



PROGRESSÃO EM TEMPO REAL *VERSUS* TEMPO FIXO POR BANDA DE PASSAGEM EM PERÍODOS DE BAIXA DEMANDA – ESTUDO DE CASO

Paulo Marinho de Paiva Neto

Manoel Mendonça de Castro Neto

Sistema Centralizado de Controle de Tráfego de Fortaleza – CTAFOR
Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN
Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO

Esta comunicação técnica tem como objetivo avaliar a eficácia da implantação da progressão de tempo fixo por maximização da banda de passagem nos corredores arteriais de Fortaleza, em períodos de baixa demanda de tráfego. A análise, baseada em um estudo de caso, consistiu da comparação entre a eficiência desse tipo de progressão e àquela proporcionada pelo sistema de controle adaptativo SCOOT, utilizado pelo Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza – CTAFOR, adotando como medidas de desempenho valores de atraso veicular e qualidade da progressão, simulados pelo próprio sistema. Os resultados obtidos por meio das análises de inferência estatística confirmaram as expectativas iniciais de que, em períodos de baixa demanda, a progressão de tempo fixo por banda de passagem reduz atrasos e número de paradas nos *links* do corredor, beneficiando também as vias transversais.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the effectiveness of implementing maximum-band fixed-time signal progression along Fortaleza's arterial corridors, during low traffic demand periods. The analysis, based on a case study, consisted of comparing the fixed-time strategy to the signal progression obtained with the adaptive control system SCOOT, used at Fortaleza's Urban Traffic Control System – CTAFOR, taking as performance measures values of vehicle delay and progression quality, simulated by SCOOT. The results of the inferential statistical analyses confirmed the initial expectations that, during low demand periods, the maximum-band fixed-time signal progression reduces vehicle delay and stops at the corridor's links, also bringing benefits to the approaches of the crossing streets.

1. INTRODUÇÃO

Nas grandes cidades brasileiras, é crescente o número de interseções semaforizadas, tendo como objetivo proporcionar maior segurança à travessia de pedestres e veículos. Sabe-se, no entanto, que normalmente o aumento de segurança promove perda de fluidez na malha viária, resultando em longos tempos de viagem. Esse paradoxo vivido pelos engenheiros de tráfego é justificado em períodos de alta e média demanda de veículos, em que o número de conflitos aumenta bastante. Já em períodos de baixo volume de tráfego, uma grande quantidade de semáforos, quando não coordenados de forma eficiente, provoca tempos de espera desnecessários, gerados pelo número excessivo de paradas nas interseções, promovendo o desrespeito à sinalização semafórica e elevando o risco de colisões e atropelamentos.

Atualmente, na área mais adensada de Fortaleza, os semáforos são controlados a partir de um sistema centralizado, denominado CTAFOR (Loureiro et al., 2002a), por meio do sistema SCOOT (*Split Cycle Offset Optimization Technique*), de controle adaptativo em tempo real. Tendo em vista os problemas de excessivas paradas nos corredores, detectados nos primeiros meses de operação do SCOOT, especificamente em períodos de baixa demanda de tráfego, e dada a facilidade de alteração da programação semafórica diretamente da central de controle, foi realizado um esforço de intervenção na programação dos principais corredores arteriais, para os períodos de fora-pico. Estas intervenções consistiram da implantação, à noite e finais



de semana, de progressões de tempo fixo por banda de passagem. Esta estratégia de controle semaforico visa a proporcionar o deslocamento de pelotões de veículos por todo um corredor de tráfego, minimizando paradas, quando mantida uma certa velocidade de percurso.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de um estudo de caso, o desempenho operacional da progressão em tempo fixo por maximização da banda de passagem, quando comparada à operação em tempo real, nos períodos de baixa demanda do tráfego. A partir da análise de variáveis relacionadas ao atraso veicular e à qualidade da progressão, buscou-se comprovar a eficácia da programação utilizada.

2. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE SEMAFÓRICO EM CORREDORES ARTERIAIS

Pode-se classificar as estratégias de controle centralizado de semáforos em três grupos: tempo fixo, seleção dinâmica e tempo real (adaptativo). De acordo com Loureiro et al. (2002b), elas se diferenciam basicamente em relação ao período de observação do tráfego considerado na definição do plano semaforico mais adequado para cada sub-área ou corredor, ou seja, diferem quanto ao grau de sensibilidade às variações da demanda. O controle de tempo fixo se caracteriza pela utilização de planos pré-calculados, com base no volume médio de tráfego, em determinados períodos do dia. A estratégia de seleção dinâmica identifica, dentre um conjunto de planos de tempo fixo pré-definidos, aquele que melhor se ajusta às condições detectadas em períodos de observação de 15 ou 20 minutos, anteriores ao acionamento do plano escolhido. Já no controle de tempo real, a programação semaforica é calculada dinamicamente, segundo as condições momentâneas do tráfego, captadas por meio de detetores de veículos.

Quando o objetivo é priorizar o tráfego em corredores arteriais, os planos de tempo fixo podem ser programados obedecendo a três esquemas de coordenação distintos: simultâneo, alternado e progressivo (DENATRAN, 1984). O primeiro se caracteriza pela abertura simultânea de um grupo de semáforos, com a desvantagem de estimular altas velocidades. No segundo, os semáforos abrem de forma alternada, podendo ser eficiente apenas quando houver uma equidistância entre as interseções semaforizadas. Já o esquema progressivo, também denominado de “maximização da banda de passagem” (“onda verde”), se caracteriza pelo ajuste dos instantes de abertura de cada semáforo, de forma a proporcionar a passagem de um pelotão por toda a via, mantendo-se uma certa velocidade de progressão. Faz-se interessante destacar que, contrariando a hipótese deste estudo, o Manual de Semáforos do DENATRAN (1984) comenta que “sob baixas condições de tráfego, o sistema progressivo provavelmente acarretará maiores atrasos do que os produzidos por sistemas não coordenados, porque ele determinará uma regra de prioridade para a via principal, em detrimento da via secundária”.

Um outro tipo de coordenação semaforica de tempo fixo em corredores arteriais pode ser obtido a partir da aplicação do modelo do *software* TRANSYT. Este programa é composto de um modelo de simulação de tráfego e de um algoritmo de minimização, cuja função objetivo considera o peso combinado do número de paradas e o atraso sofrido pelos veículos em todas as aproximações da rede semaforizada. Conceitualmente, o TRANSYT gera programações semaforicas que beneficiam o conjunto de toda a sub-área, mas não necessariamente fornece progressão satisfatória para as aproximações do corredor, dependendo principalmente dos pesos nos *links* utilizados. Essa dificuldade foi constatada para períodos de fora-pico nos



corredores do CTAFOR, o que levou seus técnicos a optarem pela implementação de planos de tempo fixo coordenados por bandas de passagem.

Já o controle semafórico em tempo real do SCOOT tem um princípio de funcionamento muito parecido com o do TRANSYT. Segundo Robertson (1986), o SCOOT é um TRANSYT em tempo real, tendo os dois programas os mesmos princípios de otimização. A diferença entre os dois modelos é que o SCOOT reage às variações aleatórias que ocorrem de ciclo para ciclo, acompanhando a variação da demanda ao longo do tempo. Assim como no caso do TRANSYT, a programação semafórica do SCOOT fornece baixos níveis de atraso e número de paradas para toda a rede, mas podem não garantir uma boa progressão nos corredores.

Para permitir um esquema de operação semafórica que priorize os *links* mais carregados, especialmente nos períodos de pico em corredores arteriais, o SCOOT disponibiliza recursos para alterar parâmetros utilizados na otimização das frações de verde, assim como fixar defasagens. No primeiro grupo, destacam-se os parâmetros *Split Weighting Multiplier* (SPWM) e *Split Weighting Saturation* (SPWS). A alteração desses dois parâmetros permite flexibilizar a premissa básica do SCOOT de repartir o tempo de verde mantendo iguais os graus de saturação de todos os *links* do cruzamento. Desta forma, pode-se fornecer uma maior parcela do tempo de verde para os *links* do corredor, favorecendo a obtenção de melhores defasagens. Com relação a estas, o SCOOT usualmente não utiliza limitações para o seu cálculo; porém, em alguns casos (ex. *links* curtos), pode-se desejar uma defasagem fixa ou mesmo com pequena variação. Isto é obtido alterando o parâmetro *Link Bias*. As experiências realizadas no CTAFOR, entretanto, tem indicado que, para períodos de baixa demanda, as alterações nestes parâmetros não têm sido suficientes para produzir resultados satisfatórios.

3. PROJETO DO EXPERIMENTO E COLETA DOS DADOS

Desde dezembro de 2002, as progressões de tempo fixo por banda de passagem estão sendo utilizadas, nos períodos de fora-pico, em 11 corredores arteriais na área controlada pelo CTAFOR. Um aplicativo executado na plataforma AutoCAD foi desenvolvido em linguagem AutoLISP para automatizar a produção dos planos semafóricos e facilitar o ajuste das bandas de passagem. Conforme dito anteriormente, a opção por esta estratégia de coordenação semafórica surgiu das dificuldades encontradas em priorizar o tráfego nos corredores a partir dos modelos do SCOOT e do TRANSYT. Com o intuito de avaliar a eficácia dessa estratégia de operação, foi concebido um estudo de caso que permitisse uma análise comparativa com a situação anterior (progressão em tempo real), selecionando-se um corredor com um número considerável de semáforos e que fosse interceptado por outras vias importantes da cidade.

Para tanto, foi escolhido o corredor da Av. Antônio Sales, contemplando 12 interseções semaforizadas (15 aproximações de vias transversais) e interceptando quatro outros importantes corredores arteriais. Este corredor, com extensão de 2,5 km, representa uma das ligações mais utilizadas nos deslocamentos oeste-leste na área mais adensada de Fortaleza, apresentando 3 faixas de rolamento e sentido único. O projeto do experimento consistiu da comparação entre dois cenários de controle semafórico. No Cenário 1, as interseções do corredor eram operadas pelo SCOOT, em tempo real (situação corrente até novembro de 2002). Já o Cenário 2 representa a situação atual, na qual o referido corredor opera, nos períodos da noite e finais de semana, com uma progressão de tempo fixo por banda de passagem com velocidade de 50 km/h, apresentada na Figura 1.

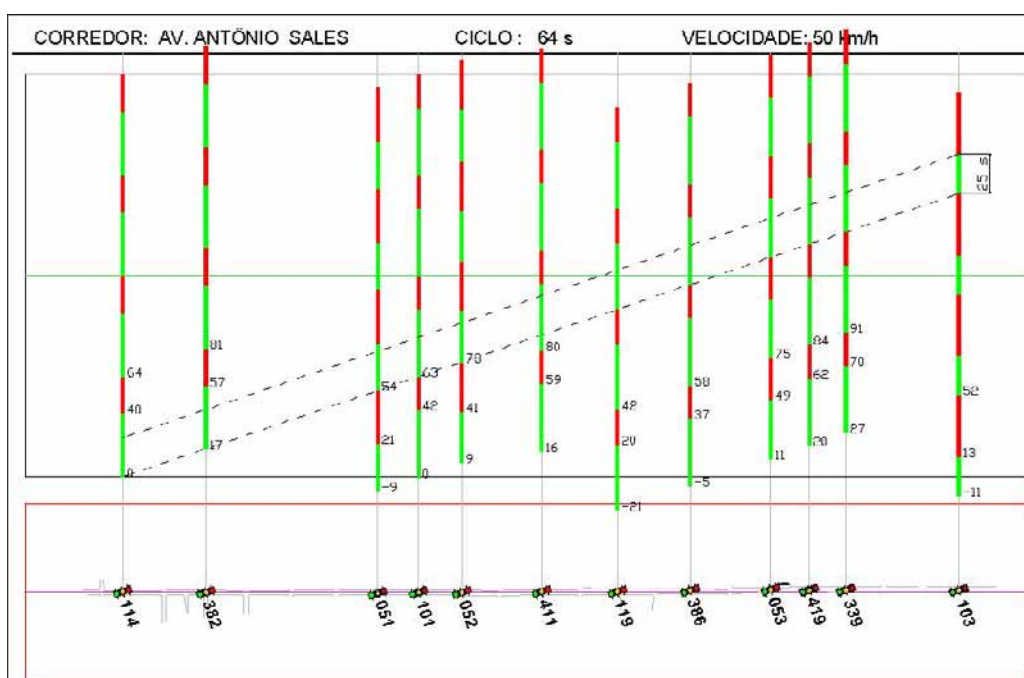


Figura 1: Progressão de tempo fixo por banda de passagem na Av. Antônio Sales

Uma vez que o estudo buscou avaliar a eficácia da progressão de tempo fixo, entendeu-se que as medidas de desempenho mais adequadas seriam o atraso veicular, representando a demora total causada ao veículo devido ao tempo perdido nos semáforos, e alguma variável que representasse a fluidez, ou qualidade da progressão ao longo do corredor.

O atraso veicular no corredor foi calculado pela soma dos atrasos veiculares médios de cada aproximação que o compõe. O experimento foi projetado para amostras de 42 observações, em ambos os cenários (tempo real e tempo fixo). Cada observação se refere ao somatório dos atrasos no corredor, em um dos intervalos de 15 minutos contidos no período analisado (21:00/23:00h). De forma a obter 42 observações para cada amostra, o experimento previu a coleta de dados em três dias úteis (terça, quarta e quinta) de duas semanas consecutivas, para cada cenário. Aquelas referentes à progressão em tempo real (Cenário 1) foram obtidas em dias úteis de setembro de 2002, enquanto que as referentes ao tempo fixo (Cenário 2) foram coletadas em abril de 2003 (considerados meses típicos do período escolar).

Como forma de garantir que os resultados da análise do atraso no corredor estejam relacionados apenas à alteração do tipo de controle semaforico, realizou-se também uma comparação entre os volumes de tráfego observados nos dois cenários. Assim, o volume de tráfego no corredor, em cada intervalo observado, foi calculado pela soma dos volumes de cada uma das suas aproximações. Da mesma forma que para o atraso veicular, o experimento foi projetado para 42 observações, em ambos os cenários, e cada observação se refere ao mesmo período de coleta da variável “atraso”.

Para a análise da fluidez no corredor, foi proposto um indicador da qualidade de progressão dos pelotões, denominado Índice de Qualidade da Progressão (IQP). Este indicador foi definido como a soma do número de veículos que passaram em cada interseção semaforizada,



sem parar, sobre o volume total de veículos passando no corredor, conforme expresso na Equação 1. Assim, esta variável pode assumir valores entre 0 e 1. O número de observações e os intervalos observados foram exatamente os mesmos das outras duas variáveis.

$$IQP = \frac{\sum(V_i - NP_i)}{\sum V_i} \quad (1)$$

em que, V_i : volume de tráfego na aproximação i , no período de 15 minutos [veículos];
 NP_i : n° de paradas na aproximação i , no período de 15 minutos [veículos].

Além das variáveis relacionadas ao desempenho do corredor, foram também analisadas as condições operacionais das vias transversais, retratadas pela variável atraso veicular, nos dois cenários de progressão. Da mesma forma que para o corredor, o atraso veicular nas transversais foi calculado como a soma dos atrasos médios de todas as aproximações das vias transversais, representando amostras de 42 observações para os mesmos intervalos considerados na análise do atraso veicular e do IQP do corredor.

Vale destacar que todos os dados de atraso, número de paradas e volume (fluxo) veicular foram obtidos a partir do *software* ASTRID (*Automatic SCOOT Traffic Information Database*), que constitui a base dos dados simulados pelo SCOOT. Os dados foram capturados do ASTRID por meio da interface lógica desenvolvida por MENESES (2003), denominada de TRANSCOOT, que permite a modelagem e o referenciamento espacial, na plataforma SIG-T TransCAD, dos dados gerados pelo SCOOT.

Por fim, o projeto do experimento contemplou a realização de testes de significância comparando os valores médios amostrais das quatro variáveis analisadas em ambos os cenários, assumindo as seguintes hipóteses de pesquisa:

- 1) A progressão em tempo fixo por banda de passagem resultou em menores valores de atraso veicular no corredor que a operação em tempo real;
- 2) Os volumes de tráfego no corredor não foram significativamente diferentes nos dois cenários analisados;
- 3) O índice IQP resultante da progressão em tempo fixo foi superior ao da progressão em tempo real;
- 4) A progressão em tempo fixo não aumentou o atraso veicular nas vias transversais em relação à operação em tempo real.

4. VALIDAÇÃO DO ATRASO VEICULAR SIMULADO PELO SCOOT

Tendo em vista que a variável “atraso médio veicular” por *link* ou aproximação, simulada pelo SCOOT, foi utilizada para verificar três das quatro hipóteses de pesquisa listadas acima, tornou-se imperativo realizar um estudo de validação desta variável para a realidade operacional das interseções controladas pelo CTAFOR. Este estudo, descrito de forma mais detalhada em Castro Neto (2003), teve como objetivo a comparação dos valores de atraso médio estimados pelo SCOOT com os valores medidos em campo, segundo a metodologia proposta pelo *Highway Manual Capacity* - HCM 2000.

O estudo consistiu da análise de quatro aproximações de diferentes interseções semaforizadas controladas pelo CTAFOR, com níveis distintos de atraso e grau de saturação. Os valores de atraso médio simulados pelo SCOOT, para intervalos de 15 minutos de operação nestas aproximações (em diferentes períodos do dia), foram obtidos da base de dados do ASTRID.



Para a coleta em campo dos dados de atraso, optou-se pela gravação em vídeo das imagens captadas pelas câmeras do sub-sistema de CFTV do CTAFOR, nos mesmos intervalos simulados pelo SCOOT. As amostras foram divididas de acordo com o nível de atraso observado. Para baixos níveis de atraso (valores inferiores a 25 seg. – correspondentes aos níveis de serviço A, B e C estabelecidos no HCM2000), foram coletadas duas amostras de 17 observações cada: uma com valores simulados pelo SCOOT e outra com valores medidos em campo; ambas para os mesmos períodos de observação (intervalos de 15 min.). Já as duas amostras referentes aos níveis de atraso médio (entre 25 e 60 seg. – NS D e E) continham 13 observações cada; enquanto que as duas amostras referentes a aproximações com altos níveis de atraso (superiores a 60 seg. – NS F) continham 15 observações cada uma. Desta forma, foram coletadas 6 amostras, totalizando 90 observações referentes a 45 intervalos de 15 minutos de monitoramento das aproximações.

A análise dos dados consistiu em realizar testes de hipóteses de igualdade de médias e variâncias, de modo a identificar possíveis diferenças no comportamento das variáveis “atraso simulado” e “atraso medido”. Os resultados apontaram não haver indícios suficientes para rejeitar as hipóteses nulas de igualdade das médias (GC = 95%) e variâncias (GC = 80%) para as aproximações com níveis médio e alto de atrasos (valores superiores a 25 seg.). Apesar das hipóteses de igualdade de médias e variâncias terem sido rejeitadas para as amostras do grupo com baixos níveis de atraso (inferiores a 25 seg.), vale ressaltar que a diferença absoluta entre as duas médias amostrais foi inferior a 2 segundos (a diferença entre os desvios padrões foi de cerca de 1 segundo), sendo considerada insignificante para tomadas de decisão na Engenharia de Tráfego. Portanto, como conclusão deste estudo de validação, pode-se afirmar que o sistema SCOOT se apresentou como um excelente simulador da variável *atraso médio veicular* nas aproximações das interseções controladas pelo CTAFOR.

5. ANÁLISE DOS DADOS

Com a variável “atraso veicular médio” validada, partiu-se para a análise exploratória das quatro variáveis de interesse (soma dos atrasos médios no corredor e nas transversais, índice IQP e soma dos fluxos veiculares), em cada um dos cenários analisados. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas relativas às amostras coletadas.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis analisadas

		Tempo Real (Cenário 1)			Tempo Fixo (Cenário 2)		
		VOLUME (veíc./h)	ATRASSO (s)	IQP (%)	VOLUME (veíc./h)	ATRASSO (s)	IQP (%)
Corredor	n	42	42	42	42	42	42
	Média	3057	122	53,8	2995	75	64,7
	Desvio Padrão	527,8	11,4	3,5	674,6	18,7	5,4
Transversais	n	-	42	-	-	42	-
	Média	-	280	-	-	243	-
	Desvio Padrão	-	31,8	-	-	51,9	-



Os valores apresentados na Tabela 1 sugerem que as hipóteses de pesquisa levantadas são verdadeiras, visto que tanto as médias amostrais do somatório do atraso veicular nas aproximações do corredor e das transversais diminuíram após a implantação da progressão em tempo fixo, como a média amostral do IQP aumentou (praticamente não houve alteração na média do fluxo veicular). Como forma de verificar a validade das hipóteses de pesquisa, foram realizados testes de significância de igualdade de variância e de médias.

Antes, porém, foi necessário averiguar se os valores das variáveis seguiam uma distribuição normal, dado que esta é uma premissa do teste de variâncias. Para testar a normalidade das populações das quatro variáveis, em ambos os cenários, aplicou-se o Teste Kolmogorov-Smirnov. Em todos os testes, não houve indícios suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade, com valores-p superiores a 5%. Confirmada a normalidade do comportamento das variáveis analisadas, pôde-se aplicar o teste de igualdade das variâncias (Teste F) e, posteriormente, o de igualdade de médias (Teste t). Os primeiros com Grau de Confiança de 80%, segundo recomendação de Milton e Arnold (1990), e os demais com GC = 95%. Como se pode observar nos valores-p apresentados na Tabela 2, os resultados dos testes confirmaram todas as quatro hipóteses levantadas.

Tabela 2: Valores-p dos testes estatísticos de igualdade de médias e variâncias

	Corredor						Transversais	
	Atraso		Volume		IQP		Atraso	
	T.Real	T.Fixo	T.Real	T.Fixo	T.Real	T.Fixo	T.Real	T.Fixo
Variância (Teste F)	$H_0: At_{Real} = At_{Fixo}$ $< 0,1\%$		$H_0: V_{Real} = V_{Fixo}$ $> 5\%$		$H_0: I_{Real} = I_{Fixo}$ $< 1\%$		$H_0: At_{Real} = At_{Fixo}$ $< 0,1\%$	
Média (Teste t)	$H_0: At_{Real} \leq At_{Fixo}$ $< 0,01\%$		$H_0: V_{Real} = V_{Fixo}$ $> 60\%$		$H_0: I_{Real} \geq I_{Fixo}$ $< 0,01\%$		$H_0: At_{Real} \leq At_{Fixo}$ $< 0,01\%$	

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

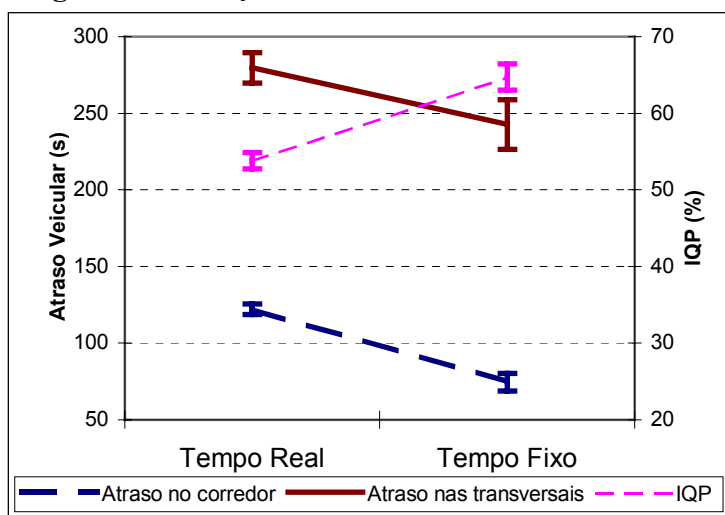
Conforme verificado nas Tabelas 1 e 2, observou-se uma redução média significativa de cerca de 40% no somatório dos atrasos veiculares observados nas aproximações do corredor. Como não houve variação significativa nos fluxos veiculares dos dois cenários analisados, foi confirmada a suspeita de que a implantação do controle de tempo fixo por banda de passagem reduziu significativamente o atraso veicular no corredor analisado. Por sua vez, a fluidez do tráfego no corredor, representada pelo Índice de Qualidade da Progressão (IQP), apresentou aumento médio de 20%, também considerado estatisticamente significativo. Esses resultados apontam a eficácia da alteração do controle semafórico na performance do corredor.

Com relação às vias transversais, ocorreu um fato interessante. Inicialmente, imaginava-se que o atraso nessas vias iria aumentar, visto que o princípio de funcionamento do controle de tempo fixo por banda de passagem prioriza o corredor, em detrimento das vias que o interceptam. Após uma análise mais criteriosa, percebeu-se que a existência de algumas vias transversais bem coordenadas (também caracterizadas como corredores arteriais) levaria a uma possível diminuição do atraso. Após a aplicação dos testes estatísticos, confirmou-se a redução significativa do atraso veicular nas vias transversais, após a implantação da progressão de tempo fixo por banda de passagem. A redução média amostral foi de 13%.



Os resultados, destacados na Figura 2, confirmam uma redução significativa do atraso sofrido pelos veículos, tanto no corredor como nas vias transversais, quando da utilização da progressão de tempo fixo por maximização da banda de passagem. A alteração do tipo de controle semafórico proporcionou também o aumento da fluidez do corredor, evidenciado pela maior parcela de veículos passando, sem efetuar paradas nas interseções semaforizadas.

Figura 2: Variação do Atraso Veicular e da Fluidez



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar que a progressão de tempo fixo por maximização da banda de passagem é mais eficaz que a progressão em tempo real proporcionada pelo SCOOT, no corredor da Av. Antônio Sales, em períodos de baixa demanda de tráfego. Sugere-se, entretanto, a aplicação da mesma metodologia de avaliação em outros corredores, antes da disseminação deste tipo de controle nos demais corredores arteriais controlados pelo CTAFOR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro Neto, M.M. (2003) *Comparação dos Valores Estimados pelo SCOOT com os Valores Observados em Campo para a Variável "Atraso Médio Veicular"*. Projeto de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.
- DENATRAN (1984) *Manual de Semáforos* (2ª ed.). Coleção Serviços de Engenharia, Departamento Nacional de Trânsito, Brasília.
- Loureiro, C.F.G.; C.H.P. Leandro; M.V.T. Oliveira (2002a) Sistema Centralizado de Controle do tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- Loureiro, C.F.G.; M.J.T.L. Gomes; C.H.P. Leandro (2002b) *Avaliação do desempenho nos períodos de pico do tráfego de interseções semaforizadas com controle centralizado em tempo fixo e real*. *Anais do XVI Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, Natal, v. 1, p. 365-376.
- Meneses, H. B. (2003) *Interface lógica em ambiente SIG para bases de dados de sistemas centralizados de controle do tráfego urbano em tempo real*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará.
- Milton, J.S e, J.C. Arnold (1990) *Introduction to Probability and Statistics: Principles and Applications for Engineering and the Computing Sciences*. McGraw Hill, New York, EUA.
- Robertson, D.I. (1986) Research on TRANSYT and SCOOT Methods of Signal Coordination. *ITE Journal*, pp. 36-40, Jan 1986.