

CONSIDERAÇÕES SOBRE A **CALIBRAÇÃO** DO MODELO DE **CAR-FOLLOWING** DO VISSIM PARA VIAS ARTERIAIS URBANAS



ESTRUTURA DO ARTIGO

DISCUSSÃO CONCEITUAL: modelo de *car-following* de Wiedemann x W74 x W99

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: qual modelo é mais adequado para vias arteriais urbanas?

CALIBRAÇÃO: que parâmetros devem ser calibrados e que medidas de desempenho usar?

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O FLUXO DE TRÁFEGO NO *SOFTWARE* VISSIM

O VISSIM UTILIZA **4 MODELOS COMPORTAMENTAIS** PARA CALCULAR O FLUXO DE TRÁFEGO EM UM TRECHO DE VIA

CAR-FOLLOWING

↳ MOVIMENTAÇÃO LONGITUDINAL

↳ DENSIDADE E VELOCIDADE MÉDIA

MUDANÇA DE FAIXA

↳ MOVIMENTAÇÃO LATERAL



ACEITAÇÃO DE BRECHAS

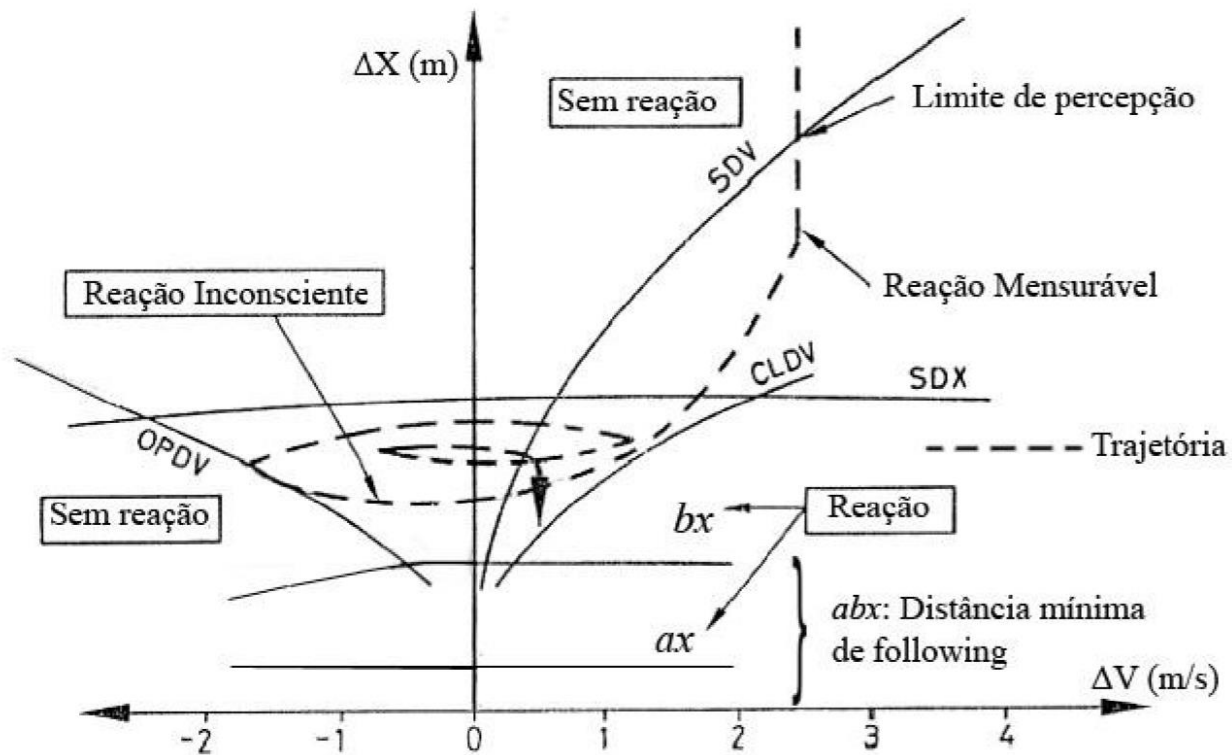
MODELA O COMPORTAMENTO NAS INTERSECÇÕES (PRIORIDADES E CONFLITOS)

ESCOLHA DE ROTAS

MODELA A TOMADA DE DECISÃO DIANTE DE DIFERENTES OPÇÕES DE CAMINHO

MODELO DE CAR-FOLLOWING DE WIEDEMANN

MODELO PSICOFÍSICO: MOTORISTA SEGUIDOR RESPONDE A ESTÍMULOS DO VEÍCULO LÍDER



ΔV - DIFERENÇA DE VELOCIDADE ENTRE O VEÍCULO SEGUIDOR E O VEÍCULO LÍDER

ΔX - DISTÂNCIA ENTRE OS VEÍCULOS

SDV - MOMENTO EM QUE O VEÍCULO SEGUIDOR COMEÇA A DESACELERAR DEVIDO À PRESENÇA DO VEÍCULO LÍDER A SUA FRENTE

$OPDV$ E $CLDV$ - LIMITES DA DIFERENÇA DE VELOCIDADE ENTRE OS VEÍCULOS (MOMENTOS DE RETOMADA DA ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO DO VEÍCULO SEGUIDOR EM REGIME DE FOLLOWING)

MODELO DE CAR-FOLLOWING DE WIEDEMANN

HEADWAY NO ESTADO DE FOLLOWING: VARIA ENTRE $ax+bx$ E SDX E HEADWAY MÍNIMO DE FOLLOWING **AUMENTA COM A RAIZ QUADRADA DA VELOCIDADE**

$$ax = L + ax_{add} + rndl(I) \cdot ax_mult$$

em que ax : distância entre os veículos quando parados em fila [m];
 L : comprimento do veículo [m];
 ax_{add} : fator aditivo de ax [m];
 ax_mult : fator multiplicativo de ax [m];
 $rndl[I]$: variável aleatória $N(0,5; 0,15)$, truncada entre 0 e 1 ;

$$bx = (bx_{add} + bx_mult \cdot rndl(I)) \cdot \sqrt{v} \quad (2)$$

em que bx : distância de segurança [m];
 bx_{add} : fator aditivo de bx ;
 bx_mult : fator multiplicativo de bx ;
 v : velocidade do líder enquanto houver aproximação dos veículos, e do veículo seguidor enquanto houver distanciamento [m/s];

MODELO DE CAR-FOLLOWING W74

PRINCIPAIS DIFERENÇAS EM RELAÇÃO AO MODELO DE WIEDEMANN

AX DO SIMULADOR REPRESENTA O ESPAÇAMENTO ENTRE OS VEÍCULOS PARADOS, E NÃO O HEADWAY



VISSIM ADOTA O AX_MULT IGUAL A 1,0 M, CONSTANTE E NÃO PASSÍVEL DE SER MODIFICADO PELO USUÁRIO

A DISTÂNCIA MÍNIMA DE FOLLOWING (D) É DADA PELA SOMA DE AX + BX, SENDO BX IDÊNTICO AO BX PROPOSTO POR WIEDEMANN



D REPRESENTA O ESPAÇAMENTO ENTRE OS VEÍCULOS NO VISSIM E ABX REPRESENTA O HEADWAY DOS VEÍCULOS NO TRABALHO DE WIEDEMANN, TEM-SE QUE $ABX = D - L$

MODELO DE CAR-FOLLOWING W99

PRINCIPAIS DIFERENÇAS EM RELAÇÃO AO MODELO DE WIEDEMANN

W99 DESCREVE D POR MEIO DE APENAS DOIS PARÂMETROS: CC_0 , QUE TEM O MESMO SIGNIFICADO DE AX DO W74, E CC_1 , QUE É SIMILAR AO BX DO W74



O INCREMENTO DA DISTÂNCIA MÍNIMA DE FOLLOWING DEVIDO AOS VEÍCULOS ESTAREM EM MOVIMENTO É: $D = CC_0 + CC_1.V$

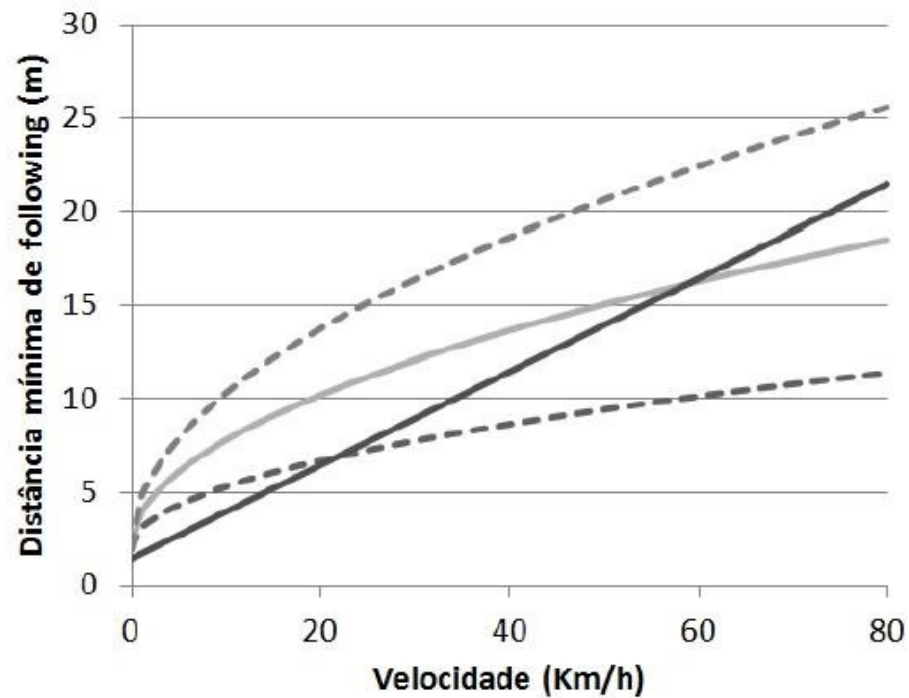
O W99 PERMITE DEFINIR VALORES PARA AS DEMAIS VARIÁVEIS DO MODELO DE CAR-FOLLOWING DE WIEDEMANN – SDV , SDX , $CLDV$ E $OPDV$



CC_3 – SDV ; CC_4 – CURVA $OPDV$; CC_5 – CURVA $CLDV$; CC_6 – VELOCIDADE NA DISTÂNCIA DE FOLLOWING; CC_7 – OSCILAÇÃO DURANTE A ACELERAÇÃO; CC_8 – ACELERAÇÃO QUANDO PARTE DO REPOUSO; CC_9 – ACELERAÇÃO A 80 KM/H

WIEDEMANN X W74 X W99

VARIAÇÃO DE **D** EM FUNÇÃO DE **V**



W74 – VARIAÇÃO PARABÓLICA

W99 – VARIAÇÃO LINEAR

WIEDEMANN PROPÔS A RELAÇÃO QUADRÁTICA ENTRE B_X E V

W74 IMPLICA EM ESPAÇAMENTOS MAIORES PARA VELOCIDADES MENORES, O QUE É MAIS ADEQUADO PARA REPRESENTAR O TRÁFEGO URBANO

ADEQUAÇÃO EM VIAS URBANAS: W74 X W99

MANUAL INDICA O W74 PARA O TRÁFEGO URBANO, MAS NÃO OFERECE RAZÕES PARA ESTA RECOMENDAÇÃO



W74 – TRÁFEGO URBANO



W99 – TRÁFEGO RODOVIÁRIO

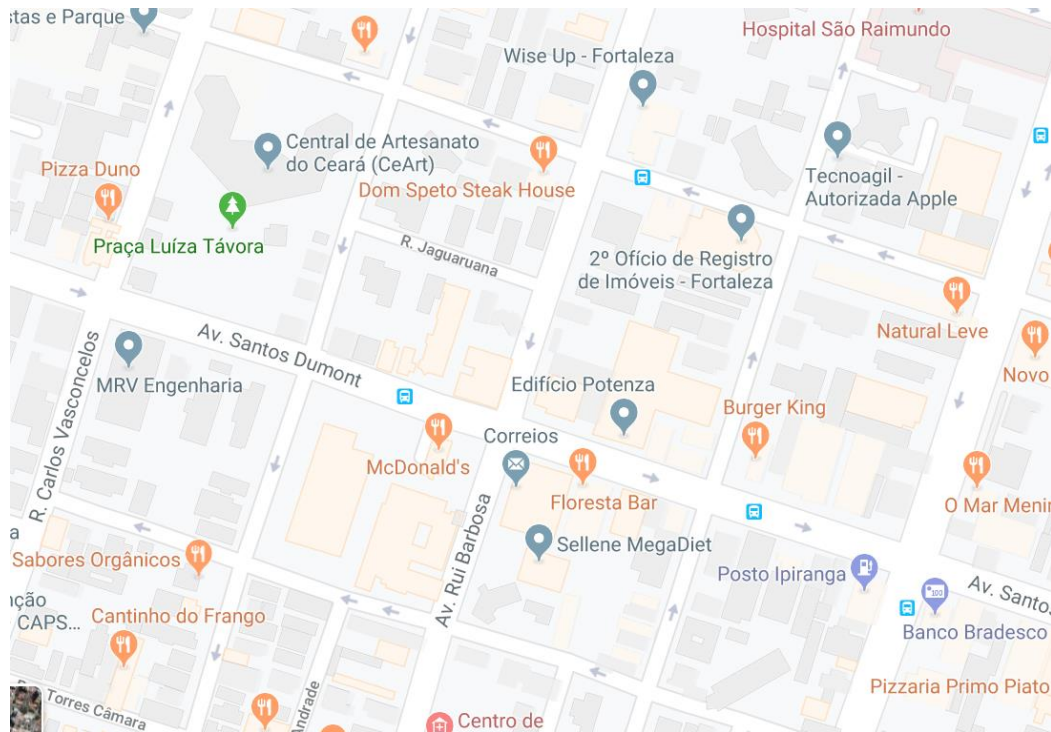
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS CC3 AO CC9 DO W99

Parâmetro (default)	Nível	Valor	Tempo de Viagem (s)	IC (95%) Tempo de viagem (s)		Atraso (s)	IC (95%) Atraso (s/veic)	
CC3 (-8,0s)	Baixo	-4,0	90	-1,2	6,9	17	-1,1	-1,0
	Alto	-15,0	93			16		
CC4 / CC5 (±0,35)	Baixo	±0,10	91	-1,6	5,3	17	0,3	0,5
	Alto	±2,00	93			17		
CC6 (11,44m/s ²)	Baixo	2,0	90	-1,7	0,6	17	-0,1	0,0
	Alto	20,0	89			17		
CC7 (0,25m/s ²)	Baixo	0,15	90	-2,8	1,7	17	-0,1	0,0
	Alto	0,50	90			17		
CC8 (3,5m/s ²)	Baixo	2,0	92	-5,3	-0,2	17	-0,3	-0,2
	Alto	3,50	89			17		
CC9 (1,5m/s ²)	Baixo	0,65	89	-1,2	2,2	17	0,0	0,0
	Alto	2,30	90			17		
Motorista Cauteloso	---	---	97	-11,4	-5,0	17	0,1	0,3
Motorista Agressivo	---	---	88			17		

CONCLUSÃO

A UTILIZAÇÃO DO MODELO W99 DO VISSIM AO INVÉS DO MODELO W74 NÃO TRAZ BENEFÍCIOS PARA ESTUDOS DE SIMULAÇÃO DE TEMPO DE VIAGEM E ATRASO EM VIAS ARTERIAIS URBANAS

ESTUDO DE CASO



- CODIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO
 - Via arterial unidirecional com duas faixas de tráfego misto
 - Região adensada, com uso de solo predominantemente comercial
 - Cinco interseções em nível, três semaforizadas
 - Avenida Santos Dumont, Fortaleza - CE

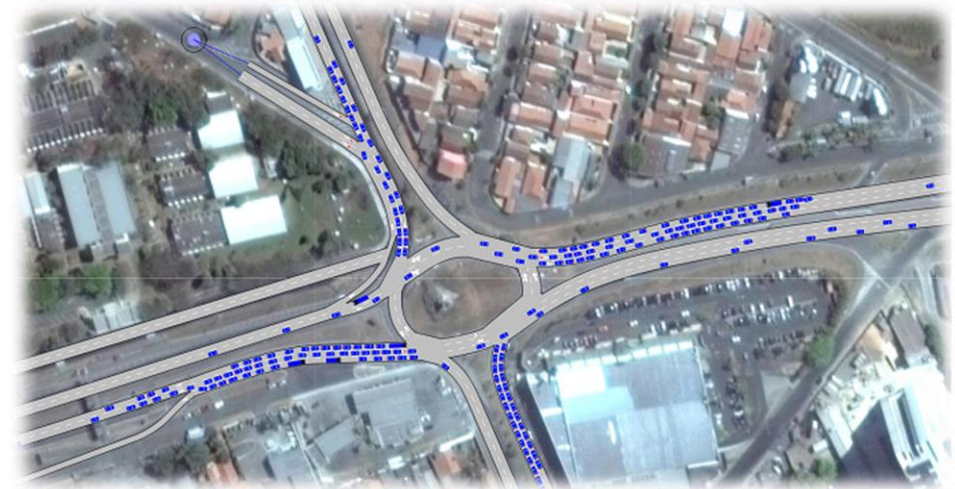
ESTUDO DE CASO

- COLETA DE DADOS:
 - Contagem volumétrica direcional e classificatória em todas as aproximações de todas as cinco interseções
 - Câmeras e contadores
 - Tempos médios de viagem na via
 - Método do veículo teste (23 observações)
 - Fluxo de saturação em duas aproximações da via principal
 - Dados da operação do transporte coletivo por ônibus
 - Pontos de parada, headway e tempo de embarque/desembarque
 - Disponibilizados pela ETUFOR e CTAFOR
 - Período da manhã (de 7h às 8h) de uma quarta-feira, dia 30 de abril de 2014

REPRESENTANDO A REALIDADE POR MEIO DE MODELOS



≈



PARA QUE UM MODELO REFLITA DE FORMA SATISFATÓRIA A REALIDADE, É NECESSÁRIO

AJUSTAR ALGUNS PARÂMETROS COM BASE EM DADOS OBSERVADOS



ETAPA DE CALIBRAÇÃO

DIFICULDADES: NÚMERO DE PARÂMETROS E SUAS RELAÇÕES DE DEPENDÊNCIA

QUAIS PARÂMETROS DEVEM SER CALIBRADOS E QUAL MEDIDA DE DESEMPENHO UTILIZAR PARA A CALIBRAÇÃO



OS PARÂMETROS DE *CAR-FOLLOWING* DEVEM SER CALIBRADOS SIMULTANEAMENTE OS PARÂMETROS DOS OUTROS MODELOS



O MODELO DE *CAR-FOLLOWING* DEVE SER CALIBRADO ISOLADA OU JUNTAMENTE COM OS DEMAIS MODELOS



CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

1º PASSO

VERIFICAR A APTIDÃO DA REDE **NÃO CALIBRADA**

- SIMULAÇÃO COM VALORES *DEFAULT* DOS PARÂMETROS
- MEDIDAS DE DESEMPENHO:
 - FLUXO DE SATURAÇÃO
 - TEMPO DE VIAGEM
 - ATRASO NA 1ª APROXIMAÇÃO

NÚMERO MÁXIMO DE VEÍCULOS CAPAZES DE PASSAR POR UM TRECHO DE VIA DURANTE UMA HORA, DESCONTADOS OS EFEITOS DE INTERSECÇÕES SEMAFÓRICAS E FILAS DE TRÁFEGO

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

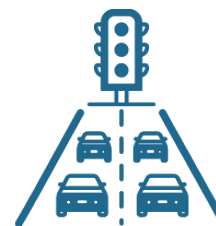
1º PASSO

VERIFICAR A APTIDÃO DA REDE **NÃO CALIBRADA**

- SIMULAÇÃO COM VALORES *DEFAULT* DOS PARÂMETROS

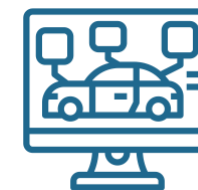
- MEDIDAS DE DESEMPENHO:

- FLUXO DE SATURAÇÃO
- TEMPO DE VIAGEM
- ATRASO NA 1ª APROXIMAÇÃO



OBSERVADO: **127 s**

VS



SIMULADO: **91 s**

EPAM = 28 %

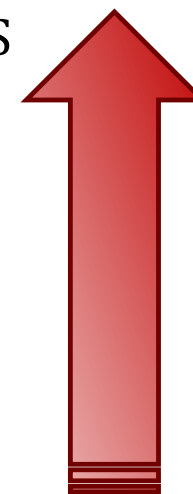
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

1º PASSO

VERIFICAR A APTIDÃO DA REDE **NÃO CALIBRADA**

- SIMULAÇÃO COM VALORES *DEFAULT* DOS PARÂMETROS
- MEDIDAS DE DESEMPENHO:
 - FLUXO DE SATURAÇÃO
 - TEMPO DE VIAGEM
 - ATRASO NA 1ª APROXIMAÇÃO



ERROS PODEM CRESCER SIGNIFICATIVAMENTE AO SIMULAR CENÁRIOS DE INTERVENÇÃO

EPAM = 28 %

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

2º PASSO

ESCOLHA DOS PARÂMETROS A SEREM COLETADOS OU CALIBRADOS

- 4 PARÂMETROS FORAM ESCOLHIDOS
 - VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA
 - AX
 - BX_ADD E BX_MULT
- PARÂMETROS DE OUTROS MODELOS: *DEFAULT*
 - EXCEÇÃO: BRECHA CRÍTICA



VELOCIDADE DOS VEÍCULOS
QUANDO NÃO ESTIVEREM EM
REGIME DE *FOLLOWING*

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

2º PASSO

ESCOLHA DOS PARÂMETROS A SEREM **COLETADOS OU CALIBRADOS**

- 4 PARÂMETROS FORAM ESCOLHIDOS
 - VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA
 - AX
 - BX_ADD E BX_MULT
- PARÂMETROS DE OUTROS MODELOS: *DEFAULT*
 - EXCEÇÃO: BRECHA CRÍTICA



DISTÂNCIA ENTRE VEÍCULOS
QUANDO PARADOS EM FILA

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

2º PASSO

ESCOLHA DOS PARÂMETROS A SEREM **COLETADOS OU CALIBRADOS**

- 4 PARÂMETROS FORAM ESCOLHIDOS
 - VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA
 - AX
 - BX_ADD E BX_MULT
- PARÂMETROS DE OUTROS MODELOS: *DEFAULT*
 - EXCEÇÃO: BRECHA CRÍTICA

VALORES UTILIZADOS PARA O
CÁLCULO DA DISTÂNCIA DE
SEGURANÇA



AFETAM O **ESPAÇAMENTO** ENTRE
VEÍCULOS QUANDO ESTIVEREM EM
REGIME DE *FOLLOWING*

COLETAS DE CAMPO

PARÂMETRO AX



FOTOGRAFIA E INSPEÇÃO VISUAL

OBSERVADO:

μ : 1,9 m

$\sigma = 0,7 m$

VALOR *DEFAULT*:

μ : 2,0 m

$\sigma = 1,0 m$

VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA

MÉTODO DO VEÍCULO TESTE

OBSERVADO: 40 KM/H

(PRATICAMENTE IGUAL AO *DEFAULT*)



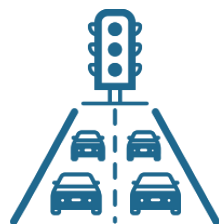
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

3° PASSO

SIMULAÇÃO DA REDE COM VALORES **COLETADOS EM CAMPO**

- 30 REPLICAÇÕES (TEOREMA DO LIMITE CENTRAL)
- MEDIDA DE DESEMPENHO: TEMPO DE VIAGEM



OBSERVADO: **127 s**

VS



SIMULADO 2: **91 s**

EPAM = 28 %

SE $N > 30$ E A POPULAÇÃO TEM QUALQUER DISTRIBUIÇÃO, ENTÃO A DISTRIBUIÇÃO DAS MÉDIAS AMOSTRAIS PODE SER APROXIMADA POR UMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

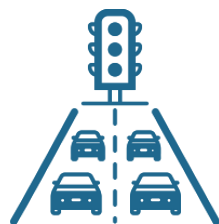
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

3° PASSO

SIMULAÇÃO DA REDE COM VALORES **COLETADOS EM CAMPO**

- 30 REPLICAÇÕES (TEOREMA DO LIMITE CENTRAL)
- MEDIDA DE DESEMPENHO: TEMPO DE VIAGEM



OBSERVADO: **127 s**

VS



SIMULADO 2: **91 s**

EPAM = 28 %



1. AX, VELOCIDADE MÁXIMA DESEJADA E BRECHA CRÍTICA **NÃO INFLUENCIARAM** O TEMPO DE VIAGEM.

2. NÃO SE DEVE CALIBRAR AX, BX_ADD E BX_MULT SIMULTANEAMENTE, PARA QUE SE POSSA SABER A CONTRIBUIÇÃO DE CADA PARÂMETRO NAS MUDANÇAS.

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

4° PASSO

SIMULAÇÃO DA REDE COM VALORES CALIBRADOS

- 30 REPLICAÇÕES DE 20 MIN (5 MIN PARA *WARM UP* DA REDE)
- MEDIDA DE DESEMPENHO:



TEMPO DE
VIAGEM

VS



FLUXO DE
SATURAÇÃO



1. BX_ADD E BX_MULT DETERMINAM OS *HEADWAYS* DE SATURAÇÃO.

2. FLUXO DE SATURAÇÃO NÃO É INFLUENCIADO POR PARÂMETROS DE OUTROS MODELOS COMPORTAMENTAIS.

3. TEMPO DE VIAGEM É INFLUENCIADO POR ALGUNS PARÂMETROS DE OUTROS MODELOS.

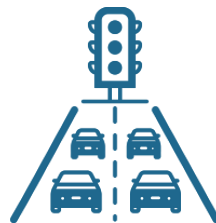
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

4° PASSO

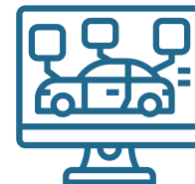
SIMULAÇÃO DA REDE COM VALORES **CALIBRADOS**

- $BX_ADD = BX_MULT = 6,0$
- TEMPO DE VIAGEM:



OBSERVADO: **127 s**

VS



SIMULADO 2: **125 s**

EPAM = 1 %

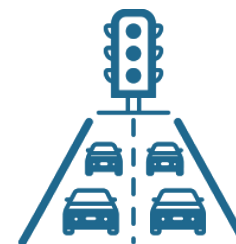
CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

OBJETIVO PRINCIPAL: SIMULAR O TEMPO DE VIAGEM NO TRECHO SIMULADO

5° PASSO

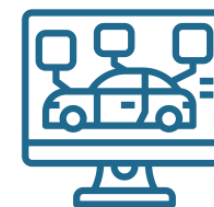
VALIDAÇÃO DA CALIBRAÇÃO REALIZADA

- APLICAÇÃO DOS MESMOS VALORES EM OUTRO TRECHO DA MESMA VIA
 - QUATRO INTERSECÇÕES EM NÍVEL, DUAS SEMAFORIZADAS
- 30 REPLICAÇÕES DE 20 MIN (5 MIN PARA *WARM UP* DA REDE)
- COLETA EM CAMPO REALIDADE NO MESMO DIA E HORÁRIO DO TRECHO ORIGINAL



OBSERVADO: **111 s**

VS



SIMULADO 2: **119 s**

EPAM = 7 %



DIFERENÇA DE VELOCIDADE: **1,0 KM/H**

TABELA RESUMO DOS RESULTADOS

Parâmetros Modificados				Medidas de Desempenho					
<i>ax</i>	<i>bx_add</i>	<i>bx_mult</i>	Brecha Crítica	Fluxo Sat. Simul.	Fluxo Sat. Observ.	EPAM	Tempo de Viagem Simul.	Tempo de Viagem Observ.	EPAM
2,0 (<i>default</i>)	2,0 (<i>default</i>)	3,0 (<i>default</i>)	3,0 (<i>default</i>)	2080	1476	41%	91	127	28%
1,9 (Coletado)	2,0 (<i>default</i>)	3,0 (<i>default</i>)	4,5 (Coletado)	2195		49%	91		28%
1,9 (Coletado)	6,0 (Calibrado)	6,0 (Calibrado)	4,5 (Coletado)	1462		1%	126		1%

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ENTRE OS MODELOS DE *CAR-FOLLOWING* DISPONÍVEIS NO *SOFTWARE*, O MODELO DE **WIEDEMANN-74 É O MAIS INDICADO**, JÁ QUE OS EFEITOS DOS PARÂMETROS EXTRAS TRAZIDOS PELO MODELO DE WIEDEMANN-99 NO TEMPO MÉDIO DE VIAGEM E NO ATRASO VEICULAR SÃO PRATICAMENTE DESPREZÍVEIS.
- A CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS **BX_ADD** E **BX_MULT** COM BASE NO **FLUXO DE SATURAÇÃO** RESULTOU EM UM MODELO CAPAZ DE REPRESENTAR BEM OS TEMPOS DE VIAGEM NA VIA.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- CALIBRAR BX_ADD E BX_MULT SOMENTE APÓS A ESPECIFICAÇÃO DE AX, COLETADO EM CAMPO FOI IMPORTANTE PARA A ESTIMAÇÃO DA **CONTRIBUIÇÃO ISOLADA DE AX E DE BX** NA DISTÂNCIA MÍNIMA DE *FOLLOWING*.
- CALIBRAR O MODELO DE *CAR-FOLLOWING* TENDO COMO ALVO O FLUXO DE SATURAÇÃO TAMBÉM PERMITE A ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS CONTROLANDO-SE O **EFEITO DOS OUTROS MODELOS** COMPORTAMENTAIS, JÁ QUE ESTES NÃO EXERCEM INFLUÊNCIA NO FLUXO DE SATURAÇÃO.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- **UM ALGORITMO GENÉTICO ESTÁ SENDO TRABALHADO PARA CALIBRAR SIMULTANEAMENTE OS CINCO PARÂMETROS DO VISSIM AQUI ABORDADOS. A HIPÓTESE DOS AUTORES É QUE A CALIBRAÇÃO AUTOMATIZADA POSSA ATÉ RESULTAR EM PEQUENOS ERROS DE ESTIMAÇÃO, PORÉM COM VALORES DE PARÂMETROS MENOS CONDIZENTES COM A REALIDADE.**