

Impacto da mudança em Geometria de Vias urbanas e em Tempos Semafóricos em uma Simulação de Emissão de Poluentes

Impact of Change in Urban Road Geometry and Semaphore Times in a Pollutant Emission Simulation

R. S. Ribeiro^{a†}, P. C. Pinto^{b†}

^a *Instituto Federal Sul-Riograndense, Departamento de Engenharia Civil, Passo Fundo/RS, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eng.ruyribeiro@gmail.com*

^b *Universidade do Conestado, Programa de Mestrado em Engenharia, Concórdia/SC, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eng.paulop@gmail.com*

RESUMO

A manutenção da mobilidade urbana é uma importante maneira de garantir o desenvolvimento dos centros urbanos, já que estes estão em constante mudança. A particularidade de cada caso, torna o planejamento complexo, em virtude dos impactos que as mudanças propostas podem ocasionar. Desta forma, estudos a respeito desse tema e dos diversos parâmetros que o envolvem se mostram fundamentais, com a intenção de quantificar esses impactos e tomar as decisões menos invasivas para a sociedade. Dentre esses parâmetros, se destaca a densidade, a qual está intimamente ligada à emissão de poluentes e velocidade de tráfego. Nesse sentido a Avenida Brasil na cidade de Passo Fundo, Brasil, se resalta como principal via de acesso centro-bairro e para saída do município; apresentando exaustão na sua capacidade de tráfego, ocasionando congestionamentos, bloqueamento das interseções e uma maior emissão de poluentes; tudo isso devido ao sistema subdimensionado para o volume de tráfego atual. Neste contexto, o objetivo dessa pesquisa é analisar os impactos que mudanças na geometria e na programação dos semáforos da Avenida Brasil causarão nos indicativos de mobilidade urbana, e consequentemente, na eficiência da via, a partir do microssimulador de tráfego Aimsun®, observando os dados de densidade e emissão de poluentes.

ABSTRACT

The maintenance of urban mobility is an important way to ensure the development of urban centers, as they are constantly changing. The singularity of each case, makes planning complex, due to the impacts that the proposed changes can cause. This way, studies about this matter and the various parameters that involve it are fundamental, with the intention of quantifying these impacts and making the least invasive decisions for society. Between these parameters, density stands out, which is closely linked to pollutant emissions and traffic speed. In that sense, the Brasil Avenue in the city of Passo Fundo, Brazil, is defined as the main access to downtown-suburb as well as to the exit of the municipality, presenting exhaustion in its traffic capacity, that leads to traffic jams, blocked intersections, and a higher pollutant emission; all due to under dimensioned roadway system to the current traffic. In this context, the objective of this research is to analyse the impacts that changes in road geometry and semaphore times of Brasil Avenue

Palavras-chave:

Mobilidade Urbana;
Poluição Atmosférica;
Densidade;
Microssimulador de
Tráfego;

Keywords:

Urban Mobility; air
pollution; Density; Traffic
Microsimulator.

will cause in the indicatives of urban mobility, and consequently, in the traffic efficiency of the road, from the Aimsun® traffic microsimulator, observing the density and emission data of pollutants.

1. Introdução

A manutenção da mobilidade urbana se configura como um dos principais desafios para os centros urbanos, desde aqueles de médio porte emergentes até de regiões metropolitanas consolidadas. Somado a isso tem-se a preocupação dos impactos que a ineficiência desse setor, gerido em sua maioria por órgãos públicos, causam na sociedade como um todo, nos índices de tempo de viagem, poluição atmosférica, custo social, segurança viária e qualidade de vida, como defende Noronha [1].

A mobilidade urbana se torna um problema quando acontece a saturação de todos os modos de transporte disponíveis que a malha oferece. No entanto, é preciso entender que a saturação será continuamente atingida, enquanto a população estiver em crescimento e em desenvolvimento econômico. Ou seja, o estudo sucessivo acerca desse campo é fundamental para acompanhar o desenvolvimento das outras áreas que envolvem a comunidade.

Por exemplo, o desenvolvimento de um bairro industrial afastado do centro da cidade está diretamente ligado à demanda necessária para o manter, juntamente com a disponibilidade viária seja ela para uso individual ou coletivo. Caso as vias e os modais oferecidos, pelo poder público ou pela iniciativa privada, não consigam suportar a demanda do bairro, o tempo de viagem se tornará um critério que implicará na escolha da oferta de trabalho, se irá compensar ou não, o qual irá afetar no progresso deste bairro.

Posto isso, ainda se tem a questão da emissão de poluentes que é outro fator relacionado à ineficiência da estrutura viária disponível, que por sua vez está associado aos índices de mobilidade urbana. Dessa forma, as taxas de densidade e tempo de viagem são constantes diretamente proporcionais à poluição emitida, visto que quanto maior a concentração de veículos em um determinado segmento maior a emissão de poluentes.

Assim, a cidade de Passo Fundo, localizada na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, se apresenta como cidade polo para as demais da região, isso por causa de seu destaque na área da saúde (com hospitais que possuem diversas especialidades), na área da educação (com escolas e faculdades) e pelo comércio, indústrias e logística em ascensão. O município possui 203.375 habitantes além de uma frota de 133.000 veículos, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [2], caracterizando 0,65 veículo para cada habitante. No entanto, a cidade fundada em 1857, muito antes da existência da Lei 10.257/01 [3] que garante a obrigatoriedade da existência de diretrizes de Planejamento Urbano nas cidades, vem de uma urbanização tardia, o que configurou suas vias centrais, como são conhecidas hoje, sem prever o potencial econômico e a expansão urbana que a cidade viveria futuramente.

Dentre os problemas que foram originados pela falta de um planejamento da estrutura viária, que previa o crescimento exponencial da população nos séculos posteriores, desde os primeiros assentamentos, pode-se citar a falta de rotas alternativas que confluem o tráfego proveniente dos bairros nas duas principais avenidas: a Avenida Presidente Vargas e a Avenida Brasil. Além disso, há também a falta de espaços públicos para a construção de terminais de ônibus coletivos, que por sua vez sobrecarregam os pontos centrais e lotam os passeios públicos e suas marquises.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar os impactos acarretados por mudanças na geometria da via e na programação dos tempos semafóricos da Avenida Brasil nos índices de mobilidade como tempo de viagem, número de paradas, tempo de atraso e emissão de poluentes por ação veicular. Para tanto, foi utilizado o simulador computacional Aimsun® (versão 8.4.1), desenvolvido pela empresa TSS (Transport Simulation System) o qual viabiliza a modelagem de sistemas de tráfego, como malhas urbanas, rodovias, vias arteriais e combinações destas; permitindo, assim, comparar inclusive de maneira visual, os impactos causados por mudanças em

2.2. Programação Semafórica

A semaforização de vias com grande quantidade de veículos representa a solução economicamente viável mais atrativa quando o objetivo é aumentar a segurança das interseções. Nesse sentido, o grande desafio é programá-lo de forma eficiente e que reproduza o mínimo de impacto nos veículos automotores, nos ciclistas e também nos pedestres. Além disso, Joner e Volpi [6] explicam que a semaforização e sincronização dos cruzamentos de centros urbanos emergentes, como o caso de Passo Fundo/RS, é uma medida inevitável, já que sua aplicabilidade se mostra eficaz em outras localidades, a exemplo das vias de Curitiba, e outras capitais.

Entretanto, Araújo e Oliveira [7] expõem que quando os semáforos são instalados sem estudos e indicações técnicas acarretam no aumento da demora e do número de paradas, na redução da capacidade das vias, no aumento da frequência de acidentes, no aumento das violações das regras de trânsito, e na utilização de rotas alternativas para evitar os semáforos, gerando problemas para ruas de características locais. Ainda, quando a implantação desses equipamentos acontece com o projeto adequado a partir de estudos prévios trazem os seguintes resultados: redução da demora e do número de paradas, aumento da capacidade, redução do tamanho das filas, redução da frequência de acidentes, redução da emissão de poluentes e do consumo de combustível pelos veículos que por ali trafegam.

Nesse contexto, a programação semafórica atual do trecho central da avenida Brasil, onde se encontra o segmento mais crítico, conta com uma sequência de semáforos que prioriza o volume de veículos que se integram na avenida, como está exposto no Plano Diretor de Mobilidade Urbana [4]. Ou seja, os semáforos adiante abrem antes para esvaziar as quadras posteriores, antes do fluxo principal se aproximar. Dessa forma, a via principal opera no sistema “para e anda”, o qual com o aumento do número de veículos no horário de pico, gera congestionamentos, interrupções nos cruzamentos e com isso, a redução do nível de serviço.

Isso exposto, apresenta-se a progressão em onda verde, como solução para o caso apresentado. A programação desse tipo de solução, consiste em sequenciar a abertura dos semáforos de acordo com o volume de tráfego, a velocidade e a distância entre os equipamentos. Em resumo, os semáforos abrem um após o outro, possibilitando passar por todo o segmento sem pegar semáforo em estágio vermelho (parada). Além disso, Pietrantonio [8] explica que a coordenação de semáforos com até 800 metros de distâncias entre eles, tem sempre resultado positivo na prática, diminuindo o número de filas, o tempo de espera, a melhora no nível de serviço e com isso, a diminuição da emissão de poluentes.

Nesse contexto, a coordenação dos semáforos tornou-se simplificada pelo fato de todos os cruzamentos já possuírem apenas dois estágios de interrupção de fluxo. O primeiro, que se interrompe o fluxo da via secundária e o segundo que interrompe o fluxo da via principal. Além disso, a restrição das conversões à esquerda também foi outro fator que facilitou a implementação da progressão, já que a aplicação dela se torna limitada com a existência de um terceiro estágio que protege a conversão à esquerda.

No entanto, existem dois cruzamentos onde a conversão à esquerda é permitida, sendo eles na interseção com a rua Teixeira Soares (Figura 2) com a rua Bento Gonçalves (Figura 3), que foi implementada sem a adoção do terceiro estágio, utilizando apenas um rearranjo das faixas de rolamento. A conversão à esquerda da avenida para a rua Teixeira Soares, descreve a última possível antes do centro, tornando esse cruzamento, fundamental na redistribuição do tráfego na cidade. Já conversão à esquerda da avenida para a rua Bento Gonçalves configura o principal movimento das linhas de ônibus que se destinam ao ponto da Praça Marechal Floriano com direção à zona sul.

Para a coordenação em onda verde do caso apresentado, foi utilizado o método empírico, baseado no estudo de Bezerra [9], que compreende estabelecer um mesmo ciclo em todos os equipamentos do trecho, calculado a partir da divisão do comprimento da via pela velocidade de tráfego livre, estabelecida em 45 km/h.

Posteriormente, o método consiste em desenhar em escala o comprimento da via, respeitando as distâncias entre os cruzamentos semaforizados, assim como o tempo de ciclo calculado anteriormente. Depois disso, é traçada a diagonal que representa a banda verde, a qual a partir dela, será determinado os tempos de verde e vermelho dos semáforos da via principal. A

banda verde é o tempo total em que se é possível ultrapassar toda a sequência de semáforos sem parar, a partir do momento em que o primeiro semáforo é aberto. Dessa forma, conforme Pietrantonio [8], com a utilização de simuladores de tráfego, mesmo que a função estabelecida seja complexa, fica mais fácil encontrar a melhor alternativa de solução.

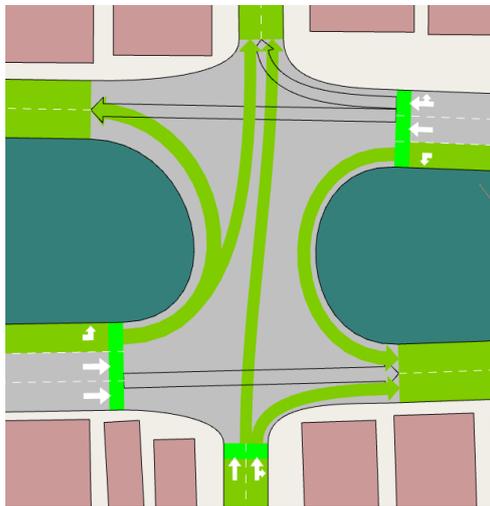


Figura 2 – Cruzamento com a Rua Teixeira Soares.

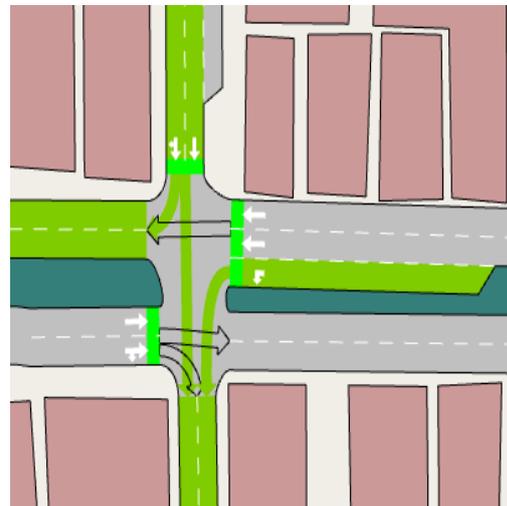


Figura 3 – Cruzamento com a Rua Bento Gonçalves.

Nesta etapa, foi utilizado o software AutoCAD® para o processo de obtenção dos tempos de verde e vermelho de cada semáforo. A Figura 4 demonstra um exemplo genérico de representação gráfica para a onda verde, onde os cruzamentos estão dispostos no eixo x e os tempos de verde, vermelho e do ciclo, o qual é a soma de verde e vermelho, no eixo y.

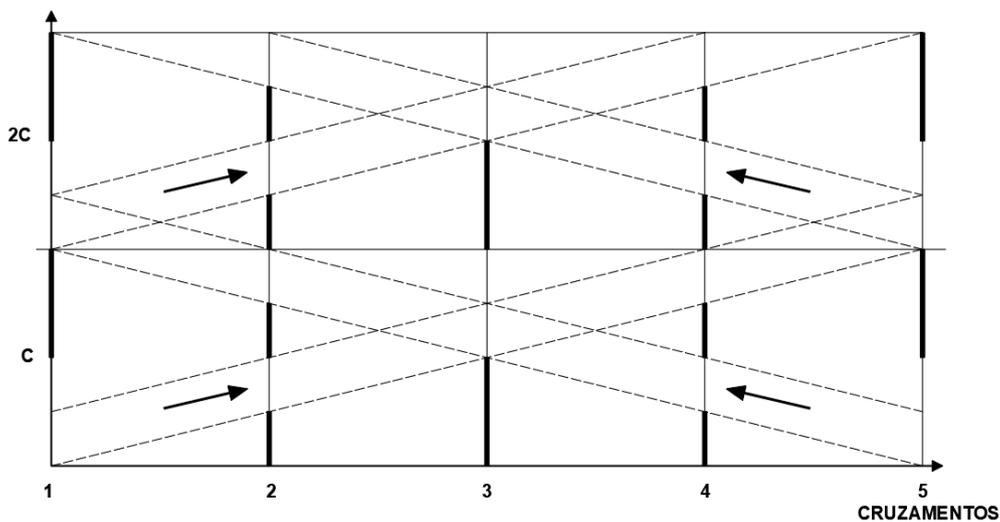


Figura 4 – Representação gráfica da onda verde.

2.3. Transporte Público

O transporte coletivo é um importante serviço moderador da democratização da mobilidade urbana, além de constituir um modal de transporte insubstituível nos grandes centros, pois ajuda na redução dos congestionamentos, na redução dos níveis de poluição, e da necessidade de ampliação de vias e estacionamentos. Segundo Brinco [10], além disso, a constatação de que os automóveis utilitários são os principais causadores de engarrafamentos nos centros das cidades, corroboram com o investimento nos modais de transporte coletivo, uma vez que o volume ocupado por esses veículos e a quantidade de passageiros que conseguem transportar são

inversamente proporcionais

O transporte público de Passo Fundo/RS, constitui-se majoritariamente pelas linhas de ônibus coletivos. A Codepas, administrada pela Prefeitura Municipal, compõe 30% das linhas, a Coleurb empresa privada, compõe 60% e a Transpasso, também da iniciativa privada, compõe 10%, segundo o Plano Diretor de Mobilidade Urbana [4]. Para a modelagem no software, foi utilizado apenas os dados de rota e horários de parada das empresas Codepas e Coleurb, visto que essas já representam um número expressivo da composição das linhas e também porque não foi possível obter as rotas da empresa Transpasso. A Tabela 1 mostra a distribuição quantitativa dos serviços entre as empresas operadoras no município e mostra que das 37 linhas oferecidas pela Coleurb e pela Codepas, 31 foram ingressados no software, visto que as outras 6 possuíam uma rota que não era congruente com a Avenida Brasil.

Tabela 1 – Distribuição quantitativa dos serviços entre as empresas operadoras.

Empresa	Frota	Linhas	Viagens	km/mês	Passageiro/mês
Coleurb	107 (70,4%)	25 (61%)	995 (70,6%)	467.557 (68,6%)	1.141.540 (71,2%)
Codepas	32 (21,1%)	12 (29,3%)	299 (21,2%)	158.209 (23,2%)	357.259 (22,3%)
Transpasso	13 (8,3%)	4 (9,8%)	116 (8,2%)	56.178 (8,2%)	104.695 (6,5%)
Total	152	41	1.410	681.945	1.603.494

2.4. Composição dos Veículos e Rotas

Os estudos de tráfego, representam uma importante metodologia de obtenção de dados que servem a Engenharia de Tráfego e suas finalidades, definidas como o planejamento de vias e da circulação dos veículos nas mesmas. Ainda, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [11] em conjunto com essas pesquisas, que fornecem os dados sobre o tráfego atual, e através do conhecimento da forma de geração e distribuição desse tráfego obtém-se o prognóstico das necessidades de circulação no futuro, dado essencial para o planejamento da rede.

Dessa forma, as pesquisas responsáveis por compor as matrizes origem e destino, são capazes de descrever e quantificar os movimentos dos veículos presentes em um determinado segmento de via, respeitando todas as possibilidades de rotas. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [11] esses tipos de pesquisa possibilitam, ainda, conforme a amplitude do estudo que se tem em vista, a obtenção de informações de diversas outras características dessas viagens, tais como: tipo, valor e peso da carga transportada, números de passageiros, motivos das viagens, horários, frequência, quilometragens percorridas por ano, etc.

Para este estudo necessitou-se elaborar uma matriz origem e destino, pois não existe nenhuma outra pesquisa que quantificou e categorizou o movimento dos veículos no centro de Passo Fundo/RS, além de que esse é o principal dado para a representação do tráfego no simulador. Seguindo o Highway Capacity Manual [12] e o Manual de Estudos de Tráfego [11] a pesquisa partiu-se da metodologia de entrevistas na via, pela facilidade em se obter os dados sem equipamentos, como é o caso do método de identificação de placas, que necessitaria realizar a gravação dos veículos passantes por todos os pontos de forma simultânea para, posteriormente, analisar as quantidades de entrada e saída.

Por conseguinte, determinou-se nos cruzamentos os pontos que originam fluxo na avenida Brasil, observando o sentido das ruas, onde nesses mesmos pontos eram realizadas as contagens volumétricas e as entrevistas de destino, durante a hora de pico, compreendida das 18h às 19h. Em um primeiro momento realizava-se uma contagem volumétrica durante dez minutos, e extrapolava-se o valor obtido para 1h. Depois disso, calculava-se o tamanho da amostra necessária para garantir um nível de confiança de 90% e margem de erro de 5%, estipulados como critério

de análise. Como cada rua apresenta um volume horário típico, determinou-se um número de amostra diferente para cada uma. A escolha por trabalhar com uma amostra reduzida deve-se ao fato da impossibilidade de se entrevistar todos os carros que passavam pelo ponto no intervalo de 1h, visto que a grande maioria passava enquanto o semáforo ainda estava verde.

Posteriormente, iniciava-se as entrevistas, questionando veículo por veículo qual rua destino o levaria para fora do centro, e então anotava-se a resposta em uma planilha com todas as opções possíveis. Em seguida, era realizada a contagem das respostas e montava-se a matriz a partir do número de amostras. Contudo, pelo fato de ser uma quantidade reduzida, precisava-se então efetuar as parcelas de destino correspondente às origens e montava-se uma segunda matriz com base nos percentuais de destino.

Finalmente, multiplicava-se o percentual pelo volume de carros que passavam pela rua no horário de pico, obtido pela contagem volumétrica durante a primeira etapa e formava-se então uma terceira matriz, com as quantidades totais que futuramente seriam ingressadas no software. A montagem da matriz só levou em conta os automóveis utilitários, uma vez que se obteve uma mesma matriz para caminhões, a partir desta que representava 0,5% da quantidade de carros.

2.5. Cenários de Simulação e Análise

Neste estudo, foram modelados 4 cenários de simulação que envolvem a combinação de uma terceira faixa e da progressão semaforica, sendo: duas faixas por sentido, tempos semaforicos atuais; duas faixas por sentido e progressão semaforica em onda verde; três faixas por sentido e tempos semaforicos atuais; três faixas por sentido e progressão semaforica em onda verde.

Como dados de entrada, foram ingressados não só a parte da infraestrutura viária, representando a geometria da pista, a programação semaforica atual e a proposta, a velocidade máxima permitida na via, as rotas de ônibus e os horários de paradas em cada ponto e a matriz de origem e destino quantitativa de veículos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Programação Semaforica

Representa-se, por meio da Figura 5, a solução gráfica com os tempos de verde e vermelho para ocorrer a progressão em onda verde na avenida Brasil. O eixo x corresponde os cruzamentos semaforizados com as ruas Teixeira Soares, Sete de Setembro, Coronel Chicuta, Bento Gonçalves, Capitão Eleutério, Fagundes dos Reis e Benjamin Constant, respectivamente numerados de 1 a 7. Já o eixo y corresponde aos ciclos e aos tempos de verde, barra fina, e vermelho, barra espessa, para os semáforos da avenida Brasil.

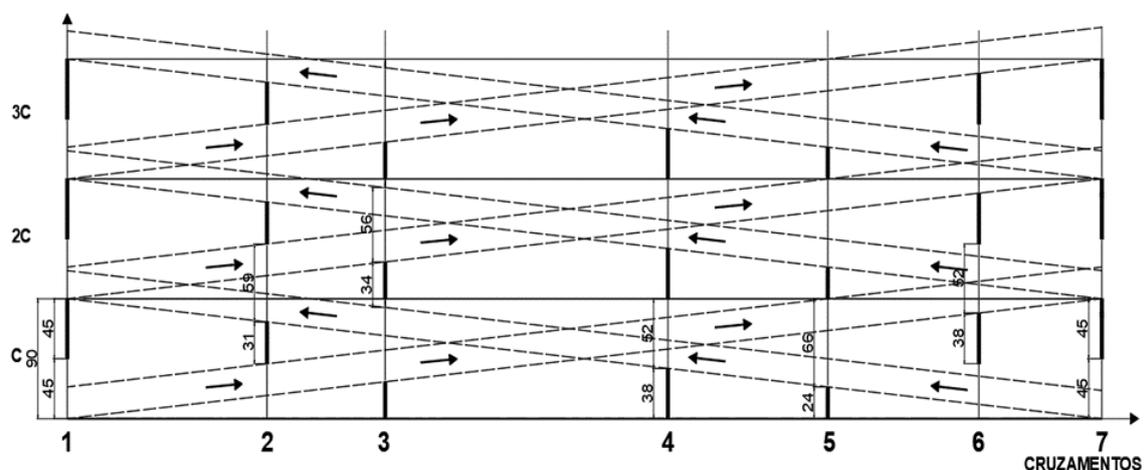


Figura 5 – Rsolução para Onda Verde (avenida Brasil).

O ciclo dos 7 semáforos presentes no segmento foi calculado em 90 segundos, ficando

abaixo do ciclo atual na maioria dos equipamentos. Dessa forma, os estágios verde e vermelho também são valores próximos aos atuais, o que não mudará o tempo de espera na percepção do motorista. Além disso, a banda verde ficou compreendida de 23 segundos para a pista de sentido leste e de 21 segundos para a pista de sentido oeste, ou seja, garantindo 23 ou 21 segundos desde a abertura do primeiro semáforo, dependendo do sentido, para conseguir a onda verde. Apresenta-se, por meio da Tabela 2, os valores (em segundos) dos tempos atuais e do cenário da progressão.

A partir da apresentação desses dados, é possível analisar comparativamente os dois cenários, onde a progressão causou um ciclo menor nos equipamentos e também diminuiu o tempo dos vermelhos em 18%. Ademais, configurou um tempo de verde maior em cruzamentos de menor importância, como com a rua Capitão Eleutério, e equilibrou nas vias de maior importância, como na avenida Sete de Setembro e na rua Coronel Chicuta resultando em um tempo de espera menor para o fluxo proveniente delas.

Tabela 2 – Dtempos dos estágios atuais e da progressão.

Via	Vermelho Atual	Vermelho Progressão	Verde Atual	Verde Progressão
Teixeira	45	45	45	45
Setembro	43	31	73	59
Chicuta	34	34	62	56
Bento	49	38	48	52
Eleutério	50	24	50	66
Fagundes	48	38	48	52
Benjamin	46	45	48	45

3.2. Composição dos Veículos e Rotas

A Tabela 3 mostra o total de amostras e entrevistas coletadas em cada origem – coluna 1. Observe o número diferente de amostras para cada rua, pelo fato de cada uma possuir um volume de carros típico. As células que possuem um traço, são rotas que não são possíveis percorrer, respeitando o sentido das ruas.

Tabela 3 – Distribuição quantitativa de amostras.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Benj	Pet	Total
(1) Brasil Boqueirão	2	52	6	3	38	-	2	12	-	14	-	39	168
(2) Teixeira	2	82	7	2	9	-	2	0	-	4	-	12	120
(3) Setembro	14	3	7	1	121	-	6	6	-	8	-	8	174
(4) Chicuta	31	17	11	0	3	65	3	8	-	1	-	8	147
(5) Gen. Neto	-	-	-	-	-	-	8	31	-	11	-	37	87
(6) Bento	11	1	1	2	1	7	8	110	-	-	-	-	141
(7) Eleutério	6	5	0	0	0	1	0	2	106	17	-	4	141
(8) Fagundes	7	0	1	0	0	1	0	0	11	87	-	16	123
(9) Benjamin	8	2	1	3	1	2	1	5	1	-	135	7	159
(10) Brasil Petrópolis	129	4	1	1	9	6	2	7	1	-	5	-	165
Total	210	166	35	12	182	82	32	181	119	142	140	131	1432

À luz do exposto, pode-se observar que os dois pontos onde necessitou realizar mais entrevistas foi justamente na avenida Brasil que vem do bairro Boqueirão e a avenida Brasil que vem do bairro Petrópolis, onde foram entrevistados 168 e 165 carros respectivamente. No total, 1.432 carros utilitários responderam a pesquisa. A Tabela 4 mostra o percentual correspondente

às opções de escolha de destino com base na tabela anterior.

Percebe-se que a maior parte dos fluxos provenientes das ruas que cruzam a avenida Brasil, não entram na avenida, ou seja, passam direto, como é o caso da avenida Sete de Setembro e da rua Benjamin Constant, onde 69,5% e 84,3%, nessa ordem, seguem adiante. Ainda assim, a avenida Sete de Setembro, juntamente com a rua Coronel Chicuta são as vias que mais contribuem com o trânsito na avenida Brasil, pois despejam, respectivamente, 30,5% e 55,8% de seu fluxo, visto que são as principais rotas que conectam os bairros da zona norte e sul ao centro da cidade.

Tabela 4 – Distribuição percentual das escolhas de destino.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Benj	Pet
Boq	1,2%	31,0%	3,6%	1,8%	22,6%	-	1,2%	7,1%	-	8,3%	-	23,2%
Teix	1,7%	68,3%	5,8%	1,7%	7,5%	-	1,7%	0,0%	-	3,3%	-	10,0%
Set	8,0%	1,7%	4,0%	0,6%	69,5%	-	3,4%	3,4%	-	4,6%	-	4,6%
Chic	21,1%	11,6%	7,5%	0,0%	2,0%	44,2%	2,0%	5,4%	-	0,7%	-	5,4%
Gen	-	-	-	-	-	-	8,8%	36,0%	-	12,5%	-	42,6%
Bem	7,8%	0,7%	0,7%	1,4%	0,7%	5,0%	5,7%	78,0%	-	-	-	-
Ele	4,3%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	1,4%	75,2%	12,1%	-	2,8%
Fag	5,7%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	8,9%	70,7%	-	13,0%
Ben	5,0%	0,4%	0,5%	0,3%	0,3%	1,3%	0,3%	3,3%	0,1%	-	84,3%	4,3%
Pet	79,1%	2,4%	0,5%	0,3%	5,2%	3,7%	1,2%	4,0%	0,6%	-	2,8%	-

Apresenta-se, pela Tabela 5, as preferências de destinos dos carros que ingressam no trecho central da avenida Brasil no horário de pico, onde as quantidades foram extrapoladas a partir da Tabela 2 e da contagem volumétrica que compreende o total de carros passantes (coluna 1 representa as origens, enquanto a linha 1 representa os destinos).

Tabela 5 – Distribuição quantitativa de veículos.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Ben	Pet	Tot
Br-Boq..	13	340	39	20	248	-	13	78	-	92	-	255	1.098
Teixeira	8	340	29	8	37	-	8	0	-	17	-	50	498
Setembro	95	20	48	7	822	-	41	41	-	54	-	54	1.182
Chicuta	157	86	56	0	15	329	15	40	-	5	-	40	744
Gen.	-	-	-	-	-	-	12	49	-	17	-	58	136
Neto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bento	43	4	4	8	4	27	31	431	-	-	-	-	552
Eleutério	22	18	0	0	0	4	0	7	388	62	-	15	516
Fagundes	67	0	10	0	0	10	0	0	105	832	-	153	1.176
Benjamin	50	4	5	3	3	13	3	33	1	-	850	43	1.008
Br-Pet	922	28	6	4	61	43	14	47	7	-	33	-	1.165
Total	1.377	841	196	50	1.191	426	138	727	501	1.079	883	668	8.075

Grande parte dos carros se concentram nas ruas de maior capacidade de tráfego, sendo elas na avenida Sete de Setembro e nas ruas Fagundes dos Reis e Benjamin Constant, onde possuem 3 faixas de rolamento. No entanto, quando se compara o volume de carros provenientes da rua Coronel Chicuta, com o da avenida Brasil que vem do bairro Petrópolis, observa-se que há uma maior capacidade horária na avenida Brasil, mesmo possuindo menos faixas que a Coronel Chicuta. Analisando as filas que se formavam em ambos cruzamentos, nota-se que o tamanho era semelhante, mas a quantidade de carros que conseguiram passar pelo verde era maior na avenida Brasil, que possui 48 segundos, enquanto que na Coronel Chicuta é de apenas 30 segundos, provando que a capacidade não está apenas ligada à ampliação física.

Essas quantidades também foram utilizadas para compor a matriz no software, onde ao

todo, 8.075 carros utilitários foram simulados no modelo.

3.3. Cenários de Simulação e Análise

No que diz respeito à densidade do tráfego atuante, mostram-se, respectivamente, por meio das Figuras 6, 7, 8, e 9, os quatro cenários de simulação, elucidando graficamente os segmentos de vias que possuem maior densidade. As Figuras 6 e 7 demonstram a eficiência da programação semafórica mantendo a geometria atual das pistas da avenida Brasil, ou seja, com apenas 2 faixas. Já as Figuras 8 e 9 demonstram a eficiência da programação semafórica com as pistas da avenida possuindo 3 faixas em cada sentido. As cores simbolizam a densidade e vão de verde, menos denso, à preto, mais denso.



Figura 6 – Densidade Simulada duas faixas Programação Atual.



Figura 7 – Densidade Simulada duas faixas Progressão em onda verde.



Figura 8 – Densidade Simulada três faixas Programação Atual.

Durante as simulações, constatou-se que o cenário que obteve o melhor desempenho com relação a densidade foi o que combinou a terceira faixa com a progressão dos semáforos em onda verde, visto que o cenário atual possui uma densidade de 6,58 veículos por quilômetro, e este 4,71 veículos por quilômetro, o que garantiu uma redução de 28% nesse parâmetro.

Além disso, percebe-se que a melhora na eficiência não ocorreu apenas na avenida Brasil, mas também nas vias secundárias que compõem o sistema viário do centro de Passo Fundo/RS. Nesse sentido, ruas como a Benjamin Constant, Fagundes dos Reis, Coronel Chicuta e avenida Sete de Setembro, obtiveram uma redução de 36%, 26%, 21% e 30%, respectivamente, na



Figura 12 – Emissão de Poluentes três faixas (Programação atual).



Figura 13 – Emissão de Poluentes três faixas (Progressão em onda verde).

A Tabela 6 apresenta, ainda, outros parâmetros que comprovam a eficiência da onda verde, mesmo sem a implementação de uma terceira faixa, os dados contidos na tabela dizem respeito a todos os veículos contidos na simulação, sendo carro, ônibus e caminhão. Percebe-se uma expressiva diminuição do Tempo de Atraso e Tempo de Viagem Total somente com a implementação da onda verde, onde houve-se uma redução de 32% e 21%, respectivamente; também se observa uma baixa no número de paradas de todos os veículos do sistema simulado, compreendida em 15%. Além disso, verifica-se que a Velocidade Média de toda a simulação obteve um aumento em 18%, explicando o porquê da redução do Tempo Total de Viagem.

Tabela 6 – Resultados de parâmetros comparativos da simulação de cada cenário.

Séries Temporais	Atual 2 faixas	Progressão 2 Faixas	Atual 3 faixas	Progressão 3 faixas	Unidade
Tempo de Atraso	143,5	96,87	134,51	93,35	s/km
Tempo Total de Viagem	207,22	162,03	190,6	154,93	s
Número de Paradas Total	31.237,53	26.382,43	29386,52	25.499,07	
Velocidade Média	22,13	27,54	23,21	28,3	km/h

5. Conclusões

Á luz do exposto no presente estudo, conclui-se, portanto, que a maior parte do fluxo que trafega na avenida Brasil central, tem sua origem na própria avenida que vem dos bairros Boqueirão e Petrópolis, sendo que a maior parte desses veículos que entram, também se destinam a esses bairros, ou seja, os carros utilizam a avenida apenas como via de passagem por configurar a rota mais fácil e curta.

Além disso, poucos veículos provenientes das vias secundárias convergem à avenida Brasil e, quando o fazem, também se encaminham em direção ao Boqueirão ou ao Petrópolis, ou ainda realizam conversão na próxima rua. Dessa forma, os problemas de trânsito e de poluição atmosférica – emissão veicular de CO₂ – gerada na avenida, podem ser mitigados com intervenções no planejamento do seu fluxo original.

Do mesmo modo, a eficiência do sistema de transporte viário (em todos os parâmetros) já alcança resultados satisfatórios, dentre os cenários analisados, com a mudança da programação semafórica, para uma em que se aconteça a onda verde, onde o fluxo de veículos que se adentra à avenida já consiga atravessar todo o segmento central de uma vez, evitando o acúmulo de veículos em seus cruzamentos mais centrais.

Referências

- [1] H. D. B. Noronha, Estudo comparativo de dois simuladores de tráfego: AIMSUN e VISSIM, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2016.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/passofundo/panorama>, 2020 (acesso em 6 março 2020).
- [3] Estatuto das Cidades, Lei nº 10.257, (2001).
- [4] Prefeitura Municipal de Passo Fundo (PMPF), Secretaria de Planejamento, Plano Diretor de Mobilidade Urbana de Passo Fundo – 2014, <http://www.pmpf.rs.gov.br/interna.php?t=6&p=770>, 2020 (acesso em 21 fevereiro 2020).
- [5] Código de Trânsito Brasileiro (CTB) – Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm, 2020 (acesso em 21 fevereiro 2020).
- [6] S. Joner, N. M. P. Volpi, Sincronização de semáforos: modelo matemático para uma aplicação ao tráfego de Curitiba, *Holos*, 2 (2015) 3–18.
- [7] M. R. M. Araújo, J. M. Oliveira, N. Sá, P. Santos, T. Lima, Transporte Público Coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida, *Revista Psicologia e Sociedade*. 23 (3) (2011) 574-582.
- [8] H. Pietrantonio, Controle de Tráfego em Fluxo Descontínuo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- [9] B. S. Bezerra, Semáforos: gestão técnica, percepção do desempenho e duração dos tempos, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2007.
- [10] R. Brinco, Políticas de estacionamento e efeitos na mobilidade urbana, *Indicadores Econômicos FEE – Porto Alegre*, 44 (2) (2016) 109-124.
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Manual de Estudos de Tráfego, Rio de Janeiro (2006).
- [12] Highway Capacity Manual (HCM), Transportation Research Board (TRB), 2010.

ORCID

- R. S. Ribeiro 0000-0001-5270-2184 (<https://orcid.org/0000-0001-5270-2184>)
P. C. Pinto 0000-0003-2687-2803 (<https://orcid.org/0000-0003-2687-2803>)