhecimento não está tão divulgado como as da categoria anterior, mas que poderá ter reflexos negativos muito graves, quer na qualidade de vida das populações. A saber, referem-se os custos com:
  - Acidentes (+++);
  - Congestionamento (+++)
  - Outros impactes sociais de carácter localizado.
  
3. Custos associados aos danos no ambiente, que representam as tradicionais Externalidades Ambientais. São maioritariamente custos de oportunidade. Refere-se a:
  - Poluição Atmosférica (+);
  - Efeito de Estufa (+);
  - Ruído (+);
  - Outros impactes ambientais de carácter localizado (vibrações, etc);

Nitidamente, quando se faz a avaliação de uma solução, é fundamental calcular estimativas dos custos financeiros incorridos durante o período de vida das componentes (incluindo manutenção, depreciação e custo de oportunidade do capital); bem como estimativas dos benefícios alcançados: redução dos custos sociais do congestionamento e dos acidentes (incluindo o *Valor Estatístico da Vida Humana*), etc. e redução, ainda que menos significativa, dos custos ambientais. Estes últimos, no caso das intersecções, são colaterais e não têm um impacte tão preponderante como o da redução do custo do congestionamento e dos acidentes.

A gestão e, em particular, o (re)dimensionamento de intersecções rodoviárias, devem obedecer às condicionantes descritas, de forma a cumprirem todos os requisitos fundamentais para se conseguir a maior eficácia possível em termos da mobilidade, seguindo no entanto as regras da boa eficiência económica na gestão dos recursos limitados das sociedades modernas.

### **3. METODOLOGIAS DE REFERÊNCIA NO DIMENSIONAMENTO DE INTERSECÇÕES GIRATÓRIAS**

Existem diversos modelos de previsão de capacidade utilizados no dimensionamento de intersecções giratórias, diferenciando-se em 3 grupos pela forma como determinaram a sua formulação, como mostra a figura 3.



**Figura 3 – Modelos de dimensionamento de rotundas**

Considerando a diversidade de modelos existentes optou-se por apresentar aqueles que têm maior potencial de utilização no nosso país.

### 3.1 Modelos estatísticos

Este tipo de modelos procura de uma forma empírica, a curva da capacidade, com recurso a observações em campo, em diversas intersecções giratórias, em diferentes locais, efectuadas durante períodos de saturação e em diferentes entradas com características geométricas diferenciadas e para níveis de fluxos prioritários variados.

#### 3.1.1 Modelo Inglês (TRL – Transport Research Laboratory) e o modelo Português (FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra)

O modelo Inglês (TRL), baseado no estudo de Kimber de 1980, propõe uma fórmula linear para o cálculo da capacidade da entrada numa rotunda:

$$Q_e = k(F - f_c Q_c) \quad (3.1)$$

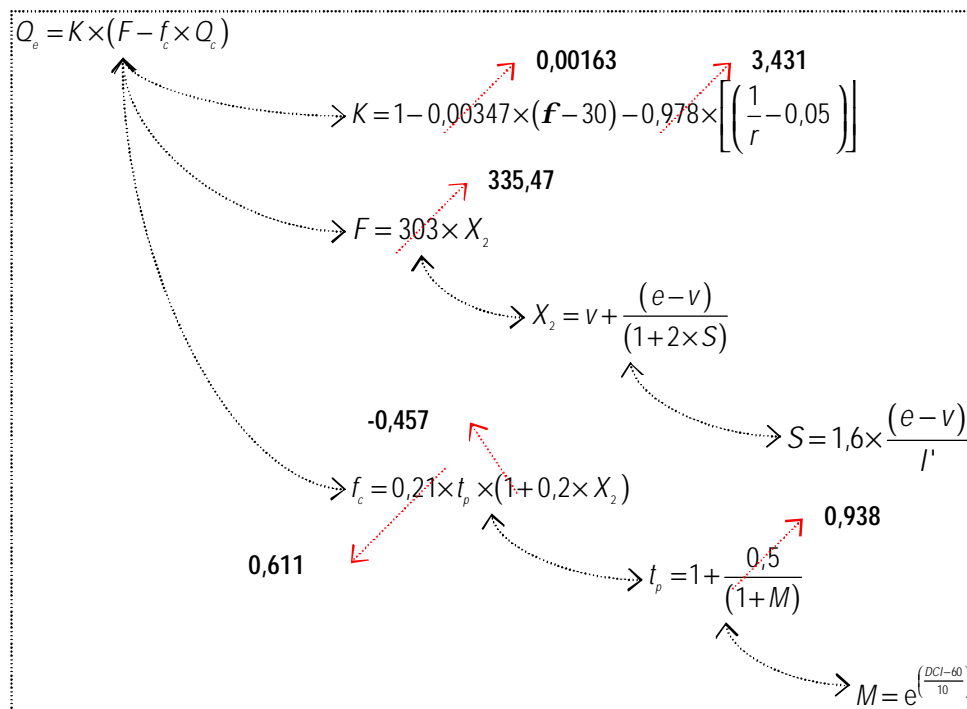
Em que:  $Q_e$  = Capacidade de entrada  
 $Q_c$  = Fluxo de circulação  
 $K, F, f_c$  = Variáveis em função das características geométricas da rotunda

Teve como base uma amostra de 86 rotundas, totalizando mais de 11000 minutos de observação em estradas saturadas. Relaciona de uma forma linear a capacidade de entrada com o fluxo conflituante e os coeficientes F e  $f_c$  (parâmetros geométricos).

Para rotundas desniveladas, a metodologia é idêntica à anteriormente apresentada, atribuindo coeficientes diferentes à expressão inicial:

$$Q_e = k(1,11F - 1,4f_c Q_c) \quad (3.2)$$

O modelo Português, foi baseado na base de dados, bem como nos resultados de estudos anteriormente desenvolvidos [5]. Teve como base em registos de 11 entradas de 8 rotundas nacionais, 4 das quais (correspondentes a 6 entradas) localizadas em zona urbana, totalizando mais de 952 minutos de observações. Tomando como referência dois métodos, o TRL (Inglês) e o SETRA (Francês), em que o TRL adaptado foi o que demonstrou explicar a maior percentagem da capacidade observada (61,7%), como se apresenta na figura 4.



**Figura 4 – Modelo Português (FCTUC), baseado no modelo Inglês (TRL)**

### 3.2 Modelos probabilísticos

Os modelos denominados probabilísticos, procuram relacionar a distribuição do fluxo dos veículos da corrente que circula dentro das intersecções giratórias, que é prioritária, com o fluxo de chegada dos veículos provenientes das vias de acesso, secundárias, partindo do princípio que ambas as distribuições são aleatórias, assumindo uma determinada lei de aceitação de intervalos entre veículos. A formulação destes modelos requer poucas amostras.

### 3.2.1 Modelo Americano (HCM 2000 – “Highway Capacity Manual 2000”)

A investigação efectuada por Aimee Flannery [6] conduziu a uma análise através da lei de aceitação de folgas, tendo como base uma amostra de 4 rotundas. O modelo Americano (HCM 2000) propõe a seguinte formula para o cálculo da capacidade da entrada:

$$Q_e = \frac{Q_c e^{-\frac{Q_c T}{3600}}}{1 - e^{-\frac{Q_c T_e}{3600}}} \quad (3.26)$$

Em que:  $Q_e$  – Capacidade de entrada  
 $Q_c$  – Fluxo de circulação e que atravessa frontalmente a entrada em estudo  
 $T$  – Folga crítica (valores entre 4,1 a 4,6 segundos)  
 $T_0$  – Tempo de seguimento (valores entre 2,6 a 3,1 segundos)

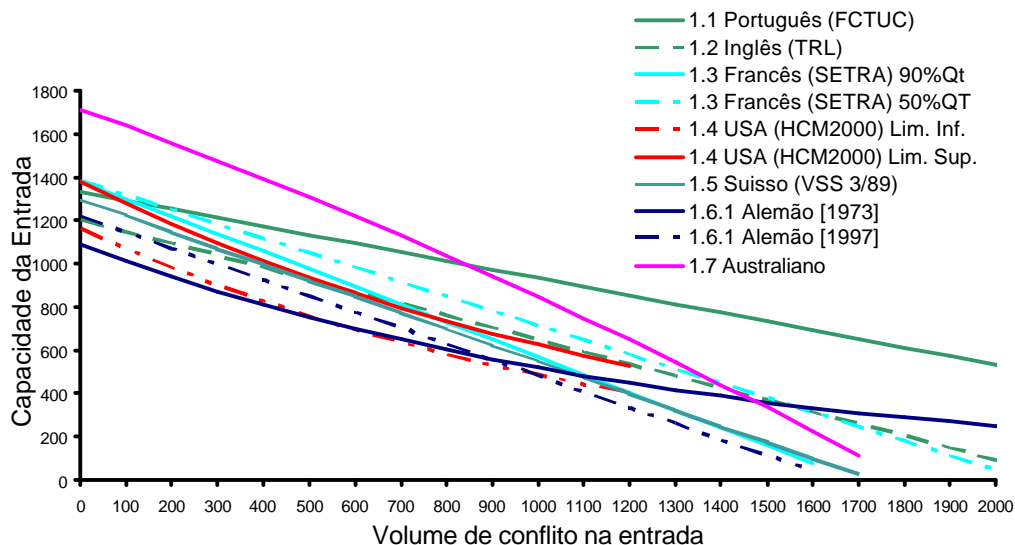
A formulação só é válida para volumes de conflito inferiores a 1200 veic./h e em rotundas de uma só via.

### 3.3 Modelos de simulação

Baseiam-se na modelação das interacções giratórias, entre o fluxo de veículos que entram na intersecção e o fluxo de veículos que circulam no anel de circulação, apresentando-se de uma forma geral em sofisticados programas de computador.

### 3.4 Estudo comparativo entre as diversas metodologias

Reproduz-se o gráfico síntese apresentado em [3] no qual foi efectuada um *benchmarking* entre diversas metodologias para o cálculo da capacidade das intersecções giratórias. Deste estudo, realça-se alguma dispersão de resultados, em função das metodologias utilizadas e do meio e localização geográfica das intersecções giratórias analisadas.





Face à variabilidade anterior, deverá ser melhor percebido até que ponto é que estamos perante situações de partida distintas (e portanto potencialmente menos comparáveis) ou perante a necessidade de estudar a influência de novas variáveis, provavelmente relacionadas com o comportamento diferenciado dos condutores, face, por exemplo, a realidades diferentes: condução em meio urbano/interurbano, condução diurna/nocturna, etc.

#### **4. CONCLUSÕES**

É hoje cada vez mais comum, no nosso país, a utilização das intersecções giratórias como ferramentas relevantes para o ordenamento da rede rodoviária, quer ao nível nacional, quer ao nível local. O enquadramento técnico de dimensionamento rodoviário, após um vazio de muitos anos, está em vias de ser consolidado com a adopção do normativo desenvolvido pela FCTUC [5], o qual é um excelente ponto de partida para o apoio à tomada de decisão na gestão rodoviária, visto que cobre muito satisfatoriamente os conceitos relacionados com a engenharia de tráfego rodoviário.

No entender dos autores, esse esforço deve ser continuado na perspectiva do melhor entendimento dos comportamentos da procura e as características do tráfego – leia-se capacidade, sinistralidade, etc. - que dependem desses comportamentos. Noutra dimensão, também o quadro de análise e apoio à decisão deve ser ampliado e consolidado numa perspectiva mais lata, incluindo todas as variáveis de custo e benefício das diversas alternativas possíveis. Só desta forma, as opções técnicas a implementar, nomeadamente no que diz respeito à construção/trans formação de intersecções giratórias, poderão ser equacionadas de modo cada vez mais eficiente em termos económicos e mais eficaz em termos da mobilidade dos utilizadores, permitindo uma gestão cada vez mais racional do sistema rodoviário.

#### **BIBLIOGRAFIA**

[1] – Cardoso, J. – “Estudo das relações entre as características da estrada, a velocidade e os acidentes rodoviários. Aplicação a estradas de duas vias e dois sentidos”. Tese de doutoramento. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 1996

[2] – Martins P., 2001, Metodologias para a quantificação e internalização dos custos externos no Sector dos Transportes, Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, Jan. 2001.

[3] – Nabais, E.; Cabral, R. – “Metodologias Utilizadas no Cálculo de Capacidade de Rotundas”. Monografia no âmbito da disciplina de GTR do Mestrado de Transportes do IST. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2003.

[4] – Santos, J. – “Sistemas dinâmicos de informação e encaminhamento de condutores”. Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 1990

[5] – Silva, A; Seco, A. – “Dimensionamento de rotundas – caracterização base e projecto geométrico”. Relatório actualizado no âmbito do acordo-programa celebrado entre a FCTUC e o IEP, intitulado desenvolvimento de uma proposta de norma para projecto de rotundas. Coimbra, 1999.

[6] – TRB – “Highway Capacity Manual 2000”. TRB. Washington , D.C. 2000

[7] – Taekratok, T. – “Modern Roundabouts for Oregon”. Oregon Department of Transportation. Salem, 1998.

□