



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO CORREDOR AVENIDA DAS AMÉRICAS COM AUXÍLIO DE METODOLOGIA ESTATISTICAMENTE ROBUSTA

Catia Nunes Poyares

Jorge Luis dos Santos

Rodolfo Barbosa Moreira

Marcos Alberto Pereira Motta

CET-Rio - Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro

RESUMO

Esta comunicação visa apresentar todo o processo de reestruturação da programação semafórica do corredor Avenida das Américas, tendo sido acompanhada por pesquisas de “Velocidade e Retardamento”, buscando inicialmente identificar os principais problemas de progressão e seus motivos e posteriormente a avaliação dos benefícios obtidos. É apresentado ainda um pouco da técnica utilizada para o alcance dos resultados, a técnica utilizada para a pesquisa de “Velocidade e Retardamento” e todo o tratamento estatístico aplicado. O trabalho objetiva também fomentar a discussão da utilização de sistemas de controle semafóricos à tempos fixos, sendo apresentados os resultados decorrentes da implantação de novos planos semafóricos.

ABSTRACT

This paper aims to present the whole restructuration process of the signal timing in Americas Avenue, having been accompanied by researches of "Travel Times and Delays Studies", aiming preliminarily to identify the main progression problems and its reasons and facilitating the evaluation of the obtained benefits. It also introduces a part of the technique used for reaching the results, the "Travel Times and Delays Studies" research technique and applied statistical treatment. The paper also objectives to foment fixed time traffic control systems use discussion, being presented at the results of the new signal plans.

1. CARACTERIZAÇÃO DO CORREDOR

1.1 Inserção Urbana

O corredor Avenida das Américas, localizado na parte Oeste do município do Rio de Janeiro, inicia próximo ao Canal de Marapendi, na Barra da Tijuca, terminando na Estrada da Pedra, em Guaratiba, sendo elemento importante no sistema viário de acesso a Zona Sul e ao Centro da cidade.

O corredor Américas estende-se pelos bairros: Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e Guaratiba, tendo como característica principal, em relação ao uso do solo, alta concentração residencial, atingindo 70 %, se analisados os três bairros em conjunto. Dentre os três bairros pode-se considerar como principal a Barra da Tijuca, não só por seus grandes condomínios, mas por encontrar-se também neste bairro grande atividade comercial e de serviços no solo lindeiro. Com alcance tanto local como regional, destacando-se *shoppings centers*, hospitais, hipermercados e templos religiosos, entre outros.

A Av. das Américas possui do seu início até o seu fim mais de 30 km de extensão. O trecho de pesquisa envolve apenas 3,54 km, estando compreendido entre as Avenidas Ayrton Senna e Armando Lombardi (**Figura 1**). Possui quatro pistas, sendo duas pistas no sentido Centro e duas pistas no sentido Recreio dos Bandeirantes, com o número de faixas de rolamento variando entre duas e três por pista, separadas por canteiros de 8 m de largura, em média, contendo neste trecho 10 interseções semaforizadas.

Este trecho apresenta-se como o de maior densidade populacional e comercial da Barra da Tijuca, estando as interseções semaforizadas próximas entre si, característica não encontrada em nenhum outro trecho da via em análise.

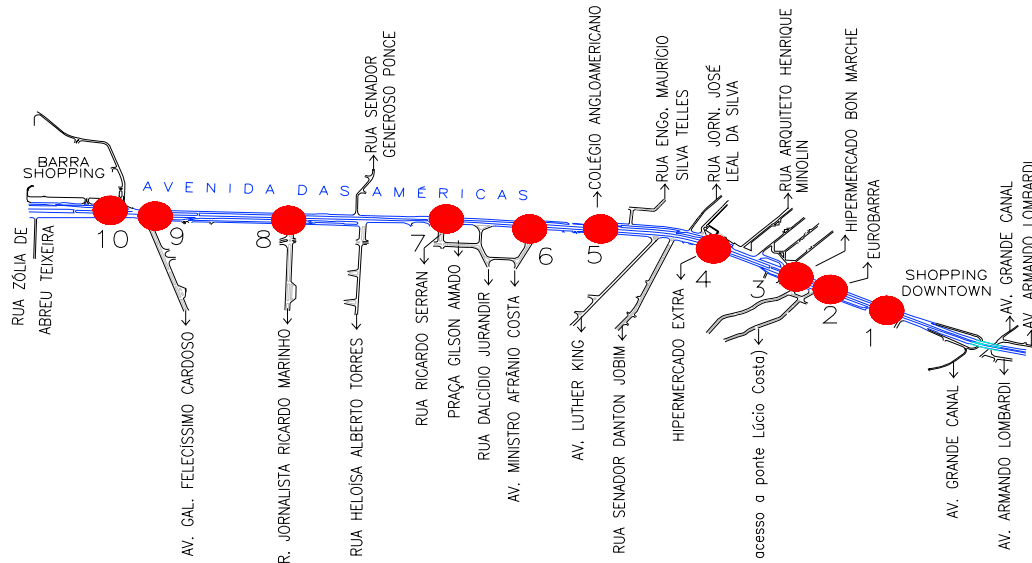


Figura 1 : Mapa esquemático Av. da Américas

1.2 Caracterização para o Controle Semafórico

No trecho pesquisado, as dez interseções semaforizadas podem ser agrupadas em três conjuntos, quanto às características físicas e funcionais. O primeiro conjunto compreende os cruzamentos 1, 2, 3 e 4 concentrando neste trecho algumas das interseções críticas da rede, com altos fluxos veiculares e de pedestres e ainda forte movimento de conversão, estando muito próximas, o que suscita, o estabelecimento de uma coordenação com características ligeiramente diferentes do restante do corredor.

Ainda com relação a este primeiro trecho vale ressaltar o grande impacto do uso do solo nas características do fluxo de tráfego de veículos e pedestres, visto a existência de vários hipermercados, do *Shopping Downtown* e das vias de acesso e saída à ponte Lúcio Costa, sendo esta ponte um ponto de acesso à Praia.

O segundo conjunto compreende os cruzamentos 5, 6, 7 e 8 sendo estes cruzamentos de menor demanda em função da baixa atividade comercial neste trecho, se comparada ao trecho anterior, baixo volume de conversão e principalmente pelo fato das vias transversais apresentarem-se como vias locais.

O terceiro conjunto compreende os cruzamentos 9 e 10, com uso semelhante ao primeiro, porém com características geométricas diferentes. Neste conjunto localiza-se um dos principais *Shopping Centers* da cidade do Rio de Janeiro, acesso a dois hospitais de referência e a dois grandes pólos de serviço com bancos, escritórios e até universidades. À todas as atividades listadas acima somam-se o fato de estar localizado na interseção 10, o principal acesso a Linha Amarela, para os veículos provenientes da Zona Oeste e da Praia, gerando assim um número elevado e concentrado de veículos e pedestres, com um fluxo de tráfego transversal desproporcional em relação aos demais cruzamentos.

As dez interseções da Av. das Américas estão ligadas ao Centro de Controle de tráfego da cidade do Rio de Janeiro desde 1997, o qual opera com um sistema de supervisão à tempos fixos, não tendo sofrido desde a incorporação ao sistema nenhuma revisão de programação consistente, suportada por coleta de dados.



Objetivando dotar finalmente o corredor Américas de uma programação semaforica adequada às suas características e importância e também permitir uma avaliação consistente do desempenho da nova programação, foram realizadas pesquisas para aferir a qualidade da progressão antes e depois da modificação.

2. DADOS UTILIZADOS

2.1 Fluxo de Tráfego

Para a confecção dos novos planos semaforicos, foram utilizadas contagens classificadas direcionais e também perfis de 24 horas, possibilitando a obtenção de fatores de expansão para obtenção de valores de fluxo de tráfego onde os mesmos não estavam disponíveis para todo o dia.

Os dados obtidos das contagens foram submetidos a um procedimento de tratamento visando obter um comportamento representativo de toda a semana, eliminando variações ocasionais e a ocorrência de eventos não previsíveis, produzindo um comportamento com baixos coeficientes de variação ao longo do dia.

2.2 Fluxo de Saturação

Para a obtenção dos dados relativos ao fluxo de saturação, tomou-se como base a metodologia preconizada pelo HCM, fazendo-se as adaptações necessárias devido às características locais. Tendo sido calculados valores de fluxo para cada plano de tráfego analisado, bem como, para cada uma das situações apresentadas, sendo esta diferença justificada pelas características do método utilizado.

3. VELOCIDADE E RETARDAMENTO

3.1 Descrição

Para realização do levantamento foi necessário uma equipe composta por um motorista e dois pesquisadores, percorrendo o trecho em análise em um veículo de teste. As variáveis utilizadas para o levantamento foram: tempo de percurso e tempo e número de paradas, em cada link do corredor, tendo sido os levantamentos efetuados em ambos os sentidos, na pista central.

A pesquisa compreendeu duas etapas, a primeira, antes da implantação dos novos planos semaforicos, entre os dias 24/07/2001 e 13/08/2001 e a segunda, depois da implantação dos novos planos semaforicos, entre os dias 05/04/2002 e 11/04/2002, sendo os dias e horários apresentados na **Tabela 1**. Vale ressaltar que os horários de pesquisa foram escolhidos após análise do comportamento do fluxo de tráfego ao longo do dia, escolhendo-se os horários de maior concentração de veículos, em cada um dos dias da semana, possibilitando assim a análise do comportamento da via na pior situação.

A realização dos levantamentos em períodos distintos do ano, não configura-se em nenhum prejuízo para a análise dos resultados obtidos, dado o fato da Av. das Américas, durante a semana, não apresentar variação no comportamento do fluxo de tráfego, mês a mês, capaz de modificar seu desempenho operacional.

**Tabela 1 : Dias e Horários de Pesquisa**

Dia da Semana	Período	Início	Fim
2 ^a , 5 ^a e 6 ^a	manhã	08:00h	10:30h
	tarde	13:00h	15:30h
	noite	18:30h	20:30h
3 ^a	almoço	12:00h	14:00h
4 ^a	manhã	08:00h	10:30h
	tarde	13:00h	15:30h

3.2 Dimensionamento da Pesquisa

Objetivando-se obter resultados passíveis de comparação e estatisticamente consistentes, foi utilizada para preparação e execução do levantamento, metodologia descrita em Box e Oppenlander (1976), adotando-se nível de confiança de 95%.

A metodologia baseia-se em dois parâmetros: na determinação da variação média de velocidade, a cada passagem da pesquisa, e na seleção do erro admissível. Porém a seleção do erro admissível não se dá de forma arbitrária, sendo as faixas de valores definidas em função da natureza do estudo, conforme apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2 : Faixas de Variação do Erro Admissível

Natureza do Estudo	Faixa de Variação (km/h)	
Planejamento de Transportes	5,0	8,0
Operações de Tráfego e Análises Econômicas	3,5	6,5
Estudos Antes-e-Depois	2,0	5,0

Ref: Box e Oppenlander (1976)

Visando melhorar a compreensão da metodologia aplicada, seguem as expressões utilizadas no presente estudo, sendo a equação (1) para determinação da variação média da velocidade e a equação (2) para determinação da velocidade média, sendo esta a velocidade média no espaço. Não serão abordados os conceitos de velocidade média e suas aplicabilidades, para tal, ver Hall (1997):

$$R = \frac{\sum S}{N - 1} \quad (1)$$

em que R: variação média da velocidade (km/h);
Σs: somatório das diferenças de velocidade;
N: número de voltas (viagens) efetuadas.

$$S = \frac{60xNx D}{\sum T} \quad (2)$$

em que S: velocidade média (km/h);
D: distância percorrida trecho ou rota total (km);
ΣT: somatório do tempo de viagem em todas as voltas (viagens) (minutos);
N: número de voltas (viagens).

Para determinação da variação média de velocidade, convencionou-se realizar quatro viagens, calculando, com os dados dessas viagens, o valor base para "dimensionamento" do levantamento. Após o cálculo, considerando-se um erro admissível de 3,5 km/h (**Tabela 2**), em função das variações médias de velocidade (**Tabela 3**) foi possível determinar o número



mínimo de viagens para cada dia/período pesquisado, estando os valores apresentados na **Tabela 4**.

Tabela 3 : Número Mínimo de Viagens

Variação Média de Velocidade (km/h)	Erro Permitido (km/h)				
	± 2	± 3,5	± 5	± 6,5	± 8
5	4	3	2	2	2
10	8	4	3	3	2
15	14	7	5	3	3
20	21	9	6	5	4
25	28	13	8	6	5
30	38	16	10	7	6

Tabela 4 : Determinação do Número Mínimo de Viagens

Período	Sentido Downtown				Sentido Barra Shopping			
	Antes		Depois		Antes		Depois	
	Variação Média	Nº Mínimo	Variação Média	Nº Mínimo	Variação Média	Nº Mínimo	Variação Média	Nº Mínimo
	Velocidade	Viagens	Velocidade	Viagens	Velocidade	Viagens	Velocidade	Viagens
Manhã	3,86	3	11,63	7	3,52	3	14,89	7
2ª Tarde	2,72	3	9,27	4	3,09	3	1,76	3
Noite	8,05	4	11,35	7	5,39	4	5,66	4
3ª Almoço	0,88	3	3,93	3	4,49	3	4,17	3
Manhã	2,06	3	5,87	4	4,05	3	12,02	7
4ª Tarde	2,96	3	13,46	7	6,63	4	5,02	4
Manhã	1,49	3	7,65	4	6,43	4	8,24	4
5ª Tarde	2,60	3	4,90	3	7,49	4	6,80	4
Noite	8,51	4	6,37	4	7,01	4	8,98	4
Manhã	2,11	3	9,02	4	5,15	4	11,32	7
6ª Tarde	2,98	3	4,45	3	6,51	4	8,22	4
Noite	6,06	4	7,29	4	6,73	4	7,90	4

4. RESULTADOS

Para cálculo dos planos de tráfego utilizou-se o pacote computacional TRANSYT, tendo sido a situação atual utilizada, não só como parâmetro de comparação, bem como, instrumento de calibração, utilizando-se para tal os padrões de ocupação dos links, tendo-se verificado correspondência entre os valores obtidos com o *software* e os verificados no corredor viário em análise.

A análise da ocupação do *link* (utilização da capacidade disponível), mostrou-se de extrema utilidade para cálculo de planos semafóricos, devido principalmente ao grande impacto, que pode ser causado pela ocasião de uma ocupação total e principalmente na ocorrência da ultrapassagem desta.

Apesar do mencionado no parágrafo anterior o presente trabalho se concentra no desempenho operacional, avaliado mediante comparação dos tempos de viagem, velocidades e números de paradas obtidos antes e depois da revisão de programação semafórica efetuada, não discutindo a técnica adotada no cálculo da nova programação.



4.1 Análise dos Resultados

Após a realização dos levantamentos foi necessário a determinação de valores de velocidade, tanto para situação anterior como para posterior, que pudessem servir de referência para cada período do dia.

A primeira questão que surge, para a definição destes valores é: *as velocidades médias variam significativamente em função do dia da semana?* Para responder tal pergunta foi realizado teste de hipóteses, utilizando-se do índice normal de dispersão como ferramenta de teste estatístico, sendo as hipóteses consideradas:

h_0 : o dia da semana não influi no comportamento da velocidade no corredor analisado;

h_1 : o dia da semana influi no comportamento da velocidade no corredor analisado.

O Índice normal de dispersão é o procedimento indicado para verificação da homogeneidade de um conjunto de médias, constituindo-se em última forma de uma análise de variâncias baseada na *Distribuição F*. Em função do espaço disponível será apresentado somente a formulação matemática para obtenção do índice, não sendo apresentado o desenvolvimento matemático e os Teoremas envolvidos na "prova" da adequabilidade da estatística utilizada, podendo este desenvolvimento ser encontrado em Schwar e Huarte (1975).

$$F = \frac{\frac{\sum (m_i - m)^2}{(i-1)}}{\frac{\sum s_i^2}{[i \times (n-1)]}} \quad (3)$$

em que

- F : índice normal de dispersão;
- i : número de médias em análise;
- n : número de elementos na amostra;
- m_i : valor da média i;
- s_i : desvio padrão da amostra i.

Com base nos resultados apresentados na **Tabela 5** podemos afirmar a 5% de significância que o dia da semana não interfere no comportamento da velocidade média, possibilitando assim a comparação entre a média das velocidades médias por período/dia da semana antes e depois de forma direta (**Tabela 6**).

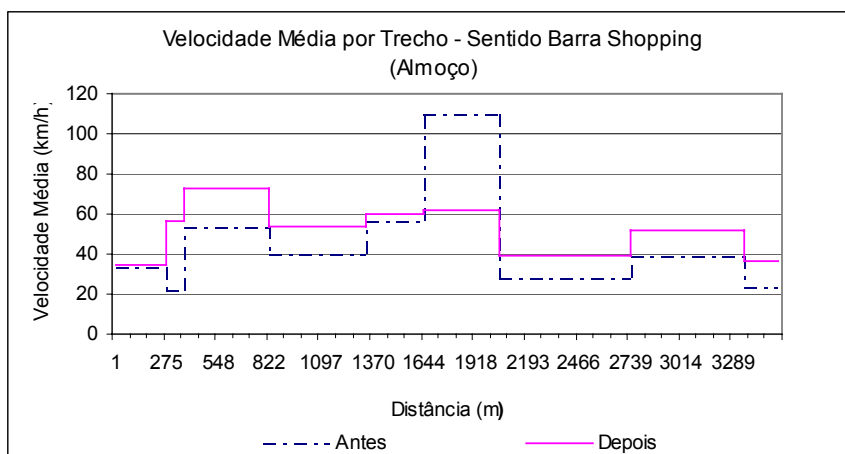
Tabela 5: Testes para homogeneidade das médias

Sentido	Período	Velocidade Média (km/h)				Média	F (calculado)	F (tabelado)	
		2ª	4ª	5ª	6ª				
Barra Shopping	antes	Manhã	51,88	50,35	54,18	54,24	52,66	0,47	3,00
		Tarde	47,85	43,48	40,31	43,88	43,88	0,79	3,00
		Noite	47,68		44,16	49,40	47,08	1,13	3,55
	depois	Manhã	54,38	59,72	52,85	56,27	55,55	0,39	3,00
		Tarde	60,54	56,49	51,54	56,88	56,36	1,43	3,00
		Noite	57,12		55,60	47,31	53,34	1,21	3,55
Downtown	antes	Manhã	46,13	43,96	47,50	48,35	46,49	1,30	3,00
		Tarde	41,19	46,31	41,13	40,02	42,16	1,91	3,00
		Noite	46,87		47,93	49,30	48,03	0,21	3,55
	depois	Manhã	53,14	54,28	61,29	51,55	55,07	0,80	3,00
		Tarde	57,74	62,50	51,08	49,96	55,32	1,36	3,00
		Noite	57,05		59,50	50,31	55,62	0,69	3,55

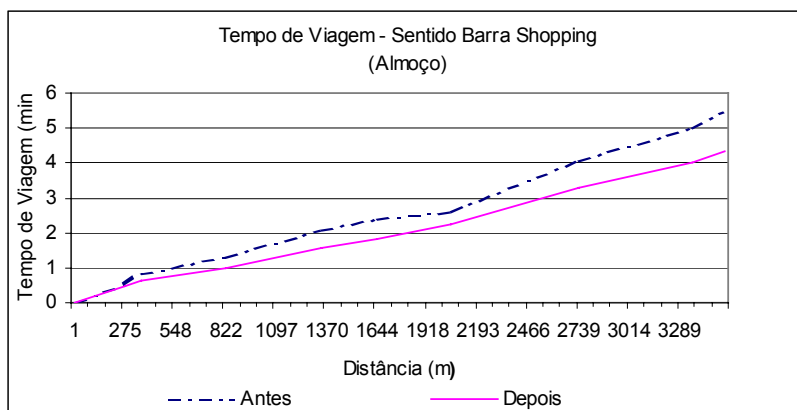
**Tabela 6 : Resultados de Tempo de Viagem e Velocidade Média**

Sentido	Período	Tempo de Viagem (min)		Velocidade Média (km/h)		Variação Velocidade
		antes	depois	antes	depois	
Barra Shopping	Manhã	4,03	3,82	52,66	55,55	5,49%
	Tarde	4,84	3,77	43,88	56,36	28,44%
	Noite	4,51	3,98	47,08	53,34	13,30%
Downtown	Manhã	4,57	3,86	46,49	55,07	18,46%
	Tarde	5,04	3,84	42,16	55,32	31,21%
	Noite	4,42	3,82	48,03	55,62	15,80%

Os resultados obtidos mostram a grande melhora conseguida, não somente no tocante ao aumento da velocidade (redução do tempo de viagem), bem como na qualidade de progressão (**Figura 2**). Vale ressaltar ainda que a via em análise possui velocidade regulamentar de 60 Km/h, tendo sido obtidas velocidades extremamente próximas a esta na grande maioria dos horários pesquisados.

**Figura 2 : Velocidade Média por Trecho**

Por último podemos observar na **Figura 3** o comportamento do corredor quanto ao tempo de viagem, onde mais uma vez é apresentada melhora significativa. A abordagem quanto aos ganhos econômicos (economia de combustível, valor do tempo gasto, etc.) serão abordados em um trabalho futuro, estando ainda em desenvolvimento alguns dos levantamentos ligados a estes aspectos.

**Figura 3 : Tempo de Viagem**



5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que a utilização de sistemas de controle semafórico a tempos fixos apresenta-se ainda extremamente útil, e que grande parte dos problemas de desempenho observados se devem a falhas metodológicas no levantamento e tratamento dos dados, conduzindo a problemas na elaboração da programação.

Vale ressaltar que as empresas públicas responsáveis pelo controle de tráfego, na maioria das cidades, carecem de pessoal em quantidade adequada para as demandas existentes, não sendo possível a realização de revisões cuidadosas, como a apresentada no presente texto, em todas as ocasiões, fazendo com que sejam tomadas decisões de mudança de tecnologia, quando deveriam ser analisados quais os motivos que levam a ineficiência da programação existente.

A implantação indiscriminada de sistemas de controle de tráfego adaptativos, sem uma avaliação prévia da existência de flutuações na demanda e nas características operacionais que justifiquem a adoção destes nas áreas de implantação, faz com que muitas vezes o investimento não seja justificado, induzindo conclusões errôneas dos tomadores de decisão quanto a eficácia de tais sistemas e consequentemente quanto ao retorno do investimento, dificultando assim a adoção dos sistemas adaptativos em áreas onde possam propiciar os resultados esperados.

6. BIBLIOGRAFIA

- Box, P. C. e Oppenlander, J.C. (1976) *Manual of Traffic Engineering Studies* (4ª ed.), Institute of Transportation Engineers, Arlington, Virgínia.
- Campos, Geraldo M. (1997) *Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduados*.
www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro
- Motta, M. A. Pereira (1999) *Funções Tempo de Viagem Aplicadas ao Problema de Alocação de tráfego* – Tese de Mestrado – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Robertson, D.I., Mitchell, A. I. e Vincent, R.A. (1980) *TRRL Laboratory Report 888 - User Guide to TRANSYT Version 8*. Urban Network Division, TRRL, Crowthorne, Bershire.
- Schwar, J. F. e Huarte, J. P. (1975) *Metodos Estadísticos en Ingenieria de Transito* (1ª ed.) Ed. Representaciones y Servicios de Ingenieria, S.A, D. F. Mexico.
- Hall, Fred L. (1997) *Traffic Stream Characteristics, Traffic Flow Theory*, TRB, Washington D.C.

Endereço dos autores:

Companhia de Engenharia de Tráfego do Município do Rio de Janeiro
Av. Pres. Vargas, 817 21º andar - Centro
20071-004 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Fone: (0xx21) 2507-7451
Fax : (0xx21) 2252-5399
E-mail: mmotta.smtr@pcrj.rj.gov.br

Companhia de Engenharia de Tráfego do Município do Rio de Janeiro
Av. Pres. Vargas, 817 19º andar - Centro
20071-004 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Fone: (0xx21) 2224-2969
Fax : (0xx21) 2507-7462
E-mail: cpoyares.smtr@pcrj.rj.gov.br