

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

RELATÓRIO FINAL

**METODOLOGIA ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE
PRAÇAS DE PEDÁGIO PELO SISTEMA FREE FLOW: ABORDAGEM POR OPÇÕES REAIS**

ECO050 – CONCESSIONÁRIA DE RODOVIAS S.A
(ECOVIAS MINAS GOIÁS)

08/09/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	5
1.1 Título	5
1.2 Resumo	5
1.3 Palavras-chave	5
1.4 Justificativa	5
1.4.1 Fundamentação Teórica	6
1.5 Objetivos	6
<i>Objetivo geral</i>	6
<i>Objetivos específicos</i>	7
1.6 Organização do trabalho	7
1.7 Período de execução	8
1.8 Cronograma de execução	8
1.10 Equipe executora	9
2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	10
3. ETAPAS EXECUTADAS NO PROJETO	11
3.1 Etapa 1: Revisão da literatura	11
<i>Atividades executadas</i>	11
<i>Resultados</i>	11
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	15
3.2 Etapa 2: Estudo e análise das metodologias existentes	15
<i>Atividades executadas</i>	15
<i>Resultados</i>	15
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	17
3.3 Etapa 3: Coleta de dados	17
<i>Atividades executadas</i>	17
<i>Resultados</i>	18
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	18
3.4 Etapa 4: Determinação e parametrização do processo estocástico da taxa de evasão	18
<i>Atividades executadas</i>	18
<i>Resultados</i>	19

<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	22
3.5 Etapa 5: Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado na teoria das opções reais	22
<i>Atividades executadas</i>	22
<i>Resultados</i>	22
<i>Princípios do cálculo de Fluxo de Custos Incrementais em Valor Presente</i>	22
<i>Fluxos de Caixa Incrementais</i>	23
<i>Componentes do Fluxo de Caixa Incremental da migração para MLFF</i>	23
<i>Variação no OPEX da operação de cobrança</i>	23
<i>Depreciação e Amortização (D&A)</i>	24
<i>Variação no CAPEX da operação de cobrança</i>	25
<i>Inadimplência em função da evasão de eixos trafegados</i>	25
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	26
3.6 Etapa 6: Aplicação numérica a um projeto específico, análise dos resultados e calibração do modelo	26
<i>Atividades executadas</i>	26
<i>Resultados</i>	26
<i>Descrição da Calculadora Financeira Conversão FF</i>	26
<i>Calculadora modelo: Greenfield</i>	27
<i>Calculadora modelo: Implantação MLFF Ecovias Minas Goiás (Eco050)</i>	27
<i>Calculadora modelo: Implantação MLFF por praça</i>	29
<i>Estratégias de migração para MLFF</i>	29
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	31
3.7 Etapa 7: Capacitação técnica para a ANTT e concessionárias	31
<i>Atividades executadas</i>	32
<i>Resultados</i>	33
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	33
3.8 Etapa 8: Elaboração de artigos para congressos e periódicos	33
<i>Atividades executadas</i>	33
<i>Resultados</i>	33
<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	33
3.9 Etapa 9: Elaboração de Relatórios	35
<i>Atividades executadas</i>	35
<i>Resultados</i>	35

<i>Análise dos resultados e contribuição para o projeto</i>	<i>35</i>
4. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS	35
4.1 Atendimento dos objetivos geral e específicos	35
4.3 Utilidade prática dos resultados	36
4.4 Vantagens, resultados práticos e pontos de atenção	37
4.5 Viabilidade econômica, custo-benefício, produtividade e eficiência	37
4.6 Capacidades, potencialidades e limitações dos produtos.....	37
4.7 Impactos ambientais.....	37
4.9 Transferência de tecnologia e conhecimento	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
6. ANEXOS	42
ANEXO - MANUAL / GUIA PARA USO DA CALCULADORA CONVERSÃO FF	43

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

O presente Relatório Final consolida a execução integral do projeto de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) desenvolvido no período de 10/01/2025 a 10/07/2026. O documento foi organizado conforme o modelo de Relatório Final aplicável, contemplando a descrição do projeto, os métodos e técnicas utilizados, a apresentação das etapas executadas, a avaliação dos resultados e dos produtos gerados, as referências bibliográficas e a relação de anexos.

1.1 Título

METODOLOGIA ECONÔMICO-FINANCEIRA PARA AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO PELO SISTEMA FREE FLOW: ABORDAGEM POR OPÇÕES REAIS

1.2 Resumo

O projeto teve como objetivo desenvolver uma metodologia econômico-financeira para avaliar, em contratos de concessão em andamento, a substituição de praças físicas de pedágio pelo sistema *free flow*, considerando a incerteza associada à taxa de evasão de pedágio e incorporando a flexibilidade gerencial de migração entre sistemas por meio da abordagem de opções reais.

A motivação central decorre do fato de que o sistema *free flow* já se encontra em expansão no setor rodoviário, mas a migração de concessões maduras exige instrumentos de avaliação capazes de mensurar custos, reequilíbrios, benefícios e riscos, bem como identificar o momento ótimo para a decisão. Métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado tendem a tratar a decisão como estática e, portanto, não capturam plenamente o valor da flexibilidade gerencial. A abordagem de opções reais permite tratar a migração como uma opção de troca, na qual o exercício depende da evolução da variável de incerteza, especialmente da evasão.

Ao longo do projeto, foram executadas todas as etapas previstas no Plano de Trabalho aprovado: revisão da literatura; estudo e análise de metodologias existentes; coleta e tratamento de dados; determinação e parametrização do processo estocástico da taxa de evasão; desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado em opções reais; aplicação numérica, análise dos resultados e calibração do modelo; capacitação técnica para ANTT e concessionárias; elaboração de artigos para congressos e periódicos; e elaboração dos relatórios parciais e final. Todos os objetivos específicos e os produtos previstos foram cumpridos integralmente, incluindo a modelagem estocástica da evasão, o modelo econômico-financeiro de avaliação da opção de troca, a curva de gatilho, a calculadora de apoio à decisão, as recomendações técnicas e regulatórias, a disseminação acadêmica e a capacitação técnica.

1.3 Palavras-chave

Praças de pedágio; contratos de concessão; *free flow*; evasão de pedágio; opções reais; flexibilidade gerencial; infraestrutura rodoviária; avaliação econômico-financeira.

1.4 Justificativa

A implantação do sistema *free flow* representa uma alternativa relevante para a modernização da infraestrutura rodoviária concedida, com potencial para melhorar a fluidez do tráfego, reduzir a dependência de estruturas físicas de cobrança, diminuir os custos operacionais e ampliar a eficiência do

processo de arrecadação. No entanto, em concessões maduras, essa migração não foi necessariamente prevista no contrato original, o que exige uma avaliação econômico-financeira específica e aderente à realidade contratual.

A principal incerteza associada à migração é a taxa de evasão de pedágio. A depender de sua dinâmica, a adoção do *free flow* pode alterar receitas, custos, investimentos e a sustentabilidade econômico-financeira da concessão. Por isso, a decisão não deve ser tomada apenas com base em uma análise estática do fluxo de caixa descontado. A metodologia de opções reais é adequada porque permite incorporar o valor da flexibilidade gerencial, estimar o momento ótimo para a migração e avaliar o efeito da evolução estocástica da evasão sobre a decisão.

O projeto também se justifica por sua contribuição regulatória e setorial. A metodologia desenvolvida fornece subsídios à ANTT e às concessionárias para avaliar cenários de migração e aperfeiçoar políticas públicas, normas, instrumentos de fiscalização, avaliação de fluxos de caixas e mecanismos de planejamento financeiro associados ao *free flow*.

1.4.1 Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica do projeto foi construída com base na literatura sobre avaliação de investimentos sob incerteza, infraestrutura rodoviária, concessões, sistemas de pedágio e evasão. O método tradicional de Fluxo de Caixa Descontado, embora amplamente utilizado em estudos de viabilidade econômico-financeira, apresenta limitações quando aplicado a projetos que envolvem flexibilidade gerencial e incertezas relevantes ao longo do tempo. Nesse sentido, a literatura de Opções Reais, desenvolvida a partir das contribuições de Black e Scholes (1973), Merton (1973), Dixit e Pindyck (1994), Trigeorgis (1995, 1996) e Copeland e Antikarov (2003), fornece uma base adequada para valorar decisões flexíveis, como a opção de troca entre sistemas de cobrança de pedágio.

No contexto de projetos de infraestrutura, a abordagem de Opções Reais tem sido aplicada à avaliação de investimentos em rodovias, portos, aeroportos, mobilidade urbana e concessões, permitindo incorporar o valor da flexibilidade decisória diante de incertezas quanto à demanda, ao tráfego, aos custos, às receitas e aos riscos regulatórios. Estudos como Brandão e Saraiva (2008), Lara Galera, Sánchez Soliño e Abad (2018), Adkins et al. (2019), Balliauw et al. (2020) e Polat e Battal (2021) evidenciam a pertinência da abordagem para projetos de infraestrutura sujeitos a incertezas relevantes.

Além disso, a literatura sobre evasão de pedágio e sobre sistemas de cobrança eletrônica contribuiu para a compreensão da variável de incerteza central do projeto. Trabalhos como Burris (2003), Vassallo et al. (2020), Zhao et al. (2022) e Zhuo (2023) abordam aspectos associados ao comportamento dos usuários, à cobrança viária, à identificação de evasão e às implicações operacionais e legais da inadimplência em sistemas de pedágio. Entretanto, conforme identificado na revisão de literatura, não foram encontrados estudos que integrem a modelagem estocástica da taxa de evasão ao apreçamento da opção de troca entre praças físicas de pedágio e o sistema *free flow*, tampouco a definição do momento ótimo de migração sob a ótica de Opções Reais. Essa lacuna justifica a originalidade e a relevância técnico-científica do projeto.

1.5 Objetivos

Objetivo geral

Determinar, nos contratos de concessão em andamento, o valor da opção de troca entre o sistema atual de praças de pedágio e o sistema *free flow*, bem como o timing ideal para a migração.

Objetivos específicos

- Determinar o comportamento da principal variável de incerteza do projeto, a taxa de evasão de pedágio, para definir o processo estocástico mais adequado.
- Modelar a taxa de evasão de pedágio como uma variável estocástica, com base em um processo de difusão determinístico.
- Desenvolver um sistema de apoio à decisão para a troca de sistemas das concessionárias, baseado em um modelo de opções reais para avaliar a opção de switch.
- Otimizar a estrutura de cobrança por *free flow* em função da incerteza quanto à variável de evasão.
- Elaborar uma ferramenta (“calculadora”) que permita à ANTT e às concessionárias avaliar a opção de troca e o impacto econômico-financeiro em outras concessões.
- Propor políticas públicas para aperfeiçoar o processo de regulação e fiscalização de rodovias com base nos resultados obtidos.
- Efetuar treinamento para capacitar técnicos da ANTT e das concessionárias.

Ao final do projeto, todos os objetivos específicos listados acima foram atingidos, conforme demonstrado nas seções de etapas executadas, conclusões e produtos gerados deste Relatório Final.

1.6 Organização do trabalho

O projeto foi organizado em nove etapas, mantendo aderência ao Plano de Trabalho aprovado. As etapas 1 a 3 concentraram-se na fundamentação teórica, na escolha metodológica e na coleta/tratamento de dados. As etapas 4 a 6 desenvolveram e aplicaram as modelagens estatísticas, estocásticas e econômico-financeiras. A etapa 7 tratou da capacitação técnica. A etapa 8 contemplou a produção científica e a disseminação dos resultados. A etapa 9 consolidou os relatórios parciais e o relatório final.

Tabela 1 – Organização das etapas do projeto e situação ao final da execução

Etapas	Entrega prevista no Plano de Trabalho	Status final
1	Revisão da literatura	Concluída
2	Estudo e análise das metodologias existentes	Concluída
3	Coleta de dados	Concluída
4	Determinação e parametrização do processo estocástico da taxa de evasão	Concluída
5	Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado na teoria das opções reais	Concluída
6	Aplicação numérica a um projeto específico, análise dos resultados e calibração do modelo	Concluída
7	Capacitação técnica para a ANTT e concessionárias	Concluída
8	Elaboração de artigos para congressos e periódicos	Concluída
9	Elaboração de Relatórios	Concluída

1.7 Período de execução

O projeto foi executado no período de 10/01/2025 a 10/07/2026, totalizando 18 meses de desenvolvimento, conforme previsto no Plano de Trabalho. Os dois relatórios parciais foram entregues nos meses 6 e 12, e este Relatório Final consolida as atividades após o encerramento do projeto.

1.8 Cronograma de execução

O cronograma físico de execução foi cumprido integralmente. As alterações administrativas e físico-financeiras aprovadas ao longo da execução não alteraram o escopo técnico nem impediram a entrega dos produtos pactuados. Ao término do projeto, todas as etapas previstas estavam concluídas.

Tabela 2 – Cronograma de execução e cumprimento das etapas

Etapas	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Status final
1				Concluída
2				Concluída
3				Concluída
4				Concluída
5				Concluída
6				Concluída
7				Concluída
8				Concluída
9				Concluída

1.9 Local de execução

O projeto foi desenvolvido no NUPEI – Núcleo de Pesquisa em Energia e Infraestrutura da PUC-Rio, com atividades de coleta, análise e validação relacionadas ao trecho da BR-050, nos estados de Minas Gerais e Goiás, entre os municípios de Delta e Cristalina, administrado pela Ecovias Minas Goiás, concessionária do grupo EcoRodovias. Também foram utilizados ambientes virtuais para reuniões técnicas, capacitação síncrona, disponibilização de materiais e transferência de conhecimento.

1.10 Equipe executora

A execução técnica foi conduzida pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), por meio do NUPEI, com a participação de pesquisadores do IAG/PUC-Rio e o apoio da equipe da Ecovias Minas Goiás. A equipe da PUC-Rio envolveu professores e pesquisadores com experiência em avaliação econômico-financeira de projetos de infraestrutura, opções reais, análise de risco, modelagem estocástica e políticas públicas para concessões. A concessionária contribuiu com a interlocução técnica, o fornecimento, a validação e a discussão de dados e de premissas, além do acompanhamento das entregas do projeto.

Entidade	Participantes	Função no projeto
PUC-Rio / NUPEI	Luiz Eduardo Teixeira Brandão	Coordenador do projeto e pesquisador
PUC-Rio / NUPEI	Carlos de Lamare Bastian-Pinto	Pesquisador
PUC-Rio / NUPEI	Naielly Lopes Marques	Coordenadora do projeto e pesquisadora
PUC-Rio / NUPEI	Leonardo Lima Gomes	Pesquisador
PUC-Rio / NUPEI	Samantha Escalera Egyto Rosa	Apoio técnico, análise de dados e modelagem
Ecovias Minas Goiás	Aline Montanher Polizel	Gerente de Estratégia e Desenvolvimento do Contrato
Ecovias Minas Goiás	Pâmela Maria Fernandes de Siqueira	Coordenadora de Estratégia do Contrato
Ecovias Minas Goiás	Thais Ribeiro	Analista de Planejamento e Desenvolvimento do Contrato
Ecovias Minas Goiás	Outros membros da equipe técnica da concessionária	Discussão de dados e premissas

2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Os métodos e técnicas utilizados foram definidos de modo a cumprir o objetivo principal do projeto e os objetivos específicos previstos no Plano de Trabalho. A estratégia metodológica integrou revisão de literatura, análise de metodologias existentes, coleta e tratamento de dados reais, testes estatísticos, modelagem estocástica, abordagem de opções reais, aplicação numérica, análise de sensibilidade, desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão e capacitação técnica.

- Revisão da literatura sobre *free flow*, concessões rodoviárias, evasão de pedágio, avaliação de investimentos sob incerteza e aplicações de opções reais em infraestrutura.
- Mapeamento e análise crítica de metodologias existentes, com comparação entre fluxo de caixa descontado, análise de risco, simulação e modelagem de opções reais.
- Coleta, tabulação, padronização e tratamento de dados de tráfego, de evasão e de premissas econômico-financeiras para a organização e análise das bases de dados.
- Aplicação de testes estatísticos para análise de séries históricas: teste de raiz unitária, teste de razão de variâncias e Parameter Approach Measure (PAM).
- Determinação e parametrização do comportamento da taxa de evasão, considerando a aderência empírica das séries e a necessidade de representar adequadamente a principal fonte de incerteza do projeto.
- Desenvolvimento de modelagem econômico-financeira baseada na teoria das opções reais, tratando a migração entre praças físicas e *free flow* como uma opção de switch.
- Construção de uma curva de gatilho para apoiar a definição do momento ótimo de exercício da opção de troca.

- Aplicação numérica ao caso da BR-050, com calibração do modelo, análise de resultados e de sensibilidade a parâmetros críticos, como evasão, CAPEX, OPEX, receitas e estrutura de cobrança.
- Desenvolvimento de calculadora de apoio à decisão, com lógica replicável para avaliar a opção de troca em outras concessões, desde que alimentada por dados e premissas compatíveis.
- Capacitação técnica síncrona, com carga horária de 18 horas, abrangendo valuation, análise de risco, simulação de Monte Carlo, processos estocásticos e opções reais.

Os métodos adotados mostraram-se adequados ao cumprimento dos objetivos do projeto, pois permitiram conectar a análise regulatória e econômico-financeira do *free flow* ao tratamento quantitativo da evasão e à avaliação da flexibilidade gerencial de migração.

3. ETAPAS EXECUTADAS NO PROJETO

Nesta seção, detalham-se as etapas previstas no Plano de Trabalho e integralmente executadas ao longo do período do projeto. Para cada etapa, são apresentados as atividades realizadas, os resultados obtidos e a análise de sua contribuição para o atingimento dos objetivos gerais e específicos.

3.1 Etapa 1: Revisão da literatura

Atividades executadas

- Definição de critérios de inclusão e exclusão de fontes, considerando a relevância temática, a qualidade metodológica e o tipo de estudo.
- Levantamento de artigos, livros, teses, relatórios técnicos e documentos relevantes sobre *free flow*, pedágio, evasão, concessões rodoviárias, avaliação de investimentos e opções reais.
- Avaliação crítica das fontes selecionadas, com exame da validade, da confiabilidade e da contribuição dos estudos.
- Síntese e integração dos resultados em categorias temáticas, com identificação de tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.
- Construção do quadro teórico que fundamenta o modelo desenvolvido no projeto.

Resultados

- Estado da arte consolidado sobre *free flow*, evasão de pedágio e avaliação de projetos de infraestrutura sob incerteza.
- Lacuna de pesquisa identificada: ausência de metodologia que integre a modelagem da evasão à precificação da opção de troca entre praças físicas e *free flow*.
- Base teórica definida para orientar as etapas metodológicas e de modelagem.

A avaliação de infraestruturas rodoviárias sob incerteza tem adotado, de forma crescente, a abordagem de Opções Reais (*Real Options Analysis* – ROA), que permite modelar a flexibilidade gerencial e a tomada de decisão dinâmica em cenários de investimento caracterizados por volatilidade, particularmente no que se refere à demanda de tráfego. Em contraste com métodos tradicionais, como o Fluxo de Caixa

Descontado (*Discounted Cash Flow* – DCF), que pressupõe fluxos de caixa determinísticos e estratégias fixas, o ROA captura o valor associado às opções de adiamento, expansão, ajuste tarifário e garantias de receita em projetos rodoviários de Parcerias Público-Privadas (PPPs). Nos últimos anos, o ROA tem encontrado diversas aplicações na avaliação de projetos de infraestrutura, tais como portos, aeroportos, rodovias e mobilidade urbana (Brandão e Saraiva, 2008; Lara Galera, Sánchez Soliño e Abad, 2018; Adkins et al., 2019; Polat & Battal, 2021; Balliauw et al., 2020).

Uma questão fundamental nas PPPs rodoviárias é o risco de tráfego, que afeta diretamente os retornos dos investidores. Para mitigá-lo, garantias governamentais, como as Garantias de Receita Mínima (*Minimum Revenue Guarantees* – MRGs) e os Tetos de Receita Máxima (*Maximum Revenue Caps* – MRCs), têm sido amplamente utilizadas. Buyukyoran e Gundes (2018) propõem um modelo otimizado baseado em opções reais para determinar os limites de opções compostas de MRG e MRC, estruturando, assim, um intervalo de compartilhamento de riscos considerado justo, que simultaneamente preserva os incentivos dos investidores e limita a exposição fiscal do governo. Ampliando essa linha de pesquisa, Zapata Quimbayo et al. (2019) questionam a hipótese usual de utilização do Movimento Geométrico Browniano (*Geometric Brownian Motion* – GBM) para modelagem do tráfego, empregando processos de reversão à média, o que aumenta o realismo e a precisão da avaliação das MRGs no contexto de rodovias pedagiadas colombianas.

Outros estudos têm enfatizado a flexibilidade na definição de tarifas. Chen et al. (2018) conceituam os Mecanismos de Ajuste Tarifário (*Toll-Adjustment Mechanisms* – TAMs) como opções reais que permitem aos investidores ajustar as tarifas dentro de limites regulatórios em resposta às flutuações da demanda. O estudo de caso dos autores sobre a *Western Harbour Crossing*, em Hong Kong, demonstra como os TAMs podem contribuir para a elaboração de contratos de PPP mais equilibrados, protegendo os retornos dos investidores e, simultaneamente, os interesses públicos.

O escopo do ROA no planejamento rodoviário também abrange a otimização das estratégias de construção. Esmaeeli e Heravi (2019) apresentam um modelo de ROA baseado em lógica *fuzzy* que avalia os custos da agência e dos usuários sob incerteza e o aplica ao planejamento e à reabilitação de ativos de pavimentação. Em trabalho subsequente (Esmaeeli & Heravi, 2019), os autores introduzem o PASRODS, um sistema de apoio à decisão que integra programação dinâmica, preferências dos usuários e estratégias flexíveis na avaliação de projetos. Essas contribuições demonstram que ignorar a flexibilidade pode resultar em custos de ciclo de vida superestimados e em decisões de investimento subótimas.

No que diz respeito à flexibilidade de expansão, Marques, Bastian-Pinto e Brandão (2021) abordam o crescimento do tráfego acima da capacidade da infraestrutura, situação que frequentemente desencadeia obrigações contratuais de expansão rígidas. Utilizando um processo de Ponte Browniana (*Brownian Bridge*), os autores modelam o valor do projeto como um processo estocástico limitado, refletindo a natureza absorvente da capacidade existente. O modelo de opções reais demonstra como extensões condicionais do prazo contratual e gatilhos flexíveis para expansão resultam em maior valor para o projeto e em melhor alinhamento de incentivos. De maneira semelhante, Liang e Ashuri (2020) exploram mecanismos contingentes de suporte financeiro, como garantias e opções de refinanciamento, e desenvolvem um modelo integrado de ROA capaz de capturar simultaneamente riscos técnicos e de mercado. Essa abordagem permite que os stakeholders avaliem a sustentabilidade da dívida diante de fluxos de tráfego incertos.

Por fim, a literatura recente passou a incorporar dimensões mais amplas de valor na avaliação de ativos de transporte. Wang et al. (2024) propõem uma estrutura inovadora de avaliação em nível de rede para vias urbanas, integrando valores físicos, econômicos e sociais e buscando capturar todo o espectro de contribuições desses ativos aos sistemas urbanos. Embora não esteja estritamente fundamentado em ROA,

o trabalho está alinhado à sua lógica ao defender uma avaliação abrangente e multidimensional. Essa perspectiva mais ampla reflete o crescente reconhecimento de que as decisões de investimento em rodovias – particularmente no âmbito de PPPs – devem considerar não apenas métricas financeiras, mas também a equidade espacial, os benefícios sociais e a sustentabilidade ambiental.

Em síntese, a literatura recente demonstra que o ROA constitui uma estrutura robusta e versátil para a avaliação de investimentos em infraestrutura de tráfego e rodoviária. Seja aplicada às garantias de receita, à precificação de tarifas, ao risco de dívida ou à expansão de capacidade, a teoria de opções reais permite estratégias mais sofisticadas, responsivas e capazes de gerar valor diante da incerteza. A incorporação de complexidades comportamentais, sociais e técnicas nos modelos recentes indica o amadurecimento desse campo de pesquisa, que se mostra cada vez mais atento aos desafios reais do financiamento de infraestrutura e do desenho de políticas públicas.

Apesar das extensas contribuições dos modelos de opções reais para a avaliação de infraestrutura rodoviária – abrangendo desde mecanismos de ajuste tarifário até garantias de receita e expansão de capacidade – algumas áreas permanecem pouco exploradas. Uma lacuna relevante diz respeito à ausência de aplicações de opções reais que abordem a mudança estratégica entre diferentes regimes de cobrança de pedágio, particularmente a transição de sistemas convencionais de praças de pedágio para sistemas de cobrança em fluxo livre (*free flow*). Diante da crescente adoção de sistemas *free flow* em todo o mundo e das incertezas a eles associadas – tais como alterações nos padrões de tráfego, riscos de evasão, custos de fiscalização e respostas comportamentais –, essa constitui uma área crítica para futuras pesquisas. A modelagem da opção de mudança entre tecnologias de cobrança de pedágio, diante da volatilidade do tráfego e da incerteza quanto à evasão, não apenas representaria uma flexibilidade gerencial relevante nas concessões rodoviárias modernas, como também contribuiria para o desenvolvimento de contratos de PPP mais resilientes e adaptativos. Nesse sentido, trata-se de uma importante oportunidade para ampliar a literatura sobre opções reais, em direção a um maior realismo operacional e regulatório.

No que diz respeito à incerteza de tráfego, Watling e Cantarella (2013) examinam criticamente uma classe de abordagens estocásticas para a modelagem de sistemas de transporte, com base no arcabouço seminal de Cascetta (1989). Os autores destacam que a seleção de um processo estocástico apropriado deve incorporar três elementos inter-relacionados: (i) a maneira pela qual os viajantes aprendem com experiências passadas; (ii) como essas experiências influenciam a tomada de decisão individual; e (iii) as experiências coletivas dos viajantes no sistema em tempo real. Os autores argumentam que a incorporação desses fatores comportamentais dinâmicos, por meio de processos estocásticos adequados, aumenta a robustez dos modelos de transporte sob incerteza.

Garvin e Cheah (2004) enfatizam que a escolha de um modelo de avaliação de projetos depende intrinsecamente do comportamento das variáveis subjacentes. Na análise de projetos de infraestrutura, o valor presente dos fluxos de caixa – seja do projeto concluído, seja dos componentes operacionais específicos – é frequentemente utilizado como variável principal (Ho & Liu, 2002). Entretanto, diversos estudos defendem uma abordagem desagregada, na qual componentes individuais, como preço, custo, demanda e tráfego, são modelados separadamente para captar de forma mais adequada a estrutura de risco do projeto (Carbonara, Costantino, & Pellegrino, 2014; Colín, Soliño, & Galera, 2017). Como cada uma dessas variáveis pode seguir padrões estocásticos distintos – por exemplo, processos com tendência, reversão à média ou saltos –, a seleção do processo adequado é fundamental para uma avaliação precisa, particularmente quando se utilizam modelos de opções reais, nos quais a volatilidade e as hipóteses acerca da distribuição das variáveis desempenham um papel central.

Garvin e Cheah (2004) alertam contra hipóteses excessivamente simplificadoras, como a modelagem do tráfego por meio de Movimento Geométrico Browniano (GBM) ou de Modelos de Reversão à Média

(Mean-Reverting Models – MRM), sem justificativa empírica. Os autores sugerem que modelos mais sofisticados – que incorporam múltiplos estágios de crescimento, mudanças de regime ou saltos estocásticos – podem representar de forma mais adequada a evolução do tráfego. Entretanto, reconhecem também que o aumento da complexidade desses modelos pode não ser justificável quando suas hipóteses são difíceis de validar ou quando os dados disponíveis não apresentam riqueza suficiente. Assim, os autores destacam a importância de uma avaliação cuidadosa das variáveis do projeto e das hipóteses dos modelos, alertando que o uso inadequado de modelos de avaliação pode produzir resultados distorcidos e decisões equivocadas.

Cabe destacar que, apesar de suas contribuições teóricas, Garvin e Cheah (2004) não realizam uma análise empírica de séries temporais históricas para testar a adequação de modelos estocásticos ao tráfego ou a outras variáveis relevantes. Buscando preencher essa lacuna, Zapata, Quimbayo et al. (2019) conduzem um dos poucos estudos empíricos existentes nessa área, aplicando técnicas estatísticas para avaliar qual modelo de difusão se ajusta melhor à demanda de tráfego observada em uma concessão rodoviária. Os resultados revelam um comportamento de reversão à média no tráfego, atribuído pelos autores à sazonalidade temporal e a mecanismos de correção dos padrões de uso. De forma semelhante, Marques, Bastian-Pinto e Brandão (2021) demonstram que a estrutura mensal dos dados de tráfego tende a gerar padrões sazonais e de reversão à média, reforçando a necessidade de superar a utilização automática do GBM como hipótese padrão na modelagem da demanda.

Apesar do crescente interesse em opções reais e em modelagem estocástica, a maioria dos estudos ainda adota processos específicos – frequentemente o GBM – sem validação empírica. Essa prática evidencia uma lacuna metodológica mais ampla na literatura: a ausência de testes estatísticos rigorosos que justifiquem a seleção dos modelos. Este artigo contribui para preencher essa lacuna ao avaliar empiricamente diferentes processos estocásticos para a modelagem da demanda de tráfego a partir de dados históricos, demonstrando que a escolha do processo estocástico depende do contexto e é significativamente mais complexa do que geralmente se assume na literatura de finanças de infraestrutura.

E, por fim, no que diz respeito à modelagem da evasão de pedágio, pesquisadores têm recorrido cada vez mais a técnicas de *machine learning* e de mineração de dados para prever os riscos de evasão de pedágio e detectar comportamentos fraudulentos em sistemas eletrônicos de cobrança. Esta seção sintetiza as principais contribuições relacionadas à modelagem e à projeção da evasão de pedágio, com ênfase nos arcabouços metodológicos e em suas aplicações práticas.

Um exemplo relevante é Liu et al. (2021), que desenvolveram um modelo de árvore de decisão para identificar veículos logísticos falsamente classificados como isentos de pedágio (*fake toll-free logistic vehicles* – TFLVs) com base na análise de mais de 16 mil registros de transações. A abordagem de pré-processamento utilizada pelos autores envolveu Borderline-SMOTE, discretização com *ChiMerge* e testes de multicolinearidade, alcançando acurácia de 83,4% – desempenho superior ao obtido pelos classificadores de regressão logística e *random forest*. Entre as principais variáveis preditoras encontravam-se o tempo de viagem, a velocidade dos veículos e os valores associados à isenção do pedágio.

Outros estudos ampliaram a aplicação de técnicas de modelagem preditiva a domínios relacionados. Lembhe (2023) aplicou a aprendizagem supervisionada para detectar violações a partir de bases de dados financeiras e de viagens, demonstrando a capacidade de obter precisão preditiva escalável em diferentes redes. Embora voltado para a segurança do tráfego, Yang et al. (2022) propuseram um algoritmo paralelo de crescimento de padrões frequentes (*parallel frequent pattern-growth*) potencialmente aplicável à modelagem da evasão de pedágio, especialmente para lidar com problemas de desbalanceamento de classes e de identificação de padrões.

Em conjunto, esses estudos ressaltam a eficácia de técnicas de *machine learning* e de projeções orientadas por dados na identificação da evasão de pedágio. Os resultados demonstram que características espaço-temporais e transacionais são capazes de diferenciar comportamentos de evasão com elevada precisão. Entretanto, nenhum desses estudos analisa explicitamente a evasão de pedágio como uma série temporal. Embora dados históricos sejam frequentemente empregados para classificação e previsão, a literatura carece de testes estatísticos formais sobre o comportamento da evasão ao longo do tempo, incluindo análises de tendência, de sazonalidade e de autocorrelação. Essa lacuna é particularmente relevante, uma vez que os padrões de evasão de pedágio podem apresentar dependências temporais influenciadas por efeitos associados aos dias da semana, feriados, ciclos de fiscalização ou mudanças nas políticas adotadas. Para abordar essa questão, a presente pesquisa propõe uma análise da evasão de pedágio baseada em séries temporais, com base em registros históricos de violações. Serão aplicadas técnicas econométricas convencionais – como testes de estacionariedade – para identificar padrões estruturais no comportamento da evasão e proporcionar uma compreensão mais aprofundada de sua dinâmica temporal.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A revisão da literatura evidenciou a relevância e a originalidade do projeto. A etapa confirmou que, embora existam estudos sobre *free flow*, evasão e concessões, ainda havia espaço para uma contribuição econômico-financeira baseada em opções reais e no comportamento da taxa de evasão. Assim, a etapa foi essencial para delimitar o problema, justificar a abordagem e assegurar a aderência científica ao desenvolvimento do modelo.

3.2 Etapa 2: Estudo e análise das metodologias existentes

Atividades executadas

- Identificação de metodologias utilizadas em estudos anteriores sobre avaliação de investimentos, concessões rodoviárias e implantação de sistemas *free flow*.
- Análise crítica dos pontos fortes e das limitações de cada metodologia, considerando validade, confiabilidade, viabilidade e adequação ao objeto do projeto.
- Comparação entre resultados obtidos por diferentes abordagens metodológicas, especialmente fluxo de caixa descontado, análise de risco, processos estocásticos e opções reais.
- Definição dos procedimentos analíticos e computacionais a serem utilizados nas etapas seguintes.

Resultados

- Seleção da metodologia de avaliação econômico-financeira para avaliar a opção de switch entre sistemas de cobrança.
- Técnicas estatísticas para tratamento da taxa de evasão.
- Tratamento de dados e suporte às análises quantitativas.

A seleção de um processo estocástico apropriado para modelar a incerteza em projetos de infraestrutura constitui uma etapa fundamental nas estruturas de avaliação dinâmica. Conforme destacado por Dixit e Pindyck (1994), essa escolha deve ser orientada tanto por considerações teóricas — como pressupostos

sobre a dinâmica de equilíbrio — quanto pela validação empírica por meio de análise estatística. No contexto de projetos de concessão aeroportuária, esta seção avalia se a incerteza da demanda é melhor representada por um processo não estacionário, como o Movimento Browniano Geométrico (GBM), ou por um processo estacionário, como o Modelo de Reversão à Média (MRM). Para esse fim, são empregadas três técnicas empíricas complementares: (i) Testes de Raiz Unitária, para avaliar a presença de tendências estocásticas; (ii) Testes da Razão de Variância, para detectar reversão à média na série temporal; e (iii) a Medida da Abordagem por Parâmetros (PAM), que examina diretamente os parâmetros estimados para inferir as características do processo subjacente.

Um teste estatístico amplamente utilizado para avaliar se uma série temporal é não estacionária é o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF) (Dickey e Fuller, 1981; Enders, 2012; Wooldridge, 2016). Esse teste estima se a variável em análise apresenta uma raiz unitária, o que implica um comportamento de passeio aleatório compatível com o GBM.

O teste envolve a estimação de um modelo autorregressivo sobre o logaritmo da série:

$$\ln(S_t) = a + b \ln(S_{t-1}) + \varepsilon_t$$

A hipótese nula $H_0: b = 1$ implica a presença de uma raiz unitária (isto é, um comportamento semelhante ao do GBM). A rejeição de H_0 sugere estacionariedade e sustenta a presença de reversão em torno da média. O teste pode ser ampliado para incluir diferenças defasadas e uma tendência determinística, se necessário, a fim de considerar autocorrelação e comportamento tendencial:

$$\ln(S_t) = a + b \ln(S_{t-1}) + c t + \varepsilon_t$$

Os valores críticos dependem do tamanho da amostra e da inclusão de tendência e/ou de intercepto (Wooldridge, 2016). Se a hipótese nula for rejeitada, isso implica preferência pelo MRM em relação ao GBM.

Uma abordagem alternativa é o teste da Razão de Variância (VR) (Pindyck, 1999), que avalia se a variância dos retornos logarítmicos aumenta linearmente com o tempo - uma propriedade definidora do GBM. A estatística do teste é definida como:

$$R_k = [k \cdot \text{Var}[\ln(S_t) - \ln(S_{t-1})]] / \text{Var}[\ln(S_{t+k}) - \ln(S_t)]$$

Sob o GBM, a variância cresce proporcionalmente ao tempo e $R_k \approx 1$. Em contraste, sob o MRM, a variância é limitada e R_k diminui à medida que k aumenta. Esse teste captura a persistência dos choques: permanente no GBM e transitória no MRM.

Embora os testes ADF e VR examinem dimensões estatísticas isoladas, não caracterizam plenamente o processo estocástico. A Medida da Abordagem por Parâmetros (PAM), desenvolvida por Bastian-Pinto et al. (2021), fornece um método mais robusto para avaliar simultaneamente dois aspectos críticos da dinâmica do MRM: a velocidade de reversão à média (η) e a variância normalizada (NVar). O GBM e o MRM são definidos, respectivamente, por:

$$\text{GBM: } dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dz$$

$$\text{MRM: } d \ln S_t = \eta (\ln \bar{S} - \ln S_t) dt + \sigma dz$$

Onde η mede a velocidade com que o processo reverte para sua média de longo prazo, $\bar{S}$. A meia-vida da reversão é dada por:

$$T_{1/2} = \ln(2) / \eta$$

E a variância normalizada é:

$$NVar = 2\eta / \sigma^2$$

A PAM combina esses dois elementos:

$$PAM = T_{1/2} \cdot NVar$$

Um valor de PAM mais baixo (tipicamente $< 0,2$) indica forte comportamento de reversão à média, o que sustenta o MRM. Esse método fornece uma avaliação mais holística e discriminante da estrutura estocástica em comparação com os testes tradicionais.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A análise metodológica permitiu selecionar instrumentos compatíveis com a natureza do problema. A etapa também garantiu a coerência entre os dados, os testes estatísticos, a modelagem econômica e a ferramenta de apoio à decisão.

3.3 Etapa 3: Coleta de dados

Atividades executadas

- Solicitação e coleta de dados históricos de tráfego, de evasão e de informações econômico-financeiras junto à concessionária e às bases disponíveis.
- Tabulação e organização das informações coletadas em bases de dados estruturadas.
- Tratamento estatístico preliminar dos dados.
- Validação das bases e das premissas relevantes com a equipe técnica da concessionária.

Esta etapa estendeu-se por 12 meses e foi realizada em conjunto com a equipe da PUC-Rio e a Concessionária. Durante esta, foi possível refinar as análises e determinar as premissas que foram finalmente usadas, tanto na montagem do modelo de avaliação financeira quanto na projeção de tráfego e das saídas de caixa (CAPEX e OPEX) relativas ao modelo de cobrança atual, por praças de pedágio, e às relativas à conversão para o modelo *MLFF*.

As bases de dados de tráfego inicialmente trabalhadas cobriam o período de 2015 a 2024, com frequência diária, com separação por praça de pedágio, categoria, trânsito, eixos e perfil. Estas informações são fornecidas pela Concessionária Ecovias Minas Goiás. A análise dessas séries históricas permitiu realizar as primeiras análises estatísticas (do volume de tráfego) e financeiras do projeto.

Numa etapa subsequente, foram analisadas as informações fornecidas também pela Concessionária, as quais indicavam os valores financeiros atualizados até 2024 do investimento total e por praça de pedágio realizado na rodovia objeto do estudo. Essas informações também cobrem projeções de valores para a Receita total da rodovia em 2024 e sua projeção com taxa de crescimento do tráfego de eixos de 3%, conforme parâmetro do DNIT. Além da taxa de crescimento do tráfego em eixos, a projeção da receita também inclui a variação da inflação, medida pelo IPCA e fornecida junto com os dados, e se estende de 2024 a 2043, ano final da concessão analisada. Também foram fornecidas nessa base de dados as projeções de OPEX das praças atuais e os investimentos de capital (CAPEX) previstos nelas para o mesmo período. Todas as informações foram fornecidas, abrangendo as 6 praças de pedágio da rodovia analisada, bem como os valores totais.

Ainda neste conjunto de informações, foram também fornecidos dados previstos para a eventual migração para o sistema *MLFF*, cobrindo a necessidade de investimento (CAPEX) total no sistema (sistemas, pórticos, sensores etc.), os custos de desmobilização das praças correspondentes e as projeções de OPEX do sistema em operação com *MLFF*.

Resultados

- Bases de tráfego, evasão e premissas econômico-financeiras, organizadas para uso em testes estatísticos e em aplicações numéricas.
- Dados preparados para a análise da dinâmica da evasão e para a calibração do modelo econômico-financeiro.
- Registro de solicitações, complementações e validações de dados ao longo do projeto.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A coleta de dados foi uma etapa fundamental para o desenvolvimento do projeto, permitindo estruturar a modelagem com base em informações observadas, no histórico operacional da concessão e em premissas aderentes à realidade do negócio. Para a elaboração do estudo, os dados foram modelados com base nas informações disponibilizadas pela Concessionária, nas premissas de negócio e nos Modelos Econômico-Financeiros atualmente publicados pela ANTT. A etapa também evidenciou a importância da padronização e da validação das bases, especialmente porque a ferramenta desenvolvida depende da qualidade dos dados de entrada para produzir resultados confiáveis.

Vale apontar aqui que uma das primeiras medidas tomadas pela equipe Concessionária/PUC-Rio foi rever as bases de informações fornecidas de Fluxos de Caixa (ver acima), as quais foram inicialmente entregues em formato nominal, ou seja, considerando a inflação esperada, projetada pelo IPCA, e transformar estas em formato real, sem consideração de inflação futura nos valores financeiros esperados. Como resultado, as projeções ficaram muito mais fáceis de analisar e menos sujeitas a erros decorrentes das taxas de crescimento. Por exemplo, a receita futura ao longo dos anos projetados irá crescer somente em função do crescimento estimado do tráfego de eixos, conforme citado mais acima. Dessa forma, as projeções de OPEX, principalmente, e de investimento (CAPEX) na migração do sistema para *MLFF*, assim como os reinvestimentos neste, ao longo do prazo de concessão (ver tabela 4, mais abaixo), podem ser consideradas fixas. Por outro lado, as taxas de desconto de fluxo de caixa para o cálculo do valor presente destes também deverão ser alteradas para uma taxa em base real, e não nominal (com inflação).

3.4 Etapa 4: Determinação e parametrização do processo estocástico da taxa de evasão

Atividades executadas

- Aplicação do teste de raiz unitária para avaliar a estacionariedade das séries históricas de tráfego e de evasão.
- Aplicação do teste de razão de variâncias para verificar a persistência dos choques estocásticos e a evolução da variância ao longo do tempo.
- Aplicação do Parameter Approach Measure (PAM) como teste de robustez para seleção do processo estocástico.

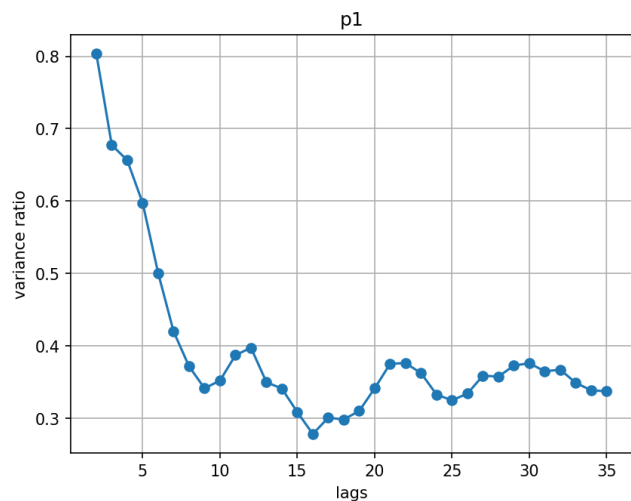
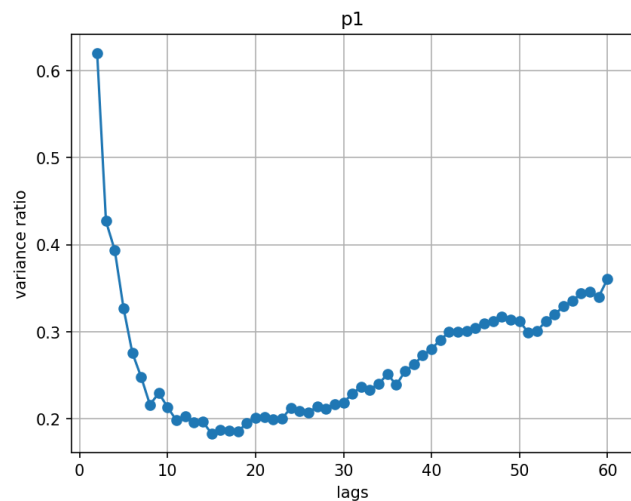
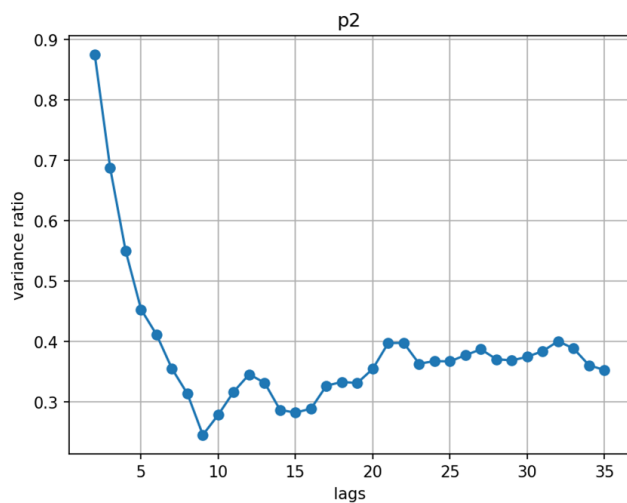
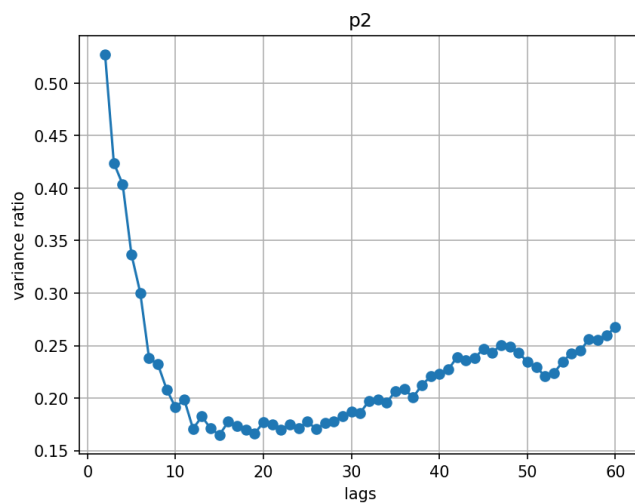
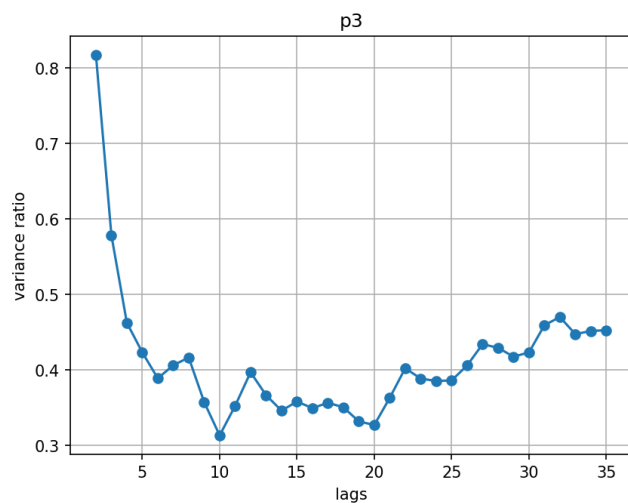
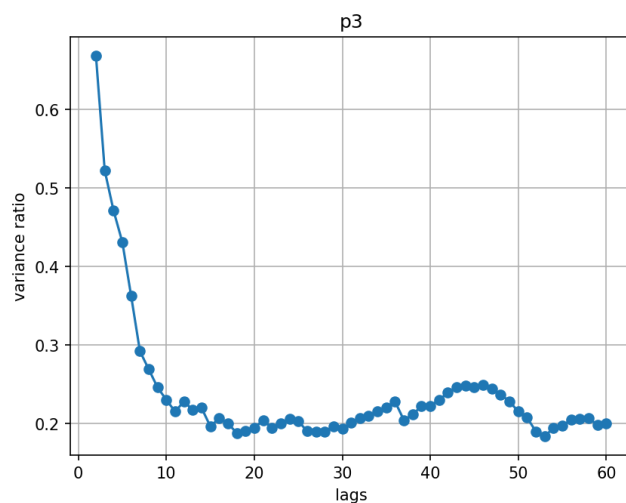
- Interpretação dos resultados estatísticos e definição da parametrização da variável de evasão para uso na modelagem.

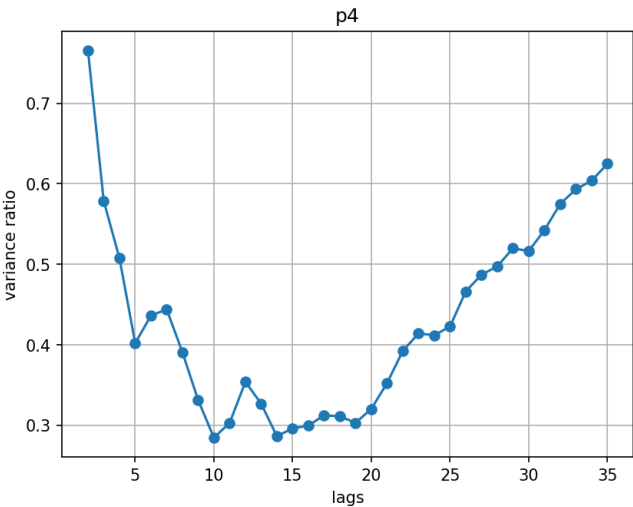
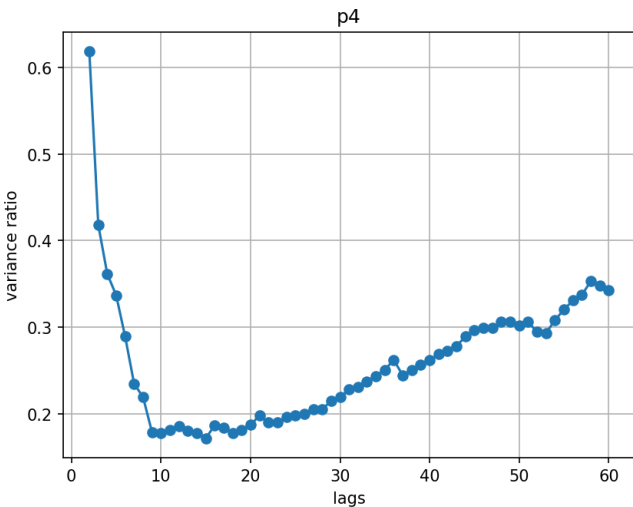
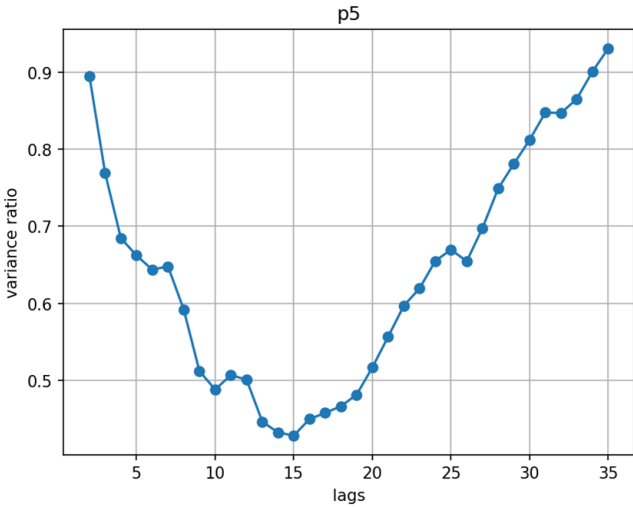
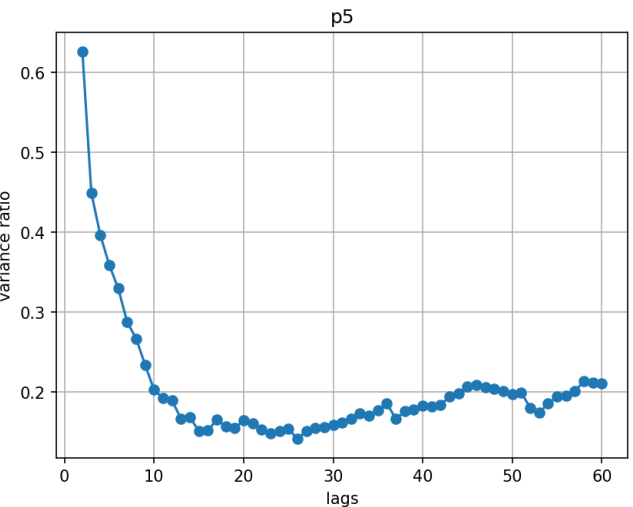
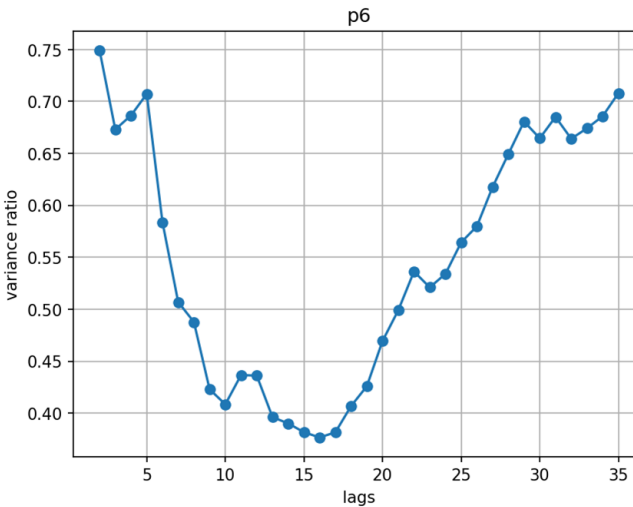
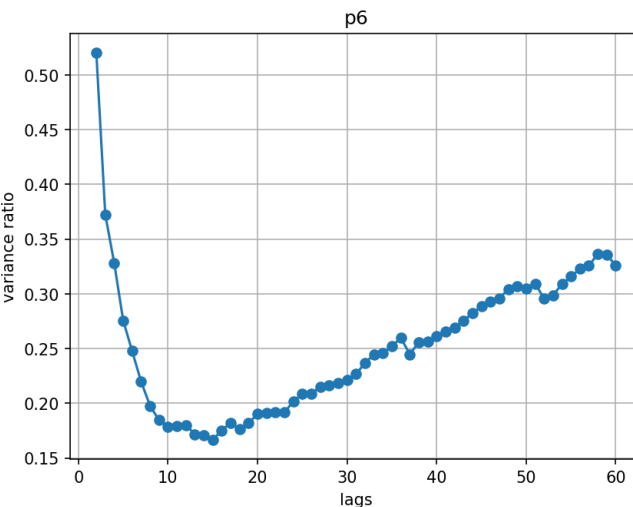
Resultados

- Comportamento estatístico da taxa de evasão avaliado e documentado.
- Parâmetros quantitativos disponibilizados para o modelo de apreçamento da opção de troca.

Tabela 3 – Resultados dos Testes Estatísticos

Tráfego Dessazonalizado		
Praça	ADF estatística	p-valor
p1	0,263759678	0,975619323
p2	-0,04195985	0,95492139
p3	-0,040047305	0,955092214
p4	0,740868402	0,990619156
p5	-0,948605554	0,771545013
p6	-0,463480489	0,898948182
Evasão Dessazonalizado		
Praça	ADF estatística	p-valor
p1	-3,583486178	0,031270389
p2	-3,697230129	0,022540307
p3	-3,104625324	0,105134067
p4	-4,705482899	0,000683019
p5	-3,923967595	0,011242944
p6	-4,575088075	0,001134734





Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A etapa cumpriu o primeiro eixo quantitativo do projeto ao transformar a taxa de evasão em uma variável modelável sob incerteza. Essa parametrização foi necessária para que a decisão de migração pudesse ser avaliada de forma dinâmica e não apenas por meio de uma comparação estática entre alternativas de cobrança.

3.5 Etapa 5: Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado na teoria das opções reais

Atividades executadas

- Desenvolvimento do modelo de precificação da opção de troca entre praças físicas e o sistema *free flow*.
- Determinação da curva de gatilho para apoiar o timing ideal da migração.
- Incorporação de lógica para avaliar a otimização da estrutura de cobrança por *free flow* em função da evasão, do CAPEX e do OPEX.
- Estruturação do sistema de apoio à decisão para uso pela ANTT e pelas concessionárias.

Resultados

- Modelo desenvolvido para avaliar a opção de switch.
- Curva de gatilho estruturada para indicar as condições em que a migração se torna economicamente recomendável.
- Sistema de apoio à decisão consolidado como base da calculadora do projeto.

Princípios do cálculo de Fluxo de Custos Incrementais em Valor Presente

Este estudo modela a migração de praças de pedágio convencionais em concessões maduras para o sistema *free flow* como uma decisão de troca entre dois regimes operacionais distintos. O caso-base corresponde à continuidade da operação convencional baseada em praças físicas, enquanto o caso alternativo representa a implementação de um sistema de fluxo livre em múltiplas faixas (*Multi-Lane Free Flow – MLFF*).

A decisão de migrar o sistema atual, em operação com praças de pedágio convencionais, para o sistema *free flow* envolve investimentos de capital em uma operação já em andamento (*Brownfield*) para uma nova modalidade, com vantagens operacionais e, em princípio, redução de custos operacionais. Para analisar a viabilidade dessa migração sob uma ótica econômico-financeira, serão estabelecidos alguns princípios e premissas, com a finalidade de desenvolver uma ferramenta analítica denominada Calculadora Financeira de *Conversão FF*.

O modelo considera que o primeiro ano com possibilidade de implantação do *MLFF* será 2026 e que o ano-base para fins de cálculo do valor presente será o final de 2025. Como a concessão se encerra em 2043, consideramos este último ano como o período final do estudo $T = 18$. Os anos iniciais serão então: 2026 $\rightarrow t = 1$, 2027 $\rightarrow t = 2$, etc.

Fluxos de Caixa Incrementais

Como a migração não afeta os valores de receita auferida pela empresa (com exceção da estimativa de evasão, tratada mais adiante), a decisão de migrar ou não deve basear-se exclusivamente nos fluxos de caixa incrementais gerados por esta transição.

O fluxo de caixa incremental é a variação, para mais ou para menos, na geração de fluxo de caixa livre de um projeto ou empresa decorrente de um novo investimento. Frequentemente, a decisão de troca ou atualização de equipamentos se enquadra nesse tipo de decisão. Mesmo não resultando diretamente em alteração de receita, esta troca pode trazer redução de custos operacionais, com consequente aumento direto da tributação (se estimada pelo regime de lucro real), e também um aumento do benefício fiscal decorrente da depreciação e amortização do investimento no novo ativo, a ser comparado ao investimento de capital em si (*CAPEX*). O valor da troca corresponderá ao valor presente do fluxo incremental, descontado pelo custo de capital ajustado ao risco do projeto ou da empresa.

Dessa forma, a migração deveria ocorrer apenas quando o valor presente dos benefícios operacionais e fiscais superasse os custos adicionais de implementação, a desativação das praças e as perdas temporárias de receita decorrentes da evasão de pedágio. Considera-se que cada praça convertida é substituída por uma solução *Free Flow* composta por dois pórticos, duas faixas de rolamento e uma faixa de acostamento destinada a cargas especiais.

Componentes do Fluxo de Caixa Incremental da migração para MLFF

O fluxo de caixa incremental associado à migração é dado por:

$$\Delta FC_t = (OPEX_{praça\ t} - CAPEX_{praça\ t}) - (OPEX_{MLFF\ t} + CAPEX_{MLFF\ t} + Evasão_t) + Benefícios\ Fiscais_t$$

O fluxo de caixa da operação de cobrança por praças (caso base) é composto pelos desembolsos operacionais de caixa das praças no período t ($OPEX_{praça\ t}$), somados ao investimento de capital nas praças no período t ($CAPEX_{praça\ t}$). Portanto:

$$FC_{praça\ t} = OPEX_{praça\ t} + CAPEX_{praça\ t}$$

É importante destacar que, ao final do prazo de concessão, deve haver reinvestimento nas praças a serem devolvidas ao poder concedente, de modo que estas estejam operando plenamente. Neste estudo, está previsto um valor de 25% do total originalmente investido nas praças para esse fim, mas esse percentual é totalmente ajustável na calculadora fornecida. Esse reinvestimento não deverá ocorrer caso o *MLFF* tenha sido implantado ao longo do período da concessão.

Variação no OPEX da operação de cobrança

Ao implantar o *MLFF* no período t , ocorrerão diversas saídas de caixa, decorrentes do investimento no sistema de portais. Nesse período específico, não haverá mais investimentos em capital das praças ($CAPEX_{praças\ t}$). No entanto, ainda ocorrerão os custos operacionais destas ($OPEX_{praças\ t}$) devido ao prazo de implementação do sistema de cobrança do *MLFF*. No período de implantação dos pórticos *MLFF*, além do investimento nos sistemas, haverá também despesas com a desmobilização das praças de pedágio.

Nos períodos após a implantação dos sistemas *MLFF*, passarão a existir novos valores de custos operacionais $OPEX_{MLFF\ t}$ assim como novos valores de investimentos em conservação do *MLFF* ($CAPEX_{MLFF\ t}$). No entanto, o investimento de capital nos sistemas *MLFF*, pela sua classificação contábil e fiscal, passa a gerar depreciação e amortização contábil, que deverão produzir um benefício fiscal para a concessionária, o qual deve ser considerado no cálculo do Fluxo de Caixa incremental da operação da rodovia com o sistema *MLFF*. Na contramão, a redução de *OPEX* entre as duas formas de operação – sendo que o *MLFF*, em princípio, deve ter custos menores do que os das praças de cobrança – gera um resultado maior, o que levará à tributação dessa diferença. Esse valor deverá ser considerado na computação do fluxo de caixa incremental da operação após a conversão desta. Esse incremento de tributação pode ser estimado por: $(OPEX_{praças\ t} - OPEX_{MLFF\ t}) * IR\%$.

Depreciação e Amortização (D&A)

O aumento da Depreciação e Amortização (D&A) decorrente dos investimentos no sistema *MLFF* deve receber tratamento específico. Pelas regras de concessão, todo investimento de capital deverá ser depreciado e amortizado linearmente até o término do prazo da concessão. No entanto, como estes investimentos ocorrem de forma cumulativa em períodos distintos ao longo do projeto de concessão, cada um deverá ter um prazo de depreciação diferente, que variará ao longo da concessão. Além disso, estes valores são cumulativos ao longo desses prazos.

A forma encontrada para estimar esses valores de D&A contábil foi calcular o valor presente de cada depreciação ocorrida, já descontado pelo custo de capital no próprio período do investimento.

Isso foi feito da seguinte forma: caso o investimento de capital ($CAPEX_{MLFF\ t}$) ocorra no período t , e a concessão dure até T , consideramos que o prazo de D&A linear é $(T - t)$ e o $CAPEX_{MLFF\ t}$ deverá gerar uma D&A contábil por $(T - t)$ períodos no valor de $CAPEX_{MLFF\ t-1} / (T - t)$, onde k é a taxa de desconto e g é a taxa de crescimento do fluxo financeiro.

A D&A assim obtida é um valor nominal, portanto, fixa (não reajustável). No entanto, a projeção usada no modelo, inclusive as taxas de desconto e de crescimento, é em base real, ou seja, já descontada da inflação projetada (ver no item 3.3 mais acima e no item 3.6 abaixo, explicação dessa abordagem).

$$D\&A_{MLFF\ t} = CAPEX_{MLFF\ t} / (T - t) / (k-g) * (1 - [(1+g)/(1+k)]^{(T-t)})$$

Considerando que o benefício fiscal corresponde a $D\&A_{MLFF\ t} * IR\%$, todo o valor de investimento ao longo do projeto após a implantação do *MLFF* seria reduzido desse montante. Dessa forma, o investimento de capital líquido em t seria:

$$CAPEX_{MLFF\ t} * (1 - [1 / (T - t) / (k-g)] * (1 - [(1+g)/(1+k)]^{(T-t)}))$$

Assim, em cada período t com investimento de capital após a implantação do *MLFF*, o valor desse investimento receberia esse benefício fiscal no próprio período t .

Variação no CAPEX da operação de cobrança

A decisão de implantar o *MLFF* envolve um compromisso de follow-up de *CAPEX* ao longo do restante do prazo da concessão. A implantação do *MLFF* é informada em diferentes itens que compõem o sistema, e estes, além da implantação, também envolvem reposição parcial após um número de anos e investimento em conservação dos equipamentos. Este último ponto não se trata de *OPEX*, mas de *CAPEX* de conservação. Estes foram informados pela concessionária e estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 – CAPEX relacionado à implantação do MLFF

Item do Sistema Free Flow		Pro rata CAPEX %	Vida Útil (anos)	Valor Residual	Manutenção
Sistema (Câmeras, sensores, gerador, etc.)	Implantação	51,01%			
	Reposição		7	38,0%	
	Conservação				0,60%
Pórtico Free-flow (2 ou mais faixas)	Implantação	7,14%			
	Reposição		5	55,0%	
	Conservação				0,72%
Pórtico de Sacrificio	Implantação	7,14%			
	Reposição		5	55,0%	
	Conservação				0,72%
Sensores de Tráfego (SAT) por localidade	Implantação	1,94%			
	Reposição		5	55,0%	
	Conservação				5,00%
PMV + Pórtico	Implantação	32,77%			
	Reposição		7	55,0%	
	Conservação				0,72%

Pro rata *CAPEX* %: Valor % do investimento total atribuído a esse item na implantação do *CAPEX*

Vida Útil (anos): Indica o nº de anos após os quais deverá ser aportado novo valor parcial de *CAPEX*

Valor Residual: Indica o valor % do *CAPEX* investido nesse item que deverá ser repostado ao final da Vida Útil

Manutenção: Indica o valor % do *CAPEX* que precisará ser investido a cada ano como conservação do investimento

Novamente, vale lembrar que, ao incorrer em todos esses novos investimentos de capital, haverá também o crédito fiscal da D&O correspondente, descrito acima.

Inadimplência em função da evasão de eixos trafegados

No modelo desenvolvido, o efeito da evasão em função da implantação do *MLFF* foi considerado apenas como perda de receita (receita negativa) e como proporção do número de eixos inadimplentes. Foi

observado o comportamento de evasão em exemplos fornecidos e tentou-se replicá-lo num modelo simples, porém totalmente editável, obedecendo aos princípios discutidos e aprovados na interlocução com a concessionária.

Foi assumido que o primeiro ano de operação do *MLFF* resultaria em uma perda de receita de 5% devido à evasão. Esse percentual cairá pela metade nos 5 anos seguintes (2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,313% e 0,156%) e se estabilizará no último valor até o final da concessão. Não foram considerados outros custos eventuais relativos à evasão.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

Esta etapa materializou a principal contribuição técnico-científica do projeto. O modelo desenvolvido incorporou a flexibilidade gerencial de troca e permitiu avaliar o valor da opção de migração, superando as limitações do fluxo de caixa descontado tradicional. Além disso, a inclusão da estrutura de cobrança e da evasão como elementos de decisão ampliou a utilidade prática do modelo para planejamento regulatório e empresarial.

3.6 Etapa 6: Aplicação numérica a um projeto específico, análise dos resultados e calibração do modelo

Atividades executadas

- Aplicação do modelo ao caso da BR-050, nos estados de Minas Gerais e Goiás, entre Delta e Cristalina, no trecho administrado pela Ecovias Minas Goiás.
- Preparação da base de dados e organização das variáveis necessárias à execução do modelo.
- Calibração do modelo com os dados e as premissas do caso de referência.
- Execução de análises de sensibilidade para avaliar a robustez dos resultados frente a variações nos principais parâmetros.
- Avaliação da viabilidade de aplicação da metodologia a outras concessões, condicionada à disponibilidade de dados compatíveis.

Resultados

- Aplicação numérica concluída para o caso de referência.
- Resultados consolidados para análise do valor da opção de troca, do timing de migração e da sensibilidade a parâmetros críticos.
- Ferramenta de apoio à decisão (“calculadora”), preparada para replicação em outras concessões, mediante a inserção de dados adequados.

Descrição da Calculadora Financeira Conversão FF

Para este estudo, foi adotada a abordagem de projeção de valores e do respectivo desconto, em base REAL, ou seja, sem considerar estimativa de inflação, em contraposição à prática de base NOMINAL, com inflação. A abordagem baseada em reais tem a vantagem de considerar, por exemplo, apenas o crescimento

da receita decorrente do aumento do número de eixos trafegando na rodovia, e não a variação da tarifa em função da inflação, conforme previsto na concessão. Como o resultado de ambas as abordagens deve retornar o mesmo valor e os termos de Valor Presente Descontado ao Custo de Capital também correspondentes (reais ou nominais), elas são equivalentes para a análise econômico-financeira. A abordagem baseada em base REAL facilita a percepção do efeito das variáveis que compõem a decisão financeira no projeto, em especial a de implementar ou não o *MLFF* na rodovia e em quais praças.

O conceito de cálculo do fluxo de caixa incremental foi implementado em 3 modelos aplicados ao *MLFF*. O primeiro, apenas para efeito comparativo, estima o valor presente dos custos de operação (*OPEX*) e dos investimentos de capital (*CAPEX*), bem como uma concessão fictícia de 30 anos, com base nos dados e informações fornecidos pela Concessionária, relativos à operação da rodovia em análise, a ECO50. Esse modelo foi denominado *Greenfield*.

Todos os 3 modelos têm um botão “Edita Inputs”, na parte superior à esquerda da aba, que abre um “*dashboard*” para editar os principais dados de entrada do modelo. Na última versão da planilha, essa ferramenta foi retirada, pois envolve o uso de macros, que frequentemente impedem a abertura da planilha em ambientes corporativos devido às políticas de segurança de dados.

No entanto, a planilha é totalmente aberta e pode ser modificada, alterada ou editada sem restrições.

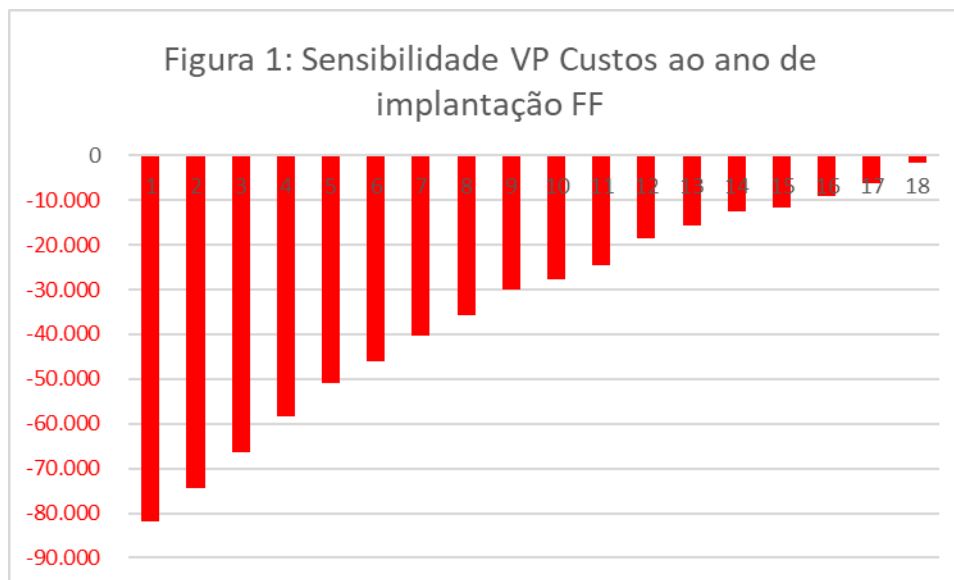
Calculadora modelo: Greenfield

Este modelo serve de referência para a tomada de decisão de investimento num projeto de 30 anos de uma concessão fictícia, replicando os valores elaborados em conjunto com a Ecovias Minas Goiás. Foi assumido que, ao final da concessão de 30 anos, com um modelo de operação com praças de cobrança de pedágio, será necessário reinvestir 25% do valor inicial. Com estes dados, é interessante notar que o modelo *MLFF* teria um custo comparativo, em valor presente, dos fluxos de caixa incrementais de 43,5% em relação à opção de cobrança nas praças de pedágio.

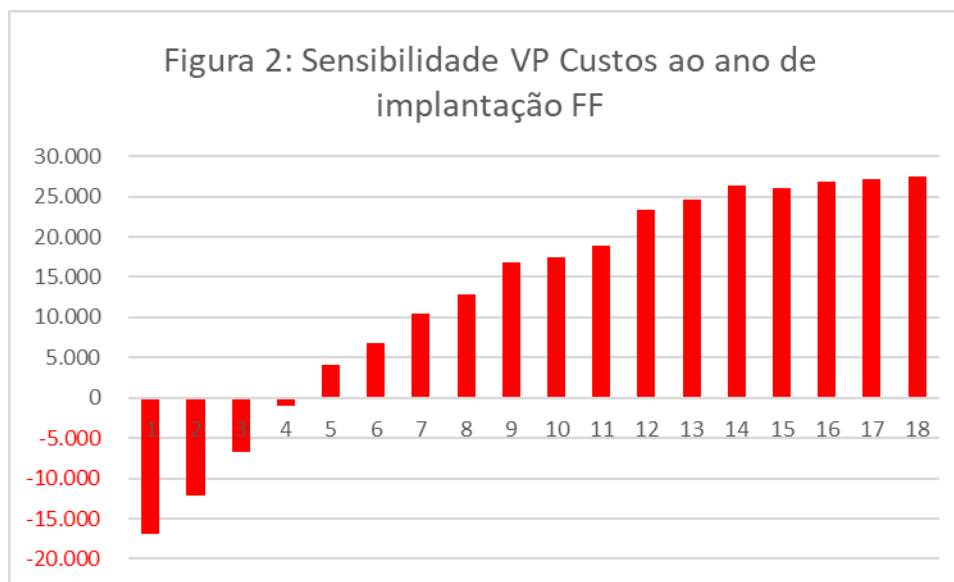
Calculadora modelo: Implantação MLFF Ecovias Minas Goiás (Eco050)

Nesse modelo, considera-se que a Ecovias Minas Goiás já opera há 12 anos e ainda tem 18 anos de operação, podendo converter seu modelo de cobrança para *MLFF* integralmente em qualquer um dos próximos 18 anos (de 2026 a 2043).

Com esta modelagem, a operação com praças (sem conversão) teria um custo total em valor presente de R\$ 164,014 milhões. Em comparação, caso a Concessionária passasse para *MLFF* no ano 5, seu custo comparativo seria de R\$ 214,957 milhões, gerando um prejuízo comparativo de R\$ 50,943 milhões. Como se pode ver na Figura 1, não há resultado positivo (negativo em VP de custos) da conversão integral para *MLFF* ao longo dos 18 anos da concessão; porém, esse resultado negativo diminui à medida que a conversão se implementa mais tarde.



Esse resultado pode ser sensível a qualquer variável na calculadora. Por exemplo, ao zerar o valor de 5% programado para a estimativa de evasão (inadimplência) e estimar um valor de reinvestimento nas praças de 50% do valor original, a diferença de conversão no ano 5 fica positiva (negativa em VP de custos) de R\$ 4,023 milhões. O gráfico correspondente é substituído pela Figura 2.



Pode-se verificar que, com esses valores para essas variáveis, a migração seria positiva (custo abaixo de 0) a partir do ano 5.

Calculadora modelo: Implantação MLFF por praça

O terceiro modelo repete o modelo 2 apresentado acima, mas permite verificar, individualmente para cada uma das 6 praças da Concessionária, a migração para *MLFF*, escolhendo o ano de conversão de cada uma delas. Permite, inclusive, verificar o valor total e o valor parcial ao não migrar as praças individualmente ou em grupo.

A principal diferença no modelo está na opção de selecionar, individualmente para cada praça, a data (no período anual) da migração para Free Flow. Para selecionar a não migração de uma praça, basta inserir o valor 19 no campo correspondente no botão Inputs ou, diretamente, na célula em amarelo da praça correspondente na planilha.

Neste terceiro modelo, a Inadimplência, correspondente à evasão de eixos, também foi tratada de forma adequada aos resultados das trocas de informações e de conhecimento com a Concessionária. Foi então assumido que o primeiro ano de operação do *MLFF* na primeira praça, das seis que efetuarão a migração, resultará em uma perda de receita de 5% sobre o volume de eixos que trafegam nessa praça, em função da evasão. Como no modelo anterior, esse percentual cairá pela metade nos 5 anos seguintes (2,5%, 1,25%, 0,625%, 0,313% e 0,156%) e se estabilizará no último valor até o final da concessão. A segunda praça que migrar para *MLFF*, desde que em período (ano) posterior ao da anterior, também sofrerá uma perda de receita por eixos trafegados, mas, em função de um efeito “educacional” ou informativo, o percentual de redução de receita no primeiro ano e nos subsequentes será metade do da primeira praça a migrar. Portanto: 1º ano: 2,5%; 2º ano: 1,25%; 3º ano: 0,625%; 4º ano: 0,313%; e 5º ano e em diante: 0,156%, do tráfego em eixos. A mesma abordagem foi adotada para a 3ª praça a migrar, ou seja, metade dos percentuais de evasão ao longo dos anos, relativamente à 2ª praça a ter migrado. Após a terceira praça, todas as que migrarem terão um valor percentual residual de evasão fixo e permanente de 0,08%, correspondente à última evasão do 5º ano da última praça a migrar, até o final do prazo de concessão.

Estratégias de migração para MLFF

A migração para *MLFF* de rodovia em operação, já há um prazo significativo, com praças de pedágio brownfield, em função dos investimentos já realizados nesta e daqueles necessários para a conversão, não se mostra viável sob uma ótica puramente econômico-financeira. Mesmo o valor presente (VP) dos custos, em comparação com a manutenção da operação com praças, que atualmente é alto, pode se tornar positivo caso a perda de receita decorrente da evasão de eixos trafegados e o custo de reinvestimento nas praças, obrigatório para a devolução da concessão, sejam significativamente baixos. Isso também é função do prazo de concessão já não ter tempo de operação suficiente para que a vantagem financeira obtida com a redução de *OPEX*, pela operação com *MLFF*, comparativamente às praças, compense o novo *CAPEX* da operação com *MLFF*, inclusive sendo este recorrente ao longo dos anos da concessão.

A estratégia de migração de praças em períodos (anos) escalonados e subsequentes permite reduzir o efeito da perda de receita por inadimplência e também o valor presente (VP) do *CAPEX* líquido do benefício fiscal da Depreciação e Amortização (D&A) desse investimento, na medida em que o *CAPEX* líquido do benefício fiscal da Depreciação e Amortização (D&A) desse investimento precisa ser inteiramente capitalizado até o final do prazo da concessão.

Uma estratégia de migração de praças para o sistema *MLFF*, com reinvestimento de 25% nas praças não convertidas, inadimplência inicial de 5% e conversão de praças escalonada a partir do ano 2, por ordem de tráfego de eixos, resultaria em custos incrementais conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados Financeiros das Estratégias de Migração I

VPL Cobrança	Ano Migração para <i>MLFF</i>	VPL Implantação FF por praça	VPL Operação com Praças	FF - Praças
P1	3	-31.664	-21.513	-10.150
P2	2	-34.630	-21.366	-13.264
P3	4	-31.031	-24.176	-6.855
P4	5	-33.775	-33.470	-305
P5	6	-32.354	-31.371	-983
P6	7	-32.336	-32.341	6
Total Ecovias Minas Goiás:		-195.789	-164.238	-31.551

Obs.: valores em R\$ * 1000

Já uma estratégia de migração de praças, postergando essa migração para o final da concessão, conforme os anos indicados na tabela abaixo, resultaria em custos (em valor presente) conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados Financeiros das Estratégias de Migração II

VPL Cobrança	Ano Migração para <i>MLFF</i>	VPL Implantação FF por praça	VPL Operação com Praças	FF - Praças
P1	11	-25.141	-21.513	-3.628
P2	10	-26.795	-21.366	-5.429
P3	13	-25.204	-24.176	-1.028
P4	14	-31.436	-33.470	2.034
P5	15	-29.711	-31.371	1.660
P6	16	-30.508	-32.341	1.834
Total Ecovias Minas Goiás:		-168.795	-164.238	-4.556

Obs.: valores em R\$ * 1000

Ainda, outra estratégia de migração apenas parcial das praças para *MLFF*, (P1 e P2), resultaria em valor presente positivo, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados Financeiros das Estratégias de Migração III

VPL Cobrança	Ano Migração para <i>MLFF</i>	VPL Implantação FF por praça	VPL Operação com Praças	FF - Praças
P1	19*	-21.513	-21.513	0
P2	19*	-21.366	-21.366	0
P3	13	-26.993	-24.176	-2.817
P4	14	-32.715	-33.470	755
P5	15	-30.660	-31.371	711
P6	16	-30.508	-32.341	1.834
Total Ecovias Minas Goiás::		-163.755	-164.238	484

* Praça não migrou para *MLFF*

** Valor presente positivo

Vale lembrar que o modelo desenvolvido é inteiramente editável e flexível, permitindo modelar outras estratégias e alternativas para a migração para o modelo *MLFF*.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A aplicação numérica demonstrou a operacionalidade do modelo e sua capacidade de apoiar decisões concretas relativas a concessões rodoviárias. A calibração e as análises de sensibilidade permitiram avaliar a influência das premissas financeiras, operacionais e regulatórias sobre os resultados. A etapa também reforçou a necessidade de uso responsável da ferramenta, com a atualização dos parâmetros sempre que ela for aplicada a outro contexto contratual.

3.7 Etapa 7: Capacitação técnica para a ANTT e concessionárias

Detalhamento dos temas abordados na capacitação

A capacitação técnica, realizada para 10 funcionários da ANTT e 15 do grupo EcoRodovias, foi estruturada em três módulos – Valuation, Análise de Risco e Opções Reais, com carga horária total de 18 horas, distribuída em seis aulas síncronas de três horas cada, sendo duas aulas dedicadas a cada módulo. A estrutura da capacitação buscou combinar fundamentos conceituais e metodológicos com aplicações práticas na avaliação econômico-financeira de projetos, com particular atenção ao contexto de projetos de infraestrutura e de concessões rodoviárias. Em todos os módulos, o conteúdo teórico foi complementado pela apresentação e discussão de estudos de caso reais e de trabalhos previamente desenvolvidos pela PUC-Rio sobre os temas abordados, o que permitiu relacionar os instrumentos apresentados a situações concretas de avaliação e de tomada de decisão.

Módulo I – Técnicas de Valuation. O primeiro módulo apresentou os fundamentos da avaliação econômico-financeira de projetos e empresas, com ênfase na construção e na projeção dos fluxos de caixa futuros. Foram discutidas as relações entre informações contábeis, premissas operacionais, expectativas de desempenho e geração de caixa, bem como sua utilização na estruturação de modelos de avaliação. No contexto das concessões de infraestrutura, esses conceitos são particularmente relevantes para a análise

da capacidade de geração de valor dos projetos e dos efeitos de diferentes premissas econômico-financeiras sobre a viabilidade desses projetos. Foram também abordados os princípios de tomada de decisão de investimento de capital em condições de incerteza e os fundamentos para determinação da taxa de desconto e do custo de capital, incluindo sua importância para a comparação intertemporal dos fluxos de caixa e para a adequada mensuração do valor econômico dos projetos.

Módulo II – Análise de Risco. O segundo módulo tratou da identificação e da avaliação das incertezas que afetam o desempenho econômico-financeiro dos projetos. Inicialmente, foram apresentadas as técnicas de análise de sensibilidade e de cenários, utilizadas para identificar as variáveis de maior influência sobre os resultados e avaliar o comportamento dos indicadores econômico-financeiros diante de alterações nas principais premissas do modelo. Na sequência, foram apresentados os fundamentos da simulação de Monte Carlo, permitindo incorporar simultaneamente diferentes fontes de incerteza e representar os resultados por meio de distribuições de probabilidade, em substituição à análise baseada exclusivamente em valores determinísticos. Também foram discutidos processos estocásticos como instrumentos para representar a evolução temporal de variáveis incertas. Essas ferramentas têm aplicação relevante na avaliação de concessões, nas quais variáveis como demanda, tráfego, receitas, custos e outras premissas podem apresentar comportamento incerto ao longo de horizontes contratuais extensos.

Módulo III – Abordagem de Opções Reais. O terceiro módulo apresentou a abordagem de Opções Reais como instrumento complementar às técnicas tradicionais de avaliação por fluxo de caixa descontado. A metodologia permite incorporar à avaliação econômica o valor associado à possibilidade de adaptar as decisões à evolução das condições observadas ao longo do projeto. Foram apresentados os conceitos de flexibilidades gerenciais e sua modelagem, incluindo a avaliação de opções simples e compostas. No contexto das concessões rodoviárias, foram discutidas aplicações envolvendo incertezas relevantes, com destaque para o tráfego e a taxa de evasão, o que permitiu demonstrar como a evolução dessas variáveis pode ser incorporada aos modelos de decisão. O módulo contemplou ainda os fundamentos dos métodos de apreamento de opções, com ênfase no Modelo Binomial, e os procedimentos de estimação da volatilidade dos projetos, variável fundamental para a avaliação de opções reais.

Em conjunto, os três módulos estabeleceram uma sequência integrada de capacitação, partindo da avaliação econômico-financeira determinística, avançando para a mensuração e modelagem de riscos e incertezas e culminando na avaliação das flexibilidades gerenciais por meio de Opções Reais. Essa estrutura contribuiu para ampliar a capacidade técnica dos participantes de compreender, interpretar e utilizar os modelos e resultados desenvolvidos no âmbito do projeto, particularmente em análises relacionadas à viabilidade econômico-financeira, aos riscos e às decisões sob incerteza em concessões rodoviárias.

Atividades executadas

- Preparação de material didático sobre valuation, análise de risco e opções reais.
- Realização de capacitação técnica síncrona com carga horária total de 18 horas.
- Treinamento em modelagem de fluxos de caixa, custo de capital, análise de sensibilidade, análise de cenários e simulação de Monte Carlo.
- Treinamento sobre processos estocásticos, modelagem de incertezas, opções reais, modelo binomial e avaliação de flexibilidades gerenciais.
- Disponibilização de materiais em ambiente virtual para apoiar a transferência de conhecimento.

Resultados

- Capacitação técnica realizada conforme previsto no Plano de Trabalho.
- Material didático produzido e disponibilizado.
- Conhecimento técnico transferido a profissionais indicados, reforçando a capacidade de utilização e de interpretação dos produtos do projeto.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A capacitação foi essencial para garantir que os resultados do projeto não se restringissem à equipe executora. Ao formar técnicos nos fundamentos de valuation, de risco e de opções reais, a etapa ampliou a capacidade de uso da metodologia e contribuiu para a difusão do conhecimento científico e tecnológico no setor rodoviário concedido.

3.8 Etapa 8: Elaboração de artigos para congressos e periódicos

Atividades executadas

- Elaboração de artigos científicos derivados do projeto.
- Apresentação e discussão de resultados parciais em congresso internacional sobre opções reais.
- Preparação de versões aprimoradas para submissão a eventos e periódicos de impacto nas áreas de infraestrutura, transporte, concessões e avaliação de projetos.
- Participação em eventos técnicos e acadêmicos para coleta de críticas, sugestões e oportunidades de aprimoramento da modelagem.

Resultados

- Resultados do projeto disseminados nos ambientes acadêmico e técnico.
- Artigos e apresentações produzidos para divulgação científica.
- Contribuições recebidas em congressos e em visitas técnicas, incorporadas ao aprimoramento do modelo e das recomendações.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

Conforme previsto no Plano de Trabalho aprovado, a Etapa 8 do projeto contemplou a elaboração, submissão, apresentação e aprimoramento de artigos científicos em congressos nacionais e internacionais, com o objetivo de divulgar os resultados da pesquisa, submeter a metodologia desenvolvida à avaliação por pares e colher contribuições técnicas relevantes para o aperfeiçoamento do modelo econômico-financeiro proposto. O Plano de Trabalho previa expressamente a participação em eventos como o Congresso de Opções Reais e a Bienal das Rodovias, além da submissão de trabalhos a fóruns técnico-científicos de impacto na área de infraestrutura, transportes e avaliação de investimentos sob incerteza.

No Congresso de Opções Reais de 2025, a equipe apresentou uma versão inicial do trabalho, ainda em fase de consolidação metodológica, com foco na estruturação da opção de troca entre o sistema tradicional de praças de pedágio e o sistema *free flow*. A participação no evento permitiu submeter a proposta à comunidade acadêmica internacional especializada em opções reais, investimento sob incerteza e modelagem de flexibilidades gerenciais. As discussões realizadas contribuíram para o aprimoramento da abordagem adotada, especialmente quanto à modelagem da evasão como variável estocástica, à interpretação da decisão de migração como uma opção de switch e à necessidade de calibrar adequadamente os parâmetros do modelo com base em dados reais de concessões rodoviárias. O primeiro relatório parcial já registrava a apresentação da versão inicial do trabalho no Real Options Conference de 2025, conforme planejado.

A participação no Transportation Research Board Annual Meeting de 2026 ampliou o diálogo do projeto com a comunidade internacional de transportes, infraestrutura rodoviária, concessões e políticas públicas. O evento foi relevante para confrontar os resultados preliminares do projeto com experiências internacionais relacionadas a sistemas de cobrança eletrônica, modernização de infraestrutura, gestão de tráfego, evasão de pedágio e impactos regulatórios decorrentes da adoção de novas tecnologias. As discussões contribuíram para fortalecer a aplicabilidade prática do modelo desenvolvido, especialmente no que se refere à avaliação econômico-financeira da migração para o *free flow*, à análise de sensibilidade dos parâmetros críticos e à compreensão dos riscos operacionais e regulatórios associados à evasão. A participação no TRB também contribuiu para posicionar o projeto em um fórum técnico-científico alinhado ao tema de infraestrutura rodoviária e para subsidiar a elaboração de versões futuras do artigo derivado do projeto.

Na Bial das Rodovias de 2026, a equipe teve a oportunidade de discutir os resultados e os produtos do projeto com representantes do setor rodoviário, concessionárias, órgãos públicos, reguladores, especialistas e demais atores envolvidos na agenda de modernização da infraestrutura de transportes no Brasil. A participação foi especialmente relevante por aproximar a pesquisa do ambiente de aplicação prática, permitindo validar a pertinência do modelo diante dos desafios enfrentados por concessões existentes na eventual migração de praças físicas para sistemas de cobrança em *free flow*. As discussões realizadas reforçaram a importância de ferramentas de apoio à decisão que permitam avaliar, de forma integrada, os efeitos da evasão, os custos de implantação, os ganhos operacionais, os impactos sobre a receita tarifária e as possíveis implicações regulatórias da adoção do novo sistema. Além disso, o evento contribuiu para a difusão do projeto no setor, em consonância com a diretriz de transferência de conhecimento científico e tecnológico prevista no RDT.

Por fim, no Congresso de Opções Reais de 2026, a equipe apresentou uma versão mais avançada do trabalho, incorporando os resultados obtidos ao longo da execução do projeto, incluindo a parametrização do processo estocástico da taxa de evasão, o desenvolvimento do modelo de apoio à decisão, a aplicação numérica ao caso da concessão analisada, a definição da curva de gatilho e a consolidação da ferramenta de avaliação econômico-financeira. Essa participação permitiu discutir a versão amadurecida da pesquisa com especialistas internacionais em opções reais, contribuindo para a validação metodológica do modelo e para o refinamento da interpretação dos resultados. O evento também foi importante para consolidar a contribuição acadêmica do projeto e orientar a preparação do artigo científico para sua futura submissão a um periódico de alto impacto.

De forma integrada, a participação da equipe nesses eventos cumpriu a função prevista no Plano de Trabalho: divulgar, validar e aprimorar os produtos derivados do projeto. As interações com pesquisadores, especialistas, reguladores e representantes do setor contribuíram para aperfeiçoar o modelo, fortalecer sua aderência à realidade das concessões rodoviárias, ampliar a robustez das análises e apoiar a transferência de conhecimento à ANTT, às concessionárias e aos demais agentes interessados.

Assim, as participações em congressos e eventos técnico-científicos não apenas atenderam ao planejamento aprovado, mas também contribuíram diretamente para a qualidade técnica, a disseminação e a aplicabilidade prática dos resultados finais do projeto.

3.9 Etapa 9: Elaboração de Relatórios

Atividades executadas

- Elaboração e entrega do primeiro relatório parcial, referente ao período de 10/01/2025 a 10/07/2025.
- Elaboração e entrega do segundo relatório parcial, referente ao período de 11/07/2025 a 11/01/2026.
- Elaboração do Relatório Final, consolidando a execução integral do projeto e a aderência ao Plano de Trabalho aprovado.

Resultados

- Dois relatórios parciais entregues no fluxo previsto.
- Relatório Final elaborado no formato solicitado, com consolidação das etapas, métodos, resultados, produtos e anexos.
- Registro documental do cumprimento integral do Plano de Trabalho.

Análise dos resultados e contribuição para o projeto

A etapa de relatórios assegurou a rastreabilidade, a prestação de contas e a documentação formal das atividades realizadas. O presente relatório evidencia que todas as etapas e os produtos pactuados foram executados, com registro sistemático dos resultados e das contribuições para a ANTT, a concessionária, o setor rodoviário e a sociedade.

4. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS

O projeto foi concluído com o cumprimento integral do Plano de Trabalho aprovado. Todas as etapas, atividades, objetivos específicos e produtos prometidos foram cumpridos durante o período de desenvolvimento. O objetivo geral também foi alcançado, uma vez que a equipe desenvolveu uma metodologia para avaliar o valor da opção de troca entre o sistema atual de praças de pedágio e o sistema *free flow*, bem como o momento ótimo para exercê-la, considerando a taxa de evasão como principal variável de incerteza.

4.1 Atendimento dos objetivos geral e específicos

Objetivo previsto	Evidência de atendimento	Status
Objetivo geral: determinar o valor da opção de troca e o timing ideal para a migração.	Modelo desenvolvido, aplicado e convertido em uma ferramenta de apoio à decisão.	Cumprido

Objetivo previsto	Evidência de atendimento	Status
I. Determinar o comportamento da taxa de evasão.	Foram avaliados os testes estatísticos aplicados e o comportamento da série.	Cumprido
II. Modelar a evasão como uma variável estocástica.	Taxa de evasão parametrizada para uso no modelo.	Cumprido
III. Desenvolver um sistema de apoio à decisão para a opção de switch.	Modelo e calculadora estruturados para avaliação da migração.	Cumprido
IV. Otimizar a estrutura de cobrança por <i>free flow</i> .	Avaliação da densidade de cobrança incorporada ao modelo, considerando a evasão, o CAPEX e o OPEX.	Cumprido
V. Elaborar uma calculadora para a ANTT e as concessionárias.	Ferramenta elaborada para apoiar análises de concessões com dados compatíveis.	Cumprido
VI. Propor políticas públicas para a regulação e a fiscalização.	Recomendações técnicas e regulatórias consolidadas com base nos resultados.	Cumprido
VII. Efetuar treinamento técnico.	Capacitação de 18 horas realizada com material didático produzido.	Cumprido

4.2 Avaliação dos métodos e técnicas adotadas

Os métodos e técnicas adotados foram adequados aos objetivos do projeto. A revisão de literatura e a análise metodológica permitiram definir a abordagem mais apropriada para avaliar a flexibilidade de migração. Os testes estatísticos aplicados às séries de tráfego e de evasão forneceram suporte à parametrização das variáveis. A aplicação numérica e as análises de sensibilidade permitiram avaliar a robustez do modelo e sua utilidade prática. A capacitação técnica, por sua vez, assegurou a transferência de conhecimento aos potenciais usuários da metodologia.

Como aprimoramento futuro, recomenda-se que cada nova aplicação da calculadora seja precedida pela atualização das bases de dados, pela validação das premissas regulatórias e financeiras e pela revisão dos parâmetros estatísticos da evasão. Esses cuidados não configuram pendência do projeto, mas sim orientações para o uso adequado e replicável da metodologia desenvolvida.

4.3 Utilidade prática dos resultados

Os resultados e produtos gerados contribuem diretamente para a infraestrutura rodoviária concedida. Para a concessionária, a metodologia fornece uma estrutura quantitativa para avaliar a viabilidade, o momento e a configuração da migração para *free flow*. Para a ANTT, o projeto fornece subsídios para análise regulatória, fiscalização, definição de diretrizes, avaliação de cenários e aprimoramento de políticas públicas. Para os usuários, o projeto contribui indiretamente para uma transição mais eficiente, segura e transparente para sistemas de cobrança mais modernos, com potencial para melhorar a fluidez, reduzir paradas e promover maior racionalidade tarifária.

4.4 Vantagens, resultados práticos e pontos de atenção

As principais contribuições do projeto consistem na incorporação formal da incerteza associada à evasão de receita, na mensuração do valor da flexibilidade gerencial, na definição de gatilhos objetivos para apoio à tomada de decisão e no desenvolvimento de uma ferramenta replicável para avaliação da migração do modelo de cobrança. Em comparação às abordagens tradicionais, a metodologia proposta possibilita uma análise dinâmica, incorporando a evolução das principais variáveis técnicas, operacionais, econômicas e regulatórias que influenciam a viabilidade da migração para o sistema *free flow*.

Adicionalmente, o modelo permite comparar os custos dos dois modelos de cobrança, considerando tanto os investimentos já realizados na implantação e na operação das praças físicas quanto os investimentos adicionais necessários à implementação do sistema *free flow*. Essa abordagem possibilita avaliar, de forma integrada, os impactos econômico-financeiros da migração e evidencia que sua viabilidade está relacionada ao tratamento adequado dos desequilíbrios decorrentes da substituição do modelo de arrecadação.

Os pontos de atenção estão relacionados à qualidade e à disponibilidade dos dados, à necessidade de atualização das premissas para cada concessão e à dependência de parâmetros regulatórios e operacionais específicos. Tais fatores foram abordados no projeto por meio da validação de dados, de análises de sensibilidade e de recomendações de uso da ferramenta.

4.5 Viabilidade econômica, custo-benefício, produtividade e eficiência

A viabilidade econômica do *free flow* deve ser avaliada caso a caso, considerando o investimento necessário, os custos operacionais, as receitas, a evasão, a estrutura de cobrança e as regras contratuais. O projeto desenvolveu uma metodologia e uma ferramenta justamente para viabilizar essa avaliação. A aplicação numérica demonstrou que a decisão de migração pode ser analisada por meio de cenários, gatilhos e análises de sensibilidade, permitindo comparar custos e benefícios com maior robustez do que uma análise estática.

O sistema *free flow* tem potencial para aumentar a produtividade e a eficiência ao reduzir a dependência de estruturas físicas de pedágio, melhorar a fluidez e permitir maior flexibilidade na localização e na quantidade de pontos de cobrança. A metodologia desenvolvida permite quantificar e qualificar esses ganhos em relação ao risco de evasão e aos custos adicionais de implantação e de operação.

4.6 Capacidades, potencialidades e limitações dos produtos

A calculadora e o modelo desenvolvidos têm potencial de aplicação em outras concessões rodoviárias, desde que sejam alimentados com dados consistentes e com premissas adequadas ao contrato analisado. A principal capacidade do produto é integrar, em uma mesma estrutura, dados de evasão, parâmetros econômico-financeiros e análise de sensibilidade. Sua principal limitação é a dependência de dados históricos e de premissas de qualidade. Assim, a replicabilidade exige a validação prévia das bases e a interpretação técnica dos resultados.

4.7 Impactos ambientais

A migração para *free flow* pode reduzir impactos ambientais associados a praças físicas de pedágio, como áreas de implantação, estruturas auxiliares, consumo de energia das instalações físicas e emissões decorrentes de frenagens, filas e retomadas de velocidade. Embora o foco do projeto seja econômico-

financeiro e regulatório, a metodologia permite considerar impactos operacionais e ambientais como elementos qualitativos relevantes na decisão de migração. Em comparação com o sistema tradicional de praças físicas, o *free flow* apresenta potencial de menor interferência física e maior fluidez, desde que acompanhado de mecanismos eficazes de cobrança e fiscalização.

4.8 Produtos gerados

- Modelagem da taxa de evasão de pedágio.
- Modelo de avaliação econômico-financeira da opção de troca entre o sistema atual de praças de pedágio e o sistema *free flow*.
- Curva de gatilho e definição do momento ótimo de exercício da opção de troca, em função do comportamento da variável analisada.
- Ferramenta de apoio à decisão (“calculadora”) para avaliação da opção de troca pela ANTT e pelas concessionárias.
- Aplicação numérica ao caso da BR-050, com análise de resultados, calibração e análise de sensibilidade.
- Recomendações técnicas e subsídios para políticas públicas, regulação e fiscalização do sistema *free flow*.
- Capacitação técnica de 18 horas para ANTT e concessionárias, com materiais didáticos.
- Artigos acadêmicos e apresentações em congressos nacionais e internacionais, além de versões aprimoradas para submissão a periódicos de impacto.
- Relatórios parciais e relatório final do projeto.

4.9 Transferência de tecnologia e conhecimento

A transferência de tecnologia e conhecimento dos produtos gerados pelo projeto foi estruturada de forma complementar, contemplando a disponibilização dos relatórios técnicos, da modelagem econômico-financeira desenvolvida, da ferramenta de apoio à decisão – “calculadora” –, dos materiais didáticos da capacitação técnica, dos artigos científicos derivados da pesquisa e das recomendações voltadas ao aperfeiçoamento da regulação e da fiscalização de rodovias concedidas. Essa estratégia buscou assegurar que os resultados do projeto pudessem ser compreendidos, replicados e utilizados pela ANTT, pelas concessionárias e pelos demais agentes interessados na avaliação econômico-financeira da migração de praças físicas de pedágio para o sistema *free flow*.

Além da entrega dos produtos técnicos, a disseminação do conhecimento ocorreu por meio da participação da equipe em eventos técnico-científicos nacionais e internacionais, conforme planejado no Plano de Trabalho. A participação nos Congressos de Opções Reais de 2025 e 2026 permitiu apresentar a metodologia desenvolvida à comunidade acadêmica especializada em avaliação de investimentos sob incerteza, em opções reais e em modelagem de flexibilidades gerenciais. Esses eventos contribuíram para a validação externa da abordagem adotada, para o aprimoramento da modelagem da taxa de evasão como variável estocástica e para o refinamento do modelo de apoio à decisão baseado na opção de switch entre o sistema tradicional de praças de pedágio e o sistema *free flow*.

A participação no Transportation Research Board Annual Meeting de 2026 ampliou a transferência de conhecimento para a comunidade internacional de transportes, infraestrutura rodoviária, concessões e políticas públicas. O evento permitiu discutir os resultados do projeto em um ambiente técnico qualificado, confrontando a metodologia proposta com experiências internacionais relacionadas à modernização de sistemas de cobrança, à gestão de tráfego, à evasão de pedágio, à análise de riscos e aos impactos regulatórios decorrentes da adoção de novas tecnologias em rodovias concedidas.

No âmbito nacional, a participação na Bienal das Rodovias de 2026 possibilitou a aproximação dos resultados do projeto ao setor rodoviário brasileiro, incluindo concessionárias, reguladores, representantes do poder público, especialistas e demais atores envolvidos na agenda de modernização da infraestrutura de transportes. O evento foi relevante para difundir o projeto, discutir sua aplicabilidade prática e reforçar a importância de ferramentas de apoio à decisão capazes de avaliar, de forma integrada, os efeitos da evasão, os custos de implantação, os ganhos operacionais, os impactos sobre a receita tarifária e as implicações regulatórias da migração para o *free flow*.

A capacitação técnica prevista no Plano de Trabalho também constituiu um instrumento central de transferência de conhecimento. Por meio dela, foram compartilhados conceitos e aplicações relacionados a valuation, análise de risco, simulação, processos estocásticos e abordagem de opções reais, permitindo que técnicos da ANTT e das concessionárias compreendessem a lógica do modelo desenvolvido e suas possibilidades de aplicação em outros contratos de concessão. Dessa forma, a capacitação contribuiu para ampliar a capacidade técnica dos tomadores de decisão públicos e privados na avaliação de investimentos em infraestrutura sob condições de incerteza.

Portanto, a transferência de tecnologia e conhecimento foi realizada por meio de múltiplos canais: entrega de relatórios técnicos e de produtos analíticos; disponibilização da ferramenta de apoio à decisão; capacitação técnica de agentes públicos e privados; elaboração e apresentação de artigos científicos; participação em congressos e eventos setoriais; e formulação de recomendações aplicáveis ao ambiente regulatório. Em conjunto, essas ações asseguram a difusão dos resultados do projeto, sua replicabilidade em outras concessões e sua contribuição para a modernização, a eficiência, a qualidade e a segurança dos serviços de exploração de rodovias concedidas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADKINS, Roger et al. Investment decisions with finite-lived collars. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 103, p. 185-204, 2019.
- BALLIAUW, Matteo et al. The case of public and private ports with two actors: capacity investment decisions under congestion and uncertainty. *Case Studies on Transport Policy*, v. 8, n. 2, p. 403-415, 2020.
- BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.
- BRANDÃO, Luiz Eduardo T.; SARAIVA, Eduardo. The option value of government guarantees in infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, v. 26, n. 11, p. 1171-1180, 2008.
- BURRIS, Mark W. Application of variable tolls on congested toll road. *Journal of Transportation Engineering*, v. 129, n. 4, p. 354-361, 2003.
- BUYUKYORAN, Faruk; GUNDES, Selin. Optimized real options-based approach for government guarantees in PPP toll road projects. *Construction management and economics*, v. 36, n. 4, p. 203-216, 2018.

- CARBONARA, Nunzia; COSTANTINO, Nicola; PELLEGRINO, Roberta. Revenue guarantee in public-private partnerships: a fair risk allocation model. *Construction management and economics*, v. 32, n. 4, p. 403-415, 2014.
- CASCETTA, Ennio. A stochastic process approach to the analysis of temporal dynamics in transportation networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 23, n. 1, p. 1-17, 1989.
- CHEN, Qing et al. Real options model of toll-adjustment mechanism in concession contracts of toll road projects. *Journal of Management in Engineering*, v. 34, n. 1, p. 04017040, 2018.
- COLÍN, Fernando C.; SOLIÑO, Antonio S.; GALERA, Antonio L. L. Default and abandonment option in motorway concessions. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 23, n. 1, p. 04016022, 2017.
- COPELAND, Tom; ANTIKAROV, Vladimir. *Real Options: A Practitioner's Guide*. New York: Texere, 2003.
- DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. *Investment under Uncertainty*. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- ESMAEELI, Asghar Nezhadpour; HERAVI, Gholamreza. Real options approach versus conventional approaches to valuing highway projects under uncertainty. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 145, n. 11, p. 04019068, 2019.
- GARVIN, Michael J.; CHEAH, Charles YJ. Valuation techniques for infrastructure investment decisions. *Construction management and economics*, v. 22, n. 4, p. 373-383, 2004.
- HO, S. Ping; LIU, Liang Y. An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects. *Construction Management & Economics*, v. 20, n. 2, p. 143-156, 2002.
- LARA GALERA, Antonio; SÁNCHEZ SOLIÑO, Antonio; ABAD, Begoña Guirao. Sharing risks in toll motorway concessions: subsidies as real options on traffic volume. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 24, n. 4, p. 06018001, 2018.
- LEMBHE, P. Data analytics and predictive modeling for toll violation prevention. *Journal of Artificial Intelligence & Cloud Computing*. SRC/JAICC-264. DOI: doi.org/10.47363/JAICC/2022 (1), v. 246, p. 2-7, 2022.
- LIANG, Yunping; ASHURI, Baabak. Option value of contingent finance support in transportation public-private partnership projects. *Transportation Research Record*, v. 2674, n. 7, p. 555-565, 2020.
- LIU, Yu-gang et al. Prediction of fake toll-free logistic vehicles based on historical traffic data. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition)*, v. 15, n. 2, p. 54-64, 2021.
- MARQUES, Naielly Lopes; BASTIAN-PINTO, Carlos de Lamare; BRANDÃO, Luiz Eduardo Teixeira. Crossing the Brownian Bridge: valuing infrastructure capacity expansion policies as real options. *Construction Management and Economics*, v. 39, n. 3, p. 261-276, 2021.
- MERTON, Robert C. Theory of rational option pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, p. 141-183, 1973.
- NEZHADPOUR ESMAEELI, Asghar; HERAVI, Gholamreza. A decision support framework for economic evaluation of flexible strategies in pavement construction projects. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 20, n. 11, p. 1342-1358, 2019.

- POLAT, Levent; BATTAL, Ünal. Airport infrastructure investments and the valuation of expansion decisions using the compound real option approach. *Journal of Air Transport Management*, v. 91, p. 102011, 2021.
- TRIGEORGIS, Lenos. *Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications*. Westport: Praeger, 1995.
- TRIGEORGIS, Lenos. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Cambridge: MIT Press, 1996.
- VASSALLO, José Manuel et al. Urban toll highway concession system in Santiago, Chile: lessons learned after 15 years. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 26, n. 2, p. 05020004, 2020.
- WANG, Xingju et al. Comprehensive network-level urban road asset valuation method integrating physical and social values. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 150, n. 7, p. 04024024, 2024.
- WATLING, David P.; CANTARELLA, Giulio E. Modelling sources of variation in transportation systems: theoretical foundations of day-to-day dynamic models. *Transportmetrica B: transport dynamics*, v. 1, n. 1, p. 3-32, 2013.
- YANG, Yang et al. A parallel FP-growth mining algorithm with load balancing constraints for traffic crash data. *International Journal of Computers Communications & Control*, v. 17, n. 4, 2022.
- ZAPATA QUIMBAYO, Carlos Andrés; MEJÍA VEGA, Carlos Armando; MARQUES, Naielly Lopes. Minimum revenue guarantees valuation in PPP projects under a mean reverting process. *Construction management and economics*, v. 37, n. 3, p. 121-138, 2019.
- ZHAO, Yong-He et al. A toll evasion recognition method based on Gaussian mixture clustering. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, v. 51, n. 7, p. 3901-3911, 2022.
- ZHUO, Yiliang. Legal characterization of the behavior of following a car to evade tolls. *Academic Journal of Management and Social Sciences*, v. 5, n. 2, p. 213-217, 2023.

6. ANEXOS

- Anexo I – Planilha com análise estatística dos dados de tráfego e evasão.
- Anexo II – Planilha com análise dos dados de evasão da EcoNoroeste após a migração para o sistema *free flow*, utilizada como proxy de estudo.
- Anexo III – Relatório Técnico sobre a modelagem e o manual de uso da calculadora, com regras, instruções, especificações e elementos necessários à replicabilidade.
- Anexo IV – Calculadora desenvolvida no âmbito do projeto.
- Anexo V – Materiais didáticos produzidos para a capacitação técnica em valuation, análise de risco e opções reais e registros de vídeo das atividades de capacitação.
- Anexo VI – Artigos, apresentações, programas de congressos e documentos relativos à participação em eventos técnicos e acadêmicos nacionais e internacionais.
- Anexo VII – Relatórios de viagem e de visitas técnicas vinculados ao projeto.
- Anexo VIII – Cronograma físico-financeiro aprovado e respectivas alterações aprovadas ao longo da execução.
- Anexo IX – Resumo de Atividades.

ANEXO - MANUAL / GUIA PARA USO DA CALCULADORA CONVERSÃO FF

A planilha está dividida em 3 guias, nas quais são estimados os valores dos modelos do relatório. Todas calculam, como dados de saída, os valores atuais de custos e despesas. Portanto, é importante entender que um valor positivo no resultado indica uma saída líquida de caixa. Portanto, o objetivo do projeto é identificar os valores mínimos para estes resultados, ou mesmo valores negativos, que apareceriam na cor vermelha e com sinal (-). As planilhas estão abertas e podem ser editadas e modificadas.

- Nos 3 modelos, os dados das principais variáveis de entrada estão marcados em **amarelo** (Editar), enquanto as principais saídas (resultados) estão em **verde** (Saída).

Como exemplos:

- Reinvestimento de Praças não migradas para *MLFF* ao final do prazo de Concessão:

Capex Praça (-)	25%
-----------------	-----

- Ano migração para FF Ecovias Minas Goiás:

Implant MLFF (ano)	5
--------------------	---

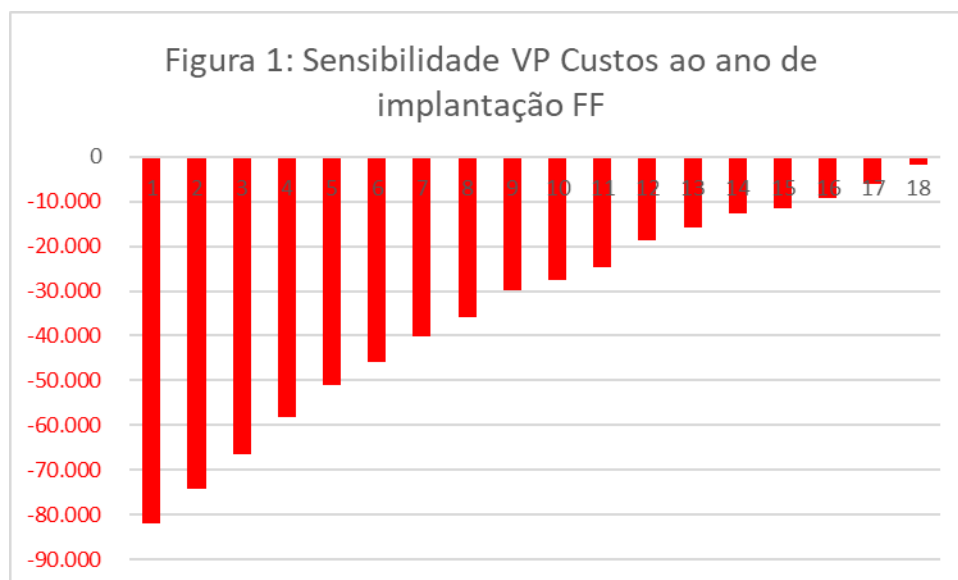
- Ano migração para FF por praça

P1	3
P2	2
P3	4
P4	5
P5	6
P6	7

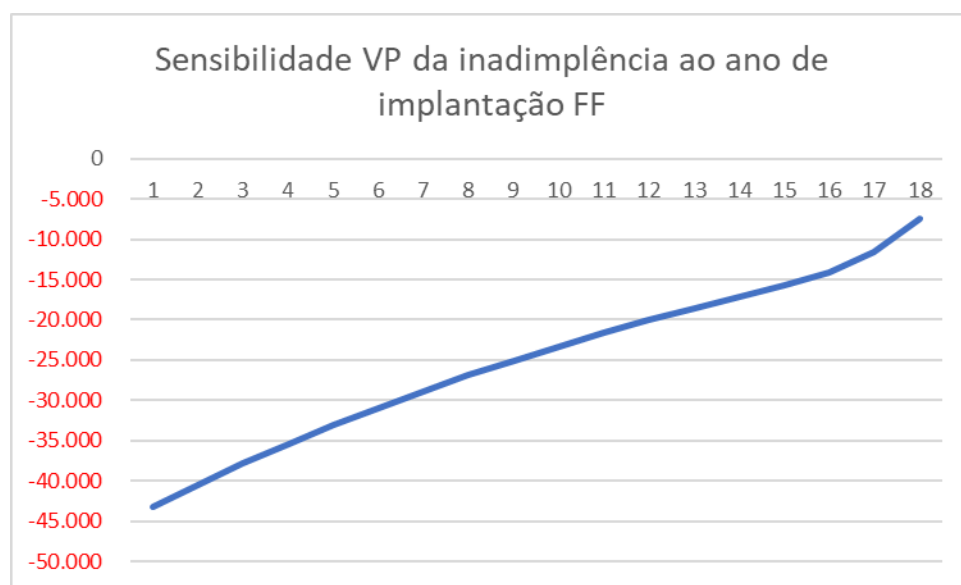
- Resultados da implantação de *MLFF* no ano 5 na Ecovias Minas Goiás:

Fluxo Custos c implat FF	VP:	-181.821
Inadimplência	VP:	-33.136
total	VP:	-214.957
Dif de Operação com Praças	VP:	-50.943
Valores em R\$ x 1.000		

- Sensibilidade do valor presente da diferença custos da migração da Ecovias Minas Goiás para *MLFF*, em função do ano de migração:



- Sensibilidade do valor presente da inadimplência ao ano de implantação FF na migração da Ecovias Minas Goiás para *MLFF*



- A migração para *MLFF* por praça da concessão em função do ano tem seu efeito em valor presente de custos comparado à não migração no resultado do modelo 3

Valores em R\$ x 1.000				
VPL Cobrança	Ano Migração para MLFF	VPL Implantação FF por praça	VPL Operação com Praças	FF - Praças
P1	3	-31.664	-21.513	-10.150
P2	2	-34.630	-21.366	-13.264
P3	4	-31.031	-24.176	-6.855
P4	5	-33.775	-33.470	-305
P5	6	-32.354	-31.371	-983
P6	7	-32.336	-32.341	6
Total Eco 50:		-195.789	-164.238	-31.551

- As informações de diferentes origens estão nas 3 planilhas com fundos das células em cores diferentes:
 - Receita projetada em **cor magenta**: A partir do valor R\$ 394.446 (x 1.000) anual em 2025, crescendo a 3% a.a. em base real, portanto sem considerar a inflação (IPCA):

Valores em R\$ x 1.000		Projeção:	2025	2026	2027	2028	2029
Receita		3,0%	394.446	406.280	418.468	431.022	443.953

- OPEX, CAPEX, depreciação e amortização (D&A) do modelo de operação com praças, em **fundo azul**.
 - OPEX, CAPEX, depreciação e amortização do modelo de operação com praças, em **fundo laranja**.
 - Nos 3 modelos, vários valores de entrada dos modelos (WACC nom, WACC real, IPCA médio, IR%) estão em células com **fundo cinza**

WACC nom	12,0%	WACC real	8,7%
IPCA Médio	3,0%	IR%	34%

- Ainda nos 3 modelos, a inadimplência resultante da evasão, está em tabela, com fundo **rosa** mas com valor inicial em **amarelo**, por ser este um dos principais dados de entrada dos modelos

Inadimplência:	Ano de Implantação FF:	1	2	3	4	5
% Receita	1	5,00%	2,50%	1,25%	0,63%	0,31%
% Receita	2	2,50%	1,25%	0,63%	0,31%	0,16%
% Receita	3	1,25%	0,63%	0,31%	0,16%	0,08%

- Na última aba da planilha, no modelo de Implantação FF por Praça, há uma tabela com formatação em mapa de calor, indo do Verde (menor) ao Vermelho (maior), indicando visualmente, pela coloração, o nível de Fluxo de Custos da operação no período e na Praça em questão ao longo dos anos projetados. Naqueles em que foi selecionada a implantação do sistema *MLFF* nesta praça e no ano, o valor de saída de caixa é elevado e aparece na cor vermelha.

Ano FF:	1	2	3	4	5	6	7	8
P1	2.086	1.947	18.036	1.485	1.828	1.662	1.575	2.774
P2	2.070	19.243	2.068	1.470	1.811	1.651	2.865	1.655
P3	2.338	2.179	2.238	17.585	1.933	1.752	1.657	1.606
P4	3.194	2.954	3.043	4.019	17.523	1.865	1.864	1.863
P5	2.958	2.719	2.807	3.783	2.962	17.202	1.827	1.827
P6	3.067	2.828	2.916	3.892	3.071	2.685	17.147	1.835

Fluxo de Custos totais ano a ano

Ainda neste último modelo, pode ser visto, na tabela de saída, em verde, o Valor Presente dos custos totais por praça, que abrange a operação de praça antes da migração, o investimento no *MLFF* e a operação posterior com *MLFF* até o final da concessão.