

MODELO MULTICRITÉRIO PARA A PRIORIZAÇÃO DE INTERSEÇÕES CANDIDATAS A IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE SEMAFÓRICO

Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

Waldemiro de Aquino Pereira Neto

Universidade Federal do Ceará
Engenharia Civil – Campus do Cariri

RESUMO

A implantação de semáforos em interseções viárias é uma das intervenções usualmente proposta para gerenciar conflitos de tráfego das áreas urbanas. Existem vários procedimentos propostos na literatura para identificar a necessidade de implantação, ou não, destes dispositivos, considerando aspectos físicos e operacionais da interseção, assim como estatísticas de acidentes. Entretanto, estes métodos não permitem uma agregação dos parâmetros considerados, dificultando estabelecer uma priorização entre interseções críticas. Este trabalho apresenta uma abordagem multicritério, onde é estruturado um modelo que permita estabelecer uma relação de prioridade, possibilitando hierarquizar, dentre o universo de interseções candidatas a receberem semáforos, aquelas com maior necessidade de implantação deste dispositivo.

ABSTRACT

Installation of traffic control signal at intersections is an intervention usually proposed to manage traffic conflicts in urban areas. There are some procedures in literature to justify these devices, considering not only physical and operational aspects, as well as accidents statistics. However, these methods do not allow dealing with all these factors together, making hard to establish a priority between critical intersections. This paper presents a multicriterion approach, in what a model is developed to evaluate intersections candidates to receive a traffic control signal, establishing a priority order to install this device.

1. INTRODUÇÃO

A inserção da administração municipal no Sistema Nacional de Trânsito, instituída no Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 1999), tornou obrigação legal das prefeituras municipais a gestão do trânsito, incluindo a circulação, sinalização e orientação de trânsito, entre outras questões. A municipalização do trânsito trouxe alguns benefícios como permitir que os problemas locais, envolvendo os deslocamentos de pessoas e bens, sejam estudados com maior propriedade, sendo possível propor soluções que integrem outras competências desta esfera de governo, permitindo o planejamento do espaço urbano de forma mais abrangente, em conjunto com as demais atribuições delegadas à administração municipal.

Dentre as intervenções utilizadas para solucionar os problemas de trânsito em áreas urbanas, está a implantação de controle semafórico. Semáforos são dispositivos utilizados com o objetivo de ordenar o tráfego, gerenciando os conflitos dos diversos usuários das vias. A utilização destes dispositivos é normalmente recomendada quando não é possível resolver o problema através de intervenções de outra natureza. Além do custo associado à implantação destes equipamentos, sua utilização imprópria ocasiona atrasos desnecessários nos deslocamentos, provocando a sensação de inutilidade do dispositivo e estimulando a desobediência às regras de trânsito. Nestes casos, o uso inapropriado destes equipamentos pode inclusive se converter numa elevação da ocorrência de acidentes. Ou seja, o efeito pode ser contrário ao esperado, no lugar de reduzir, ou mesmo eliminar os acidentes, pode ocorrer sua elevação em função do desrespeito à sinalização por parte de alguns usuários.

Desta forma, a implantação de semáforos deve ser precedida de um estudo técnico capaz de identificar a necessidade ou não deste dispositivo. Este estudo é usualmente embasado na

análise de aspectos físicos e operacionais da área considerada, envolvendo a coleta de dados de tráfego, estatísticas de acidentes e levantamentos físicos das vias. Entretanto, uma prática observada em muitas cidades brasileiras é a interferência política nesta decisão. A implantação de semáforos nas áreas urbanas, especialmente nas grandes periferias se tornou uma medida popular capaz de gerar dividendos eleitorais. Para satisfazer reivindicações das comunidades, que vêem na implantação de um semáforo a solução para reduzir o número de acidentes em determinados locais, a decisão política muitas vezes vence os argumentos técnicos. O resultado disto é o uso inadequado de recursos financeiros, em situações onde problemas de segurança de tráfego poderiam ser resolvidos com medidas como a implantação de sinalização regulamentar e/ou advertência, ou mesmo, uma simples mudança na circulação dos veículos no local. Um recurso importante para coibir as interferências políticas na tomada de decisão dos técnicos é planejar as ações através da utilização de um plano diretor de semáforos. Esta medida permite coordenar as ações de governo, onde as intervenções no trânsito possam ser realizadas de forma sistêmica, permitindo o planejamento e programação da implantação de semáforos na cidade. Um dos instrumentos necessários neste plano é existência de um método consistente que justifique tecnicamente a implantação de semáforos.

Existem vários métodos na literatura, nacionais e internacionais, para justificar a utilização do controle semaforico. De um modo geral estes instrumentos são baseados, dentre outros aspectos, nas experiências de técnicos, no comportamento do tráfego local, nas condições ambientais, e nas legislações vigentes. Cabe ao técnico responsável pelo estudo, com base nos seus conhecimentos e experiências, verificar qual destas metodologias é a mais adequada para justificar a implantação, ou não, de um semáforo. Uma deficiência existente nestes métodos é que, apesar de serem consideradas diversas variáveis no estudo das interseções, não é proposta uma ponderação entre os critérios de avaliação. Isto resulta na dificuldade de identificar, entre interseções críticas, qual a situação que se mostra mais urgente, e portanto, qual é a prioritária para receber a intervenção. Considerando a limitação de recursos financeiros, realidade presente na grande maioria das administrações municipais, a existência de métodos, que permitam hierarquizar os pontos críticos, representa uma forma importante de melhor aplicar os recursos disponíveis.

Este artigo tem por objetivo fazer uma análise dos critérios adotados nas principais metodologias de implantação de semáforo, selecionando aquela considerada mais relevante para a realidade do trânsito da cidade de Fortaleza (CE). Será utilizada a metodologia multicritério de apoio a decisão – MCDA, para estruturar um modelo que avalie a necessidade de implantação de semáforos, permitindo hierarquizar, dentre o universo de interseções candidatas a receberem este dispositivo, aquelas com maior prioridade de implantação. Como objetivo complementar será realizado um estudo de caso com algumas interseções críticas, mostrando uma aplicação prática do modelo proposto.

2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA IDENTIFICAR A NECESSIDADE DE SEMÁFOROS

Existem vários métodos na literatura técnica que orientam estudos de implantação de semáforo. Estes métodos, em sua maioria, são concebidos no âmbito de órgãos gestores de tráfego (Vilanova, 2007), onde técnicos da área, embasados em seus conhecimentos, estabeleceram os critérios considerados mais relevantes e os parâmetros mínimos para justificar a necessidade deste dispositivo. Comparando estes métodos, percebe-se que apesar de tratarem em sua maioria dos mesmos critérios de análise, existem discrepâncias quanto aos

valores considerados. A seguir são apresentados os critérios principais adotados por algumas metodologias propostas no Brasil pelo DENATRAN (1984) e CET-SP (1977), assim como também em outros países como Argentina (Córdoba, 2004), Escócia (SDD, 1973) e Estados Unidos (FHWA, 2003).

2.1 Volume Veicular

A existência de volumes veiculares elevados numa interseção é um importante aspecto que pode indicar a necessidade de implantação de controle semafórico. Quando este volume é elevado na via principal, há uma redução de brechas para os veículos na via secundária. Por sua vez, volumes elevados na via secundária ocasionam a formação de filas e aumento dos atrasos. O manual do DENATRAN, assim como outros manuais internacionais como o manual americano denominado *Manual on Uniform Traffic Control Devices – MUTCD* (FHWA, 2003), o manual argentino, e o manual escocês, estabelecem volumes limites que justificam a implantação de semáforo, considerando variáveis como a quantidade de faixas de tráfego das aproximações, e volumes observados em diferentes agrupamentos de horas críticas. A metodologia da CET-SP, por sua vez, não estabelece volumes de tráfego, considerando as variáveis, ciclos vazios e atrasos observados no cruzamento. Ou seja, não é utilizado diretamente o volume de tráfego, mas o comportamento do tráfego resultante deste volume de veículos. Observa-se ainda que, a metodologia do MUTCD propõe a utilização de menores volumes críticos para localidades com população inferior a 10.000 habitantes.

2.2 Volume de Pedestres

A travessia de pedestres é outro critério analisado nos estudos de implantação de semáforos. Os conflitos existentes, entre estes usuários e o tráfego veicular, precisam ser gerenciados, sob o risco da inexistência de condições adequadas de travessia de pedestres, ocasionarem elevado crescimento no número de acidentes. Segundo o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) quando o tempo de espera do pedestre para a realização de travessia supera 30 segundos, existe uma alta probabilidade deste usuário assumir um comportamento de risco, aceitando pequenas brechas do tráfego. O Manual de Semáforo do DENATRAN (DENATRAN, 1984) adota o limite de 250 pedestres/hora em ambos os sentidos de travessia para justificar a implantação de semáforos. A CET-SP propõe um volume igual ou superior a 190 pedestres/hora numa travessia na hora crítica, e nos dois sentidos. Na Escócia este valor é mais elevado, sendo considerado o volume de 300 pedestres/hora. O MUTCD por sua vez, especifica um volume igual ou superior a 100 pedestres/hora, durante quatro quaisquer intervalos de uma hora (15 minutos) de um dia típico, ou ainda, um volume a partir de 190 pedestres/hora, durante qualquer intervalo de uma hora. Ou seja, neste caso é considerado como critério, não apenas o volume horário, mas também, a distribuição dos pedestres ao longo do período de uma hora, os quais podem justificar a implantação de semáforos. Este último critério de análise traduz algumas situações observadas em campo, como por exemplo, a existência de equipamentos como escolas e igrejas, onde há liberação de volumes de pedestres em períodos concentrados. Na Argentina, o volume de pedestres é analisado conjuntamente com o volume de veículos na travessia com maior volume, onde volumes veiculares superando 450 veículos /hora, e de pedestres superiores a 150 pedestres/hora, denotam a necessidade de implantação do semáforo.

2.3 Acidentes

A ocorrência de acidentes em uma interseção, especialmente quando envolve a existência de alguma vítima fatal, é um dos mais fortes argumentos utilizados pela população para

reivindicar a implantação de semáforos. Entretanto, apesar da existência de apelo popular, é importante avaliar tecnicamente a causa destes acidentes, e sua correlação com a inexistência de um semáforo. Devem ser avaliadas outras soluções de engenharia, como a implantação de sinalização, e o controle eletrônico de velocidade. Os Manuais do DENATRAN e o escocês do SDD, determinam que a ocorrência de 05 acidentes com vítimas, durante o período de um ano, justificam a implantação de semáforo. O MUTCD utiliza este mesmo parâmetro, mas considera apenas acidentes que tenham ocorrido pela ausência de semáforo. A CET propõe um total número de 3 acidentes com vítimas, desde que também tenham sido ocasionados pela falta de semáforo.

2.4 Fluidez

Uma das importantes funções dos semáforos, além de gerenciar os conflitos entre usuários, é permitir uma maior fluidez nas correntes de tráfego do sistema viário. Neste caso os semáforos podem assumir outras funções como manter a coesão de pelotões de veículos, permitindo a utilização de recursos como a progressão semafórica, reduzindo o número de paradas e atrasos dos veículos e, por conseguinte, permitindo menores tempos de viagem. No manual do DENATRAN é mencionado que, mesmo quando os volumes veiculares na via principal e secundária da interseção, não atingem os valores mínimos recomendados para a implantação de semáforos, deve ser considerada sua utilização quando o volume na via principal dificulta o cruzamento dos veículos da via secundária em uma interseção à montante do cruzamento analisado, situação encontrada normalmente em redes com pequeno espaçamento entre as vias. De forma semelhante, a CET São Paulo propõe esta análise, recomendando que seja comparado o atraso atual e o atraso estimado com a implantação do semáforo, possibilitando identificar a situação que proporciona maior fluidez. No manual argentino é recomendado verificar se a implantação do equipamento não interrompe alguma corrente de trânsito contínuo existente na via. O DENATRAN, assim como o MTUCD, recomenda a utilização de semáforos com o objetivo de contribuir para o ajuste de velocidade de progressão, ou para melhoria da formação dos pelotões. Desta forma o semáforo é justificado quando irá se integrar a uma rede de semáforos coordenados, garantindo a compactação dos pelotões de veículos, contribuindo para a concentração e organização das correntes de tráfego na rede. O manual do SDD observa a necessidade de coordenação, entre o novo semáforo e outros adjacentes, nos casos onde a distância entre eles é inferior a 300 metros.

2.5 Outros critérios

Existe ainda uma série de outros critérios nos manuais de semáforo que justificam sua implantação. O manual do DENATRAN estabelece outros volumes mínimos de tráfego para situações como a existência de cruzamentos com mais de quatro aproximações, e ainda, em situações específicas, que sejam devidamente justificadas pelos técnicos responsáveis. A Argentina estabelece que, em alguns casos, a implantação de semáforos está condicionada às vias da interseção possuírem velocidade máxima regulamentada igual, ou inferior, a 60 km/h. Para o manual escocês do SDD é determinada também a utilização de semáforos nas interseções onde existe uso constante de controle dos fluxos através da utilização de agentes trânsito, durante no mínimo, duas horas por dia. Determina ainda a utilização de controle semafórico em tempo parcial nas situações onde o cruzamento está sujeito, durante o período mínimo de duas horas, a situações de excessivo tempo de espera nas correntes de trânsito ou situações de risco.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DAS INTERSEÇÕES PARA A IMPLANTAÇÃO DE SEMAFÓRO.

O modelo de avaliação de interseções proposto neste trabalho foi baseado nos conhecimentos de técnicos em engenharia de tráfego, além de ser realizada uma revisão bibliográfica dos atuais métodos utilizados no meio técnico. Aplicou-se a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – MCDA (Bana e Costa, 1992) para identificar, priorizar, quantificar e ponderar os aspectos tidos como relevantes no processo de avaliação para a implantação de semáforos em interseções. Como resultado será possível identificar, dentre um universo de cruzamentos da malha viária, uma ordem de prioridade daqueles que são mais críticos, orientando assim a tomada de decisão para sua implantação. Foram considerados nesta análise os interesses dos diversos usuários deste dispositivo, a saber: motoristas pedestres e ciclistas, onde se procurou conciliar os conflitos existentes, uma vez que estes atores possuem valores, objetivos e percepções distintas. Por intermédio da prática de *brainstorming*, procurou-se extrair do grupo de decisores (técnicos que trabalham na área em estudo), os aspectos julgados relevantes para a hierarquização de cruzamentos candidatos à implantação de semáforos. Além dos conhecimentos e experiências do grupo, foram agregadas informações de trabalhos de pesquisa que elevaram o nível de compreensão da problemática (Magalhes *et al*, 2004; Melo, 2005). Através de um processo construtivista foi estruturado um modelo para avaliação das interseções, considerando as necessidades e anseios dos usuários, traduzidos através da utilização de aspectos quantitativos e também qualitativos.

A Figura 1 apresenta os critérios identificados como relevantes pelos decisores, agrupados em quatro áreas de interesse:

- a) Área “*Aspectos Operacionais*”. Nesta área são considerados os aspectos relacionados ao tráfego observado no cruzamento, seja de veículos, ciclistas ou pedestres, e também características operacionais da via como sua classificação funcional, a circulação dos fluxos de veículos, e a sinalização implantada.
- b) Área “*Aspectos Físicos*”. Trata de aspectos relacionados às características físicas do cruzamento, como as condições de visibilidade na interseção, condicionada por sua vez as variáveis, geometria do cruzamento, presença de mobiliário urbano, iluminação, e a própria área de conflito que a interseção abrange. Outros aspectos físicos abordados dizem respeito à quantidade de faixas de tráfego existentes nas aproximações, e as impedâncias presentes na interseção, como a existência de estacionamentos, paradas de ônibus, mudanças no alinhamento da via, rampas, e passagens de nível.
- c) Área “*Uso do Solo*”. Neste grupo de critérios são consideradas as questões relacionadas às interferências geradas na via pelo uso do solo lindeiro. Ou seja, o tipo de ocupação na área de influência da via, assim como, a presença de centros de atendimento a grupos especiais de usuários, como os idosos, os portadores de deficiências, e os estudantes.
- d) Área “*Segurança Viária*”. Nesta área são tratados os aspectos como a ocorrência de acidentes nas interseções, sendo considerados sua distribuição temporal, severidade e usuários envolvidos, e os critérios cujas informações estão condicionadas à existência de estatísticas de acidentes confiáveis. Outro critério considerado pelos decisores, como significativo para traduzir o risco de acidentes nas interseções, foi o numero de conflitos existentes entre os movimentos permitidos (tráfego direto, conversão à

esquerda e à direita), onde as interseções, com maior número de conflitos, foram consideradas como mais sujeitas à ocorrência de acidentes.

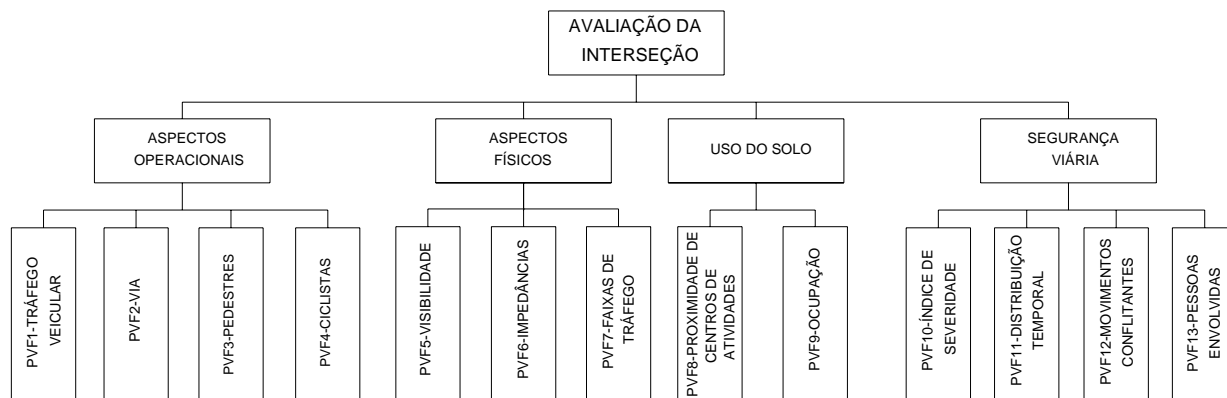


Figura 1: Estrutura do Modelo de Avaliação das interseções candidatas a receber semáforo.
Fonte: Dados da Pesquisa.

Como pode se observado na Figura 1, para cada uma das áreas de interesse definidas pelos decisores, foram escolhidos os aspectos de avaliação que abrangem estas áreas, os Pontos de Vista Fundamentais – PVF’s. Além dos PVF’s mostrados na Figura 1, o grupo de decisores propôs o detalhamento dos PVF’s, indicados em níveis inferiores, com o intuito de melhor explicar os aspectos julgados importantes no processo de avaliação das interseções, denominados de Pontos de Vista Elementares – PVE’s. Como exemplo, a Figura 2 mostra o detalhamento do Ponto de Vista Fundamental – “PVF Tráfego Veicular”.

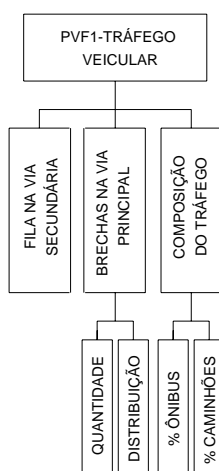


Figura 2: Detalhamento do PVF 1 – Tráfego Veicular.
Fonte: Dados da Pesquisa.

Após a estruturação do modelo (figura 1), foram construídas as funções de valor (escala para mensurar a avaliação local de cada interseção, com relação ao aspecto analisado), conforme os julgamentos semânticos dos decisores, e com a utilização do *software* MACBETH, desenvolvido por Bana e Costa e Vansnick (1995). As Tabelas 1 e 2 apresentam exemplos de dois critérios de avaliação considerados no modelo, e as respectivas pontuações obtidas nas funções de valor. O critério apresentado na Tabela 1 consiste em um parâmetro quantitativo,

referente à percentagem de ônibus que compõe o tráfego de veículos na via secundária da interseção. Este parâmetro, definido pelos decisores, foi utilizado juntamente com o critério “atraso na via secundária”, com o objetivo de diferenciar as interseções onde existe tráfego de transporte coletivo na via secundária, das que não existe. Segundo a avaliação dos decisores, as interseções com uma maior participação destes veículos na via secundária, devem ter uma maior pontuação, julgamento embasado no fato destes veículos atenderem um maior número de usuários (passageiros dos ônibus) devendo, portanto, ter prioridade.

Tabela 1: PVE 1.3.1 – Composição do Tráfego na Via Secundária – Porcentagem de Ônibus

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Pontuação obtida (Função de Valor)
N ₁	Porcentagem de Ônibus maior ou igual a 20%	125
N ₂ (Bom)	15%	100
N ₃	10%	75
N ₄	5%	37,5
N ₅ (Neutro)	0%	0

Fonte: Dados da Pesquisa

O critério “Sinalização Horizontal e Vertical”, apresentado na Tabela 2, é um exemplo de aspecto qualitativo, onde é avaliado se a utilização de sinalização é capaz de eliminar os movimentos conflitantes dos veículos na via. Neste caso, os decisores optaram por avaliar a possibilidade de uma outra solução de engenharia, como por exemplo, o uso de ilhas de canalização, ser capaz de resolver o problema existente na interseção, de forma parcial ou completa, sem que haja a necessidade de implantação de semáforo. Como pode ser observado, no último nível da Tabela 2 (N₃), nas interseções onde os conflitos entre movimentos são completamente eliminados com a utilização de recursos de sinalização, neste aspecto as interseções terão pontuação negativa. Este resultado revela a rejeição apontada pelos decisores, quanto ao uso de semáforos em situações onde outras medidas de engenharia sejam capazes de solucionar os conflitos existentes.

Tabela 2: PVE 2.3 – Sinalização Horizontal e Vertical

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Pontuação obtida (Função de Valor)
N ₁ (Bom)	O uso de Sinalização Horizontal e Vertical não elimina os movimentos conflitantes	100
N ₂ (Neutro)	O uso de Sinalização Horizontal e Vertical elimina parcialmente os movimentos conflitantes	0
N ₃	O uso de Sinalização Horizontal e Vertical elimina os movimentos conflitantes	-125

Fonte: Dados da Pesquisa

Para a agregação das avaliações locais em uma avaliação global, foram determinados indicadores de importância relativa entre os aspectos avaliados (taxas de substituição). Foi

utilizada uma função de agregação aditiva, na forma de uma soma ponderada, para representar o modelo de avaliação das interseções, expresso na Equação 1.

$$V(a) = 0,11 \cdot v_{PVF_1} + 0,04 \cdot v_{PVF_2} + 0,08 \cdot v_{PVF_3} + 0,07 \cdot v_{PVF_4} + 0,09 \cdot v_{PVF_5} + 0,10 \cdot v_{PVF_6} + 0,06 \cdot v_{PVF_7} + 0,07 \cdot v_{PVF_8} + 0,03 \cdot v_{PVF_9} + 0,19 \cdot v_{PVF_{10}} + 0,04 \cdot v_{PVF_{11}} + 0,05 \cdot v_{PVF_{12}} + 0,07 \cdot v_{PVF_{13}} \quad (1)$$

em que:

$V(a)$: Avaliação global da interseção candidata à implantação de semáforo

$v_{PVF(i)}$: Avaliação local da interseção candidata à implantação de semáforo, quanto ao aspecto analisado (ponto de vista fundamental - PVF*i*’, ou ponto de vista elementar – PVE*i*’).

O gráfico da Figura 3 apresenta a ponderação obtida consoante o julgamento dos decisores para cada ponto de vista fundamental do modelo. Dentre os parâmetros de avaliação considerados, o “Índice de Severidade dos Acidentes”, representado pelo PVF 10 foi o aspecto considerado mais importante pelos decisores, contribuindo com 19% da pontuação do modelo, confirmando a área de “Segurança Viária”, como a mais importante com 35% do peso do modelo. As áreas de “Aspectos Operacionais” e “Aspectos Físicos” receberam respectivamente 30% e 25% da pontuação do modelo, seguida por último da Área “Uso do Solo”, com 10% da ponderação proposta.

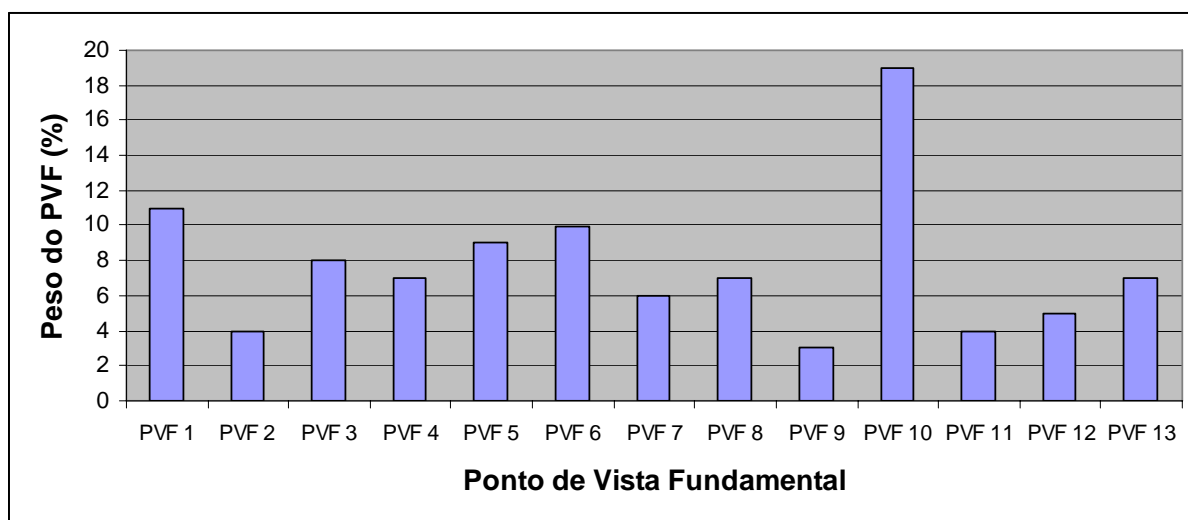


Figura 3: Detalhamento do PVF 1 – Tráfego Veicular.

Fonte: Dados da Pesquisa

4. ESTUDO DE CASO

Nos últimos anos, a cidade de Fortaleza apresentou um acelerado crescimento urbano e de sua frota de veículos. Segundo o Departamento Estadual de Trânsito a frota atual é de 497.967 veículos, apresentando um crescimento de 6,79% ao ano (DETRAN-CE, 2006). Uma das consequências deste crescimento foi a saturação de importantes vias do sistema viário, e a crescente demanda pela implantação de controle semaforico nas interseções. A malha viária da cidade possui uma configuração bastante reticulada, resultando na existência de um grande número de interseções. Atualmente existem 509 semáforos implantados e o órgão gestor de

trânsito do município recebeu no primeiro semestre de 2007 um total de aproximadamente 200 processos solicitando a implantação de semáforos. Diante desta realidade, foi proposta a utilização do modelo de avaliação descrito, como um instrumento para permitir estabelecer uma ordem de prioridades, apoiando a tomada de decisão dos técnicos de trânsito para a implantação deste dispositivo.

Para exemplificar uma aplicação deste modelo de avaliação, foram escolhidas três interseções críticas localizadas numa via arterial na zona leste da cidade, a Av. Washington Soares. Esta via experimentou um elevado crescimento na oferta de serviços com a implantação de edificações de grande porte, caracterizadas como Pólos Geradores de Viagens – PGV's. Nas interseções escolhidas, são observados importantes conflitos entre o tráfego de passagem e o tráfego local, gerando problemas de travessia para os veículos, os ciclistas, e os pedestres. São elas: (i) Interseção 1 - Av. Washington Soares x Rua Firmino Rocha Aguiar; (ii) Interseção 2 - Av. Washington Soares x Rua Des. Manuel de Sales Aguiar; e (iii) Interseção 3 - Av. Washington Soares x Rua Maximiliano da Fonseca. As Tabelas 3 a 6 apresentam a caracterização destas interseções, segundo os critérios de avaliação do modelo proposto.

Tabela 3: Caracterização das interseções segundo os critérios do modelo de avaliação proposto - Área de Interesse “Aspectos Operacionais”.

PVF	PVE	INTERSEÇÃO 1	INTERSEÇÃO 2	INTERSEÇÃO 3
Tráfego Veicular	Fila na Via Secundária	50	30	100
	Brechas na Via Principal	< 30	< 30	45
	Composição do Tráfego	0 % ônibus 3% caminhão	0 % ônibus 1% caminhão	1 % ônibus 5% caminhão
Via	Classificação Funcional	Arterial X Coletora	Arterial X Coletora	Arterial X Arterial
	Sentido do Tráfego	Principal: Mão dupla com canteiro; Secundária: Mão dupla sem canteiro	Principal: Mão dupla com canteiro; Secundária: Mão dupla sem canteiro	Principal: Mão dupla com canteiro; Secundária: Mão dupla sem canteiro
	Sinalização Horizontal e Vertical	Implantação elimina parcialmente os conflitos	Implantação elimina parcialmente os conflitos	Implantação não elimina os conflitos
	Rede Semafórica	Não existem outros semáforos nas proximidades.	Não existem outros semáforos nas proximidades.	Não existem outros semáforos nas proximidades.
	Volume	118 ped/h	10 ped/h	111 ped/h
	Brechas do Tráfego Veicular	< 30	< 30	45
Ciclistas	Volume	374 cicl/h	20 cicl/h	379 cicl/h
	Brechas do Tráfego Veicular	< 30	< 30	45

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 4: Caracterização das interseções segundo os critérios do modelo de avaliação proposto - Área de Interesse “Aspectos Físicos”.

PVF	PVE	INTERSEÇÃO 1	INTERSEÇÃO 2	INTERSEÇÃO 3
Visibilidade	Mobiliário Urbano e Geometria	Não há obstrução de visibilidade	Obstrução de 2 movimentos	Obstrução de 2 movimentos
	Iluminação	Regular	Regular	Regular
	Área de Conflito	750 m ²	635 m ²	3800 m ²
Impedâncias	Canalização	Existe mudança de alinhamento	Não existe mudança de alinhamento	Existe mudança de alinhamento
	Paradas de Ônibus	Existe parada na via principal	Não existe parada	Existe parada na via principal
	Estacionamento	Não existe na secundária	Não existe na principal	Não existe na secundária
	Rampas	Não existe	Não existe	Não existe
	Passagem de Nível	Não existe	Não existe	Não existe
Faixas de Tráfego	Via Principal	2 faixas	2 faixas	2 faixas
	Via Secundária	2 faixas	2 faixas	1 faixa

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 5: Caracterização das interseções segundo os critérios do modelo de avaliação proposto - Área de Interesse “Uso do Solo”.

PVF	PVE	INTERSEÇÃO 1	INTERSEÇÃO 2	INTERSEÇÃO 3
Proximidade de Centro de Atividades	Atendimento a Idosos	Não existe	Existe	Existe
	Atendimento a Crianças	Existe	Não existe	Existe
	Atendimento a Deficientes	Não existe	Existe	Existe
Ocupação	-	Misto	Comercial	Comercial

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 6: Caracterização das interseções segundo os critérios do modelo de avaliação proposto - Área de Interesse “Segurança Viária”.

PVF	PVE	INTERSEÇÃO 1	INTERSEÇÃO 2	INTERSEÇÃO 3
Índice de Severidade	-	34	107	107
Distribuição Temporal	Picos	50%	50%	50%
Movimentos Conflitantes	-	5	5	5
Pessoas Envolvidas	% Crianças	20	35	45
	% Idosos	30	20	50
	% Deficientes	10	30	60
	% Adultos e Jovens	30	35	35

Fonte: Dados da Pesquisa

Utilizando das funções de valor obtidas no modelo, foram determinadas as pontuações locais de cada interseção, com relação ao aspecto analisado. Estas avaliações locais foram transformadas em uma avaliação global com a utilização das taxas de substituição propostas pelos decisores (Equação 1). A Tabela 7 apresenta o desempenho global das interseções e a composição desta pontuação por área de interesse do modelo.

Tabela 7: Avaliação parcial e global das interseções analisadas.

Área de Interesse	INTERSEÇÃO 1	INTERSEÇÃO 2	INTERSEÇÃO 3
Aspectos Operacionais	25	14	17
Aspectos Físicos	7	1	6
Uso do Solo	4	6	11
Segurança Viária	9	20	21
Avaliação Global	45	41	55

Fonte: Dados da Pesquisa

Os resultados indicaram a Interseção 3 como prioritária dentre as interseções analisadas para a implantação de semáforo, superando a Interseção 1 com uma margem de 22% de diferença. Com relação a Área de “Segurança Viária”, a Interseção 2, apesar de apresentar quase o mesmo resultado da Interseção 3, (20 e 21, respectivamente), apresentou desempenho nos demais critérios abaixo das demais interseções, resultando na pontuação mais baixa em termos globais. Este resultado exemplifica que a observação de indicadores isoladamente pode não resultar em um julgamento correto e mostra a vantagem de se utilizar modelos de agregação aditiva, que permitam avaliar todos os parâmetros conjuntamente.

5. CONCLUSÃO

Os métodos de análise para a implantação de semáforos apresentados cumprem a função de identificar a necessidade deste dispositivo em interseções sem, entretanto, estabelecer um nível de prioridade entre estas interseções. O modelo multicritério, elaborado neste trabalho, permitirá aos tomadores de decisão hierarquizar as interseções candidatas a receberem este dispositivo, estabelecendo uma relação de prioridade, segundo seus juízos de valor. O modelo obtido representa uma importante ferramenta de apoio na tomada de decisão, permitindo que os recursos disponíveis para o gerenciamento e controle do tráfego urbano sejam utilizados de forma mais eficiente.

O estudo de caso realizado em três interseções críticas da cidade de Fortaleza mostrou uma aplicação do modelo. Com base na escala de preferências definidas pelo grupo de decisores, foi obtida uma pontuação global para cada interseção, permitindo estabelecer uma ordem de importância para a implantação do controle semaforico. A existência de um resultado numérico capaz de traduzir esta ordem de preferência é um importante instrumento para apoiar a tomada de decisão, inibindo que outros aspectos, especialmente interesses políticos e individuais, interfiram no processo de escolha, resultando numa melhor utilização dos recursos financeiros existentes.

A aplicação da metodologia MCDA apresentou vantagens como, proporcionar um processo de discussão entre os decisores, e gerar uma maior compreensão do problema. Como resultados deste processo de aprendizagem foram identificados outros aspectos relevantes a

serem considerados na avaliação das interseções, que até então desconsiderados nos métodos tradicionais. O processo participativo do grupo de decisores, nas etapas de estruturação e avaliação do modelo, proporcionou uma elevada credibilidade dos resultados obtidos para as interseções estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANA e COSTA, C. A. (1992) *Structuración, Construction et Exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la decisión*, PhD Thesis. Universidade Técnica de Lisboa.
- BANA e COSTA, C. A.; VASNICK, J.C. (1995) *Uma Nova Abordagem ao Problema de Construção de uma Função de Valor Cardinal: MACBETH. Investigação Operacional*, v. 15, p. 15-35.
- BRASIL (1999) Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o código de trânsito brasileiro. Lex: nova coletânea de legislação de trânsito, Porto Alegre, p. 9–90.
- CET-SP (1977) Companhia de Engenharia de Tráfego. *Sinalização Semafórica*. Coleção Manual de Sinalização Urbana V. 6 – Normas de projeto São Paulo.
- CÓRDOBA (2004) Decreto nº 447, de 07 de maio de 2004. Reglamentación de la ley nº 8980 -Utilización de dispositivos reguladores y controladores del tránsito. Anexo 2, Córdoba.
- DENATRAN (1984) Departamento Nacional de Trânsito, *Manual de Semáforos*, 2ª Edição, Brasília, DF.
- DETRAN-CE (2006) Departamento Estadual de Trânsito - Evolução da Frota. Disponível em: <<http://www.detrans.ce.gov.br/site/arquivos/estatisticas/Veiculos/2006/2005-2006%20-%20EVOLUÇÃO%20DA%20FROTA.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2007.
- Ensslin, L., Montibeller Neto, G., Noronha, S. M. (2001) *Apoio à Decisão: Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Editora Insular, Florianópolis, S.C.
- Gondim, M. F. (2001) Transporte não Motorizado na Legislação Urbana do Brasil. Tese de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ.
- FHWA (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Federal Highway. Edição 2003. Washington: Federal Highway Administration.
- Magalhães, M. T. Q., Rios, M. F., Yamashita, Y. (2004) Identificação de Padrões de Posicionamento Determinantes do Comportamento dos Pedestres. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 18., 2004, Florianópolis . Anais... Florianópolis : ANPET, v.1.
- Melo, F. B. (2005) Proposição de Medidas Favorecedoras à Acessibilidade e Mobilidade de Pedestres em Áreas Urbanas. Estudo de Caso: O Centro de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, PETRAN, Fortaleza, CE.
- SDD (1973) Scottish Development Department – Criteria for Traffic Light Signals at Junctions. Disponível em: <http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol8/section1/sh6_73.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2007.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Washington: Transportation Research Board.
- Vilanova (2007) Critérios para a implantação de semáforos. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos>>. Acesso em: 20 abr. 2007.