

**A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW* EM RODOVIAS
FEDERAIS DO BRASIL: OS IMPACTOS TARIFÁRIOS EM UM
ESTUDO DE CASO NA BR-101/RJ/SP**

ISABELA SOARES MACHADO REICHERT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW* EM
RODOVIAS FEDERAIS DO BRASIL: OS IMPACTOS
TARIFÁRIOS EM UM ESTUDO DE CASO NA BR-101/RJ/SP**

ISABELA SOARES MACHADO REICHERT

ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO: T.DM-003/2023
BRASÍLIA/DF: JUNHO/2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW* EM RODOVIAS
FEDERAIS DO BRASIL: OS IMPACTOS TARIFÁRIOS EM UM
ESTUDO DE CASO NA BR-101/RJ/SP**

ISABELA SOARES MACHADO REICHERT

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

APROVADA POR:

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, DR. (Unb)
(ORIENTADOR)**

**REINALDO CRISPINIANO GARCIA, DR. (Unb)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JOSÉ ELIEVAM BESSA JÚNIOR, DR. (UFMG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 30 de junho de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

REICHERT, ISABELA SOARES MACHADO

A implantação do sistema *free-flow* em rodovias federais do Brasil: os impactos tarifários em um estudo de caso na BR-101/RJ/SP [Distrito Federal] 2023. xii, 61p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2023).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. *Free-flow*

3. Rodovia

I. ENC/FT/UnB

2. Concessão BR-101/RJ/SP

4. Tarifa de Pedágio

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

REICHERT, I. S. M. (2023). A implantação do sistema *free-flow* em rodovias federais do Brasil: os impactos tarifários em um estudo de caso na BR-101/RJ/SP, Publicação T.DM-003/2023, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 61p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Isabela Soares Machado Reichert

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: A implantação do sistema *free-flow* em rodovias federais do Brasil: os impactos tarifários em um estudo de caso na BR-101/RJ/SP.

GRAU: Mestre

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos.

O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Isabela Soares Machado Reichert
isabelasms@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força para superar as dificuldades, me permitindo chegar neste momento e concluir mais uma etapa na minha vida.

Agradeço a minha família, pelos ensinamentos e apoio, em especial ao meu esposo Alessandro Reichert que me motivou e inspirou a ingressar no mestrado em transportes.

Ao Professor Pastor Willy Gonzales Taco, meu orientador, agradeço a paciência e dedicação em me orientar neste trabalho. Também a todos os professores do PPGT por seus ensinamentos, e a secretaria do PPGT, em especial a Camila que sempre esteve disposta a me ajudar em todas as etapas do Mestrado.

Também agradeço aos colegas e chefias da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), órgão pelo qual sou concursada, pelo apoio, paciência e compreensão ao longo do período que conciliei meus estudos com o trabalho.

RESUMO

O sistema *free-flow* de cobrança tarifária já é realidade no Brasil, tendo sido implantando em parte do trecho concedido da RioSP, e possui potencial para gerar grandes mudanças nas políticas de tarifação em infraestruturas rodoviárias. Porém, um importante fator a ser levado em conta é a tendência de aumento da inadimplência dos usuários, por não ter uma barreira física que impeça a passagem sem efetuar o pagamento da tarifa devida. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar os impactos tarifários da implantação do sistema *free-flow* em um estudo de caso da BR-101/RJ/SP. Nesse contexto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura identificando-se as características, vantagens e desvantagens, os avanços alcançados pelo Brasil e os desafios a serem superados para a ampliação da utilização do sistema *free-flow* no país. Para avaliação dos impactos tarifários no fluxo de caixa da BR-101/RJ/SP, foram simulados dois cenários de implantação de *free-flow*: um apenas em substituição às praças de pedágio previstas no contrato original; outro propondo um modelo de *free-flow* puro com cobrança por trecho homogêneo em 17 pontos de cobrança. Para analisar a viabilidade dos cenários simulados, foi utilizado o conceito de inadimplência admissível para a qual o equilíbrio econômico-financeiro da concessão ocorre com a tarifa quilométrica e a taxa interna de retorno originais do projeto. Os Estudos de Viabilidade da concessão da BR-101/RJ/SP foram usados para subsidiar as análises da implantação do *free-flow* em parte do trecho concedido. Foram calculados o momento de transporte e os custos do sistema de cobrança para o modelo proposto. Como resultado, por um lado, verificou-se que a implantação dos pórticos de cobrança *free-flow* nos mesmos pontos de cobrança originalmente estudados é vantajosa, resultando em redução tarifária de 14% ou permitindo margem para absorver até 13,5% de frustração de receita anual em função das inadimplências. Por outro lado, a simulação da cobrança por trecho homogêneo na rodovia em estudo, que aumenta 14 pontos de cobrança, apesar de atingir o objetivo de justiça tarifária, implicou a elevação em 24% da tarifa quilométrica do cenário-base.

Palavras-chave: *Free-flow*, Concessão BR-101/RJ/SP, Rodovia e Tarifa de Pedágio.

ABSTRACT

The free-flow system toll collection is already a reality in Brazil, having been implemented in part of the stretch concession called RioSP, and has the potential to generate major changes in tariff policies in road infrastructures. However, an important factor to be considered is the trend towards an increase in user defaults, as there is no physical barrier to prevent passage without paying the due toll rate. Thus, the objective of the study was to evaluate the toll rate impacts of the implementation of the free-flow system in a case study of the BR-101/RJ/SP. In this context, a systematic review of the literature was carried out, identifying the characteristics, advantages and disadvantages, the advances achieved by Brazil and the challenges to be overcome in order to expand the use of the free-flow system in the country. To assess the toll rate impacts on the cash flow of the BR-101/RJ/SP, two free-flow implementation scenarios were simulated: one just replacing the toll plazas provided for in the original contract; another proposing a pure free-flow model with charging per homogeneous segment at 17 charging points. To analyze the feasibility of the simulated scenarios, the concept of allowable non-payment was used, for which the economic-financial balance of the concession occurs with the kilometer toll rate and the project's original internal rate of return. The BR-101/RJ/SP concession's Feasibility Studies were used to support the analysis of the free-flow implementation in part of the concession section. The momentum transport and billing system costs were calculated for the proposed model. As a result, on the one hand, it was found that the implementation of free-flow billing gateways at the same billing points originally studied is advantageous, resulting in a toll rate reduction of 14% or allowing margin to absorb up to 13.5% of frustration from annual revenue due to defaults. On the other hand, the simulation of charging per homogeneous segment on the highway under study, which increases 14 collection points, despite achieving the objective of tariff justice, implied a 24% increase in the kilometer toll rate in the base scenario.

Keywords: Free-flow, BR-101/RJ/SP Concession, Highway and Toll Rate.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 Objetivo Geral	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 JUSTIFICATIVA.....	5
1.5 ETAPAS METODOLÓGICAS DA DISSERTAÇÃO	6
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2. REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 APRESENTAÇÃO	8
2.2 REVISÃO DE ESTUDOS SOBRE <i>FREE-FLOW</i>	8
2.2.1 Desenvolvimento das linhas de pesquisa de <i>free-flow</i>	8
2.3 SISTEMAS DE COLETA DE PEDÁGIO.....	12
2.4 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DOS ETCS.....	14
2.5 SISTEMA <i>FREE-FLOW</i> DE PEDÁGIO ELETRÔNICO	19
2.6 DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DO <i>FREE-FLOW</i>	22
2.7 INCENTIVOS À UTILIZAÇÃO DE ETCS.....	25
2.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS	27
3. MÉTODO	28
3.1 APRESENTAÇÃO	28
3.2 CONSIDERAÇÕES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	28
3.3 ESTRUTURA DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	29
3.4 ETAPAS DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO.....	30
3.4.1 Etapa 1 - Caracterização do cenário-base e análise da proporcionalidade tarifária	30
3.4.2 Etapa 2 - Estimativa do momento de transporte	30
3.4.3 Etapa 3 - Definição dos custos do sistema de cobrança.....	31
3.4.4 Etapa 4 – Simulação dos cenários de implantação do sistema <i>free-flow</i>	31
3.4.5 Etapa 5 - Cálculo da inadimplência admissível	31
4. APLICAÇÃO DO MÉTODO	32
4.1 ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO-BASE E ANÁLISE DA PROPORCIONALIDADE TARIFÁRIA.....	32

4.2 ETAPA 2 - MOMENTO DE TRANSPORTE DO MODELO PROPOSTO.....	37
4.3 ETAPA 3 - CUSTOS DO SISTEMA DE COBRANÇA PROPOSTO	41
4.4 ETAPA 4 - SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA <i>FREE-FLOW</i>	44
4.5 ETAPA 5 - CÁLCULO DA INADIMPLÊNCIA ADMISSÍVEL	45
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
5.1 APRESENTAÇÃO	48
5.2 CÁLCULO DO MOMENTO DE TRANSPORTE	48
5.3 CÁLCULO DA TARIFA QUILOMÉTRICA	49
5.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE INADIMPLÊNCIA.....	52
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	54
6.1 CONCLUSÕES.....	54
6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Publicações classificadas por Macrotema e Microtema sobre <i>free-flow</i>	10
Tabela 4.1 Trechos Homogêneos de tráfego e localização das praças de pedágio	33
Tabela 4.2 Volume Diário Médio Anual [veic/dia] por categoria em cada trecho homogêneo, 2018.....	38
Tabela 4.3 Cotação para as estruturas e sistemas a serem implementados no <i>free-flow</i> da BR-101/RJ/SP. Data-base outubro/2019	43
Tabela 4.4 Estimativa de salário e encargos para os funcionários do <i>free-flow</i> . Data-base outubro/2019	43
Tabela 5.1 Distribuição das tarifas de pedágio em cada cenário.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Estrutura da dissertação	7
Figura 3.1 Fluxograma das etapas envolvidas no processo de simulação da cobrança de pedágio por pórticos free-flow	30
Figura 4.1 Mapa do Sistema Rodoviário – RioSP	32
Figura 4.2 Pares entrada-saída do trecho concedido da BR-101/RJ/SP. O primeiro valor é a TKM real no cenário-base; o segundo valor é o que o usuário com automóvel subsidia (+) ou é subsidiado (-)	36
Figura 4.3 Fluxograma das etapas envolvidas no processo de projeção do tráfego.....	39
Figura 4.4 Fluxo de registro das passagens do sistema de cobrança <i>free-flow</i>	41
Figura 4.5 Comparação entre os custos do sistema de cobrança do cenário-base e dos cenários com cobrança <i>free-flow</i> . Data-base: out/2019	44
Figura 5.1 Momento de transporte acumulado para o cenário-base e para o cenário de cobrança por trecho homogêneo, no ano de 2023	48
Figura 5.2 Comparação entre as TKMs de cada cenário. Data-base: out/2019	49
Figura 5.3 Somatório da tarifa paga no trecho percorrido TH7 - TH13	51

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ACM – *Automatic Coin Machine* (máquina automática de moedas, na tradução do inglês)
AETC - *All Electronic Toll Collection* (todos sistemas de coleta eletrônico de pedágio, na tradução do inglês)
ANPR - *Automated Number Plate Recognition* (sistema automático de reconhecimento do número da placa, na tradução do inglês)
ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres
AVC - *Automatic Vehicle Classification* (classificação automática de veículos, na tradução do inglês)
AVI - *Automatic Vehicle Identification* (identificação automática de veículos, na tradução do inglês)
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPEX – Custo de Investimento
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
CTB - Código de Trânsito Brasileiro
DBT - Desconto Básico de TAG
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DSRC – *Dedicated Short Range Communication* (comunicação de curto alcance dedicada, na tradução do inglês)
DUF - Desconto de Usuário Frequente
ETC - *Electronic Toll Collection* (coleta eletrônica de pedágio, na tradução do inglês)
EVTEA – Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
GNSS/CN - *Global Navigation Satellite System/Cellular Network* (sistema global de navegação por satélite/rede de celular, na tradução do inglês)
HMTP - sistema híbrido de praça de pedágio e fluxo livre na faixa principal
IInAd - Índice de inadimplência admissível
MBFT - Manual Brasileiro de Fiscalização de Trânsito
MLFF - *Multi-Lane Free Flow* (múltiplas faixas de fluxo livre, na tradução do inglês)
OBU – *On-Board Unit*
OCR – *Optical Character Recognition* (Reconhecimento Óptico de Caracteres, na tradução do inglês)
OPEX – Custo Operacional
ORT – *Open Road Tolling* (pedágio em estradas abertas, na tradução do inglês)
PIB - Produto Interno Bruto
PMVs - Painéis de Mensagem Variável
RFID – *Radio-Frequency Identification* (identificação por radiofrequência, na tradução do inglês)
RPA - Rodovia de Pedágio Aberto
SNV – Sistema Nacional de Viação
TCS – *Toll Collection Systems* (sistemas de coleta de pedágio, na tradução do inglês)
TH - Trecho Homogêneo
TIR - Taxa Interna de Retorno
TKM – Tarifa quilométrica
TKMR – Tarifa quilométrica real
TMTP – sistema com praça de pedágio tradicional
VDMA - Volume Diário Médio Anual
VPS - *Vehicle Positioning System* (sistema de posicionamento de veículos, na tradução do inglês)

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

As concessões de rodovias têm sido um meio comum adotado por diferentes países para a realização de investimentos em rodovias. No Brasil, novos trechos são transferidos anualmente para a iniciativa privada como forma de desonerar o orçamento público e garantir a execução de obras e serviços necessários aos usuários. Em contrapartida, os concessionários auferem toda a receita resultante das tarifas de pedágio pagas pelos veículos que trafegam nas rodovias.

No país, há, atualmente, 24 (vinte e quatro) contratos de concessões rodoviárias federais sob gestão da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), totalizando mais de 10.000 km entregues à iniciativa privada (ANTT, 2023b). Em todos esses contratos, até o ano de 2022, a cobrança de tarifa de pedágio se dava exclusivamente nas praças de pedágio, que são construídas em determinados pontos da rodovia definidos previamente nos estudos de viabilidade que antecedem o leilão, onde os usuários devem parar para efetuar o pagamento ou reduzir a velocidade para abrir a cancela.

No Brasil, duas modalidades de pagamento são disponibilizadas aos usuários, quais sejam a cobrança manual feita por arrecadadores lotados nas cabines de pedágio, ou a cobrança eletrônica nas pistas exclusivas para AVI (*Automatic Vehicle Identification* - Identificação Automática de Veículos, na tradução do inglês), sendo obrigatória a redução da velocidade dos veículos para possibilitar a correta leitura do equipamento.

Os Sistemas AVI são uma tendência mundial, uma vez que proporcionam a melhoria da trafegabilidade nas rodovias concedidas, a redução de acidentes e emissão de poluentes e podem contribuir para uma maior equidade na tarifação e proporcionar a redução das tarifas praticadas (BARBOSA, 2013). Através de sistemas de Rodovias de Pedágio Aberto (RPA) - chamados, em inglês, de sistemas de *Open Road Tolling* ou, comumente, *free-flow* - torna-se possível fazer a cobrança da tarifa de forma automática e apenas em relação à distância efetivamente percorrida por cada veículo, além de eliminar a necessidade de paradas nas praças de pedágio.

O sistema *free-flow*, ou Sistema RPA, é uma adequação dos sistemas eletrônicos AVI, no qual pórtricos instalados ao longo de uma via com pedágio reconhecem os veículos que os

atravessam, sem reduzir sua velocidade, e os tarifam de forma eletrônica (BARBOSA, 2013). É um método de cobrança de pedágio em que a tarifa é cobrada proporcionalmente à distância percorrida e as praças de pedágio são desmaterializadas.

A implantação deste sistema *free-flow* visa não só a redução no tempo de transação da cobrança do pedágio, mas também ofertar uma alternativa viável para a redução das tarifas praticadas, uma vez que permite a cobrança de tarifa de mais usuários da rodovia. Mas a eliminação da barreira física, que impede a passagem do veículo até a realização do pagamento do pedágio, pode resultar o aumento das inadimplências por parte dos usuários da rodovia, uma vez que é possível transitar livremente na rodovia mesmo sem realizar o pagamento da tarifa de pedágio, apesar de estar sujeito à multa por evasão.

A evasão de pedágio já era considerada um ilícito administrativo previsto no Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997). Mas em 2021 foi publicada a Lei nº 14.157, de 1º de junho de 2021, que altera o CTB, incluindo o parágrafo 3º no art. 320, de forma a prever a possibilidade de recomposição das perdas de receita das concessionárias de rodovias e vias urbanas em decorrência do não pagamento de pedágio pelos usuários da via, desde que o valor a ser reequilibrado seja limitado até o montante total arrecadado por meio das multas aplicadas (BRASIL, 2021).

As publicações das Resoluções CONTRAN, nº 984 e nº 985, em dezembro de 2022 relacionadas ao *free-flow* dispõem sobre a implementação do sistema e aprova o Manual Brasileiro de Fiscalização de Trânsito (MBFT), respectivamente (CONTRAN, 2022a e 2022b). A primeira trata da implementação do sistema *free-flow* em rodovias e vias urbanas e dispõe sobre os meios técnicos a serem utilizados para garantir a identificação dos veículos que transitem por essas vias. Enquanto a segunda resolução citada aborda a questão da infração prevista no art. 209-A do CTB (BRASIL, 1997), de multa pelo não pagamento do pedágio cobrado pelo uso de rodovias e vias urbanas.

Além dos avanços na legislação sobre a implementação e fiscalização desse sistema de cobrança, os mais recentes estudos de concessão rodoviária federal do Brasil já contemplam a previsão de cobrança *free-flow*. Entretanto, essa previsão é para implantação futura e apenas em determinados trechos urbanos das concessões Rio-SP (BR-116/101/RJ/SP) e EcoRioMinas

(BR-116/465/493/MG/RJ), sem haver previsão de modicidade tarifária em função da receita tarifária auferida, sendo o risco todo do concessionário (ANTT, 2021 e 2022).

1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Finalmente, em 2023, o Brasil iniciará sua experiência com o sistema *free-flow*, com os pórticos instalados na BR-101/RJ/SP, parte do trecho concedido à concessionária CCR, por meio do Edital nº 03/2021, cuja concessão é denominada Rio-SP. Será a primeira rodovia federal do Brasil a contar com esse inovador método de cobrança eletrônica de tarifas, que é fruto do projeto-piloto do ambiente regulatório experimental (*Sandbox* Regulatório) da ANTT, que resultará na definição das premissas da alteração contratual, inclusive sobre a alocação do risco de inadimplência (ANTT, 2022b).

Conforme informado nos canais de notícias da ANTT (ANTT, 2023a) e da própria concessionária CCR (CCR RioSP, 2023), o projeto de implantação do sistema *free-flow* prevê inicialmente a instalação de pórticos fixos em substituição às 3 (três) praças de pedágio que seriam construídas, e permitirá uma viagem totalmente sem paradas ou diminuição de velocidade próximo aos locais de cobrança. Há duas maneiras de funcionamento do sistema de identificação do veículo: uma pela leitura de uma *tag* previamente instalada no para-brisa; outra pela leitura da placa dos veículos. No primeiro caso, a passagem será cobrada direto na fatura da operadora de *tag* com o benefício do desconto previsto para o usuário frequente, que pode alcançar até 70% no valor da tarifa. No segundo, a identificação por meio de placas viabiliza o processo de autopagamento de tarifas pelos usuários que não possuírem *tags* aptos à cobrança ou estiverem sem saldo junto às operadoras de pagamento de pedágio eletrônico.

Para a proposta de implantação da cobrança *free-flow* nesse trecho em questão, foi levado em conta pela concessionária as condições peculiares de traçado do trecho concedido da BR-101. A rodovia está confinada entre o mar e grandes encostas, com presença de áreas de preservação ambiental. Além disso, no referido trecho se registra a presença das Usinas Nucleares no município de Angra dos Reis, que até mesmo pela sua atividade de risco, envolve um complexo plano de emergência e o transporte frequente de cargas de material nuclear. Outra característica do local é a instabilidade geológica de taludes, numa região de altos índices pluviométricos (CCR RioSP, 2022).

Assim, nesse caso em particular, é importante destacar três importantes benefícios alcançados com a implantação dos pódicos em substituição às praças de pedágio originalmente previstas no contrato. Um está relacionado à questão ambiental, que é a preservação da vegetação na beira da estrada. O outro benefício é relativo à segurança dos trabalhadores que ficariam nas praças de pedágio, ficando expostos aos riscos de acidentes geológicos na beira da rodovia, que costumam acontecer com frequência naquela região. E, ainda, a implementação do *free-flow* garantirá maior segurança numa situação em que seja necessário acionar o plano de emergência, em função das usinas nucleares, além de facilitar a passagem dos transportes nucleares

Porém, a evasão do pedágio, ou seja, a inadimplência, não pode comprometer excessivamente a receita tarifária, sob pena de prejudicar o fluxo de caixa da concessão, ou então implicar altos reequilíbrios tarifários em atendimento à matriz de risco contratual, o que levará ao aumento excessivo da tarifa de pedágio aos veículos adimplentes. Baseado nisso, o problema abordado neste trabalho é a apuração do índice de inadimplência admissível para um projeto de modo a não comprometer o equilíbrio econômico-financeiro do contrato.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar o potencial de arrecadação, as variações tarifárias e, ainda, estimar o índice de inadimplência admissível da implantação de *free-flow*, por meio de um estudo de caso em uma rodovia federal do Brasil.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Apresentar o cenário atual do Brasil e as experiências de outros países na implantação dos sistemas de cobrança *free-flow* de modo a desenvolver diretrizes para a implantação desses sistemas no país, seja em novos lotes de concessão ou na realização da transição dos modelos convencionais de cobrança nas concessões existentes;
- Comparar os dados de tarifa quilométrica, receita tarifária e base de veículos pagantes do modelo tradicional de praças de pedágio com o modelo *free-flow* simulado, tanto em

substituição às praças de pedágio quanto em novos pontos da rodovia para uma cobrança por trecho homogêneo;

- Obter o índice de inadimplência admissível de modo que o equilíbrio econômico-financeiro do projeto seja mantido;
- Permitir uma melhor avaliação sobre o compartilhamento de risco de evasão;
- Fornecer subsídios para análises futuras de viabilidade de implantação de *free-flow*.

1.4 JUSTIFICATIVA

Como se vê, o sistema *free-flow* tende a estar cada vez mais presente nas concessões do Brasil e possui potencial para gerar grandes mudanças nas políticas de tarifação pela utilização de infraestruturas viárias aplicadas atualmente no país. Neste sentido, torna-se importante delimitar as perspectivas de implantação dessa tecnologia no Brasil, bem como estimar o risco de inadimplência admissível através de um estudo de caso de uma aplicação prática, subsidiando os planejadores de novos estudos de concessões e gestores dos contratos de concessões vigentes a calibrarem o compartilhamento de risco.

O trecho concedido da BR-101 representa cerca de 7% do fluxo pedagiado e apenas 5% da receita projetada para o projeto de concessão das BR-116/101 (RJ/SP), de acordo com estudo de tráfego apresentado no Edital de licitação da inovadutra. Ou seja, a implantação desse sistema será em um ambiente controlado, uma vez que o segmento em questão não traz em si um grande impacto ao Contrato de Concessão, o que permite que eventuais efeitos não impactem significativamente o projeto de Concessão (CCR RioSP, 2022).

Sabendo da previsão contratual de implantação de *free-flow* em 2025 no movimentado Trecho Metropolitano da BR-116/SP, a experiência, desde o presente ano de 2023, com a implantação desse sistema de cobrança nesse trecho rodoviário, promoverá a antecipação e oportunidade de planejar, implementar e testar o funcionamento e resultados de processos determinantes como a identificação e tarifação dos veículos/usuários, o auto pagamento para usuários sem *tag*, o processo de *enforcement* à luz da Lei 14.157 de 1º de junho de 2021 e a avaliação das suas consequências no CTB.

Não obstante, será possível conhecer o comportamento dos usuários e sua satisfação frente a essa tecnologia e engajar todo o setor envolvido – poder público, entes privados e representativos, construindo nova solução regulatória aplicável a projetos brasileiros de pedagiamento na modalidade *free-flow*, e impulsionando os avanços na legislação do setor que vierem a ser identificados como necessários.

Além disso, como a literatura carece de estudos sobre a viabilidade econômico-financeira do *free-flow*, esta pesquisa poderá ser utilizada como referência por aqueles interessados nesse sistema de cobrança de pedágio, uma vez que expõe e atualiza os principais aspectos relacionados ao mesmo.

1.5 ETAPAS METODOLÓGICAS DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi dividida em quatro etapas metodológicas, de forma a planejar o andamento do estudo, e são descritas abaixo:

Etapa 1 – Revisão da literatura: após o levantamento das linhas de pesquisa relacionadas ao sistema de cobrança *free-flow* através de uma Revisão bibliométrica usada para medir a contribuição do conhecimento científico das publicações na área, foram analisados os estudos relacionados aos efeitos da implantação desse sistema de cobrança, de forma a subsidiar o método do estudo voltado para simulação de cenários.

Etapa 2 – Desenvolvimento do método: o método proposto para a simulação dos cenários de implantação do *free-flow* no trecho atualmente concedido de uma rodovia federal foi realizada em planilha Excel, sendo a própria da modelagem econômico-financeira do EVTEA do trecho rodoviário concedido. Sendo assim, foi definida a área de estudo e foram coletados os dados para a simulação dos cenários.

Etapa 3 – Simulação dos cenários: nesta etapa foram simulados dois diferentes cenários, sendo o primeiro a substituição das praças de pedágio do cenário-base por pórticos *free-flow*. Já no segundo cenário, a simulação da cobrança por TH com pórticos *free-flow*. Finalmente, foi calculado o índice de inadimplência admissível.

Etapa 4 – Análise dos resultados: nesta etapa foram comparados os impactos dos dois cenários simulados, focando-se principalmente em analisar a variação tarifária e o percentual de inadimplência obtido. Verificou quais os impactos tarifários obtidos com a alteração do sistema de cobrança.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, de acordo como apresentado na Figura 1.1.

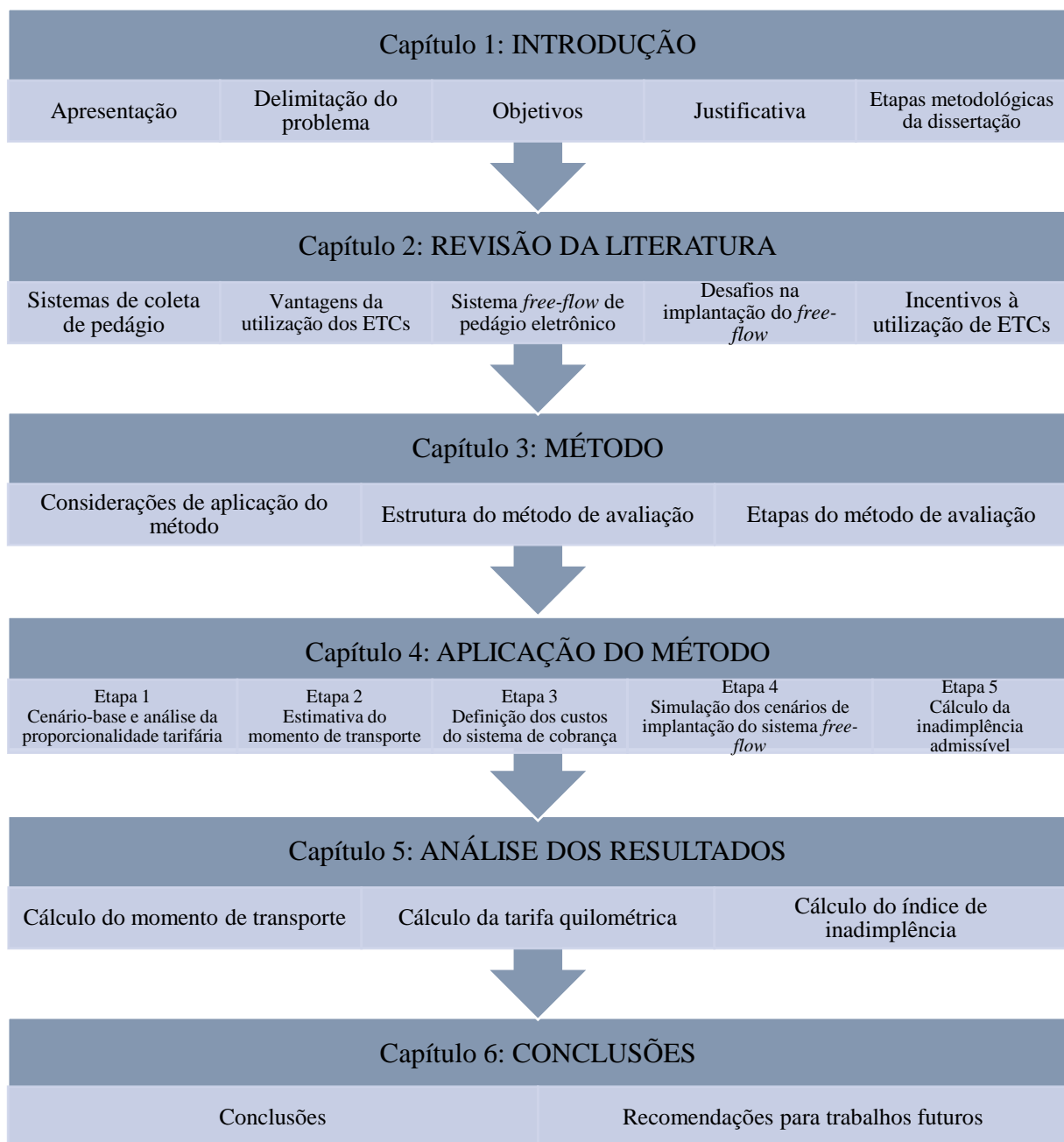


Figura 1.1 Estrutura da dissertação

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 APRESENTAÇÃO

O objetivo do presente capítulo é, a partir da literatura existente, identificar os principais conceitos, estudos e implementações da cobrança de pedágio *free-flow* no mundo, que serão utilizados para o desenvolvimento do método da dissertação. Assim, o capítulo está dividido em seis seções. A primeira seção apresenta os resultados de uma Revisão Sistemática da Literatura com a identificação das principais linhas de pesquisa, fazendo a separação por macrotemas e microtemas. Na segunda seção são apresentados estudos abordando os diferentes sistemas de cobrança de pedágios. Na terceira seção é tratado sobre os estudos que elencaram as vantagens da utilização dos ETCS. Na quarta seção são apresentadas as características do sistema *free-flow* de pedágio eletrônico e os avanços alcançados pelo Brasil na implantação desse sistema. Na seção 5, são apresentados os desafios na implantação do *free-flow* e referenciados os estudos que abordaram essa temática. E, por fim, na seção 6, são destacados os estudos que indicaram os incentivos para adoção do ETCs.

2.2 REVISÃO DE ESTUDOS SOBRE *FREE-FLOW*

Esta revisão teve como objetivo coletar documentos sobre os sistemas de cobrança de pedágio e mais especificamente o modelo de cobrança *free-flow* para dar suporte na justificativa da abordagem, na sua inserção no contexto da pesquisa nacional e internacional e no embasamento do método da dissertação. Assim, foram analisadas as linhas de pesquisas em desenvolvimento, identificando-se os principais pontos, e apresentadas as experiências internacionais na implantação dos sistemas RPA, as vantagens e desvantagens desses sistemas, os avanços alcançados pelo Brasil e os desafios a serem superados para a ampliação da utilização do sistema *free-flow* no país.

2.2.1 Desenvolvimento das linhas de pesquisa de *free-flow*

A primeira etapa da pesquisa consistiu em uma revisão sistemática de literatura, a fim de coletar e avaliar os principais trabalhos publicados a nível nacional e internacional sobre a temática *free-flow* em rodovias pedagiadas. Para a realização desta etapa, foram consultadas as bases de dados *Web of Science* (WoS) e *Google Scholar*, com base nas seguintes combinações de

palavras-chave: "free flow"+"road"+"toll"; "electronic toll collection"+"toll road";"free flow"+"tarifa de pedágio".

A consulta dos periódicos foi realizada em janeiro de 2023. De todos os resultados encontrados nas pesquisas, foram selecionados apenas artigos publicados em periódicos científicos, dissertações e publicações de conferências, a partir de 2002, considerando a relevância das publicações a partir dessa data. As pesquisas realizadas, com os filtros aplicados, resultaram numa amostra de 248 documentos, sendo 223 artigos científicos, 5 dissertações e 20 publicações de conferências.

A partir da amostra encontrada, passou-se à análise dos títulos e resumos, buscando manter apenas aquelas publicações que tinham relação com os objetivos da pesquisa. Na fase de avaliação do título, 135 estudos foram excluídos por duplicidade ou pelos critérios de temática e tipo de publicação. Na fase seguinte, de avaliação dos resumos, 79 estudos foram excluídos com base em critérios de pertinência temática e antiguidade.

Portanto, nas duas fases dessa etapa, foram excluídos, respectivamente, 214 resultados, dentre os quais estavam artigos relacionados aos serviços operacionais das praças de pedágio, áreas de serviço na estrada, taxa de ocupação de faixa de pedágio, regime de estradas privadas, estimativa de valor do tempo de viagem, sem apresentar maiores informações relativas ao sistema *free-flow* pesquisado. Também foram excluídos temas relacionados ao congestionamento das rodovias como, a estimativa do custo social do congestionamento e faixas de pedágio de alta ocupação, e ao mecanismo de financiamento de rodovias.

Após a leitura dos 34 artigos remanescentes, uma nova pesquisa foi realizada por meio das plataformas citadas, mas dessa vez inserindo o título de alguns artigos referenciados pelos autores dos artigos selecionados, objetivando avaliar a aderência do conteúdo com o tema pesquisado e obter novas indicações de artigos sugeridos pelas plataformas. Desse modo, mais 6 artigos foram selecionados, totalizando 40 documentos.

De forma complementar, foi realizada a pesquisa de documentos técnicos relativos ao tema *free-flow*, também conhecidos como literatura cinzenta. Foram analisados os documentos referenciados nos artigos selecionados, mas também foram pesquisados na internet documentos

mais recentes que abordaram sobre a temática. Assim, 3 documentos técnicos foram selecionados para serem abordados na revisão de literatura.

A partir da consolidação dos resultados obtidos, foi realizada uma análise bibliométrica das publicações levantadas com base em critérios geográficos e temporais, bem como uma classificação em 4 macrotemas (Sistemas de Coleta de Pedágio, Implantação de ETC, Tarifa de Pedágio e Evasões) e 18 microtemas de pesquisa relacionados aos objetivos do estudo, de forma a organizar e facilitar a utilização posterior dessas referências na dissertação. A Tabela 2.1 exibe os resultados encontrados, com as informações dos autores e respectivos anos de estudo, além dos países.

Tabela 2.1 Publicações classificadas por Macrotema e Microtema sobre *free-flow*

Macrotema	Microtema	Autores e Ano	Países
Sistemas de Coleta de pedágio	Tecnologia disponíveis	Crabtree <i>et al.</i> (2008); Milenkovic <i>et al.</i> (2018); Vassallo <i>et al.</i> (2020); Nagargoje <i>et al.</i> (2021)	Sérvia, Chile, Estados Unidos, Inglaterra
	Comparação dos métodos de pagamentos	Hensher (1989); Pretorius <i>et al.</i> (2005); Persad <i>et al.</i> (2007); Alegre e Magro (2012); Barbosa (2013); Comissão Europeia (2015); Yosritzal <i>et al.</i> (2018)	Indonésia, Austrália, Estados Unidos, Espanha e Brasil
	Metodologia de escolha	Milenkovic <i>et al.</i> (2018)	Sérvia, Chile, Estados Unidos, Inglaterra
	Identificação e classificação dos veículos na cobrança <i>free-flow</i>	Ng e Tay (2012); Hsu <i>et al.</i> (2013); Barbosa (2017)	Malásia, Taiwan e Brasil
Implantação de ETC	Experiência na implantação de <i>free-flow</i>	Schwarz-Herda (2005); Alegre e Magro (2012); Tseng e Pilcher (2022)	Taiwan, Áustria, Espanha
	Estudo de caso	Burris e Pendyala (2002); Barbosa (2013); Santos e Ribeiro (2018); Cardoso <i>et al.</i> (2019); Santos <i>et al.</i> (2020); Schurgelies <i>et al.</i> (2022)	Estados Unidos e Brasil
	Conversão de sistema de cobrança de pedágio	Gordin <i>et al.</i> (2011); Abuzwidah <i>et al.</i> (2014); Abuzwidah e Abdel-Aty (2015)	Estados Unidos
	Implantação sistemas híbridos	Papandreou e Antiochos (2020)	Grécia
	Incentivos para utilização de ETC	Jou e Huang (2013); Heras-Molina <i>et al.</i> (2015); Heras-Molina <i>et al.</i> (2017); Holgín-Versasa <i>et al.</i> (2020); Tseng e Pilcher (2022)	Taiwan, Estados Unidos e Espanha

	Benefícios econômicos	Willumsen (2004); Alvarenga (2010); Tseng <i>et al.</i> (2013); Ramandanis <i>et al.</i> (2020)	Grécia, Taiwan, Inglaterra e Brasil
	Segurança Viária	Gordin <i>et al.</i> (2011); Abuzwidah <i>et al.</i> (2014); Abuzwidah e Abdel-Aty (2015)	Estados Unidos
	Redução de emissão de poluentes	Willumsen (2004); Alvarenga (2010); Perez-Martinez <i>et al.</i> (2011); Tseng <i>et al.</i> (2013); Milenkovic <i>et al.</i> (2020); Ramandanis <i>et al.</i> (2020); Perera <i>et al.</i> (2020)	Taiwan, Sérvia, Grécia, Inglaterra, Austrália, Brasil e Espanha
Tarifa de pedágio	Aceitabilidade no pagamento de pedágio	Jou <i>et al.</i> (2011); Jou e Huang (2013); Ellis (2012); Bueno <i>et al.</i> (2017); Holgín-Veras <i>et al.</i> (2020)	Espanha, Taiwan e Inglaterra
	Tarifa de congestionamento	Yin e Lou (2006)	Estados Unidos
	Proporcionalidade Tarifária	Papandreou e Antiochos (2020); IBL (2021)	Grécia
	Tarifa por trecho homogêneo	Barbosa (2013)	Brasil
Evasões	Fraudes e Inadimplência	Ellis (2012); KPMG (2019); IBL (2021)	Inglaterra, Brasil e Estados Unidos
	Fiscalização e Penalidade	Vassallo <i>et al.</i> (2020)	Chile

As publicações selecionadas não abrangem os continentes América Central e África, e a maioria delas são da Europa (14), em que se destacam as publicações espanholas (5). O país com a maior quantidade de publicações são os Estados Unidos, com 9 trabalhos selecionados para revisão. Em termos temporais, os artigos selecionados variam entre os anos de 1989 e 2002 a 2022, sendo que não foram selecionados artigos dos anos de 2003, 2008 e 2009.

Deste modo, com o levantamento do estado da arte do *free-flow*, e com a análise das linhas de pesquisas em desenvolvimento sobre o tema, foi possível coletar artigos referentes aos sistemas de cobrança de pedágio, à implantação de ETC, à tarifa de pedágio e aos problemas de evasões. O presente estudo alcança todas essas temáticas. Sendo assim, nas próximas seções serão abordados os artigos nessas linhas de pesquisas considerados relevantes para a atual pesquisa, apresentando as características dos diferentes sistemas de cobrança, destacando suas vantagens e desvantagens da cobrança *free-flow*, os desafios na implantação desse sistema de cobrança e os incentivos para adoção de ETC. Também serão abordados estudos encontrados em pesquisas à parte da Revisão Bibliométrica também conhecidos como literatura cinzenta.

2.3 SISTEMAS DE COLETA DE PEDÁGIO

Os Sistemas de Coleta de Pedágio (TCS – *Toll Collection Systems*) usados em vários países do mundo incluem o tipo manual, a máquina automática de moedas (ACM – *Automatic Coin Machine*), *vignettes* (adesivo, na tradução do inglês) que é colado no para-brisas do carro para indicar que o pedágio está pago, comunicação de curto alcance dedicada (DSRC – *Dedicated Short Range Communication*) com barreiras, DSRC *Multi-Lane Free Flow* (MLFF – múltiplas faixas de fluxo livre, na tradução do inglês), código de barras, identificação por radiofrequência (RFID – *Radio-frequency Identification*) com barreiras, pedágio em estradas abertas RFID (ORT – *Open Road Tolling*), sistema global de navegação por satélite/rede de celular ou sistema de posicionamento de veículos (GNSS/CN - *Global Navigation Satellite System/Cellular Network* ou VPS - *Vehicle Positioning System*), sistema automático de reconhecimento do número da placa (ANPR - *Automated Number Plate Recognition*), infravermelho, tacógrafo, *smart card* e *smartphones* (MILENKOVIC *et al.*, 2018).

É importante destacar que a tecnologia DSRC é um tipo de TCS em que os usuários não têm contato com cabines de pedágio. No caso com barreiras, um veículo só precisa reduzir sua velocidade para estabelecer o contato e o reconhecimento através da unidade de bordo (OBU – *On-Board Unit*) para passar (MILENKOVIC *et al.*, 2018).

Já na tecnologia usada no sistema MLFF, as antenas que detectam o fluxo de tráfego e registram o uso na OBU, bem como na central do sistema de cobrança de pedágio, são colocadas em pórticos que ficam posicionados em locais específicos ao longo da rodovia. Essa tecnologia é projetada para que os veículos possam manter sua velocidade e mudar de faixa, se desejar, ao passar por baixo dos portais (MILENKOVIC *et al.*, 2018).

Segundo Vassallo *et al.* (2020), o DSRC permite a comunicação sem fio por microondas (DSRC 5,8 GHz) entre a unidade de bordo (OBU) e a infraestrutura de pedágio para cobrar pedágios eletronicamente, e desde o final dos anos 1980 essa tem sido a abordagem mais comum em todo o mundo ao implementar os sistemas *Electronic Toll Collection* (ETC - coleta eletrônica de pedágio, na tradução do inglês) em estradas com pedágio.

Outra opção de detecção de veículo é mediante a Identificação por Radiofrequência (RFID) ou por câmera de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR). Ambos têm a finalidade de reconhecer o veículo e associar a data e hora da sua passagem pelo pórtico (BARBOSA, 2017).

O esquema de cobrança eletrônica de pedágio consiste em quatro componentes principais: identificação automatizada de veículos, classificação automatizada de veículos (AVC, *Automatic Vehicle Classification*), processamento de transações e imposição de violações (NG & TAY, 2012). O bom funcionamento desses quatro componentes é fundamental para a efetividade da cobrança de pedágio, principalmente no sistema *free-flow*.

O AVI envolve o uso de comunicações veículo-estrada para identificar o veículo. Para o AVC, a classe do veículo é determinada pelos atributos físicos do veículo, como o número de eixos. Pedais, cortinas de luz, perfiladores a *laser* e sensores de *loop* indutivo são tipos de sensores de veículos usados para classificar veículos. O processamento da transação envolve debitar o pedágio da conta do cliente e atender às consultas do cliente. A aplicação da violação geralmente inclui câmeras que gravam um vídeo ou capturam uma imagem das placas de veículos (CRABTREE *et al.*, 2008).

O sistema ANPR é a tecnologia frequentemente usada na aplicação de violações. No entanto, a precisão de identificação desse sistema nem sempre é confiável, uma vez que sujeira na superfície da placa ou o clima podem afetar a correta leitura. Assim, a revisão e correção humana serão necessárias para melhorar a precisão e, portanto, resultará em custo extra de operação manual (HSU *et al.*, 2013).

No estudo realizado por Milenkovic *et al.* (2018), uma estrutura de suporte à decisão para selecionar o TCS ideal foi desenvolvida – visando a transferência para diferentes contextos, em que as características locais podem ser levadas em consideração ao escolher alternativas e critérios específicos – utilizando a técnica de análise da decisão multicritério. A estrutura de suporte à decisão foi testada em 14 (quatorze) sistemas de pedágio. Os resultados indicam que o DSRC MLFF, GSNN-CN e RFID ORT são os sistemas mais bem classificados.

Diversos estudos são realizados para avaliar a eficácia de sistemas de coleta de pedágio já implantados. Como exemplo, o estudo realizado por Yosritzal *et al.* (2018), objetivando comparar o desempenho de diferentes sistemas de pagamento nas rodovias com pedágio de

Jagorawi, Indonésia. Foram comparados os métodos de pagamentos convencionais (em dinheiro), com cartão de pedágio eletrônico e unidade de bordo com pagamento MLFF e observado o impacto nas filas, como o número de carros na fila, a quantidade de tempo na fila, e os custos de congestionamento devido à fila. Os resultados mostraram que o número total de carros e o tempo na fila no sistema de pagamento em dinheiro é mais de 5 vezes maior e o custo anual de congestionamento é quase 3 vezes maior do que na praça de pedágio com cartão de pedágio eletrônico.

2.4 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DOS ETCS

A tradicional cobrança manual de pedágio impõe um comprimento de fila significativo perto das praças de pedágio e resulta em atraso dos usuários, administração, consumo de combustível, acidentes e outros custos sociais.

No final da década de 80, Hensher (1989) já elencava as desvantagens da utilização das praças de pedágio para a cobrança manual das tarifas:

- A velocidade dos veículos deve diminuir consideravelmente a ponto de parar momentaneamente na abordagem na praça de pedágio;
- O número de cabines de pedágio é normalmente bem superior ao número de faixas de tráfego na estrada, o que aumenta consideravelmente os custos de infraestrutura, incluindo desapropriação de terra;
- Há uma quantidade substancial de mão de obra envolvida no ciclo de pagamento e manutenção de equipamentos que é caro e menos confiável do que mais sistemas totalmente automatizados;
- A frustração do público resultante do atraso associado ao pagamento físico no local adiciona um custo não quantitativo, mas importante para a eficácia das instalações com pedágio;
- A possibilidade de cobrar com base na distância, por exemplo, não está disponível, a menos que se tenha uma série de praças de pedágio ao longo do percurso, o que é claramente impraticável devido ao alto custo de investimento e operacional.

Segundo o autor, a opção por manter alguma instalação de pedágio em uma ou duas pistas seria em função dos viajantes irregulares e por razões de escolha econômica. No longo prazo, depois

que a sociedade tiver totalmente adaptada à ideia de cobrança eletrônica de pedágio (ETC), pode ser desejável substituir as praças de pedágio restantes.

A ETC tem sido uma tendência comum no sistema de tarifação rodoviária em todo o mundo, obtendo assim eficiências importantes e redução nos custos sociais. Os estudos realizados por Willumsen (2004), Persad *et al.* (2007), Gordin *et al.*, (2011), Abuzwidah *et al.* (2014) e Ramandanis *et al.* (2020), concluíram pelas seguintes vantagens da cobrança eletrônica de pedágio:

- melhoria do fluxo de veículos, redução do congestionamento, economia de combustível e redução da poluição;
- aumento da receita: economia de tempo, processamento mais rápido e melhor serviço atraem mais clientes, aumentando assim a receita;
- taxas de acidentes reduzidas e segurança aprimorada por causa da redução da direção em marcha lenta.

A forma como esses esquemas de cobrança são implementados e operados se diferem não apenas em termos de tecnologias. É possível fazer esquemas de cobrança baseados:

- na distância: a cobrança é calculada com base na distância percorrida pelo veículo e depois modulado por outros parâmetros que caracterizam os veículos;
- no tempo: a cobrança é calculada com base no tempo para o qual os usuários estão pagando, com a cobrança sendo novamente modulada junto com as características do veículo;
- no acesso: a cobrança é aplicada a uma área geográfica específica, normalmente parte de uma cidade, mas também pode ser aplicado à infraestrutura específica ou outra zona (por exemplo, um perímetro de aeroporto) (COMISSÃO EUROPEIA, 2015).

A primeira categoria de esquemas de cobrança é amplamente adotada em toda a Europa e se baseiam no princípio de que uma taxa é paga pelo usuário da via com base no uso efetivo da infraestrutura rodoviária. Um veículo é cobrado proporcionalmente sobre o uso efetivo das infraestruturas rodoviárias, recorrendo a diversos meios técnicos.

A segunda é conhecida como esquemas baseados em adesivos. Um veículo, seja leve ou pesado, necessita adquirir um adesivo que lhe permita fazer uso de uma determinada infraestrutura

rodoviária por um período específico (normalmente alguns dias, em vez de alguns meses ou um ano inteiro). A taxa a pagar é independente da utilização efetiva da infraestrutura da estrada.

A terceira categoria é aplicada principalmente em áreas urbanas e infraestruturas específicas, onde é cobrado do usuário um pedágio por cruzar um cordão de isolamento ou dirigir por um tempo em uma zona específica.

Ainda, a implantação de ETC permite a cobrança de pedágio baseada nos níveis de congestionamento ou hora do dia. Preços variáveis de tarifas baseados em níveis de congestionamento podem ser referidos como preços de valor, preços dinâmicos ou preços de congestionamento (CRABTREE *et al.*, 2008). Cingapura foi a primeira cidade a adotar tarifa de congestionamento em 1998, (seguida por outras, incluindo Bergen e Trondheim); a partir de 2006, Londres também passou a adotar esse esquema de cobrança (PERSAD *et al.*, 2007).

Ao longo dos anos, diversos estudos realizados comprovaram a melhoria do fluxo com benefícios na segurança do motorista e redução da emissão de gases poluentes. Gordin *et al.*, (2011) coletaram dados de acidentes de praças de pedágio na Flórida que foram convertidas em pedágio aberto (ORT) e concluíram que a atualização de faixas de pedágio convencionais para ORT resultou em melhorias nas operações de tráfego nas praças de pedágio e redução da exposição do motorista a possíveis colisões, beneficiando assim a sua segurança.

Os resultados do estudo realizado por Ramandanis *et al.* (2020), também corroboram com os achados de Gordin *et al.* (2011), mostrando que, mesmo para baixas taxas de adesão ao sistema eletrônico de cobrança, o congestionamento do tráfego e as condições ambientais foram muito melhoradas.

Em relação aos benefícios de segurança, em geral as instalações ETC são praticamente livres de acidentes. A rodovia aberta pedagiada, ou do inglês *Open Road Tolling* (ORT), permite aos veículos viajar em velocidades normais de rodovias, evitando tráfego perigoso e repentina mudança de faixa e, ainda, elimina o perigo dos motoristas disputarem a posição na pista. ORT também contribui para reduzir as distrações que os pagadores de pedágio enfrentam enquanto dirigem, como procurar troco ou ter que diminuir ou parar para pagar o pedágio.

O pagamento da tarifa de pedágio nesse tipo de rodovia se dá por meio da solução eletrônica do tipo MLFF, que utiliza pórticos que cobrem toda a faixa de rodagem no ponto de cobrança, sem impor restrição ao tráfego, isto é, não há mudança de via, desaceleração ou parada do veículo.

Em um primeiro estudo sobre a avaliação da segurança da conversão do tipo de cobrança de pedágio realizado por Abuzwidah *et al.* (2014), avaliou-se a eficácia da segurança da conversão de uma cobrança de pedágio tradicional para um sistema híbrido de praça de pedágio e fluxo livre na faixa principal (HMTP) em 30 estradas da Flórida – USA.

Um sistema HMTP combina pedágio na forma *open road* na faixa principal e cobrança de pedágio tradicional ao lado. Os resultados indicaram que a conversão da praça de pedágio da linha principal tradicional para HMTP mostrou uma redução média de acidentes de 47%, 46% e 54% para colisões totais, colisões fatais e com ferimentos e colisões apenas com danos materiais, respectivamente. O uso de um sistema HMTP também reduziu significativamente as colisões traseiras e aquelas relacionadas às mudanças de faixa em uma média de 65% e 55%, respectivamente.

Posteriormente, em outro estudo, Abuzwidah & Abdel-Aty (2015) avaliaram a eficácia da segurança da conversão de HMTP ou TMTP – com praça de pedágio tradicional - para o sistema de cobrança de pedágio totalmente eletrônico (AETC - *All Electronic Toll Collection*). Os resultados indicaram que a conversão do TMTP para um sistema AETC resultou em uma redução média de acidentes de 76, 75 e 68% para colisões totais, fatais e feridos e apenas danos materiais, respectivamente. Para colisões traseiras e relacionadas à mudança de faixa, as reduções médias foram de 80 e 74%, respectivamente. A conversão do sistema HMTP para o sistema AETC melhorou a segurança do tráfego, reduzindo os acidentes em 24, 28 e 20% dos acidentes fatais, com feridos e dos acidentes apenas com danos materiais, respectivamente. Já para colisões traseiras e relacionadas à mudança de faixa, as reduções médias foram de 15% e 22%, respectivamente.

A remoção de nove praças de pedágio na Garden State Parkway (GSP) em Nova Jersey – USA entre 2001 e 2010 foi usada como estudo de caso por Yang *et al.* (2013). Os resultados estimados do estudo mostram que a ocorrência de colisões em geral nessas praças de pedágio

foi reduzida em 47,2% após a remoção das praças de pedágio. O custo estimado dos acidentes foi reduzido em 43,2%.

Quanto aos benefícios econômicos, esses acontecem uma vez que ORT reduz atrasos. Os atrasos causam perdas tanto para o motorista quanto para a economia em geral, já que os custos diretos do aumento do consumo de combustível e do desgaste do veículo devido aos movimentos em marcha lenta e de aceleração e desaceleração, bem como custos indiretos de estresse, aumentam o custo do frete de bens - um custo geralmente repassado ao consumidor (ALVARENGA, 2010).

No estudo conduzido por Burris & Pendyala (2002) foi verificado que os benefícios incrementais da ETC excediam os custos em vários cenários de tráfego. Esses efeitos se tornam maiores à medida que o tráfego aumenta. No entanto, convém destacar que, nas simulações conduzidas pelos autores, os custos excederam os benefícios em condições de tráfego não congestionado.

Verifica-se ainda benefícios ambientais na utilização dos sistemas eletrônicos de cobrança de pedágio. Por meio do estudo de caso de uma rodovia centro-norte de Taiwan, apurou-se que as emissões de CO₂ foram reduzidas em 12,4% à medida em que o número de faixas ETC para todas as praças de pedágio aumentou (TSENG *et al.*, 2013). Ainda, verificou-se que a redução dos custos externos (consumo de combustível e tempo de transação, por exemplo) caíram 60,1% em termos de valor do tempo de transação.

Os resultados obtidos no estudo de caso do sistema de pedágio na República da Sérvia, realizado por Milenkovic *et al.* (2020), mostram que a utilização do sistema MLFF, em comparação ao sistema manual, pode atingir uma redução de CO₂ na faixa de 25% a 45% e a redução de NO_x na faixa de 32% a 98%, dependendo do tipo de veículo e do cenário considerado.

Além dessas constatações, é importante mencionar o impacto ambiental causado na construção de praças de pedágio, em que áreas além das faixas de tráfego precisam ser desmatadas para permitir a construção das diversas cabines de pedágio e faixas de tráfego, dimensionadas a depender do volume de tráfego da região.

2.5 SISTEMA *FREE-FLOW* DE PEDÁGIO ELETRÔNICO

Os sistemas *free-flow* de pedágio eletrônico (ou mais precisamente chamado de *Open Road*) são mais do que uma simples evolução da identificação automática de veículos (AVI) atualmente disponível nas praças de pedágio do país, pois possibilita a passagem sem redução da velocidade e a cobrança eletrônica da tarifa com pagamento posterior através de boleto ou débito em conta.

Uma das principais diferenças do sistema ETC para o sistema AVI atualmente em uso no Brasil está na necessidade de garantia da captura contínua, estando o veículo em qualquer posição dentro da zona de coleta, geralmente com mais de uma faixa de tráfego. Essa necessidade se dá devido à inexistência de canalização do fluxo de tráfego, como ocorre nas praças de pedágio, uma vez que a identificação e a tarifação dos veículos ocorrem nas seções típicas da via.

No caso dos sistemas *free-flow* de pedágio, pórticos instalados ao longo de uma via com pedágio reconhecem os veículos que os atravessam e os tarifam de forma eletrônica. A implantação desse sistema pode trazer não só ganhos de produtividade na cobrança do pedágio, mas também ser uma alternativa viável para a redução das tarifas praticadas (SANTOS & RIBEIRO, 2018). Isso é possível porque a cobrança pode ser feita em mais pontos do trecho concedido – com o devido ajuste da proporcionalidade tarifária – objetivando aumentar a base de usuários pagantes, que implica justamente a redução das tarifas cobradas por quilômetro percorrido.

Além disso, *Open Road* ETC não gera atrasos e reduz as emissões, pois permite a operação ininterrupta, sendo uma proposta muito atraente em áreas urbanas congestionadas e poluídas (WILLUMSEN, 2004), onde não há espaço para praças de pedágio.

Dentre os achados do estudo de Perez-Martinez *et al.* (2011), está que o sistema *free-flow* é benéfico para reduzir as emissões de CO₂. Sabendo que o tipo de sistema de pedágio pode ter grande influência na eficiência energética do transporte rodoviário, a adoção do sistema de fluxo livre é essencial.

Outra vantagem é que o sistema *free-flow* oferece a oportunidade para os operadores de infraestrutura de pedágio de fornecer uma quantidade substancialmente maior de capacidade de tráfego do que os sistemas convencionais de cobrança de pedágio.

Os resultados do estudo de caso realizado por Santos *et al.* (2020), de simulação de cobrança de pedágio em sistema de fluxo livre em vez de manual, mostraram que este sistema reduz pela metade o tempo que leva para atravessar a praça de pedágio, resultando em uma diferença de 43 segundos para uma única praça.

Em rodovias com *free-flow*, dependendo da localização e configuração dos pórticos de controle, pode-se cobrar por distância quilométrica com controle nos acessos (entrada e saídas) de uma rodovia; ou por Trecho Homogêneo (TH) da rodovia, sendo eles de diferentes extensões e volumes de tráfego (segmento por segmento). Cada uma dessas alternativas é possível e recomendada de acordo com os requisitos funcionais de projeto da rodovia (BARBOSA, 2013).

O modelo de tarifa exata por quilômetro percorrido é mais viável nas rodovias de Classe Zero, ou seja, nas vias expressas com controle total de acesso, onde o ingresso na rodovia ocorre apenas em intersecções com outras rodovias. Isso porque o custo e benefício da implantação de um sistema para controlar todos os acessos não devem ser compensadores, pois seria necessário a monitoração de todos os acessos, inclusive os particulares, além da entrada e saída de grandes polos logísticos, empresas, vilas, fazendas etc. (IBL, 2021).

Embora as rodovias de controle total de acesso não sejam uma realidade no Brasil – há apenas 800 km de rodovias com essas características, sendo vias estaduais do Estado de São Paulo – essa característica não é uma limitação para o pedágio de fluxo livre. A cobrança por TH é uma boa opção para esses casos, em que cada pórtico cobra o valor referente à extensão de seu respectivo trecho de cobertura. Uma vez identificado o veículo num determinado pórtico, o valor a ser cobrado no trecho correspondente já estará definido. Sendo ampliado os pontos de cobrança, haverá maior justiça tarifária e tendência de ampliação dos recursos para financiar a infraestrutura, ou seja, maior receita com menores tarifas.

Os estudos de caso realizados por Barbosa (2013) e Schurgelies *et al.* (2022) simularam a implantação do *free-flow* em trechos de rodovias do Brasil atualmente concedidas, considerando justamente a cobrança por trecho homogêneo. Mas é importante avaliar cada concessão individualmente, buscando definir segmentos prioritários para a implantação da arrecadação por extensão percorrida.

É importante destacar também que a tarifação ao longo de todo o trecho rodoviário, conforme a distância percorrida, pode ser um fator de desestímulo ao avanço desordenado da mancha urbana, diminuindo a utilização das rodovias pelo tráfego urbano, o que tende a melhorar a segurança e o conforto para os usuários da rodovia, bem como a fluidez do tráfego (CARDOSO *et al.*, 2019).

Assim como no Brasil, o ambiente de pedágio na Grécia é baseado em pontos de cobrança nos quais as tarifas de pedágio são proporcionais ao trecho de cobertura do ponto. Desse modo, para melhorar a proporcionalidade do pedágio, uma rodovia grega está combinando praças de pedágio convencionais existentes com pórticos ETC instalados em rampas de entrada e saída selecionadas resultantes a um sistema de pedágio ETC ou “híbrido” totalmente fechado, mas mantendo as praças de pedágio do sistema convencional, sendo a primeira implantação de um sistema deste tipo em toda a autoestrada na Grécia e no mundo (PAPANDREOU & ANTIOCHOS, 2020).

Esse é um modelo que pode servir de inspiração para o Brasil, diante às semelhanças de praças de pedágio existentes e alta quantidade de acessos ao longo das rodovias. Além disso, o sistema híbrido pode ajudar a impulsionar o uso de ETC e abrir caminho para a futura conversão para *MultiLane Free Flow*. A pesquisa realizada por Adurthi *et al.* (2022) para explorar as percepções e a aceitabilidade de diferentes esquemas de tarifação rodoviária na Índia concluiu que os preços baseados na distância são os esquemas de preços mais aceitáveis para os entrevistados.

Desde 2012, algumas rodovias estaduais do Brasil já vivenciam experiências bem similares ao *free-flow*. O programa Ponto a Ponto, de iniciativa do Governo do Estado de São Paulo, possibilita a cobrança eletrônica do pedágio com base na distância do trecho percorrido pelo usuário. Assim como o *free-flow*, ele funciona por meio de pórticos fixados em pontos estratégicos das rodovias. Mas para usufruir do benefício de pagar por trecho percorrido, é necessário possuir um *tag* de uma das operadoras de sistema de arrecadação (ARTESP, 2023) e em alguns trechos de rodovias só poderão aderir ao projeto os condutores residentes em municípios específicos próximos aos locais dos pórticos, sendo preciso fazer um cadastramento prévio.

No âmbito federal, os mais recentes estudos de concessão rodoviária já contemplam a previsão de cobrança *free-flow* para determinados trechos urbanos das concessões Rio-SP (BR-116/101/RJ/SP) e EcoRioMinas (BR-116/465/493/MG/RJ), porém com possibilidade de implantação apenas a partir de 2025 e 2027, respectivamente. Mas de todo modo, cláusulas contratuais trazem a possibilidade e definem algumas premissas para a implantação desse sistema de cobrança nos demais trechos.

2.6 DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DO *FREE-FLOW*

O sistema *free-flow* introduz uma nova série de questões para a cobrança de pedágio, em particular a visão do usuário como cliente. Integração, atendimento ao cliente, interoperabilidade e o que fazer com usuários pouco frequentes e infratores são aspectos significativos a serem considerados ao projetar e implementar tais sistemas (WILLUMSEN, 2004).

Tudo isso somado às diferentes tecnologias e esquemas de cobrança, implica em muitas complexidades técnicas e políticas, tanto na consideração inicial sobre a introdução da cobrança eletrônica e em qualquer desenvolvimento subsequente. Decidir sobre tais estratégias com antecedência pode ajudar na implementação da ETC.

Em um ambiente de fácil acesso como rodovias com sistemas de pedágio eletrônico, é importante que as autoridades entendam os aspectos técnicos, da legislação e das necessidades dos operadores e usuários. É fundamental alcançar um equilíbrio entre a promoção da modicidade tarifária, de garantia da receita, de uma adequada mobilidade, da satisfação do usuário quanto ao serviço prestado e do financiamento da infraestrutura rodoviária disponibilizada (SANTOS & RIBEIRO, 2018).

Visando o sucesso da implantação e operação de um sistema *free-flow* de pedágio eletrônico no Brasil, é necessário dispor de uma fiscalização eficiente de possíveis violações do sistema, uma vez que, segundo informações da CNT (2020), a necessidade de instalação do *tag* para o cadastro dos usuários pagantes é uma das principais causas da eventual evasão, já que os usuários não cadastrados também conseguem circular livremente pela via.

Em um estudo de benchmarking realizado pela KPMG internacional em 2018 envolvendo mais de 65 operadores de pedágio no mundo, tanto públicos quanto privados, verificou-se uma média de inadimplência da ordem de 3,5%. Mas foi observado que os operadores que relataram níveis mais baixos de inadimplência tendem ser aqueles que têm barreira física ou com contratos que garantiam um certo nível de receita. Então considerando apenas os operadores em modelo AETC, nos moldes do *free-flow*, o índice variou entre 2% e 15% (KPMG, 2019).

Ainda sobre o referido estudo, foi apurado que os operadores de pedágio para serem efetivos na redução de inadimplência enfrentam desafios que estão relacionados a quatro principais áreas: dados e tecnologia; legislação e *enforcement*; custo; e questões administrativas (KPMG, 2019).

No que tange aos desafios relacionados aos dados e tecnologia, é essencial prever que os usuários não regularizados tenham os seus veículos reconhecidos pela placa, por meio de OCR, sendo-lhes facultado fazer o pagamento devido posteriormente.

Sobre o segundo ponto verificado, a percepção do setor é que uma legislação inadequada ou uma postura de negligência na implementação das medidas podem dificultar o processo de cobrança dos infratores.

A respeito dos custos mencionados, estes são relativos à fiscalização, e são desafiadores pois podem superar os benefícios de perseguir todos os infratores. Portanto, busca-se avaliar um ponto de equilíbrio que permitirá às operadoras de pedágio maximizar as receitas de maneira econômica.

Por último, o desafio administrativo citado, está relacionado com a falta de interoperabilidade entre os sistemas, e acordos insuficientes de reciprocidade com outras jurisdições (particularmente em torno de dados do usuário).

No Brasil, as publicações das Resoluções CONTRAN, nº 984 e nº 985, em dezembro de 2022, relacionadas ao *free-flow* dispõem sobre a implementação do sistema e aprova o Manual Brasileiro de Fiscalização de Trânsito (MBFT), respectivamente (CONTRAN, 2022a e 2022b). A primeira trata da implementação do sistema *free-flow* em rodovias e vias urbanas e dispõe sobre os meios técnicos a serem utilizados para garantir a identificação dos veículos que

transitem por essas vias. Enquanto a segunda resolução aborda a questão da infração prevista no art. 209-A do Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997), de multa pelo não pagamento do pedágio cobrado pelo uso de rodovias e vias urbanas.

As alterações feitas na legislação de trânsito, relacionadas à cobrança eletrônica de pedágio, demonstram a preocupação do governo brasileiro com a maior efetividade da fiscalização e punição dos evasores, objetivando minimizar a inadimplência; logo, o impacto no equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

No cenário internacional, no que diz respeito à política de fiscalização, a experiência chilena que se mostrou eficaz para desencorajar a violação de pedágio foi a de cobrança de multa 40 vezes superior ao montante evadido e a não renovação do certificado de licença do veículo pelas Câmaras municipais se um número de placa não pagou as multas associadas a ele. Apesar de serem políticas eficazes, alguns problemas surgiram ao longo dos anos, como a saturação dos tribunais de justiça, que tem que enviar as informações sobre sonegadores de pedágio para os municípios, resultando em importantes atrasos no processo, e o fato de alguns municípios fecharem os olhos para as renovações de registro de veículos porque as taxas recebidas dessas renovações são uma importante fonte de receita para os governos locais (VASSALLO *et al.*, 2020).

Sabendo da importância da efetividade da cobrança em um sistema eletrônico de pedágio sem barreiras, a cobrança na Áustria acontece tanto pelos pórticos estacionários e equipamentos de fiscalização portáteis quanto por uma unidade de controle móvel (“agentes de cobrança de pedágio”), se houver necessidade. Os agentes não são uma segunda polícia, as suas competências estão restritas apenas ao pedágio, mas estão autorizados por lei a parar veículos por razões de controle, a receber pagamento da tarifa de pedágio, evitar que os sonegadores de pedágio continuem a viagem ou dar início nos procedimentos de punição (SCHWARZHERDA, 2005).

É muito importante conscientizar o público sobre os benefícios do regime de cobrança. É provável que um esquema impopular tenha baixa conformidade. Segundo Ellis (2012), manter o esquema o mais simples possível também é essencial de modo a evitar que pessoas incorram em penalidade porque não compreendem o sistema.

De toda forma, o programa de concessão precisará contemplar mecanismo que sustentem uma taxa de perda de receita aceitável a fim de que o impacto na receita do projeto não provoque consequências financeiras e econômicas para o fluxo de caixa da concessão, com reflexos na saúde financeira e por consequência continuidade das operações da rodovia (IBL, 2021).

Nesse sentido, as cláusulas dos mais recentes contratos de concessão rodoviária do Brasil – RioSP e EcoRioMinas – alocam ao poder concedente tanto o risco dos impactos positivos (como o aumento de receita) quanto negativos (como as evasões) decorrentes da implantação de sistema de arrecadação de Tarifa de Pedágio na modalidade *free-flow* (ANTT, 2021 e 2022a). Se por um lado essa garantia ao reequilíbrio do total das perdas decorrentes de evasão incentiva a adoção do novo sistema pelas concessionárias, por outro, não gera um *enforcement* para a cobrança dos evasores por parte dos operadores.

2.7 INCENTIVOS À UTILIZAÇÃO DE ETCS

Devido às dificuldades e riscos envolvidos na cobrança dos usuários após terem percorrido a rodovia pedagiada de fluxo livre, garantir a cobrança por meio do sistema eletrônico é de suma importância.

Os resultados do estudo realizado por Jou *et al.* (2011) e Jou & Huang (2013) revelaram que os usuários de rodovias de curta distância que não passam por praças de pedágio estavam menos dispostos a pagar por uma OBU, devido a diversos fatores, como “baixa taxa de uso da rodovia”, “viagens fora do horário de pico” e “curto tempo de viagem”. Por outro lado, a disposição para pagar o preço dos pedágios aumentou com a distância percorrida.

No caso de Taiwan ficou evidenciado que a opção do governo em subsidiar o *tag*, quando percebeu que a adesão à OBU de infravermelho não teve sucesso, foi bastante assertiva, uma vez que em pouco tempo a adesão dos usuários às *tags* para pagamento eletrônico passou de 40% para 93% e o número de veículos pagantes aumentou em 16,9%. A política de subsídios de *tags*, além do desconto de 10% para a adesão de ETC, está diretamente relacionada ao aumento da captação de usuários pagantes, logo, ao aumento da receita (TSENG & PILCHER, 2022).

Por meio da exploração de uma pesquisa nacional realizada com usuários de rodovias interurbanas na Espanha, Heras-Molina *et al.* (2017) concluíram que a posse de *tag* para pagamento automático de pedágio está principalmente relacionada aos atributos relacionados à viagem, como a frequência de viagens, o motivo da viagem e o fato de tratar-se de conduzir por motivos de trabalho, enquanto as características socioeconômicas pessoais (renda e idade) desempenham um papel menor. Ainda, assim como em outros estudos, verificaram que a entrega gratuita de *tags* seria uma política eficaz para incentivar os indivíduos a adotar a cobrança de pedágio eletrônico e a fazer uso adicional de estradas com pedágio, devido aos benefícios proporcionados pelos sistemas de ETC.

A pesquisa realizada por Holgín-Veras *et al.* (2020) nos Estados Unidos mostrou como o público está mais inclinado a aceitar esquemas de cobranças de pedágio com descontos tarifários, o que evidencia a importância dos esforços de divulgação destinados a promover a ideia de que os descontos para uso de ETC são políticas justas porque procuram fomentar os benefícios.

Os planejadores de transporte e tomadores de decisão devem estar cientes das diferenças no apoio público aos esquemas de tarifação de rodovias antes e após a sua implementação. Para o esquema de preços que vier a ser implementado, fornecer ao público informações detalhadas sobre seus objetivos e impactos potenciais é essencial para garantir o sucesso da tarifação rodoviária, dado que os indivíduos não têm experiências nas quais basear sua opinião (BUENO *et al.*, 2017).

As experiências de diversos países do mundo mostram a importância de distribuir gratuitamente os dispositivos *tag* aos usuários, o que parece ser uma medida política eficaz. A imposição de custos adicionais continuará sendo um desafio para a implementação no Brasil, considerando que nem mesmo a cobrança de pedágio em si é um tema pacificado na sociedade. Alinhado ao que se verificou na literatura, a oferta de descontos aos usuários que optarem pelo sistema eletrônico de pagamento de pedágio e às passagens frequentes já está sendo considerada nos mais recentes estudos de concessão rodoviária do Brasil.

Denominado como Desconto Básico de TAG (DBT) nos contratos de concessão da RioSP e EcoRioMinas, o percentual de desconto é de 5% em cada cobrança de tarifa para os usuários que utilizam o sistema de pagamento eletrônico de pedágio, e os impactos financeiros da

concessão desse desconto são considerados desde os estudos de viabilidade (ANTT, 2021 e 2022a).

O Desconto de Usuários Frequentes (DUF), por sua vez, possui como principal objetivo minimizar o impacto da introdução de tarifas de pedágio nos custos totais de transporte de pessoas que precisam utilizar a rodovia para a realização de deslocamentos frequentes, que usualmente ocorrem entre municípios próximos, tendo, portanto, distâncias de percurso menores que as dos trechos de cobertura das praças de pedágio. O objetivo final do desconto dado na tarifa é que, na 30ª viagem, o usuário tenha gastado no total o mesmo que um usuário num sistema com cobrança por trecho homogêneo (ANTT, 2020).

2.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Neste capítulo foram apresentados os diferentes sistemas de cobrança de pedágio. Foram abordados os benefícios e desvantagens do sistema *free-flow* em relação aos demais, o status do desenvolvimento dessa tecnologia em alguns países, inclusive no Brasil, e os desafios a serem superados para a expansão da adoção desse sistema no país.

A revisão de literatura possibilitou identificar as linhas de pesquisa em relação ao sistema de cobrança *free-flow*. Foram apresentados estudos sobre a experiência de diferentes na implantação do sistema *free-flow*, cabendo destacar dois estudos que simularam a implantação de *free-flow* em rodovias do Brasil. A partir desses estudos, consegue-se avaliar os benefícios alcançados com a alteração do sistema de cobrança e os desafios a serem superados para a implantação desse sistema no Brasil.

Dentre os desafios, temos a inadimplência, cujo risco deve ser levado em conta na análise da viabilidade da implantação desse sistema de cobrança. Nesse sentido, o próximo capítulo traz o procedimento metodológico para fins de simulação da cobrança *free-flow* de modo a avaliar o impacto financeiro no fluxo de caixa da concessão, e apurar um índice de inadimplência admissível para um projeto de modo a não comprometer o equilíbrio econômico-financeiro do contrato, subsidiando os planejadores de novos estudos de concessões e gestores dos contratos de concessões vigentes a calibrarem o compartilhamento de risco.

3. MÉTODO

3.1 APRESENTAÇÃO

Neste capítulo é descrito o método para avaliação do impacto tarifário da implantação do sistema de cobrança *free-flow* e obtenção do índice de inadimplência admissível. O método utiliza-se de simulação por cenários que consideram o cenário-base com a cobrança por praças de pedágio e novos cenários substituindo as praças por pórticos de cobrança sem barreira física.

3.2 CONSIDERAÇÕES DE APLICAÇÃO DO MÉTODO

Diante da realidade brasileira em relação ao sistema de cobrança de pedágio em fluxo livre, a proposta do estudo de caso consiste em simular dois cenários de cobrança *free-flow* na BR-101/RJ/SP, o primeiro apenas substituindo as praças de pedágio previstas no cenário-base por pórticos *free-flow*, mantendo os três pontos originais de cobrança, e o segundo simulando a cobrança *free-flow* por trecho homogêneo do segmento rodoviário, adicionando, portanto, novos pontos de cobrança em relação ao primeiro cenário. Por fim, será calculado o índice de inadimplência admissível para que o equilíbrio econômico-financeiro do projeto seja mantido.

A BR-101/RJ/SP é parte do trecho da concessão rodoviária federal denominada RioSP. Os trechos homogêneos considerados na simulação são os definidos no próprio Contrato de Concessão da RioSP (ANTT, 2021). Segundo o Relatório de Tráfego da fase de estudos da concessão (ANTT, 2020), a segmentação da rodovia adotada foi baseada no próprio SNV 201903A do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), mas foi destacado que alguns segmentos do SNV foram quebrados por representarem uma agregação muito extensa, não permitindo, assim, a obtenção de uma resolução adequada sobre a variação de volume na rodovia.

De modo a subsidiar a simulação, bem como fornecer um cenário-base com praças de pedágio para comparação direta, os dados de contagem de tráfego, trechos homogêneos, tarifa quilométrica (TKM), CAPEX e OPEX, por exemplo, serão os do próprio Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental (EVTEA) do trecho concedido da BR-116/RJ/SP e da BR-101/RJ/SP, estudo este denominado inovadutra.

Parte-se do pressuposto de que o volume de veículos pagantes é o mesmo do estudo de tráfego da licitação, considerando que não haverá qualquer alteração do quantitativo de fugas e desvios do estudo original.

Sobre os custos, uma vez que a implantação do sistema *free-flow* traria de imediato a redução no custo de implantação e operação da praça de pedágio convencional do cenário-base, esses valores serão considerados em favor do usuário, ou seja, excluídos do fluxo de caixa do projeto.

Por outro lado, os custos de implantação e operação dos pórticos do modelo proposto precisam ser estimados e inseridos no fluxo de caixa do projeto. Serão desconsideradas as variações no custo de manutenção dos sistemas.

Apesar dos benefícios esperados com a implantação desse sistema de cobrança *free-flow*, espera-se uma tendência de aumento de evasão de pedágio, resultante da inadimplência dos usuários que, por não ter uma barreira física, não são impedidos de dar continuidade na viagem sem a realização do pagamento.

Assim, a obtenção de um índice máximo admissível de frustração de receita de pedágio, de modo a manter o equilíbrio econômico-financeiro do projeto, é um parâmetro importante para a análise da viabilidade da implantação do sistema de cobrança sem barreira no trecho em questão. Mas tal índice só será possível de ser calculado para um cenário de redução de custos e/ou de aumento de receita.

Portanto, o índice de inadimplência admissível mencionado se refere à fração não paga da receita ideal (projetada) e não à fração de usuários inadimplentes.

3.3 ESTRUTURA DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O método proposto é dividido em cinco etapas, como apresentado na Figura 3.1, e descrito nos itens seguintes.

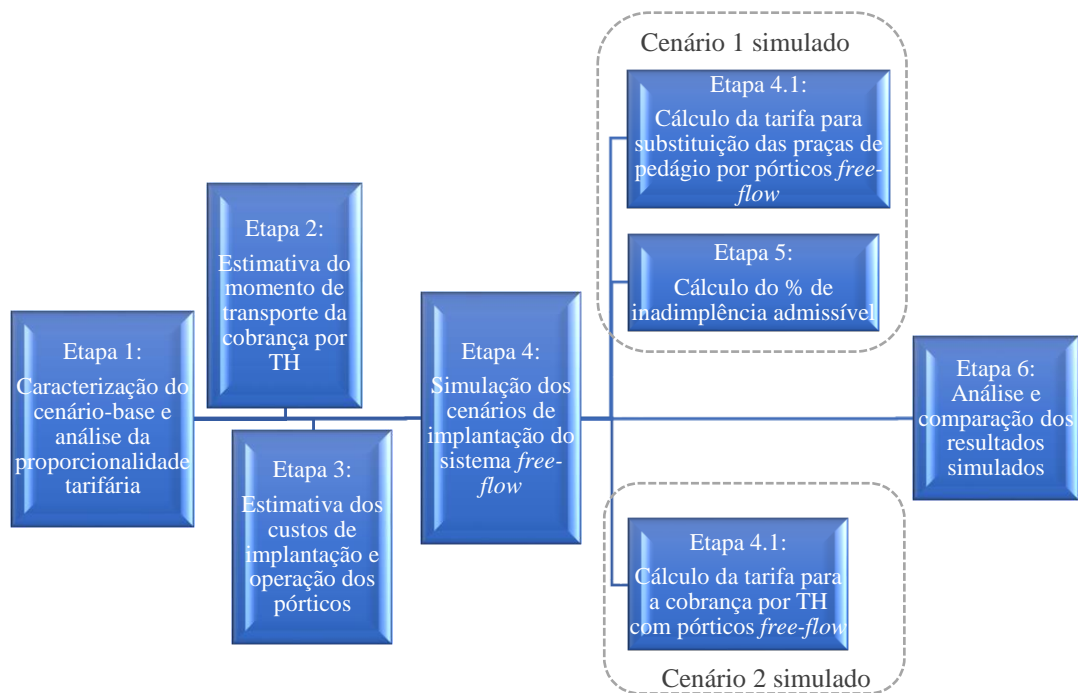


Figura 3.1 Fluxograma das etapas envolvidas no processo de simulação da cobrança de pedágio por pórticos *free-flow*

3.4 ETAPAS DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Nesta seção as cinco etapas do método são descritas, com suas respectivas considerações.

3.4.1 Etapa 1 - Caracterização do cenário-base e análise da proporcionalidade tarifária

A etapa 1 consiste na caracterização e delimitação da área de estudo que será denominada como cenário-base. Ainda nesta etapa é procedida a análise da proporcionalidade tarifária, para quantificar as distorções causadas pelo modelo de praças de pedágio.

3.4.2 Etapa 2 - Estimativa do momento de transporte

O momento de transporte ($\text{km.Veic}_{\text{eq}}$) é o parâmetro que permite a comparação do potencial de arrecadação de modelos com trechos de cobertura distintos (ANTT, 2020). Além disso, o momento de transporte permitirá o cálculo da nova receita tarifária.

Com esse intuito, na etapa 2 são calculados os momentos de transporte e apresentado gráfico comparativo do momento de transporte que passa pelos pontos de cobrança do cenário-base e do cenário 2 simulado, com cobrança por trecho homogêneo.

3.4.3 Etapa 3 - Definição dos custos do sistema de cobrança

Para simular a implantação do sistema *free-flow* em substituição às praças de pedágio previstas no cenário-base, é preciso ajustar no fluxo de caixa os custos de implantação e operação desses diferentes sistemas de cobrança.

Assim, a etapa 3 consiste em apresentar a metodologia para a estimativa dos custos de implantação e operação dos pórticos do modelo proposto, para serem considerados no fluxo de caixa do projeto.

3.4.4 Etapa 4 – Simulação dos cenários de implantação do sistema *free-flow*

A etapa 4 consiste na simulação de dois diferentes cenários de implantação do sistema de cobrança *free-flow* na BR-101/RJ/SP. O primeiro, denominado cenário 1, consiste na substituição das praças de pedágio do cenário-base por pórticos *free-flow*. O segundo, denominado cenário 2, é realizada a simulação da cobrança por TH com pórticos *free-flow*.

Para tanto, procede-se a atualização do momento de transporte e dos custos de implantação e operação dos pórticos na planilha de modelagem econômico-financeira do EVTEA do cenário-base, para obter, através de um processo iterativo de variação da TKM de pista simples da BR-101, mantendo a Taxa Interna de Retorno (TIR) do cenário-base, a nova TKM de pista simples.

As novas TKMs calculadas permitem uma análise comparativa dos cenários em relação à imediata percepção usuário da rodovia, que efetuará o pagamento das tarifas de pedágio.

3.4.5 Etapa 5 - Cálculo da inadimplência admissível

Nesta etapa o índice de inadimplência admissível (IInAd) é calculado através de um processo iterativo de variação do índice de inadimplência (I), mantendo a TKM e a Taxa Interna de Retorno (TIR) do cenário-base.

Para o cálculo do índice, é feita a alteração da fórmula de cálculo da receita tarifária, na planilha de modelagem econômico-financeira do EVTEA do cenário-base, com a inclusão do parâmetro de inadimplência I (em termos percentuais), que se refere à fração não paga da receita estimada.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1 ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO-BASE E ANÁLISE DA PROPORCIONALIDADE TARIFÁRIA

O cenário-base escolhido é o trecho da BR-101/RJ/SP, entre Itaguaí/RJ e Ubatuba/SP, com 270 km de extensão, do entroncamento com a BR-465/RJ-095 até a Praia Grande, em Ubatuba/SP. Trata-se de parte da extensão total concedida à concessionária CCR, por meio do Edital nº 03/2021, cuja concessão é denominada RioSP, apresentada na Figura 4.1. A duração total do contrato de concessão é de 30 anos.

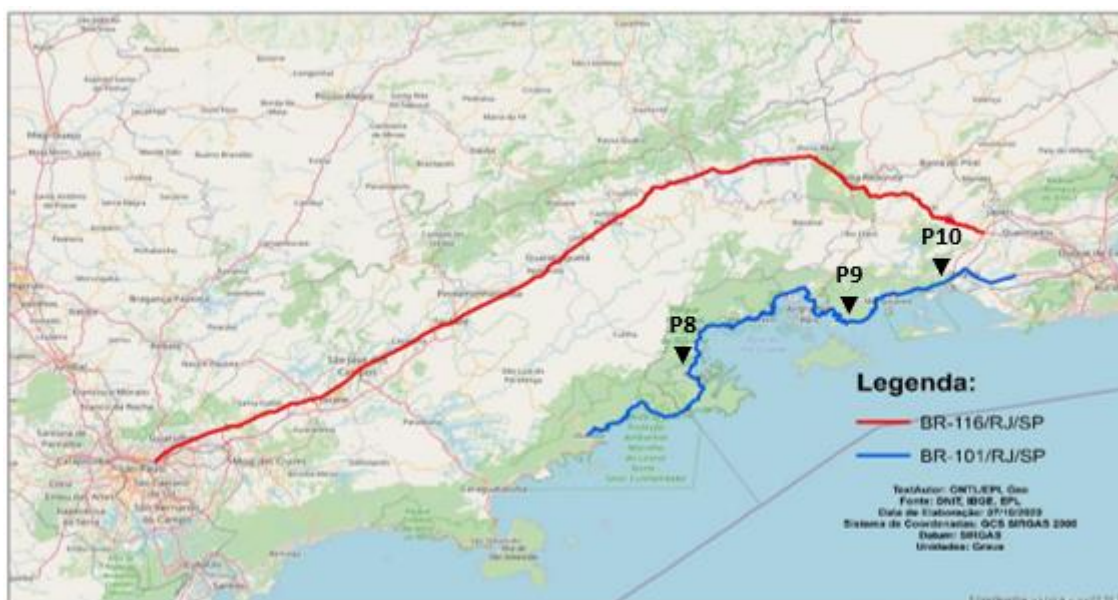


Figura 4.1 Mapa do Sistema Rodoviário – RioSP

Fonte: Adaptado de ANTT (2021).

Destacada em azul na Figura 4.1 está a rodovia BR-101/RJ/SP, parte do trecho da popularmente rodovia conhecida como Rodovia Rio-Santos, localizada entre o Oceano Atlântico e a Serra do Mar, conectando a Região Metropolitana do Rio de Janeiro à Ubatuba–SP. É um eixo tipicamente turístico, atravessando famosas cidades praianas do litoral sul fluminense e do litoral norte paulista.

O sistema de cobrança do cenário-base possui previsão de três praças de pedágio na BR-101/RJ/SP, sendo o trecho de cobertura de 93,66 km para a praça denominada P8, de 93,60 km

para a P9 e de 83,04 km para a P10 e tarifas de R\$ 4,10, R\$ 4,09 e R\$ 4,10, respectivamente, na data-base de outubro/2019. A previsão de arrecadação de receita tarifária foi considerada a partir do 2º ano de concessão.

O trecho rodoviário selecionado para a simulação é composto por dezessete trechos homogêneos, detalhados na Tabela 4.1. Segundo o Relatório de Tráfego do EVTEA (ANTT, 2020), a segmentação do SNV do DNIT correspondente aos segmentos homogêneos TH15 e TH16, apresentados na Tabela 4.1, foi dividida por representarem uma agregação muito extensa, não permitindo, assim, a obtenção de uma resolução adequada sobre a variação de volume na rodovia.

Tabela 4.1 Trechos Homogêneos de tráfego e localização das praças de pedágio

Trecho Homogêneo	Estado	km inicial	Extensão [km]	Municípios	Praça de Pedágio
TH1	RJ	380,8	9,3	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH2	RJ	390,1	6,0	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH3	RJ	396,1	2,3	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH4	RJ	398,4	2,0	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH5	RJ	400,4	5,7	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH6	RJ	406,1	1,9	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH7	RJ	408	8,5	Itaguaí - Mangaratiba	P10 (km 414,9)
TH8	RJ	416,5	12,1	Itaguaí - Mangaratiba	-
TH9	RJ	428,6	4,5	Mangaratiba - Angra dos Reis	-
TH10	RJ	433,1	48,8	Mangaratiba - Angra dos Reis	P9 (km 447,3)
TH11	RJ	481,9	13,8	Angra dos Reis - Paraty	-
TH12	RJ	495,7	33,5	Angra dos Reis - Paraty	-
TH13	RJ	529,2	46,3	Angra dos Reis - Paraty	P8 (km 538,5)
TH14	RJ	575,5	23,5	Paraty - Ubatuba	-
TH15	SP	0	19,2	Paraty - Ubatuba	-
TH16	SP	19,2	28,6	Paraty - Ubatuba	-
TH17	SP	47,8	4,3	Paraty - Ubatuba	-

A tarifa quilométrica (TKM) da BR-101/RJ/SP do cenário-base é de R\$ 0,0437 para pista simples e de R\$ 0,0569 para pista duplicada, ambas na data-base outubro de 2019. A mesma proporção entre as tarifas foi usada na simulação. A Taxa Interna de Retorno (TIR) também é a mesma do cenário-base, sendo de 8,47%.

Além disso, cabe destacar que no EVTEA da concessão são previstos os impactos do Desconto Básico de TAG (DBT), sendo este de 5% em cada cobrança de tarifa para os usuários que

utilizam o sistema de pagamento eletrônico de pedágio, e um percentual de incremento na TKM em função da tarifa diferenciada nos fins de semana. Essas mesmas premissas foram mantidas nas simulações feitas.

O Desconto de Usuário Freqüente (DUF), apesar de ser previsto contratualmente, não foi considerado no cálculo econômico-financeiro do estudo original, pelo fato do reequilíbrio se dar ao longo do contrato de concessão. Portanto, também não foi considerado o seu impacto nas simulações.

Para entender o modelo de tarifação do cenário-base, é preciso fazer uma análise da proporcionalidade tarifária nesse cenário. Apesar do termo “tarifa quilométrica” considerada no estudo do cenário-base, a cobrança da tarifa de pedágio sendo feita em apenas 3 pontos da rodovia, com inúmeros pontos de entradas e saídas ao longo do trecho, desvirtuam o pagamento de uma tarifa quilométrica real a depender do trajeto percorrido.

Portanto, para a análise da proporcionalidade no cenário-base, foi usado o conceito de tarifa quilométrica real (TKMR). Dada a tarifa quilométrica nominal (TKM) do cenário-base, que se difere para pista simples e pista dupla, e o respectivo trecho de cobertura de cada ponto de cobrança, a tarifa cobrada para um automóvel é calculada pela Equação 4.1.

$$Tarifa_i = TKMps \times TCps_i + TKMpd \times TCpd_i \quad (4.1)$$

Em que $Tarifa_i$: Tarifa no i-ésimo ponto de cobertura [R\$]

$TKMps$: Tarifa quilométrica de pista simples [R\$]

$TKMpd$: Tarifa quilométrica de pista dupla [R\$]

$TCps_i$: Trecho de Cobertura em pista simples no i-ésimo ponto de cobertura [km]

$TCpd_i$: Trecho de Cobertura em pista dupla no i-ésimo ponto de cobertura [km]

Mas a real tarifa quilométrica percebida pelo usuário é calculada pela Equação 4.2, que foi utilizada para calcular a tarifa quilométrica real dos 153 pares de trechos homogêneos que constituem trajetos da rodovia (origem e destino).

$$TKM_{real} = \frac{Tarifa}{Distância Percorrida} \quad (4.2)$$

Em que TKM_{real} : Tarifa quilométrica real [R\$/km]

A partir da comparação entre a tarifa quilométrica nominal e a real, é possível quantificar as distorções causadas pelo modelo de praças do cenário-base.

Para análise da proporcionalidade tarifária, são considerados como trajetos possíveis somente cada par dos trechos homogêneos de entrada e de saída, ou seja, o veículo sempre percorre pelo menos um TH. Na Figura 4.2 são apresentados os 153 trajetos, em que a linha corresponde ao trecho de origem da viagem enquanto a coluna representa o trecho de destino). Para cada trajeto, é mostrada a tarifa quilométrica real para o cenário-base e a diferença entre o valor pago nesse cenário e o valor pago caso a cobrança fosse feita conforme os trechos homogêneos percorridos.

Somente o usuário que percorre todo o lote rodoviário - 270 km do trecho concedido da BR-101/RJ/SP - paga a tarifa quilométrica nominal de R\$ 0,04546/km (trajeto TH1-TH17), que é resultante da TKM de pista simples e de pista dupla, sendo considerada para este cálculo o trecho de cobertura de 35,7km já duplicado quando do início da cobrança tarifária. Ou seja, esse usuário paga no cenário-base uma tarifa quilométrica exatamente igual caso a cobrança fosse por trecho homogêneo, resultando em uma diferença igual a 0, destacada em cinza na Figura 4.2.

Os usuários que percorrem qualquer outro trajeto pagam, no cenário-base, um valor equivalente à tarifa quilométrica real maior ou menor, a depender do trecho percorrido na rodovia. Os tons destacados em azul indicam usuários subsidiados pelo sistema, enquanto os avermelhados indicam usuários que subsidiam. São destacados dois exemplos extremos: o usuário do trajeto TH7-TH13 passa por 3 praças de pedágio e subsidia o sistema em R\$ 4,67; já o usuário do trajeto TH14-TH17 percorre 76,3 km sem pagar os R\$ 3,44 correspondentes. Comparando cada trecho homogêneo, o usuário do TH7 paga a maior tarifa por quilômetro rodado, R\$ 0,48233/km, valor 961% superior à tarifa quilométrica nominal. De maneira geral, os usuários que iniciam sua viagem em um trecho com praça, pagam uma tarifa quilométrica superior aos demais.

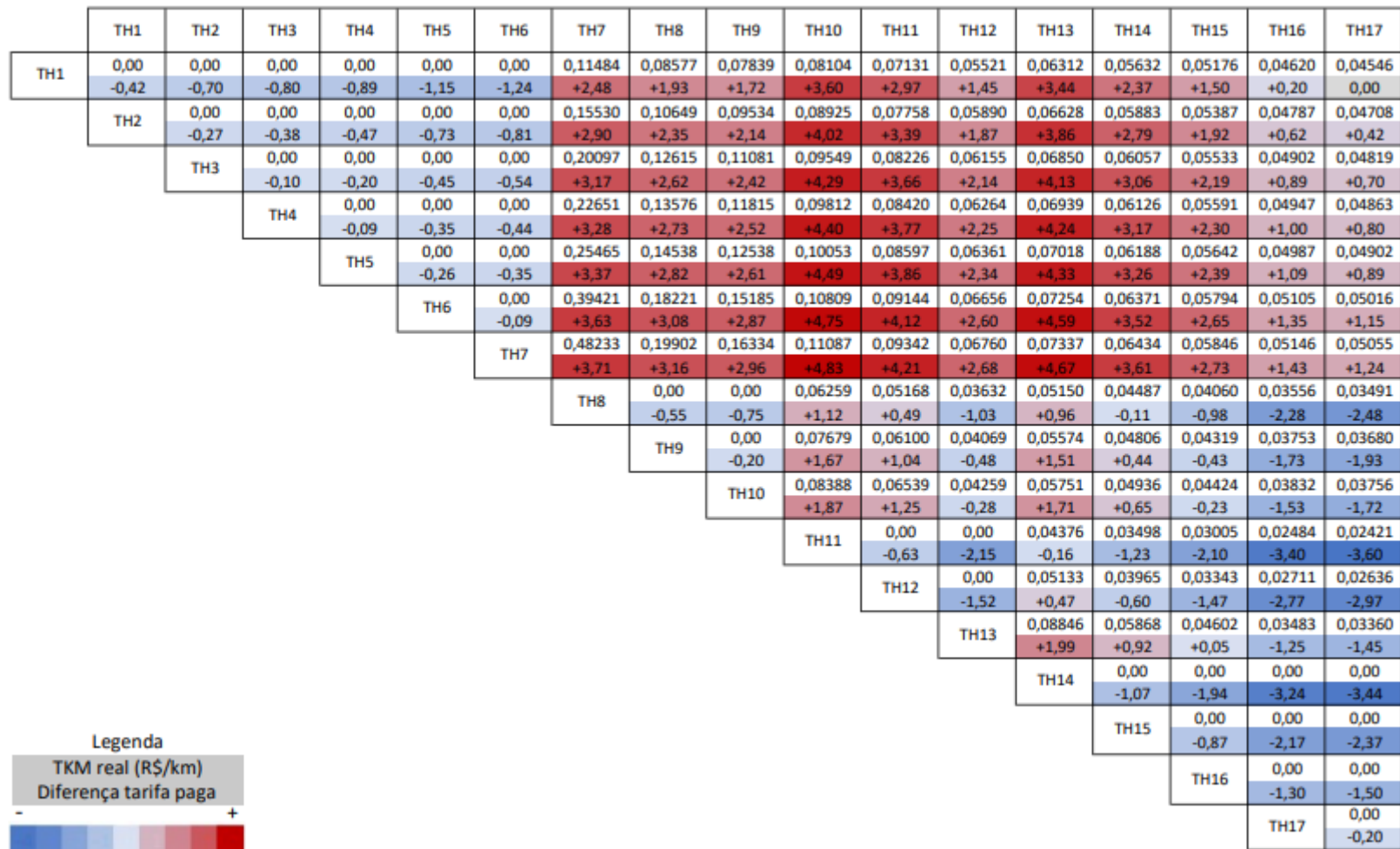


Figura 4.2 Pares entrada-saída do trecho concedido da BR-101/RJ/SP. O primeiro valor é a TKM real no cenário-base; o segundo valor é o que o usuário com automóvel subsidia (+) ou é subsidiado (-)

É esperado que a cobrança por trecho homogêneo traga novos usuários ao sistema, que no cenário-base trafegavam apenas entre as praças. Entretanto, isso não leva a um aumento equivalente na receita tarifária. Como um dos objetivos do *free-flow* é promover a cobrança proporcional à distância percorrida, parte ou toda receita adicionada pelos novos usuários deve ser usada para desonerar os usuários que subsidiavam o sistema.

Desse modo, o cálculo do momento de transporte permite a comparação do potencial de arrecadação de receita tarifária de cenários com trechos de cobertura distintos.

4.2 ETAPA 2 - MOMENTO DE TRANSPORTE DO MODELO PROPOSTO

O relatório de tráfego do EVTEA BR-116-101/RJ/SP (ANTT, 2020) apresenta o Volume Diário Médio Anual (VDMA) de cada categoria veicular e em cada trecho homogêneo do lote rodoviário para o ano de 2018, conforme reproduzido na Tabela 4.2, determinado a partir das contagens de campo e utilização de *softwares* (*RStudio* e *PTV Visum*), para a calibração do modelo, alocação de viagens no ano base e para cenários futuros e, ainda, validação do modelo de macrossimulação.

Cabe destacar que o EVTEA não apresentou os dados de tráfego relativos aos trechos TH1, TH2, TH3, TH4, TH5 e TH6, e, portanto, foi considerado para esses seis primeiros trechos homogêneos, e apresentado na Tabela 4.2, os mesmos dados de VDMA do TH7, que foi o trecho inicial do estudo de tráfego realizado.

O modelo de macrossimulação deve ser capaz de reproduzir de forma adequada o comportamento dos usuários e suas escolhas de rotas no ano base. Além disso, como os VDMA obtidos em campo restringem-se a um número limitado de segmentos, a alocação das matrizes permite a estimativa de volumes ao longo de toda a extensão das rodovias, que para o presente estudo está sendo utilizado para a simulação de cobrança por trecho homogêneo (ANTT, 2020).

Tabela 4.2 Volume Diário Médio Anual [veic/dia] por categoria em cada trecho homogêneo, 2018

Veículos	Multiplicador	Trecho Homogêneo																
		TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	TH9	TH10	TH11	TH12	TH13	TH14	TH15	TH16	TH17
automóveis	1	7.563	7.563	7.563	7.563	7.563	7.563	7.563	7.563	7.563	8.618	7.263	3.810	3.810	1.207	1.207	2.613	2.613
automóveis+semi-reboques	1,5	43	43	43	43	43	43	43	43	43	49	16	8	8	7	7	15	15
automóveis+reboques	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	3	3	0	0	0	0
veículos comerciais 2 eixos	2	828	828	828	828	828	828	828	828	828	841	1.181	621	621	142	142	271	271
veículos comerciais 3 eixos	3	136	136	136	136	136	136	136	136	136	130	174	92	92	24	24	41	41
veículos comerciais 4 eixos	4	52	52	52	52	52	52	52	52	52	50	21	11	11	15	15	25	25
caminhões 5 eixos	5	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	20	11	11	9	9	15	15
caminhões 6 eixos	6	29	29	29	29	29	29	29	29	29	28	10	5	5	7	7	11	11
caminhões 7 eixos	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	4	4	7	7
caminhões 8 eixos	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
caminhões 9 eixos	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
caminhões 10 ou + eixos	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
motocicletas	0,5	214	214	214	214	214	214	214	214	214	244	790	414	414	156	156	337	337
VDMA		8.897	8.897	8.897	8.897	8.897	8.897	8.897	8.897	8.897	9.991	9.483	4.976	4.976	1.570	1.570	3.335	3.335
VDMAeq [veic eq/dia]		10.338	10.338	10.338	10.338	10.338	10.338	10.338	10.338	10.338	11.405	10.840	5.689	5.689	1.825	1.825	3.756	3.756

No estudo de viabilidade, os dados do ano base foram usados para projetar o tráfego nos 30 anos da concessão, com base no procedimento apresentado na Figura 4.3. Foram considerados os efeitos de uma demanda reprimida de veículos comerciais a partir de 2014, e o crescimento de tráfego regido pela elasticidade tráfego-PIB (Produto Interno Bruto). As elasticidades tráfego-PIB são diferentes para veículos de passeio e para veículos comerciais (ANTT, 2020).

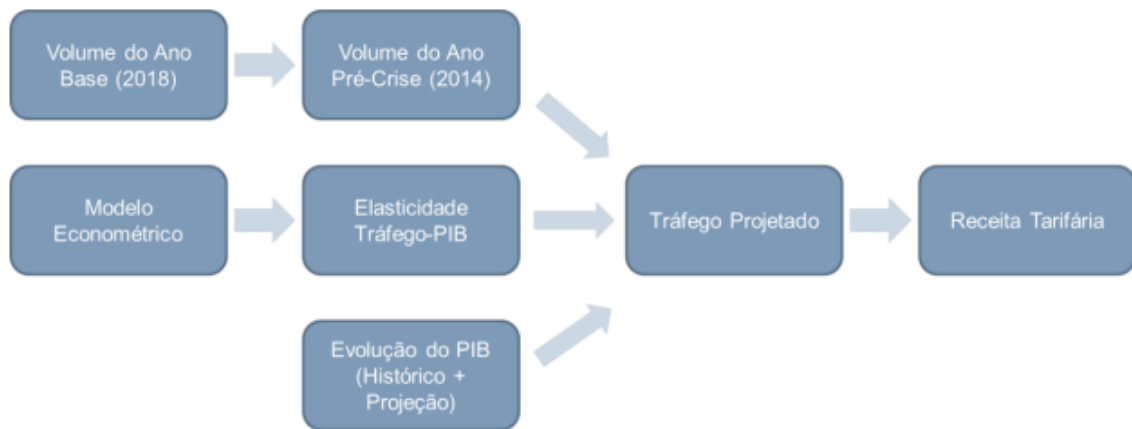


Figura 4.3 Fluxograma das etapas envolvidas no processo de projeção do tráfego

Fonte: Elaboração LOGIT – EVTEA BR-116-101/RJ/SP (ANTT, 2020).

Ao final da projeção de todas as subcategorias, obtém-se o volume de eixos pagantes de cada segmento rodoviário do lote estudado e em cada ano da concessão. Esses resultados são então convertidos em volumes de veículos por meio da divisão do volume total de eixos pagantes de cada subcategoria pela respectiva quantidade de eixos pagantes de cada subcategoria, conforme apresentado na Equação 4.3.

$$VDMAeq_{i,j} = \sum_{k=1}^{12} \lambda_k VDMA_{i,j,k} \quad (4.3)$$

Em que λ_k : Multiplicador tarifário da k-ésima categoria veicular

No EVTEA, para o cálculo de receita tarifária do cenário-base relativa apenas à BR-101/RJ/SP, foi considerado apenas os dados dos trechos homogêneos TH7, TH10 e TH13, por serem os únicos trechos com previsão de pontos de cobrança, por meio de praça de pedágio.

Para o estudo de caso, a projeção do tráfego considerada para todo o período de concessão foi a do próprio estudo de tráfego do EVTEA, que, assim como os dados de VDMA, apresentou os dados projetados apenas para os trechos homogêneos TH7 ao TH17 da BR-101/RJ/SP. Assim, como projeção de tráfego para os trechos TH1 ao TH6, foram adotados os mesmos dados de projeção de tráfego do TH7.

De posse dos dados de volume de tráfego equivalente de cada trecho homogêneo, foi possível calcular o momento de transporte, que permite a comparação do potencial de arrecadação de modelos com trechos de cobertura distintos, como será detalhado posteriormente. O momento de transporte anual é definido pela Equação 4.4.

$$MT_j = \sum_{i=1}^{17} VDMAeq_{i,j} TC_i \quad (4.4)$$

Em que MT_j : Momento de transporte no j-ésimo ano [km veic_{eq}/dia]

A cobrança por trecho homogêneo ao aumentar o número de pontos de cobrança tende a diluir o valor de tarifa cobrado em cada ponto, como será calculado mais adiante. Dessa forma, em geral, o benefício obtido pelo usuário ao usar uma rota de fuga ou migrar para outro modo de transporte é menor, enquanto o custo de fazê-lo permanece o mesmo. Portanto, a expectativa é de aumento no momento de transporte decorrente da diminuição das taxas de fuga.

Entretanto, no presente estudo, não foi possível avaliar a variação da taxa de fuga, tendo em vista que no estudo original do lote concedido as projeções de tráfego foram feitas por meio de *software*, não utilizado no presente estudo. Portanto, foi mantida a projeção de tráfego do EVTEA de cada trecho homogêneo.

De todo modo, baseado na análise constante no estudo de tráfego da inovadutra, de ausência de alternativas viárias próximas à rodovia BR-101/RJ/SP, fazendo com que não se observe a ocorrência de desvios de tráfego significativos (ANTT, 2020), a não alteração da taxa de fuga e desvios para os cenários simulados se mostra coerente.

4.3 ETAPA 3 - CUSTOS DO SISTEMA DE COBRANÇA PROPOSTO

A consideração dos equipamentos adotados para a simulação de cobrança pelo sistema *free-flow* e respectivos custos foi baseada no próprio estudo de viabilidade da concessão inovadutra (ANTT, 2020), que já previa a implantação de *free-flow*, mas apenas para o trecho metropolitano da BR-116/SP.

Assim, foram considerados pórticos equipados com sistema de Identificação por Radiofrequência (RFID) 915 MGz e com sistema de Reconhecimento Óptico por Caracteres (OCR). No RFID, antenas de curto alcance se comunicam com uma *tag* eletrônica, a mesma usada no atual modelo de pistas automáticas nas praças de pedágio. No OCR, a sequência alfanumérica da placa do veículo é localizada e lida.

A própria concessionária CCR apresentou, na sua proposta de implantação de *free-flow* no trecho da BR-101/RJ/SP, os sistemas considerados na presente simulação, conforme se observa na Figura 4.4 extraída da carta da concessionária (CCR RioSP, 2022).



Figura 4.4 Fluxo de registro das passagens do sistema de cobrança *free-flow*

Fonte: CCR RioSP (2022).

O RFID é o sistema primário de identificação, mas a previsão de um sistema secundário como o OCR é importante para garantir que usuários sem a *tag* ou sem saldo junto às operadoras de cobrança também sejam identificados e tarifados (CCR RioSP, 2022). Também foram

considerados um Painel de Mensagem Variável (PMV) antes de cada pórtico, de modo a informar aos usuários sobre as diferentes tarifas nos segmentos. Além da infraestrutura de equipamentos, o custo da mão de obra adicional destinada à análise de imagens e dados oriundos dos pórticos foi considerado.

Por outro lado, a implantação de tal sistema reduzirá uma série de valores considerados no estudo original, como os custos relacionados à implantação das praças de pedágio convencional e os custos de operação da praça de pedágio (como mão de obra dos arrecadadores e o transporte de valores). Desse modo, essa redução de custos foi computada nos cenários simulados.

Com a adoção dos mesmos critérios do estudo da inovadutra, foi considerada a reposição parcial (50%) do sistema *free-flow* a cada 5 anos (ANTT, 2020). Desse modo, os custos estimados de implantação e operação foram distribuídos nos devidos anos de concessão para a correta inclusão no fluxo de caixa.

De modo a permitir os ajustes necessários no EVTEA para a simulação dos cenários pretendidos, foi necessário identificar os custos relativos ao sistema de arrecadação apenas da BR-101/RJ/SP. Os valores de CAPEX foram facilmente identificados, uma vez que são apresentados em planilha exclusiva para a BR-101. Já os valores de OPEX precisaram ser calculados de forma apartada, sendo feita uma proporção do valor considerado para as 10 praças de pedágio previstas para todo o trecho concedido do estudo, para obter o custo relativo a apenas 3 praças de pedágio do trecho parcial considerado no presente estudo.

Quanto ao custo de transporte de valores, a fórmula de cálculo da planilha do EVTEA precisou ser editada de modo a excluir a parcela de receita auferida pelos pontos de cobrança da BR-101/RJ/SP, uma vez que os pagamentos serão processados de forma eletrônica. Em relação ao custo de manutenção dos sistemas, não foi procedido qualquer ajuste de valores na planilha do EVTEA para os cenários simulados.

O sistema de cobrança do cenário-base da BR-101/RJ/SP tem um custo de R\$ 216,9 milhões – desconsiderando os custos de manutenção que não foram levados em conta na presente análise. Dessa forma, uma parcela da receita arrecadada é destinada ao próprio sistema de arrecadação, sem se reverter em obras e serviços diretamente para os usuários da rodovia.

Cerca de 83% dos custos do modelo do cenário-base são destinados ao pagamento de pessoal, isto é, supervisores e líder de pedágio, auxiliares de pista, conferentes e agentes de cobrança. Outro item importante é a implantação das edificações, com cada praça a um custo de R\$ 7,6 milhões de reais (data-base outubro/2019).

A Tabela 4.3 mostra o dimensionamento dos itens de implantação e manutenção do sistema. Além da estrutura dos pórticos e dos equipamentos de identificação do veículo, são previstos painéis eletrônicos de mensagem, para informar o usuário sobre a tarifação.

Tabela 4.3 Cotação para as estruturas e sistemas a serem implementados no *free-flow* da BR-101/RJ/SP. Data-base outubro/2019

Item	Custo de Aquisição [R\$]	Dimensionamento	Aquisição	Reposição parcial
Pórtico para <i>free-flow</i> (estrutura)	72.000,00	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26
Sistemas para <i>free-flow</i> (câmeras, sensores, gerador, etc.)	997.933,64	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26
Painel de Mensagem Variável com pórtico	405.899,00	1 por ponto de cobrança	Ano 1	Anos 6, 11, 16, 21 e 26

Além dos equipamentos, deve ser prevista a implantação de geradores para garantir o fornecimento de energia elétrica mesmo em condições de interrupção da rede pública.

Para o modelo operacional, foram estabelecidas as funções de supervisor de pedágio e agente de verificação de imagens, conforme mostrado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Estimativa de salário e encargos para os funcionários do *free-flow*. Data-base outubro/2019

Função	Custo Mensal por funcionário [R\$]	Dimensionamento	Turnos (8h)	Multiplicador de férias e ausências
Supervisor de pedágio	8.041,65	1 a cada 150km	1	1
Agente de verificação de imagens	3.489,93	1 posto por turno a cada 2 pontos de cobrança	3	1,47

Assim, foi possível elaborar o gráfico comparativo entre o cenário-base e os cenários simulados com 3 e 17 pontos de cobrança, mostrado na Figura 4.5. Os custos do sistema de cobrança *free-flow* proposto com apenas 3 pórticos em substituição às praças de pedágio, foram estimados em R\$ 30,7 milhões, uma redução de 86% em relação ao cenário-base.

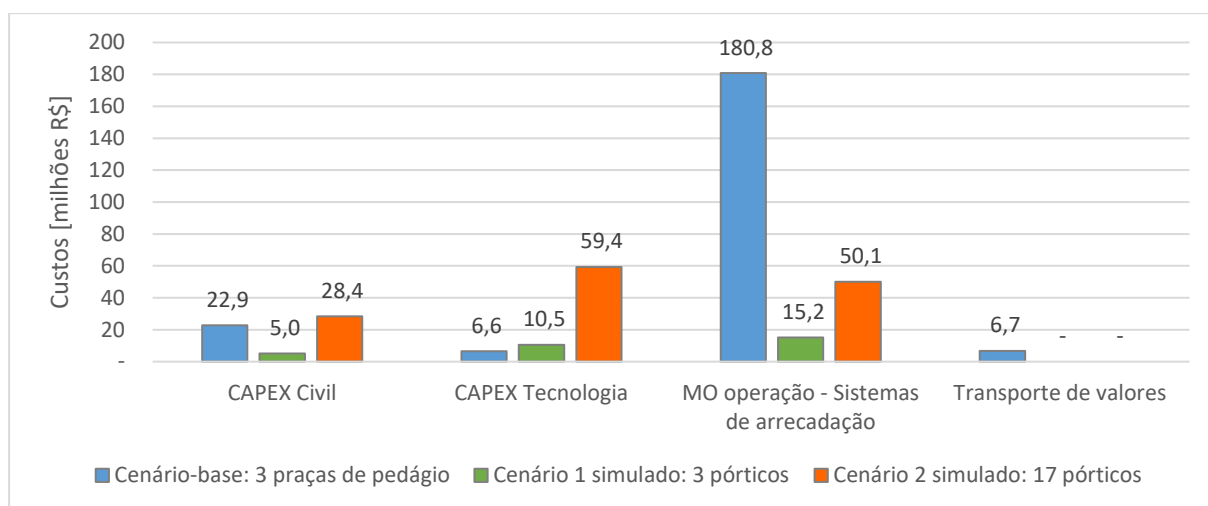


Figura 4.5 Comparação entre os custos do sistema de cobrança do cenário-base e dos cenários com cobrança *free-flow*. Data-base: out/2019

4.4 ETAPA 4 - SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA *FREE-FLOW*

A simulação dos cenários foi feita atualizando, na planilha do EVTEA da concessão da BR-101/RJ/SP, os dados obtidos nas etapas anteriores. Para ambos os cenários simulados, o equilíbrio do fluxo de caixa do projeto foi obtido variando a TKM de pista simples da BR-101/RJ/SP, para a manutenção da TIR original do projeto de 8,47%.

Os valores de CAPEX e OPEX dos diferentes cenários foram inseridos na planilha do EVTEA do cenário-base, em substituição aos valores correspondentes a este cenário. A inserção foi feita de acordo com a distribuição temporal adotada no EVTEA, isto é, para cada ano da concessão. Dessa maneira, o fluxo de caixa é automaticamente recalculado para o modelo proposto (VPL diferente de zero).

No caso do cenário 1, alterou-se apenas os custos de investimentos e operacionais relativos ao sistema de arrecadação da BR-101/RJ/SP. Os ajustes foram feitos nas abas denominadas “CAPEX” e “OPEX”.

Enquanto para o cenário 2, além de alterar os custos, considerando nesse caso o valor relativo à implantação e operação dos 17 pórticos, adicionou-se o momento de transporte de todos os trechos homogêneos no cálculo da receita tarifária. Novas linhas foram inseridas para captar a

previsão de receita dos novos segmentos rodoviários, sendo necessário ajustar: o cálculo dos veículos equivalentes dos novos trechos de cobrança; a previsão de tarifa de pista simples e pista duplicada para os novos trechos de cobrança; o valor do TCP de pista simples e pista dupla dos novos 14 trechos homogêneos e o ajuste dos valores dos 3 trechos originais de cobrança e; a fórmula de cálculo da receita tarifária dos novos trechos.

Em um processo iterativo, a TKM de pista simples foi alterada, considerando a TIR de 8,47%, até o atingimento do equilíbrio econômico-financeiro (zerando o VPL). A TKM de pista dupla, por sua vez, é alterada automaticamente, uma vez que é definida como um percentual da TKM de pista simples.

4.5 ETAPA 5 - CÁLCULO DA INADIMPLÊNCIA ADMISSÍVEL

O conceito de inadimplência admissível surge a partir da ideia de se ter um saldo positivo no fluxo de caixa do projeto após a alteração do sistema de arrecadação, seja pela redução dos custos de investimento e operação do novo sistema ou pelo aumento na arrecadação de receita devido ao aumento da base de usuários pagantes.

Assim, considera-se um índice máximo admissível de frustração de receita de pedágio, de modo a manter o equilíbrio econômico-financeiro do projeto, para a mesma TIR original do projeto.

No estudo de viabilidade da concessão a receita tarifária total para os 30 anos de concessão é dada pela Equação 4.5.

$$R = \sum_{j=3}^{30} VDMAeq_{i,j} \times Tarifa_i \times (1 + DBT_j) \times sazonalidade \quad (4.5)$$

Em que: R: Receita tarifária [R\$]

DBT_j: Desconto Básico de TAG no j-ésimo ano [%]

sazonalidade: valor definido em função da cobrança de tarifa sazonal aos fins de semana [%]

Para o presente estudo, a fórmula da receita tarifária foi alterada na planilha do EVTEA, conforme apresentado na Equação 4.6.

$$R = \sum_{j=3}^{30} (1 - I) \times VDMAeq_j \times Tarifa_i \times (1 + DBT_j) \times sazonalidade \quad (4.6)$$

Em que: I = Índice de inadimplência [%]

Desse modo, a metodologia para o cálculo da receita é a mesma do cenário-base, porém com a inclusão do parâmetro de inadimplência (I). O índice de inadimplência se refere à fração não paga da receita projetada e deve ser entendido em sentido amplo, para qualquer forma de não pagamento de veículos que atravessem os pórticos do sistema *free-flow*.

Em um processo iterativo na planilha Excel, o índice foi alterado até a obtenção da TIR de 8,47% com a tarifa quilométrica de R\$ 0,0437 para pista simples, quando corresponde ao índice de inadimplência admissível.

Na planilha do EVTEA, já alterada com os ajustes dos valores de investimentos e custos operacionais da cobrança por meio dos pórticos em vez das praças de pedágio, uma nova linha relativa ao percentual de inadimplência I foi criada, com previsão de valores anuais, que foram inseridos na fórmula de cálculo das receitas tarifárias dos 3 pontos de cobrança na BR-101/RJ/SP, conforme Equação 4.6.

O índice de inadimplência, igual para todos os anos de cobrança, foi calculado através de um processo iterativo, de modo que o equilíbrio do fluxo de caixa fosse atingido zerando o VPL para a mesma TIR (8,47%) e TKM do estudo original (R\$ 0,0437).

Ocorre que, com a evolução do comportamento do usuário, aliada à evolução do marco regulatório, incluída a possibilidade legal da aplicação de multas de trânsito, que inclusive pode garantir a compensação dos efeitos financeiros da inadimplência, a tendência para os anos posteriores é de redução da inadimplência. Assim foram simulados outros dois diferentes cenários de índice de inadimplência.

Um cenário foi simulado considerando para o 1º ano de cobrança a frustração de receita de 20%. Para tanto, fixou-se esse percentual para o ano 3 e do mesmo modo da obtenção do 1º índice, zerou VPL variando o índice I dos demais anos.

E um último cenário, considerando dessa vez o percentual padrão de 20% de frustração de receita anual. O reequilíbrio do fluxo de caixa nesse caso foi obtido através de um processo iterativo da TKM de pista simples, para manter a TIR original do projeto.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 APRESENTAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as análises dos resultados da aplicação do método proposto. As análises vêm atender os objetivos específicos da dissertação, isto é, estão focadas principalmente nos resultados dos cálculos de momento de transporte, tarifa quilométrica e receita tarifária, além da análise do índice de inadimplência admissível obtido.

5.2 CÁLCULO DO MOMENTO DE TRANSPORTE

O momento de transporte calculado de todos os pontos de cobrança e acumulado ao longo dos 30 anos de concessão, foi 22,8% menor no cenário com cobrança por trecho homogêneo em relação ao cenário-base, percentual este que representa um menor potencial de arrecadação em um cenário de cobrança de pedágio sendo feita por segmento homogêneo, não confirmando a expectativa de aumento da base de usuários pagantes.

A Figura 5.1 apresenta o momento de transporte do ano de 2023 no cenário-base e no cenário com cobrança por trecho homogêneo (cenário 2).

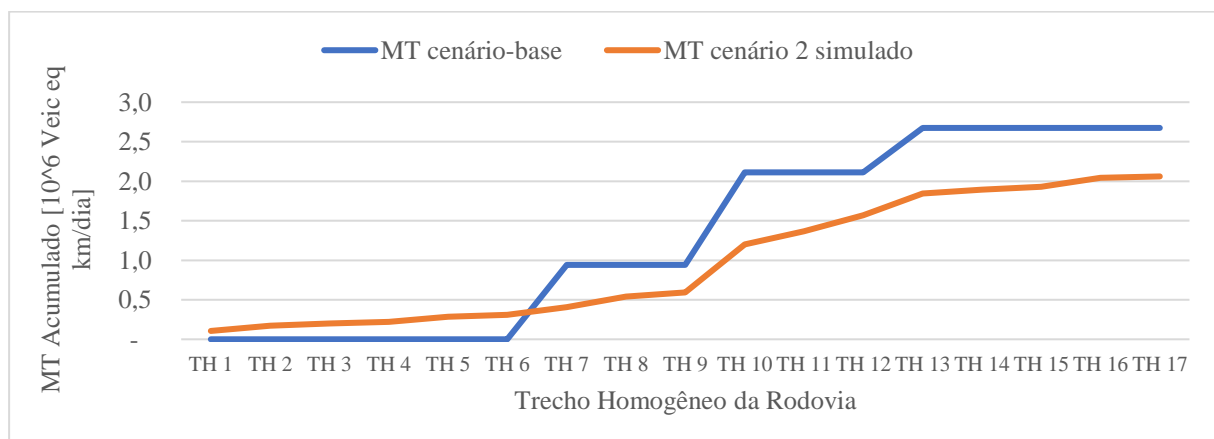


Figura 5.1 Momento de transporte acumulado para o cenário-base e para o cenário de cobrança por trecho homogêneo, no ano de 2023

A redução do momento de transporte no cenário simulado com cobrança em cada um dos 17 trechos homogêneos evidencia a opção no estudo de inovar de alocar os pontos de cobrança

da BR-101/RJ/SP nos trechos com os maiores volumes de tráfego apontados no Relatório de Tráfego, objetivando maior montante de receita tarifária para melhor viabilidade do projeto.

Em estudos anteriores de simulação de cobrança *free-flow* foi obtido o resultado esperado, o de aumento do momento de transporte no cenário com cobrança por trecho homogêneo. Barbosa (2013) obteve um aumento de 2% no momento de transporte em estudo de caso para a concessão estadual da MG-050. Diferentemente da simulação realizada no presente estudo, ele realizou uma simulação computacional da malha rodoviária. Por sua vez, Schurgelies *et al.* (2022) obtiveram um aumento de 3,6% no cenário com cobrança por trecho homogêneo da BR-101/SC, após recalcular as taxas de fuga do cenário-base. Mas, sem a consideração de fugas, desvios ou inadimplência, o momento de transporte associado ao cenário-base foi de 1,6% maior do que da cobrança por trecho homogêneo.

5.3 CÁLCULO DA TARIFA QUILOMÉTRICA

Na Figura 5.2 são apresentadas as TKMs obtidas de pista simples (PS) e pista dupla (PD) para cada cenário simulado. A substituição de praças de pedágio por pórticos (cenário 1 simulado) implicou a redução de 14% da tarifa quilométrica do cenário-base, enquanto o aumento dos pontos de cobrança com pórticos *free-flow* (cenário 2 simulado) resultou a elevação de 24% da tarifa quilométrica do cenário-base.

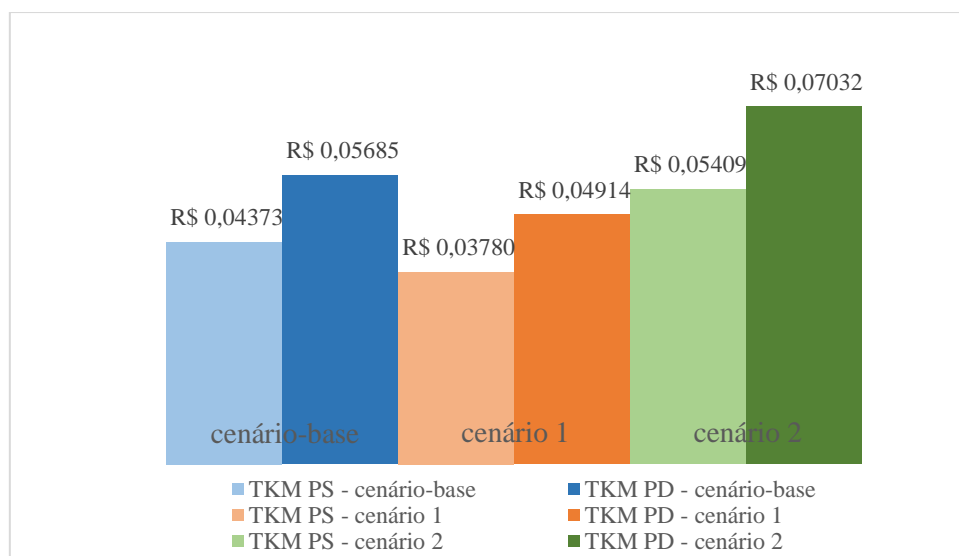


Figura 5.2 Comparação entre as TKMs de cada cenário. Data-base: out/2019

Diante dos resultados tarifários obtidos com a simulação dos cenários de cobrança *free-flow*, ao se comparar as tarifas de pedágio do cenário-base com as obtidas no primeiro cenário simulado, de substituição das praças de pedágio por pórticos de cobrança *free-flow*, verifica-se a redução da tarifa cobrada, conforme apresentado na Tabela 5.1, tendo em vista a redução dos custos do sistema de arrecadação.

As tarifas apresentadas na Tabela 5.1 são relativas à categoria 1 de veículos (veículo de passeio de 2 eixos), e foram calculadas a partir das TKMs de pista simples e de pista dupla de cada cenário, dispostas na Figura 5.2, multiplicadas pelo trecho de cobertura de cada ponto de cobrança, conforme disposto na Equação 4.1.

Portanto, comparando as tarifas de pedágio pagas para cada cenário, desconsiderando o arredondamento tarifário normalmente aplicado nas tarifas cobradas e a atualização do valor, no caso do cenário-base, o usuário que passar pelos três pontos de cobrança deve desembolsar R\$ 12,29. Sendo a cobrança por pórticos, em substituição às praças, o usuário pagaria R\$ 10,62. Já para a cobrança por trecho homogêneo, o usuário que passar pelos 17 pontos de cobrança, ou seja, percorrer todo o trecho concedido, pagaria R\$ 15,20.

Apesar do aumento do valor tarifário a ser pago no cenário 2 no caso de percorrer os 270 km de rodovia, é importante destacar que comparando apenas os trajetos entre os trechos homogêneos onde estão localizados os pontos de cobrança do cenário-base ou cenário 1, ou seja, TH 7 – TH13 com extensão de 167,5 km, o valor a ser despendido seria de R\$ 9,19 frente aos R\$ 12,29 e 10,62, dos cenário-base e cenário 1, respectivamente, conforme destacado na Figura 5.3.

Tabela 5.1 Distribuição das tarifas de pedágio em cada cenário

Cenário	Tarifa Cobrada no Trecho Homogêneo [R\$] - ano 3																
	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	TH9	TH 10	TH 11	TH 12	TH 13	TH 14	TH 15	TH 16	TH 17
Cenário-base	-	-	-	-	-	-	4,10	-	-	4,09	-	-	4,10	-	-	-	-
Cenário 1: 3 pontos de cobrança	-	-	-	-	-	-	3,54	-	-	3,54	-	-	3,54	-	-	-	-
Cenário 2: Cobrança por TH (17 pontos)	0,65	0,42	0,16	0,14	0,40	0,13	0,60	0,65	0,24	2,64	0,75	1,81	2,50	1,27	1,04	1,55	0,23

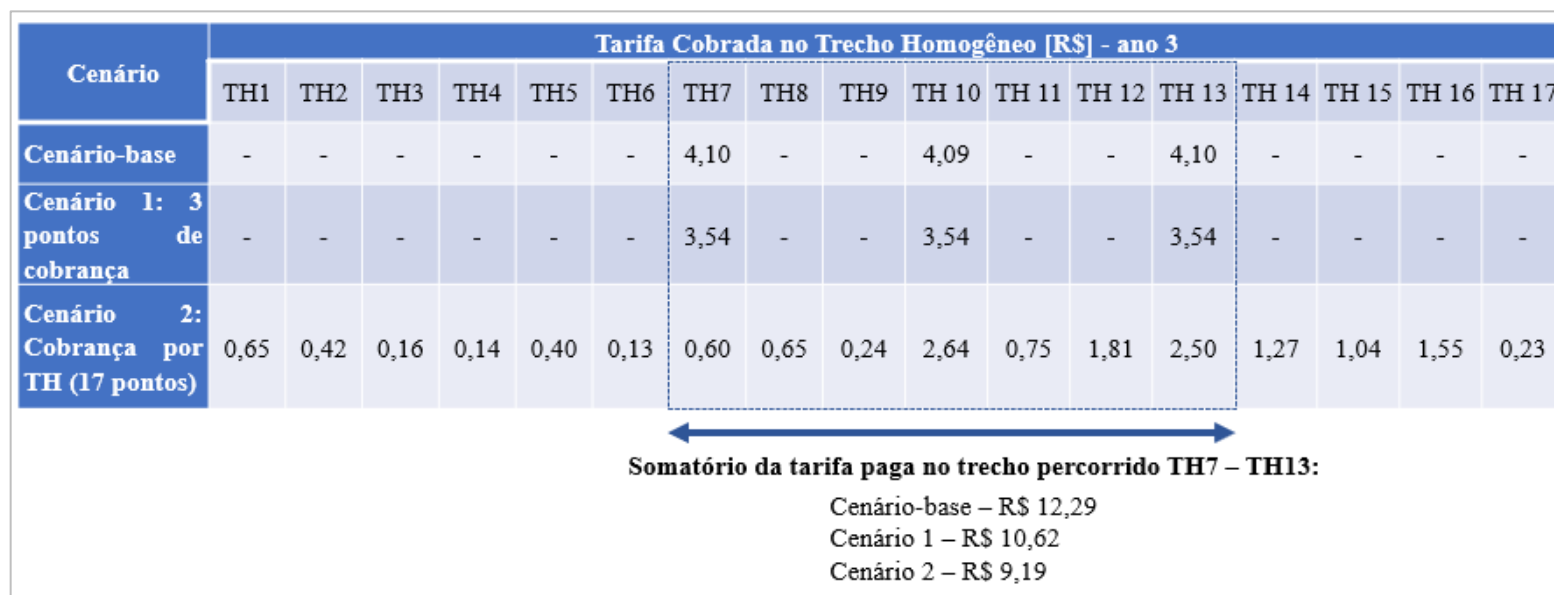


Figura 5.3 Somatório da tarifa paga no trecho percorrido TH7 - TH13

5.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE INADIMPLÊNCIA

Um importante fator de risco que deve ser levado em conta é a evasão de pedágio, que tende a aumentar o percentual de inadimplência por não ter uma barreira física que impede a continuidade da viagem sem a realização do pagamento devido.

Por um lado, no caso do cenário 2 simulado, como o momento de transporte reduziu com a cobrança por trecho homogêneo, não há margem no fluxo de caixa para suportar qualquer percentual de inadimplência sem haver desequilíbrio econômico-financeiro.

Por outro lado, para o primeiro cenário simulado é possível aplicar o conceito de inadimplência admissível a fim de obtermos o percentual máximo suportado pelo fluxo de caixa de modo a manter a tarifa de pedágio do cenário-base.

Assim, após iterações na planilha de cálculo, o percentual de inadimplência que igualaria os ganhos com a redução no custo operacional seria de 13,57%, sendo este calculado de modo linear, do 3º ano concessão, quando foi previsto o início da arrecadação da tarifa de pedágio, até o 30º ano concessão. Ou seja, 13,57% é o limite anual de frustração de receita projetada que não prejudica o equilíbrio econômico-financeiro do fluxo de caixa do projeto.

Tem-se como parâmetro de comparação o resultado do estudo da KPMG (2019), que obteve índices de evasão variando entre 2% e 15%, considerando apenas os operadores em modelo AETC, nos moldes do *free-flow*. Portanto, o índice de inadimplência admissível calculado no presente estudo para o projeto pode não ser o suficiente frente ao real índice de evasão observado, o que comprometeria o fluxo de caixa da concessão.

Para a segunda simulação realizada em relação ao índice de inadimplência, considerando para o 1º ano de cobrança o pior cenário de inadimplência do estudo de Benchmarking realizado pela KPMG, de 20% (KPMG, 2019), frente às economias estimadas no presente estudo para o projeto, foi obtido o valor de 13,11% de inadimplência para os demais anos concessão.

Para a última simulação feita, considerando dessa vez o percentual fixo de 20% de frustração de receita anual de modo a obter a tarifa de equilíbrio do fluxo de caixa, o resultado foi um aumento de 8% da tarifa quilométrica em relação a do cenário-base, que representa o percentual

de aumento tarifário que os 80% de usuários adimplentes teriam que suportar frente às inadimplências anuais. Para uma situação de patamar tarifário de R\$ 4,00, o aumento de 8% representaria R\$ 0,32 em cada ponto de cobrança.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

A revisão da literatura efetuada permitiu constatar os inúmeros benefícios relacionados à implantação de sistemas *free-flow* ao redor do mundo, dentre os quais convém destacar a justiça tarifária, a melhora da fluidez das vias, a redução de acidentes nas praças de pedágio, a diminuição dos custos operacionais dos veículos e os ganhos ambientais observados em termos de emissões de poluentes.

A legislação brasileira e as políticas públicas relacionadas à modernização dos sistemas de arrecadação de pedágio têm avançado no intuito de proporcionar ao país os ganhos já observados e experimentados por outras nações que já adotam o *free-flow* em suas rodovias. Para alcançarem o sucesso, esses países tiveram de promover uma série de adequações em sua regulação e em seus normativos, caminho este que deverá ser percorrido também pelo Brasil.

Nesse sentido, convém mencionar alguns aspectos encontrados nas referências estudadas que fornecem subsídios interessantes sobre os próximos passos a serem adotados pelo governo brasileiro para a efetiva implementação desse sistema no país.

Dentre os entraves de diferentes naturezas (tecnológica, legal, de *enforcement* e de incentivos) para a adoção do *free-flow* no país, a questão da tecnologia aparenta ser a de menor relevância, uma vez que o Brasil já trabalha com as tecnologias mais usuais para identificação de veículos observadas na literatura, que são o RFID e o OCR (MILENKOVIC *et al.*, 2018; VASSALLO *et al.*, 2020).

Alinhado ao incentivo de não cobrança de *tags*, outro mecanismo verificado na literatura e que já está sendo considerado nos contratos de concessão é a oferta de descontos aos usuários que optarem pelo sistema eletrônico de pagamento de pedágio, ainda que tal frustração de receita esteja sendo compartilhada entre todos os usuários da via para que se mantenha o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos.

Mas o sucesso da implantação desse novo sistema de cobrança tarifária está diretamente relacionado a uma fiscalização efetiva e consequente punição dos evasores desde o início da

cobrança eletrônica, o que será essencial para sinalizar para os usuários infratores as consequências decorrentes do não pagamento da tarifa de pedágio no prazo estabelecido, de modo a contribuir para a redução das inadimplências.

A respeito da adoção do sistema *free-flow* em substituição às praças de pedágio, visando a redução de custos de arrecadação, o menor impacto ambiental e a fluidez no tráfego, as simulações realizadas para o trecho da BR-101/RJ/SP demonstraram que a implantação dos pórticos de cobrança *free-flow* nos mesmos pontos de cobrança originalmente estudados é vantajosa, resultando em redução tarifária de 14% ou permitindo margem para absorver até 13,5% de frustração de receita anual em função das inadimplências, que tende a ser maior do que no cenário com praça de pedágio. Porém, no que tange ao objetivo de justiça tarifária, a cobrança da tarifa de pedágio sendo feita igual no cenário-base, em apenas 3 pontos da rodovia, não viabiliza uma cobrança por quilômetro percorrido, no caso de o usuário não percorrer a extensão total do trecho.

O resultado da simulação para o caso de uma inadimplência anual de 20%, que com base em uma pesquisa realizada pela KPMG (2019) foi o maior percentual de inadimplência apontado, haveria um aumento de 8% da tarifa quilométrica em relação a do cenário-base, que representa o percentual de aumento tarifário que os 80% de usuários adimplentes teriam que suportar frente às inadimplências anuais.

É importante levar em conta que o estudo da substituição de praças por pórticos foi em um cenário em que as praças de pedágio não existiam. A alteração do sistema de cobrança quando a praça já está construída, pode não trazer economia ao projeto, uma vez que não terá redução dos custos de investimentos e os custos com demolição e adequação das faixas de tráfego ainda caberão ser considerados.

Por outro lado, a simulação da cobrança por trecho homogêneo na rodovia em estudo, que aumenta 14 pontos de cobrança, apesar de atingir o objetivo de justiça tarifária, implicou a elevação em 24% da tarifa quilométrica do cenário-base. Além do menor potencial de arrecadação em relação ao cenário-base, o aumento do número de equipamentos necessários em função do aumento dos pontos de cobrança acaba por onerar de forma considerável o projeto.

Cabe destacar que o referido aumento da TKM se deu sem considerar qualquer aumento do percentual de inadimplência. Sendo confirmada a tendência de aumento da inadimplência devido à alteração do sistema de cobrança, o aumento de 24% calculado seria ainda maior, uma vez que o equilíbrio econômico-financeiro do projeto deve ser mantido. O aumento tarifário resultante dependeria das premissas da matriz de risco do contrato, que deve definir a alocação do risco de inadimplência.

Assim como no estudo utilizado como cenário-base, muitos outros projetos de concessão rodoviária no Brasil tendem por optar pela alocação de pontos de cobrança em trechos com maior volume de tráfego, objetivando um maior potencial de arrecadação, logo, uma menor tarifa quilométrica. Mas como foi apresentado, essa opção não visa a justiça tarifária, uma vez que muitos usuários que utilizam a rodovia acabam sendo subsidiados por outros.

Entretanto, as conclusões expostas para os cenários simulados de cobrança eletrônica de pedágio não consideraram as economias com os benefícios incrementais já observados desse sistema de cobrança, como a redução dos custos de congestionamento devido à fila, redução do consumo de combustível e a redução dos custos com acidentes. Embora esses efeitos se tornem maiores à medida que o tráfego aumenta.

6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Deve ser enfatizada a limitação da metodologia adotada para análise do tráfego. A não consideração de qualquer variação da taxa de fuga e, principalmente, a necessidade de consideração do mesmo volume de tráfego do TH 7 para os primeiros seis trechos homogêneos da rodovia em estudo, foram premissas adotadas devido à falta de informações de volumes de tráfego e não utilização de software.

Ainda, cabe frisar que o estudo de caso se refere apenas ao caso específico da BR-101/RJ/SP. Desse modo, os percentuais de inadimplências e de variações tarifárias obtidos dos cenários simulados não são valores universais. Mas a metodologia proposta pode ser aplicada para análise de viabilidade da implantação do sistema *free-flow* em outras rodovias, inclusive, para a melhor alocação de risco contratual acerca da inadimplência decorrente da implantação desse sistema de cobrança.

Além disso, é importante ressaltar que as análises foram feitas sobre o cenário-base do EVTEA da concessão, não sendo considerado o deságio sobre a tarifa quilométrica do estudo dado pela proponente vencedora do leilão. No caso de reaplicar a metodologia no contrato vigente, deve-se avaliar a consideração desse desconto.

Diante do fato de que os pórticos *free-flow* foram implantados na rodovia em estudo em substituição às praças, e as arrecadações estão ocorrendo desde março do presente ano de 2023, recomenda-se como estudo futuro a apuração dos reais percentuais de inadimplência verificados em cada ano de cobrança tarifária, o que contribuirá para a melhor modelagem financeira e alocação de riscos tanto do contrato atual da concessão quanto de novos estudos de concessão do Brasil.

Recomenda-se em futuros estudos a atualização dos dados de contagem de tráfego por segmento homogêneo da rodovia, principalmente se esta for feita após a implantação dos pórticos de cobrança eletrônica, objetivando resultados mais precisos relativos à ampliação dos pontos de cobrança tarifária. Com esse objetivo, indica-se ainda a apuração e consideração dos reais percentuais de impacto na receita tarifária em função da concessão dos descontos tarifários – DUF e DBT – previstos no contrato, cujos efeitos no fluxo de caixa podem ser relevantes.

Recomenda-se, também, fazer uma análise da variação do tráfego de fim de semana, tendo em vista a previsão de tarifa sazonal do estudo original. Uma melhor calibragem do tráfego sujeito a uma tarifa sazonal, permitirá resultados ainda mais precisos do potencial de arrecadação do sistema de cobrança *free-flow*, podendo-se estudar, inclusive, os efeitos da alteração da proporção entre as tarifas (sazonal e não sazonal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUZWIDAH, M. M. ABDEL-ATY & M. M. AHMED (2014) Safety Evaluation of Hybrid Main-Line Toll Plazas. *Transportation Research Record* nº 2435, 53-60.
- ABUZWIDAH, M. & M. ABDEL-ATY (2015) Safety assessment of the conversion of toll plazas to all-electronic toll collection system. *Accident Analysis and Prevention* v. 80 (2015), 153-161.
- ALVARENGA, G. S. (2010) *Estudo do impacto do pedágio no aumento do tempo de viagem, no consumo de combustível e na emissão de poluentes*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo.
- ANTT (2020) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Audiência Pública lote NovaDutra - Estudos de Viabilidade Técnica - Relatório de Tráfego. Disponível em: <<https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=410>>. (Acesso em 10/01/2023).
- ANTT (2021) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Contrato RioSP – BR-116-101-RJ-SP. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/ccr-rio-sp/documentos-de-gestao/riosp-contrato-e-aditivos>>. (Acesso em 10/01/2023).
- ANTT (2022a) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Contrato EcoRioMinas – BR-116-465-493-RJ-MG. Disponível em: <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias/lista-de-concessoes/ecoriominas/documentos-de-gestao/contrato-e-aditivos>>. (Acesso em 10/05/2023).
- ANTT (2022b) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução nº 5.999, de 3 de novembro de 2022. Dispõe sobre as regras para constituição e funcionamento de ambiente regulatório experimental (*Sandbox* Regulatório).
- ANTT (2023a) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Últimas Notícias: *Free-Flow* tem início na BR-101/RJ (Rio-Santos) na segunda-feira (30/1). Disponível em <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/free-flow-tem-inicio-na-rio-santos-br-101>>. (Acesso em 06/02/2023).
- ANTT (2023b) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Concessionárias de Rodovias. Disponível em <<https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/concessionarias>>. (Acesso em 03/07/2023).
- ARTESP (2023) Agência de Transporte do Estado de São Paulo. Sistema Ponto a Ponto. Disponível em <<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/sistema-ponto-a-ponto.aspx>>. (Acesso em 31/01/2023).
- BARBOSA, R. E. (2017) *Metodologia para o estabelecimento de diretrizes para a implantação do Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos – SINIAV*. Tese de doutorado em transportes, Departamento de engenharia civil e ambiental. Universidade Federal de Brasília.

- BARBOSA, S. H. (2013) *Rodovias de pedágio aberto ou free-flow: perspectivas para a implantação no Brasil*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia e Transportes. Universidade Federal de Minas Gerais.
- BRASIL (1997) Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 – Código de Trânsito Brasileiro (CTB). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm>. (Acesso em 15/10/2021).
- BRASIL (2021) Lei nº 14.157, de 1º de junho de 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.157-de-1-de-junho-de-2021-323553438>>. (Acesso em 15/10/2021).
- BURRIS, M. W. & R. M. PENDYALA (2002) Discrete choice models of traveler participation in differential time of day pricing programs. *Transportation Research Economics and Policy*, v. 10, pp. 167-198.
- CCR RioSP, 2022. Proposta de Implantação Free-Flow BR-101 - Relatório *Free-flow*.
- CCR RioSP, 2023. *Free-flow*. Disponível em: <<https://freeflow.ccrriosp.com.br/>>. (Acesso em 19/01/2023).
- CNT (2020) Confederação Nacional do Transporte. Novas tecnologias de pagamento de pedágio. Disponível em: < <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/bf8665da-3e39-45cf-9fbd-2dbbafc9ddd4.pdf>>. (Acesso em 31/01/2023).
- COMISSÃO EUROPEIA (2015) Directorate-General for Mobility and Transport. *Study on "State of the Art of Electronic Road Tolling"*. Disponível em: < <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-09/study-electronic-road-tolling.pdf>>. (Acesso em 02/02/2023).
- CONTRAN (2022a) Resolução CONTRAN nº 984, de 15 de dezembro de 2022. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-contran-n-984-de-15-de-dezembro-de-2022-453560318>>. (Acesso em 11/01/2023).
- CONTRAN (2022b) Resolução CONTRAN nº 985, de 15 de dezembro de 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-contran-n-985-de-15-de-dezembro-de-2022-453475301>>. (Acesso em 11/01/2023).
- ELLIS, T. (2012) High Compliance Free-Flow Road User Charging Systems. *IET and ITS Conference on Road Transport Information and Control (RTIC 2012)*.
- GORDIN, E.; J. KLODZINSKI & C. SANTOS (2011) Safety Benefits from Deployment of Open Road Tolling for Main-Line Toll Plazas in Florida. *Transportation Research Record* nº 2229, 85-92.
- HENSHER, D. A. (1989) Electronic Toll Collection. *Transportation Research, Part A*, v. 25A (1991), nº. 1, pp. 9-16.
- HERAS-MOLINA, J.; J. GOMEZ & J. M. VASSALLO (2017) Drivers' adoption of electronic payment in the Spanish toll road network. *Transportation* (2019), v. 46. Nº. 3, pp. 931-955.

- IBL (2021) Instituto Brasil Logística. *Free-Flow - Desafios Para Implantação De Pedágio De Fluxo Livre no Brasil*. Disponível em: <<https://ibl.org.br/wp-content/uploads/2021/05/1Free-Flow-Desafios-para-Implantacao-de-Pedagio-de-Fluxo-Livre-no-Brasil-IBL.pdf>> (Acesso em 29/01/2023).
- JOU, R-C. & G-L. HUANG (2013) Willingness to pay price for tolls and on-board units for short-distance freeway users who normally avoid toll booths. *Transport Policy* v. 31 (2014), 10-18.
- JOU, R-C; Y-C., CHIOU; K-H., CHEN & H-I. TAN (2011) Freeway drivers' willingness-to-pay for a distance-based toll rate. *Transportation Research Part A* nº 46 (2012), 549-559.
- KPMG (2019) A global benchmark of Toll Operator efficiency. Disponível em: <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cl/pdf/2019-07-kpmg-chile-advisory-toll-benchmarking-study.pdf>>. (Acesso em 12/02/2023).
- MILENKOVIC, M.; D. GLAVIC & M. N. MLADENOVIC (2018) Decision-Support Framework for Selecting the Optimal Road Toll Collection System. *Journal of Advanced Transportation*, v. 2018.
- MILENKOVIC, M.; N. STEPANOVIC; D. GLAVIC; V. TUBIC; I. IVKOVIC & A. TRIFUNOVIC (2020). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of Environmental Management*, v. 258.
- NG, J. Y & Y. H. TAY (2011) Image-based Vehicle Classification System. *The 11th Asia-Pacific ITS Forum Exhibition*.
- PAPANDREOU, K & K. ANTIOCHOS (2020) Bridging the gap between conventional Toll Plaza Based Open Tolling schemes and distance based Closed MLFF ETC schemes: The Case of the Hybrid Toll System in Olympia Odos Motorway, Greece. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) 2020*.
- PERSAD, K.; M. WALTON & S. HUSSAIN (2007) Toll Collection Technology and Best Practices. *Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin*.
- RAMANDANIS, I. D.; I. POLITIS & S. BASBAS (2020) Assessing the Environmental and Economic Footprint of Electronic Toll Collection Lanes: A Simulation Study. *Sustainability*, 12, 9578.
- SANTOS, T. S. & P. C. M. RIBEIRO (2018) Estudo de impacto da implantação do sistema *free-flow* de pedágio eletrônico no Brasil. *XVI Congresso de Ensino e Pesquisa de Engenharia de Transportes do Estado do Rio de Janeiro (2018)*.
- SCHURGELIES, C.; S. QUEBAUD; S. AMARAL; D. PERINI; E. GALENO & A. REICHERT (2022) *Free-flow* na concessão da BR-101/SC: Proporcionalidade tarifária e estimativa da inadimplência admissível. *XII Congresso ABCR Brasvias – Bienal das Rodovias (2022)*.
- TSENG, PH.; DY. LIN & S. CHIEN (2013) Investigating the impact of highway electronic toll collection to the external cost: A case study in Taiwan. *Technological Forecasting and Social Change* v. 86 (2014), 265-272.

- TSENG, PH. & N. PILCHER (2022) Political and technical complexities of electronic toll collection: Lessons from Taiwan. *Case Studies on Transport Policy* v. 10 (2022), 444-453.
- VASSALLO, J. M; J. HERAS-MOLINA; L. GARRIDO & J. GOMEZ (2020) Urban Toll Highway Concession System in Santiago, Chile: Lessons Learned after 15 Years. *Journal of Infrastructure Systems* (2020).
- WILLUMSEN, L. G. (2004) London congestion charging and urban tolling in Chile: contrasts and lessons on fairness and project finance. *PIARC Seminar on Road* (2005).
- YANG, H.; K. OZBAY; B. BARTIN & O. OZTURK (2013) Effect of Removing Freeway Mainline Barrier Toll Plazas on Safety. *Transportation Research Board's 92nd 50 Annual Meeting, Washington, D.C.*, 2013.
- YOSRITZAL, S. NURLAELA, M. RIZKI & H. M. TAKI (2018) Modelling toll traffic pattern: the Jagorawi toll case study. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* v. 202.