

# **INTERSEÇÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL: PASSADO, PRESENTE E FUTURO**

**Fábio Quintela Fortes**

**Mario Augusto Fattori Boschiero**

**Pedro Ricardo Frissina Blassioli** (*in memoriam*)

**Antonio Clóvis Coca Pinto Ferraz**

Divisão Regional de Araraquara do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo  
e Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

## **RESUMO**

A maioria das interseções rodoviárias em nível no Brasil é do tipo “vazada”, nas quais se observam acidentes gravíssimos devido às altas velocidades. Nos países desenvolvidos, há ampla preferência pelo emprego de modernas rotatórias, com prioridade para a via circular, em razão do reduzido número de acidentes graves devido às baixas velocidades. No Brasil ainda existe resistência ao uso da moderna rotatória na área rodoviária. Diante disso, um primeiro passo para melhorar a segurança e a capacidade de nossas interseções é o emprego de rotatórias fechadas com prioridade para a via principal. Este artigo apresenta uma análise comparativa de segurança e da capacidade entre esses tipos de interseções. Conclui-se que as rotatórias com prioridade para a via principal apresentam, desde que obedecidos certos requisitos geométricos, maior segurança e capacidade que as semi-rotatórias vazadas, sendo indicadas para o presente. No futuro, entretanto, será inevitável a adoção da moderna rotatória.

## **ABSTRACT**

In Brazil the majority of the at level highway intersections have their central islands opened in the middle, in which extremely severe accidents have been observed, as a function of the high speeds. In developed countries, modern roundabouts, with priority to circulating flow, have been preferred since they reduced the number of severe accidents due to low speeds. In Brazil, there is still opposition to the modern roundabout usage in rural areas. In this context, the first step to increase the safety and capacity in our intersections is to adopt closed roundabout with main road priority. This paper presents a comparative analysis of safety and capacity among these types of intersections. We conclude that closed roundabout with main road priority presents, since observed certain geometric requirements, more safety and capacity than open semi-roundabout, being indicated to present. In the future, however, the adoption of modern roundabout will be inevitable.

## **1. INTRODUÇÃO**

O uso disseminado de interseções vazadas no Brasil, que permitem uma elevada velocidade de transposição, tem levado a uma alta frequência de acidentes, na maioria muito graves. Nos países desenvolvidos, que possuem alto índice de segurança viária, há muitos anos, a rotatória fechada com prioridade para a via circular (RFPC) ou moderna rotatória, é a solução que vem sendo utilizada de maneira generalizada, inclusive em substituição a interseções semaforizadas, em razão do elevado nível de segurança e capacidade que ela proporciona.

No Brasil, a RFPC ainda é muito pouco utilizada nas rodovias, sendo o seu uso mais freqüente nas áreas urbanas. Na área rodoviária, existe certa prevenção ao seu uso, pois muitos engenheiros acreditam que os motoristas brasileiros, quando trafegando pela via considerada principal, não estão preparados para a necessidade de ceder prioridade na entrada da interseção - o que aumentaria o risco de acidentes.

Como a RFPC ainda é uma alternativa considerada radical para a realidade nacional, um primeiro passo para melhoria da segurança e do nível de serviço das interseções rodoviárias nacionais seria

a implantação de rotatória fechada com prioridade para a via principal (RFPP). Recentemente, tem-se observado no país que, muitas semi-rotatórias vazadas com prioridade para a via principal (SRVPP) estão sendo fechadas através do bloqueio do fluxo direto da via principal. As transformações efetuadas têm se mostrado vantajosas: em termos de segurança e de aumento da capacidade para o fluxo secundário. Existem, porém, alguns detalhes relativos ao projeto geométrico das RFPP que necessitam ser cuidadosamente observados para otimizar ainda mais a segurança. A Divisão Regional de Araraquara do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, DER-SP, desenvolveu uma concepção geométrica adequada, adaptando alguns novos conceitos de segurança das RFPC à condição de prioridade para a via principal. Neste artigo são apresentados os conceitos de segurança e uma análise comparativa desses aplicados aos três tipos de interseções, além de uma análise de capacidade de tráfego.

## **2. ANÁLISE DE SEGURANÇA**

A experiência mostra que o fator *falha humana* está presente de forma preponderante na grande maioria dos acidentes. Se houvesse a possibilidade hipotética de zerar a ocorrência de falhas humanas, a quantidade de acidentes se reduziria a valores mínimos. Como isso não é possível, pois o ser humano inexoravelmente comete erros, deve-se adotar duas medidas para minimizar a quantidade e a gravidade dos acidentes:

- (1.) Construir interseções que facilitem a tomada de decisão por parte dos condutores e pedestres, para que estas sejam feitas com maior clareza e segurança, minimizando a probabilidade de ocorrência de erros. Quanto mais simples a tarefa do usuário, menor a probabilidade dos erros acontecerem.
- (2.) Construir interseções, tanto quanto possível, toleráveis às falhas humanas, para reduzir as conseqüências dos acidentes. A configuração geométrica da interseção deve evitar a possibilidade de ocorrência de acidentes graves que resultem em vítimas fatais ou com seqüelas para o resto da vida. A punição para um pequeno erro, muitas vezes por distração, não pode levar à morte.

Para contemplar essas duas recomendações, a seguir, são analisados os fatores que as afetam.

### **2.1. Análise da complexidade das tarefas nas tomadas de decisão**

#### ***Velocidade de transposição***

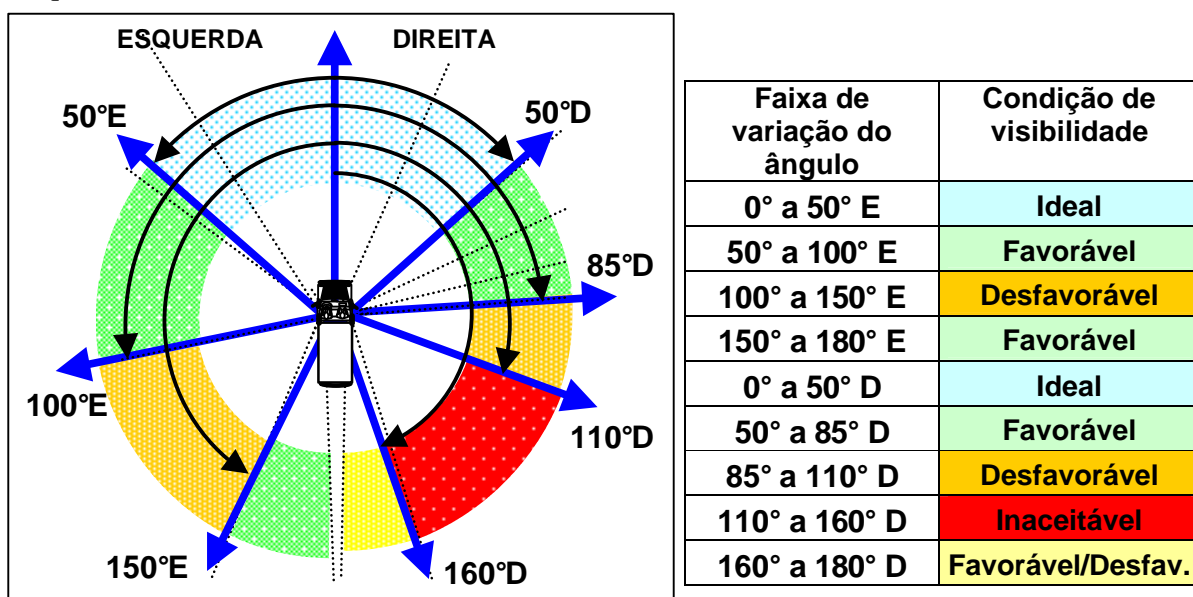
A tarefa de travessia ou interação com fluxos prioritários é tanto mais complexa, quanto mais elevada for a velocidade desses fluxos. O usuário tem maior facilidade de avaliar corretamente as velocidades do fluxo prioritário, e estabelecer corretamente o seu padrão de intervalo aceitável, quando este possui velocidades mais reduzidas, uma vez que, existe uma faixa menor de dispersão entre as velocidades, além de outros aspectos. Em função disso e diversos outros fatores, com velocidades mais reduzidas, as interseções se tornam mais amistosas, as tarefas de decisão mais simples e com menores probabilidades de ocorrência de erros.

### ***Número de direções a serem observadas para tomada de decisão***

A quantidade de direções que o motorista tem de observar para poder tomar a decisão de prosseguir e transpor a interseção influencia na segurança da mesma. Alguns movimentos em determinadas interseções exigem do motorista a observação de dois ou mais fluxos em sentidos praticamente opostos. Essa condição exige um exercício rápido de memória, que nem sempre é eficiente para os motoristas, principalmente em período noturno, com volume de tráfego elevado, com longo tempo de espera e velocidades elevadas. Interseções que trazem na sua concepção um menor número de direções a serem observadas resultam em tarefas mais simples.

### ***Ângulo de observação para tomada de decisão***

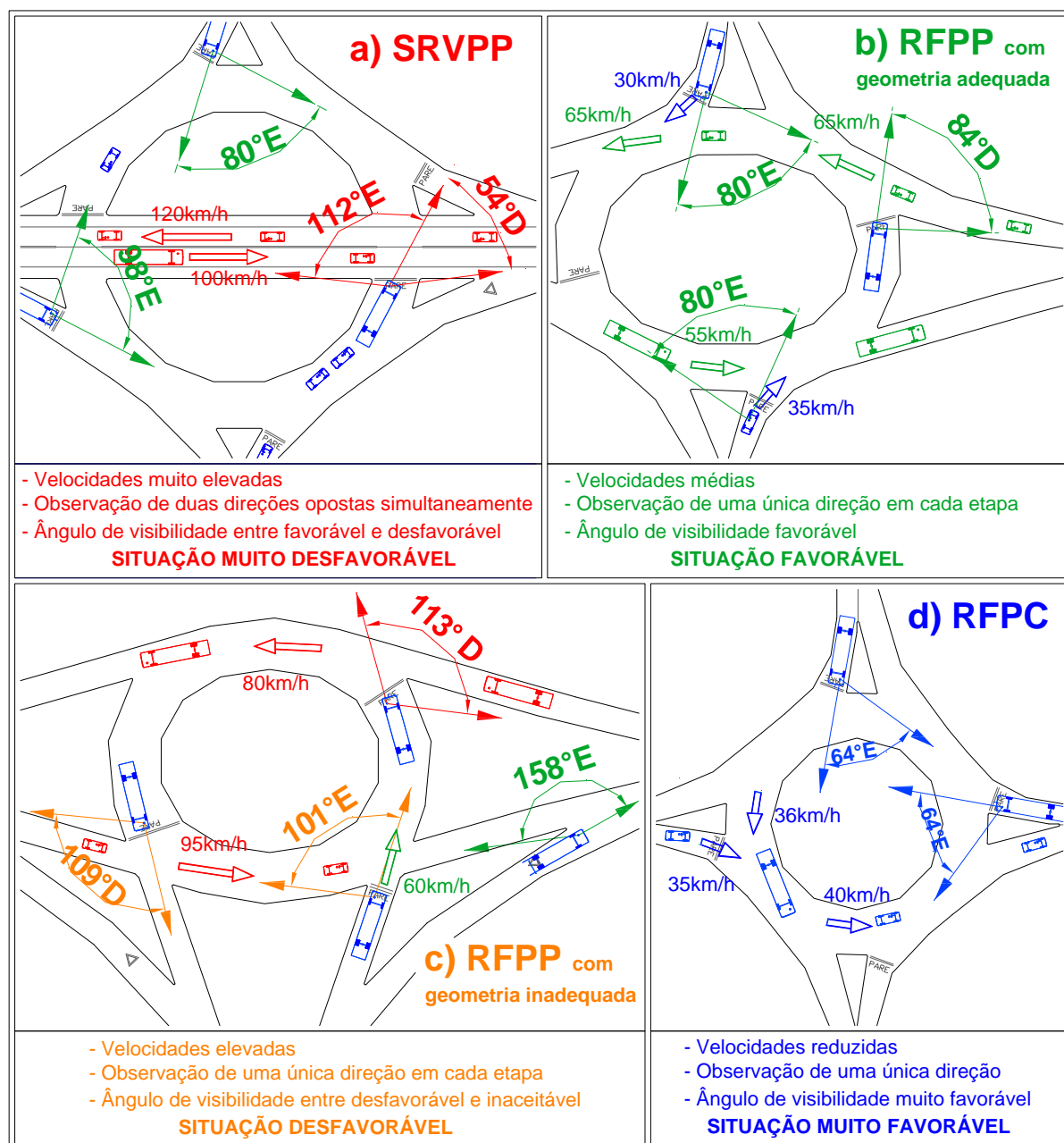
O ângulo de entrada nas interseções, nos locais em que o motorista tem que tomar uma decisão de avançar ou aguardar uma oportunidade mais segura, deve favorecer as condições de visibilidade para todos os tipos de veículos. Ângulos de visibilidade mais acessíveis resultam em melhores condições de avaliação da real situação. A Figura 1 ilustra as condições mais comuns de visibilidade para o motorista no interior de um veículo tipo camioneta furgão, caminhão caçamba, caminhão baú, etc. - que podem ser considerados os mais críticos em termos de bloqueio visual.



**Figura 1** – Condições de visibilidade em função do ângulo de observação.

### ***Análise comparativa da complexidade das tarefas***

A Figura 2 ilustra a complexidade das tarefas nos três tipos de interseções, incluindo duas concepções geométricas distintas para a RFPP. Na SRVPP da Figura 2a, o motorista necessita observar simultaneamente dois fluxos com velocidades altas e praticamente com direções opostas, situação esta muito desfavorável.



**Figura 2 - Complexidade das tarefas nos diferentes tipos interseções em análise.**

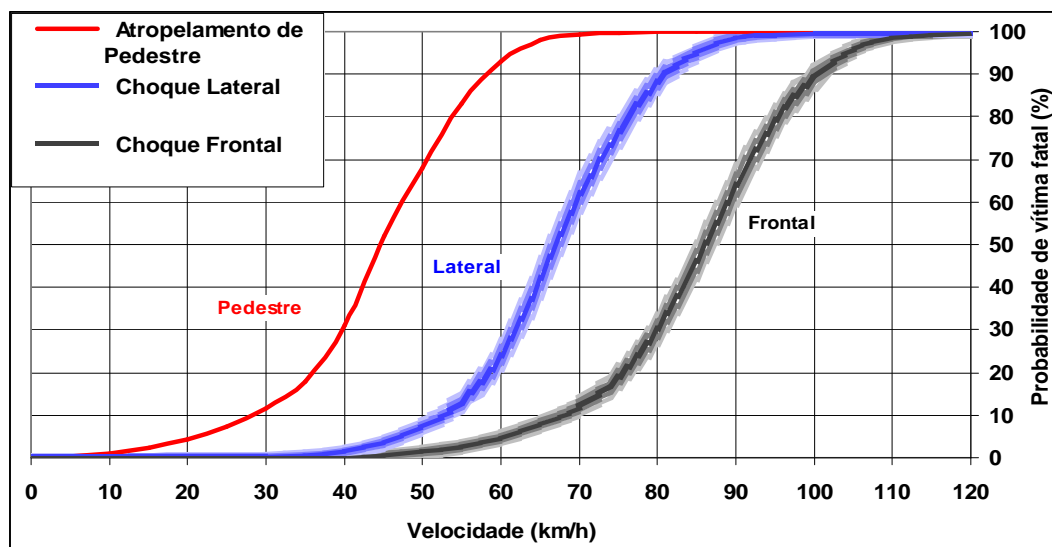
Na RFPP da Figura 2b, as condições de visibilidade são significativamente melhores do que na da Figura 2c, além das velocidades serem menores. Nas RFPPs deve-se adotar uma geometria adequada para efetivamente reduzir a velocidade e evitar condição de visibilidade inaceitável. A RFPP da Figura 2b segue as diretrizes preconizadas pela Regional de Araraquara do DER-SP. Em todas as rotatórias fechadas, Figuras 2b, 2c e 2d, os motoristas observam um único lado por etapa nos locais de tomada de decisão, condição que é muito mais favorável do que a observada

na SRVPP. Conforme Figura 2d, RFPC ou modernas rotatórias são as que apresentam tarefas mais simples.

## 2.2 Gravidade das possíveis colisões

### *Probabilidade de vítima fatal em função da velocidade e do tipo de choque*

A severidade das lesões nos ocupantes dos veículos em uma colisão é função da velocidade e do nível de proteção que o usuário tem no momento do choque - se o choque for frontal ou lateral, as condições de proteção são distintas. A Figura 3 mostra a probabilidade de acidentes com vítimas fatais em função da velocidade de impacto no caso de atropelamento de pedestre, choque lateral e choque frontal, conforme estudos da *Associação Sueca* (CALM STREETS 1999).



**Figura 3** - Probabilidade de acidente com vítima fatal em função da velocidade.

### *Relação raio de curvatura/velocidade*

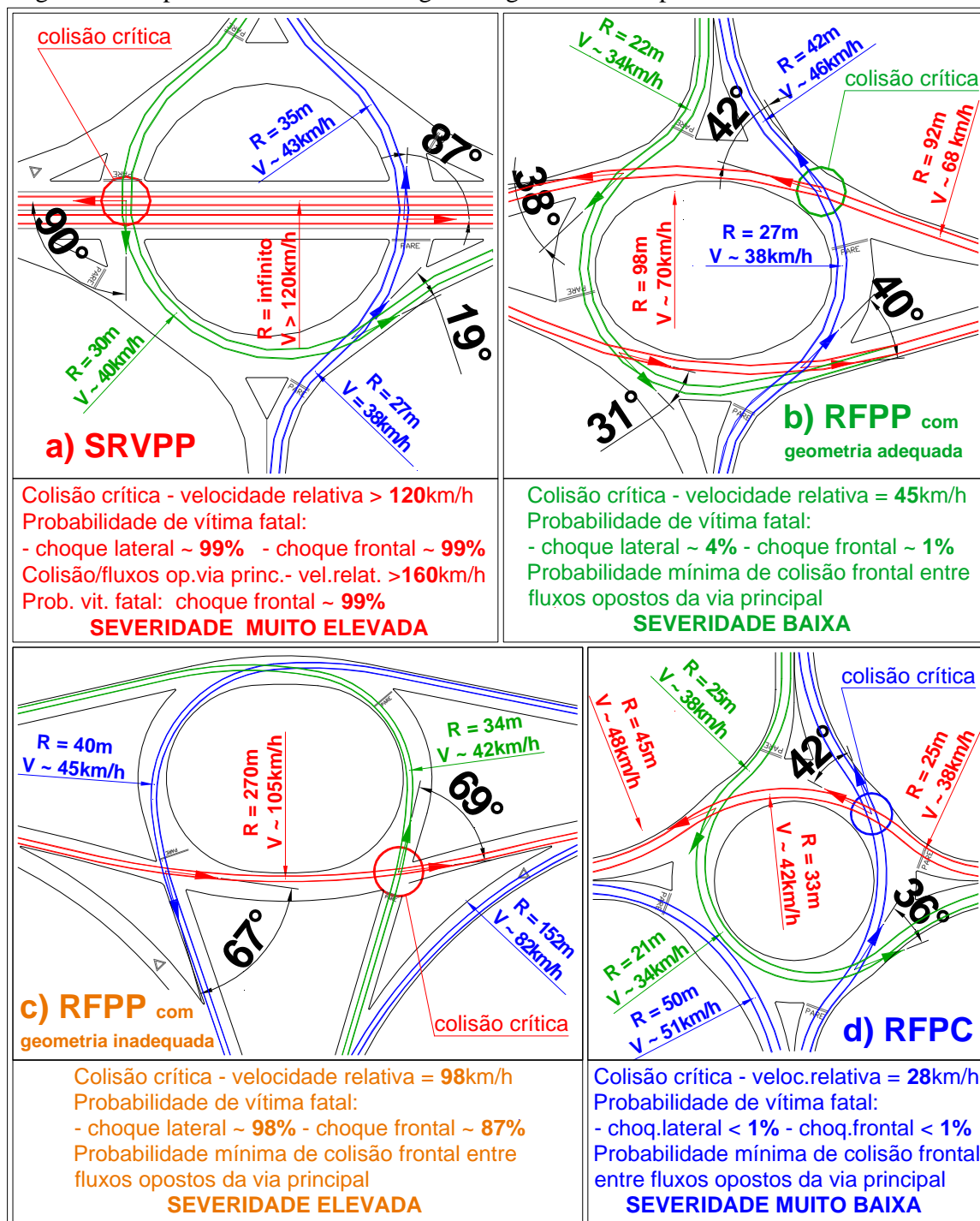
Existe uma relação entre o raio de curvatura da trajetória de um veículo e a velocidade máxima que este consegue alcançar, mantendo garantidas condições mínimas de conforto e segurança. Alguns testes realizados na região de Araraquara mostraram que os veículos atuais mais rápidos percorrem trajetórias com raios de deflexão de 20m, 60m, 100m, 140m e 180m com velocidades de 32km/h, 55km/h, 70km/h, 82km/h e 92km/h respectivamente. Essa correspondência de valores foi utilizada na análise comparativa a seguir.

### *Velocidade relativa de impacto em função do ângulo de colisão*

A dinâmica da dissipação da energia cinética envolvida numa colisão entre veículos é bastante complexa. Para permitir uma análise comparativa da gravidade das colisões nas diferentes interseções admitiu-se, de forma simplificada, que a velocidade relativa no choque é proporcional ao seno do ângulo formado entre as trajetórias dos veículos.

### Análise comparativa das possíveis colisões e da colisão crítica

Na Figura 4 são apresentados os fatores ligados à gravidade das possíveis colisões.

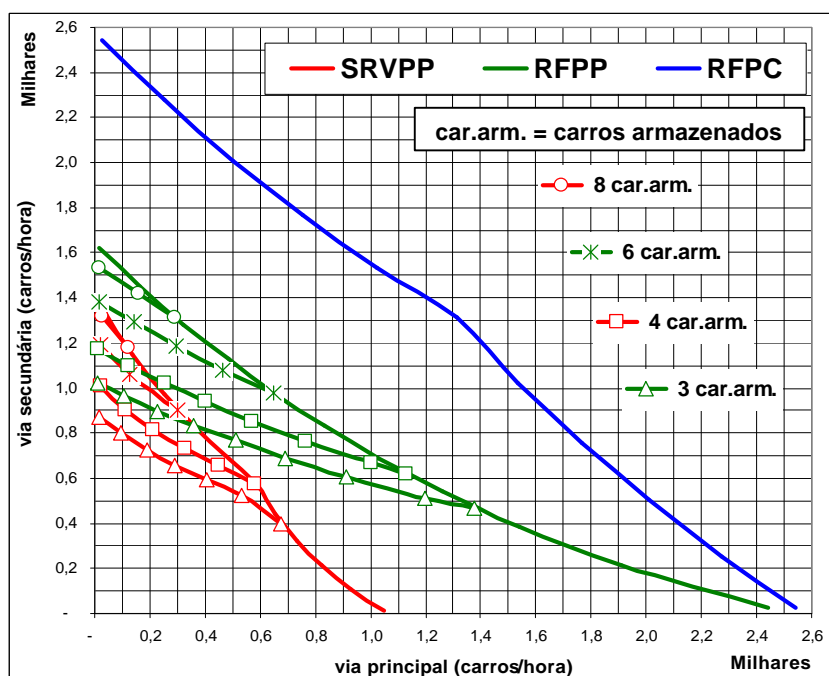


**Figura 4** – Gravidade das possíveis colisões nos diferentes tipos interseções em análise.

Na SRVPP da Figura 4a, existe a possibilidade de ocorrência de colisões gravíssimas, tanto envolvendo veículos das vias principal e secundária, como veículos dos fluxos opostos da via principal. A probabilidade da ocorrência de acidentes graves nas RFPP, Figuras 4b e 4c, depende das características geométricas - no caso da Figura 4b, preconizada pela Regional de Araraquara do DER-SP, praticamente inexistente a possibilidade de acidentes graves enquanto que no da Figura 4c as colisões podem ser gravíssimas com probabilidade de vítima fatal muito elevada. Na RFPC, Figura 4d, as possíveis colisões são de baixíssima severidade.

### 3. CAPACIDADE DE TRÁFEGO

A Figura 5 apresenta os limites de volume de tráfego que podem operar em condições satisfatórias nas interseções em análise, segundo a metodologia do *HCM-2000* (TRB 2000), considerando-se o atraso médio do movimento crítico da interseção e o nível de serviço D.



**Figura 5** – Volumes máximos em condições satisfatórias de operação.

Conforme Figura 5, a RFPP possui capacidade de tráfego superior à da SRVPP, porém, os dois tipos de interseções possuem limitações de armazenamento de veículos dentro do dispositivo, que podem levar a uma operação em condições indesejáveis, representado pelos ramos inferiores das curvas em função da quantidade possível de carros armazenados. Nas modernas rotatórias, além de apresentarem capacidade de tráfego muito superior às demais, não existe a possibilidade de travamento – evento que pode ocorrer nas rotatórias com prioridade para a via principal.

### 4. TRANSFORMAÇÕES DE INTERSEÇÕES IMPLEMENTADAS PELO DER-SP

Seguindo as diretrizes apresentadas neste trabalho, a regional de Araraquara nos últimos três anos implementou transformações em mais de uma dezena de interseções vazadas, tornando-as RFPPs.

Todas as implementações foram bem sucedidas, em termos de segurança, razão pela qual já estão programadas diversas outras. As Figuras 6 e 7 apresentam fotos de uma das interseções.



**Figura 6** – Acesso a Sta. Lúcia – SRVPP “antes”, tangente que incentiva velocidades elevadas.



**Figura 7** – Acesso a Sta. Lúcia – RFPP “depois”, deflexão que obriga a redução da velocidade.

## 5. CONCLUSÕES

A RFPP, desde que obedecidos certos requisitos geométricos, apresenta condições de segurança e capacidade superiores à da SRVPP devendo, portanto, ter o seu uso incentivado no presente. No futuro, entretanto, com a mudança de comportamento dos condutores, tudo indica que será inevitável a adoção da moderna rotatória ou RFPC no país, em razão das ainda maiores vantagens que proporciona em termos de segurança e capacidade. O fato de todos os veículos serem obrigados a reduzir mais significativamente a velocidade nas entradas da interseção leva a um grande aumento da segurança. Com a prioridade para o fluxo da via circular, é maior a capacidade da interseção, assim como é eliminada a possibilidade de travamento.

## REFERÊNCIAS

- CALM STREETS (1999) The Swedish Association of Local Authorities. - “*Calm Streets! – A planning process for safer, more eco-friendly, pleasant and attractive streets in urban areas*”. – Svenska Kommunförbundet. 1999.
- TRB (2000) Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, Special Report 209. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 2000.

---

Fábio Quintela Fortes ([fr.fortes@uol.com.br](mailto:fr.fortes@uol.com.br))

Mario Augusto Fattori Boschiero ([camahuma@uol.com.br](mailto:camahuma@uol.com.br))

Antonio Clóvis Coca Pinto Ferraz ([coca@sc.usp.br](mailto:coca@sc.usp.br))

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Cx.P. 359 – CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil.