

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Laísa Braga Kappler

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DA
SEGUNDA PONTE DO GUAÍBA**

Porto Alegre
julho 2017

LAÍSA BRAGA KAPPLER

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DA
SEGUNDA PONTE DO GUAÍBA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis
Coorientador: Felipe Caleffi

Porto Alegre
julho 2017

LAÍSA BRAGA KAPPLER

**ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DA
SEGUNDA PONTE DO GUAÍBA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2017

Prof^ª. Helena Beatriz Bettella Cybis
PhD pela University of Leeds
Orientadora

Felipe Caleffi
MEng pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Helena Beatriz Bettella Cybis
(UFRGS)
PhD pela University of Leeds

Felipe Caleffi
(UFRGS)
MEng pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof. Daniel Sergio Presta García
(UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

João Fortini Albano
(UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Helena Beatriz Bettella Cybis e Felipe Caleffi, orientadores deste trabalho – e inspirações profissionais –, pela assistência que me deram ao longo da minha vida acadêmica.

Agradeço aos demais colegas do Lastran pela ajuda e companhia.

Aos meus pais pelo suporte e por sempre se fazerem presentes. E às minhas irmãs pela parceria durante as longas madrugadas de estudos.

Palavras são, na minha nada humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia. Capazes de causar grandes sofrimentos e também de remediá-los.

(Alvo Dumbledore)

J. K. Rowling, em Harry Potter e as Relíquias da Morte

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise do segmento da BR-116/290-RS, particularmente da atual Ponte do Guaíba, e a condição do tráfego na região após a implantação da segunda Ponte do Guaíba. O estudo buscou quantificar a redução do tempo de viagem, das filas e das paradas sobre a ponte do vão móvel, seus acessos e saídas. Para isso, realizaram-se simulações do modelo da rede viária no software de microssimulação de tráfego VISSIM. O modelo foi construído a partir do levantamento de dados das rodovias BR-290 (BR-116/290), BR-448 e das avenidas Sertório e da Legalidade e da Democracia, calibrado para o local de estudo. Foram representadas diferentes configurações do trecho, a partir de quatro cenários principais: um cenário com a configuração atual da via, sem obstrução; um segundo cenário com a mesma configuração, com o vão móvel da atual ponte içado; e os outros dois cenários contemplam a mesma rede viária e as duas condições acima citadas, porém com a inclusão da segunda Ponte do Guaíba em operação. Também foram simuladas condições com diferentes tempos de içamento do vão móvel da atual ponte e todas as configurações foram observadas para os períodos atual (ano 2017) e futuro (ano 2027). Os resultados obtidos com essas simulações permitiram analisar variáveis, como: tempo de viagem, atraso de viagem, velocidade média, volume médio, comprimento de fila e quantidade de paradas. Verificou-se que os atrasos de viagem enfrentados pelos usuários da rodovia devem-se exclusivamente ao içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba. Observou-se que com a implantação da nova ponte o tempo de viagem apresentou uma redução de até 78%, para içamentos com duração de 32 minutos. Também foi possível avaliar a redução no comprimento das filas em 83%, quando da implantação da segunda ponte, para o tempo de içamento de 17 minutos. As filas podem ser reduzidas a zero com a devida sinalização de rotas de acesso à nova ponte. Por fim, constata-se que a implantação da segunda ponte trará benefícios significativos aos usuários da via – moradores da Região Metropolitana, empresas de serviços e transporte de cargas – com a melhora na vazão de veículos no trecho da BR-116/290-RS e em seu entorno.

Palavras-chave: Ponte do Guaíba. Tempo de viagem. Comprimento de fila. Simulação de tráfego. Vão móvel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa	18
Figura 2 – Trecho da Travessia Régis Bittencourt com o projeto da segunda Ponte do Guaíba	21
Figura 3 – Perfis de distribuição do volume de veículos ao longo do dia na BR-290	26
Figura 4 – Gráfico do modelo de tendência de crescimento de demanda anual na BR-290	27
Figura 5 – Perfis de demanda utilizados como entrada para as simulações	29
Figura 6 – Cenários 1 e 2 modelados no software de simulação de tráfego VISSIM	31
Figura 7 – Cenários 3 e 4 modelados no software de simulação de tráfego VISSIM	32
Figura 8 – Localização dos contadores de volume de veículos e coletores de tempo de viagem no modelo	35
Figura 9 – Gráficos de volume e velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 1 de contadores	36
Figura 10 – Gráfico do perfil fluxo-velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017) , do conjunto 1 de contadores	38
Figura 11 – Gráficos de volume e velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017) , do conjunto 1 de contadores	39
Figura 12 – Gráfico do perfil fluxo-velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017) , do conjunto 1 de contadores	40
Figura 13 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, em 2017	42
Figura 14 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, em 2017	44
Figura 15 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	46
Figura 16 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	47
Figura 17 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	48
Figura 18 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	50

Figura 19 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	51
Figura 20 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	52
Figura 21 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	53
Figura 22 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	54
Figura 23 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017) do conjunto 2 de contadores	55
Figura 24 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	56
Figura 25 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	57
Figura 26 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores	58
Figura 27 – Gráficos do comprimento máximo de fila (em km), para o ano de 2017	60
Figura 28 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, em 2027	61
Figura 29 – Geometria do trecho da BR-116/290-RS, em Eldorado do Sul	63
Figura 30 – Condição do trecho que contém a curvatura horizontal com estreitamento de pista, no horário de pico da manhã, em 2027	63
Figura 31 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, em 2027	64
Figura 32 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	66
Figura 33 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	68
Figura 34 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	69

Figura 35 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	70
Figura 36 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	71
Figura 37 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	72
Figura 38 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	73
Figura 39 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	74
Figura 40 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027) do conjunto 2 de contadores	75
Figura 41 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027) do conjunto 2 de contadores	76
Figura 42 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores	77
Figura 43 – Gráficos do comprimento máximo de fila (em km), para o ano de 2027	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações sobre os contadores localizados no segmento de estudo, instalados na BR-290	25
Tabela 2 – Resumo de içamentos do vão móvel da atual Ponte do Guaíba ocorridos em 2016	28
Tabela 3 – Tempo de duração dos içamentos do vão móvel da atual Ponte do Guaíba em 2016	32
Tabela 4 – Condições simuladas no software	33
Tabela 5 – Valores da quantidade de paradas na rodovia e do comprimento de fila para o ano de 2017	59
Tabela 6 – Valores da quantidade de paradas na rodovia e do comprimento de fila para o ano de 2027	78
Tabela 7 – Resumo dos tempos de viagem dos dados simulados	82

LISTA DE SIGLAS

CONCEPA – Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FEE – Fundação de Economia e Estatística

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LASTRAN – Laboratório de Sistemas de Transportes

Mercosul – Mercado Comum do Sul

METROPLAN – Fundação Metropolitana de Planejamento

RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo principal	16
2.2.2 Objetivos secundários	16
2.3 PRESSUPOSTO	17
2.4 DELIMITAÇÕES	17
2.5 LIMITAÇÕES	17
2.6 DELINEAMENTO	17
3 A REGIÃO DE ESTUDO	19
3.1 A ATUAL PONTE DO GUAÍBA	20
3.2 A SEGUNDA PONTE DO GUAÍBA	20
4 CONCEITOS IMPORTANTES	22
4.1 CONGESTIONAMENTO	22
4.2 TEMPO DE VIAGEM	22
4.3 FILA	23
4.4 CAPACIDADE	23
4.5 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	24
5 METODOLOGIA	25
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	25
5.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÕES	28
5.2.1 Construção dos cenários modelados	29
5.2.2 Calibração do software VISSIM	34
5.2.3 Método de simulação dos cenários	34
6 RESULTADOS	36
6.1 PERÍODO ATUAL (ANO 2017)	41
6.1.1 Tempo de viagem	41
6.1.1.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul	42
6.1.1.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre	43
6.1.2 Volume e velocidade	45
6.1.2.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul	45
6.1.2.1.1 <i>Tempo de içamento mínimo (5 minutos)</i>	45

6.1.2.1.2 <i>Tempo de içamento médio (17 minutos)</i>	48
6.1.2.1.3 <i>Tempo de içamento máximo (32 minutos)</i>	50
6.1.2.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre	53
6.1.2.2.1 <i>Tempo de içamento mínimo (5 minutos)</i>	53
6.1.2.2.2 <i>Tempo de içamento médio (17 minutos)</i>	55
6.1.2.2.3 <i>Tempo de içamento máximo (32 minutos)</i>	56
6.1.3 Filas e paradas	58
6.2 PERÍODO FUTURO (ANO 2027)	61
6.2.1 Tempo de viagem	61
6.2.1.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul	61
6.2.1.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre	64
6.2.2 Volume e velocidade	66
6.2.2.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul	66
6.2.2.1.1 <i>Tempo de içamento mínimo (5 minutos)</i>	66
6.2.2.1.2 <i>Tempo de içamento médio (17 minutos)</i>	68
6.2.2.1.3 <i>Tempo de içamento máximo (32 minutos)</i>	71
6.2.2.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre	73
6.2.2.2.1 <i>Tempo de içamento mínimo (5 minutos)</i>	73
6.2.2.2.2 <i>Tempo de içamento médio (17 minutos)</i>	75
6.2.2.2.3 <i>Tempo de içamento máximo (32 minutos)</i>	77
6.2.3 Filas e paradas	78
6.3 DISCUSSÃO	80
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A ponte do Guaíba integra o trecho da rodovia BR-116/290 e se localiza em um ponto estratégico do estado do Rio Grande do Sul, por estar inserida na Região Metropolitana de Porto Alegre. A região apresenta alta concentração populacional e grande desenvolvimento econômico, seja pela intensa atividade industrial nesse núcleo ou pelo amplo e diversificado setor de serviços da região. Além disso, sua localização é considerada privilegiada por conectar os principais eixos de rodovias federais que cortam o estado.

O eixo norte-sul, composto pela BR-116, liga o sul do estado, que desempenha importante atividade portuária, a todo país. Já o eixo leste-oeste, da BR-290, faz conexão entre litoral e capital (também conhecida como Free Way), em torno do qual se instalaram importantes polos industriais; e, mais a oeste, comunica a região de significativas atividades agropecuárias com as demais rodovias do estado. Mais recentemente, a implantação da BR-448 (Rodovia do Parque) possibilitou uma melhora no fluxo de veículos da BR-116, entre as cidades da Região Metropolitana e nas viagens entre interior e capital.

Essas vias federais ramificam-se em outras rodovias estaduais e federais (como a BR-386, “Estrada da Produção”), que conectam pontos mais distantes do estado, e se constituem importantes rotas para o comércio nacional e internacional. Logo, o transporte de cargas na Ponte do Guaíba e nas vias de acesso a ela é tão importante quanto o deslocamento de pessoas.

Atualmente trafegam pela Ponte do Guaíba cerca de 54 mil veículos por dia, nos dias úteis. Enquanto nos finais de semana o volume diário de veículos que circulam sobre a mesma atinge pouco mais de 43 mil, em média. Deste volume, aproximadamente 15,5% é composto por veículos pesados – constatando, dessa forma, que o tráfego de veículos de carga é representativo na rodovia.¹

O modal hidroviário também é significativo para o transporte na região. O Lago Guaíba conecta-se a rios menores que auxiliam no desenvolvimento de pequenas e médias cidades

¹ Dados obtidos de contagens volumétricas de veículos na rodovia BR-290, a partir de contadores instalados na via, pelo levantamento de dados contidos no banco de dados da Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A (CONCEPA), do ano de 2016.

gaúchas. Pela Lagoa dos Patos, liga-se ao Oceano Atlântico, ao Porto de Rio Grande e ao III Polo Petroquímico, por onde trafegam navios de carga. Assim, o Lago Guaíba é uma importante rota de comércio interior e exterior.

A pequena altura útil da atual Ponte do Guaíba provoca um conflito entre o tráfego hidroviário e o rodoviário, resolvido pelo içamento do vão móvel. O içamento geralmente ocorre pelo menos uma vez ao dia e bloqueia a passagem de veículos sobre a ponte, acarretando atrasos nas viagens. A exemplo disso, dados revelam que somente no ano de 2016 ocorreram 434 içamentos do vão móvel e a ponte ficou fechada ao tráfego por um período total de mais de 5 dias.²

Diante desse contexto, faz-se indispensável a implantação de uma nova ponte, em que o tráfego na hidrovía não seja conflitante com a circulação de veículos rodoviários. Nesse sentido, este trabalho tem o intuito de analisar os benefícios ao transporte rodoviário com a implantação da segunda Ponte do Guaíba. Para tanto, buscou-se realizar um estudo comparativo entre as condições atuais de tráfego e as condições futuras, com a nova ponte. Com isso, foram avaliados os tempos de viagem, o comprimento de fila de veículos e as relações fluxo-velocidade através de simulações de tráfego, com o auxílio do software VISSIM.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo contém a apresentação, contextualização e justificativa do tema. O segundo apresenta as diretrizes da pesquisa. No terceiro capítulo faz-se a fundamentação teórica da região de estudo e das Pontes do Guaíba. No capítulo 4 são definidos conceitos relevantes para o trabalho. O quinto capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo e o sexto, os resultados obtidos com as simulações de tráfego. Por fim, no capítulo 7 são expostas as considerações finais da pesquisa.

² Dados obtidos a partir de documento interno da Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A (CONCEPA), que foi disponibilizado à autora, através de planilha contendo o quadro de içamento da Ponte do Guaíba, do ano de 2016.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes do presente trabalho estão divididas em: questão, objetivos principal e secundários, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento, os quais são apresentados nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DA PESQUISA

A questão da pesquisa é: quais serão os benefícios para os veículos do modal rodoviário com a implantação da segunda Ponte do Guaíba, especialmente em se tratando da redução do tempo de viagem?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Nas subdivisões abaixo é descrito o que se pretende alcançar com o desenvolvimento deste estudo.

2.2.1 Objetivo principal

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os benefícios da implantação da segunda Ponte do Guaíba, na qual não haverá interrupção do tráfego de veículos. Outro objetivo do trabalho é a análise quantitativa dos tempos de viagem do transporte rodoviário através de simulações de tráfego do segmento em estudo, com o auxílio do software VISSIM.

2.2.2 Objetivos secundários

Além dos objetivos acima citados, têm-se como objetivos secundários da pesquisa:

- a) verificar a redução do comprimento de fila e da quantidade de paradas, após a implantação da nova Ponte do Guaíba, medidos nas simulações de tráfego;
- b) analisar o aumento da velocidade operacional da via com a implantação da segunda Ponte do Guaíba, através de simulações de tráfego;

- c) observar a relação fluxo-velocidade da rede em estudo, antes e após a implantação da nova Ponte do Guaíba, com o auxílio de simulações de tráfego.

2.3 PRESSUPOSTO

Pressupõe-se que a região de estudo modelada no software VISSIM representa a realidade do tráfego local. A via foi calibrada para o comportamento dos motoristas e foram utilizados dados reais do trecho para as simulações. Além disso, as configurações dos diferentes cenários basearam-se na geometria da atual Ponte do Guaíba e no projeto geométrico da segunda ponte.

2.4 DELIMITAÇÕES

Este trabalho limita-se a tratar de cenários que representam as condições do trecho em dias úteis, no período de pico da manhã. Isto se deve ao fato de que o volume de tráfego de veículos é cerca de 20% maior durante a semana, se comparado aos finais de semana. Também devido ao pico de volume ser maior de manhã.

2.5 LIMITAÇÕES

Foi necessário inferir algumas hipóteses para a realização das simulações de tráfego, pois não se teve acesso a dados de pesquisa origem-destino da área de estudo. Tais circunstâncias foram atribuídas através da análise de dados coletados dos contadores automáticos instalados nos acessos e sobre a atual ponte, disponibilizados pela CONCEPA.³

2.6 DELINEAMENTO

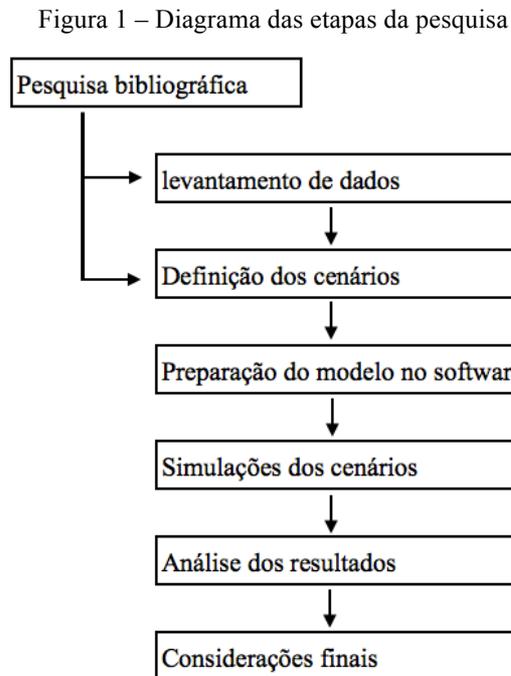
O desenvolvimento do trabalho baseou-se nas etapas indicadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) levantamento de dados;
- c) definição dos cenários;
- d) preparação do modelo no software;
- e) simulações dos cenários;

³ A Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre (CONCEPA), empresa que administra a Atual Ponte do Guaíba, disponibilizou à autora acesso a seu banco de dados para o desenvolvimento deste trabalho.

- f) análise dos resultados;
- g) considerações finais.

A Figura 1 apresenta um esquema de como essas etapas se relacionaram ao longo do estudo.



(fonte: elaborado pela autora)

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre a Região Metropolitana de Porto Alegre e as Pontes do Guaíba, a fim de contextualizar o assunto e justificar a importância do estudo de caso. Foram definidos conceitos importantes, como: congestionamento, tempo de viagem, fila, capacidade e simulação de tráfego.

Após, foi apresentada a metodologia utilizada para o levantamento de dados, definição dos cenários e construção do modelo no software. Os dados de volumes de tráfego e do içamento do vão móvel da ponte foram fornecidos pela CONCEPA (concessionária que administra e opera a BR-290/RS). O banco de dados foi tratado para introduzi-lo no modelo de simulação.

Foram realizadas simulações para cenários distintos: (i) da condição presente de tráfego, com a atual Ponte do Guaíba operando ou no momento do içamento do vão móvel; e (ii) do período futuro, com as duas pontes em operação, ou com a atual ponte obstruída.

As últimas etapas do estudo consistiram na análise dos resultados obtidos com as simulações e na conclusão do trabalho.

3 A REGIÃO DE ESTUDO

A Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) é a área mais densamente povoada do Rio Grande do Sul, composta por 34 municípios, incluindo a capital do estado. Dados do Censo demográfico de 2010, quando a RMPA era formada por 31 municípios, revelam que ela continha cerca de 4 milhões de habitantes e densidade demográfica de 400 habitantes por km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Conforme estimativa do Censo, a região alcança 38% da população do estado, com os 34 municípios.

Essa região é um polo de desenvolvimento e de geração de viagens no estado. Representa ser “a capital econômica, financeira, cultural, política e administrativa do Estado; [e o] ponto de confluência do sistema de transporte rodo, ferro, hidro e aeroviário.” (FUNDAÇÃO METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO; FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 1988, p. 39). Apesar de se utilizar diversos modais de transporte, na RMPA predomina-se o rodoviário, embora este seja o que mais perturbe a circulação geral de veículos.

A economia destaca-se nos setores secundário e, em maior grau, terciário. O primeiro por conter um diversificado parque industrial, fortemente desenvolvido no eixo leste-oeste da RMPA. E o último pela completa estrutura das atividades de comércio e serviços, na qual há grande circulação de produtos e transporte (ALONSO *et al.*, 2009, p. 70-100).

A distribuição de funções entre cidades somada às aglomerações urbanas da região impulsiona movimentos pendulares, isto é, o deslocamento diário de pessoas entre trabalho e moradia (ALONSO *et al.*, 2009, p. 113-141). A RMPA concentra o transporte de cargas nas principais rodovias do estado. A BR-116/290 é parte do corredor viário para o transporte internacional e nacional de cargas destinadas ao Porto de Rio Grande, ao Brasil e aos países do Mercosul.

Atualmente a Ponte do Guaíba é o gargalo principal do trecho, devido à necessidade de içar o vão móvel para a passagem de navios pelo Lago Guaíba. Dessa forma, a rodovia fica obstruída, inclusive quando apresenta volume de tráfego elevado. A solução encontrada foi a implantação de uma segunda ponte (atualmente em construção), com maior altura útil. Isto permite o fluxo contínuo de veículos sobre a mesma, reduzindo filas e tempos de viagem. Nos próximos itens faz-se a descrição das duas Pontes do Guaíba.

3.1 A ATUAL PONTE DO GUAÍBA

A Ponte do Guaíba, ou Travessia Getúlio Vargas, é uma das quatro pontes que compõem a Travessia Régis Bittencourt sobre o Lago Guaíba, entre Porto Alegre e Eldorado do Sul. Teve sua construção iniciada em 20 de outubro de 1955 e foi inaugurada em 28 de dezembro de 1958 (CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA OSÓRIO-PORTO ALEGRE S/A).

A ponte é composta por pista dupla, em estrutura de concreto protendido, com 1,1 quilômetro de extensão e altura útil de 10 metros. Apresenta um vão móvel que se eleva por mais 23,5 metros, mede 58 metros de comprimento e pesa 400 toneladas. (CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA OSÓRIO-PORTO ALEGRE S/A; SPECHT *et al.*, 2012, p. 25).

Até a década de 1950, o deslocamento de pessoas entre as margens opostas do Guaíba era feito por meio de barcas do DAER. Após a construção da ponte, o transporte de cargas e de passageiros foi facilitado e o tempo de viagem, reduzido (CONCESSIONÁRIA DA RODOVIA OSÓRIO-PORTO ALEGRE S/A). Atualmente circulam sobre a ponte cerca de 54 mil veículos, por dia útil. Desse total, mais de 8 mil são veículos pesados.⁴

O içamento do vão móvel é programado conforme o horário de passagem de grandes embarcações pelo Lago Guaíba. Os usuários da via podem acompanhar a previsão de içamento pelo *site* ou aplicativo da CONCEPA, concessionária que opera o trecho. Esta operação bloqueia a passagem de veículos sobre a ponte, que é o principal corredor de transporte de cargas no estado.

3.2 A SEGUNDA PONTE DO GUAÍBA

A segunda Ponte do Guaíba, ou Ponte de Transposição sobre o Delta do Rio Jacuí, é o novo trecho de rodovia entre Porto Alegre e Eldorado do Sul. Iniciada em outubro de 2014, atualmente está em fase de construção, com previsão inicial de entrega para outubro de 2017. A execução do empreendimento é de responsabilidade das empresas Construtora Queiroz Galvão S/A, majoritariamente, e EGT ENGENHARIA LTDA.

⁴ Dado obtido da contagem volumétrica de veículos na Rodovia BR-290, a partir de contadores instalados na via, pelo levantamento de dados contidos no banco de dados da Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A (CONCEPA), no período do ano de 2016.

O projeto da nova ponte prevê pista dupla, com acostamento e refúgio central. Tem 7,3 quilômetros de comprimento em obras de arte especiais e 5 quilômetros de trechos em aterro, e vãos de 160 metros. A vantagem da ponte é a altura útil de 36 metros, na qual não ocorre o conflito entre os modais hidroviário e rodoviário (CONSÓRCIO PONTE DO GUAÍBA; DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2013).

Com a inauguração da segunda ponte, a atual seguirá em operação, já que o projeto busca suprir a demanda pela travessia, quando esta se encontra obstruída. Isto significa dizer que haverá um aumento significativo na vazão de veículos nesse trecho, reduzindo o tempo de viagem na rodovia e incrementando a circulação de pessoas e mercadorias.

A Figura 2 apresenta a configuração da Travessia Régis Bittencourt com a implantação da nova Ponte do Guaíba, interligada às demais rodovias existentes, com destaque às mais importantes.

Figura 2 – Trecho da Travessia Régis Bittencourt com o projeto da segunda Ponte do Guaíba



(fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2015)

Na imagem é possível ver o traçado da segunda Ponte do Guaíba como rota alternativa à atual ponte, quando esta estiver obstruída em razão do içamento do vão móvel. O acesso às cidades à oeste da RMPA ficará garantido pela nova via, sem necessidade de espera.

4 CONCEITOS IMPORTANTES

A seguir são definidos conceitos relevantes para o estudo, a fim de delimitar seu significado. São eles: congestionamento, tempo de viagem, fila, capacidade e simulação de tráfego.

4.1 CONGESTIONAMENTO

Congestionamento ocorre quando a demanda por espaço na via é maior do que a oferta. Sob outro ponto de vista, é o impedimento de trafegar na via, que um veículo impõe ao outro, quando esta se aproxima da capacidade. Ou, ainda, é um fenômeno relativo, que depende da diferença entre o que os usuários esperam do desempenho da via e de como o sistema se comporta na realidade (EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT, 2007, p. 28-29).

O Departamento de Transportes dos Estados Unidos explica que esse é o tipo de congestionamento que ocorre diariamente nas grandes cidades. Mas existe outro tipo de congestionamento que diminui drasticamente a capacidade disponível do sistema viário. Este é causado por interrupções temporárias que reduzem o espaço da via, devido a acidentes, obras na pista e condições atmosféricas (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2017).

Além do desequilíbrio entre oferta e demanda, a American Association of State Highway and Transportation Officials (2010) destaca outros fatores que determinam a ocorrência do congestionamento, como: (i) deficiência do transporte coletivo e (ii) alterações repentinas no tráfego de veículos (por exemplo, uma mudança de sentido das vias sem a devida sinalização).

Congestionamentos acarretam prejuízos ambientais e à saúde humana. Provocam alterações de rotas e nos horários de viagens, aumentam o consumo de combustível, emissão de poluentes e custos de transporte. Para mitigar seus efeitos, a Federal Highway Administration (2017) recomenda combinar projetos de construção, manutenção e uma boa operação do sistema viário.

4.2 TEMPO DE VIAGEM

Ortúzar e Willumzen (2011) definem tempo de viagem como o tempo que o usuário do sistema de transportes leva para se deslocar entre dois pontos distintos do espaço. O software de

simulação de tráfego VISSIM (PTV, 2016) utiliza esse conceito para medir o tempo de viagem de veículos no simulador. O cálculo consiste em obter os tempos quando o veículo passa por duas seções de medição. O atraso de viagem é a diferença entre o tempo que o veículo deveria chegar na última seção (estimada pelo simulador) e o tempo que ele de fato cumpriu a trajetória.

A confiabilidade no tempo de viagem está fortemente associada a este conceito – e significa saber exatamente o tempo que se leva para cumprir a trajetória entre dois pontos da rede. Entretanto, os tempos de viagem dos veículos não são constantes. A variabilidade deve-se a mudanças que ocorrem na via, como: acidentes, obras na pista e condições meteorológicas (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF THE NATIONAL ACADEMIES; FUTURE STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2003, p. 3, 7-8).

4.3 FILA

Lovelock e Wright (2001) apresentam o conceito de fila como a representação de uma linha de pessoas, veículos e objetos físicos e intangíveis (serviços) que aguardam atendimento. Para os autores, o processo de formação de filas ocorre quando a busca por atendimento excede a capacidade do sistema. O sistema de filas consiste na chegada de clientes, que esperam pelo serviço (se não atendidos imediatamente), formando fila, e saem do sistema após atendimento.

A Teoria das Filas (de Agner K. Erlang, 1909) busca encontrar o equilíbrio entre a satisfação do cliente e o que é viável economicamente para o provedor do serviço (PRADO, 2009). A experiência de esperar em uma fila é influenciada pelo ambiente no qual ela está inserida e no tempo de espera pelo atendimento. Isto é, a satisfação do cliente é igual a sua percepção sobre o sistema e sua expectativa quanto ao atendimento.

Neste sentido, Schmenner (1999) comenta que existem formas para resolver o problema de formação de filas, como: aumentar a capacidade do sistema, investir em controle estatístico de qualidade e adotar medidas que busquem reduzir as variâncias do serviço.

4.4 CAPACIDADE

Conforme definida no Highway capacity manual, a capacidade de uma via é o máximo de fluxo de veículos que ela pode acomodar. Isso corresponde a sua oferta máxima, que depende de

características geométricas da rodovia e da corrente de tráfego (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2010).

A Transportation Research Board (2010) ressalta, em seu manual de capacidade, que as condições de uma via operando próximo à capacidade (ou no limite dela) são precárias, uma vez que o grande volume de tráfego de veículos na via provoca diminuição da velocidade e dificuldade na troca de faixas, além de exigir maior concentração dos motoristas.

A avaliação da qualidade da operação numa via em um dado período é feita utilizando conceitos de nível de serviço e volume de serviço (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2010). O nível de serviço é medido principalmente pela velocidade operacional da rodovia para o fluxo livre e o atraso nas viagens quando o fluxo se encontra interrompido. Dessa forma, a capacidade da via pode ser avaliada por um perfil fluxo-velocidade.

4.5 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Portugal (2005, p. 25) interpreta o termo “simulação” como a ação de imitar uma situação real, através do uso de modelos. Fu (2001 *apud* PORTUGAL, 2005, p.25) aponta que a simulação tem o intuito de representar o comportamento e as interações dos componentes de um sistema, a fim de se obter uma avaliação inicial do desempenho do conjunto.

Poyares e TRB (2000 *apud* PORTUGAL, 2005, p. 6) definem simulação como o método de reproduzir eventos hipotéticos do sistema estudado com o decorrer do tempo, em um computador. Por serem aleatórios e, dessa forma, incorporarem a variabilidade da demanda com o passar do tempo, são considerados mais fiéis à realidade. No caso da simulação de tráfego, existem três tipos de abordagem:

- a) macroscópica: interpreta o fluxo de veículos como um fluido, desprezando a individualidade dos mesmos;
- b) mesoscópica: os veículos são agrupados em pelotões, como se tivessem iguais tamanho, localização, velocidade e aceleração;
- c) e microscópica: trata os veículos de forma individual, detalhadamente.

5 METODOLOGIA

A análise do trecho em estudo foi feita por meio de simulações de tráfego da rede viária, utilizando-se o software VISSIM. Este permitiu a avaliação quantitativa das variáveis: tempo de viagem, atraso de viagem, comprimento de fila, velocidade, volume e quantidade de paradas.

Para este trabalho fez-se a modelagem da via considerando diferentes condições de tráfego. Alguns cenários trataram apenas da atual Ponte do Guaíba, enquanto outros cenários contemplaram também a segunda Ponte do Guaíba. Foram simuladas configurações sem e com içamento do vão móvel, observadas para os períodos atual (ano 2017) e futuro (ano 2027).

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados utilizados no modelo em estudo foram extraídos do banco de dados fornecido pela CONCEPA, através de contadores automáticos instalados na via. Nele constam informações a respeito dos veículos que trafegam na BR-290, tratadas para serem inseridas na simulação.

Os contadores utilizados na pesquisa se localizam sobre a BR-290. No km 98, sobre a ponte, nos dois sentidos de tráfego; nos km 95 e 96, no acesso à ponte, sentido interior-capital; e no Km 94, na entrada da BR-448, sentido capital-interior. A Tabela 1 apresenta as informações.

Tabela 1 – Informações sobre os contadores localizados no segmento de estudo, instalados na BR-290

Localização	Sentido	Volume diário médio (nº veículos/dia)	Período
Km 94	Sul (capital-interior)	64,5 mil (dias úteis)	2013 a 2017
Km 95	Norte (interior-capital)	55 mil (dias úteis)	2013 a 2016
Km 96	Norte (interior-capital)	70 mil (dias úteis)	2013 a 2017
Km 98	Norte (POA-Eldorado)	26,7 mil (dias úteis)	2016 a 2017
	Sul (Eldorado-POA)	27,3 mil (dias úteis)	2016 a 2017

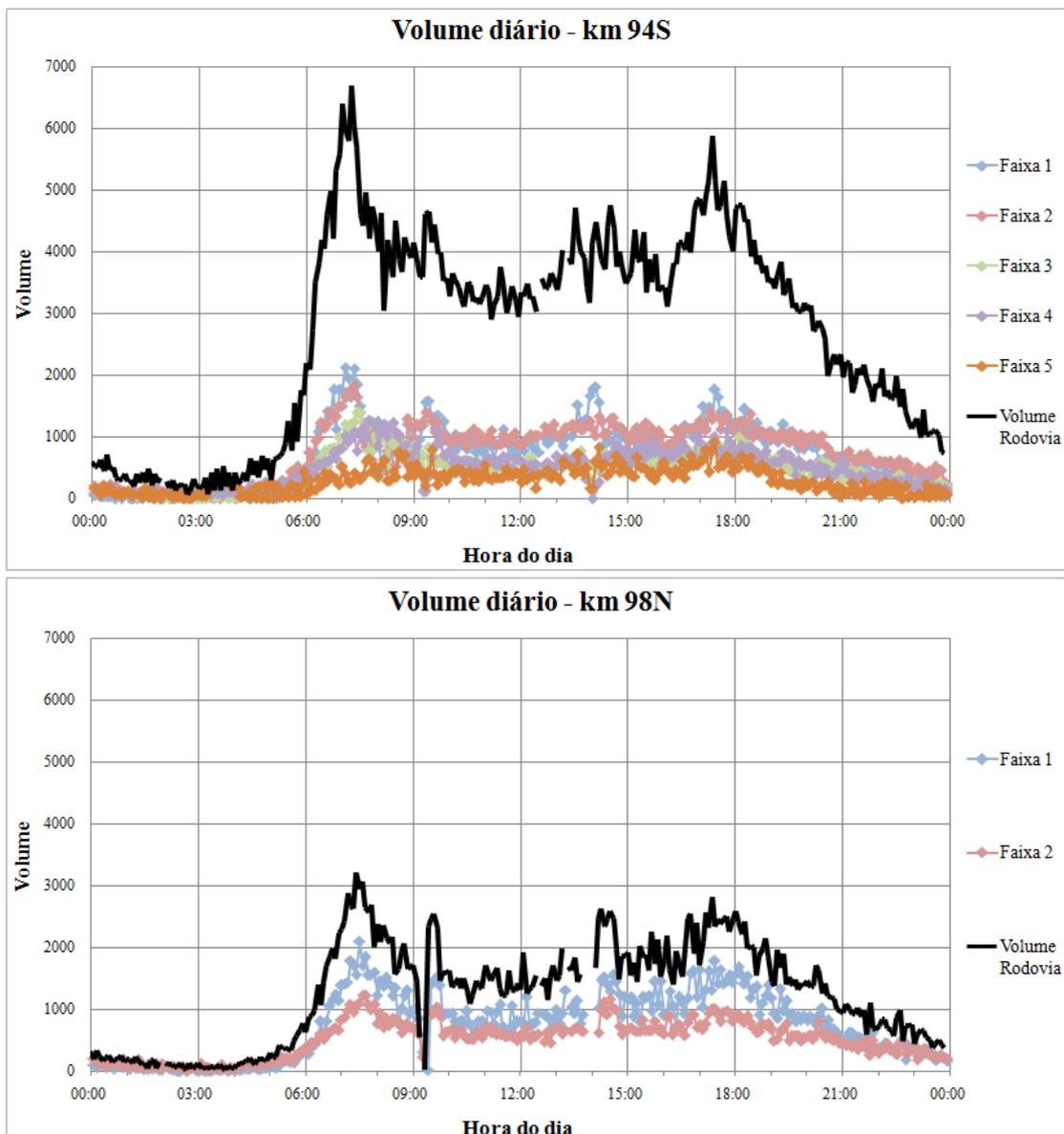
(fonte: elaborado pela autora)

O banco de dados disponível contém informações da BR-290 coletadas desde o ano de 2007, porém foram utilizados dados dos últimos quatro anos. O levantamento de dados permitiu

realizar a contagem volumétrica de veículos e estimar a composição do tráfego e sua distribuição na rede.

O volume de tráfego de um dia típico pode ser caracterizado por um perfil de distribuição do volume de veículos ao longo do dia. A Figura 3 apresenta os perfis de volume diário verificados nos quilômetros 94S e 98N, detectados no dia 16 de setembro de 2016, na BR-290. Os perfis de volume para os km 95N e km 96N são semelhantes ao km 94S; e o km 98S, ao km 98N.

Figura 3 – Perfis de distribuição do volume de veículos ao longo do dia na BR-290



(fonte: elaborado pela autora)

Os perfis de demanda apresentam dois picos definidos: de manhã e no fim da tarde. No km 98, ocorre uma queda no volume de veículos após às 9 horas, explicada pelo içamento do vão móvel

da ponte. O perfil de volume é menor do que o observado nos demais quilômetros, pois apresenta um trecho composto por duas faixas, enquanto o restante tem cinco faixas.

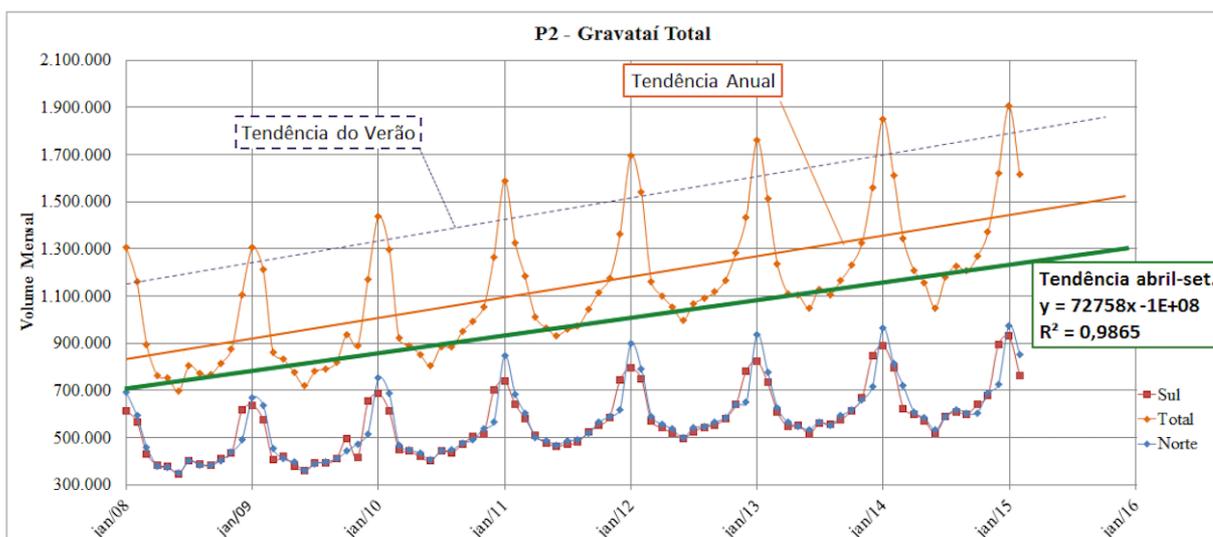
Os dados destes contadores foram utilizados para estimar o volume de tráfego atual, introduzido nas simulações. Para previsões futuras, determinou-se o volume de tráfego com base no modelo de tendência de crescimento de demanda, obtido da série histórica de dados da BR-290 (entre outubro de 1997 e março de 2015), através de regressão linear.

Foi tomada a projeção do aumento de demanda construída a partir de dados de volume de tráfego mensal coletados na Praça de Pedágio de Gravataí. A taxa de crescimento anual foi estimada em 12% ao ano, semelhante àquela observada na Praça de Pedágio Santo Antônio da Patrulha. Admite-se que ao longo deste trecho da BR-290 ocorre a mesma tendência de aumento de demanda (CYBIS; CALEFFI, 2016, p. 139-140).

Porém, essa tendência de crescimento sofre influência do período de verão, já que a demanda do litoral vem aumentando. Por isso, construiu-se um modelo de crescimento na mesma praça, apenas para os meses de abril a setembro, para representar o trecho da BR-290 até Guaíba. A taxa de crescimento obtida foi de 8% ao ano, que pode ser extrapolada para a região de estudo.

A Figura 4 apresenta o gráfico de tendência de crescimento de demanda anual (entre abril e setembro, em verde) para a BR-290, em particular da Praça de Pedágio de Gravataí.

Figura 4 – Gráfico do modelo de tendência de crescimento de demanda anual na BR-290



(fonte: CYBIS; CALEFFI, 2016, p.140)

O valor é semelhante à taxa apresentada pela empresa Engevix (responsável pelo anteprojeto da segunda Ponte do Guaíba), igual a 8,3%. Esta foi estimada através de estudos de tráfego na Ponte do Guaíba (em 2010) e de contagens realizadas no local, em 2013 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES; ENGEVIX, 2013, p.13).

Além disso, foram estabelecidos diferentes tempos de duração de içamento para a definição dos cenários. Utilizou-se como base o quadro de içamentos do vão móvel da atual Ponte do Guaíba, de 2016, disponibilizado pela CONCEPA. A Tabela 2 apresenta o resumo desse quadro.

Tabela 2 – Resumo de içamentos do vão móvel da atual Ponte do Guaíba ocorridos em 2016

Quantidade de içamentos por dia	Ocorrência (dias)	Porcentagem de dias por ano
1 içamento	145	39,7%
2 içamentos	100	27,3%
3 içamentos	27	7,4%
4 içamentos	2	0,6%
Dias com içamento	274	75%
Dias sem içamento	92	25%
Total de içamentos	434 içamentos	
Tempo total içado	5 dias = 124 horas = 7427 minutos	
Içamentos com mais de uma embarcação	48 içamentos	

(fonte: elaborado pela autora)

Na tabela, vê-se que durante o ano de 2016 ocorreram 434 içamentos, os quais correspondem a mais de 5 dias de bloqueio ao tráfego sobre a ponte. Ainda, observa-se que em 75% do ano houve pelo menos um içamento por dia, podendo ocorrer até 4 içamentos em um único dia.⁵

5.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

O VISSIM é um software alemão de microssimulação de tráfego, selecionado para a análise do tema proposto devido a sua capacidade de modelar diferentes cenários e usar uma função de distribuição estocástica de velocidades desejadas para cada tipo de veículo (PTV, 2016). Ainda, sua escolha foi fortemente determinada pelo fácil acesso ao software, já que o Laboratório de Sistemas de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul dispõe de sua licença.

⁵ Dados obtidos de documento interno da Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre S/A (CONCEPA), disponibilizado à autora, através de planilha contendo o quadro de içamento da Ponte do Guaíba, de 2016.

5.2.1 Construção dos cenários modelados

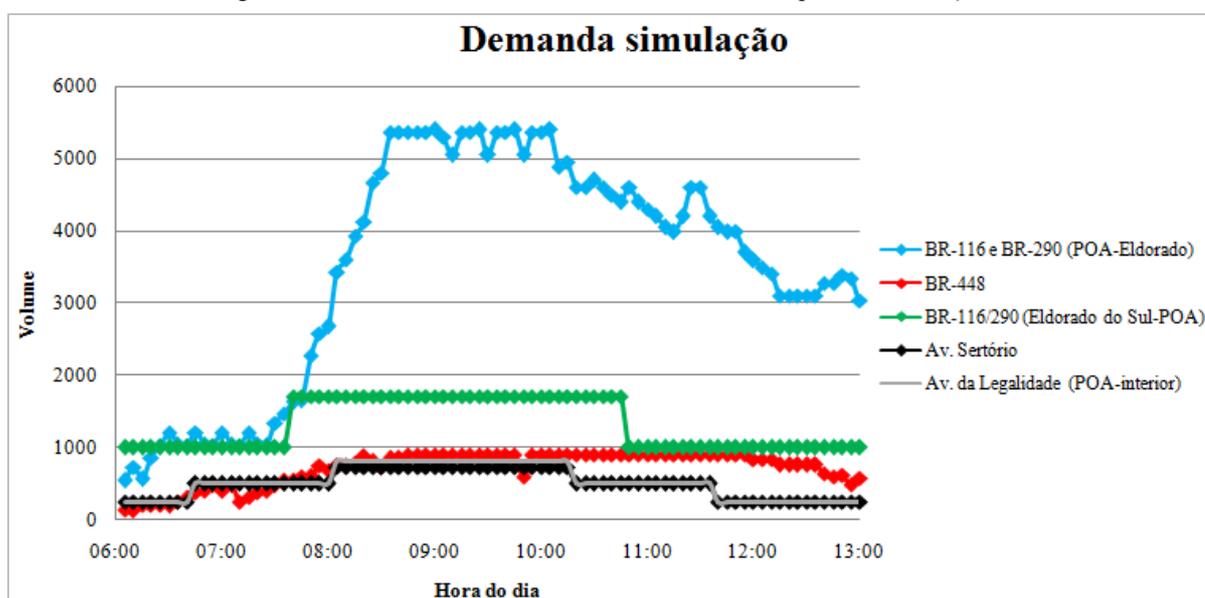
O modelo da rede viária foi construído para os dois sentidos da via, entre Porto Alegre e Eldorado do Sul. O levantamento da rede se deu através da análise do mapa da região de estudo e do projeto geométrico da segunda ponte (disponibilizado pela construtora Queiroz Galvão). Definiram-se limites onde as perturbações de tráfego não têm mais influência sobre a mesma.

A preparação do modelo no software consistiu na construção das vias, na análise de conflitos, na criação de áreas de redução de velocidade e de rotas, para determinar origem e destino. Com os parâmetros calibrados e os perfis de velocidade, inseriu-se o perfil de demanda nas vias. Para representar o içamento do vão móvel, foram instalados semáforos no local.

A rede compreende a BR-116/290-RS com início em Eldorado do Sul, incluindo a Travessia Régis Bittencurt, até sua bifurcação. Contempla a BR-290, até sua intersecção com a BR-116; a BR-448 (até sua intersecção com a BR-386); a avenida Sertório (até sua ligação com a avenida Assis Brasil); e a avenida da Legalidade e da Democracia (desde a rodoviária de Porto Alegre até a saída para a BR-448). O trecho completa-se com a segunda Ponte do Guaíba.

Para fins de simulação, a região de estudo contém 5 entradas de volume de tráfego. Uma em Eldorado do Sul (sentido Porto Alegre); duas oriundas de Porto Alegre, das avenidas Sertório e da Legalidade e da Democracia; outra pela BR-448; e a última na intersecção da BR-116 com a BR-290. Os perfis de demanda de entrada para as simulações são apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Perfis de demanda utilizados como entrada para as simulações



(fonte: elaborado pela autora)

Como não se teve acesso a dados de Pesquisa Origem-Destino, foram feitas inferências a respeito da rota adotada pelos usuários da via. Isto é, através da análise de dados dos contadores, foi possível determinar a percentagem de veículos que escolheriam os diferentes acessos como destino e de onde eles vieram.

O volume de tráfego que parte de Eldorado do Sul para a Ponte do Guaíba representa mais de 27 mil veículos por dia. Deste volume 33% dirige-se à avenida da Legalidade e da Democracia, 34% segue pela avenida Sertório e 33% se destina à BR-290, para o interior do estado.

Na BR-290, dos 55 mil veículos que circulam diariamente no sentido interior-capital, 18% entra na Ponte do Guaíba. O restante dos 27 mil veículos que passam sobre a ponte, no sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, provém das avenidas da Legalidade e da Democracia e Sertório.

A partir disso, foram construídas hipóteses para estimar as trajetórias dos motoristas, após a implantação da nova Ponte do Guaíba. São elas:

- a) os usuários que partem de Eldorado do Sul com destino às rodovias BR-290 e BR-448 passam a utilizar a nova ponte;
- b) motoristas com origem em Eldorado do Sul que visam chegar a Porto Alegre seguem usando a atual ponte;
- c) usuários oriundos das BR-290 e BR-448, que se destinam a Eldorado do Sul, utilizam a segunda ponte;
- d) motoristas que saem de Porto Alegre e se dirigem a Eldorado do Sul continuam a usar a atual ponte;
- e) todos os motoristas utilizam a nova ponte quando a atual se encontra bloqueada à circulação de veículos, exceto os que deixam Porto Alegre pela avenida Sertório, que devem aguardar a reabertura da ponte do vão móvel ao tráfego.

Para a última hipótese, foi mantida a condição dos usuários oriundos da avenida Sertório aguardando o fim do içamento do vão móvel, já que esta não tem uma saída direta para a nova ponte. Porém, espera-se que após a implantação da segunda ponte sejam sinalizadas as rotas disponíveis para acessá-la, para que os motoristas evitem ficarem parados sobre a atual ponte.

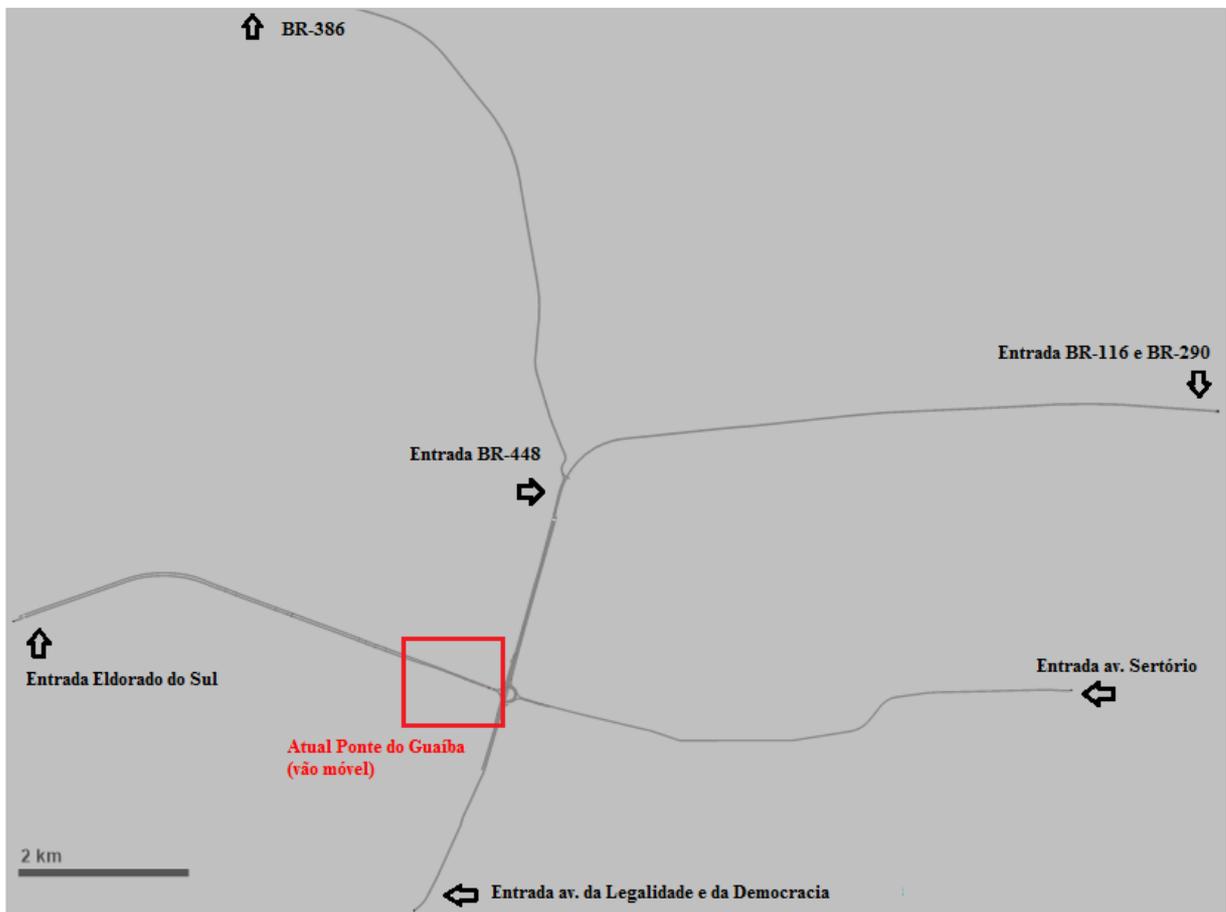
Para este trabalho fez-se a modelagem da via para quatro cenários principais distintos:

- a) cenário 1: representa o traçado atual do trecho em estudo, onde há somente a atual Ponte do Guaíba, no momento em que está aberta ao tráfego rodoviário;
- b) cenário 2: representa a condição presente da via, em que há apenas a atual Ponte do Guaíba, porém ela está obstruída, devido ao içamento do vão móvel;

- c) cenário 3: inclui a nova Ponte do Guaíba ao traçado original, quando as duas pontes estão operando;
- d) cenário 4: apresenta a atual ponte fechada ao tráfego, em razão do içamento, e a segunda Ponte do Guaíba operando.

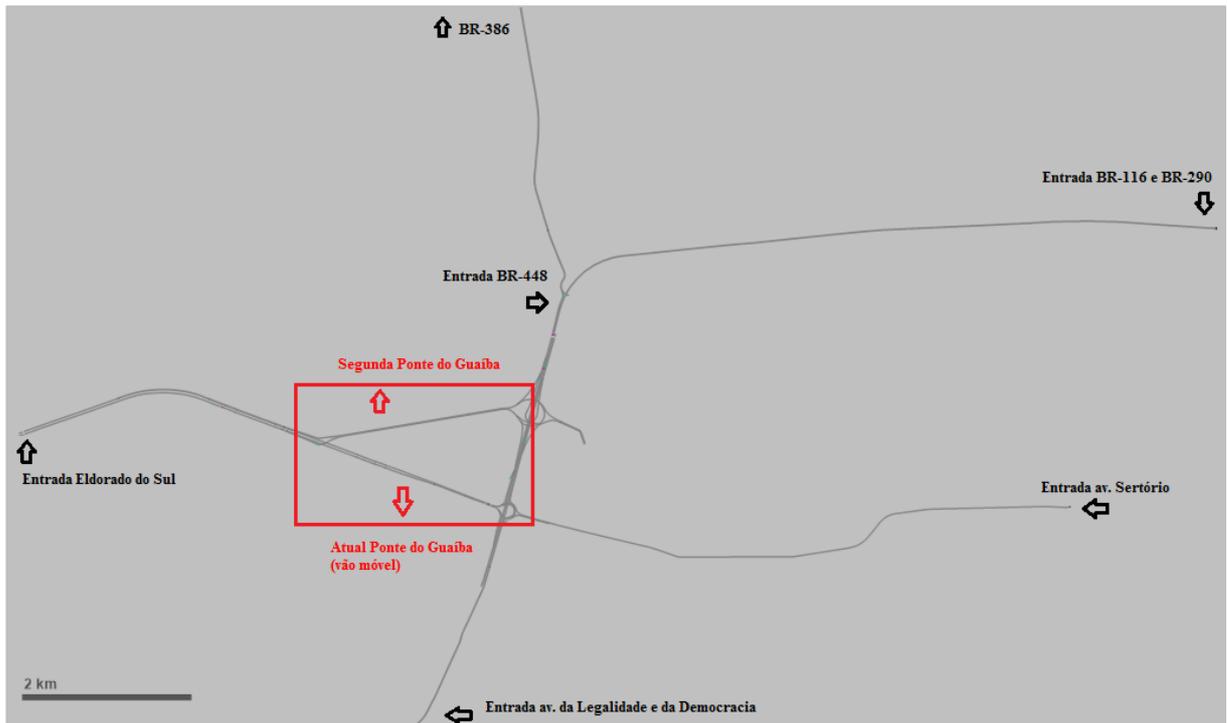
As Figuras 6 e 7 apresentam a configuração dos cenários com a condição atual e após a implantação da segunda Ponte do Guaíba. Também são indicadas as entradas para as simulações, bem como sua localização. A escala gráfica permite a observação do tamanho da rede viária em estudo, a qual compreende cerca de 36,5 quilômetros de extensão.

Figura 6 – Cenários 1 e 2 modelados no software de simulação de tráfego VISSIM



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 7 – Cenários 3 e 4 modelados no software de simulação de tráfego VISSIM



(fonte: elaborado pela autora)

Para os cenários 2 e 4, nos quais ocorre a obstrução da atual Ponte do Guaíba, foram analisadas diversas configurações, em razão da variabilidade do tempo de içamento do vão móvel. Para tanto, buscou-se englobar todas as condições prováveis, utilizando-se como base dados de içamentos do ano de 2016. As condições consideraram:

- a) tempo de içamento mínimo, igual a 5 minutos de duração;
- b) tempo de içamento médio, de 17 minutos de duração;
- c) tempo de içamento máximo, considerado 32 minutos para fins de simulações (na realidade igual a 77 minutos de duração).

A Tabela 3 apresenta o resumo dos dados retirados do quadro de içamentos fornecido pela CONCEPA, que ocorreram durante todo o ano de 2016.

Tabela 3 – Tempo de duração dos içamentos do vão móvel da atual Ponte do Guaíba em 2016

	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio padrão
Hora início	8h59min	16h50min		
Hora fim	09h06min	17h15min		
Tempo decorrido	5 minutos	77 minutos / 32 minutos	17 minutos	7,5 minutos

(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que os içamentos ocorreram entre 9 horas da manhã e 17 horas da tarde. O tempo mínimo de duração é igual a 5 minutos e o máximo, de 77 minutos. E o vão móvel da ponte ficou içado por cerca de 17 minutos, com desvio padrão de 7,5 minutos, em média.

Entretanto, não foi possível obter resultados satisfatórios com as simulações para o tempo máximo do içamento do vão móvel, igual a 77 minutos. Em razão das limitações do tamanho do trecho em estudo e dos dados de entrada coletados, não foi viável analisar os dados modelados e essa condição teve que ser descartada.

Então, recorreu-se à estatística, que diz: considerando uma distribuição normal de valores, a média mais ou menos duas vezes o desvio padrão representam mais de 95% dos resultados compreendidos. Dessa forma, optou-se por utilizar como tempo máximo de içamento a média mais duas vezes o desvio padrão, que resulta em 32 minutos. Na prática, mais de 98% dos eventos ocorridos em 2016 foram considerados. O tempo máximo de içamento também corresponde à condição de dois içamentos ocorridos na mesma manhã.

Estas configurações foram simuladas para os períodos atual (ano de 2017) e futuro, daqui a dez anos (ano de 2027). Admitindo-se que a entrega da nova ponte está prevista para o final de 2018, constatou-se que os resultados das simulações para os anos de 2017 e de 2018 foram equivalentes, já que apresentam valores semelhantes de demanda de entrada. Portanto, para os cenários com a nova ponte operando, essas configurações foram contempladas no período atual.

A partir dos quatro cenários, dos três diferentes tempos de içamento e considerando os períodos atual e futuro, foram representadas 16 diferentes condições. Estas são detalhadas na Tabela 4:

Tabela 4 – Condições simuladas no software

		Período atual (ano 2017)	Período futuro (ano 2027)	
Atual Ponte do Guaíba	Sem içamento	Condição 1	Condição 2	
	Com içamento	5 minutos	Condição 3	
		17 minutos	Condição 5	
		32 minutos	Condição 7	
Atual e nova Pontes do Guaíba	Sem içamento	Condição 9	Condição 10	
	Com içamento	5 minutos	Condição 11	
		17 minutos	Condição 13	
		32 minutos	Condição 15	
			Condição 4	Condição 6
			Condição 8	Condição 8
		Condição 12	Condição 14	
		Condição 16	Condição 16	

(fonte: elaborado pela autora)

5.2.2 Calibração do software VISSIM

O software permite a calibração de parâmetros como a agressividade na troca de faixas e, em especial, possui um algoritmo de comportamento de *car following* próprio para a modelagem do tráfego rodoviário, com diversas variáveis passíveis de edição. Estes devem ser calibrados para o trecho em estudo para que se tenha uma representação fiel da via modelada, especialmente quando esta contém um intenso fluxo de veículos (CYBIS *et al.*, 2013, p. 70).

O estudo de Caleffi e Cybis (2016, p.76) envolveu simulação de tráfego para a BR-290, no trecho entre Osório e Porto Alegre. O processo de calibração consistiu na alteração das distribuições de velocidade dos veículos e de sua potência para representar o comportamento dos motoristas brasileiros.

Os parâmetros troca de faixas e *car following* foram calibrados em duas etapas. A primeira consistiu na análise de sensibilidade, que definiu os parâmetros que causaram maiores impactos na rodovia e que, então, deveriam ser ajustados. A segunda compreendeu o processo de validação dos dados através de uma função objetivo, a qual determinou a porcentagem do erro relativo entre os dados modelados e coletados pelos contadores (CALEFFI *et al.*, 2016, p. 11).

Dessa forma, os valores dos parâmetros da calibração realizada por Caleffi foram empregados no VISSIM para este estudo. Para mais detalhes sobre o método de calibração, sugere-se consultar a publicação de Caleffi *et al.* (2016).

5.2.3 Método de simulação dos cenários

Cada condição foi simulada três vezes de forma randômica (sementes aleatórias), para representar a aleatoriedade dos acontecimentos que ocorrem na prática. A semente aleatória permite replicar a natureza estocástica do fluxo de tráfego e suas variações temporais, alterando o padrão de chegada de veículos (PTV, 2016). Isto resultou em um total de 48 simulações.

Cada simulação teve duração de 8 horas, com início às 6 horas da manhã e fim às 14 horas da tarde, abrangendo o período de pico da manhã. Nas simulações, o içamento teve início às 8h30min, pois a partir desse horário ocorre um aumento no volume de entrada de veículos.

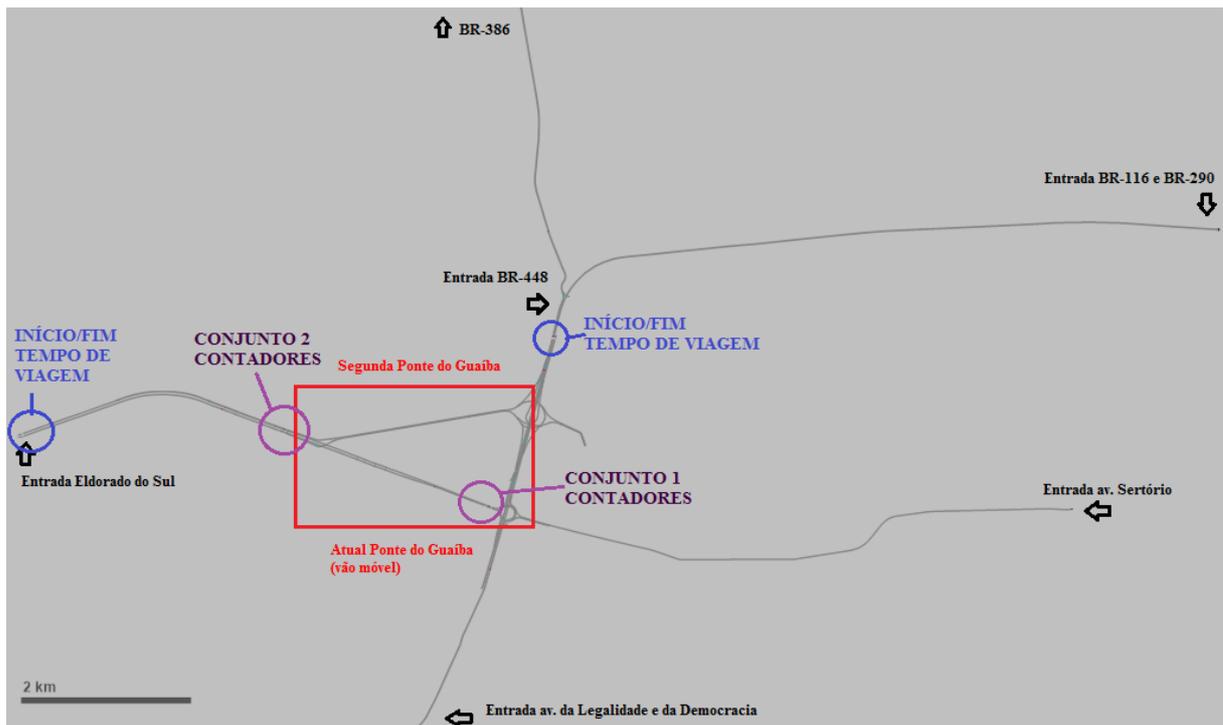
Foram inseridos contadores na via, a fim de se obter dados da contagem volumétrica de veículos e da sua velocidade, nos dois sentidos da via. O primeiro conjunto foi instalado sobre a Ponte

do Guaíba, próximo ao vão móvel e o segundo, implantado na Ilha Grande dos Marinheiros, onde ocorrerá a junção da segunda ponte com a atual, próximo a Eldorado do Sul. Instalaram-se coletores do tempo de viagem dos veículos, nos dois sentidos da via. O primeiro na saída da BR-448 até Eldorado do Sul e o segundo de Eldorado do Sul à entrada da Rodovia do Parque.

Também foram coletados dados de comprimento de fila e a quantidade de paradas. A definição de paradas no simulador corresponde a velocidade em que os veículos se encontra: para velocidades abaixo de 1 km/h o veículo entra em fila e para velocidades acima de 10 km/h o veículo sai da fila. Isto significa dizer que um mesmo veículo pode ter várias paradas.

Os conjuntos de contadores de volume de tráfego e os locais em que os coletores de tempo de viagem foram instalados são apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Localização dos contadores de volume de veículos e coletores de tempo de viagem no modelo



(fonte: elaborado pela autora)

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos com as simulações das 16 condições expostas anteriormente. Estes resultados desconsideraram o tempo de *warming up* (tempo necessário para os veículos se distribuírem dentro do modelo de simulação).

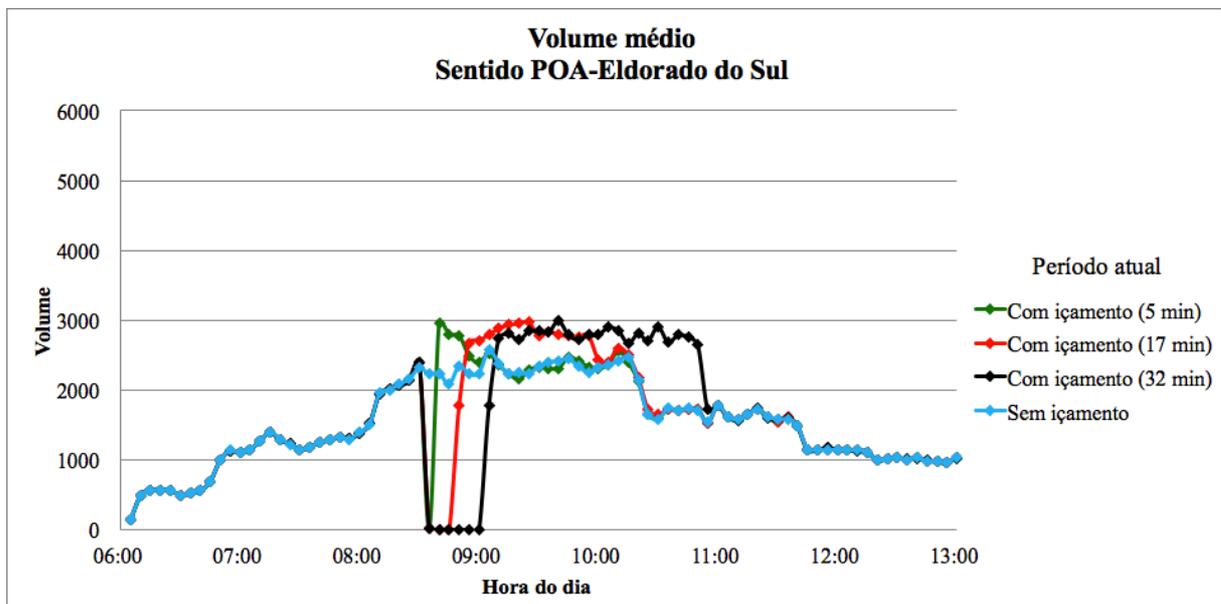
6 RESULTADOS

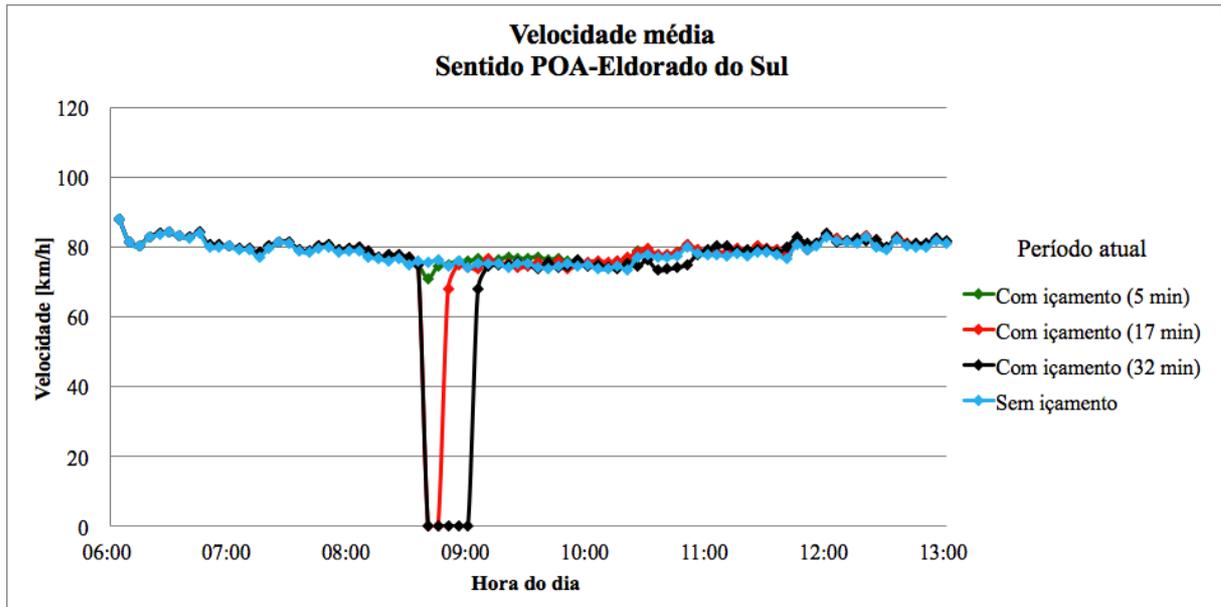
Como já mencionado, foram modeladas 16 condições no simulador, a partir de quatro cenários, de três tempos de duração de içamento, para os períodos atual e futuro. Cada condição foi simulada três vezes randomicamente, totalizando-se 48 simulações para este estudo. A nomenclatura dos resultados dos gráficos segue as configurações dos cenários já expostas:

- a) o cenário 1 representa a configuração presente da via, apenas com a atual Ponte do Guaíba em operação;
- b) o cenário 2 configura-se pela condição presente, com a atual ponte obstruída para diferentes tempos de içamento (mínimo, médio e máximo: 5, 17 e 32 minutos);
- c) o cenário 3 diz respeito a configuração da via com a atual Ponte do Guaíba operando paralelamente à segunda ponte;
- d) o cenário 4 representa a nova ponte em operação, enquanto a atual está bloqueada ao tráfego rodoviário, por diferentes tempos de içamento (5, 17 e 32 minutos);

A primeira análise refere-se à condição presente da região em estudo, para caracterizar o tráfego de veículos sobre a ponte hoje. Os dados foram retirados do conjunto 1 de contadores, instalados sobre a atual Ponte do Guaíba. As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados de volume e velocidade, para o sentido de tráfego de Porto Alegre a Eldorado do Sul.

Figura 9 – Gráficos de volume e velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 1 de contadores





(fonte: elaborado pela autora)

Os gráficos de volume e velocidade apresentam resultados complementares. Verifica-se que os perfis sofrem uma redução devido ao içamento do vão móvel da Ponte do Guaíba. O perfil de volume apresenta um grande salto logo após a reabertura da ponte ao tráfego, visto que os veículos ficam parados e o fluxo fica mais concentrado.

Para o tempo de içamento de 5 minutos, o volume atinge um pico próximo a 3 mil veículos por hora. Para a duração do içamento igual a 17 minutos, o pico ocorre quase 10 minutos depois e alcança 2900 veículos por hora. E para o tempo máximo de içamento (32 minutos) o volume máximo que se verifica é de 2700 veículos por hora, 25 minutos após o fechamento da ponte.

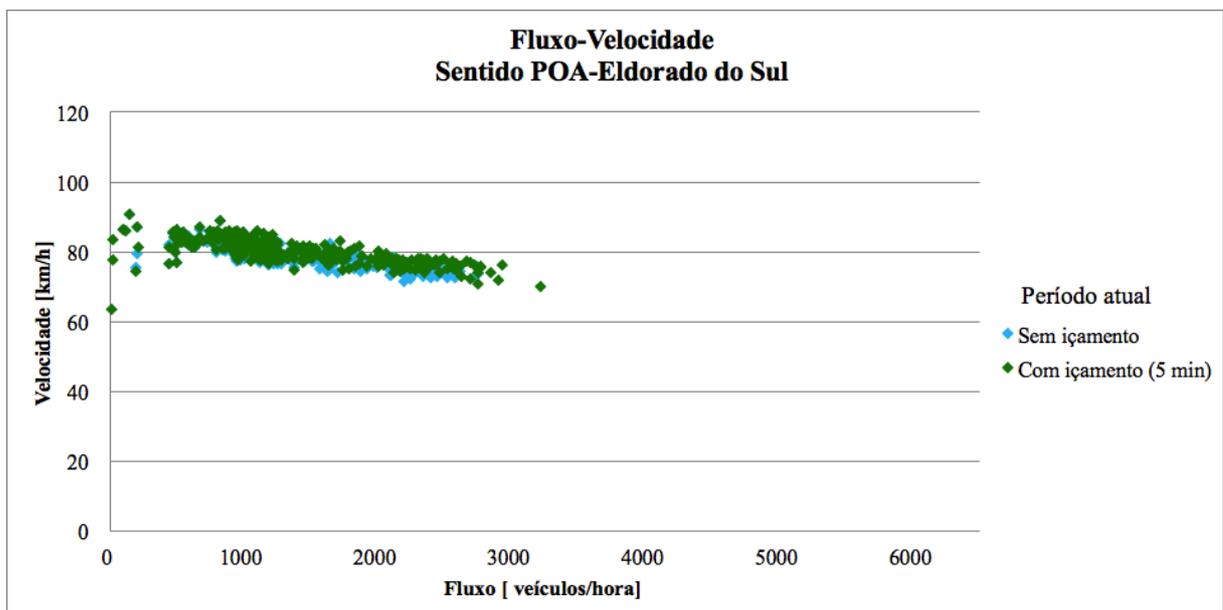
Vê-se que quanto maior o período em que a ponte se mantém obstruída, leva-se mais tempo para o fluxo normalizar-se. Para o tempo de içamento mínimo, o perfil de volume mantém-se elevado por 20 minutos, após a reabertura da ponte ao tráfego. Para o tempo médio são 70 minutos. E para a duração máxima o volume segue acima do normal por quase duas horas.

O gráfico a respeito da velocidade na via apresenta resultados praticamente constantes durante toda a manhã, com uma velocidade média de 80 km/h, quando não ocorre içamento. A velocidade apresenta uma pequena variação, de 73 km/h a 88 km/h. Também se vê que para o tempo de içamento mínimo (duração de 5 minutos) há uma pequena queda na velocidade, para 71 km/h, mas em geral apresenta o mesmo comportamento do que a condição sem içamento.

Já para os demais tempos de içamento, observa-se uma maior queda de velocidade. Quando a via fica obstruída por 17 minutos, a velocidade baixa por 5 minutos; e, para um içamento de 32 minutos, a queda dura 20 minutos. No entanto, essas velocidades são recuperadas assim que a ocorre a reabertura ao tráfego, subindo para 68 km/h e atingindo a média de 80 km/h.

Conclui-se que no momento em que a atual Ponte do Guaíba está obstruída, devido ao içamento do vão móvel, os volumes e as velocidades registradas são iguais a zero. Logo após a reabertura do trecho ao tráfego, os veículos se encontram em regime de *breakdown* (quando andam e param sobre a via), em razão do elevado volume de veículos. Ao passo que o segmento apresenta boas condições de tráfego quando não ocorre o içamento do vão móvel.

Figura 10 – Gráfico do perfil fluxo-velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 1 de contadores



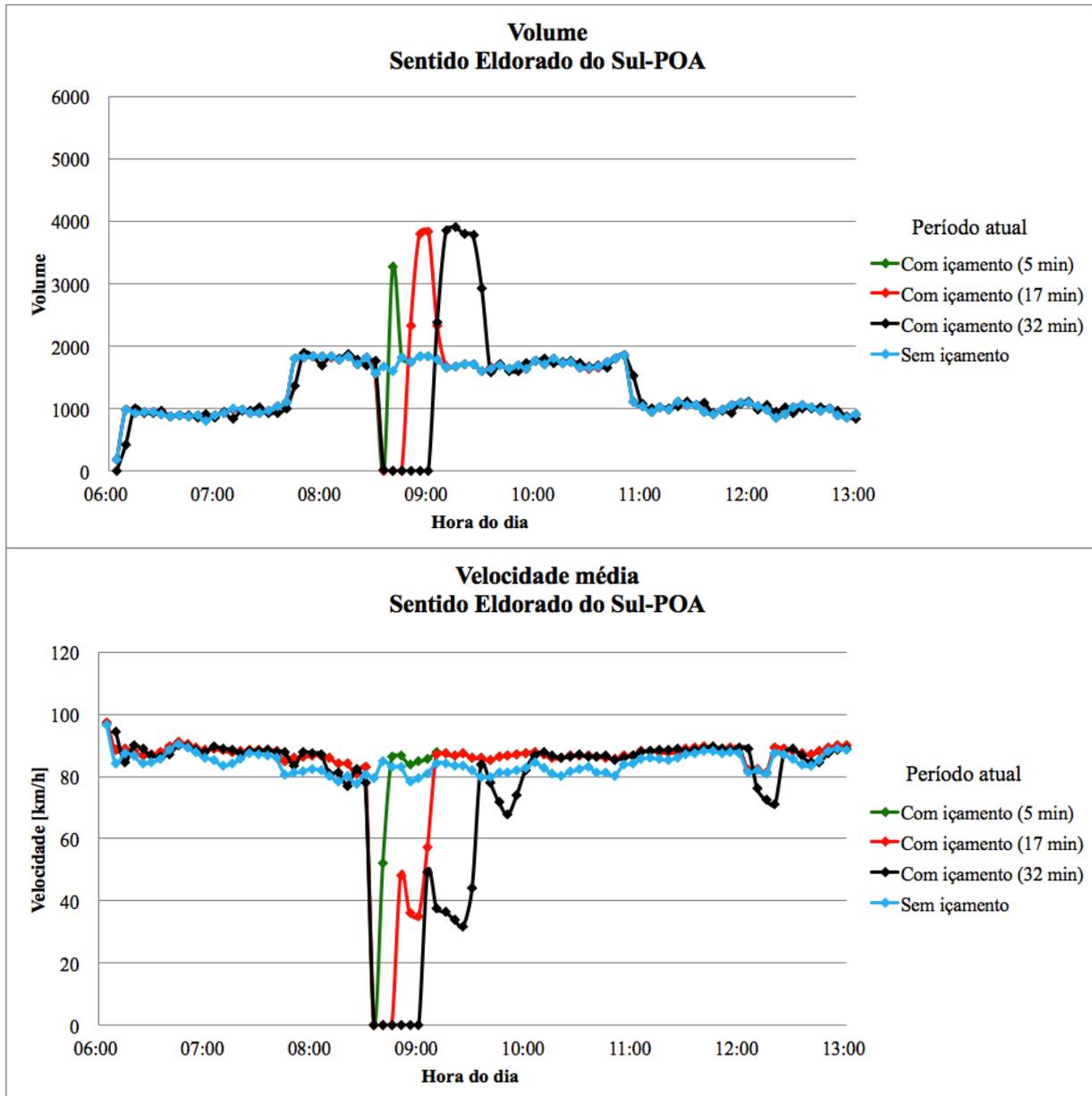
(fonte: elaborado pela autora)

O gráfico apresenta um comparativo entre o perfil de fluxo-velocidade para as condições sem içamento e com içamento de 5 minutos. É possível observar que a via apresenta um alto fluxo de veículos e que opera com um nível de serviço satisfatório.

Além disso, foram construídos perfis de fluxo-velocidade que comparam as condições: (i) sem içamento do vão móvel e com içamento de 17 minutos; e (ii) sem içamento e com içamento de 32 minutos. Os resultados obtidos foram semelhantes ao gráfico apresentado na Figura 10.

Uma análise semelhante às observações acima expostas foi realizada para o sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre. A Figura 11 apresenta os resultados a respeito do volume e velocidade.

Figura 11 – Gráficos de volume e velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 1 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Para o sentido de tráfego de Eldorado do Sul a Porto Alegre, observa-se que o içamento do vão móvel provoca maiores alterações no volume de tráfego e na velocidade operacional do trecho em estudo. A condição da rodovia aberta ao tráfego de veículos permanentemente registra um volume máximo de 1800 veículos por hora.

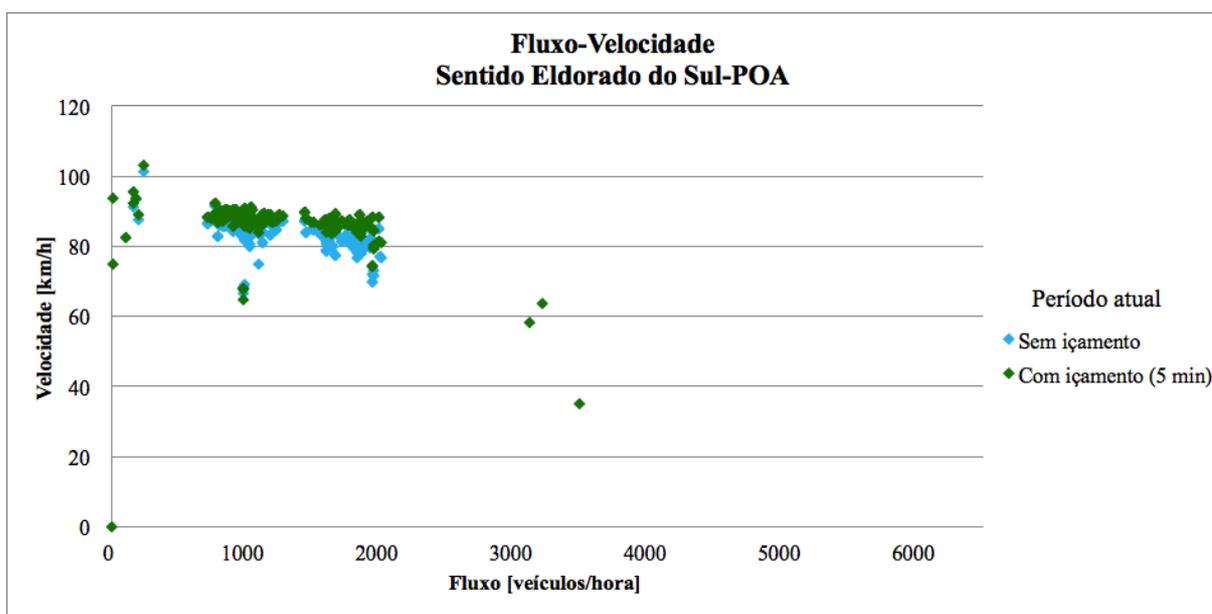
Para as condições com içamento, os volumes são semelhantes à configuração sem içamento. Entretanto, o perfil apresenta uma redução no momento içamento, e salta logo após sua reabertura. Para a duração mínima de içamento, o pico atinge 3300 veículos por hora. Para o tempo médio, o volume é zero por 10 minutos e depois salta para 3800 veículos por hora, levando 25 minutos para se recuperar. Para o tempo máximo, o volume é reduzido a zero por 25 minutos, após atinge o valor de 3900 veículos por hora e sofre perturbações por 35 minutos.

A velocidade da via apresenta uma baixa variabilidade na condição sem içamento, com valores de 78 a 87 km/h. Porém, no momento do içamento do vão móvel, a velocidade é reduzida a zero. Para içamentos de 17 e 32 minutos a velocidade apresenta valores baixos (entre 30 km/h e 49 km/h) por cerca de 30 minutos. Ainda, para o tempo máximo de duração de içamento, a velocidade cai para até 68 km/h em alguns períodos da manhã, após sua recuperação.

O grande volume de veículos registrado no momento de reabertura do tráfego na ponte, somado às perturbações no volume e na velocidade, que apresentam picos (no caso do volume) e vales (no caso da velocidade), caracterizam que a via atinge o regime de *breakdown*.

Também foram analisados gráficos de perfis de fluxo-velocidade. Foram comparadas condições sem içamento e com içamento do vão móvel, para duração de 5, 17 e 32 minutos. Os resultados obtidos nas três configurações foram semelhantes e estão representados pela Figura 12.

Figura 12 – Gráfico do perfil fluxo-velocidade para a condição presente do trecho em estudo, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 1 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que o perfil de fluxo-velocidade para a configuração sem içamento apresenta um nível de serviço satisfatório. Quando ocorre o içamento do vão móvel da ponte identificam-se pontos no gráfico com um nível de serviço abaixo do esperado. Estes pontos se tornam um pouco mais abundantes quanto maior o tempo de fechamento da via ao tráfego.

Percebe-se que o volume atingiu patamares maiores para o sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, se comparado ao sentido oposto. Isto se deve ao fato de que a via é composta por duas faixas de rolamento, para o tráfego vindo de Eldorado do Sul. Enquanto os veículos que desejam chegar a Eldorado do Sul provêm de três pistas de acesso, com duas faixas de rolamento cada.

Os resultados do conjunto 2 de contadores, localizados na Ilha Grande dos Marinheiros, foram divididos para os períodos atual (ano 2017) e futuro (ano 2027). No local ocorrerá a união do trecho da segunda Ponte do Guaíba com o segmento da atual ponte, próximo a Eldorado do Sul. O detalhamento e as considerações sobre cada análise são expostos nos próximos itens.

6.1 PERÍODO ATUAL (ANO 2017)

Nesta seção são apresentadas as observações sobre as simulações ocorridas para o ano de 2017, do conjunto 2 de contadores. Os resultados foram subdivididos conforme suas análises, são eles: tempo de viagem e atraso de viagem; volume e velocidade; e comprimento de fila e quantidade de paradas. A seguir se encontram as discussões mais relevantes sobre cada análise.

6.1.1 Tempo de viagem

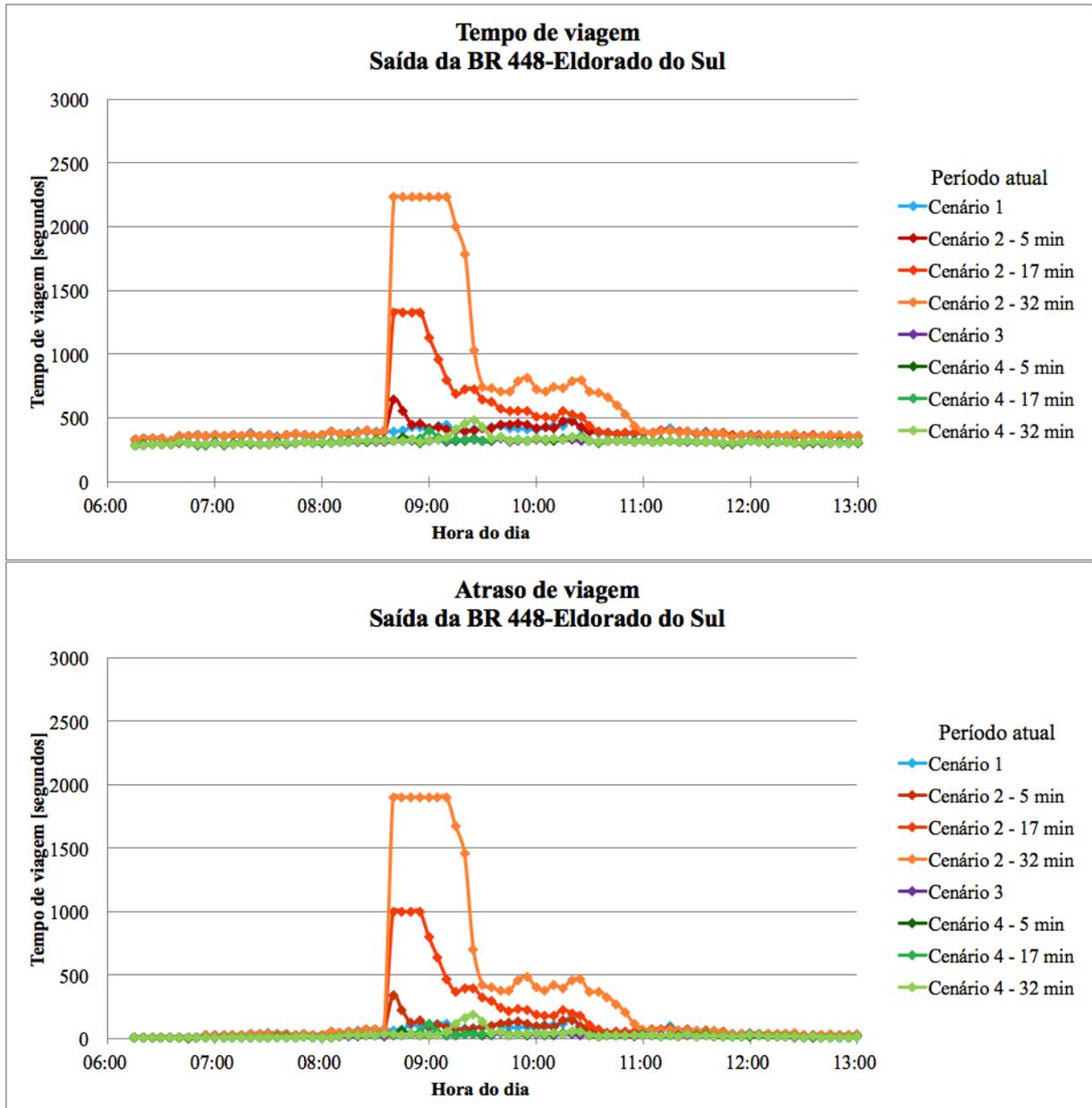
Este item diz respeito aos tempos de viagem e aos atrasos nas viagens, e foi dividido para os dois sentidos da via: Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre. Destaca-se que o trecho em que o tempo de viagem foi mensurado possui 8 quilômetros (para veículos que utilizam a atual ponte) e 7 quilômetros, para veículos que trafegam pela segunda ponte.

Os gráficos são compostos pelo tempo de viagem e atraso de viagem modelados (em segundos) ocorridos ao longo do dia, agregados a cada cinco minutos. O atraso de viagem é caracterizado no VISSIM pelo tempo extra dispendido pelo veículo no trecho modelado. Uma vez que o software já calcula, no início da simulação, o tempo de viagem esperado para cada veículo baseado em sua velocidade desejada para o trecho, qualquer tempo extra de viagem que este veículo tenha durante seu percurso será contabilizado como atraso de viagem deste veículo.

6.1.1.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul

Esta seção trata dos resultados obtidos para o sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul. A Figura 13 apresenta a duração dos tempos de viagem e atrasos de viagem dos veículos ao longo do dia, entre a saída da BR-448 até o município de Eldorado do Sul.

Figura 13 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, em 2017



(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que, para o cenário 1 (condição sem içamento), os tempos de viagem variam entre 5 e 7 minutos. Para o cenário 2 (condição com içamento) o tempo de viagem sobe para quase

11 minutos (quando o içamento dura 5 minutos), para 22 minutos (no tempo médio de içamento, de 17 minutos) e atinge 37 minutos (durante um içamento de 32 minutos). Para o cenário 3, em que o fluxo de veículos se distribui entre a atual e a segunda Ponte do Guaíba, o tempo de viagem apresenta o valor constante de 5 minutos.

No cenário 4 ocorre o içamento do vão móvel da atual ponte e os veículos passam a utilizar apenas a nova ponte, O tempo de viagem permanece inalterado para o tempo mínimo de içamento. Para as demais condições o tempo de viagem apresenta um pequeno aumento para 7 minutos (duração média de içamento) e para 8 minutos, no tempo de içamento máximo.

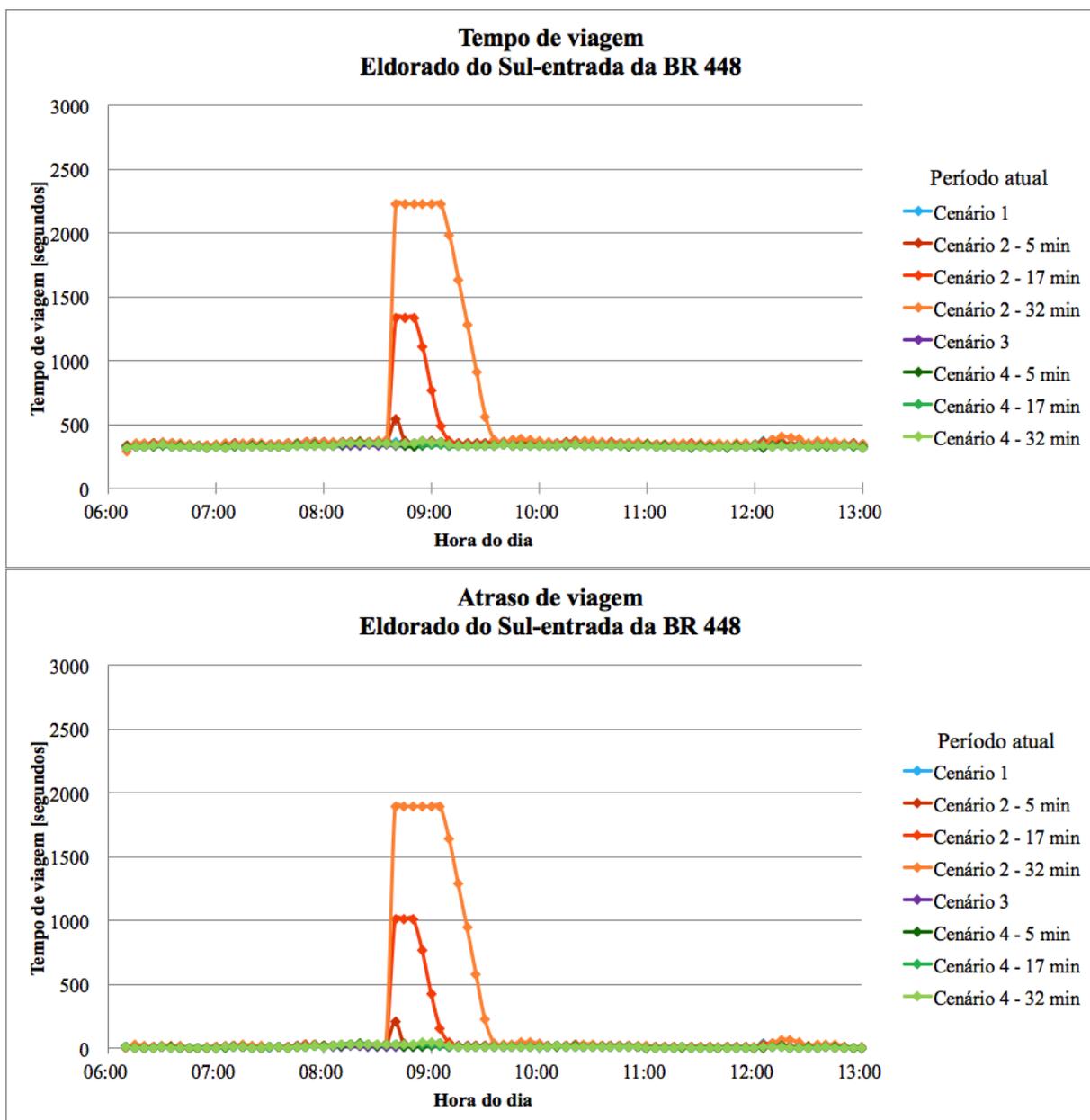
Para as condições mais críticas do cenário 2 o tempo de viagem sofre perturbações, mesmo após a abertura da ponte ao tráfego. Isto é, para o tempo de içamento de 17 minutos, o tempo de viagem se mantém alto por 15 minutos e sofre alterações por mais 45 minutos. O cenário complica-se para um içamento de 32 minutos, pois o tempo de viagem atinge um pico de 30 minutos e demora quase duas horas para se recuperar, devido à grande perturbação ao tráfego.

Observa-se que os atrasos nas viagens acompanham a variação dos tempos de viagens. Ou seja, para maiores tempos de içamento do vão móvel da ponte, maiores tempos de viagens são verificados e, também, maiores atrasos nas viagens. Para o tempo máximo de duração do içamento, no cenário 2, ocorre um atraso nas viagens de cerca de 32 minutos; e se identifica um atraso de até 8 minutos nas viagens quase duas horas depois do início do içamento.

6.1.1.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre

Para completar o estudo a respeito dos tempos de viagem para o período atual da via, foram analisadas as viagens entre Eldorado do Sul e Porto Alegre. A Figura 14 apresenta dois gráficos, que mostram a duração dos tempos de viagem dos veículos ao longo do dia e os atrasos que ocorreram nessas viagens, que contempla o trajeto desde o município de Eldorado do Sul até a entrada para a rodovia BR-448.

Figura 14 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, em 2017



(fonte: elaborado pela autora)

Para o tráfego no sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre não ocorreram aumentos significativos nos tempos de viagens para os cenários 1, 3 e 4. Os tempos se mantiveram praticamente constantes em torno de 6 minutos. Os valores dos atrasos de viagens ficaram próximos a zero.

Já para o cenário 2 (com içamento do vão móvel da ponte) ocorreram grandes mudanças no tempo de viagem. Para a duração mínima de içamento, houve um atraso de até 3,5 minutos, totalizando 9 minutos de duração de viagem. Para a duração média de içamento, a viagem

passou a durar 22 minutos, gerando um atraso de quase 17 minutos. E para o tempo máximo de içamento, o tempo de viagem atingiu 37 minutos e o atraso, quase 32 minutos.

Observa-se que, para o sentido de tráfego de Eldorado do Sul a Porto Alegre, o tempo de viagem sofre aumentos tão significativos quanto os que se verificam para o tráfego no sentido oposto. No entanto, as perturbações observadas (posteriores à reabertura da ponte ao tráfego de veículos) naquele sentido apresentaram valores menores e foram dissipadas com maior rapidez.

Conclui-se que a obstrução da atual Ponte do Guaíba, devido ao içamento de seu vão móvel, caracteriza-se como um grande gargalo na rede de estudo. Visto que os atrasos nos tempos de viagem são prejudiciais na maioria dos eventos de içamento ao longo do ano.

6.1.2 Volume e velocidade

A análise dos dados de contadores inseridos no modelo permitiu a construção de perfis de fluxo-velocidade. Esta foi dividida para os dois sentidos do trecho em estudo: Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre.

Os gráficos de volume são compostos pelos volumes médios (veículos por hora) modelados ao longo do dia. Os perfis de velocidade contêm a variação da velocidade média (em km/h) dos veículos. Todos os dados foram agregados em intervalos de cinco minutos. Nos itens a seguir são descritos seus resultados em detalhes.

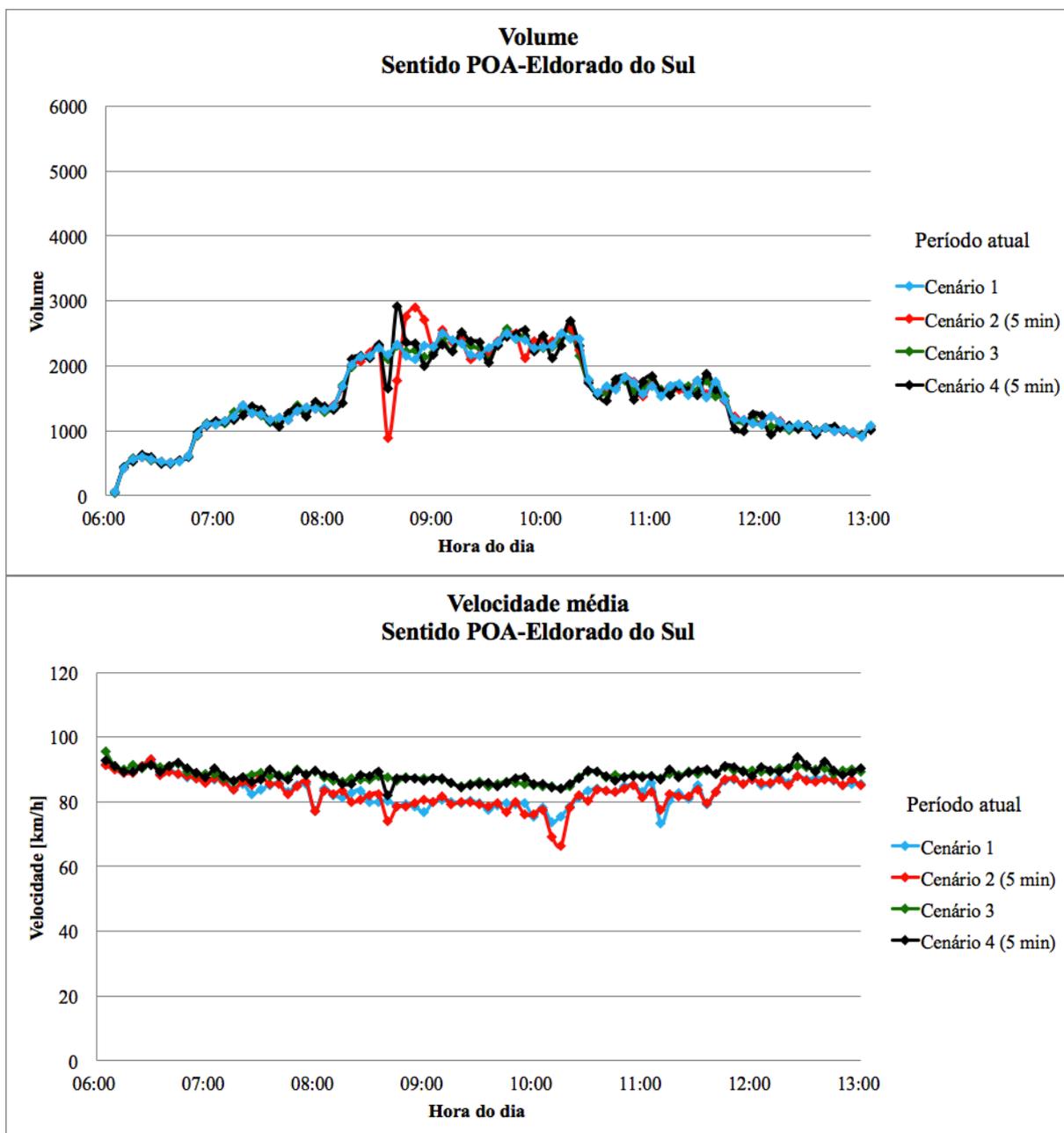
6.1.2.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul

Esta seção contém os resultados obtidos para o sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul. Todas as análises foram subdivididas para as condições de diferentes tempos de duração do içamento, para uma observação mais detalhada dos efeitos desses eventos na rede viária.

6.1.2.1.1 Tempo de içamento mínimo (5 minutos)

A Figura 15 apresenta os gráficos das análises de volume e velocidade (em km/h) para o tempo mínimo de duração do içamento, igual a 5 minutos. Os gráficos comparar os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego: com apenas a atual Ponte do Guaíba operando ou fechada ao tráfego (por 5 minutos); e com as duas pontes operando em conjunto ou com a ponte do vão móvel içada (durante 5 minutos).

Figura 15 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



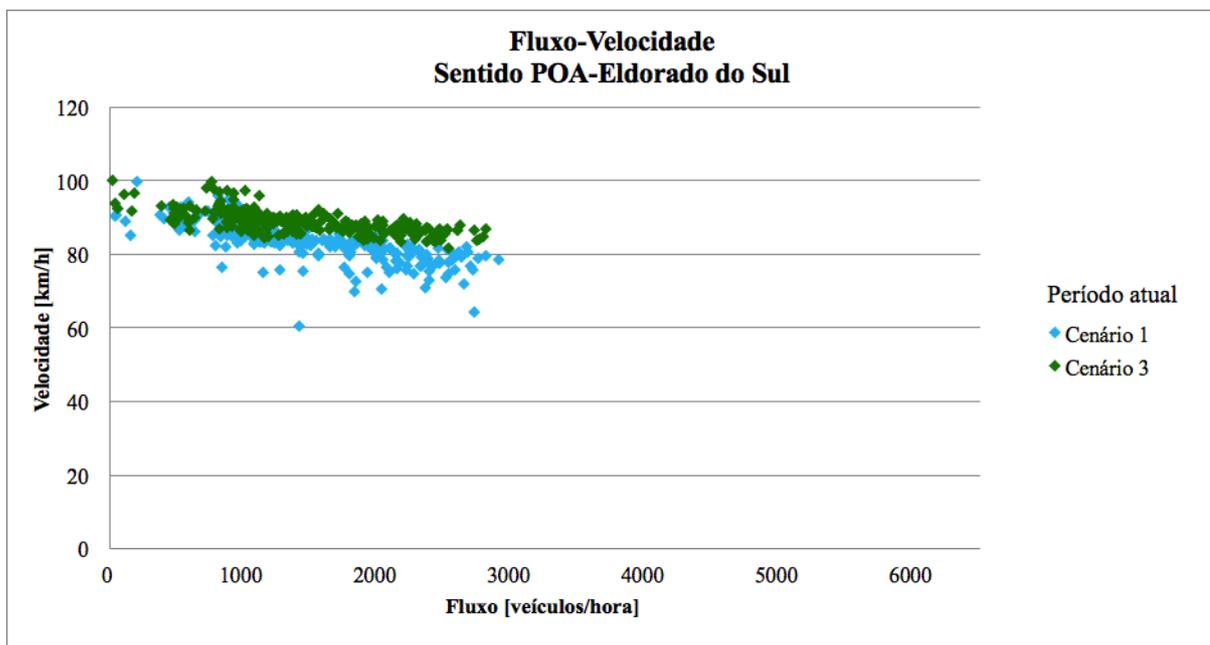
(fonte: elaborado pela autora)

Todos os cenários têm perfis de volume semelhantes, atingindo valores de até 2500 veículos por hora. No entanto, os cenários 2 e 4 (com içamento de 5 minutos), apresentam uma queda temporária deste volume, devido ao fechamento da rodovia ao tráfego. No cenário 2 o volume cai para 900 veículos por hora e no cenário 4, 1600 veículos por hora. Após, o volume aumenta para 2900 veículos por hora. Além de a queda do volume ser menor quando a segunda ponte se encontra em operação, a via se recupera mais rapidamente.

Observa-se que a velocidade operacional do trecho em estudo apresenta um pequeno aumento quando da implantação da segunda ponte. Isto pode ser explicado pelo fato de que com a nova ponte há uma redução de cerca de 1 quilômetro no trecho percorrido. Além disso, seu perfil é mais constante, com valores na faixa de 82 a 95 km/h e média de 87 km/h. Já a velocidade constatada para os cenários 1 e 2 varia entre 66 e 93 km/h, com média de 83 km/h.

A Figura 16 apresenta os perfis de fluxo-velocidade para os cenários 1 e 3, em que não ocorre o içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba. Os gráficos com os perfis fluxo-velocidade comparando (i) os cenários 1 e 2 (içamento de 5 minutos); e (ii) os cenários 2 e 4 (ambos com içamento de 5 minutos) contêm resultados semelhantes ao apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



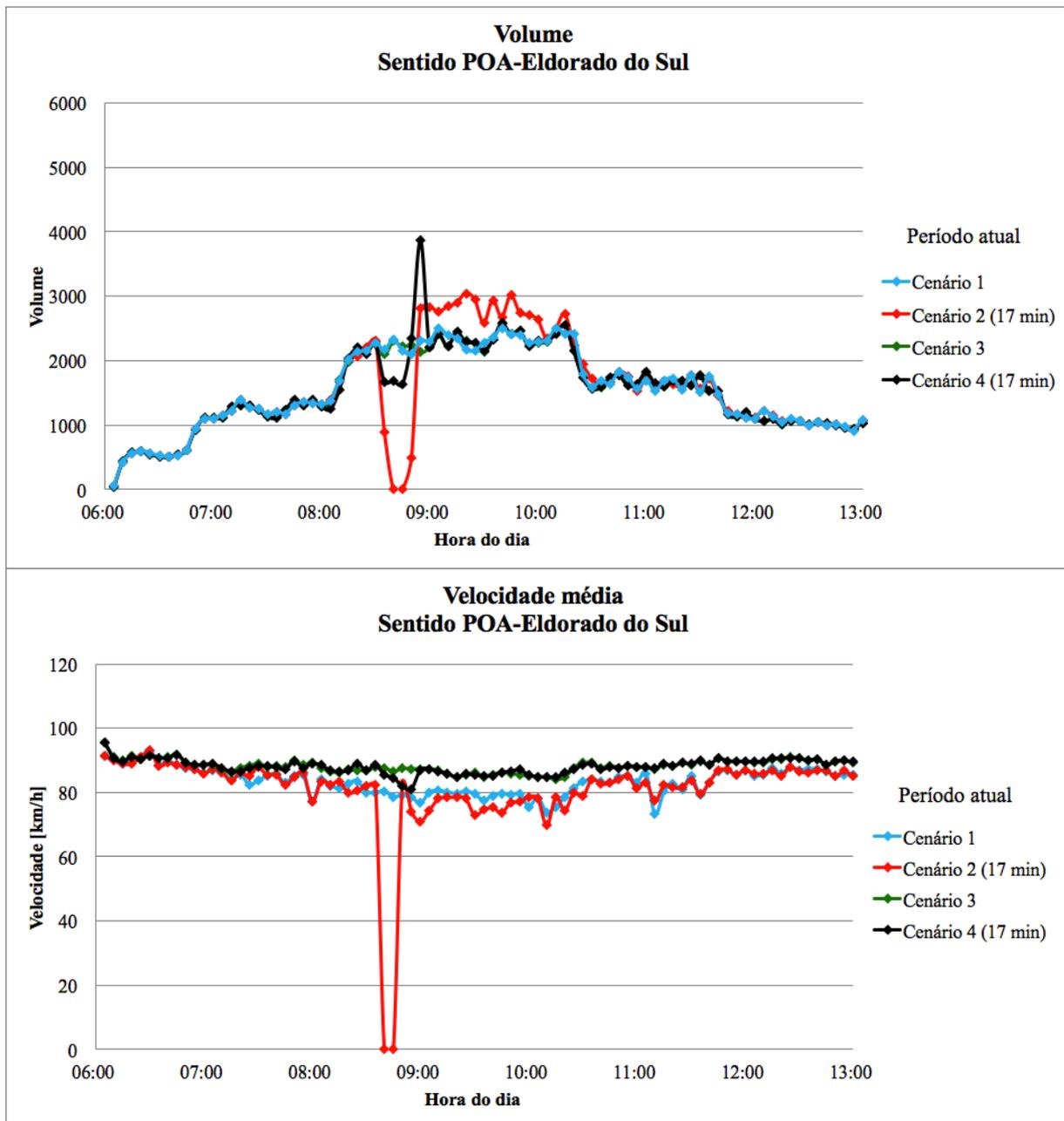
(fonte: elaborado pela autora)

O perfil fluxo-velocidade do cenário 3 apresenta valores de velocidade maiores para o mesmo volume de tráfego de veículos que o cenário 1. Este leve aumento nas velocidades é devido ao trecho percorrido na segunda ponte ser menor. Ambos os perfis mostram que os cenários têm bom nível de serviço, com volumes atingindo 2700 veículos por hora.

6.1.2.1.2 Tempo de içamento médio (17 minutos)

A mesma análise realizada anteriormente foi feita para o tempo de duração médio de içamento, igual a 17 minutos. A Figura 17 apresenta os gráficos dos resultados de volume e velocidade (em km/h), para os quatro cenários-base modelados no simulador.

Figura 17 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Os perfis de volume dos cenários 1 e 3 são idênticos aos apresentados na Figura 15. O içamento que ocorre no cenário 2, reduz o volume de veículos por cerca de 20 minutos, conforme o esperado. Após a reabertura da rodovia ao tráfego, o volume aumenta significativamente para 3 mil veículos por hora. As perturbações são sofridas após 80 minutos da reabertura da ponte.

No cenário 4, quando ocorre a obstrução da atual ponte, os veículos se dirigem à segunda ponte. Portanto, os veículos não ficam parados sobre a via, exceto aqueles oriundos da avenida Sertório, visto que esta não contém um acesso direto à nova ponte. Dessa forma, ocorre uma pequena redução no volume registrado no contador, que corresponde aos veículos retidos na avenida Sertório. Após o término do içamento, o volume aumenta para 3900 veículos por hora.

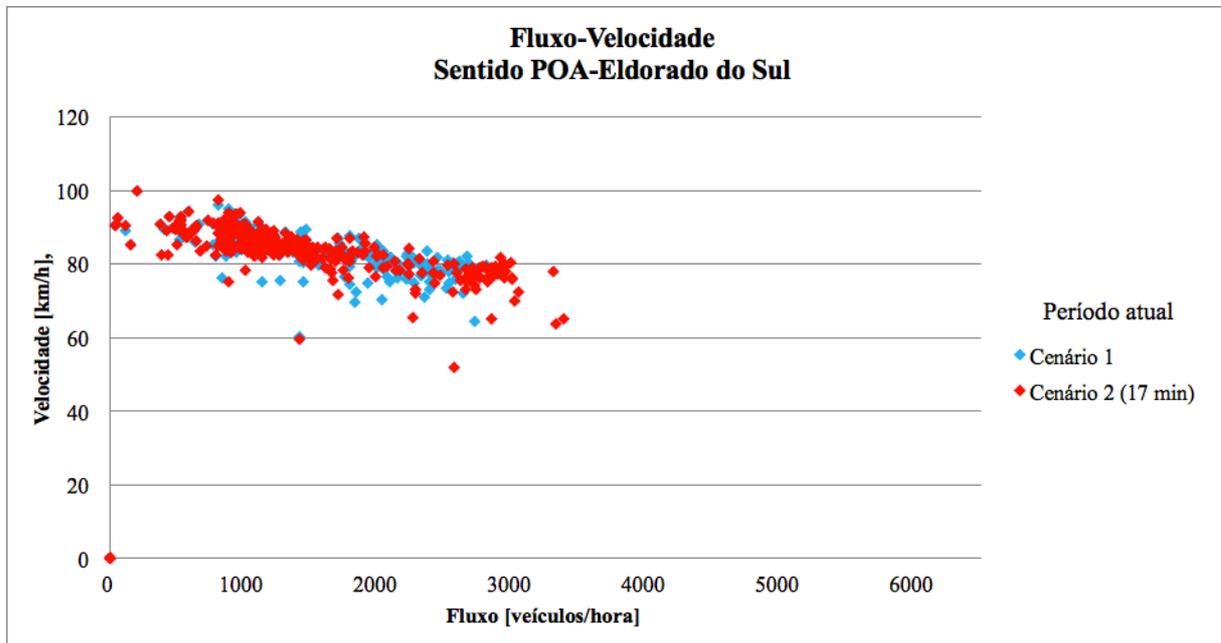
Os perfis de velocidade dos cenários 1 e 2 apresentam uma maior variabilidade do que os perfis dos cenários 3 e 4. Além disso, a velocidade média verificada no primeiro cenário, de 85 km/h, é menor do que a encontrada para os cenários em que a segunda ponte está operando, igual a 87 km/h. O cenário 4 apresenta uma pequena queda para 81 km/h, no momento do içamento, porém acompanha os picos de velocidade do cenário 3, que são de 95 km/h.

No cenário 1 a velocidade oscila entre os valores de 73 a 93 km/h. O cenário 2 acompanha o perfil de velocidades do primeiro cenário, com uma maior variação nos dados medidos, de 69 a 93 km/h. Além disso, ocorre uma redução na velocidade para o valor zero devido ao içamento, que provoca perturbações em seu perfil até duas horas após este evento.

Percebe-se que o regime de *breakdown* só ocorre efetivamente no cenário 2, quando os veículos formam filas sobre a ponte do vão móvel e seus acessos. No cenário 4 a nova Ponte do Guaíba serve de rota alternativa ao trecho de rodovia obstruído. Como os veículos se dirigem à segunda ponte, os perfis de volume e velocidade apresentam uma queda muito pequena, e logo recuperam seus valores médios.

A Figura 18 apresenta os perfis de fluxo-velocidade para os cenários 1 e 2 (com tempo de içamento médio igual a 17 minutos). Para o comparativo entre os perfis de fluxo-velocidade dos cenários 1 e 3, e também dos cenários 2 e 4 (ambos com tempo de içamento igual a 17 minutos), os gráficos apresentaram resultados semelhantes ao exposto na Figura 18.

Figura 18 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



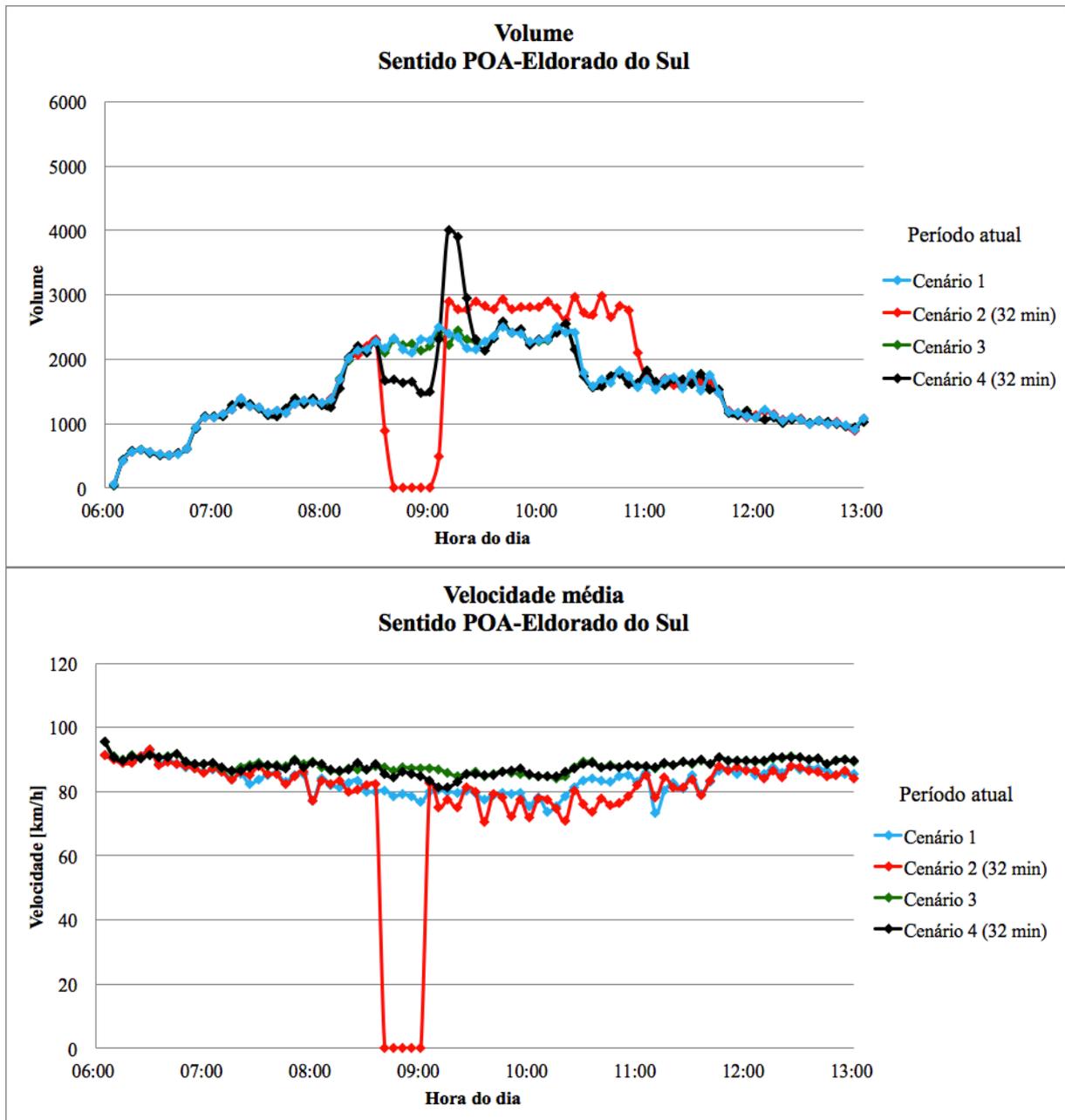
(fonte: elaborado pela autora)

O volume atingido para ambos os cenários (sem içamento e com içamento de 17 minutos de duração) é de quase 3 mil veículos por hora. O perfil do cenário 2 apresenta alguns pontos com velocidades mais baixas, devido a interrupção da circulação de veículos sobre a ponte.

6.1.2.1.3 Tempo de içamento máximo (32 minutos)

Também foram construídos gráficos com as análises de volume e velocidade (em km/h) para o tempo máximo de duração do içamento, a fim de se comparar os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego. As condições observadas foram: com apenas a atual Ponte do Guaíba operando ou fechada ao tráfego (por 32 minutos); e com as duas pontes operando em conjunto ou com a ponte do vão móvel içada (durante 32 minutos). As Figuras 19 e 20 apresentam os resultados.

Figura 19 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

O cenário 2 apresenta uma queda em seu volume para o valor zero por 30 minutos, quando do içamento do vão móvel da ponte. Após esse período, a rodovia volta a operar e se observa um grande salto no perfil de volume, para até 3 mil veículos por hora. O perfil só volta a se normalizar duas horas e meia após a obstrução da via.

O cenário 4 apresenta uma pequena redução em seu volume, para 1500 veículos por hora durante 35 minutos, e posterior aumento do volume para até 4 mil veículos por hora. Isto se

deve ao fato de que os veículos passam a utilizar a nova ponte, quando o vão móvel da atual está içado, exceto aqueles que ficam retidos na avenida Sertório. Por isso, o perfil de volume sofre perturbações por apenas 15 minutos após a reabertura ao tráfego da atual ponte.

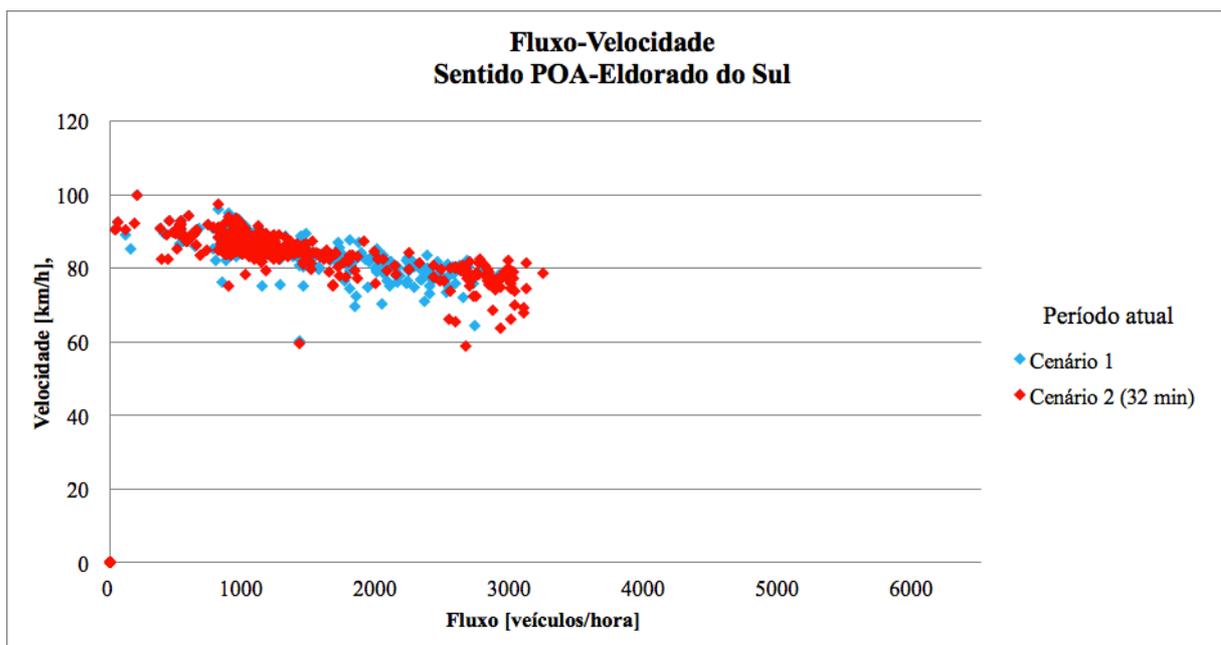
Os cenários 3 e 4 (em que a nova ponte está operando) apresentam velocidades mais elevadas e constantes dos que os cenários 1 e 2. Isto pode ser explicado pelo comprimento das duas pontes serem diferentes, já que a nova ponte será composta por um trecho de 7 quilômetros, em contrapartida dos 8 quilômetros que devem ser percorridos na atual ponte.

O cenário 1 registra velocidades entre 73 e 93 km/h (e média de 84 km/h), enquanto nos cenários 3 e 4 se observam valores na faixa de 83 a 95 km/h. Há uma pequena queda na velocidade do cenário 4, para 81 km/h, em razão da fila de veículos retidos sobre o acesso da avenida Sertório.

Por outro lado, o cenário 2 mostra uma queda brusca na velocidade da via para zero, no período em que o vão móvel da atual Ponte do Guaíba foi içado, durante 20 minutos, o que é esperado. Vê-se que a velocidade é recuperada rapidamente, porém o perfil sofre perturbações pequenas, que provocam oscilações significativas, variando entre 70 e 81 km/h.

A Figura 20 apresenta o gráfico dos perfis de fluxo-velocidade para os cenários 1 (sem içamento) e 2 (com içamento por 32 minutos).

Figura 20 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

A relação entre fluxo e velocidade para os cenários 1 e 2 mostra que o primeiro tem um bom nível de serviço, enquanto o último já apresenta pontos com um grande volume de veículos (cerca de 3 mil veículos por hora). Os gráficos de comparação entre os perfis fluxo-velocidade dos cenários 1 e 3; e também dos cenários 2 e 4 (tempo de içamento de 32 minutos) apresentam resultados semelhantes aos da Figura 20.

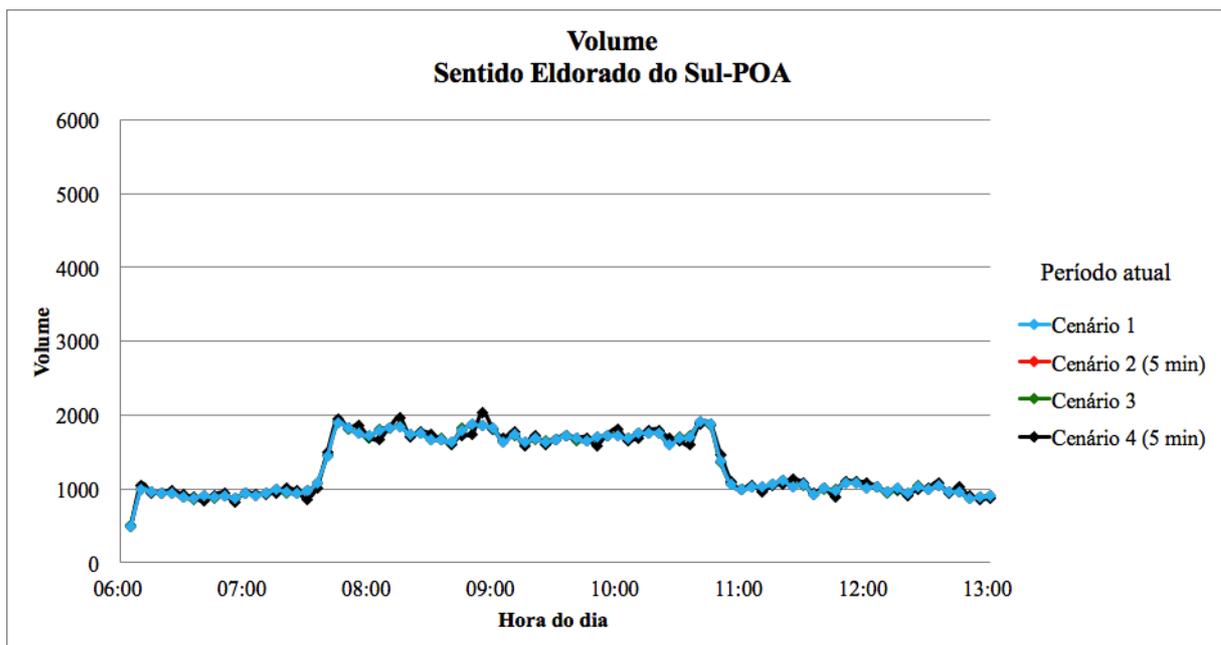
6.1.2.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre

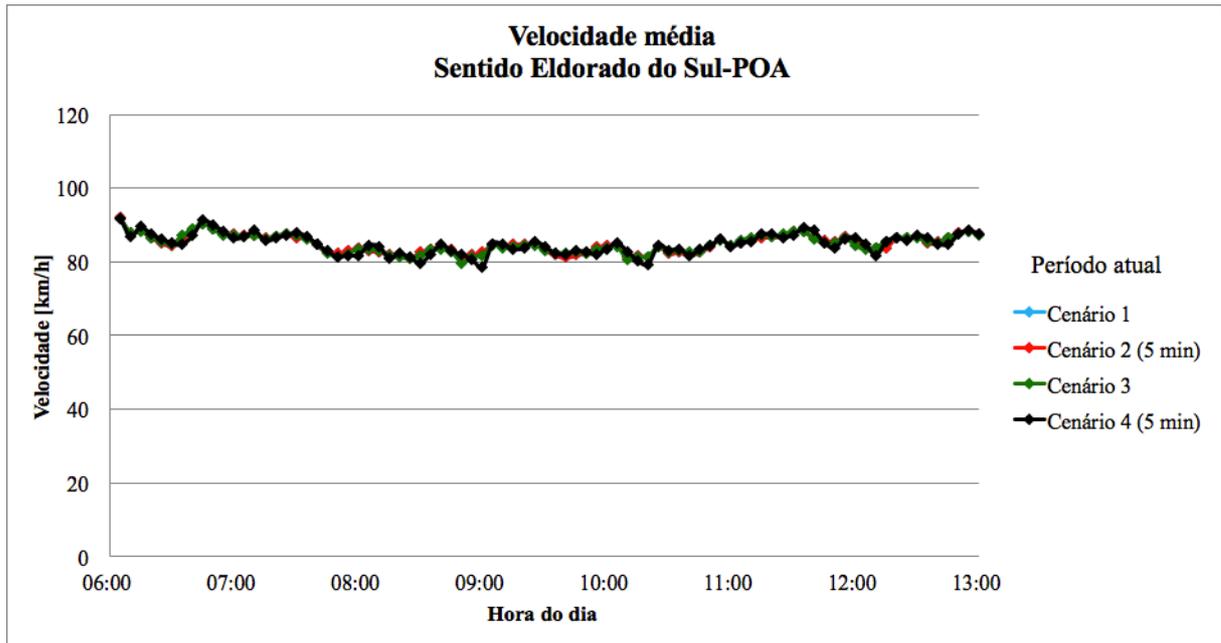
A seção apresenta os resultados obtidos para o sentido de tráfego de Eldorado do Sul a Porto Alegre. As análises foram subdivididas para as condições de diferentes tempos de duração do içamento, a fim de serem realizadas observações mais detalhadas dos efeitos desses eventos na rede viária.

6.1.2.2.1 Tempo de içamento mínimo (5 minutos)

Os gráficos construídos a partir das análises de volume e velocidade (em km/h) para o tempo mínimo de duração do içamento são apresentados na Figura 21. Esses gráficos comparam os resultados de quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego: com apenas a atual Ponte do Guaíba operando ou fechada ao tráfego (por 5 minutos) e com as duas pontes operando em conjunto ou com a ponte do vão móvel içada (durante 5 minutos).

Figura 21 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



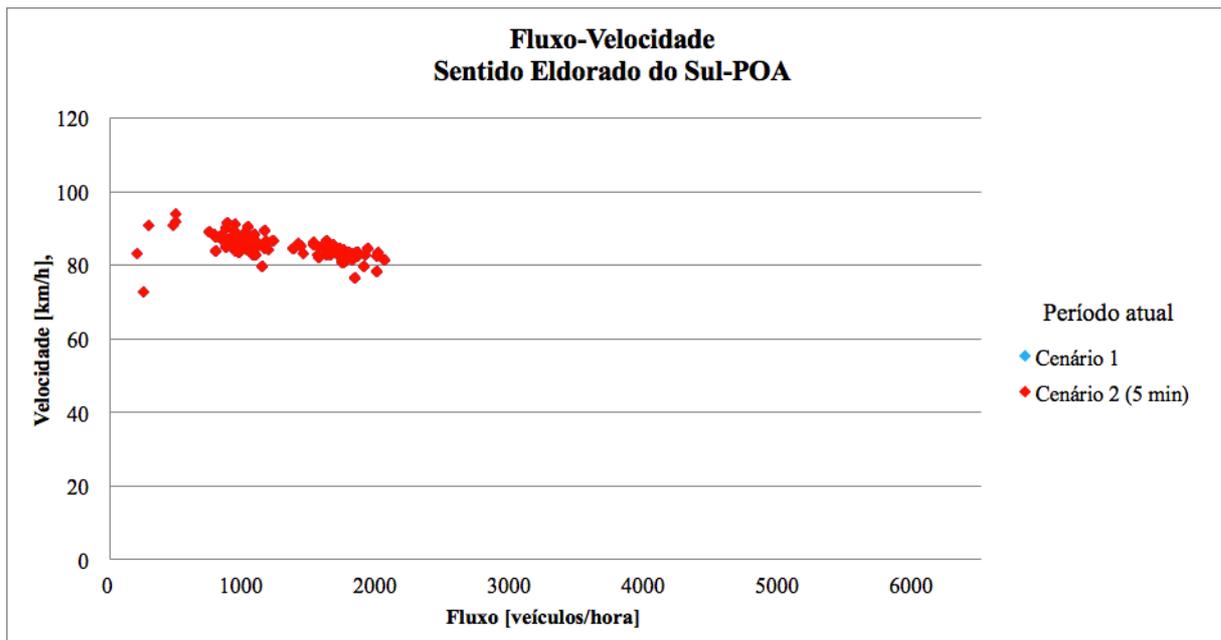


(fonte: elaborado pela autora)

Os perfis de velocidade e de volume apresentam resultados muito semelhantes para todos os cenários. O volume máximo observado é de 1900 veículos por hora, e a velocidade varia entre 79 e 92 km/h. Isto é, não ocorrem alterações significativas no tráfego em qualquer condição.

A Figura 22 apresenta os perfis de fluxo-velocidade dos cenários 1 e 2 (içamento de 5 minutos).

Figura 22 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



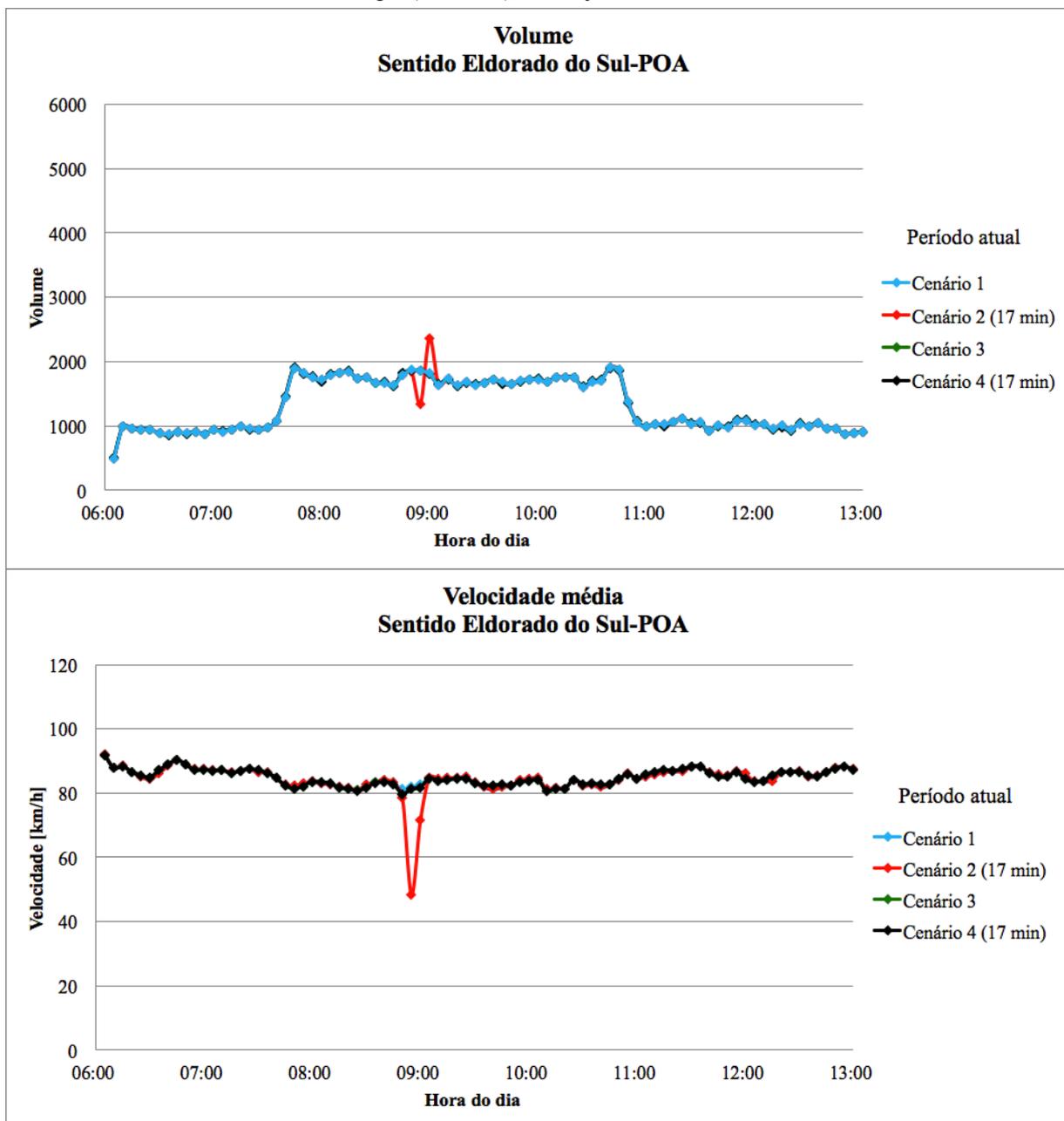
(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que a relação fluxo-velocidade é a mesma para as duas condições. O volume máximo na rodovia é de 2100 veículos por hora, aproximadamente. Os gráficos com o comparativo dos demais perfis apresentam os mesmos resultados comentados na Figura 22.

6.1.2.2.2 Tempo de içamento médio (17 minutos)

Este item aborda os resultados a respeito do volume e da velocidade (em km/h) para o tempo médio de duração do içamento (17 minutos). Os gráficos são apresentados nas Figuras 23 e 24.

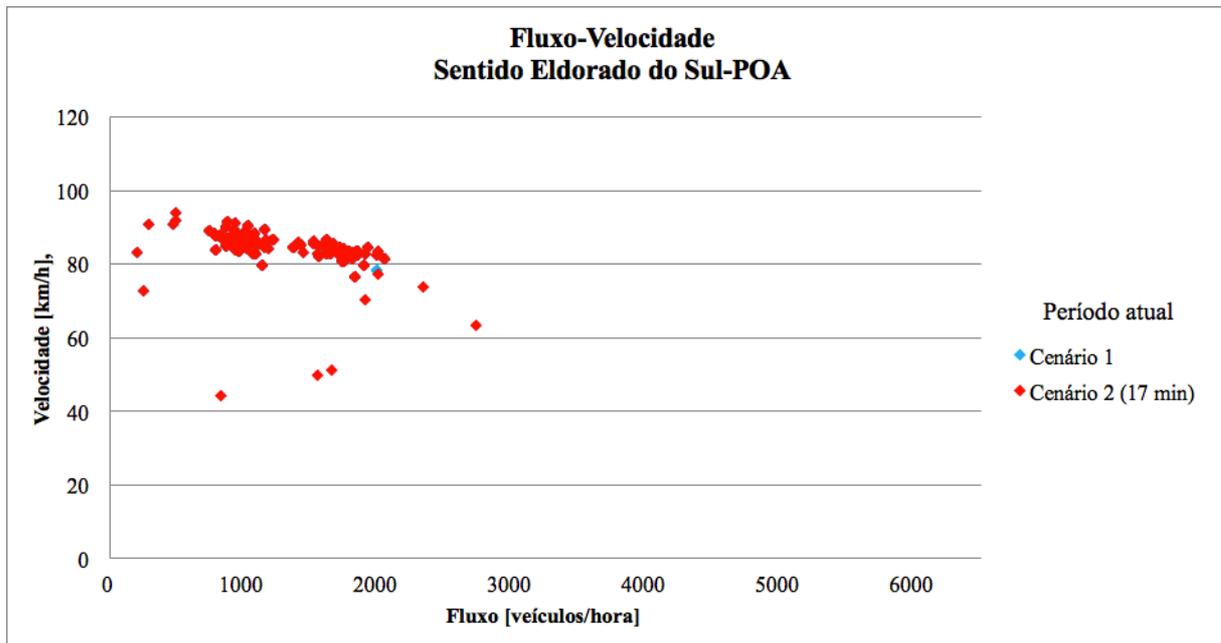
Figura 23 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Os perfis de volume e velocidade para os cenários 1, 3 e 4 são semelhantes aos apresentados na Figura 21. No entanto, quando o tempo de içamento sobre para 17 minutos, o segundo cenário apresenta uma queda no volume (para 1300 veículos por hora) e na velocidade (para 48 km/h). Após a reabertura da ponte ao tráfego, registra-se um pico no volume para 2400 veículos por hora, que representa os veículos retidos sobre o acesso da avenida Sertório.

Figura 24 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



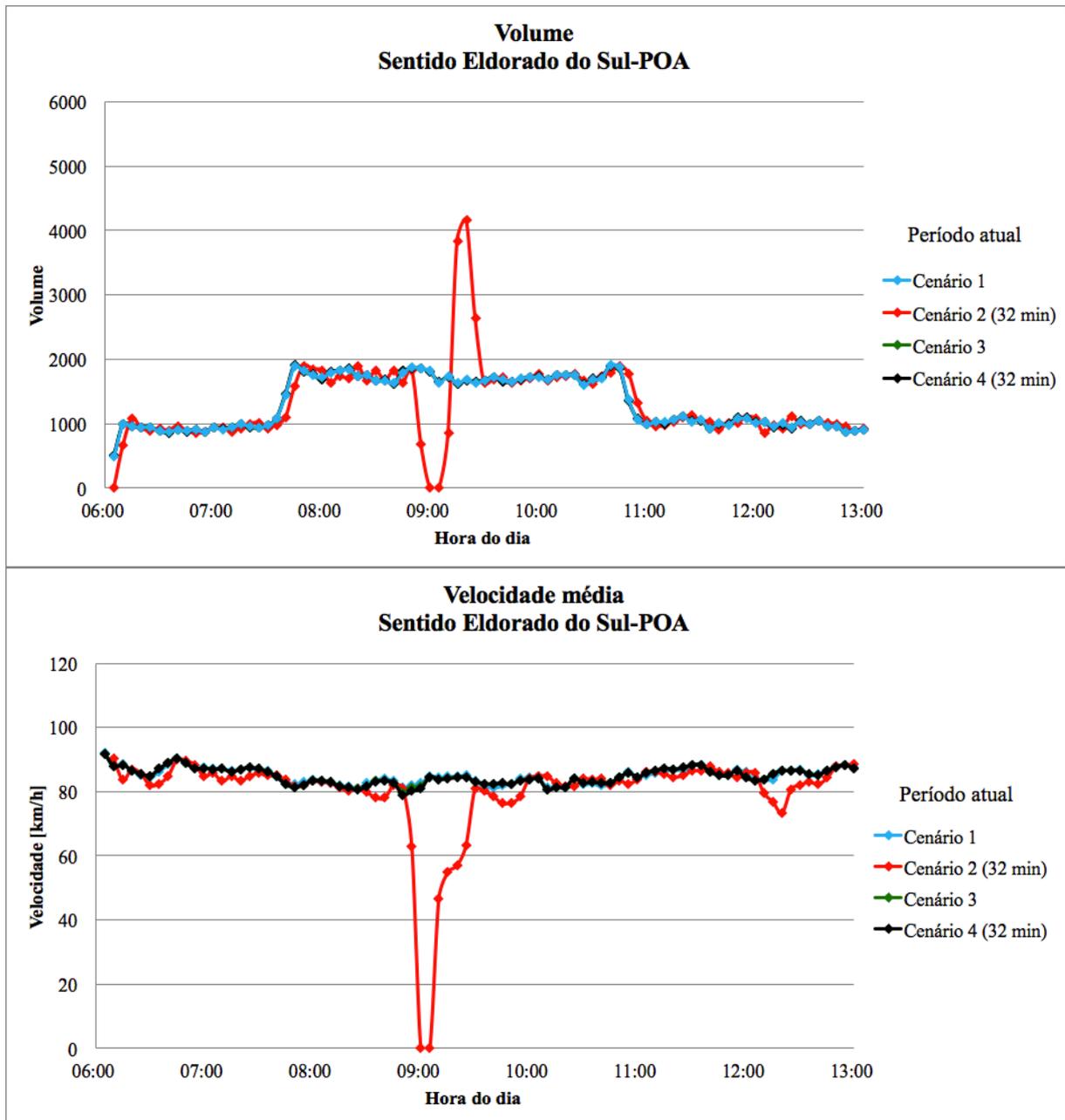
(fonte: elaborado pela autora)

O gráfico do perfil de fluxo-velocidade registra um volume de 2 mil veículos por hora, com bom nível de serviço para o cenário 1. O cenário 2 contém dados de velocidade abaixo do esperado para o trecho em estudo, devido ao içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba. Os perfis de fluxo-velocidade dos cenários 3 e 4 (para içamento com duração de 17 minutos) apresentam resultados semelhantes aos da Figura 24.

6.1.2.2.3 Tempo de içamento máximo (32 minutos)

Neste item são apresentadas as análises realizadas sobre o volume e a velocidade (em km/h) dos quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego, para o tempo máximo de duração do içamento (32 minutos). Os gráficos contendo os resultados destas análises são apresentados nas Figuras 25 e 26.

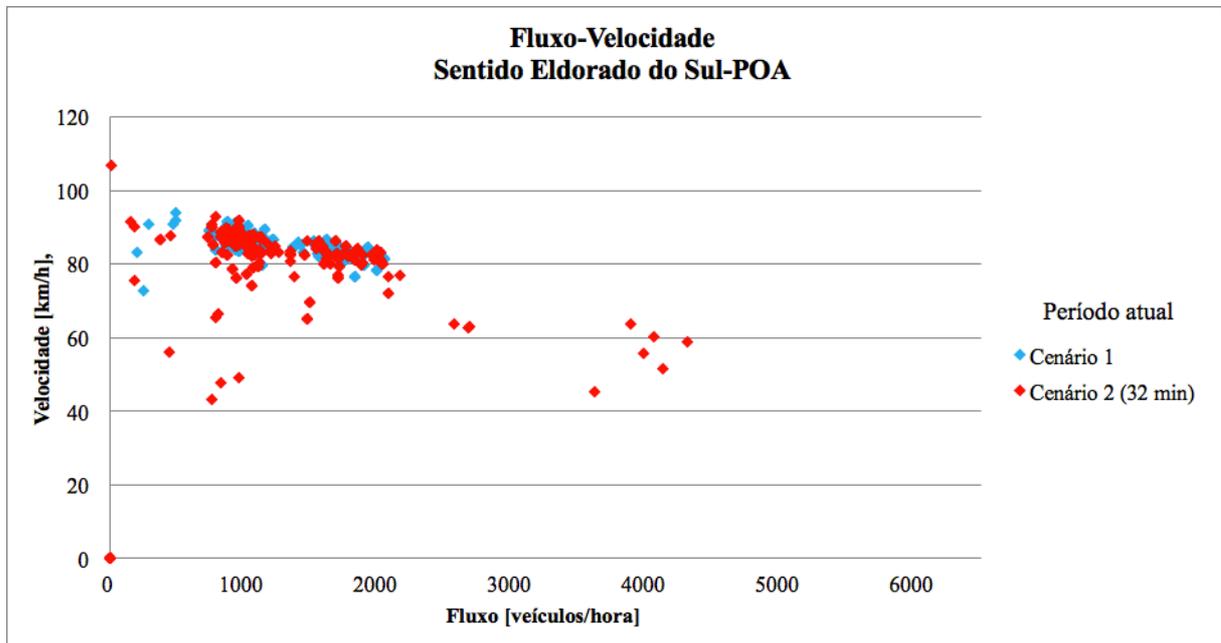
Figura 25 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Os gráficos da Figura 25 também apresentam perfis de volume e velocidade muito semelhantes para os cenários 1, 3 e 4. Somente no cenário 2, observam-se grandes mudanças, devido ao aumento da duração do tempo de içamento. Este apresenta uma redução do volume (para zero) e posterior aumento para 4200 veículos por hora, com oscilações no perfil por 40 minutos. A velocidade sofre perturbações após os mesmos 40 minutos necessários para a recuperação do volume. Neste período, o cenário 2 encontra-se em regime de *breakdown*.

Figura 26 – Gráficos de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2017), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

O gráfico da relação fluxo-velocidade para o cenário 2 (com duração do içamento de 32 minutos) apresenta pontos em que o volume é muito elevado, de cerca de 4300 veículos por hora, enquanto a velocidade é baixa (cerca de 50 km/h). O valor elevado para o fluxo de veículos pode ser um indicativo da capacidade da via. O cenário 1, bem como os demais cenários (3 e 4), apresenta o perfil de fluxo-velocidade semelhante ao da Figura 26.

6.1.3 Filas e paradas

Também foram feitas observações a respeito do comprimento de fila e da quantidade de paradas ocorridas no vão móvel da atual Ponte do Guaíba e em seus acessos. Estas foram divididas para os dois sentidos da via: Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre. Os dados foram organizados em planilhas. A Tabela 5 e a Figura 28 apresentam os resultados.

A definição de paradas no simulador corresponde a velocidade em que os veículos se encontra: para velocidades abaixo de 1 km/h o veículo entra em fila e para velocidades acima de 10 km/h o veículo sai da fila. Isto significa dizer que um mesmo veículo pode ter várias paradas. A análise do comprimento de fila foi feita para os veículos que ficaram parados sobre a atual Ponte do Guaíba e seus acessos. Os valores de comprimento de fila foram obtidos para a extensão máxima de fila medida no simulador de tráfego.

Tabela 5 – Valores da quantidade de paradas na rodovia e do comprimento de fila para o ano de 2017

Período atual (ano 2017)					
Sentido		Porto Alegre-Eldorado do Sul		Eldorado do Sul-Porto Alegre	
		Quantidade de paradas	Comprimento de fila [km]	Quantidade de paradas	Comprimento de fila [km]
Cenário 1	Sem içamento	0	0	0	0
	Içamento 5 min	214	0,810	1945	0,584
Cenário 2	Içamento 17 min	910	2,940	39427	2,581
	Içamento 32 min	1724	5,270	115292	7,719
Cenário 3	Sem içamento	0	0	0	0
	Içamento 5 min	54	0,200	0	0
Cenário 4	Içamento 17 min	254	0,751	0	0
	Içamento 32 min	1666	1,558	0	0

(fonte: elaborado pela autora)

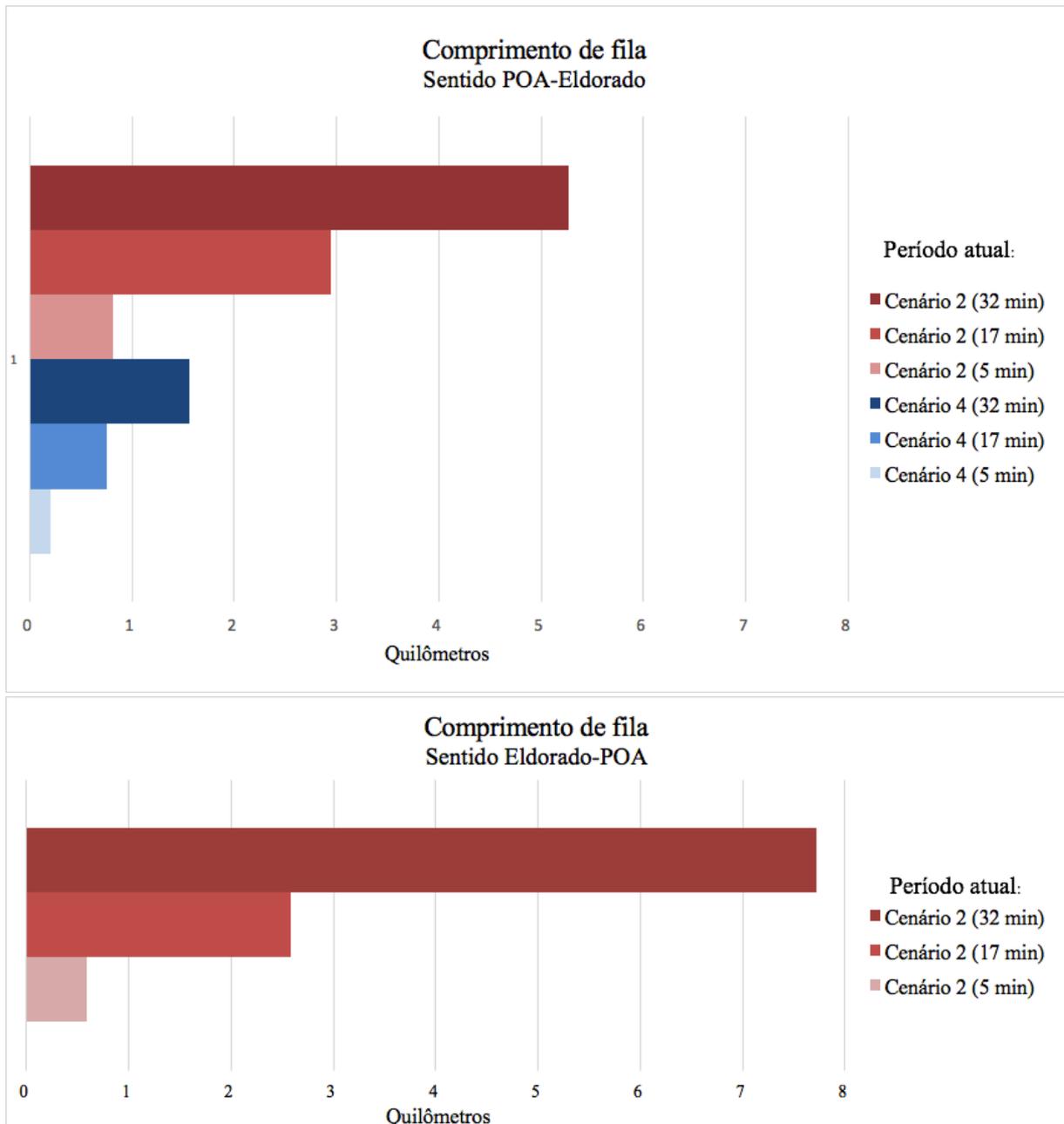
É possível observar que nos cenários 1 e 3 (sem içamento do vão móvel da atual ponte) não há formação de filas e os veículos não param na pista. Já no cenário 2, quando a ponte está obstruída, ocorrem paradas sobre a pista e são formadas filas. Estes valores são tão maiores quanto maior a duração do tempo de içamento do vão móvel da ponte.

O tamanho máximo de fila para o sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre é muito maior do que a comprimento máximo da fila no sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul. Isto se deve ao fato de que este sentido contém três acessos à atual Ponte do Guaíba, com duas faixas de rolamento cada, e então as filas formadas se encontram distribuídas. Enquanto, de Eldorado do Sul a Porto Alegre, o segmento apresenta uma única pista com duas faixas, o que faz a fila ser mais extensa.

Ainda, vê-se que não ocorre fila no sentido Eldorado Sul-Porto Alegre quando implantada a nova Ponte do Guaíba, já que os veículos se dirigem a ela quando a ponte do vão móvel se encontra bloqueada. Para o sentido inverso de tráfego, forma-se uma pequena fila, correspondente somente aos veículos retidos no acesso da avenida Sertório.

A Figura 27 apresenta um comparativo entre o comprimento máximo de fila registrado em cada condição, para os dois sentidos da via.

Figura 27 – Gráficos do comprimento máximo de fila (em km), para o ano de 2017



(fonte: elaborado pela autora)

Observam-se maiores filas no sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, que atingem quase 8 quilômetros para a condição de tempo de içamento de 32 minutos, do cenário 2. No sentido inverso, a mesma condição apresenta um comprimento de fila pouco maior que 5 quilômetros. No cenário 3, as filas formadas na avenida Sertório têm tamanho máximo de 1,5 quilômetros.

6.2 PERÍODO FUTURO (ANO 2027)

Esta subdivisão contém os resultados das simulações de tráfego para o ano de 2027. As análises foram separadas entre: tempo de viagem, que inclui atraso de viagem; volume e velocidade; e tamanho de fila e quantidade de paradas. As discussões são apresentadas na sequência.

6.2.1 Tempo de viagem

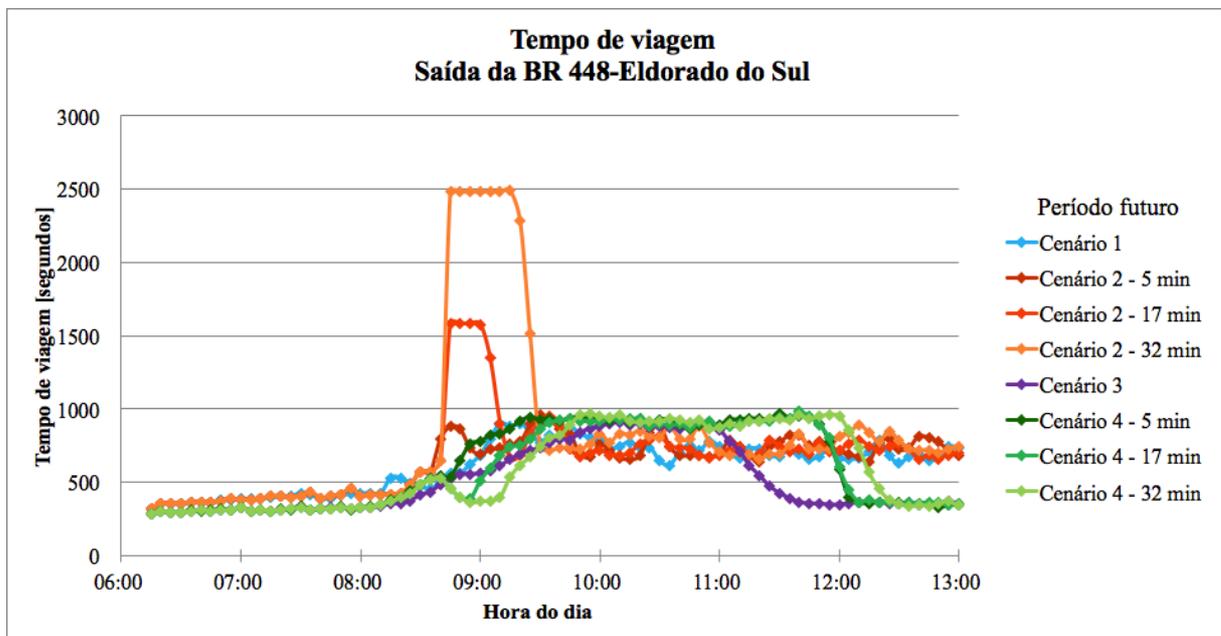
As observações tratam dos dados modelados sobre tempo de viagem e atraso de viagem, nos sentidos Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre. O segmento em que foi coletado o tempo de viagem possui cerca de 8 quilômetros (para veículos que utilizam a atual Ponte do Guaíba) e 7 quilômetros (para veículos que trafegam pela segunda Ponte do Guaíba).

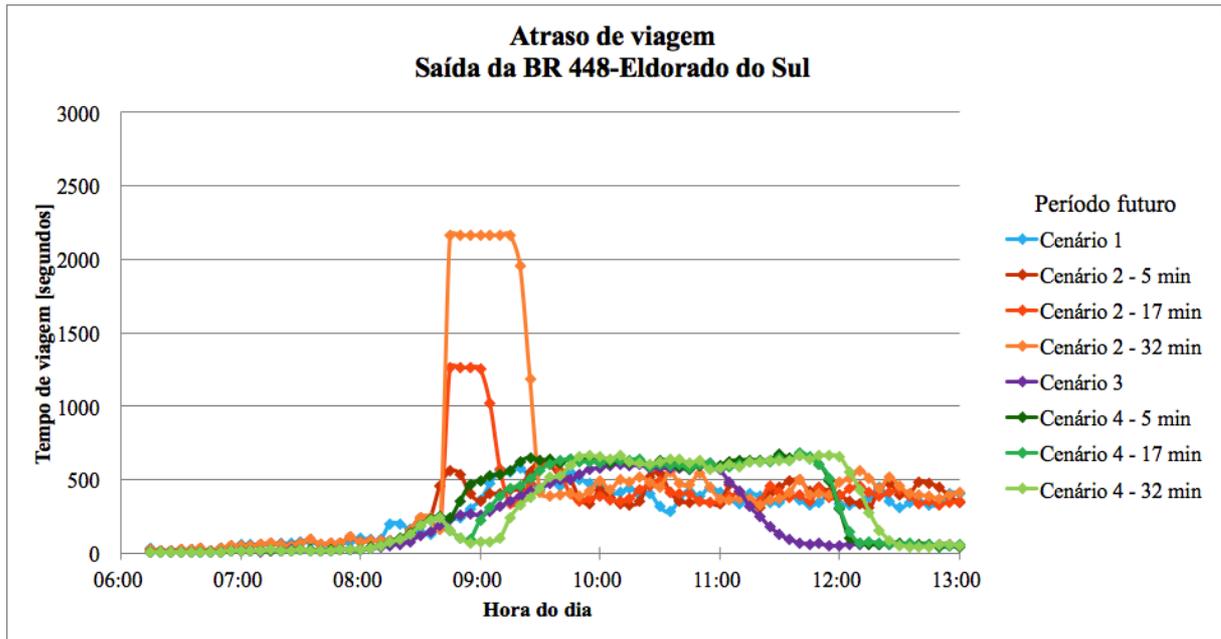
Os resultados das análises são apresentados em gráficos, que contêm o tempo de viagem (em segundos) e o atraso de viagem (em segundos) ocorridos ao longo do dia. Os dados foram agregados a cada cinco minutos e os resultados se encontram nas subdivisões a seguir.

6.2.1.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul

As observações foram feitas para o sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, desde a saída da BR-448 até o município de Eldorado do Sul. Os resultados são encontrados na Figura 28.

Figura 28 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul, em 2027





(fonte: elaborado pela autora)

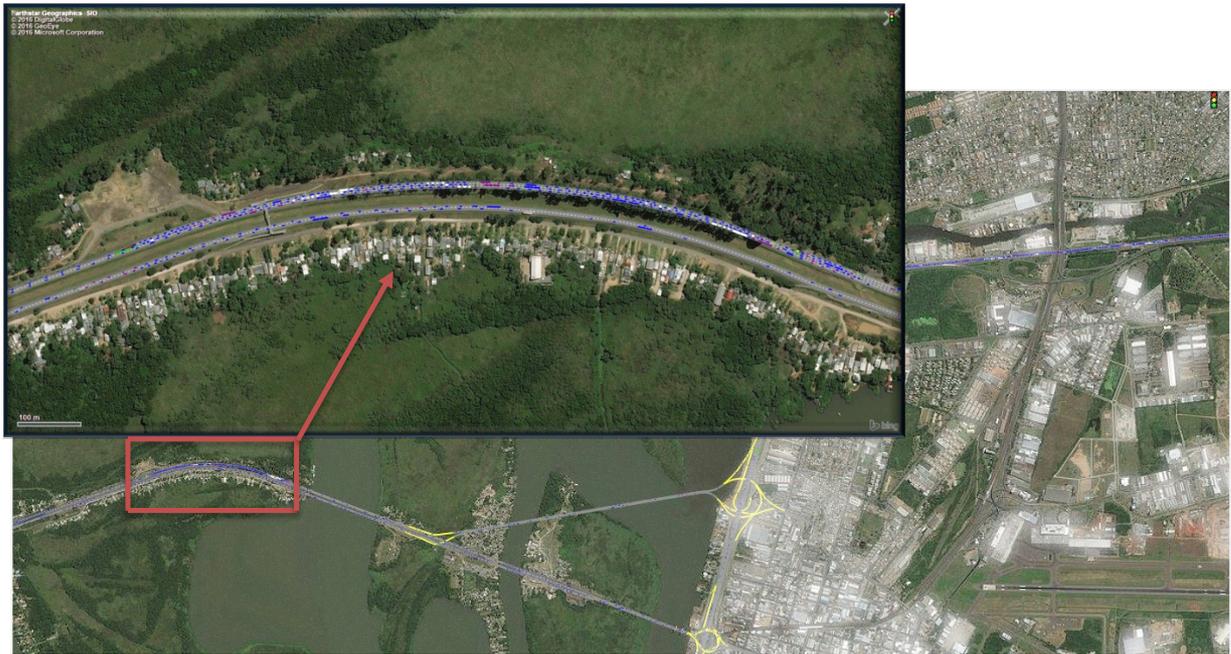
Percebe-se que os gráficos apresentam perturbações maiores para o período futuro, visto que o volume de tráfego na rede viária teve um aumento de 80%. Para o cenário 1, em que não ocorre içamento do vão móvel da ponte, os tempos de viagem variam entre 5 minutos e 14 minutos.

O cenário 2 apresenta um grande pico no momento do içamento do vão móvel da atual ponte. Para a duração mínima do içamento, as viagens chegam a durar quase 15 minutos, gerando um atraso de 9 minutos. Para um içamento de 17 minutos, o máximo tempo de viagem ocorrido foi de 26 minutos, com atraso de 21 minutos. Já para a duração máxima do içamento, o tempo de viagem subiu para mais de 41 minutos e o atraso da viagem atingiu a marca de 36 minutos.

Observa-se que o cenário 3 sofre algumas perturbações no tempo de viagem dos veículos, com pico de 15 minutos e atraso de 10 minutos. O cenário 4, tem perfil semelhante ao observado para o cenário 3. Para os tempos de içamento mínimo, médio e máximo os valores identificados no gráfico são os mesmos: os tempos de viagem atingem 16 minutos e os atrasos, 11 minutos.

As perturbações identificadas nos cenários 3 e 4 são justificadas pela geometria da via. No local da saída da segunda ponte para a BR-116/290, na Ilha dos Marinheiros, a rodovia recebe quatro faixas de rolamento. Próximo a Eldorado do Sul, no início da curvatura horizontal, a pista se estreita para três faixas e, no final da curva, chega a duas faixas de rolamento. Esse estreitamento de pista provoca um gargalo no trecho (Figuras 29 e 30), devido ao grande volume de veículos que chega na região e os conflitos gerados durante as trocas de faixa.

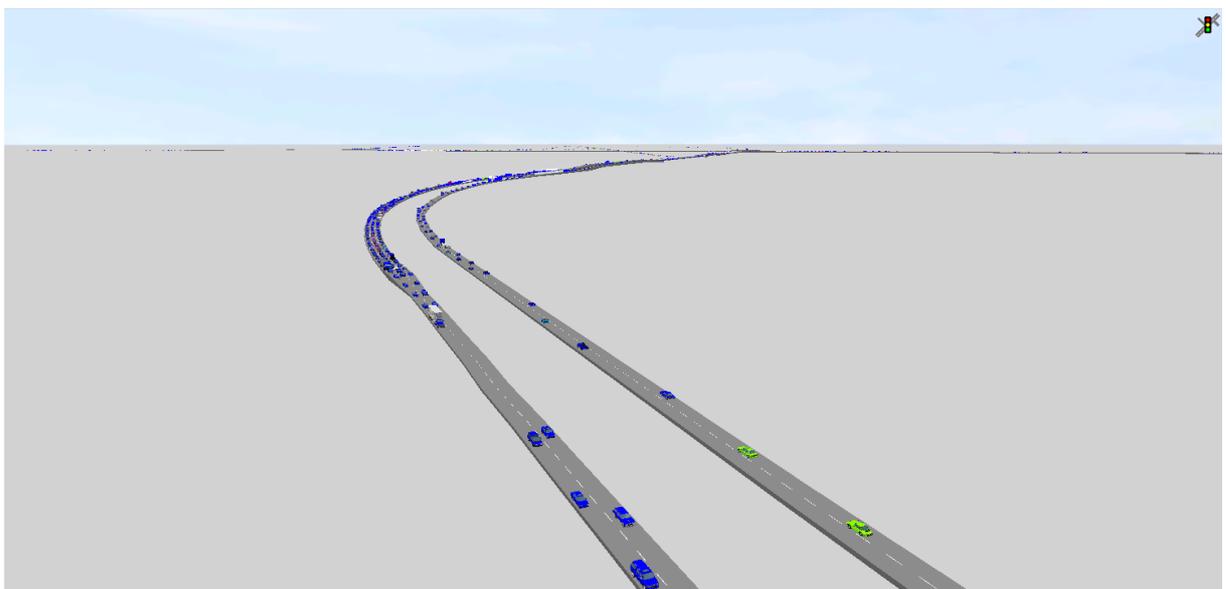
Figura 29 – Geometria do trecho da BR-116/290-RS, em Eldorado do Sul



(fonte: elaborado pela autora)

A imagem mostra o modelo construído no software de microssimulação de tráfego VISSIM e apresenta o detalhamento do segmento da rodovia BR-116/290-RS, em Eldorado do Sul. Nela, vê-se parte do trecho em estudo que contém uma curvatura horizontal. Nesta curva há um estreitamento da pista de quatro faixas de rolamento para três e, mais a frente, para duas faixas.

Figura 30 – Condição do trecho que contém a curvatura horizontal com estreitamento de pista, no horário de pico da manhã, em 2027



(fonte: elaborado pela autora)

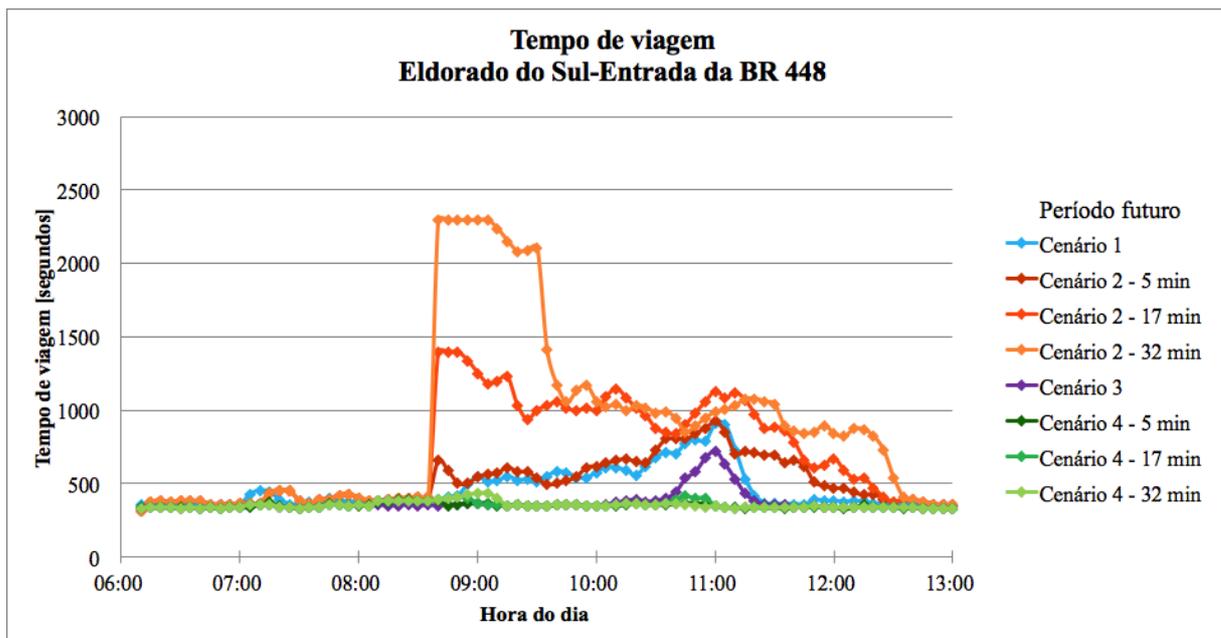
Esta segunda imagem, também retirada do VISSIM, apresenta um segmento da rede viária modelada para o estudo (próximo a Eldorado do Sul). Vê-se a condição do local no horário de pico da manhã, quando ocorre grande circulação de veículos na região e, conseqüentemente, congestionamento na rodovia, devido ao gargalo formado após a implantação da segunda ponte. Percebe-se que os veículos ficam retidos na via, antes do estreitamento da pista.

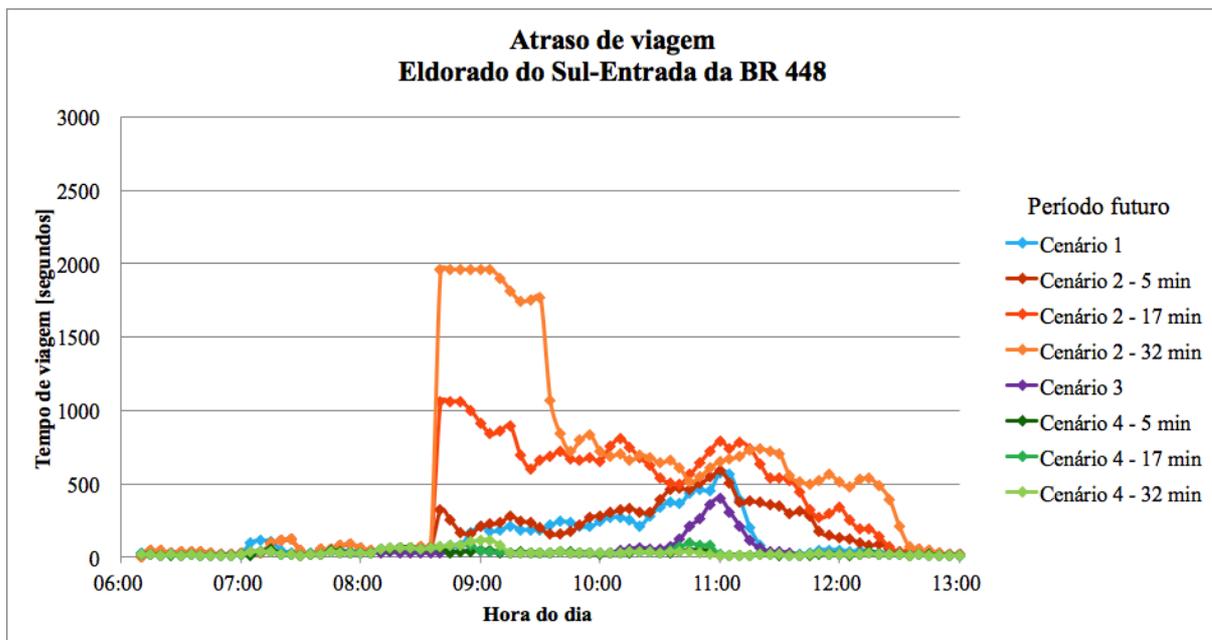
Ressalta-se que a modelagem da via foi construída a partir do projeto geométrico fornecido pela construtora Queiroz Galvão e que é esta geometria que está sendo implantada na prática. Ainda, é necessário dizer que esse problema não diz respeito diretamente à segunda Ponte do Guaíba, mas sim a problemas no estudo do projeto escolhido. Portanto, se não houvesse o estreitamento da pista logo no fim da curvatura horizontal, não haveria este gargalo, bem como o aumento no tempo das viagens e seus atrasos.

6.2.1.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre

Além disso, as análises também foram feitas para viagens entre Eldorado do Sul e Porto Alegre. Os gráficos da Figura 31 apresentam a duração dos tempos de viagem dos veículos ao longo do dia e os atrasos que ocorreram nessas viagens. O trajeto contempla o município de Eldorado do Sul até a entrada para a rodovia BR-448.

Figura 31 – Resultados modelados do tempo de viagem e atraso de viagem, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, em 2027





(fonte: elaborado pela autora)

No sentido de tráfego de Eldorado do Sul a Porto Alegre, observou-se um tempo de viagem de 6 minutos para o cenário 1, com pico de 15 minutos, que provoca um atraso de até 8,5 minutos. Nos cenários 3 e 4 os tempos de viagem se mantêm constantes em torno 6 minutos e não ocorrem atrasos nas viagens.

Os grandes problemas ocorrem com o segundo cenário. Em menor escala para a condição de tempo de içamento mínimo, o tempo de viagem atinge o valor máximo de 15 minutos. Para a condição de duração média do içamento, o pico do tempo de viagem é verificado no momento do içamento e ocorre por 10 minutos, além de levar cerca de quatro horas para se dissipar. O tempo de viagem máximo observado é de 23 minutos e o atraso chega a 18 minutos.

A condição de duração de içamento máximo apresenta grandes perturbações nos perfis de tempo e atraso de viagem. No momento do içamento do vão móvel da ponte, o tempo de viagem sobe para 38 minutos e o atraso para 33 minutos. As perturbações ao tráfego de veículos são sentidas mais de quatro horas após o início do içamento.

Dessa forma, pode-se concluir que com a implantação da nova Ponte do Guaíba os tempos de viagem não sofrem uma elevação, quando do içamento do vão móvel da atual ponte. Ao passo que os usuários da rodovia têm uma alternativa ao trecho obstruído. Ou seja, não há atrasos nas viagens, mesmo quando ocorre o fechamento da atual ponte à passagem de veículos.

6.2.2 Volume e velocidade

Como já mencionado, a análise dos dados de contadores inseridos no modelo permitiu a construção de perfis de volume e velocidade médios e da relação fluxo-velocidade. As análises foram separadas para os dois sentidos de tráfego: Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre. Os resultados são discutidos nas subdivisões apresentadas na sequência.

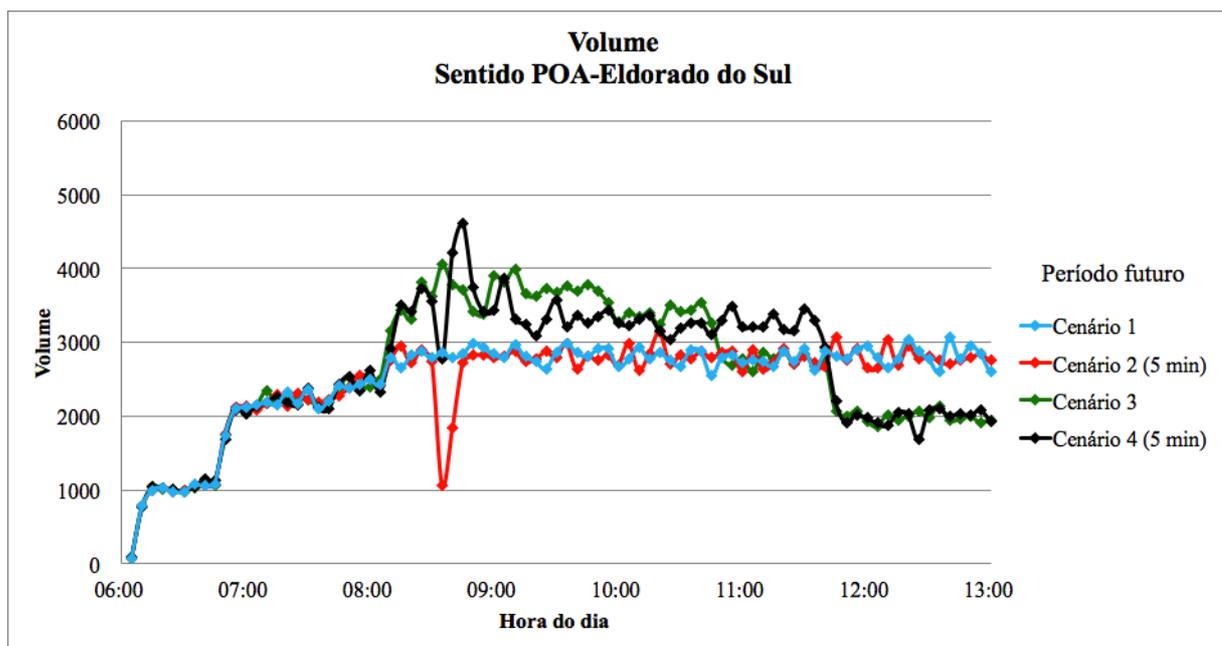
6.2.2.1 Sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul

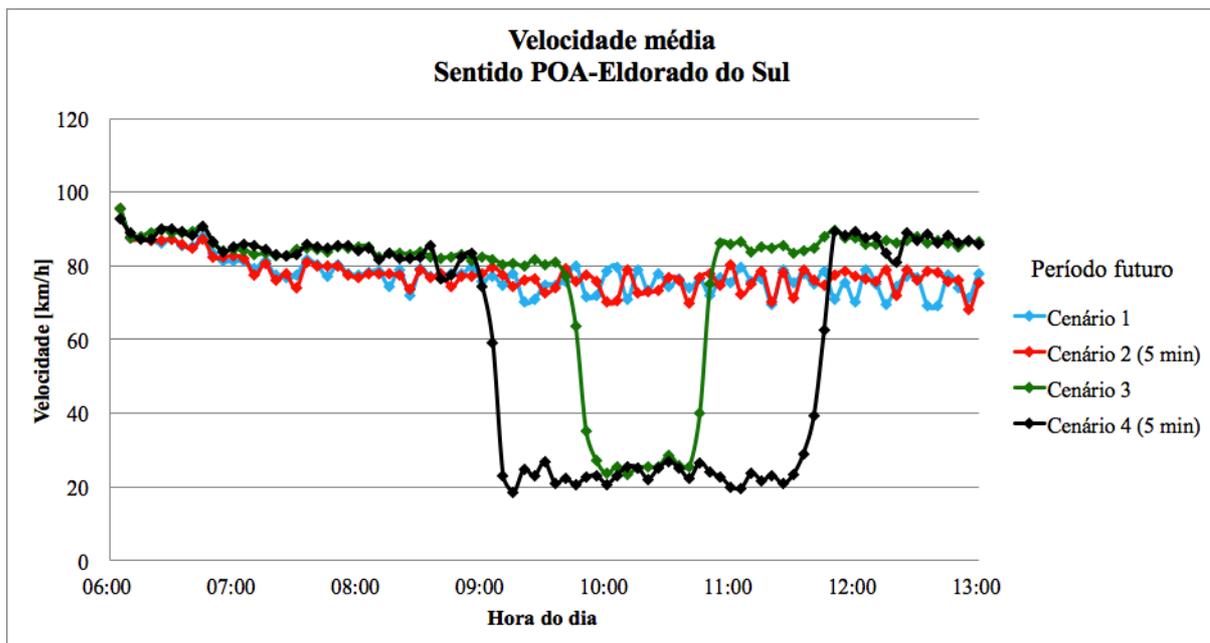
Esta seção apresenta os resultados obtidos para o sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul. As análises foram subdivididas para as condições de diferentes tempos de duração do içamento, a fim de serem realizadas observações mais detalhadas dos efeitos desses eventos na rede viária.

6.2.2.1.1 Tempo de içamento mínimo (5 minutos)

Os gráficos das análises de volume e velocidade (em km/h) para o tempo mínimo de duração do içamento (5 minutos) são apresentados na Figura 32. Foram comparados os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego: (i) apenas com a atual ponte operando ou fechada ao tráfego; e (ii) com as duas pontes operando em conjunto ou com a ponte do vão móvel içada.

Figura 32 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores





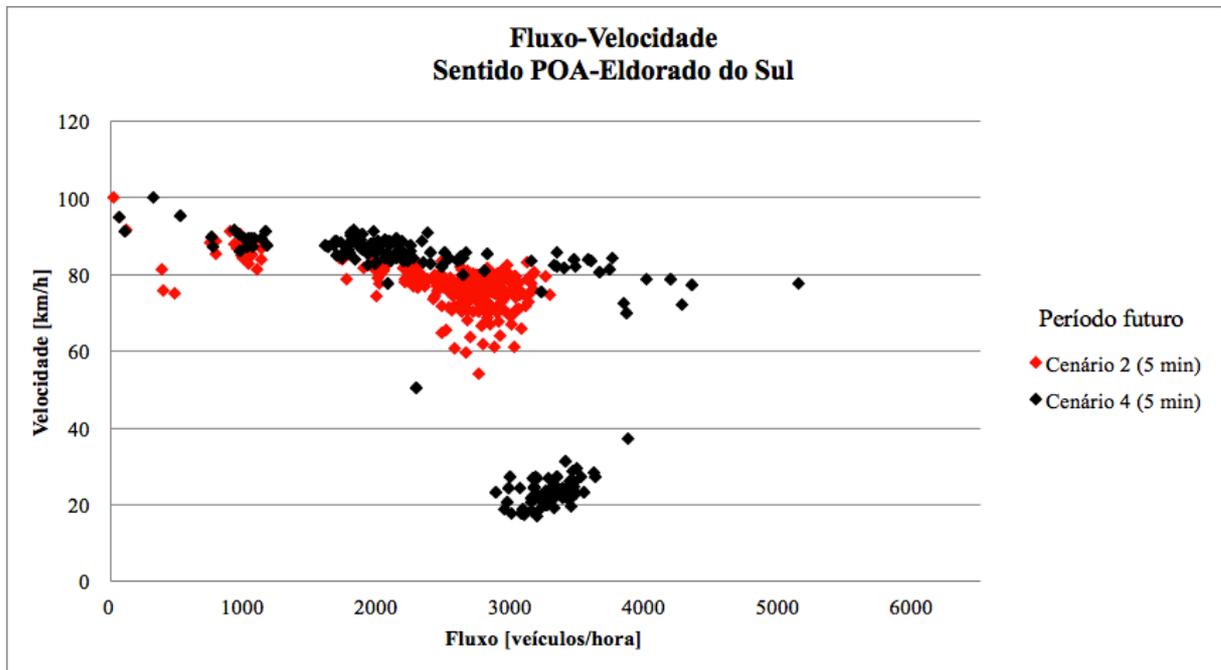
(fonte: elaborado pela autora)

Os cenários 1 e 2 apresentam perfis de volume semelhantes ao do cenário 1. Porém se observa uma queda significativa no volume de veículos deste último, para 1100 veículos por hora, devido ao içamento do vão móvel da atual ponte. Os cenários 3 e 4 apresentam maior volume de tráfego, em razão da implantação da nova ponte, que aumenta a vazão de veículos. O cenário 4 sofre uma perturbação devido aos veículos que ficam parados no acesso da avenida Sertório, no içamento. Após, atinge 4600 veículos por hora, quando da passagem destes pela rodovia.

O perfil de velocidades dos cenários 1 e 2 apresenta pouca oscilação, na faixa de 68 a 87 km/h, e média de 75 km/h. Nos cenários 3 e 4 são verificadas velocidades maiores, de até 93 km/h (já que a nova ponte é menos extensa que a atual). Porém há uma queda brusca nos perfis para 18 km/h, e a média passa a ser 23 km/h. O regime de *breakdown* que ocorre neste momento se deve ao estreitamento de pista próximo a Eldorado do Sul, discutido na seção anterior, que provoca grandes congestionamentos na rodovia, em especial, na atual Ponte do Guaíba.

A Figura 33 apresenta os perfis de fluxo-velocidade para os cenários 2 e 4, em que ocorre o içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba durante 5 minutos. O perfil de fluxo-velocidade do cenário 1 é semelhante ao cenário 2; e a relação fluxo-velocidade para o cenário 3 é semelhante ao cenário 4.

Figura 33 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



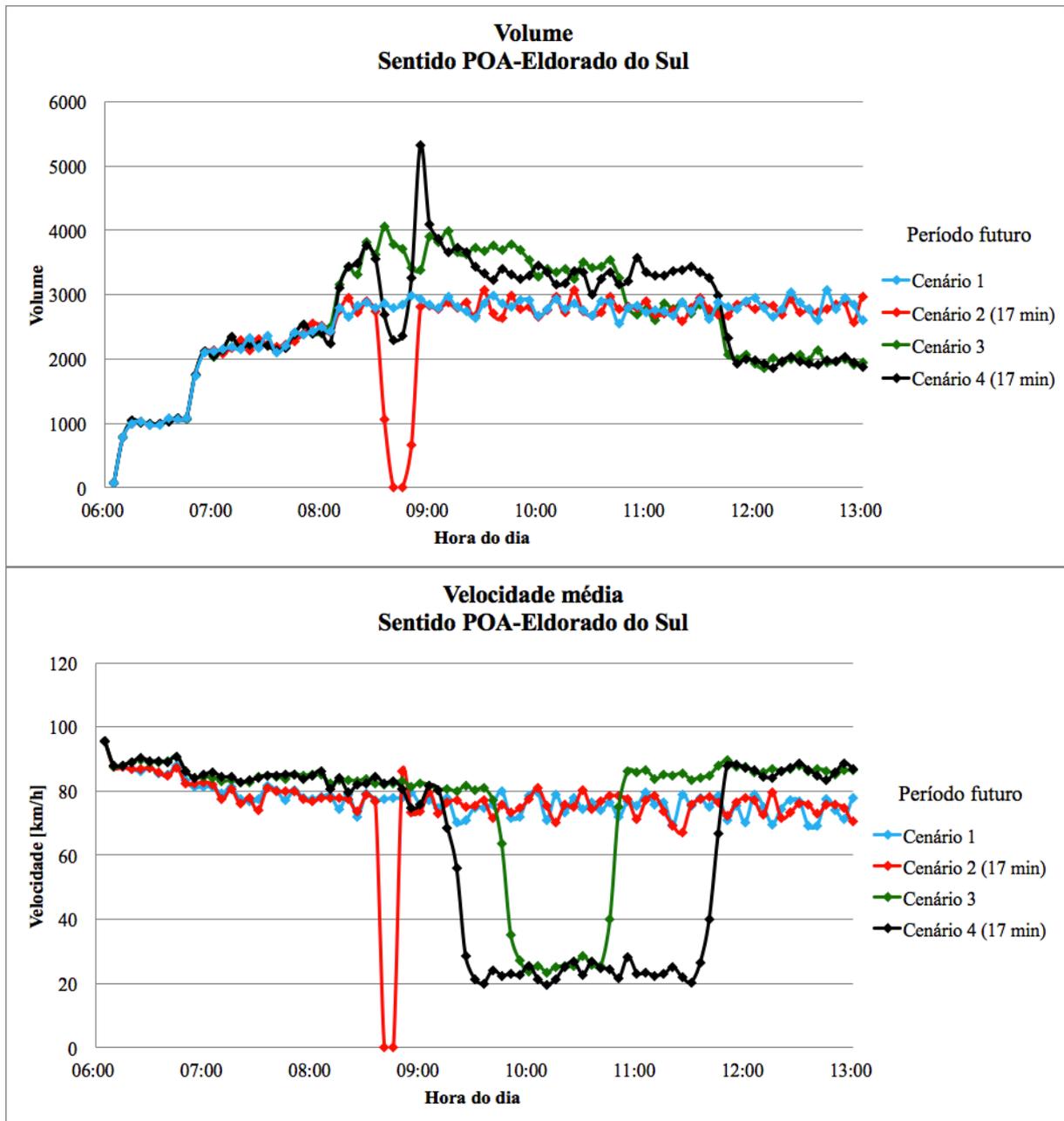
(fonte: elaborado pela autora)

O cenário 4 contém pontos com velocidades muito baixas, que caracterizam um nível de serviço baixo para a rodovia, devido ao congestionamento que ocorre no trecho próximo a Eldorado do Sul. A via registra um volume de até 5100 veículos por hora.

6.2.2.1.2 Tempo de içamento médio (17 minutos)

Este item apresenta os resultados de volume e velocidade (em km/h) para o tempo médio de duração do içamento (17 minutos), bem como os perfis de fluxo-velocidade para os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego. As Figuras 34 e 35 apresentam as análises.

Figura 34 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

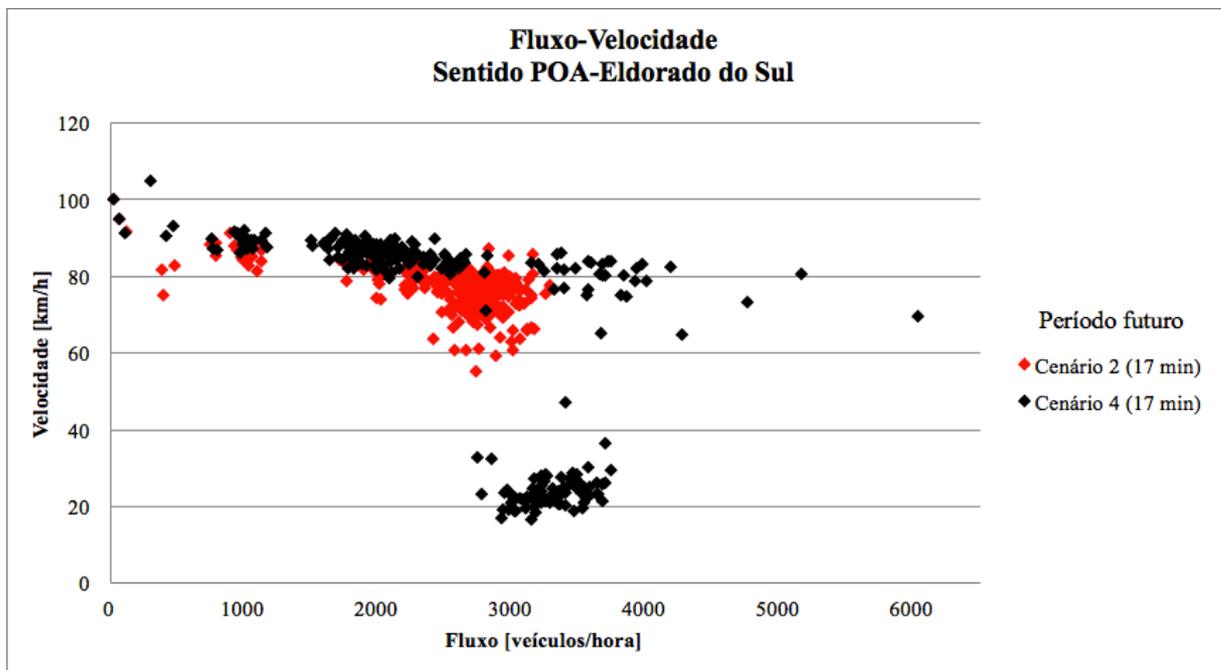
Os perfis de volume para os cenários 1 e 2 são semelhantes, com valor máximo de 3100 veículos por hora. O cenário 2 contém uma queda já prevista no perfil, no momento do içamento do vão móvel. O terceiro cenário apresenta um volume máximo de 4100 veículos por hora. No cenário 4 há uma queda para 2300 veículos por hora, seguida de um salto para 5300 veículos por hora. A grande variação no volume registrado se deve ao içamento do vão móvel da atual ponte e aos veículos que formam filas no acesso da avenida Sertório, aguardando a reabertura do trecho.

As velocidades registradas nos cenários 1 e 2 são semelhantes à observadas na Figura 32. Com a ressalva de que o segundo cenário apresenta uma maior redução no valor da velocidade. Novamente, observa-se que os perfis de velocidade dos cenários 3 e 4 apresentam valores superiores às demais condições, que variam entre 80 e 96 km/h, pelo segmento da nova ponte ser menor do que o trecho da atual.

Entretanto, o grande volume de veículos trafegando no trecho somado ao estreitamento da pista, próximo a Eldorado do Sul, provocam uma grande redução nas velocidades dos cenários 3 e 4. O regime de *breakdown* identificado no segmento, opera com velocidade média de 24 km/h e atinge o valor mínimo de 19 km/h.

O gráfico da Figura 35 apresenta a relação de fluxo-velocidade para os cenários 2 e 4, em que ocorre o içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba por 17 minutos. Além disso, considerou-se o perfil de fluxo-velocidade do cenário 1 semelhante ao cenário 2; e a relação fluxo-velocidade para o cenário 3 semelhante ao cenário 4, expostos na Figura 35.

Figura 35 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



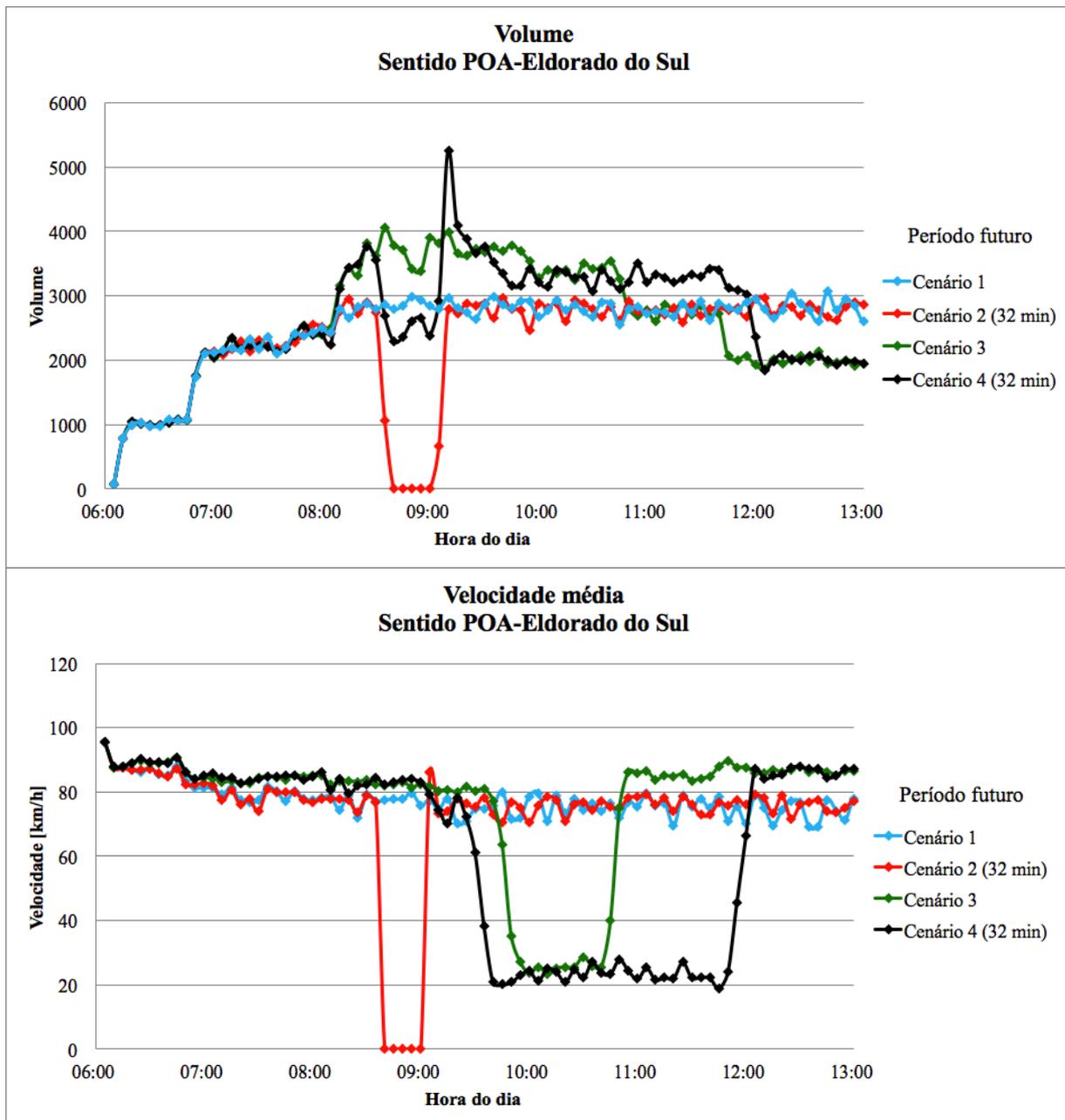
(fonte: elaborado pela autora)

No cenário 2 o volume atinge valores próximos a 3100 veículos por hora. Para o quarto cenário, verifica-se que o fluxo de veículos registra pontos com volume de mais de 6 mil veículos por hora.

6.2.2.1.3 Tempo de içamento máximo (32 minutos)

Os resultados da análise de dados sobre volume e velocidade (em km/h) para o tempo máximo de duração do içamento (32 minutos) são expostos na Figura 36. Para tanto, compararam-se os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego: (i) apenas com a atual ponte operando ou fechada ao tráfego; e (ii) com as duas pontes operando em conjunto ou com atual obstruída.

Figura 36 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



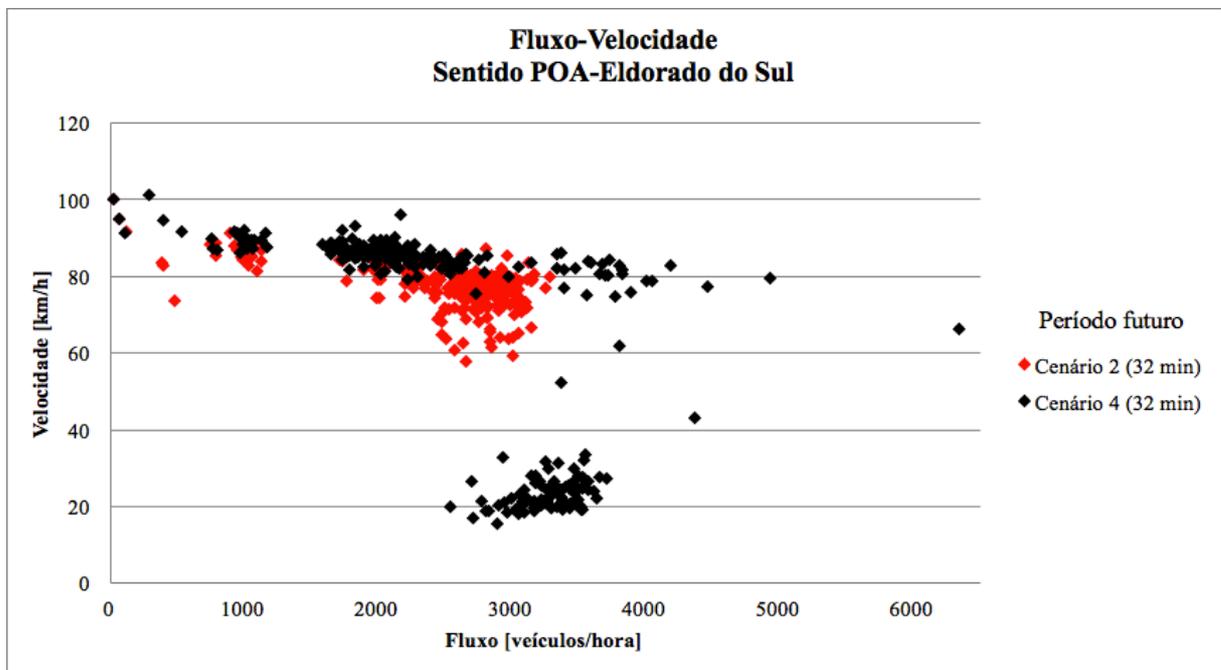
(fonte: elaborado pela autora)

São apresentados os mesmos perfis de volume e velocidade descritos anteriormente (na Figura 35) para os cenários 1 e 3. Somente os cenários 2 e 4 se alteraram devido ao aumento da duração do tempo de içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba. O cenário 2, com perfis semelhantes aos do cenário 1, apresenta redução em seus valores quando a ponte está obstruída.

O quarto cenário apresenta perfis parecidos com os do cenário 3, com algumas ressalvas. Observa-se no cenário 4 um perfil de volume mais variável, apresentando uma redução para 2300 e uma elevação para 5200 veículos por hora (entre o fechamento e a abertura da ponte ao tráfego). No regime de *breakdown*, registra-se uma velocidade média de 24 km/h, com mínimo de 19 km/h, em razão do estreitamento da BR-166/290 em Eldorado do Sul.

A relação de fluxo-velocidade apresentada na Figura 37 revela o que acontece nos cenários 2 e 4 (com tempo de içamento de 32 minutos). O perfil de fluxo-velocidade do cenário 1 é semelhante ao cenário 2 e a relação fluxo-velocidade para o cenário 3 é parecida com o cenário 4, apresentados na Figura 37.

Figura 37 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

O cenário 2 atinge um volume de até 3 mil veículos por hora, inferior ao máximo registrado no cenário 4, de 6400 veículos por hora. Isto pode ser justificado pela implantação da nova Ponte do Guaíba, que provoca um aumento significativo no fluxo de veículos no trecho em estudo.

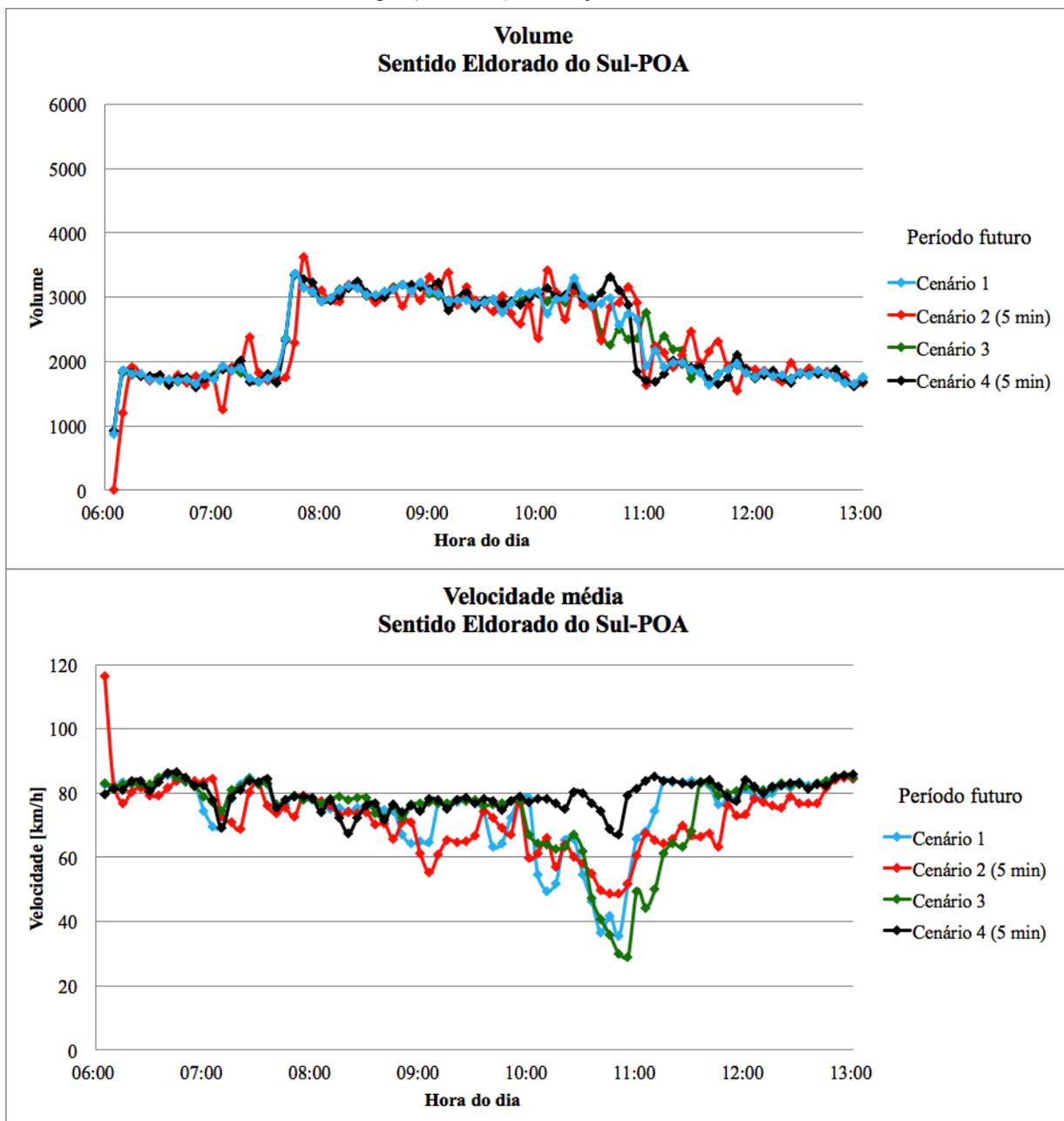
6.2.2.2 Sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre

A seção apresenta os resultados para o sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre. A seguir, as análises foram subdivididas para as condições de diferentes tempos de duração do içamento.

6.2.2.2.1 Tempo de içamento mínimo (5 minutos)

A Figura 38 apresenta os resultados das análises de volume e velocidade (em km/h) para o tempo mínimo de duração do içamento, para a condição de içamento de 5 minutos.

Figura 38 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



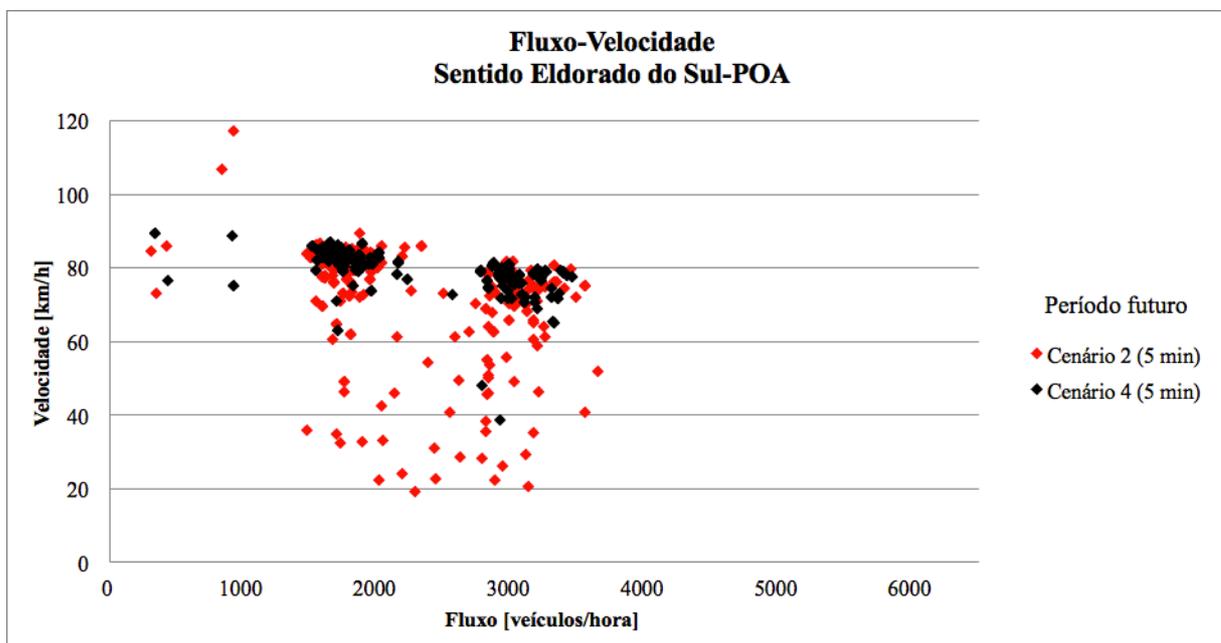
(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se que os perfis de volume para os quatro cenários são semelhantes entre si. No entanto, o cenário 2 apresenta uma maior variabilidade, pois sofre as perturbações do içamento do vão móvel da atual Ponte do Guaíba.

Os perfis de velocidade também apresentam características semelhantes. Os cenários 1 e 2 têm oscilações significativas no perfil na faixa de 49 e 84 km/h, e mínimo de 36 km/h. O cenário 3 têm um perfil de velocidades praticamente constante, com média de 77 km/h, porém com uma queda para 29 km/h. E o cenário 4 apresenta um perfil semelhante ao 3, que varia de 74 a 86 km/h, com queda para 67 km/h e média de 77 km/h. A redução na velocidade dos cenários 3 e 4 indicam que o trecho entra em regime de *breakdown*.

A Figura 39 apresenta os perfis de fluxo-velocidade para os cenários 2 e 4, para o tempo mínimo de içamento do vão móvel da atual ponte (igual a 5 minutos). Os perfis de fluxo-velocidade dos cenários 1 e 3 são semelhantes ao do cenário 2, na Figura 39.

Figura 39 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 5 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



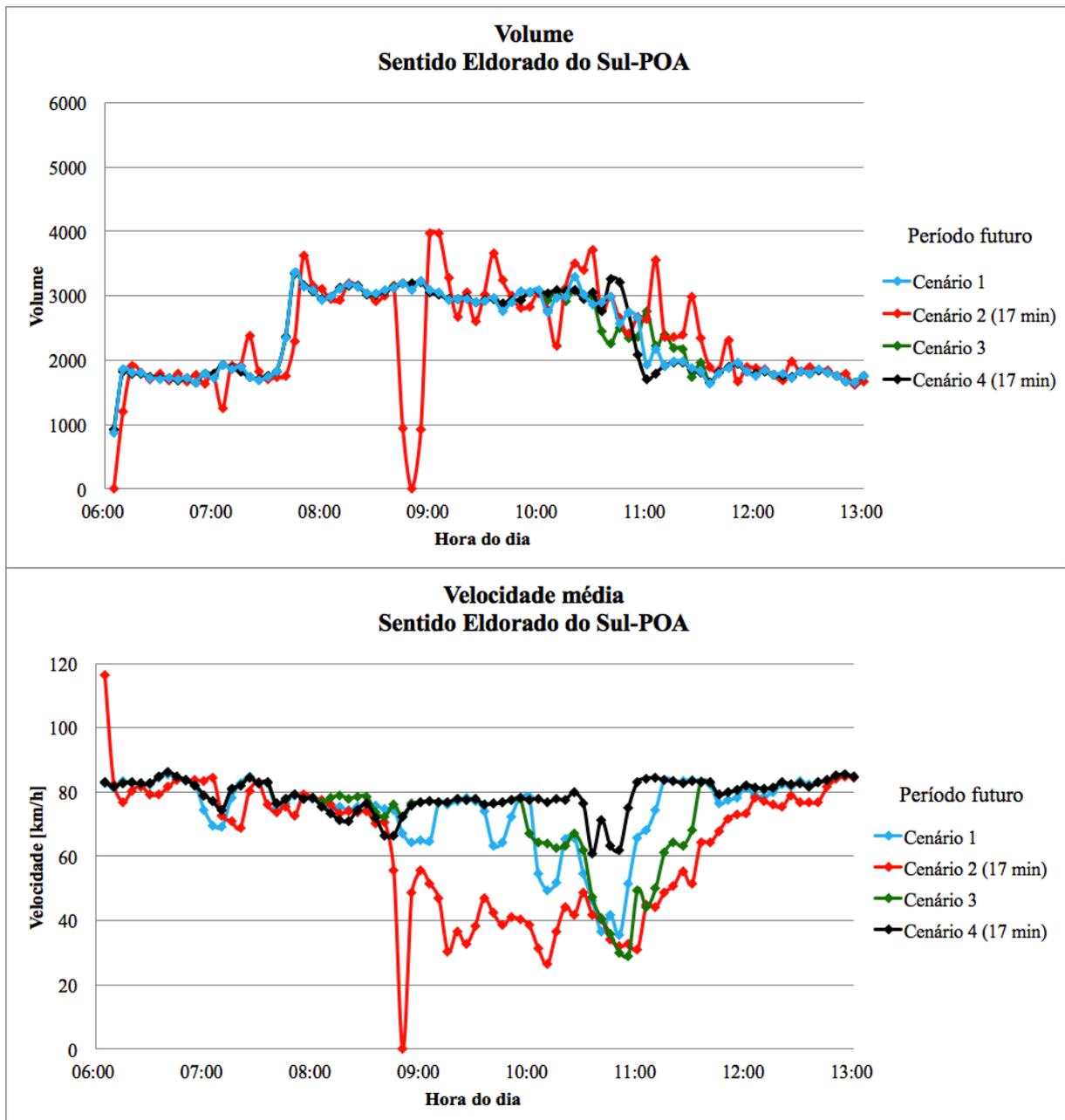
(fonte: elaborado pela autora)

O perfil de fluxo-velocidade para o cenário 2 apresenta um volume máximo observado de 3600 veículos por hora. Já o cenário 4 apresenta uma relação fluxo-velocidade com um máximo de 3400 veículos por hora, e um bom nível de serviço.

6.2.2.2.2 Tempo de içamento médio (17 minutos)

Esta subdivisão discute os resultados obtidos a respeito do volume e da velocidade (em km/h) para o tempo médio de duração do içamento (17 minutos). As Figuras 4 e 41 apresentam os gráficos que comparam os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego, com tempo de içamento médio de 17 minutos.

Figura 40 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



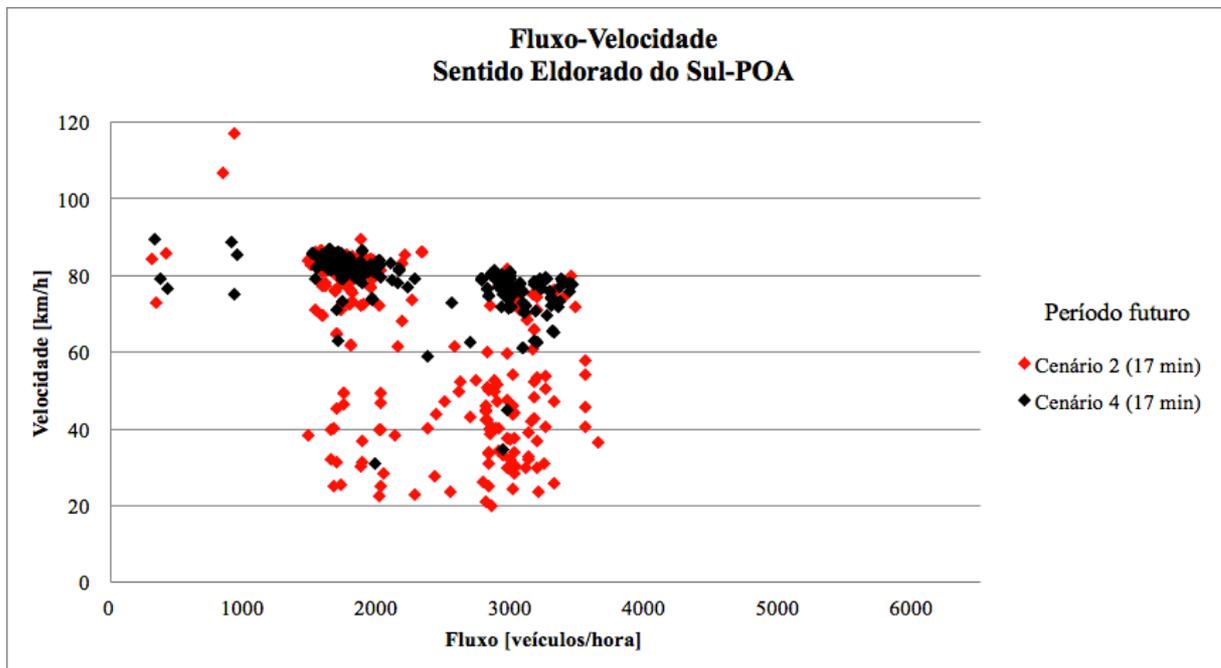
(fonte: elaborado pela autora)

Os perfis de volume dos cenários 1, 3 e 4 seguem semelhantes ao que fora apresentado na Figura 38. Enquanto o cenário 2 apresenta um perfil mais variável, com uma queda no volume (no momento do içamento do vão móvel da ponte) e um posterior aumento para 4 mil veículos por hora, seguidos da oscilação entre vales e picos. O cenário 4, no qual também foi simulada a condição de içamento, não apresentou mudanças significativas em seu volume, visto que os veículos se dirigiram à segunda ponte quando a atual se encontrava bloqueada.

Para os perfis de velocidade dos cenários 1, 3 e 4 também não foram observadas alterações significativas daquelas verificadas na Figura 38. Apenas o cenário 2 apresentou uma queda maior de velocidade, já esperada em razão do içamento da ponte do vão móvel.

Como fora anteriormente apresentado na Figura 39, a Figura 41 apresenta os perfis de fluxo-velocidade para os cenários 2 e 4, com o tempo de duração médio do içamento do vão móvel. Os perfis de fluxo-velocidade dos cenários 1 e 3 são semelhantes ao cenário 2.

Figura 41 – Gráfico de perfil fluxo-velocidade para o tempo de içamento de 17 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



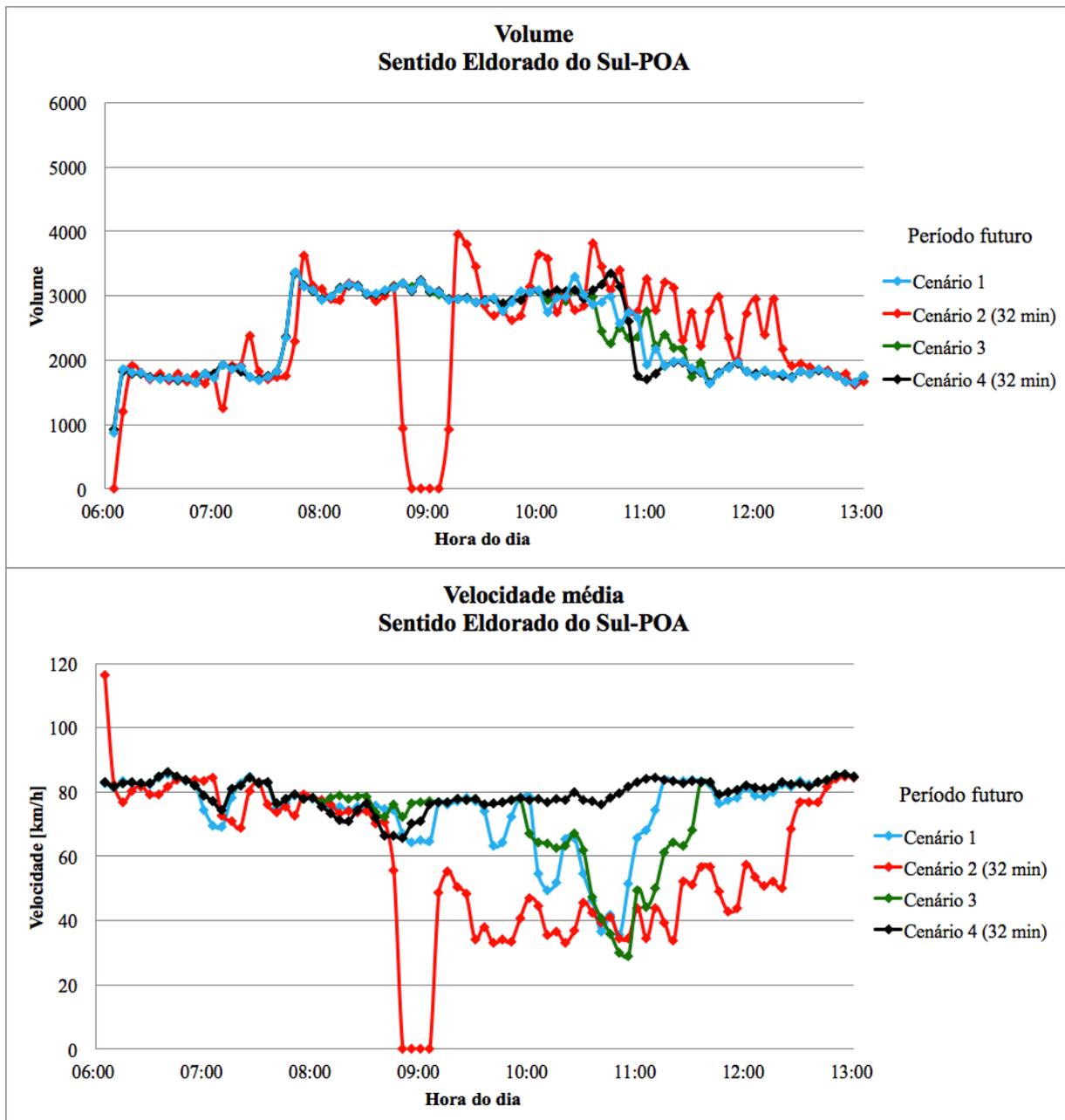
(fonte: elaborado pela autora)

O cenário 2 apresenta pontos com velocidades baixas, devido ao bloqueio à passagem de veículos sobre a atual ponte. O cenário 4 apresenta uma boa relação fluxo-velocidade, pois a implantação da segunda ponte permite o fluxo ininterrupto de veículos no trecho. O volume máximo atingido é de 3600 veículos por hora.

6.2.2.2.3 Tempo de içamento máximo (32 minutos)

Neste item são apresentadas as análises realizadas a respeito do volume, da velocidade (em km/h) e da relação fluxo-velocidade para os quatro cenários-base modelados no simulador de tráfego, para o tempo máximo de duração do içamento (32 minutos). Os gráficos com os resultados destas análises são apresentados nas Figuras 42 e 43.

Figura 42 – Gráficos de volume e velocidade para o tempo de içamento de 32 minutos, sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre (ano 2027), do conjunto 2 de contadores



(fonte: elaborado pela autora)

Novamente os perfis de volume e velocidade apresentam valores semelhantes aos apresentados na Figura 38, para os cenários 1, 3 e 4. O cenário 2 apresentou uma redução em seu volume (que atinge o valor zero), seguido de um aumento para 4 mil veículos por hora. Ainda, seu perfil sofreu alterações devido ao içamento do vão móvel até o fim da manhã. No caso do perfil de velocidade do cenário 2, percebe-se uma queda para o valor zero no momento do fechamento da atual ponte ao tráfego de veículos e a velocidade se mantém baixa, com média de 38 km/h – quando o trecho em estudo se encontra em regime de *breakdown*.

O gráfico das relações entre fluxo e velocidade para os cenários 2 e 4 (com duração do içamento de 32 minutos) é semelhante ao apresentado na Figura 41. E, para os cenários 1 e 3, os perfis de fluxo-velocidade são semelhantes ao cenário 2, exposto na mesma figura.

6.2.3 Filas e paradas

Foram feitas observações sobre o comprimento de fila e a quantidade de paradas ocorridas no vão móvel da atual ponte e acessos, para os dois sentidos da via: Porto Alegre-Eldorado do Sul e Eldorado do Sul-Porto Alegre. Os resultados encontram-se na Tabela 6 e na Figura 43.

Tabela 6 – Valores da quantidade de paradas na rodovia e do comprimento de fila para o ano de 2027

Período futuro (ano 2027)					
Sentido		Porto Alegre-Eldorado do Sul		Eldorado do Sul-Porto Alegre	
		Quantidade de paradas	Comprimento de fila [km]	Quantidade de paradas	Comprimento de fila [km]
Cenário 1	Sem içamento	19430	3,812	0	0
	Içamento 5 min	38207	4,510	676811	8,794
Cenário 2	Içamento 17 min	97025	9,749	873799	10,023
	Içamento 32 min	111941	10,022	1058421	10,023
Cenário 3	Sem içamento	72256	4,695	0	0
	Içamento 5 min	16266	1,873	17430	1,154
Cenário 4	Içamento 17 min	36121	2,605	45872	1,739
	Içamento 32 min	37713	4,450	103456	3,068

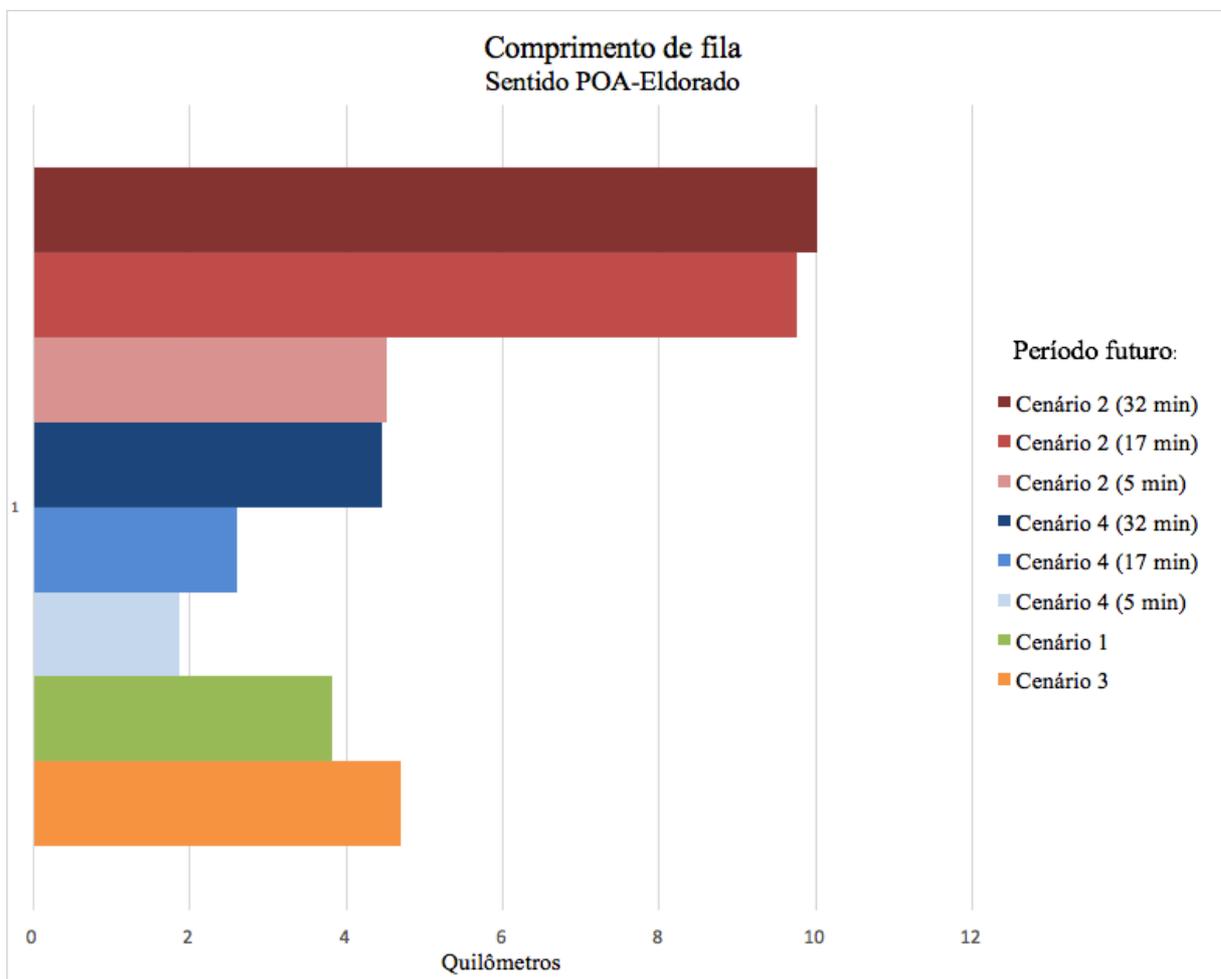
(fonte: elaborado pela autora)

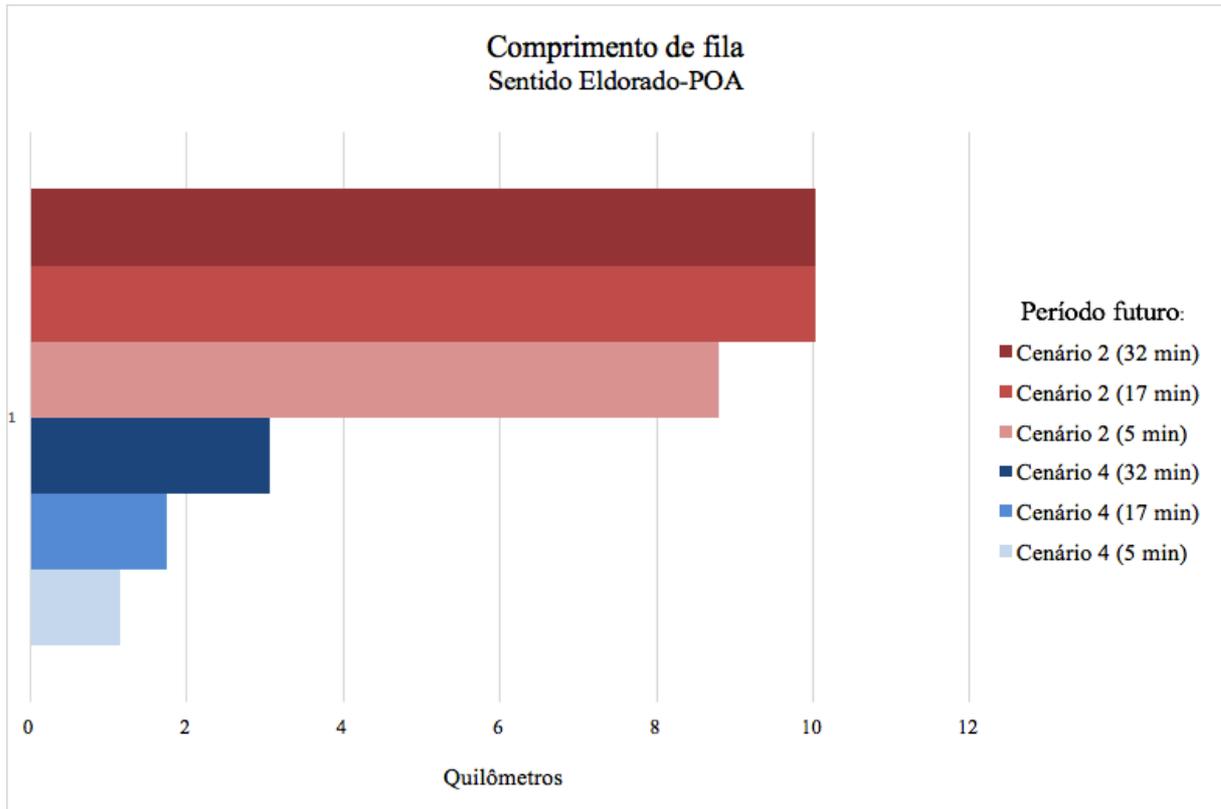
A tabela apresenta os resultados obtidos para todas as condições simuladas com a demanda do período futuro (ano 2027). Observa-se um aumento no comprimento das filas e na quantidade

de paradas sobre a via, devido ao grande aumento do volume de tráfego na via – exceto no sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, para os cenários 1 e 3.

Ao comparar-se os cenários 2 e 4, em que ocorre o içamento do vão da atual ponte, percebe-se que a implantação da segunda ponte provoca uma redução significativa no tamanho das filas, já que os veículos se dirigem a ela quando a outra via está obstruída. Para o tempo de içamento médio de 17 minutos e sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre, por exemplo, a fila cai de 10 quilômetros para 1,7 quilômetros (o que representa uma redução de 83%). Observa-se que as filas também são maiores quanto maior a duração do içamento do vão móvel da atual ponte.

Figura 43 – Gráficos do comprimento máximo de fila (em km), para o ano de 2027





(fonte: elaborado pela autora)

Os gráficos mostram um comparativo do comprimento das filas formadas para os dois sentidos de tráfego da via. Vê-se que as filas têm tamanho equivalentes para o cenário 2 e para os demais cenários as filas são maiores no sentido Porto Alegre-Eldorado do Sul. Isto deve-se ao fato de que o volume de demanda para 2027 é muito elevado, o que gera pontos de congestionamento, onde a via fica em regime de *breakdown*. Este sentido ainda sofre perturbações do estreitamento de pista em Eldorado do Sul e as filas chegam a atingir 10 quilômetros.

6.3 DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos através das simulações de tráfego permitiu confirmar que o gargalo existente hoje no segmento da rodovia BR-116/290 se deve, exclusivamente, ao içamento do vão móvel da Ponte do Guaíba, para ambos os sentidos de tráfego. A rede viária em estudo não apresentou aumentos no tempo de viagem e no volume de tráfego, bem como diminuição da velocidade e do nível de serviço da via quando a ponte se encontrava aberta ao tráfego de veículos. Entretanto, no período em que estava obstruída, a via entrou em regime de *breakdown*.

A implantação da segunda Ponte do Guaíba promove uma alternativa ao fluxo de veículos que necessitam atravessar a BR-116/290, quando esta se encontra fechada. Os veículos não vão ter que aguardar o fim do içamento para seguir viagem, ao passo que poderão se dirigir à nova ponte para cumprir sua trajetória, sem interrupções em sua viagem. Os tempos de viagem identificados nas condições da via com a segunda ponte operando foram bem menores do que os anteriormente observados, somente com a atual. Esta redução se deve, em grande parte, à diferença entre o comprimento dos trechos das duas pontes, de cerca de 1 quilômetro.

Entretanto, no período futuro (ano de 2027) haverá um incremento na demanda de tráfego da rede viária de aproximadamente 80%, o que provocará uma saturação da rede em estudo. Observou-se que a segunda ponte trará muitos benefícios para o trecho, como: diminuição do tempo de viagem e no atraso de viagem; aumento da velocidade operacional e menor variabilidade nos perfis de velocidade e volume; redução da quantidade de paradas e do comprimento de fila; e, ainda maior confiabilidade ao sistema de tráfego.

Uma ressalva deve ser feita a respeito do sentido de tráfego de Porto Alegre a Eldorado do Sul, que apresenta um aumento no volume e tempo de viagem e, também, uma queda no perfil de velocidades quando da implantação da nova ponte. A razão para a via entrar em regime de *breakdown* consiste em um problema de projeto. Isto é, logo após a união das duas pontes, a pista contém quatro faixas de rolamento, se estreita para três e, posteriormente, para duas faixas ao final da curva horizontal da rodovia, em Eldorado do Sul. Esta condição provoca um aumento no conflito de veículos, além da diminuição da capacidade da via.

Observa-se, no entanto, que a nova ponte melhora o fluxo de veículos no trecho em estudo. O problema observado se deve apenas a uma peculiaridade no projeto geométrico da mesma, quando da incorporação do novo empreendimento à rede viária existente.

Outra questão importante a ser levantada se deve às hipóteses adotadas. Considerou-se que os veículos oriundos de Porto Alegre à atual Ponte do Guaíba, pela avenida Sertório, ficariam aguardando a reabertura da ponte ao tráfego durante o içamento do vão móvel, visto que a via não apresenta atualmente uma ligação direta com o projeto da segunda ponte. Para essa hipótese foi verificada uma redução de até 83% no comprimento da fila. Porém, acredita-se que com a implantação da nova ponte haverá informações e sinalização na avenida para que os usuários utilizem outra rota para acessá-la. Dessa forma, não haverá formação de filas neste sentido.

Por fim, a Tabela 7 apresenta o resumo dos tempos de viagem verificados na análise de dados.

Tabela 7 – Resumo dos tempos de viagem dos dados simulados

		Tempo de viagem (minutos)							
		Período atual (ano 2017)				Período futuro (ano 2027)			
		Sentido POA-Eldorado		Sentido Eldorado-POA		Sentido POA-Eldorado		Sentido Eldorado-POA	
Cenário	Tempo de içamento	médio	máximo	médio	máximo	médio	máximo	médio	máximo
1	-	6	7	6	6	10	15	7	15
2	5 minutos	6	11	6	9	11	15	11	15
	17 minutos	8	22	7	22	11	26	8	23
	32 minutos	10	37	9	37	13	41	13	38
3	-	5	5	6	6	8	15	6	12
4	5 minutos	5	5	6	6	9	16	6	6
	17 minutos	5	7	6	6	9	16	6	7
	32 minutos	5	8	6	6	9	16	6	7

(fonte: elaborado pela autora)

Conforme se observa na tabela, a implantação da segunda Ponte do Guaíba provoca uma redução de até 78% no tempo de viagem dos veículos. A maior diferença é constatada justamente na condição mais crítica modelada: quando o içamento tem duração de 32 minutos (sentido Eldorado do Sul-Porto Alegre). Além disso, é possível verificar que os tempos de viagem são mantidos praticamente constantes quando a nova ponte está em operação. Pode-se afirmar, inclusive, que para tempos de içamento maiores haverá também maiores benefícios aos usuários da via.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intenso fluxo de veículos e a ocorrência frequente de içamento do vão móvel da Ponte do Guaíba, revelam a necessidade de uma alternativa para atender à demanda do tráfego de veículos na via, a qual vem crescendo cerca de 8% ao ano. São quase 54 mil veículos que circulam diariamente sobre a ponte, dos quais 15,5% são veículos pesados.

Assim sendo, a implantação da segunda Ponte do Guaíba consistirá no fim de um grande gargalo atualmente existente na rota de transporte de cargas mais importante do sistema rodoviário do Rio Grande do Sul. À medida que o empreendimento representará a melhoria das condições de tráfego na Região Metropolitana de Porto Alegre, beneficiando a circulação local de pessoas e mercadorias e o comércio internacional de cargas.

Além disso, a falta de segurança constatada hoje sobre a ponte do vão móvel, quando do seu fechamento ao tráfego de veículos, vêm corroborando para a insatisfação dos usuários da rodovia. A quantidade de assaltos aos motoristas que se encontram parados sobre a Ponte do Guaíba aguardando o fim do içamento do vão móvel vem aumentando nos últimos anos.

Nesse contexto, o estudo buscou verificar a importância da inclusão do novo trecho à BR-116/290 para a redução do tempo de viagem na rodovia, no qual não haverá a interrupção ao tráfego de veículos – através simulações de tráfego do modelo da rede viária.

A análise dos dados das simulações de tráfego da rede viária em estudo apresentou resultados positivos. Quando comparada a condição presente da via com a condição segunda ponte em operação, foi observado que a implantação da nova ponte provoca uma redução nos tempos de viagem de até 78% e no comprimento das filas, de 83% - este último pode chegar a 100%. Ainda, o fluxo ininterrupto de veículos diminui a variabilidade dos perfis de volume, velocidade e tempo de viagem, dando mais confiabilidade ao sistema viário.

Finalmente, o estudo provou que a implantação da segunda Ponte do Guaíba se faz necessária para manter o transporte de cargas e o deslocamento de pessoas na RMPA. As contribuições do novo trecho ao sistema viário destacam-se para o período futuro, já que a rede estará saturada daqui a dez anos, se não houver uma rota alternativa à ponte do vão móvel.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, J. A. F.; MAMMARELLA, R.; BARCELOS, T. M. de. **Território, economia e sociedade**: transformações na Região Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora da FEE, 2009. Parte 1.
- AASHTO. **Transportation reboot: restarting America's most essential operating system** – The case for capacity: to unlock gridlock, generate jobs, deliver freight and connect communities. Washington, DC, Estados Unidos da América, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.transportation.org>>. Acesso em: 1 jun. 2017.
- BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro**. Lei de nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Anexo I – Conceitos e definições.
- CALEFFI, F.; CYBIS, H. B. B. **Proposição e análise de um sistema de gerenciamento ativo de tráfego em um estudo de caso de uma autoestrada**. Revista Transportes, 2016. v. 24, n. 1, p. 74-83. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/925>>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- CALEFFI, F.; MOISAN, Y.; CYBIS H. B. B. **Analysis of an Active Traffic Management System proposed for a brazilian highway**. Vol. 6, Cap. 2, abr. 2016. Disponível em: <www.ijetae.com>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- CALEFFI, F.; CYBIS H. B. B. **Gerenciamento ativo de tráfego: estudo de caso de uma autoestrada brasileira. Calibração de um segmento especial de autoestrada através do software VISSIM**. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br>. Acesso em: 21 maio 2017.
- CYBIS, H. B. B.; CALEFFI, F. **Avaliação das condições operacionais da Freeway considerando o atendimento do fluxo sazonal de verão e identificação de alternativas para atender as condições de uso futuro da rodovia**. Jan. 2016. Disponível em: <www.antt.gov.br>. Acesso em: 3 abr. 2017.
- CYBIS, H. B. B.; NODARI, C. T.; ALBANO, J. F.; MICHEL, F. D.; CALEFFI, F. MOISAN, Y. **Projeto: Concepção de Sistema de Gerenciamento Ativo de Tráfego (2013)**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/12571/Relatorios_de_Pesquisa__RDT.html>. Acesso em: 8 nov. 2016.
- CONCEPA. **Construção da Ponte do Guaíba e da Free Way**. Disponível em: <<http://www.triunfoconcepa.com.br/empresa/construcao-da-ponte-do-guaiba-e-da-free-way.aspx>>. Acesso em: 6 nov. 2016.
- CONSÓRCIO PONTE DE GUAÍBA: CQG e EGT. **Sobre a Nova Ponte**. Disponível em: <www.pontedoguaiba.com.br>. Acesso em: 7 nov. 2016.
- DNIT. **Audiência pública: nova ponte sobre o rio Guaíba – BR-116/290/RS**, out. 2013. Disponível em: <<https://portoimagem.wordpress.com/2013/11/10/apresentacao-da-segunda-ponte-sobre-o-guaiba-41-slides/>>. Acesso em: 19 maio 2017.

DNIT. **Ponte do Guaíba**, 2015. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/copy_of_sala-de-imprensa/arquivos-soltos/ponte-do-guaiba.jpg/view>. Acesso em: 6 nov. 2016.

DNIT; ENEGEVIX. **Relatório final do projeto básico: projeto executivo de engenharia para a construção de uma Segunda Ponte sobre o Rio Guaíba e acessos**, set. 2013. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/resumo.asp?NUMIDEdital=4292>>. Acesso em: 20 maio 2017.

ECMT. **Managing urban traffic congestion**. Paris, França, 2007. Disponível em: <<http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/07congestion.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2016.

FHWA. **Operations history**. Washington, DC, Estados Unidos da América, 5 fev. 2017. Disponível em: <<https://ops.fhwa.dot.gov/aboutus/opstory.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 5 nov. 2016.

LOVELOCK, Christopher; WRIGHT, Lauren. **Serviços: marketing e gestão**. São Paulo: Saraiva, 2001.

METROPLAN, FEE. **Região metropolitana de Porto Alegre: informações e análise**. Porto Alegre: Editora da METROPLAN e da FEE, 1998.

ORTÚZAR, J. de D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. Estados Unidos da América, 2011. 4. Ed.

PORTUGAL, L. da S. **Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

PRADO, Darci. **Teoria das Filas e da Simulação**. v.2. 5. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial. Série Pesquisa Operacional, 2014.

PTV. **VISSIM 7 user manual: v.7.0**. Karlsruhe, Alemanha, 2016.

SCHMENNER, Roger W. **Administração de operações em serviços**. São Paulo: Futura, 1999.

SPECHT, L. P.; VITORELO, T.; HIRSH F.; CRONST, F.; TUCHUMANTEL, O.; BERGMANN, E. C.; MATA, H. A. N. **Restauração do pavimento do vão móvel da Ponte do Guaíba utilizando revestimento asfáltico com SBS+TLA**. Revista Estradas nº 17. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2012.

TRB. **Highway capacity manual**. Washington, DC, Estados Unidos da América, 2010.

TRB; F-SHRP. **Providing a highway system with reliable travel times**. Study 3 – reliability. Estados Unidos da América, set. 2003. Disponível em: <www.trb.org>. Acesso em: 2 jun. 2017.