

# ANÁLISE COMPARATIVA DOS MANUAIS DE APOIO À CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA DE ROTUNDAS

ANA MARIA CÉSAR BASTOS SILVA

*PROF. AUXILIAR, DEP. ENG. CIVIL, FCT UNIVERSIDADE COIMBRA*

ÁLVARO JORGE DA MAIA SECO

*PROF. ASSOCIADO, DEP. ENG. CIVIL, FCT UNIVERSIDADE COIMBRA*

## RESUMO

As rotundas com múltiplas vias de circulação têm vindo a ser consideradas como uma tipologia adequada para responder a exigências relacionadas com níveis elevados de fluidez ou de capacidade. No entanto, este tipo de soluções envolve um conjunto de problemas comportamentais inexistentes em rotundas univias, os quais estão habitualmente na base da diminuição do seu desempenho geral, particularmente ao nível da segurança. Tais constatações têm estado na base da elaboração de manuais de apoio à concepção geométrica apoiados em diferentes princípios de dimensionamento e que, muitas vezes, apontam para regras de dimensionamento antagónicas. A presente comunicação centra-se na apresentação das características gerais associadas a estes dois tipos de soluções e nas suas potencialidades e limitações. São ainda apresentadas as estratégias de base e algumas características geométricas relevantes a assegurar ao nível dos diferentes elementos constituintes da rotunda.

## 1. INTRODUÇÃO

A institucionalização, em 1967 na Inglaterra, da regra de prioridade a quem circula no anel de uma rotunda, resultou num aumento significativo do potencial de desempenho deste tipo de soluções, facto que esteve na base da sua rápida expansão a vários países da Europa (entre os quais Portugal), Austrália e Nova Zelândia. Esta nova lógica de funcionamento esteve ainda na base da alteração da filosofia geral de concepção das rotundas, conduzindo à adopção de soluções de dimensão mais compacta, onde o seu desempenho geral passou a depender decisivamente das características geométricas adoptadas e da sua capacidade em condicionar o comportamento do condutor.

No entanto esta estratégia de concepção revelou-se extremamente restritiva ao nível da fluidez e capacidade da rotunda, pelo que, alguns manuais têm vindo a defender que, em função das características locais e dos utilizadores preferenciais, a concepção geométrica deve envolver uma ponderação mais ou menos diferenciada entre os compromissos referentes às

necessidades de capacidade e de segurança [1]. Já outros manuais assentam predominantemente num destes dois critérios de dimensionamento, resultando, múltiplas vezes, em parametrizações e regras gerais perfeitamente antagónicas.

Embora as regras básicas de concepção de rotundas possam ser consideradas válidas independentemente do princípio de base adoptado, para que o funcionamento destes dois tipos de rotundas resulte em níveis de desempenho adequados, é fundamental que a geometria da intersecção responda às necessidades e exigências locais, sendo certo que algumas regras de concepção e a variabilidade de alguns parâmetros geométricos dependem claramente do princípio de dimensionamento adoptado, sendo que este tipo de diferenciação nem sempre transparece de uma forma clara nos diferentes manuais analisados.

Por um lado, as soluções geométricas voltadas para o princípio de segurança e amenidade de circulação, devem funcionar como medidas físicas capazes de incutir naturalmente no condutor a necessidade de alterar o seu comportamento e, por consequência, apontar para soluções gerais mais restritivas que promovam a segurança rodoviária. Por outro lado, a necessidade de dotar as soluções de bons níveis de capacidade tem recaído sobre a adopção de soluções de maiores dimensões, constituídas por múltiplas vias de entrada e de circulação no anel, as quais, estão por sua vez associadas a maiores níveis de sinistralidade. Nestas soluções assume importância acrescida o respeito pela expectativa do condutor bem como pela sua capacidade para executar, de uma forma segura e natural, as tarefas de condução, sem que para tal o condutor se sinta induzido a adoptar comportamentos incorrectos.

Esta comunicação centra-se na apresentação destes dois tipos de soluções geométricas, consoante são apresentadas pelos diferentes manuais de apoio ao seu dimensionamento. São apontadas as potencialidades e limitações associadas a cada uma destas tipologias de rotundas, apresentadas as condições favoráveis à sua implantação e as principais características geométricas a assegurar ao nível dos seus diferentes elementos constituintes.

## **2. OS PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PROJECTO: SEGURANÇA/FLUIDEZ**

A bibliografia estrangeira disponibiliza um conjunto alargado de manuais, desenvolvidos segundo duas vertentes de concepção, múltiplas vezes contraditórias entre si: uma centrada na definição de soluções restritivas à prática de velocidades elevadas procurando promover a amenidade de circulação com a salvaguarda das condições mínimas de funcionamento e fluidez enquanto que a outra vertente procura soluções que garantam bons níveis de capacidade e fluidez, salvaguardando níveis adequados de segurança.

Alguns manuais [2, 3] assentam assim na procura de soluções voltadas para a *segurança e amenidade de circulação* os quais apostam, sobretudo, na concepção de geometrias capazes

de, através do condicionamento do comportamento do condutor, impor claras reduções de velocidade durante a fase de negociação e de atravessamento da rotunda e, por consequência, na minimização do número e da gravidade de eventuais acidentes. Em termos geométricos, este critério assenta na procura de soluções compactas e restritivas ao comportamento, materializadas através de uma única via de circulação. Aposta no traçado adequado do circuito de atravessamento, através da adopção de raios apertados e eliminação de quaisquer sobrelarguras desnecessárias ao nível das entradas e do anel de circulação. São exemplos a integração de rotundas ou mini-rotundas em aplicações voltadas para a acalmia de tráfego, como forma de compatibilização da utilização do mesmo espaço público por diferentes modos de transporte e/ou utilizadores da via pública, ou como forma de marcação de alterações ao ambiente rodoviário [4].

Quando voltados para o princípio da fluidez e *capacidade*, os manuais [5, 6] assentam na procura de soluções que respondam aos níveis de procura local, mostrando-se ainda capazes de canalizar, sem demoras excessivas, os diferentes movimentos direccionais. Uma solução geométrica concebida especialmente sob este critério de projecto, tende a resultar em soluções menos restritivas ao comportamento do condutor e, em particular, às velocidades praticadas. Uma característica de base deste tipo de soluções passa pela obrigatoriedade de apostar em múltiplas vias de entrada e de circulação no anel.

A necessidade de adaptar a solução geométrica ao princípio de capacidade através da sua adequação às condições de circulação locais e às necessidades da procura, é por vezes, difícil de compatibilizar com o critério da *segurança*, justificando, frequentemente as tendências antagónicas de dimensionamento defendidas por alguns dos manuais mais conceituados.

### **3. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DAS ROTUNDAS**

#### **3.1. Segurança rodoviária**

É consensualmente admitido pela generalidade dos manuais que as rotundas dimensionadas sob o princípio da segurança, quando comparadas com outras soluções de nível, asseguram uma redução significativa dos níveis de sinistralidade, associada quer à diminuição significativa dos acidentes (dependendo dos países em 40 a 60%) quer da sua gravidade (com reduções entre 40 a 80% de acidentes com feridos e de 90% de acidentes com mortes) [1].

Os níveis de segurança característicos deste tipo de rotundas têm sido largamente documentados em referências da especialidade, apontando-se frequentemente alguns dos seguintes factores como principais causas ao seu bom desempenho:

–*diminuição do número de conflitos*. As rotundas reduzem a 8 pontos de conflito os 32 característicos de outras tipologias de intersecções de nível;

- eliminação dos conflitos em cruz* associados aos acidentes relacionados com os atravessamentos e viragens à esquerda;
- homogeneização de comportamentos*. Os perfis de velocidade são tendencialmente mais homogéneos no troço de entrada e atravessamento que na aproximação e saída;
- moderação das velocidades na área de conflito* imposta pela perda de prioridade à entrada, facultando aos condutores maiores tempos de reacção a potenciais conflitos;
- simplicidade do processo de tomada de decisão* junto à entrada;
- protecção dos peões* através da materialização dos ilhéus separadores e da moderação das velocidades associadas aos veículos.

Estes factores são, em grande parte, comuns a rotundas concebidas sob o princípio da capacidade, pelo que se bem concebidas, este tipo de rotundas pode assegurar níveis elevados de segurança. Importa, para tal, que a sua concepção valorize o princípio da deflexão e de canalização dos movimentos (ver 5.1.1e 5.1.2), devendo ainda a geometria das entradas apostar no condicionamento do comportamento dos condutores. Deve contudo ser reconhecido que o nível de segurança deste tipo de rotundas diminui com o número de vias disponibilizadas. Os problemas de funcionamento relacionam-se maioritariamente com a adopção de comportamentos inadequados e, em particular, com a prática de velocidades e/ou de trajectórias conflituosas, sendo que os movimentos de entrada e saída do anel e os entrecruzamentos no seu interior, estão maioritariamente na base deste tipo de conflito.

### **3.2. Operacionalidade e capacidade**

A capacidade evidenciada pelas rotundas para a uniformização de comportamentos e para a redução das velocidades médias dos veículos que integram a corrente prioritária (no anel) resulta habitualmente na aceitação, por parte dos condutores não prioritários, de intervalos inter-veículos de menor duração, o que se traduz num aumento da capacidade e na diminuição das demoras. A imposição de um sentido único obrigatório em torno da ilha central traduz-se numa separação física das zonas de conflito e, por consequência, numa redução considerável do número de movimentos conflituantes (e do volume conflituante) resultando consequentemente num aumento substancial dos níveis de capacidade. A aplicação dos mais conceituados modelos de estimação de capacidade a soluções compactas do tipo uni-vias (com diâmetro exterior de 30m) aponta para valores de capacidade geométrica da entrada que podem atingir os 1300 uv/h.

Apesar destes excelentes resultados, está comprovado [4] que a utilização de rotundas com múltiplas vias de circulação se traduz em benefícios consideráveis nos níveis de capacidade assegurados. Segundo estudos nacionais [4] a adopção de duas vias de circulação nas entradas e respectivo anel de circulação traduz-se num aumento de cerca de 90% da capacidade da entrada, sendo que a criação de um leque com cerca de 15 metros de comprimento (o equivalente à *stockagem* de 3 veículos) assegura aumentos da ordem dos 40%.

### **3.3. Principais problemas de uncionamento**

As rotundas constituem, de uma forma geral, uma medida física eficaz na redução e adequação das velocidades de circulação. A observação e registo de algumas variáveis comportamentais levadas a cabo recentemente em algumas rotundas nacionais [7] com dupla via de circulação permitiram concluir que este padrão de comportamento não é, no entanto, generalizado a todas as soluções. Rotundas com deficiências geométricas significativas ao nível da deflexão dos movimentos caracterizaram-se pelo registo de perfis de velocidade atípicos (sem redução dos valores ao nível da entrada) e extremamente heterogéneos.

Por sua vez, a observação das trajectórias reais traçadas pelos condutores ao longo do circuito de atravessamento mostra que a adopção de comportamentos incorrectos assume proporções muito significativas. A procura dos “princípios de condução” subjacentes a este tipo de comportamento permitiu concluir que a selecção da velocidade e da trajectória, é regida pela valorização diferenciada da ”tentação” para minimizar o incómodo de condução e a “obrigação” de respeitar as orientações impostas pela sinalização horizontal.

É assim notória a tendência de minimização do esforço despendido por parte dos condutores que acedem à rotunda pela via da direita e que optam por atravessar a direito o anel de circulação, com conseqüente invasão da via da esquerda. Na realidade 70% das trajectórias observadas interferiram com a via adjacente, sendo que 30% representavam ocupações numa faixa de largura superior a 0,7 metros. O mesmo efeito é patente nas trajectórias traçadas pela via da esquerda, sempre que o condutor opta por abandonar a rotunda através da via da direita com pleno incumprimento da canalização sugerida pelas pinturas longitudinais. Este tipo de comportamentos é, no entanto, característico de um grupo mais restrito de condutores, embora e, em média, se registem cerca de 40% das trajectórias que interferem com a via adjacente. É ainda de referir que a variação observada inter-rotunda, ao nível deste indicador, fez deduzir que a adopção de comportamentos incorrectos se inter-relaciona significativamente com as características prevaletentes da infra-estrutura.

A agravar subsistem outros problemas de funcionamento relacionados com o desconhecimento por parte do condutor, sobre os procedimentos e normas de conduta a adoptar desde a aproximação até à saída das rotundas. A selecção da via de aproximação e entrada, bem como da trajectória a adoptar durante a negociação e atravessamento está longe de ser consensual, sendo habitual a geração de conflitos associados aos movimentos de entrecruzamento nas vias interiores ao anel, os quais resultam frequentemente em embates que não tendo habitualmente conseqüências sérias, envolvem danos materiais e tendem a descaracterizar este tipo de soluções quanto ao seu bom desempenho.

## 4. CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

A aplicação de rotundas como medidas de promoção da segurança ou da acalmia do tráfego, poderá justificar-se em locais onde se façam sentir elevados níveis de sinistralidade ou de insegurança, designadamente:

- Locais onde sejam registados comportamentos inadequados por parte dos condutores, tais como velocidades elevadas ou tendência de execução de manobras perigosas;
- Espaços onde se pretenda promover actividades de lazer e vivência, como forma de melhoria da segurança de outros utilizadores, tais como o peão ou ciclista;
- Locais com elevados índices de sinistralidade envolvendo conflitos relacionados com movimentos de atravessamento, viragens à esquerda ou inversão de marcha;
- Locais que apresentem deficientes condições de visibilidade as quais possam interferir com a eficácia de cruzamentos prioritários;
- Intersecções complexas com o objectivo de simplificar a canalização dos movimentos.

As rotundas concebidas sob o princípio da capacidade têm uma aplicabilidade muito dirigida para a salvaguarda de bons níveis de serviço, nomeadamente durante os picos horários.

- Em intersecções que apresentem níveis de procura elevados e similares nos vários ramos;
- Reordenamento de intersecções com um ou mais movimentos direccionais congestionados, ou sujeitos a demoras significativas;
- Em espaços sujeitos a grandes variações dos níveis de procura e com picos horários muito acentuados.

## 5. CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA

### 5.1. Estratégias de definição da solução

As características mais marcantes da rotunda assentam na sua capacidade em induzir naturalmente os condutores a reduzir a velocidade ao longo do trajecto de aproximação e atravessamento. A perda de prioridade e a *deflexão* imposta aos movimentos de entrada contribuem fortemente para atingir esses objectivos, já que “forçam” os condutores a reduzir a velocidade durante a aproximação e a entrada e promovem a aceitação, por parte destes, de cedência de prioridade relativamente aos movimentos de circulação no anel. Em paralelo, o assegurar da *canalização* dos movimentos e da *homogeneidade do traçado* tem por objectivo simplificar a tarefa de condução, posicionando o condutor adequadamente em relação ao anel de circulação e de o induzir a atravessar a intersecção mediante trajectos correctos e sem recorrer a variações diferenciais significativas da velocidade.

#### 5.1.1. Deflexão dos movimentos

A necessidade de garantir a deflexão dos movimentos constitui indubitavelmente a estratégia de concepção que mais consenso reúne ao nível dos diferentes manuais. A deflexão dos

movimentos incide fundamentalmente ao nível da entrada e assenta na imposição de uma impossibilidade física dos veículos atravessarem directamente a rotunda sem estarem sujeitos a uma curvatura mínima que lhes imponha um acréscimo de desconforto e os induza a quebrar a velocidade. O conceito de deflexão surge assim ligado à definição da trajectória de menor esforço (ou mais directa) representativa do percurso tendencialmente mais procurado pelos veículos que circulam em regime livre de circulação, quando minimizado o esforço de condução.

Considera-se que a deflexão esta garantida sempre que *“a trajectória de menor incómodo integra um raio de valor inferior a 100 metros, num desenvolvimento superior a 20 metros nas imediações da linha de cedência de prioridade, preferencialmente nos 50 metros que a precedem”* [5, 6].

Importa, no entanto, controlar a deflexão, nomeadamente nas soluções com múltiplas vias, por forma a evitar que a redução de velocidade que lhe está associada, atinja valores que os condutores tenham dificuldade em negociar ou exceda os níveis de desconforto que os mesmos estão dispostos a aceitar. Tal imposição tenderá a incentivar os condutores a ignorar as demarcações horizontais e optar por invadir as vias adjacentes na procura de trajectórias mais directas e, por sua vez, mais confortáveis [5].

### **5.1.2. Canalização dos movimentos**

A necessidade de assegurar uma canalização adequada dos movimentos é raramente abordada pelos manuais de concepção. Esta estratégia procura posicionar devidamente o veículo em relação ao anel de circulação e apoiar o condutor na tarefa de guiamento, por forma a minimizar os acidentes por invasão da ilha central e o número de conflitos resultantes de entrecruzamentos de veículos por utilização indevida das vias de circulação disponibilizadas no anel.

Este conceito torna-se particularmente importante na presença de múltiplas vias de entrada e de circulação no anel facultando ao condutor orientações para que, em função do destino a tomar, este possa inserir-se, atravessar e sair da rotunda optando por trajectórias correctas e comportamentos seguros, sem entrar em conflitos desnecessários com os eventuais veículos que circulem nas vias adjacentes.

A canalização está assim associada a um conjunto de informação fornecida ao condutor através da geometria das bermas, do ilhéu separador e de eventuais ilhéus deflectores complementares bem como pelas marcas rodoviárias. A concepção do ilhéu separador assume aqui um papel preponderante na medida em que compete a este ilhéu posicionar e orientar devidamente os veículos em relação à ilha central [8].

### 5.1.3. Homogeneidade de traçado e consistência de velocidades

O conceito de homogeneidade de traçado aplicado ao atravessamento de uma rotunda, é ainda bastante recente, sendo muito limitado o número de referências bibliográficas ou manuais que o abordam. Este conceito expresso em [1, 8] assenta no princípio de que os níveis de sinistralidade relacionados com os veículos que circulam em regime livre numa rotunda, tendem a diminuir consideravelmente sempre que respeitadas as expectativas do condutor e garantida a consistência das velocidades ao longo do circuito de atravessamento da rotunda. De acordo com estes dois manuais, o conceito de homogeneidade do traçado assenta na definição da trajectória de menor incómodo para cada um dos movimentos direccionais e passa por garantir, em paralelo, dois princípios de base fundamentais:

- minimizar a diferença relativa entre as velocidades de dois elementos geométricos consecutivos;
- minimizar a diferença relativa entre as velocidades das correntes de tráfego conflitantes.

A velocidade base da uma rotunda é determinada pelo menor raio integrado na trajectória de menor incomodidade e pode ser estabelecida mediante a relação (1) desenvolvida pela AASHTO [1].

$$V = \sqrt{127R(e + f)} \quad (1)$$

onde: V – velocidade de base (Km/h)

R – raio (m);

e – Sobrelevação(m/m);

f – coeficiente de atrito de acordo com a Figura 1.

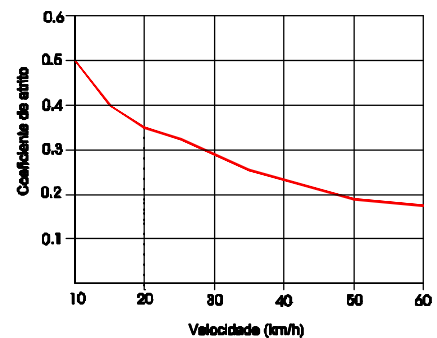


Figura 1 - Variação do coeficiente de atrito com a velocidade

Importa assim minimizar as velocidades diferenciais entre dois elementos geométricos consecutivos e a velocidade relativa entre correntes de tráfego conflitantes. Face às trajectórias de mínimo esforço relativas a cada movimento direccional (ver Figura 2), e assumindo que são constituídas por uma sequência de arcos de circunferência concordados por curvas de transição e/ou segmentos de recta, a consistência de velocidades passa por assegurar as seguintes regras gerais [1]:

- Movimentos de atravessamento: o raio da trajectória ao nível da entrada ( $R_1$ ) deve ser preferencialmente inferior ao raio traçado para contorno da ilha central ( $R_2$ ) e, por sua vez, este deve ser inferior ao menor raio adoptado ao nível da saída ( $R_3$ ). Habitualmente o menor destes raios é obtido no contorno da ilha central ( $R_2$ ), pelo que caso se revele fisicamente impossível garantir esta relação, deverá haver um esforço no sentido de conseguir que  $R_1$  não exceda significativamente  $R_2$  (garantindo nomeadamente uma variação diferencial máxima de velocidades de 20km/h, preferencialmente 10km/h);



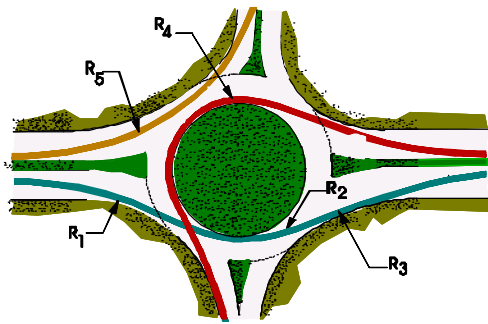


Figura 2 - Trajectórias do mínimo esforço por movimento direccional

inferior à velocidade máxima de base aos restantes movimentos, não devendo exceder os 20km/h em relação ao movimento prioritário de contorno ( $R_4$ ).

- Movimentos de viragem à esquerda: o raio traçado ao nível do contorno da ilha central ( $R_4$ ) deve ser avaliado por forma a que a diferença de velocidades entre a entrada e o movimento de contorno não ultrapasse os 20km/h. Tal medida permitirá atenuar a potenciação de acidentes por descontrolo no anel de circulação,
- Movimentos de viragem á direita: devem ser igualmente condicionados pelas velocidades dos restantes movimentos internos à rotunda. A velocidade de base a este movimento deve ser

#### 5.1.4. A expectativa do condutor face a soluções com múltiplas vias

Na presença de soluções com múltiplas vias de circulação, a geometria da intersecção deve convidar de uma forma natural o condutor a manter-se na sua via de circulação, sem invadir a via adjacente. Esta acção, como forma de minimizar o esforço de condução, afecta o desempenho geral da rotunda, reflectindo problemas quer ao nível da segurança quer da capacidade. A sua resolução centra-se na interiorização de que não se deve impor ao condutor alterações bruscas à direcção do veículo ou à velocidade de circulação, pelo que a trajectória de menor incómodo não deve incluir alterações bruscas na curvatura dos elementos consecutivos.

Segundo ARNDT [8] perante rotundas com múltiplas vias o aumento da curvatura de entrada, tende a incentivar a prática de trajectórias directas por invasão da via adjacente e, por oposição, resulta na diminuição das variações relativas da velocidade entre os movimentos de entrada e de circulação no anel, pelo que importa encontrar, para cada solução, o correspondente valor optimizado.

A metodologia proposta pelo FHWA [1] assenta, perante uma geometria pré-concebida, na avaliação da homogeneidade do traçado associada à trajectória correcta de mínimo incómodo (com respeito pela sinalização horizontal), aplicada aos movimentos das diferentes vias disponibilizadas. Essa avaliação assenta no controlo da variação dos raios de curvatura associada aos elementos geométricos consecutivos associados a essas trajectórias e, por consequência na verificação da variação diferencial das correspondentes velocidades nos mesmos termos enunciadas em **Error! Reference source not found.** Em zonas urbanas o FHWA [1] recomenda ainda que, sem prejuízo de eventuais restrições locais, o raio de entrada associada à trajectória de mínimo incómodo seja balizado entre os 30 e os 60 metros, enquanto que perante meios inter-urbanos o raio de curvatura possa variar entre os 40 e os 80 metros.

## 5.2. Traçado de aproximação e adequação da velocidade de entrada

Independentemente do princípio de concepção, é consensualmente admitido que o traçado de aproximação assume um papel fundamental na alteração do comportamento do condutor durante a aproximação à rotunda, nomeadamente ao nível da adequação da velocidade de entrada. A adopção de restrições físicas que imponham variações graduais ao traçado torna-se indispensável, particularmente quando a rotunda é antecedida por extensos troços rectos convidativos à prática de velocidades elevadas.

É ainda desejável que a velocidade imediatamente a montante do raio de entrada seja sempre inferior a 60km/h e que ao nível da entrada nunca ultrapasse os valores apresentados na Tabela 1 [1].

Tabela 1- Velocidades de entrada máximas recomendadas (fonte:[1])

CATEGORIA DA SOLUÇÃO	VELOCIDADE MÁXIMA RECOMENDADA (KM/H)
Mini-rotunda	25
Solução compacta em meio urbano	25
Rotunda normal urbana com uma via de circulação	35
Rotunda normal urbana com múltiplas vias	40
Rotunda normal inter-urbana com uma via de circulação	40
Rotunda normal inter-urbana com múltiplas vias	50

## 5.3. Aspectos geométricos relevantes

A investigação desenvolvida e, por sua vez, os diferentes manuais são consensuais ao atribuir à geometria da entrada os níveis de desempenho resultantes quer em termos de capacidade quer de segurança. A definição da largura de entrada é, no entanto, o campo onde os diferentes manuais apontam para orientações contraditórias, consoante se trate de normativos voltados para o critério da segurança ou da capacidade. As regras voltadas para a salvaguarda da segurança de funcionamento de uma rotunda, passam por limitar a largura da entrada aos valores mínimos, devendo preferencialmente recorrer-se a uma única via de entrada e de circulação no anel, já que entradas e anéis de circulação alargados aumentam a potencial ocorrência de acidentes. No entanto, a largura da entrada é o parâmetro que maior peso apresenta ao nível da capacidade da entrada, pelo que os manuais que assentam neste princípio de dimensionamento recomendam o aumento do valor deste parâmetro, mesmo que tal não resulte num aumento efectivo do número de vias de entrada.

Também os valores recomendados para o diâmetro do círculo inscrito diferem consoante os manuais e, em particular, o critério de dimensionamento. As rotundas voltadas para a segurança devem ser compactas com DCI's preferencialmente inferiores a 30m, podendo aceitar-se valores superiores em locais com forte presença de veículos pesados. Contudo a

adopção de múltiplas vias exige o recurso a soluções menos compactas por forma a acomodar os raios mínimos de viragem bem como assegurar ângulos e distâncias inter-ramos adequados.

Tabela 2- Gama de variação recomendável para os principais parâmetros geométricos

Dimensão		ROTUNDAS (OU MINI) NA PROMOÇÃO DA SEGURANÇA		ROTUNDAS COM MÚLTIPLAS VIAS	
		Recomendável	Admissível	Recomendável	Admissível
Dimensão Geral	Diâmetro exterior DCI (m)	[20-30]	[14-40]	2 vias [40-50] 3 vias [50-60]	2 vias [40-80] 3 vias [50-100]
Geometria a entrada	Largura da entrada e (m)	[4-5]m	Criação de leques para 2 vias entrada	2 vias [8] 3 vias [12]	2 vias [8-10] 3 vias [10-15]
	Raio da entrada r (m)	[10-40]	[6-50]	[30-50]	[20-100]
	Ângulo da entrada $\phi$ (°)	[40-50]	[20-60]	[40-50]	[20-60]
Zona de atravessamento	Raio da ilha central ri (m)(*)	[2-5]	<12	2 vias [6-13] 3 vias [9-14]	2 vias [6-29] 3 vias [8-40]
	Largura do anel ANN (m) (*)	[2-5]	<12	2 vias [6-13] 3 vias [9-14]	2 vias [6-29] 3 vias [8-40]
Geometria da saída	Largura da saídas (m)	[5-7]	---	2 vias [8-10] 3 vias [12-15]	---
	Raio de saídas (m)	[15-40]		[30-50]	[20-100]

(\*) a definir em função do DCI adoptado e do número de vias de circulação a disponibilizar

O dimensionamento do anel de circulação deve respeitar as regras gerais de dimensionamento (nomeadamente as necessidades de manobrabilidade dos veículos pesados e a garantia da continuidade do número de vias adoptado na via mais solicitada), tendo por base o DCI adoptado e o número de vias adoptado.

Por sua vez ao nível da saída, o princípio de base ao seu dimensionamento é consensual e apoia-se na necessidade de conceber saídas desafogadas que não ponham em causa o desempenho global da intersecção nem induzam à prática de velocidades inapropriadas. Deve assim apostar-se na continuidade do número de vias atribuídas à entrada e ao anel de circulação e na garantia das necessidades de manobrabilidade do veículo de projecto.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da experiência internacional ser consensual no que respeita aos excelentes desempenhos assegurados pelas rotundas, viu-se ao longo da presente exposição que os níveis de segurança, dependem da tipologia da solução e, em particular, do número de vias disponibilizadas.

A adopção de soluções multi-vias assegura benefícios comprovados ao nível da capacidade, no entanto envolve problemas comportamentais cuja resolução passa pela adopção de estratégias de concepção ligadas à homogeneidade do traçado e à expectativa do condutor.

A agravar, a inexistência de procedimentos e normas de conduta que apoiem o condutor nas tarefas de condução ao longo do circuito de aproximação e atravessamento de uma rotunda, tem estado na base de muitos acidentes e tem gerado o sentimento de insegurança face a soluções que disponibilizam múltiplas vias de circulação. Para que o funcionamento destes cruzamentos resulte em níveis de desempenho adequados, é fundamental que o comportamento de cada condutor responda às expectativas dos restantes condutores que circulam nas vias adjacentes e que no seu conjunto minimizem o número de conflitos rodoviários. A resolução destes conflitos, passa pela definição urgente de regras comportamentais aplicáveis a este tipo de intersecção e pelo seu enquadramento legal nomeadamente ao nível do Código da Estrada.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] FHWA - “Roundabouts: An Informational Guide” – U.S. Department of Transport, Federal Highway Administration – Publication N° FHWA-RD-00-067, Virginia, USA, June 2000

[2] SETRA - "Aménagement des Carrefours Interurbains sur les routes principales – Carrefours plans" - Guide Technique, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Bagnaux, France, Decembre, 1998

[3] Bovy, H.; Dietrich k.; Harmann A- "Guide Suisse des Giratoires", mandat de recherche 9/98, VSS/FSR/EPFL, ISBN 2 – 8298-0065-6, Février, Lausanne-Suisse, 1991

[4] Bastos Silva, A.M.C; Seco, A.J.M.; Picado Santos, L. – “O Dimensionamento de Rotundas- Recomendações de Projecto”, FCTUC, Coimbra-Portugal, Junho 1999

[5] AustRoads – “Guide to Traffic Engineering Practice; Part 6 – Roundabouts” – Austroads, Sidney-Australia, 1993

[6] TD 16/93 – “Geometric Design of Roundabouts” - Department of Transport – Volume 6, Section 2, Part 3 of Design Manual for Roads and Bridges- Road Geometry Junctions, September, U.K., 1993

[7] Bastos Silva, A.M.C. - “Definição de uma metodologia de Concepção de Cruzamentos Giratórios”- Tese de dissertação para obtenção de Grau de Doutor em Engenharia Civil – Edição FCTUC, Abril 2004

[8] ARNT O.K, 2002 – *Roundabouts – Road Planning and Design Manual* – Chapter 14,  
Division of Main Roads, Australia, June