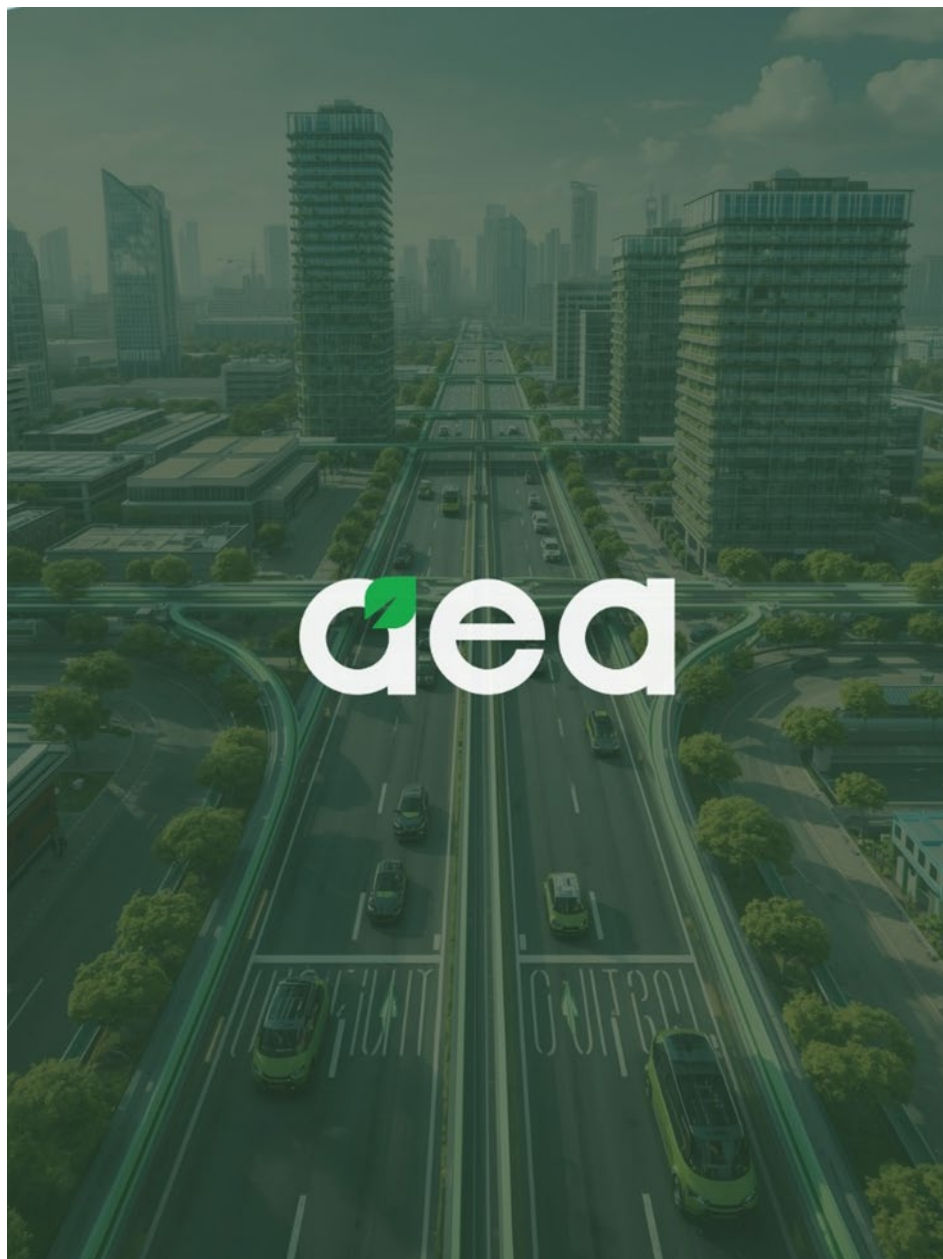




Relatório Técnico: Grupo Técnico de Trabalho 3 (GT3) AEA – Definição de rotas representativas

Versão Final | 29/06/2026

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. MOTIVAÇÃO.....	5
3. OBJETIVOS E ESCOPO	5
4. METODOLOGIA DE TRABALHO	5
5. DEFINIÇÃO DA ENCOMENDA TECNOLÓGICA	6
6. PUBLICAÇÃO DA CHAMADA E SELEÇÃO DA INSTITUIÇÃO.....	6
7. PROCESSAMENTO DOS DADOS	7
8. PROPOSTAS DE ROTAS	9
9. VALIDAÇÃO DAS ROTAS	9
10. CONCLUSÕES	11
ANEXO I	12

Relatório Técnico: GT3 AEA – Definição de rotas representativas

1. INTRODUÇÃO

Em 14 de maio de 2024, a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) recebeu o OFÍCIO SEI nº 3219/2024/MDIC do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), solicitando, dentre outros pontos, apoio técnico na definição de procedimentos de ensaios para o estabelecimento do *Vehicle Energy Consumption Calculation Tool* (VECTO) - ferramenta de simulação desenvolvida pela Comissão Europeia (DG Clima e JRC) para estimar, de forma padronizada, o consumo de combustível e as emissões de CO₂ de veículos pesados - no Brasil como ferramenta oficial para cálculo de eficiência energética e emissões de CO₂ de veículos pesados, conforme diretrizes do Programa MOVER. Este relatório técnico consolida as análises, discussões, conclusões e proposta de direcionamento do Grupo de Trabalho 3 (GT3) da AEA, subgrupo da CT VECTO, criado em resposta ao referido ofício, cuja responsabilidade é por definir a rota representativa brasileira.

O Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), instituído pela LEI Nº 14.902, DE 27 DE JUNHO DE 2024 e regulamentado pelo DECRETO Nº 12.435, DE 15 DE ABRIL DE 2025, estabelece diretrizes para o incremento da eficiência energética dos veículos comercializados no Brasil, definindo como um dos requisitos obrigatórios para comercialização:

“II - para os veículos classificados nos códigos da Tipi relacionados no Anexo I, seção B:

a) assunção do compromisso de apresentação de relatório dos resultados de eficiência energética veicular ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, nos termos do disposto no Anexo II, seção C.”

Complementarmente, a Portaria GM/MDIC nº 176, de 7 de julho de 2025 definiu o cronograma de implementação do programa de eficiência energética para veículos pesados, bem como a divulgação dos resultados, e oficializou o uso do VECTO como ferramenta de simulação, conforme segue:

- **Até 1º de novembro de 2028:** Apresentação dos resultados de eficiência energética e emissões de CO₂ para caminhões-tratores 6x2 e 6x4, com base na produção ocorrida entre 1º de outubro de 2027 e 30 de setembro de 2028.

- **Até 31 de dezembro de 2028:** Definição da linha de base para futuras metas de eficiência energética e emissões de CO₂, com base nos resultados dos testes submetidos até 1º de novembro de 2028.
- **Até 30 de abril de 2029:** Estabelecimento das metas de eficiência energética e emissões de CO₂.
- **A partir de 1º de outubro de 2033:** Verificação do cumprimento das metas de eficiência energética e emissões de CO₂ para veículos produzidos entre 1º de outubro de 2032 e 30 de setembro de 2033.

Além disso, em consonância com os trabalhos conduzidos pela AEA, e em resposta ao OFÍCIO SEI nº 3219/2024/MDIC, a Portaria também prevê a publicação de atos complementares, de modo a regulamentar plenamente o programa de eficiência para veículos pesados, conforme o seguinte cronograma:

- **Até 31 de março de 2026:** Procedimentos de ensaio e equipamentos rodoviários representativos para caminhões tratores 6x2 e 6x4.
- **Até 30 de junho de 2026:** Definição de rota(s) representativa(s) para caminhões tratores 6x2 e 6x4.
- **Até 31 de dezembro de 2026:** Adaptação do algoritmo do VECTO às condições representativas brasileiras.
- **Até 1º de junho de 2027:** Validação, pelo comitê gestor, da adaptação do VECTO às condições brasileiras.

2. MOTIVAÇÃO

Para o programa de eficiência energética brasileiro, se faz necessário a avaliação dos perfis de rota nacionais para que as simulações de emissões de CO₂ na ferramenta VECTO representem a realidade de forma adequada.

3. OBJETIVOS E ESCOPO

Estabelecer os perfis de rotas brasileiras a serem utilizadas para simulações no VECTO, priorizando rotas relevantes e consistentes. Considerando critérios de aquisição dos dados, tratamento das informações e definição das rotas representativas com a realidade brasileira.

Conforme estratégia de priorização definido para o programa de eficiência energética, o escopo inicial está na definição de uma rota representativa para caminhões tratores com a configuração de eixo 6x2 e 6x4, que comumente são utilizados em aplicações rodoviárias nacionais.

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

As rotas do VECTO utilizam como referência perfis de velocidade e topografias representativas de mercado, neste caso foi estabelecido que as informações das próprias fabricantes nacionais deveriam servir de base para o estudo, similar a metodologia estabelecida no programa de eficiência energética para a União Europeia. Essas simulações consideram diferentes combinações de veículos, não necessariamente contemplando ciclos específicos de operação.

Neste cenário, considerando o modelo europeu, a metodologia adotada para execução das atividades seguiu a estrutura apresentada no fluxograma apresentados na Figura 01. Como uma das principais entregas enviou-se a necessidade da contratação de uma instituição neutra e capacitada, que pudesse avaliar a qualidade dos dados e processar as informações, resultando em propostas alinhadas com rotas comuns para simulações no ambiente do VECTO.

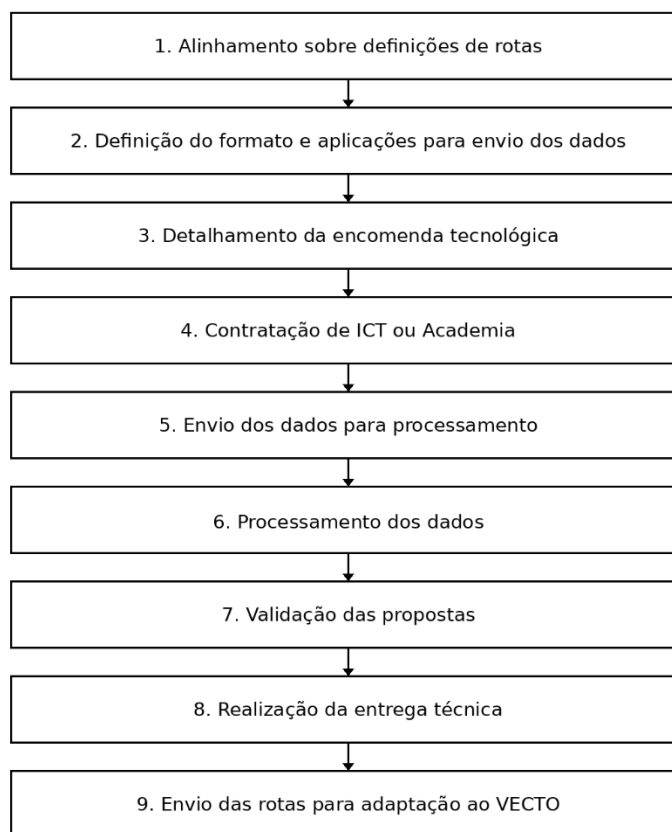


Figura 01 – Fluxograma de execução.

5. DEFINIÇÃO DA ENCOMENDA TECNOLÓGICA

Para viabilizar a execução da metodologia estabelecida, foi realizada a contratação junto à Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa (Fundep), com o objetivo de estruturar e conduzir um edital de chamamento público para instituições interessadas na realização dos estudos. Os critérios e diretrizes desse edital estão definidos no Anexo I.

6. PUBLICAÇÃO DA CHAMADA E SELEÇÃO DA INSTITUIÇÃO

Em 12 de junho de 2025 a Associação Brasileira de Engenharia Automotiva - AEA apresentou à FUNDEP a proposta de projeto intitulada “Definição de Rotas Representativas Brasileiras para Simulação de Eficiência Energética na Ferramenta VECTO”, em atenção ao pedido feito pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – MDIC por meio do ofício SEI Nº3219/2024/MDIC, no sentido de buscar-se o aprimoramento da medição da eficiência

energética e descarbonização do segmento de transporte de carga, tendo a FUNDEP se encarregado de viabilizar a realização do projeto.

Visto que, o projeto possui relação direta com a temática trabalhada pela Linha V – Programa de Desenvolvimento de Tecnologias em Biocombustíveis, Segurança Veicular e Propulsão alternativa à Combustão do Programa Mover e que a docente da UNICAMP, professora Ludmila Corrêa de Alkmin e Silva, participa da coordenação técnica da Linha V e possui o conhecimento notório e fundamental para a efetivação do projeto mencionado, tendo sido, por essa razão, convidada a apresentar proposta de plano de trabalho para a realização da iniciativa, a qual foi aprovada pela FUNDEP e pela AEA.

Considerando que a Fundep e a UNICAMP já possuíam Convênio de Cooperação firmado para a coordenação do Programa e que a execução do projeto pela UNICAMP demandava a ampliação do escopo originalmente pactuado, foi celebrado termo aditivo ao referido convênio, estabelecendo atividades complementares àquelas inicialmente previstas. Tal ampliação foi formalizada e publicada no Diário Oficial da União de 26 de setembro de 2025, por meio de Extrato de Termo Aditivo ao Convênio de Cooperação celebrado entre Fundep, UNICAMP e FUNCAMP, incluindo a execução do projeto "Definição de Rotas Representativas Brasileiras para Simulação de Eficiência Energética na Ferramenta VECTO".

7. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Como a execução do projeto em questão demandava a obtenção de dados representativos de rotas, a Fundep promoveu instrumento convocatório para o credenciamento de empresas interessadas em participar, de forma voluntária e gratuita, do projeto "Análise de Rotas Representativas Brasileiras para Simulação da Eficiência Energética na Ferramenta VECTO (*Vehicle Energy Consumption Calculation Tool*)". O objetivo da iniciativa foi viabilizar o compartilhamento de dados de rotas de veículos nas configurações de caminhões tratores pesados 6x2 e 6x4, necessários ao desenvolvimento das atividades previstas no projeto.

Tendo em vista que a execução das atividades envolve o acesso e a utilização de informações fornecidas pelas empresas participantes, fez-se necessária a celebração de Acordos de Confidencialidade, com vistas à proteção das informações compartilhadas e à garantia de sua utilização exclusivamente para os fins previstos no projeto.

Junto ao grupo de trabalho foi definido quais dados deveriam ser compartilhados, e também o formato de envio dessas informações. O exemplo a ser seguido consistiu nas informações de velocidade, gradiente e tempo de parada, conforme mostra o cabeçalho da Figura 02.

Template: dados das rotas de cada fabricante para o desenvolvimento da rota representativa do Brasil para o VECTO - caminhões tratores 6x2 e 6x4 de aplicação rodoviária				
Premisas: 1) não é necessário identificar trechos e/ou rodovias utilizadas 2) as rotas podem ser formadas por diversos trechos representativos 3) a altimetria deve iniciar e finalizar na mesma elevação 4) a velocidade target é baseada nos dados dos fabricantes 5) as rotas não precisam estar limitadas a 100 km 6) enviar um arquivo para cada tipo de configuração de veículo. Caso a rota seja valida para as duas condições, enviar apenas um arquivo e discriminar a informação				
Observação: os dados fornecidos serão tratados de maneira sigilosa exclusivamente pela ICT contratada				
	deslocamento (m)	velocidade target (km/h)	gradiente (%)	tempo de parada (s)
exemplo de preenchimento	0	0	-0,1	1
	1	75	-0,1	0
	2	75	-0,1	0
	3	78	0	0
	4	78	0	0
	...	...	...	...
	100246	75	+0,2	0
	100247	75	+0,2	0
	100248	0	+0,2	60
	100249	70	0	0
	100250	0	-0,1	1

Figura 02 – Arquivo *template* para o preenchimento e envio dos dados à UNICAMP.

Em posse das informações os pesquisadores da UNICAMP realizaram uma série de tratativas e análises iniciais nos conjuntos de dados, com o intuito de parametrizar e compreender o comportamento dos veículos nas rotas brasileiras, identificado nos dados.

8. PROPOSTAS DE ROTAS

Para a execução do projeto no escopo e prazo determinados, os pesquisadores responsáveis elaboraram um conjunto de objetivos a serem alcançados para garantir o desenvolvimento consistente da rota representativa para a realidade brasileira. Os objetivos são:

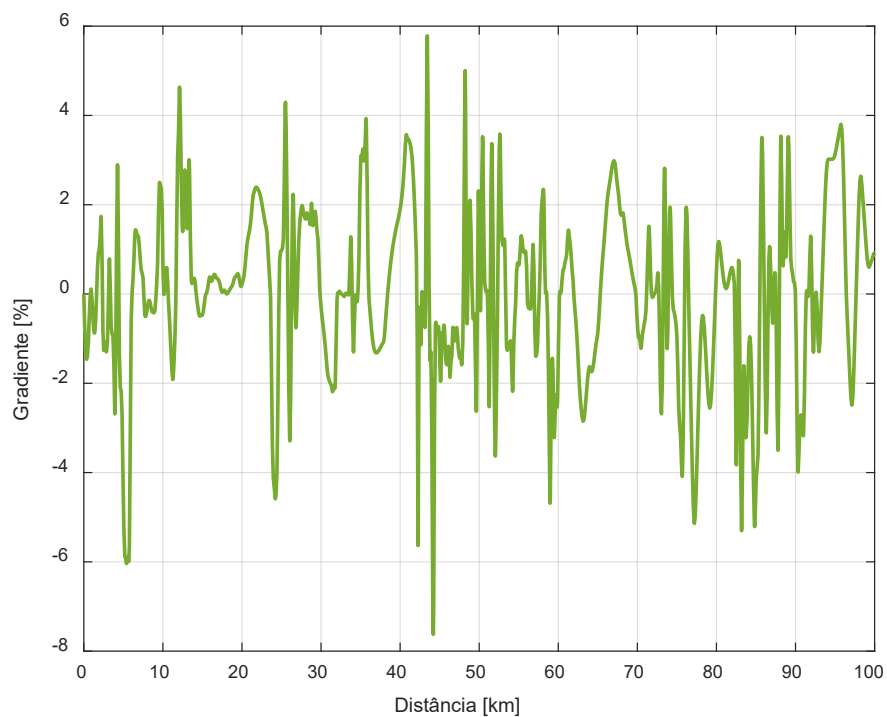
- i. Receber e tratar os dados recebidos e detalhar esses conjuntos de informações;
- ii. Identificar e caracterizar os parâmetros adquiridos, separando-os em categorias, para realizar o tratamento estatístico necessário;
- iii. Desenvolver e implementar a análise de frequência para a porção cinemática de cada ciclo: histograma de velocidades, acelerações e gradientes; análise do tempo com veículo parado e paradas por minuto ou por quilômetro; identificação de cenários de condução, tais como rodovias, trechos urbanos, *stop and go*, etc. e sua respectiva parcela dentro de cada ciclo; caracterização de outras variáveis que forem consideradas importantes ao longo do estudo;
- iv. Realizar a análise de frequências de todos os parâmetros obtidos e de interesse, gerando seus histogramas de frequência;
- v. Separar esses dados em micro viagens com o intuito de obter ciclos característicos;
- vi. Sintetizar os dados obtidos em ciclos e detectar as principais semelhanças e diferenças obtidas entre ciclos, caminhões tratores (6x2 e 6x4) e/ou regiões;
- vii. Validar uma rota final com a grupo de trabalho garantindo representativa e aderência com a realidade brasileira.

O grupo da UNICAMP explorou técnicas e metodologias viáveis para serem aplicadas no contexto dessa encomenda. Os resultados e a abordagem desenvolvida e adotada são apresentados no relatório final enviado à Fundep, em anexo.

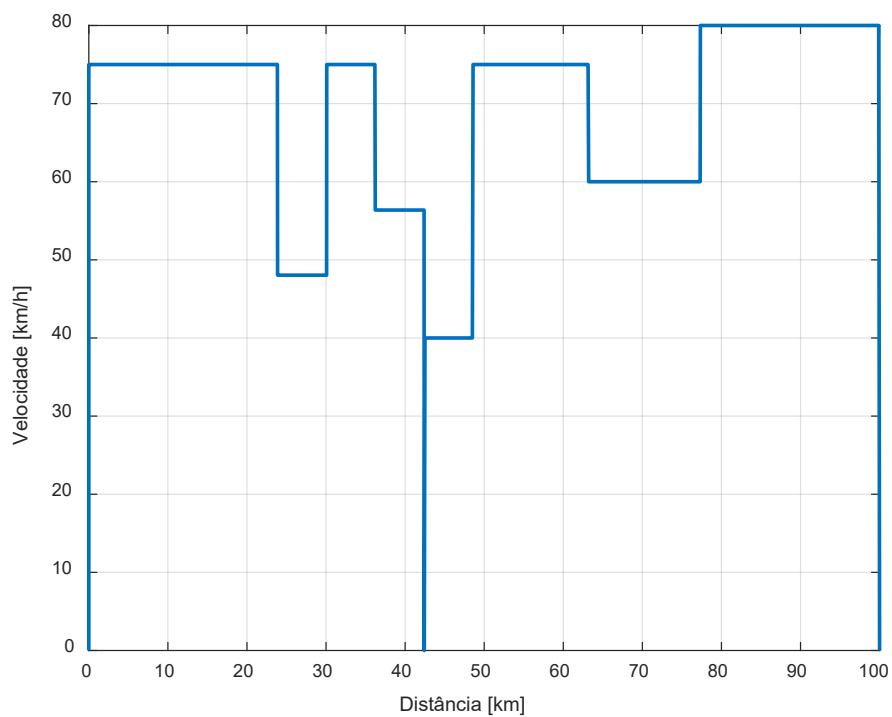
9. VALIDAÇÃO DAS ROTAS

Com o andamento do projeto algumas rotas preliminares foram apresentadas e discutidas. Foram então adotadas algumas premissas e restrições, junto ao grupo de trabalho, com o objetivo de garantir que o resultado final da rota fosse aderente a realidade nacional.

Por fim, a rota final, reconhecida e validada pelo grupo de trabalho é apresentada na Figura 03.



(a) Perfil do gradiente do ciclo final.



(b) Perfil de velocidade do ciclo final.

Figura 03 – Ciclo final.

10. CONCLUSÕES

Diante dos pontos apresentados, fica evidente que o cumprimento rigoroso do escopo e do cronograma deste projeto está diretamente vinculado ao alcance estruturado dos objetivos estabelecidos pela equipe de pesquisadores e empresas. A metodologia abrangeu desde o tratamento dos dados brutos até a definição das micro viagens para a geração do ciclo representativo.

Por fim, a consolidação e a validação da rota final junto ao grupo de trabalho cumprem o papel definitivo de validar o estudo. Esse processo assegura que o modelo desenvolvido não apenas possua consistência estatística, mas que seja, fundamentalmente, aderente e representativo para as empresas do setor.

ANEXO I

TÍTULO DO PROJETO

Definição de rotas representativas brasileiras para simulação de eficiência energética para a ferramenta VECTO (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool).

LINHAS TEMÁTICAS CONTEMPLADAS

Esta proposta está alinhada com a estratégia do Mover para melhoria de eficiência energética e descarbonização do segmento de transporte de carga.

RESUMO

A medição de eficiência energética para veículos pesados exige a adoção de ferramentas que possibilitem a análise e a simulação do consumo de energia dos veículos. A ferramenta VECTO (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool) é uma solução desenvolvida pela Comissão Europeia para calcular o consumo de energia e as emissões de CO₂ de veículos pesados.

Para que essa ferramenta seja efetivamente aplicada no contexto brasileiro, é necessário realizar um estudo que defina rotas representativas que reflita as características do transporte no Brasil.

OBJETIVO DO PROJETO

O objetivo deste é definir as rotas representativas brasileira que possam ser utilizadas na simulação de eficiência energética na ferramenta VECTO. Essas rotas devem considerar as particularidades topográficas e de infraestrutura do Brasil, além de refletir os padrões de operação e aplicação dos veículos pesados tratores 6x2 e 6x4 no país.

ETAPAS DO PROJETO

A metodologia a ser adotada incluirá as seguintes etapas:

- Levantamento de Dados: coleta de informações por parte dos fabricantes sobre as principais rotas utilizadas para desenvolvimento de caminhões tratores do tipo 6x2 e 6x4.
- Análise de Rota: processamento dos dados por parte da academia para estabelecer as rotas representativas para o Brasil.
- Simulação e Validação: adequação das rotas após a análise e simulação por parte dos fabricantes, se necessário.
- Relatório Final: elaboração de um relatório detalhado com as rotas finais propostas.

PRAZO

O prazo previsto para conclusão desta atividade deve ser até julho de 2026. Considerando todas as etapas preliminares.

CONFIDENCIALIDADE

Esta atividade envolve dados sensíveis por parte das montadoras. A instituição selecionada para a execução das atividades deve ser neutra e idônea. Deve ser previsto um contrato de confidencialidade entre instituição e as empresas que irão ceder as informações.

RESULTADOS PREVISTOS

Definição de duas rotas representativas. Com foco para veículos com aplicação rodoviária, sendo uma para caminhão trator 6x2 e outra para caminhão trator 6x4.

OPORTUNIDADES FUTURAS

O conhecimento adquirido com a conclusão deste trabalho pode servir como referência para as definições de rotas representativas para demais grupos de aplicações futuras.



Definição de rotas representativas brasileiras para simulação de eficiência energética para ferramenta VECTO

Coordenadora: Profa. Dra. Ludmila Corrêa de Alkmin e Silva.

1 RESUMO

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de ciclo de condução representativo da realidade brasileira para veículos pesados. Para atingir esse objetivo serão realizadas análises de frequência e aplicada metodologias de probabilidade para se obter um método capaz de produzir um ciclo padrão que simule os desafios reais encontradas nas vias brasileiras, com base em dados disponibilizadas pelas empresas participantes no projeto. Posteriormente, esse ciclo será usado na ferramenta VECTO adaptada para às condições nacionais.

2 INTRODUÇÃO

O aumento da eficiência energética dos veículos é um dos maiores desafios da indústria automotiva neste início de século. Uma maneira de mensurar de forma reprodutível o quanto um veículo consegue se deslocar com uma dada quantidade de combustível pode ser feita por meio da utilização de ciclos padronizados, como é o caso do NBR 6601 e o NBR 7024. Esse último é composto por um trecho urbano (velocidades intermediárias) somado a outro rodoviário (velocidades elevadas). Porém, esses perfis são voltados para veículos de passeio, sendo que as normas brasileiras não contemplam um ciclo padrão para veículos pesados, que são veículos amplamente utilizados no Brasil.

O setor de transportes no contexto nacional é fortemente dependente da malha rodoviária, efetuado na sua maior parte por meio de caminhões. De acordo com Colavite e Konishi (2015); Moreira, de Freitas Junior, e Toloí (2018) entre 61,4% e 65% de todo o transporte de cargas do país, é feito por meio das rodovias. Mesmo com o avanço de outros modais, tais como hidrovias e ferrovias, o transporte rodoviário ainda é majoritário e não há tendência de mudança deste cenário à curto prazo. Portanto, a logística rodoviária é o setor de maior importância para o transporte nacional, gerando grandes impactos tanto na esfera econômica com 6,8% dos custos em relação ao Produto Interno Bruto – PIB (Moreira, de Freitas Junior, e Toloí 2018). Não obstante, o setor de transporte rodoviário atualmente representa uma das dificuldades para o desenvolvimento do país, dado seus altos custos e à má infraestrutura interna. Além disso, EPA (2022) indica que um dos maiores desafios do setor de transportes é a redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes deste setor.

Uma alternativa para a redução da emissão de poluente e aumento da eficiência energética destes sistemas se dá por meio do desenvolvimento de equipamentos mais eficientes, onde podem ser elaborados colaborando com a redução do consumo de combustível e a recuperação de energia que é dissipada. Assim, o *Vehicle Energy Consumption Calculation Tool* (VECTO) é uma ferramenta para verificar se os novos projetos da categoria, fabricados na União Europeia, estão de acordo com as normas estabelecidas pela Comissão Europeia (Zacharof, et al. 2019).

Logo, para ajudar a prever o consumo e emissão de gases de veículos pesados, o VECTO se tornou a ferramenta oficial e de uso obrigatório na União Europeia para a fabricação de novos veículos pesados. Uma vez que os resultados das validações feitas no programa utilizando os parâmetros destes novos veículos têm que ser reportadas e aprovadas pela Comissão Europeia (Steven, 2017). Para realizar o cálculo na ferramenta é necessário entrar com as configurações do veículo e do ciclo. No entanto, para realizar a simulação dessa configuração é necessário utilizar as características de um ciclo de condução, como representado na Figura 1.

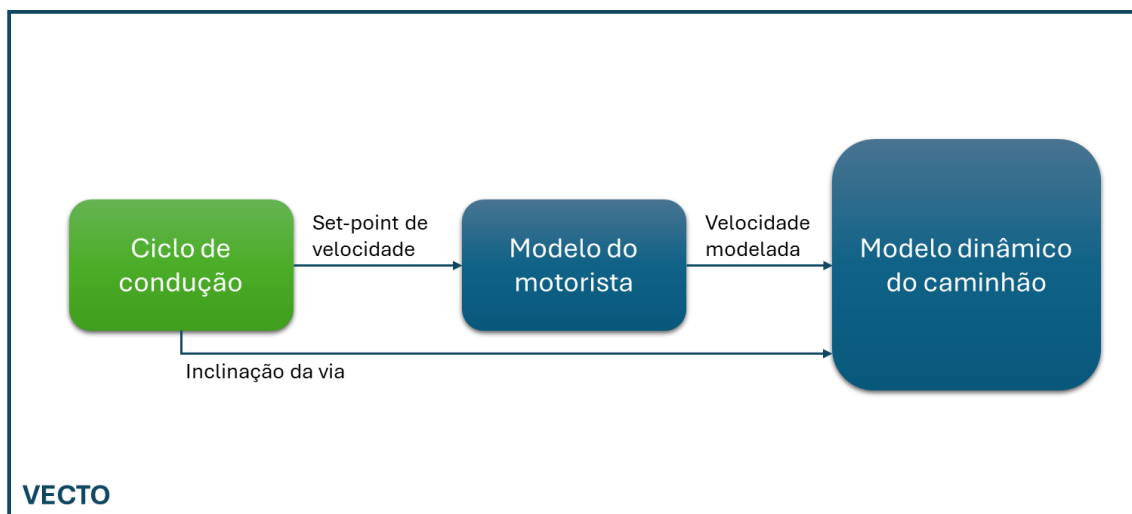


Figura 1 – Esquema do modelo do VECTO.

Tendo em vista a adaptação da ferramenta VECTO para o cenário brasileiro é necessário avaliar e analisar os perfis de condução reais executados para definir ciclos que representam a realizada brasileira para que possam ser utilizadas futuramente na simulação da eficiência energética.

Desse modo, este projeto primeiramente o estudo que diz respeito à análise de frequência, tanto cinemática (perfis de velocidade e aceleração) como de todos os outros

parâmetros fornecidos pela base de dados disponibilizada; e um segundo estudo visando analisar a sensibilidade que os diversos parâmetros informados possuem com relação uns aos outros. Ambas as análises poderão ser empregadas para se verificar a compatibilidade entre os ciclos reais e padronizados e podem ter como consequência a avaliação de acordo com os padrões regionais e geográficos entre veículos.

O escopo deste projeto foca na elaboração de rotas representativas brasileiras. A equipe do LabSIn se propôs a analisar estatisticamente e com foco sobre a dinâmica veicular, a execução de ciclos de condução adquiridos pelas empresas.

Os objetivos específicos deste projeto são abaixo descritos:

- Recebimento e tratamento dos dados recebidos e detalhamento desses conjuntos de informações;
- Identificar e caracterizar os parâmetros adquiridos, separando-os em categorias, para realizar o tratamento estatístico necessário;
- Desenvolver e implementar a análise de frequência para a porção cinemática de cada ciclo: histograma de velocidades, acelerações e gradientes; análise do tempo com veículo parado e paradas por minuto ou por quilômetro; identificação de cenários de condução, tais como rodovias, trechos urbanos, *stop and go*, etc e sua respectiva parcela dentro de cada ciclo; caracterização de outras variáveis que forem consideradas importantes ao longo do estudo;
- Realizar a análise de frequências de todos os parâmetros obtidos e de interesse, gerando seus histogramas de frequência;
- Separação desses dados em micro viagens com o intuito de obter ciclos característicos;
- Sintetização dos dados obtidos em ciclos e detecção das principais semelhanças e diferenças obtidas entre ciclos, entre diferentes motoristas, caminhões tratores (6x2 e 6x4) e/ou regiões;
- Validação de uma rota final com a equipe de trabalho garantindo representativa com a realidade brasileira.

3 EQUIPE

A equipe envolvida nas atividades durante o sexto bimestre do projeto é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Equipe do projeto.

Nº	Nome	Categoria (Cargo)
1	Ludmila Corrêa de Alkmin e Silva	Coordenadora
2	Jony Javorski Eckert	Pesquisador
3	Fabício Leonardo Silva	Pesquisador
4	Matheus Henrique Miranda	Doutorando
5	Rodrigo Yamashita	Mestre/Engenheiro

4 RESULTADOS ALCANÇADOS

No primeiro instante foram realizadas algumas discussões nas reuniões do GT3 da AEA, que conta com a participação das empresas, para alcançar um consenso acerca das informações a serem compartilhadas para o desenvolvimento do projeto. Foi então definido que as informações que seriam compartilhadas se tratavam do deslocamento, a velocidade objetivo (do inglês, *target*), o gradiente e o tempo de parada.

Nesse estágio algumas premissas foram adotadas, sendo acordado que não seria necessário identificar trechos e/ou rodovias utilizadas; que as rotas poderiam ser um conjunto de trechos que a montadora julgasse ser representativo; que a altimetria deveria iniciar e finalizar na mesma elevação; que as rotas não precisariam estar limitar a 100 km de distância percorrida. Além disso, se tratando de veículos na configuração 6x2 e 6x4, deveriam ser enviados um arquivo de rota para cada uma dessas configurações.

Em meados de outubro de 2025 a equipe começou a receber algumas dessas rotas. A primeira etapa foi analisar de forma sistemática esses conjuntos de dados. Os dados foram observados de maneira individual, e após isso foi concatenada todas as informações em um banco de dados para a visualização do conjunto das rotas de 6 empresas.

A Figura 1 mostra a geração dos histogramas para esses dados concatenados, enquanto a Figura 2 ilustra um mapa de frequência da variação do gradiente em função da velocidade.

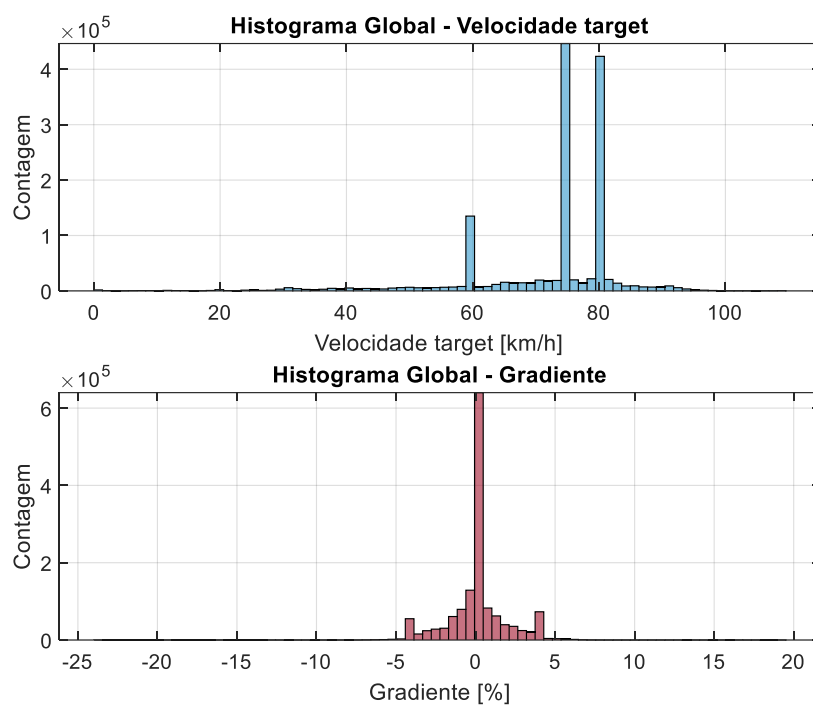


Figura 1 – Histograma da velocidade e do gradiente para as rotas inicialmente recebidas.

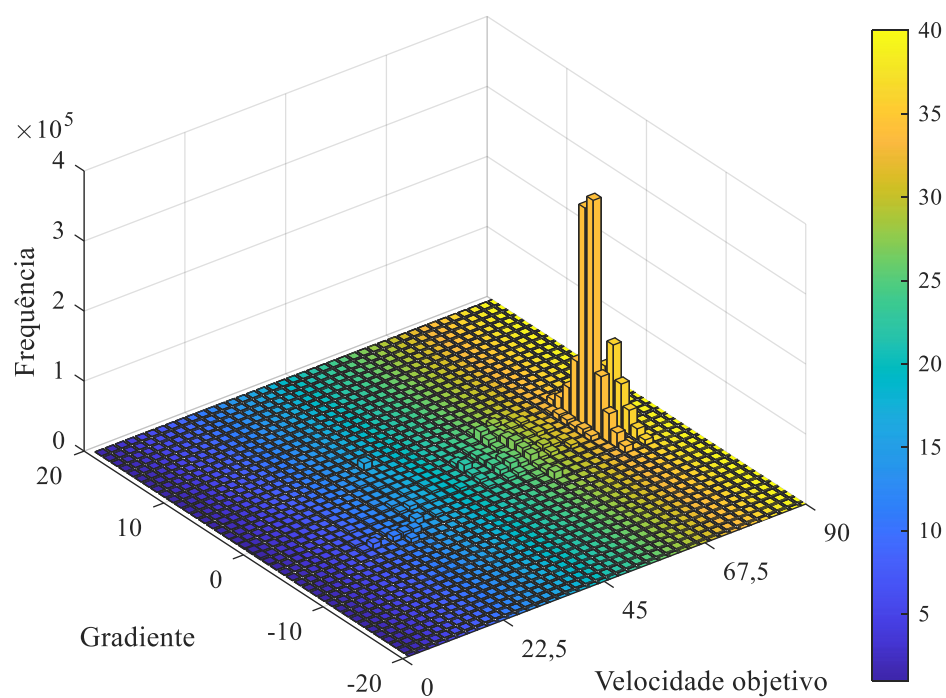
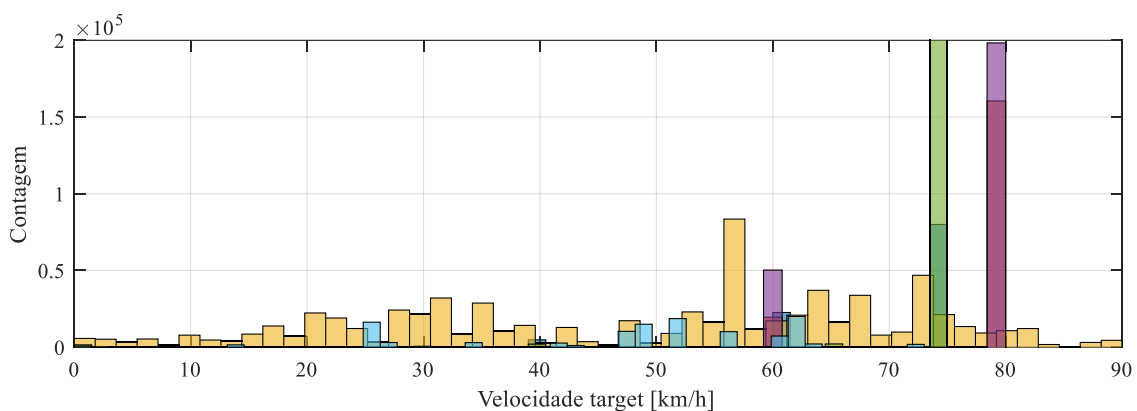
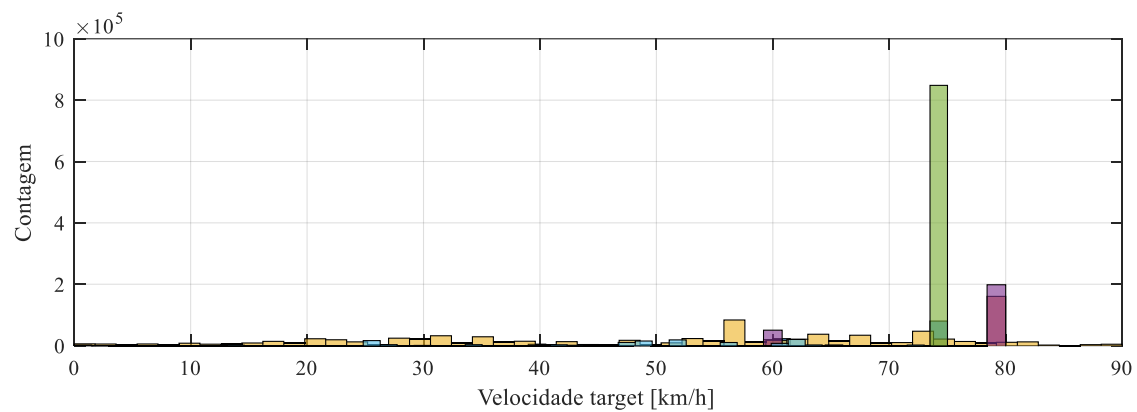
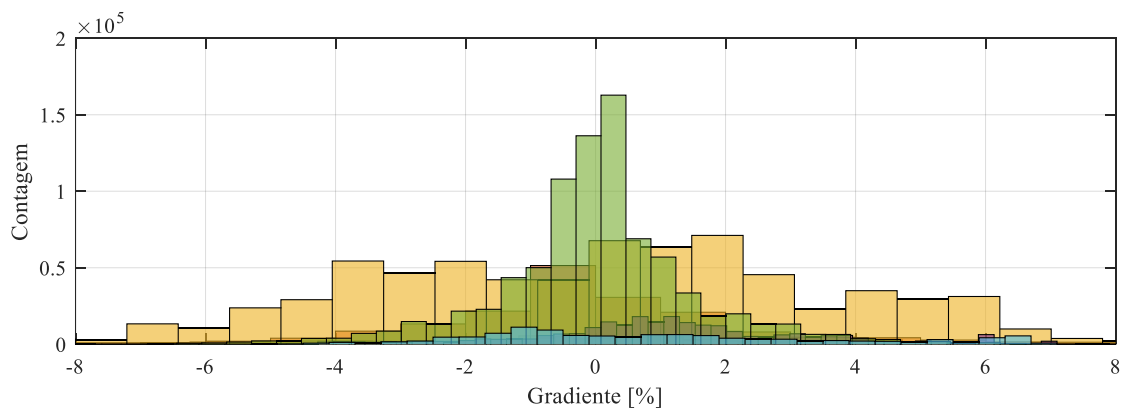
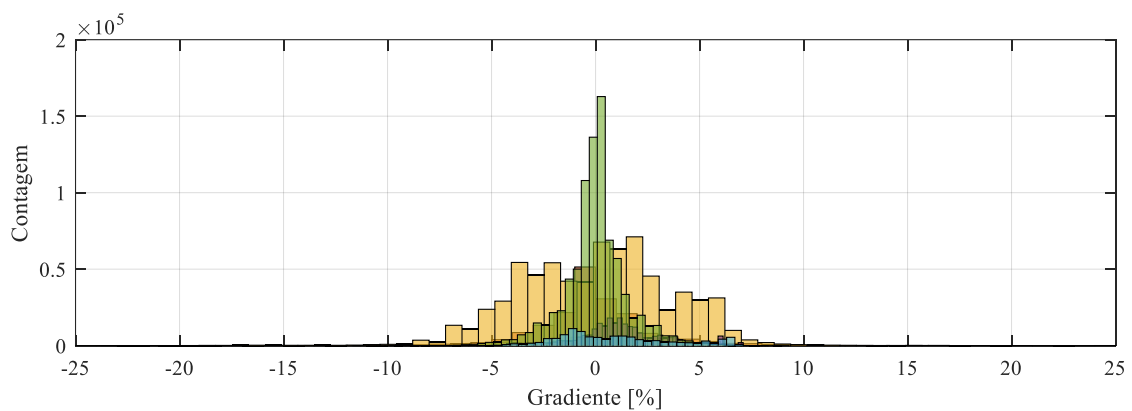


Figura 2 – Mapa de frequência da velocidade pelo gradiente.

A Figura 3 apresenta os histogramas dos seis conjuntos de dados para a velocidade objetivo e para o gradiente.



(a) Histogramas das velocidades.



(b) Histogramas dos gradientes.

Figura 3 – Histograma da velocidade e do gradiente para as rotas inicialmente recebidas.

Com essas análises iniciais foi possível observar a predominância dos dados em torno de -5 a 5% de gradiente, com três regiões predominantes de velocidade, em torno de 60, 77 e 80 km/h. No entanto, com a análise individual dos conjuntos de dados observou-se inconsistências em algumas das rotas e grande variabilidade na forma dos dados.

As principais características das rotas recebidas são apresentadas na Tabela 3. É importante ressaltar que apenas duas montadoras enviaram rotas que correspondente as duas configurações do veículo (6x2 e 6x4), sendo que as demais afirmam que a única rota enviada é representativa para ambas as configurações.

Tabela 3. Principais características dos ciclos recebidos.

Conjunto de dado	Distância percorrida [km]	Velocidade máxima [km/h]	Velocidade média [km/h]	Tempo de parada [s]
TX1	65,1	81,7	75,4	2
TX2	181,7	80	75,2	-
TX3	713	95	55,9	1440
TX4	248,5	80	74,6	3724
TX5	853,7	75	74,5	115
TX6	77,72	109,5	66,4	0

Feita essas tratativas iniciais partiu-se para a discussão da metodologia a ser empregada. A primeira metodologia analisada para aplicação foi o Monte Carlo, por ser uma abordagem que permite, através de uma amostragem aleatória, simular alguns eventos e prever os resultados possíveis. Contudo, observou-se a possibilidade de combinações com o conceito da cadeia de Markov, para modelar a transição entre os estados, ou seja, entre os valores de gradiente e velocidade, visando garantir a consistência física e topográfica. Então, com a matriz de transição obtido pelo método de Markov, têm-se as probabilidades da mudança de um tipo de segmento para o outro.

Devido ao atraso do recebimento dos dados finais e devido aos ajustes sugeridos pelo LabSIn às empresas, foram conduzidas análises iniciais com os 10 ciclos disponíveis dentro do VECTO. Dessa forma, a metodologia da cadeia de Markov foi implementada dentro da plataforma MATLAB®. Inicialmente, foram realizadas análises acerca desses ciclos observando algumas métricas. O resultado é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4. Principais métricas dos ciclos padrões disponíveis no VECTO.

Ciclo	Velocidade média [km/h]	Gradiente médio [%]	Correlação entre velocidade e gradiente
<i>Coach</i>	77,08	0,1328	-0,2174
<i>Construction</i>	58,81	0,0991	-0,1029
<i>HeavyUrban</i>	28,42	-0,0989	0,0479
<i>InterUrban</i>	55,31	0,1899	-0,0745
<i>LongHaul</i>	83,37	-0,0026	0,1810
<i>MunicipalUtility</i>	39,36	0,0350	0,0748
<i>RegionalDelivery</i>	66,24	0,2075	-0,0614
<i>Suburban</i>	42,05	-0,1050	0,1567
<i>Urban</i>	33,59	0,1537	-0,0214
<i>UrbanDelivery</i>	47,65	0,0035	0,0064
Ciclos combinados	71,69	0,0442	-0,0393

A Tabela 4 mostra a baixa correlação entre a velocidade target e gradiente. A baixa correlação se deve ao fato de a velocidade ser objetivo e não a velocidade real do veículo. Além disso, o ciclo *LongHaul* que é representativo para as rodovias europeias, apresenta a maior velocidade média, com um valor médio de gradiente muito próximo de zero.

Utilizando esses ciclos e em posse de mais algumas métricas, como o desvio padrão, os valores médios, a correlação, a correlação cruzada e uma FFT (do inglês, *Fast Fourier Transform*), foi analisada a aplicação no algoritmo da cadeia de Markov. No quesito do gradiente foram definidas 5 faixas de classificação para o grau de inclinação, sendo caracterizados em descida íngreme, descida leve, plano, subida leve e subida íngreme. Logo, é possível montar a matriz com base na probabilidade de transição entre os estados, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Matriz de transição para os ciclos analisados.

	Descida íngreme	Descida leve	Plano	Subida leve	Subida íngreme
Descida íngreme	0,9747	0,0025	0,0017	0,0009	0,0002
Descida leve	0,0102	0,9619	0,0269	0,0007	0,0001
Plano	7,64e-5	0,0031	0,9915	0,0052	3,82e-5
Subida leve	3,29e-5	0,0003	0,0181	0,9775	0,0040
Subida íngreme	0,0005	0,0002	0,0002	0,0216	0,9775

Para uma primeira análise, foi conduzida uma elaboração do ciclo considerando a aplicação dessa metodologia com os 10 ciclos do VECTO, realizando uma combinação entre eles. A Figura 4 ilustra o perfil de velocidade, enquanto a Figura 5 mostra o perfil do gradiente obtido.

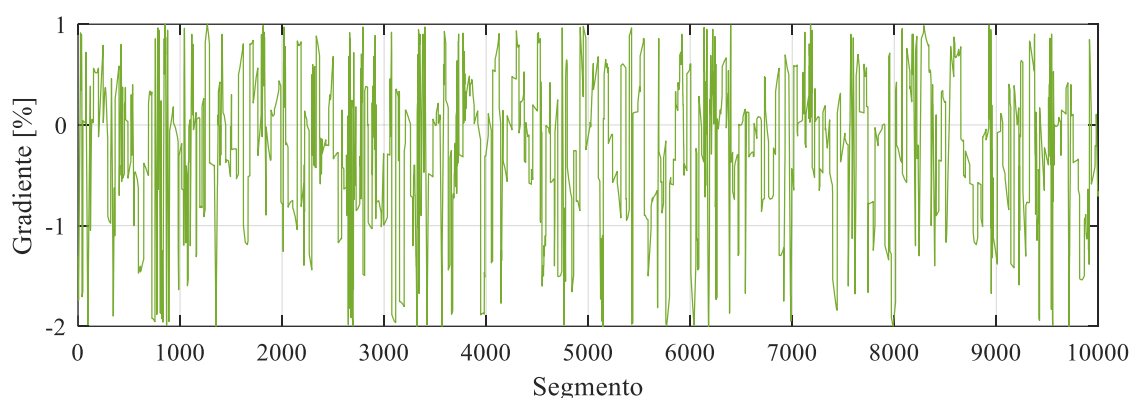


Figura 4 – Gradiente obtido.

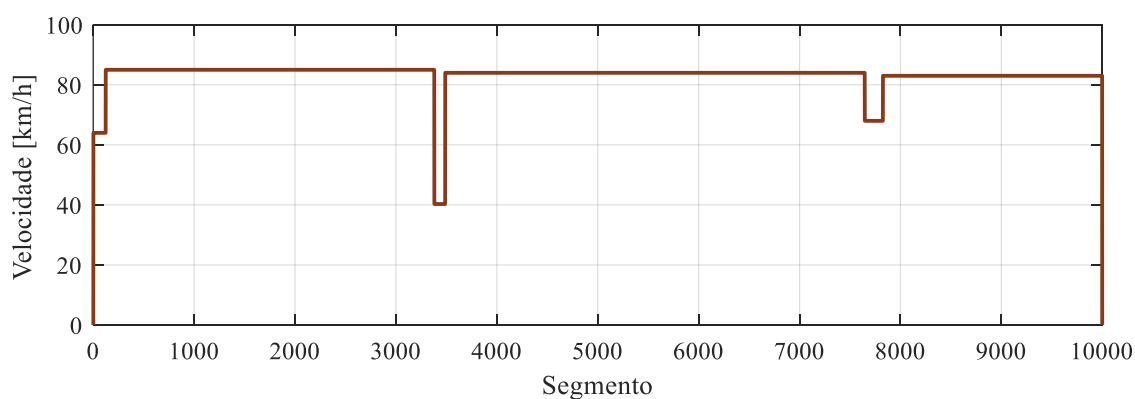
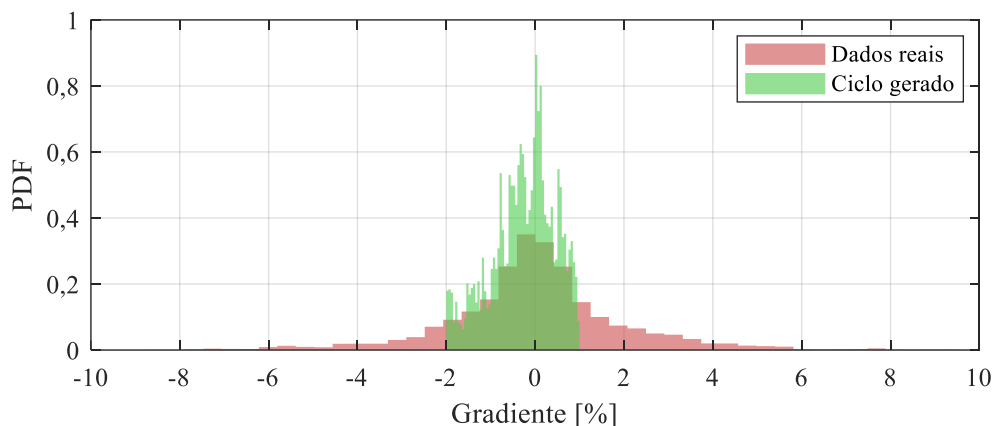
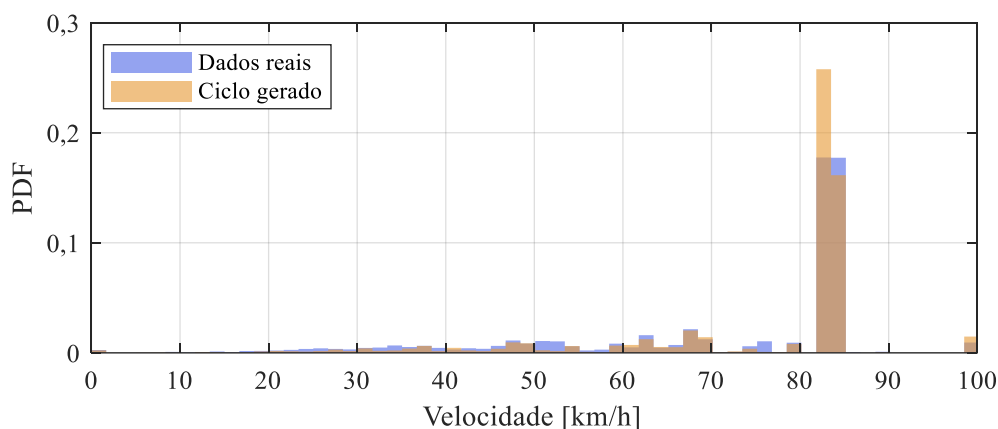


Figura 5 – Velocidade objetivo obtida.

O histograma entre o banco de dados desses 10 ciclos do VECTO e o ciclo gerado com esses dados é apresentado na Figura 6.



(a) Distribuição do gradiente.



(b) Distribuição da velocidade.

Figura 6 – Histogramas da velocidade objetivo e gradiente com os dados dos ciclos do VECTO.

Contudo, visando garantir uma análise com trechos distintos e que contemplem, de certa forma, todas as características desses 10 ciclos considerados foi feita a aplicação do conceito de dados sintéticos onde o ciclo é gerado com base em diversas métricas desses ciclos, como a velocidade média, seu desvio padrão, o gradiente médio e seu desvio padrão, além da energia espectral, que se trata da distribuição de energia de um sistema em função das frequências (componentes ondulatórios).

Aplicando esses conceitos obtém-se um ciclo gerado que concatena as características dos 10 ciclos. A Figura 7 apresenta o perfil de variação do gradiente obtido pela aplicação dessa metodologia, enquanto a Figura 8 mostra o perfil de velocidade objetivo alcançado.

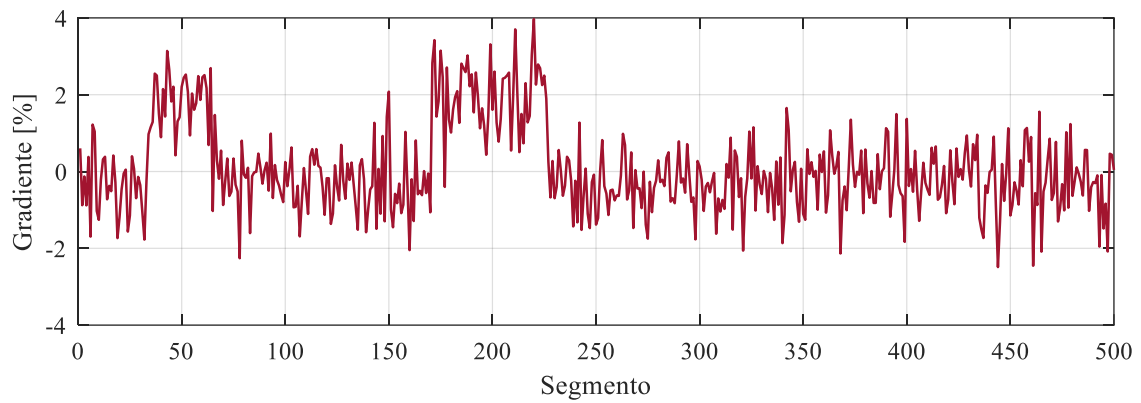


Figura 7 – Gradiente obtido pela aplicação da cadeia de Markov.

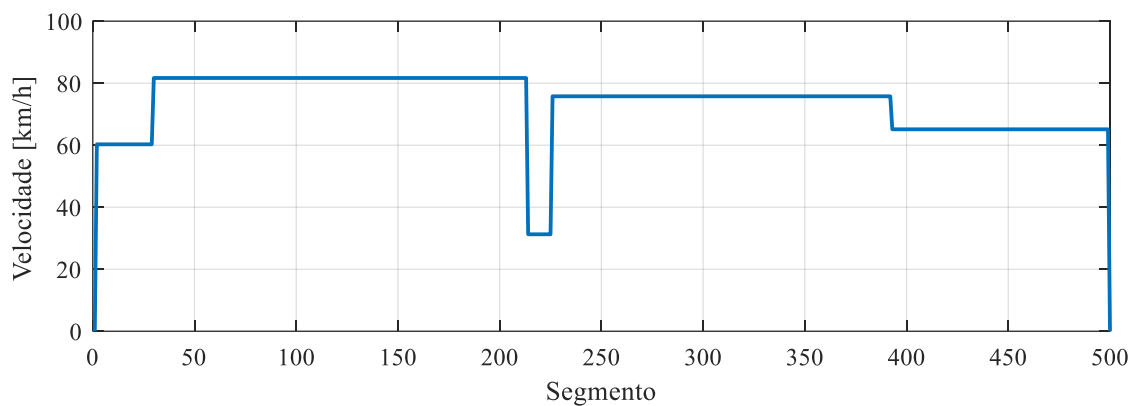
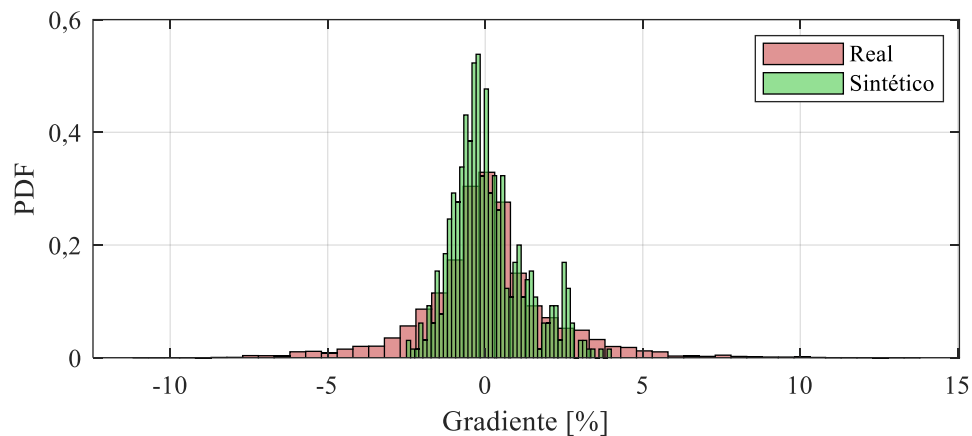
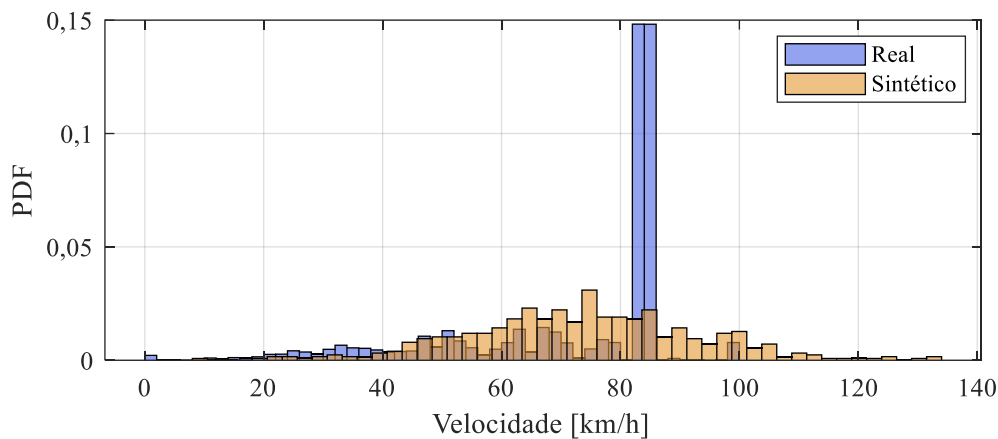


Figura 8 – Velocidade objetivo obtido pela aplicação da cadeia de Markov.

Para avaliar a aderência da velocidade e do gradiente com os dados-base utilizados na geração, foi feita uma análise das métricas com o intuito de observar a representatividade e acurácia na reprodução das características. A Figura 9 apresenta o histograma de distribuição normalizada tanto para a velocidade quanto para o gradiente.



(a) Distribuição do gradiente.



(b) Distribuição da velocidade.

Figura 9 – Histogramas da velocidade objetivo e gradiente com os dados sintéticos.

Porém, foi observado que a cadeia de Markov pode necessitar de uma quantidade superior de dados e parâmetros para refletir as características de forma consistente. Assim, seria necessário um maior volume de dados para produzir um ciclo com a representatividade adequada, ou ainda seria necessária a combinação de mais alguma outra metodologia.

Logo, outras técnicas também foram estudadas e discutidas para compreender àquela que melhor se adapta ao problema em questão. Existem diversos métodos que podem ser aplicados, como o método estocástico que pode gerar um ciclo de condução a partir da combinação e escalonamento dos ciclos padrões. Por sua vez, o método de inteligência artificial, pode reproduzir ciclos baseado em perfis de velocidades, utilizando um algoritmo de aprendizado de máquinas treinado para prever o comportamento típico de veículos em vias reais. Por fim, existe também a possibilidade de aplicação de um método evolucionário, que utilizando ciclos padrões e operadores genéticos é capaz de desenvolver um novo ciclo de condução, que represente um conjunto de características previamente definidas.

Após analisar e estudar essas abordagens e metodologias, foi observado que o algoritmo evolucionário pode alcançar o mesmo objetivo que a cadeia de Markov, no entanto, de forma bem mais eficiente e robusta. Contudo, para a aplicação dessa metodologia como idealizada foi necessário realizar a divisão dos dados recebidos, já corrigidos, em micro viagens.

4.1 DIVISÃO DAS ROTAS EM MICRO VIAGENS

Normalmente, a geração de ciclos de condução baseia-se em micro viagens (do inglês, *microtrips*), utilizando ferramentas computacionais para criar perfis representativos de velocidade por tempo ou velocidade por distância. Assim, a ideia é segmentar dados reais de veículos em unidades menores e gerenciáveis, que são analisadas estatisticamente, agrupadas e remontadas para formar um novo ciclo de condução sintético, porém realista e representativo.

No entanto, devido às diferentes discretizações de distância observada nos conjuntos de dados recebidos pelo grupo, optou-se por realizar a homogeneização de todas as viagens a um passo comum de interpolação. Foi então adotado o valor de um metro para essa discretização. Isso foi realizado pois a interpolação realizada em passos maiores atua os dados como um filtro passa-baixa espacial, suprimindo variações altimétricas de menor comprimento. Essa proposta de interpolação de metro em metro preserva a estrutura espacial do relevo, o que mantém a representatividade do perfil altimétrico. Além disso, a ferramenta VECTO simula os dados nesse passo sendo que todos os ciclos de condução existentes no programa estão também nesse intervalo de distância.

Após realizado esse ajuste nos dados partiu-se para a elaboração das micro viagens. As condições adotadas são apresentadas abaixo, com a Figura 10 representando graficamente os pontos definidos da micro viagem proposta.

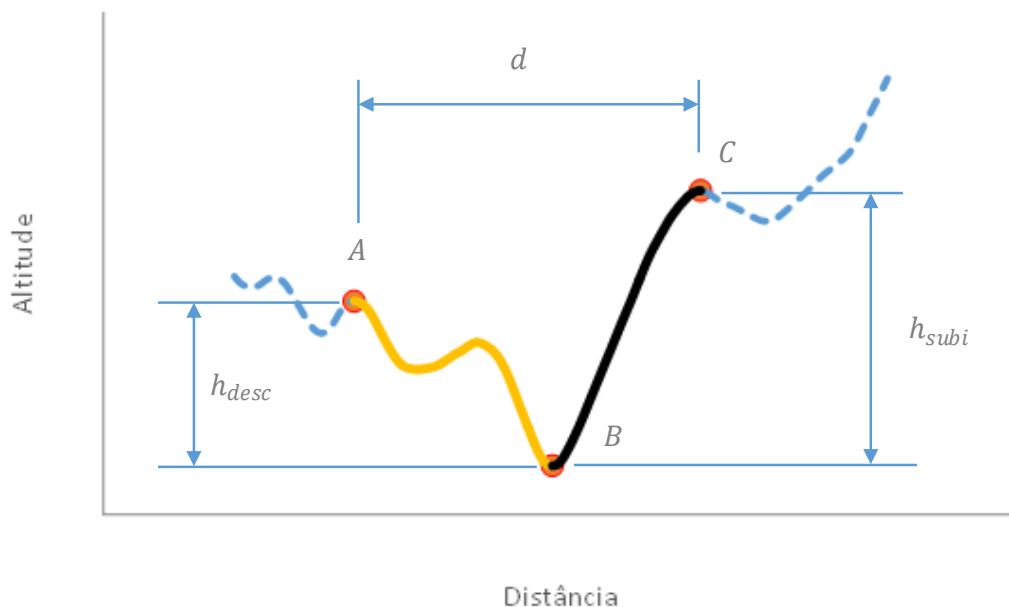


Figura 10 – Explicação da micro viagem proposta.

Dessa forma, os pontos podem ser descritos da seguinte maneira:

- **Ponto A:** início da micro viagem.
 - Gradiente = 0%;
 - Fim da micro viagem anterior ou início da viagem.
- **Ponto B:** ponto de menor altitude.
 - Gradiente = 0%;
 - $h_{desc} > h_{sensi_{desc}}$ para garantir a perda de altitude mínima.
- **Ponto C:** fim da micro viagem.
 - $h_{desc} > h_{sensi_{subi}}$ para garantir o ganho de altitude mínima;
 - $d > d_{sensi}$ para garantir a distância mínima definida.

Nessas definições o parâmetro h_{sensi} representa o limiar mínimo de variação de altitude utilizado para identificar uma subida significativa ao longo da rota. Sua função é evitar que pequenas oscilações do perfil altimétrico, decorrentes de ruídos de medição ou irregularidades do terreno, sejam contabilizadas como subidas ou descidas.

No algoritmo elaborado, quando é detectado o início de uma subida (gradiente positivo), a altitude correspondente é armazenada como referência. Posteriormente, quando o gradiente se torna negativo, indicando o término da subida, é calculada a diferença entre a altitude atual e a altitude registrada no início da subida. Apenas se essa diferença for maior ou igual ao valor definido em h_{sensi} , o trecho é considerado uma subida válida e contabilizado.

No entanto, com a análise individual dos conjuntos de dados observou-se diversas inconsistências em algumas das rotas. Dessa forma, foi comunicado isso em reunião com o grupo de trabalho (GT) e realizado o contato com as empresas correspondentes a esses conjuntos de dados, enumerando os problemas observados e solicitando o reenvio de um novo conjunto de dados com essas questões solucionadas.

Os novos conjuntos de dados foram recebidos no decorrer do mês de dezembro de 2025, onde novas análises de consistência e integridade dos dados foram realizadas e métodos estatísticos foram aplicados para absorver divergências e padronizar os dados entre as empresas. Em paralelo a esta foram realizados os estudos de metodologias e abordagens que poderiam ser aplicadas.

4.2 ALGORITMO PARA A GERAÇÃO DE CICLOS DE CONDUÇÃO

Com os dados dos ciclos divididos, organizados e suas propriedades determinadas é possível aplicar a metodologia idealizada para a produção do ciclo. O banco de dados formado pelas micro viagens, é utilizado para iniciar o algoritmo evolucionário, como ilustrado na Figura 11. Então, o algoritmo monta diversos ciclos iniciais, com as micro viagens do banco de dados.

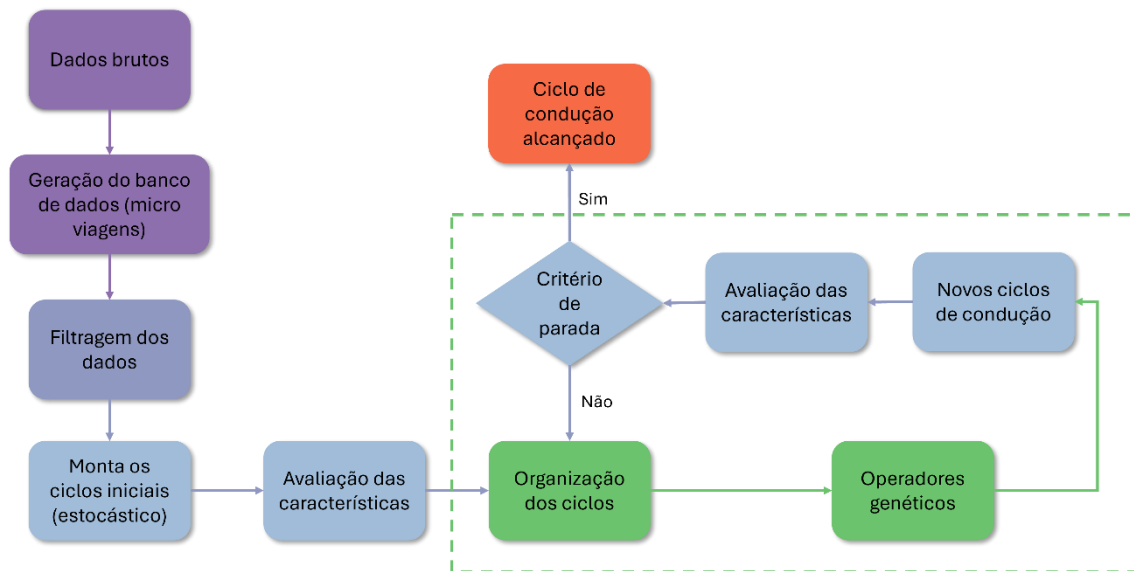


Figura 11 – Fluxograma do algoritmo evolucionário para a geração do ciclo representativo.

As características dos ciclos iniciais são avaliadas em relação às características desejadas, por exemplo, a velocidade média do ciclo e a distância total percorrida. Posteriormente, novos ciclos são gerados a partir dos ciclos iniciais por meio de operadores genéticos. As características desses novos ciclos são avaliadas e eles são armazenados com a população de ciclos já existentes. A população de ciclos é organizada e ordenada em função da avaliação realizada. O processo é repetido até obter um ciclo que cumpra os requisitos definidos.

Os operadores genéticos são compostos por três etapas: a seleção, cruzamento e mutação. Na seleção dois ciclos são escolhidos com base na avaliação das suas características. Em seguida, no cruzamento, um novo ciclo é formado a partir das micro viagens dos dois ciclos selecionados, em que a cada ciclo tem 50% de chance de transmitir seus genes. Por fim, as micro viagens do novo ciclo combinado tem 50% de chance de sofrer mutação, essa mutação pode ocorrer de duas formas. A primeira forma é a

substituição da micro viagem por outra do banco de dados, enquanto a segunda é o escalonamento do sinal de forma aleatória.

Para iniciar o processo de geração de novos ciclos, inicialmente, as micro viagens (M) que formam cada ciclo são armazenadas em um cromossomo V , como mostra a Equação (1). Dessa forma, cada cromossomo representa um ciclo de condução gerado.

$$V = [M_1 M_2 M_3 \dots M_n] \quad (1)$$

Cada um dos cromossomos, ou seja, ciclos, tem as suas características avaliadas. Assim, na avaliação são determinadas as diferenças das propriedades do ciclo analisado em relação aos valores observados nos dados das rotas recebidas. Essas diferenças definem os critérios de avaliação das características do ciclo.

Em seguida, os cromossomos são classificados em relação ao seu desempenho em reproduzir as características das rotas. Para determinar o desempenho de cada ciclo (F_t) é utilizado o método da soma dos pesos adaptativos (Gen et al., 2008). Ou seja, a cada iteração do algoritmo evolucionário, todas as características dos ciclos são ponderadas pelos valores máximos dos critérios de avaliação f_{max} e pelos valores mínimos f_{min} . Na Equação (2) é apresentado o cálculo do fator de desempenho de cada ciclo, baseado no método da soma dos pesos adaptativos.

$$F_t(V) = \sum_{c=1}^2 \frac{f_{max} - f(V)}{f_{max} - f_{min}} \quad (2)$$

Depois da classificação dos ciclos de condução, os operadores genéticos são aplicados na população. Inicialmente, são selecionados de forma aleatória dois ciclos dos n indivíduos da população. Para isto, é utilizado o método da roleta, em que a probabilidade de seleção de cada indivíduo $S_p(V)$ [%] é proporcional ao seu fator de desempenho $F_t(V)$. A probabilidade de seleção de um indivíduo da população é determinada pelo seu fator de desempenho dividido pelo somatório dos fatores de desempenho dos n indivíduos da população, como indicado na Equação (3).

$$S_p(V) = \frac{F_t(V)}{\sum_{k=1}^n F_t(V)} \quad (3)$$

Depois da seleção dos dois ciclos da população, o próximo passo é o processo de cruzamento. As micro viagens dos ciclos são combinadas aleatoriamente para gerar um

novo ciclo de condução. A probabilidade cada micro viagem ou parada do novo ciclo ser do primeiro indivíduo selecionado é de 50% e do segundo indivíduo 50%.

Após o cruzamento, o novo ciclo gerado passa pelo processo de mutação, que visa introduzir mudanças nos elementos do novo ciclo. A probabilidade de cada micro viagem sofrer mutação é de 50%. A mutação adotada pode ocorrer de duas formas, por substituição ou por escalonamento. Na substituição, a micro viagem é trocada por outra do banco de micro viagens. Já no escalonamento, a micro viagem é redimensionada por um fator de escala ks , que varia de 0,8 a 1,2. Dessa forma, o perfil de velocidade da micro viagem é multiplicado pelo fator de escala gerando o novo perfil de velocidade.

No entanto, são impostas ainda algumas restrições ao processo, como:

- A rota obtida deve conter de uma porcentagem próxima para as rotas das empresas, ou seja, a quantidade de micro viagens selecionadas de cada montadora devem ser próximas;
- O erro permitido para a distância total percorrida é de no máximo 600 metros;
- Há uma restrição de que não pode existir uma diferença superior à 300 metros para a altitude entre o ponto inicial e final da rota obtida;
- A micro viagem não pode ser selecionada mais de uma vez.

Assim, essas restrições são aplicadas na etapa do processo evolutivo quando uma nova rota é obtida, para garantir sua adequação ao problema e convergência do algoritmo.

Depois da aplicação dos operadores genéticos, as características dos novos ciclos de conduções são avaliadas e os seus fatores de desempenhos são calculados. Em seguida, esses novos ciclos são acrescentados na população, que é novamente classificada. Para manter o tamanho da população estável, o algoritmo descarta os ciclos com os piores fatores de desempenho. Para a geração dos ciclos foi utilizada uma população de 100 ciclos.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS

Antes de aplicar a metodologia proposta foram definidas algumas métricas globais a serem utilizadas para comparar e compreender as características do conjunto completo dos dados recebidos e analisados. A Tabela 6 apresenta essas métricas para as micro viagens de cada conjunto de dados recebidos.

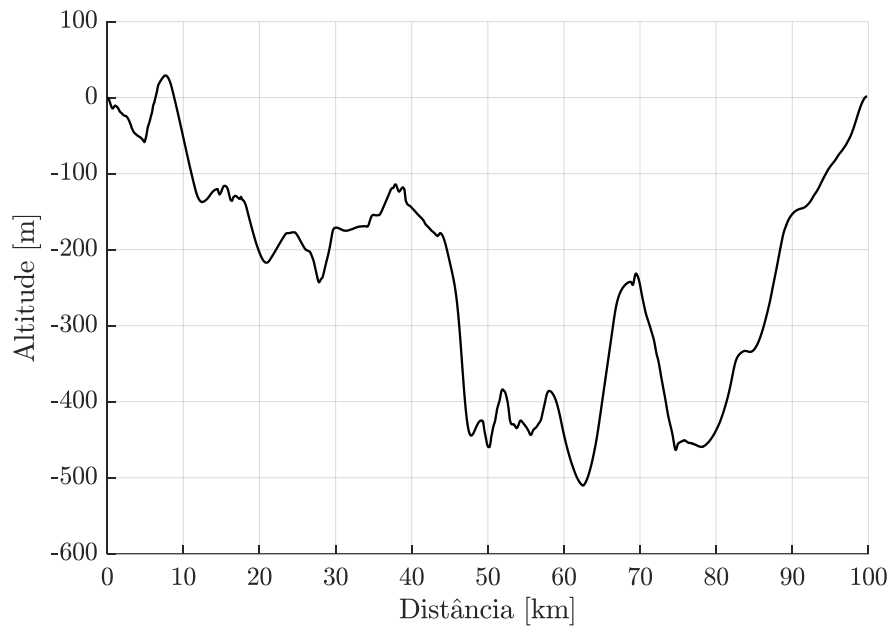
Tabela 6. Métricas globais dos ciclos recebidos.

Conjunto de dado	Ganho de elevação médio [m]	Ganho de elevação [m]	Ganho de elevação por km [m/km]	Gradiente mínimo e máximo [%]	Número de subidas por km
TX1	22,30	1293,64	11,94	-6,52 ~ 7,16	0,53
TX2	16,83	1598,83	8,88	-25 ~ 25	0,52
TX3	84,73	10421,55	14,61	-23,72 ~ 15,57	0,17
TX4	147,99	3847,66	15,48	-4,84 ~ 7,05	0,10
TX5	0,29	4419,26	5,26	-9,43 ~ 9,08	17,94
TX6	18,85	1866,03	16,38	-11,46 ~ 8,25	0,86

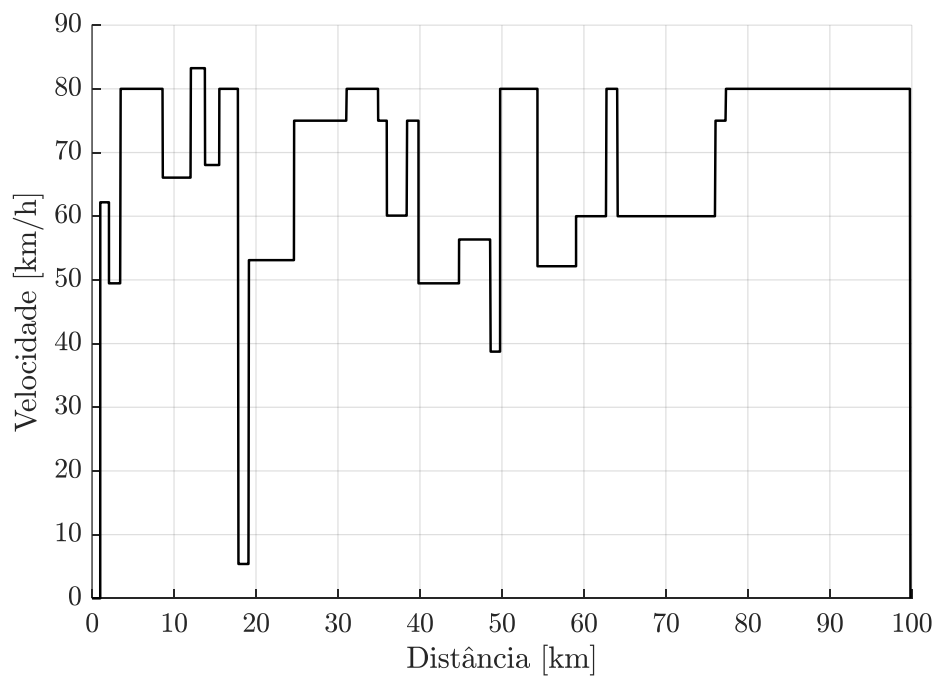
O ganho de elevação médio corresponde à média dos ganhos de elevação das subidas identificadas. Essa métrica fornece uma estimativa da intensidade típica das subidas presentes na rota, reduzindo a influência de valores extremos observados em trechos específicos. O ganho de elevação representa a soma dos ganhos de elevação de todas as micro viagens identificadas na rota. Essa variável indica a quantidade total de desnível positivo acumulado ao longo do percurso, sendo um importante indicador da exigência topográfica da rota. Por sua vez, o ganho de elevação por km representa o ganho de elevação total normalizado pela distância percorrida, sendo expresso em metros de subida por quilômetro de percurso (m/km). Essa normalização permite comparar rotas de diferentes extensões, fornecendo uma medida da intensidade média do relevo independentemente do comprimento total da rota. Os gradientes mínimos e máximos correspondem a variação dos valores de gradientes das micro viagens. Já a métrica do número de subidas por km representa a quantidade total de subidas identificadas ao longo da rota de acordo com os critérios estabelecidos pelo algoritmo de detecção.

Analisando os dados, é possível perceber que em alguns conjuntos de dados o gradiente apresenta magnitude elevada, no entanto, optou-se por não realizar nenhum tipo de tratativa em cima desses dados, para preservar as informações que foram recebidas, podendo ser realizada uma adequação na rota gerada e não no conjunto dos dados.

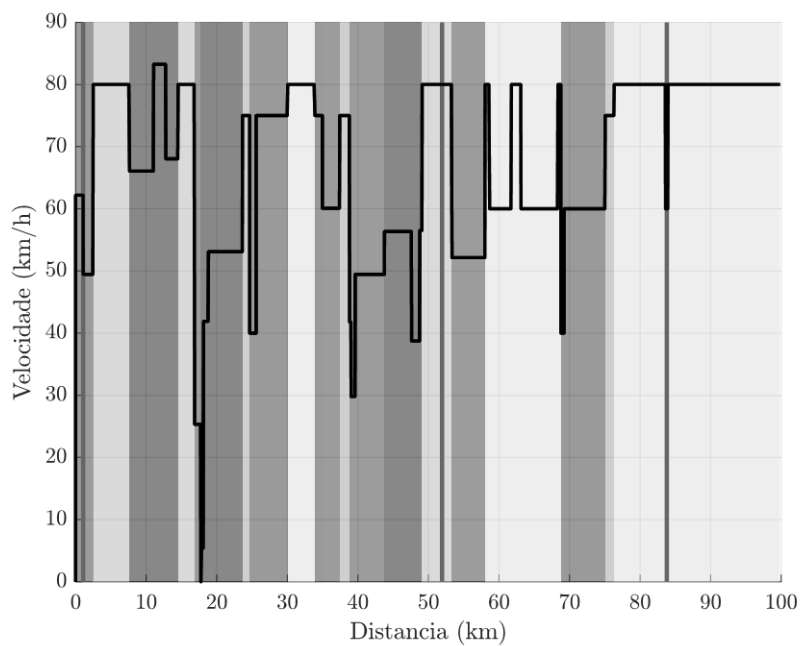
Após a aplicação da metodologia proposta foi possível alcançar alguns resultados interessantes em termos de altitude e velocidade objetivo, conforme apresentado na Figura 12. As Figuras 12 (c) e (d) mostram a composição do ciclo com as micro viagens contidas no banco de dados.



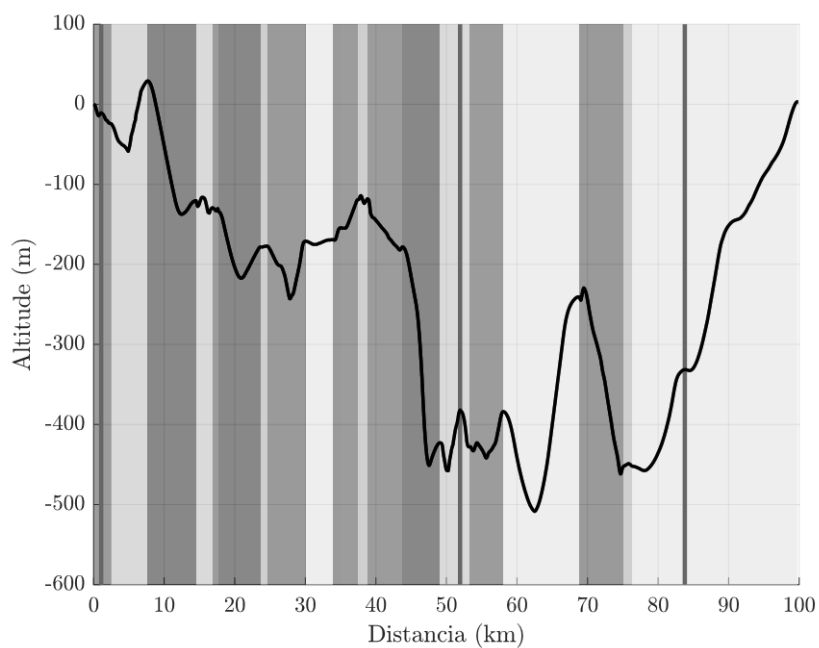
(a) Perfil altimétrico do ciclo gerado.



(b) Perfil da velocidade objetivo do ciclo gerado.



(c) Perfil de altimetria com a separação das micro viagens.



(d) Perfil de velocidade com a separação das micro viagens.

Figura 12 – Resultados obtidos com a aplicação da metodologia desenvolvida.

Observa-se que o ciclo finaliza o trajeto muito próximo dos 100 km, sendo o valor final de distância igual a 99,83 km. As principais métricas do ciclo são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Métricas do ciclo gerado.

Ciclo	Ganho de elevação médio [m]	Ganho de elevação por km [m/km]	Número de subidas por km
Rota preliminar	52,06	11,99	0,91

Analisando os dados da tabela acima conclui-se que as métricas correspondem com os valores médios dos conjuntos de dados recebidos, refletindo assim sua representatividade. Para analisá-lo no ambiente do VECTO, foi feita a construção do arquivo .vdri utilizado na ferramenta com esses dados obtidos. A Figura 13 apresenta uma simulação realizada com esse ciclo de condução para as condições de carregamento máximo disponíveis na ferramenta, onde observa-se a capacidade do veículo em cumprir o perfil de velocidade com uma carga elevada, considerando também a altimetria encontrada.

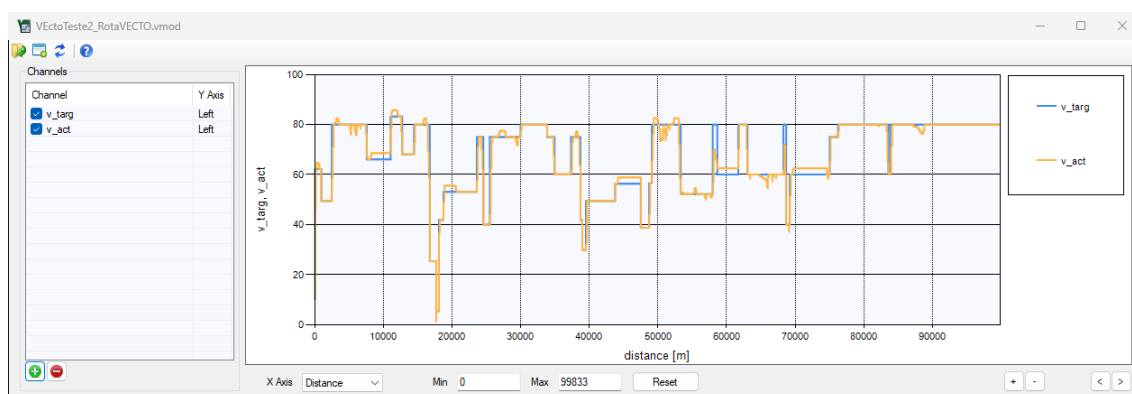


Figura 13 – Análise do ciclo gerado no ambiente de simulação do VECTO.

Para uma segunda análise, foi realizada a modificação do carregamento máximo no arquivo base do sistema, modificando de 40 toneladas para alcançar o valor de 74 toneladas totais. A simulação para essa condição é apresentada na Figura 14, onde a figura (a) mostra o perfil de velocidade real e do ciclo gerado, e a figura (b) mostra além desses dados o perfil altimétrico.



(a) Velocidade do ciclo e velocidade real.



(b) Velocidades e perfil altimétrico.

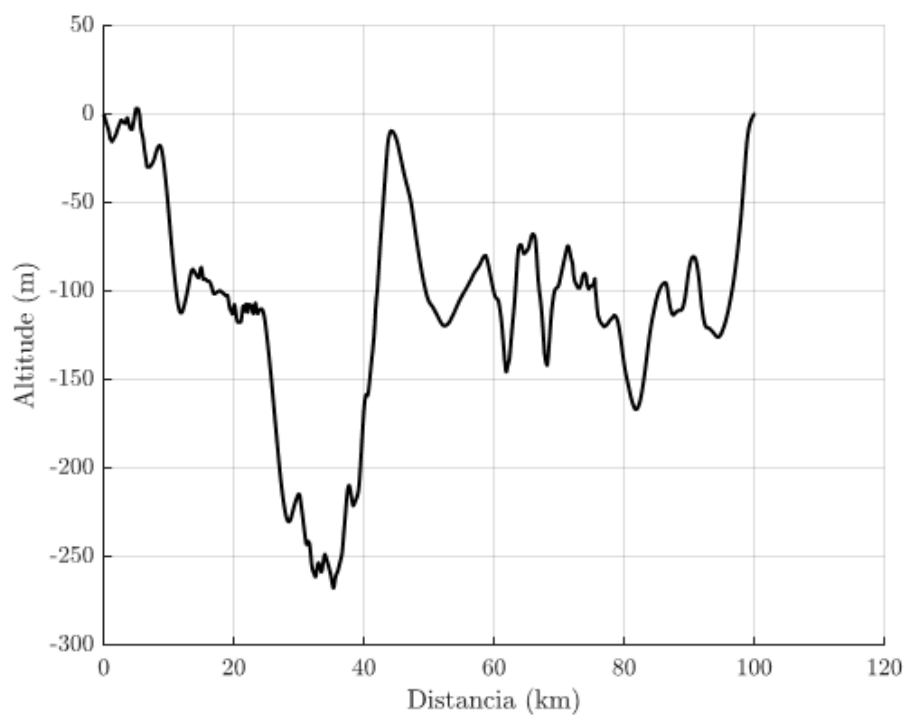
Figura 14 – Análise do ciclo gerado no ambiente de simulação do VECTO para o carregamento de 74 toneladas.

Assim, foi obtido o ciclo de condução preliminar (*RotaVECTOBR_preliminar.vdri*), sendo apenas de caráter de análise em um primeiro momento. Dessa forma, foi enviado para as empresas analisarem esse ciclo na versão BR do VECTO e em seus respectivos simuladores, enquanto novas tratativas e análises mais profundas nesses perfis gerados fossem conduzidas, com o intuito de identificar possíveis valores discrepantes e retirá-los da rota, além de modificações a serem identificadas pelas montadoras.

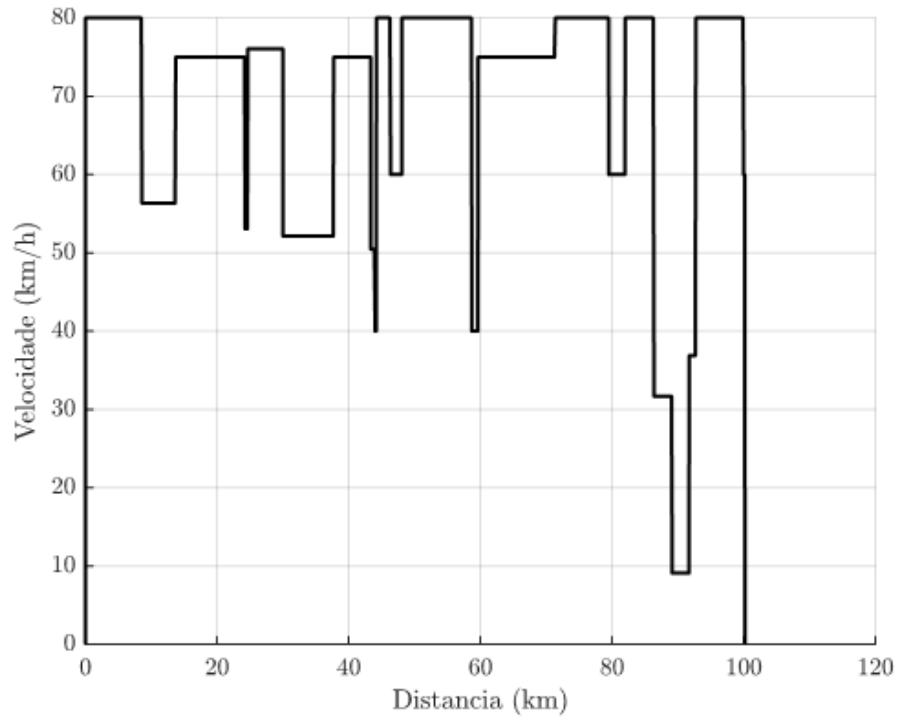
Foi observado que existem algumas mudanças repentinas de velocidade, que geralmente não se observa em perfis de velocidade objetivo para rodovias. Isso devido aos dados recebidos. No entanto, seguindo com a premissa de não modificar os dados recebidos, foi elaborado um código para fazer um pós-tratamento na velocidade do ciclo obtido. Esse código aplica o conceito de zona morta, onde pequenas variações são desconsideradas. Além disso, conta ainda com um critério de persistência no tempo, para

fazer com que as mudanças só sejam aceitas se durar alguns pontos consecutivos (distância mínima).

Enquanto as empresas realizavam as análises no ciclo preliminar enviado, o grupo seguiu refinando o algoritmo e analisando o que poderia ser ajustado. A ideia foi gerar um pacote com 3 novas propostas para que pudessem ser discutidas e analisadas em conjunto com o GT. O primeiro ciclo desse pacote foi pensado inserindo uma limitação do gradiente entre -10% e 10%, visto que as incidências de valores acima dessa janela de valores são mínimas. Essa premissa surge para garantir aderência do ciclo à realidade brasileira, visto que a representatividade é garantida perante ao banco de dados recebidos. No entanto, ainda existem inconsistências em alguns trechos e em discussão em conjunto com o GT foi decidido gerar uma nova proposta de ciclo. Assim, implementando essa restrição o ciclo gerado é apresentado na Figura 15.



(a) Perfil altimétrico do ciclo gerado – R1.



(b) Perfil da velocidade objetivo do ciclo gerado – R1.

Figura 15 – Ciclo proposta R1.

A segunda proposta consistiu na aplicação do conceito de aceleração característica, visando caracterizar os ciclos com base nessa métrica e identificar possíveis limites que pudessem ser adotados. A Equação (4) descreve o cálculo para a obtenção desse valor, onde V é a velocidade objetivo do ciclo, alt é a altimetria correspondente, g se trata da aceleração da gravidade e s_{max} a distância total daquele percurso, conforme descrito por Sharma (2020).

$$a_{caracteristica} = \frac{\sum_{q=1} \max\{0; [0,5 * (V_{q+1}^2 - V_q^2) + g * (alt_{q+1} - alt_q)]\}}{s_{max}} \quad (4)$$

A partir dessa equação foi possível calcular os valores dessa aceleração para os conjuntos de dados, e também do ciclo preliminar (RotaVECTOBR_preliminar.vdri) enviado para análise. A Figura 16 apresenta a curva acumulada desse parâmetro.

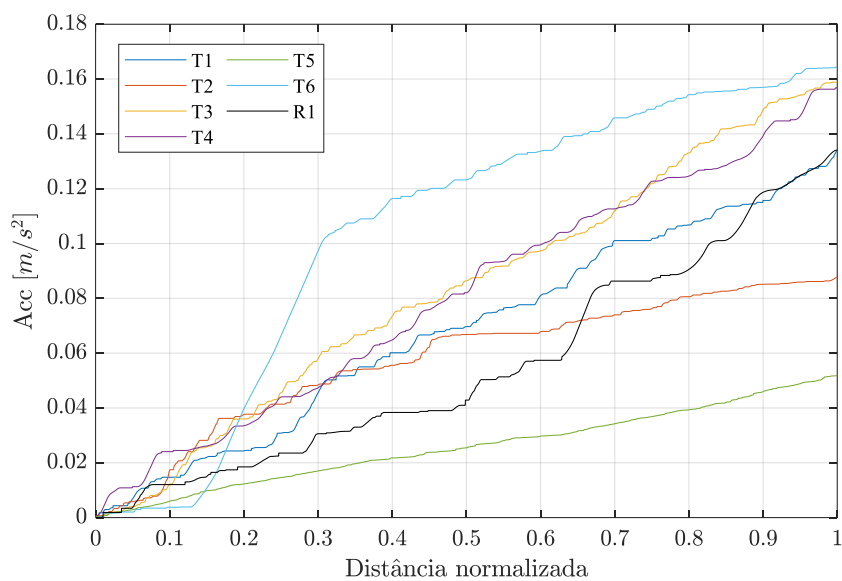
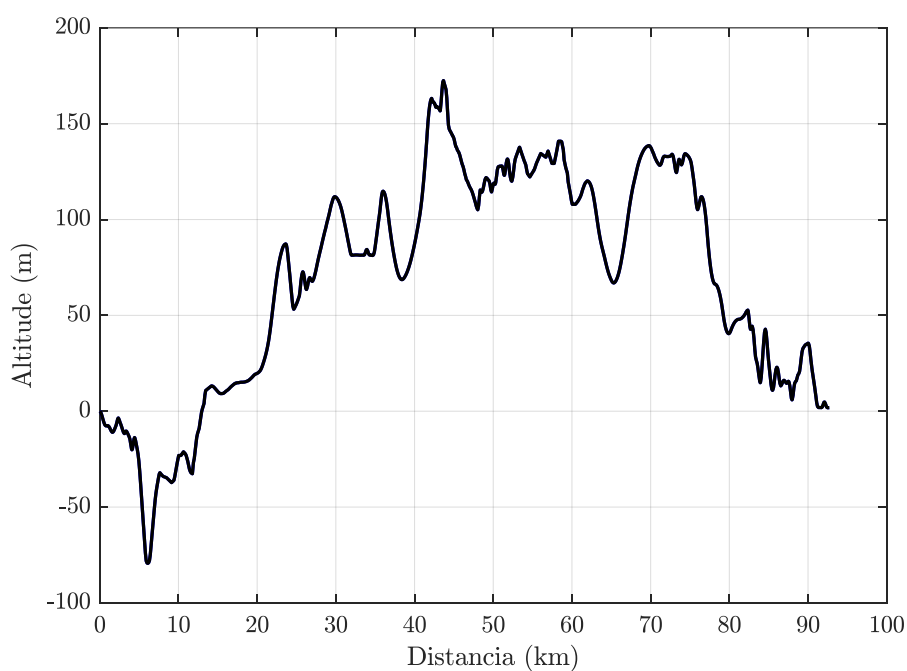
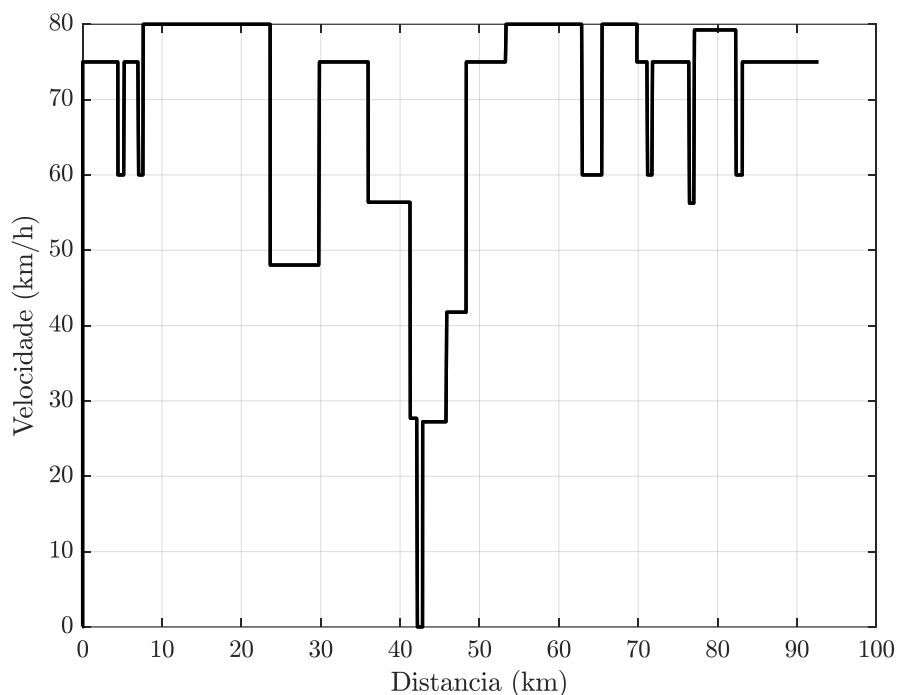


Figura 16 – Aceleração característica para os conjuntos de dados e da rota preliminar.

Analisando esses valores e os comportamentos instantâneos do banco de dados, foi definido o valor limitante de -0,2 a 0,2 da aceleração característica. Após o processo de obtenção do ciclo chegou-se aos perfis apresentados na Figura 17.



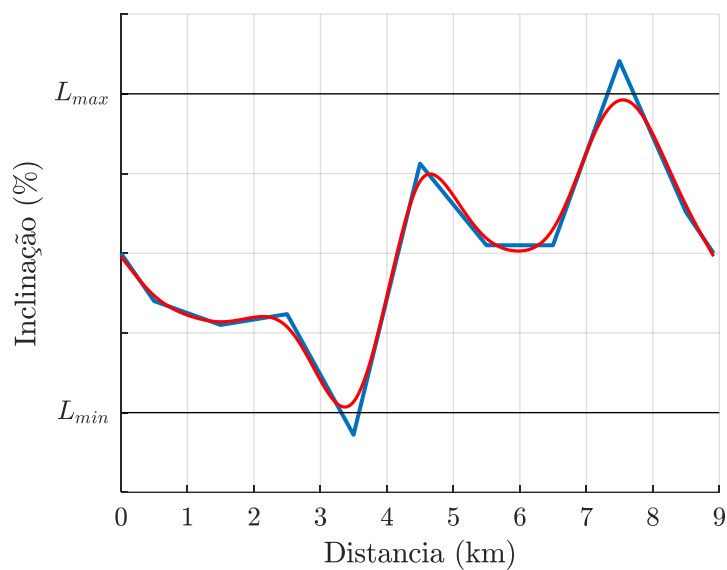
(a) Perfil altimétrico do ciclo gerado – R2.



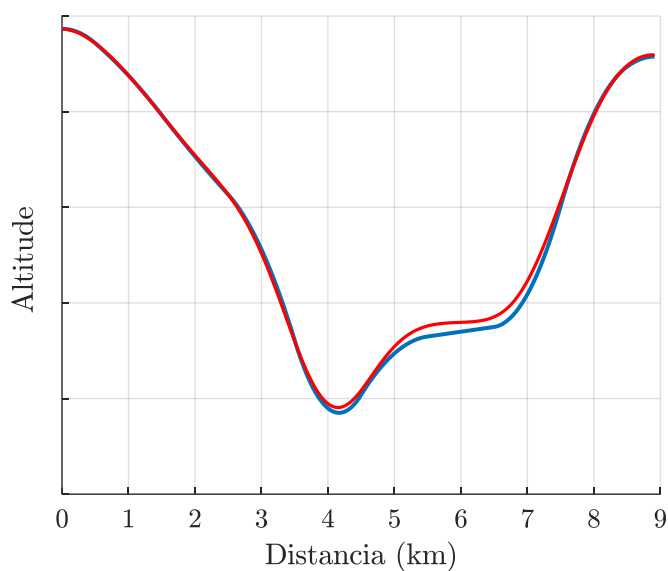
(b) Perfil da velocidade objetivo do ciclo gerado – R2.

Figura 17 – Ciclo proposta R2.

Por sua vez, a terceira proposta objetivou sanar uma das preocupações levantadas em relação à variação do perfil do gradiente que se apresentava maior que o esperado. No entanto, essa variação é em decorrência da forma com que algumas informações de rotas foram recebidas, ou seja, os dados recebidos continham este comportamento. Dessa forma, seguindo sugestões do GT, foi realizado um código para atenuar todos os picos de gradiente limitando-os ao intervalo de -8% e 8%. Esse código tem como objetivo realizar a suavização dos picos de gradiente e garantir com que fique dentro dos limites mínimos e máximos determinados. A Figura 18 mostra a aplicação dessa atenuação em uma das micro viagens e também seu impacto direto no perfil altimétrico.



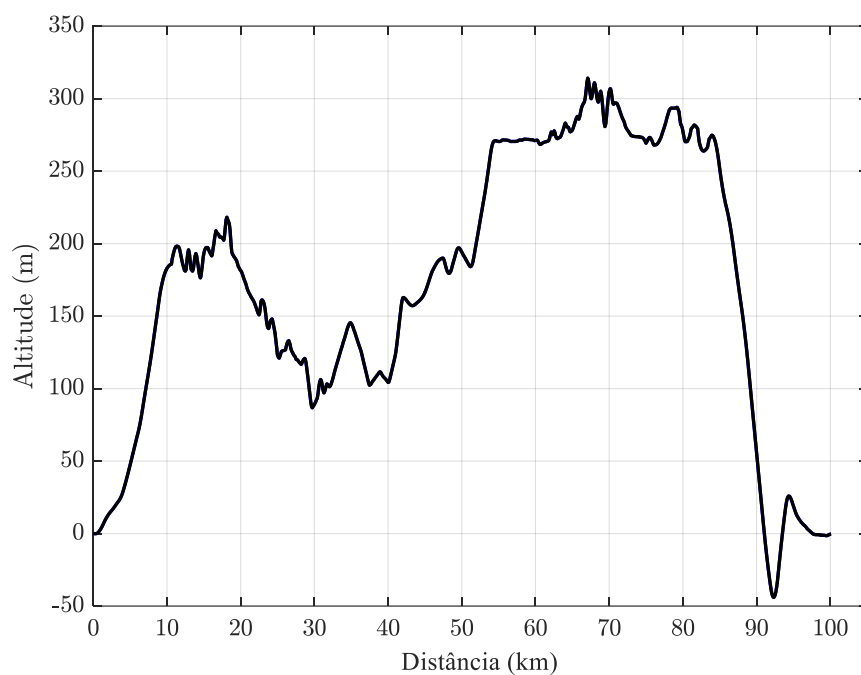
(a) Atenuação do gradiente em uma micro viagem.



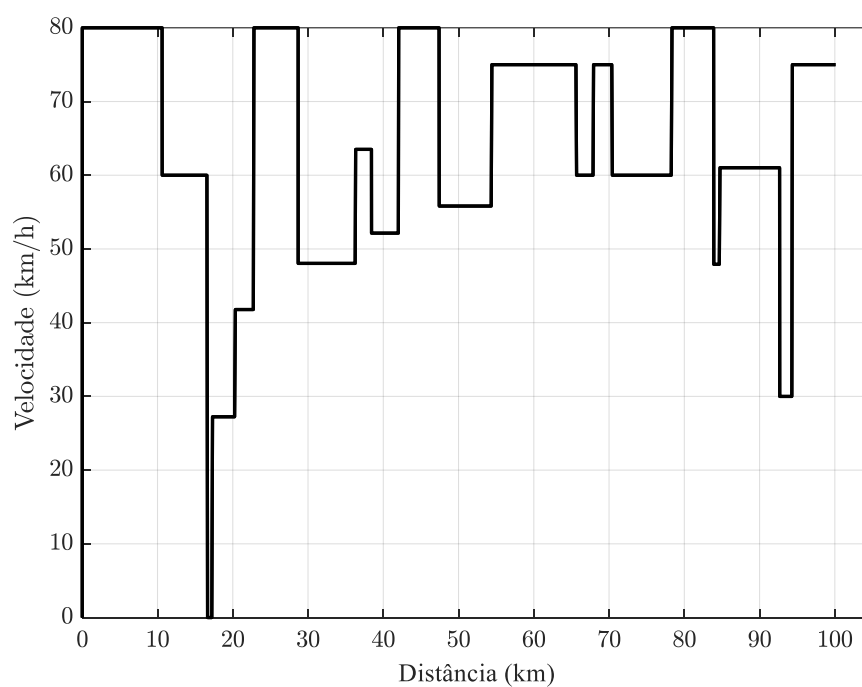
(b) Impacto da atenuação no perfil altimétrico.

Figura 18 – Aplicação da atenuação no gradiente.

Essa abordagem foi aplicada em todas as micro viagens que não respeitavam o limite de gradiente de -8 a 8%. Dessa forma, um novo banco de dados dessas viagens foi elaborado e utilizado como entrada para o modelo de geração do ciclo de condução. Após a convergência do algoritmo foi alcançado o ciclo exibido na Figura 19.



(a) Perfil altimétrico do ciclo gerado – R3.



(b) Perfil da velocidade objetivo do ciclo gerado – R3.

Figura 19 – Ciclo proposta R3.

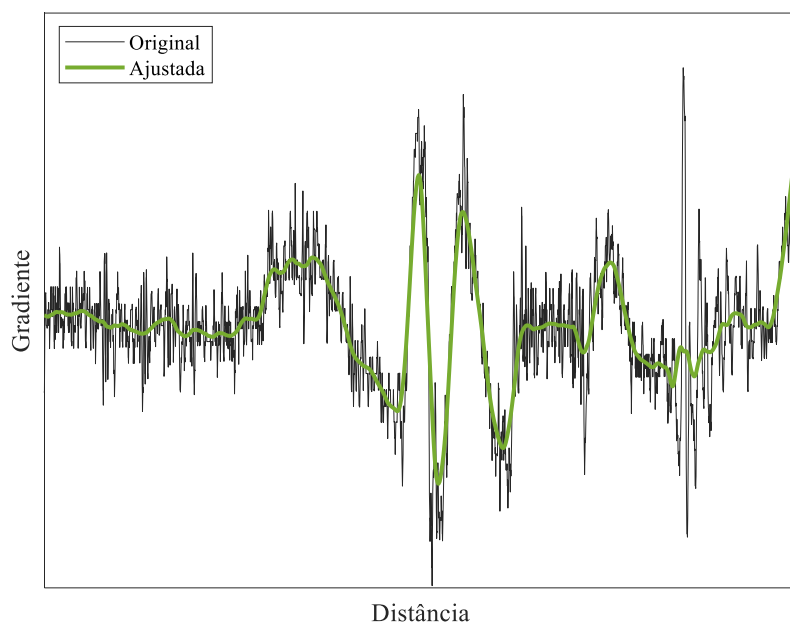
As três propostas foram comparadas com os principais cinco ciclos do VECTO, analisando as métricas obtidas para esses ciclos e para as propostas geradas. Para isso, foi gerado o arquivo .vdri para os ciclos gerados de forma a viabilizar a simulação dentro do VECTO. Para a simulação as mesmas condições foram mantidas para todos os ciclos. A Tabela 8 mostra os resultados obtidos.

Tabela 8. Métricas globais dos ciclos do VECTO e das propostas geradas.

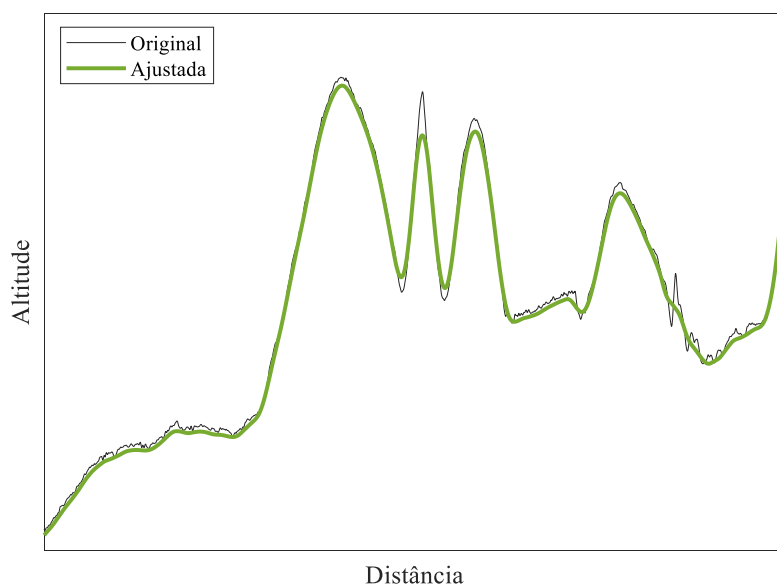
Ciclo	Distância [km]	Velocidade média [km/h]	CO₂ [g/km]	Consumo [l/100km]
<i>LongHaul</i>	100,18	76,75	1004,35	38,38
<i>Construction</i>	99,88	43,06	1485,34	56,76
<i>Interurban</i>	123,59	31,53	1887,75	72,14
<i>RegionalDelivery</i>	100	58,35	1193,44	45,60
<i>UrbanDelivery</i>	100	27,74	2222,46	84,93
Rota preliminar	99,83	51,37	1553,47	59,36
Proposta – R1	100,18	54	1222	46,70
Proposta – R2	92,70	62,51	1131,26	43,23
Proposta – R3	100,09	58,21	1196,80	45,73

Feita essa análise e finalizada a elaboração das três propostas, os arquivos .vdri foram encaminhados para os membros do GT para viabilizar a apreciação por parte das empresas.

O GT se reuniu novamente no dia 17 de abril de 2026, quando foi elaborada a quarta proposta de ciclo, que apresentava uma abordagem distinta, filtrando diretamente o banco de dados das micro viagens que apresentava grande variação no perfil do gradiente. Diferente do filtro aplicado na proposta R3, nesse caso a ideia não foi restringir e atenuar os picos, foi apenas filtrar os ruídos. A aplicação desse filtro é evidenciada na Figura 20.



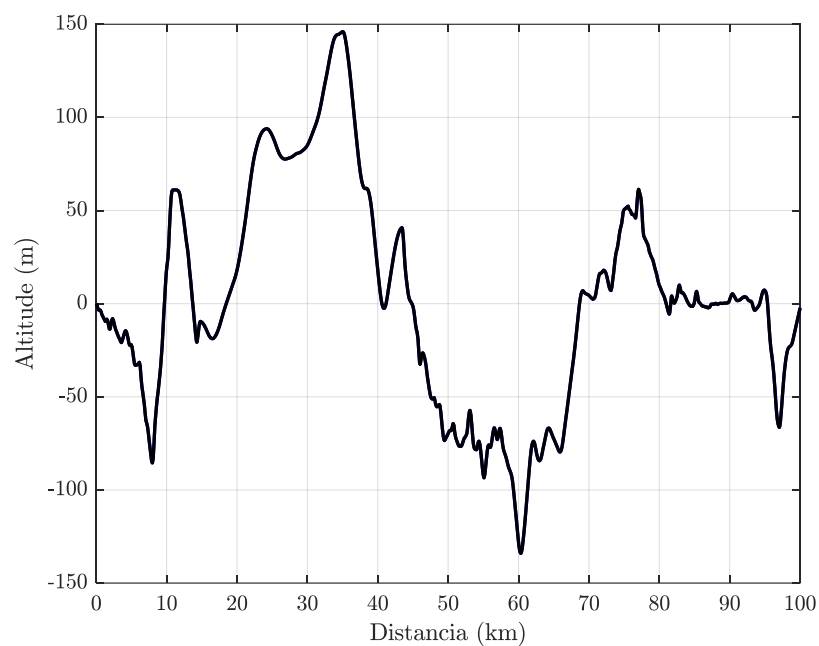
(a) Filtragem do gradiente em uma micro viagem.



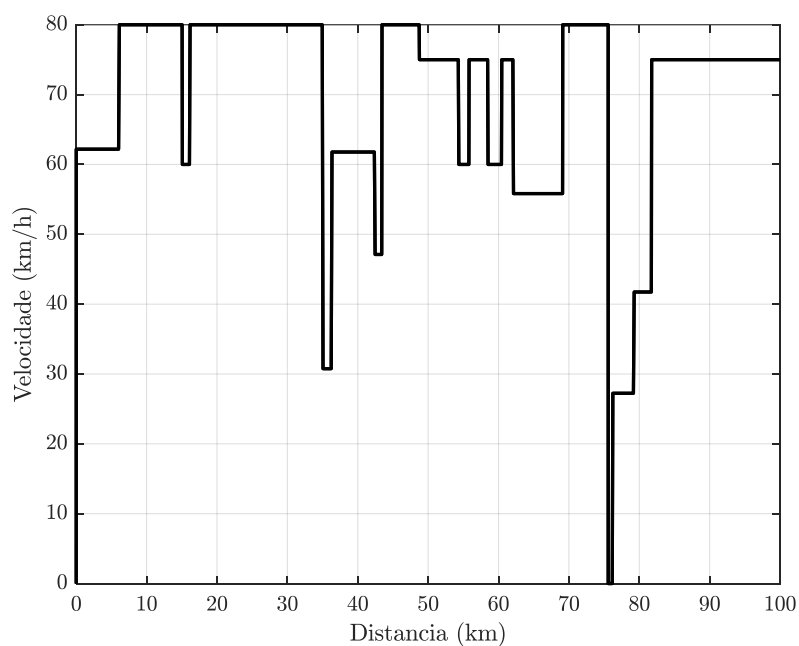
(b) Impacto da filtragem no perfil altimétrico.

Figura 20 – Aplicação da filtragem no gradiente.

Dessa maneira, um novo banco de dados de micro viagens foi obtido e inserido no modelo para a geração de um novo ciclo com base nessas modificações realizadas. A Figura 21 apresenta o ciclo resultante.



(a) Perfil altimétrico do ciclo gerado – R4.



(b) Perfil da velocidade objetivo do ciclo gerado – R4.

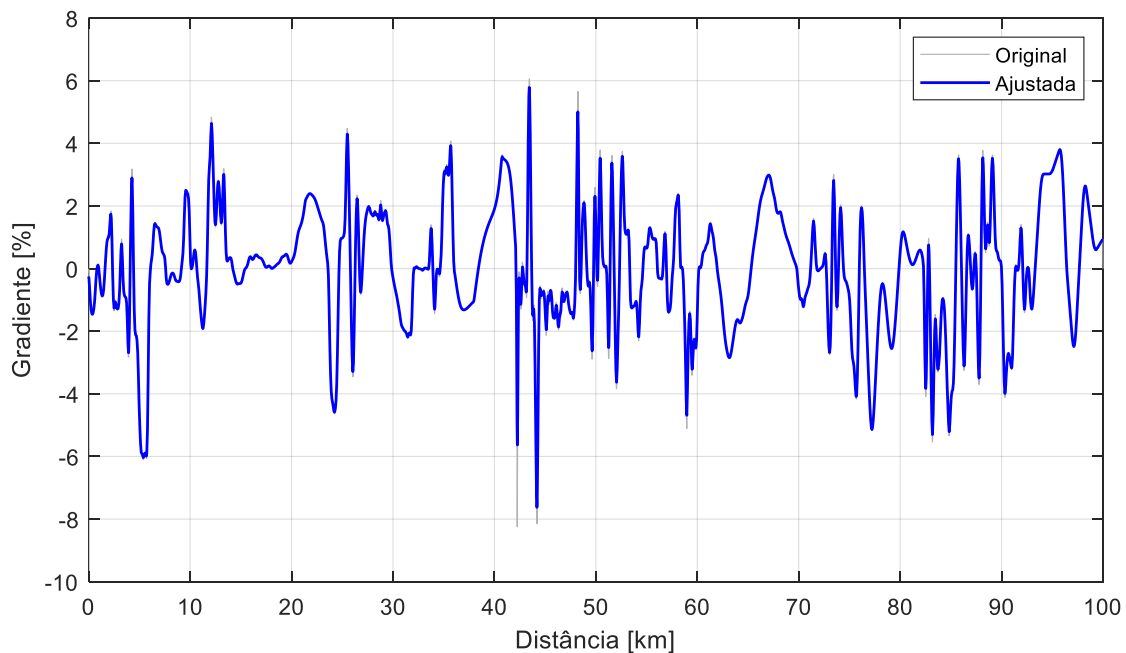
Figura 21 – Ciclo proposta R4.

No entanto, nessa reunião foi apresentado, por parte das montadoras, que havia um consenso de que a proposta R2 estaria mais aderente ao perfil brasileiro, sendo unânime a concordância em seguir com esse ciclo e realizar os ajustes necessários tanto no perfil altimétrico quanto na velocidade objetivo.

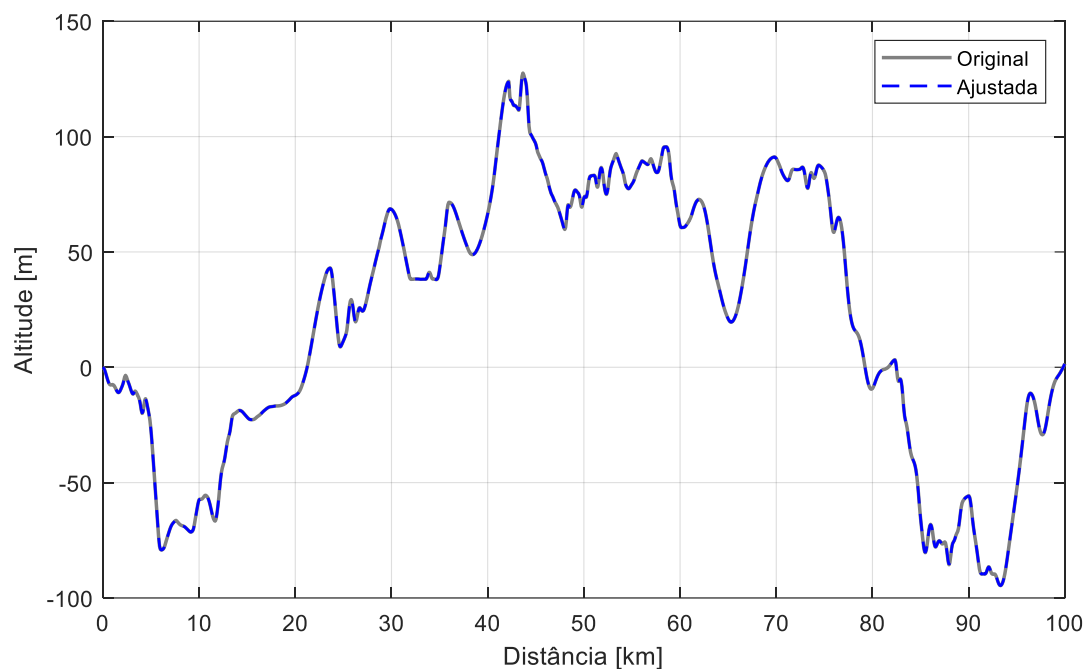
Portanto, como essa proposta não apresenta os 100 km de distância seria necessário a inserção de trechos que completassem os 8 km faltantes. Então, ainda nessa reunião foram definidas algumas premissas:

- Completar o ciclo com micro viagens que possuam velocidade inferiores a 60 km/h;
- Ajustar a continuidade da velocidade objetivo, ou seja, retirar os trechos curtos de variações de velocidade;
- Ajustar a velocidade mínima em 40 km/h;
- Aplicar o mesmo filtro da proposta R4 nos valores de gradiente no ciclo da proposta R2.

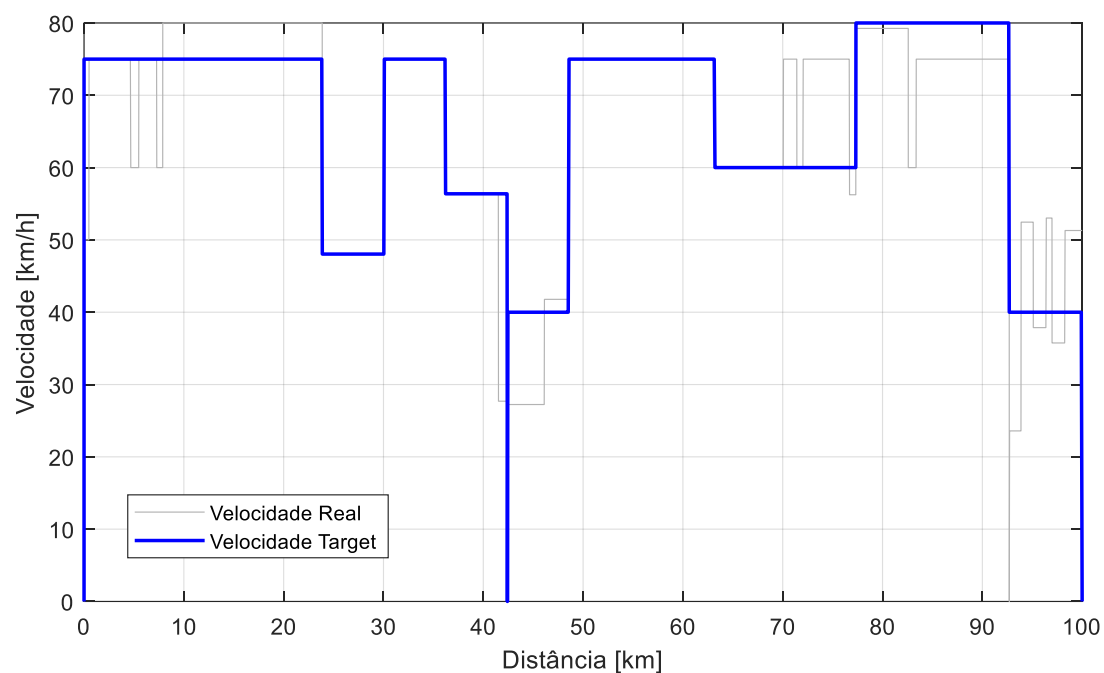
Assim, sendo consenso por parte das montadoras para garantir a aderência da rota, essas tratativas foram consideradas e feita a modificação no ciclo R2. A Figura 22 ilustra os perfis originais e os modificados aplicando as alterações indicadas. Foi aplicado o filtro no perfil de inclinação e também aplicado o código de zona morta e persistência da velocidade objetivo.



(a) Perfil do gradiente do ciclo R2 modificado.



(b) Perfil altimétrico do ciclo R2 modificado.



(c) Perfil da velocidade objetivo do ciclo R2 modificado.

Figura 22 – Ciclo R2 modificado.

Esse ciclo foi gerado e enviado para os integrantes do GT no dia 24 de abril de 2026. A próxima reunião foi realizada no dia 15 de maio de 2026, onde foi informado, de forma consensual entre o grupo, que o perfil de gradiente estava adequado sendo apenas observado a necessidade de elevar a velocidade no trecho final (após 92 km de distância) de 40 km/h para 80 km/h mantendo o mesmo perfil altimétrico. Portanto, essa alteração

foi feita, conforme solicitado, e o novo perfil de velocidade foi gerado como apresentado na Figura 23 e enviado no mesmo dia.

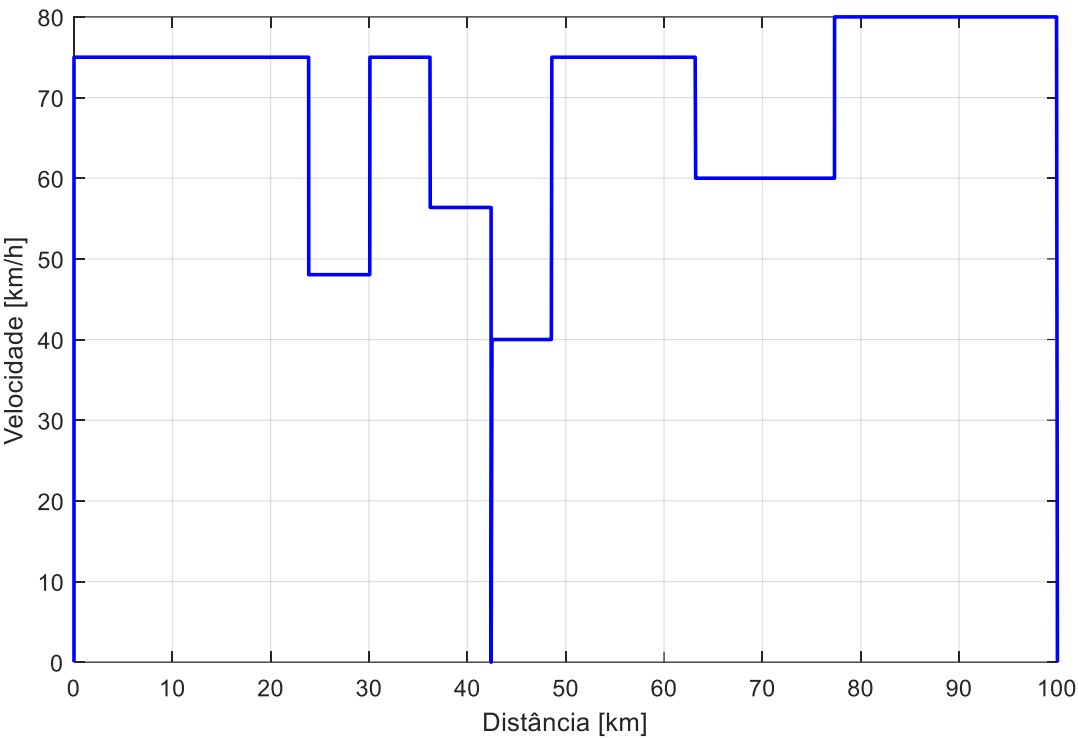


Figura 23 – Modificação no perfil de velocidade do ciclo R2 modificado.

Após essa adequação da velocidade ficou estabelecido que essa proposta seria a entrega final, sendo a rota representativa para ser implementada e utilizada na adaptação do VECTO para a realidade brasileira.

Com o intuito de elucidar a representatividade desse ciclo perante aos conjuntos de dados compartilhados por parte das seis montadoras, foi elaborada uma análise desse ciclo frente ao banco de dados. Inicialmente é analisado o gradiente, para isso foi feita uma separação dos dados em oito classes e comparado o valor percentual desses valores tanto no banco de dados quanto no ciclo gerado. A Tabela 9 exhibe esses valores.

Tabela 9. Análise da distribuição do gradiente para o banco de dados e ciclo gerado.

Ciclo	<-6%	-4%	-2%	1%	4%	6%	>6%
Banco de dados	1,53%	4,11%	10,87%	52,23%	23,05%	6,12%	2,10%
Ciclo R2 modificado	0,27%	2,89%	9,84%	58,37%	28,00%	0,63%	0%

Por sua vez, a Figura 24 exibe um histograma do gradiente do banco de dados e do ciclo R2 modificado, permitindo observar a distribuição dos dados.

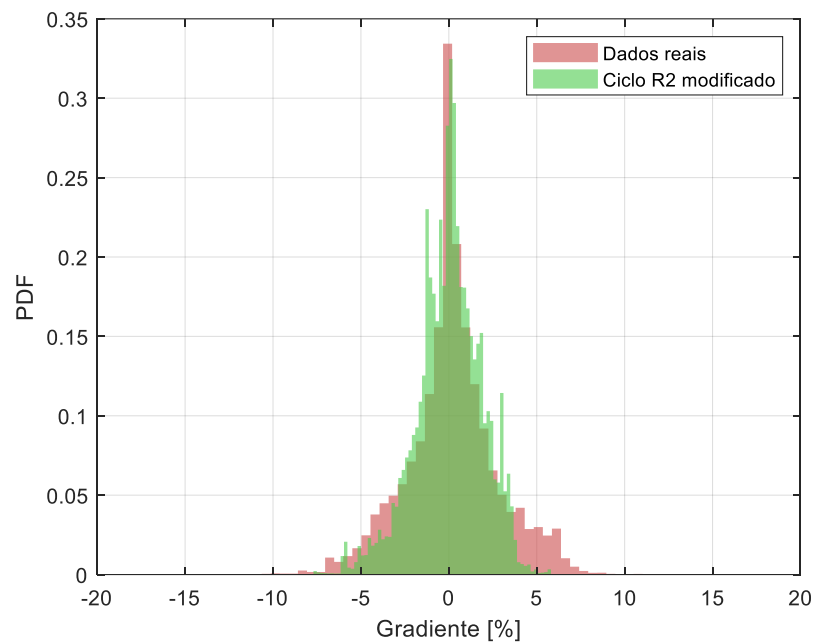


Figura 24 – Histograma do gradiente para o banco de dados e para o ciclo R2 modificado.

É feita também uma análise da distribuição das velocidades objetivos para cada um dos casos, conforme ilustrado na Figura 25.

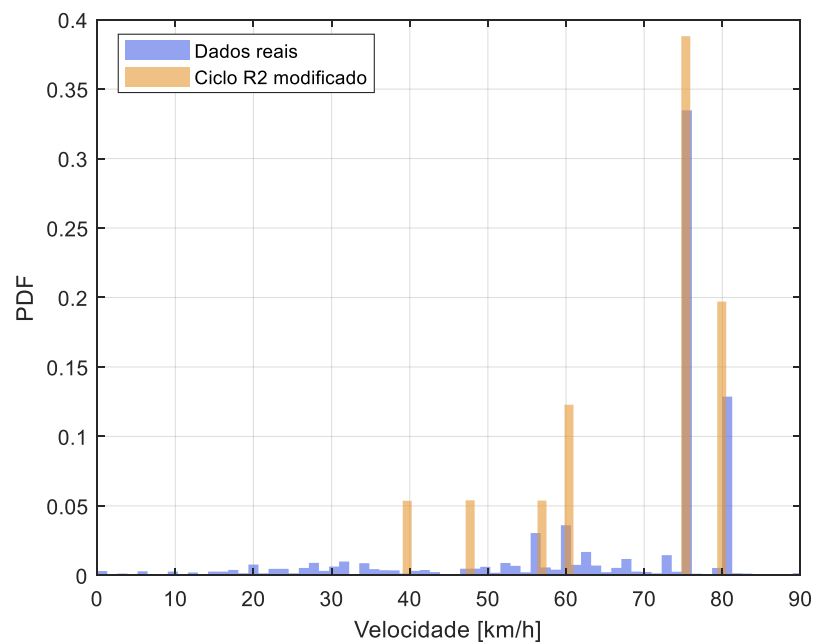


Figura 25 – Histograma das velocidades para o banco de dados e para o ciclo R2 modificado.

Por fim, a Tabela 10 apresenta algumas métricas comparativas entre todas as rotas recebidas (banco de dados concatenado) em comparação com a proposta do ciclo R2 modificado. Pela análise desses dados e também pelos histogramas de distribuição, observa-se a representatividade do ciclo obtido frente ao banco de dados no quesito de velocidade objetivo e gradiente. Dessa forma, pela análise dos dados e em retrospecto com os demais ciclos e comparações, conclui-se que há aderência e representatividade no ciclo gerado, bem como destaca a robustez da metodologia desenvolvida.

Tabela 10. Métricas para o banco de dados e ciclo gerado.

Ciclo	Velocidade média [km/h]	Desvio padrão da velocidade	Desvio padrão do gradiente
Banco de dados	65,34	18,25	2,65
Ciclo R2 modificado	69,02	12,01	1,88

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINBOGA, F. (2022). VECTO Review: Reducing CO2 emissions from heavy duty vehicles. Eng. Perspect, 1(1), 7-12.

COLAVITE, Alessandro Serrano, e Fabio Konishi. 2015. "A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade". Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia 12: 28.

COMMISSION, E. Vehicle energy consumption calculation tool - vecto. 2024. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/vehicle-energy-consumption-calculation-tool-vecto_en.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency. 2022. "Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions". 2022. <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>.

GEN, M.; CHENG, R. e LIN, L. Network models and optimization: Multiobjective genetic algorithm approach. Springer Science & Business Media, 2008.

MOREIRA, Marco Antonio Laurelli, Moacir de Freitas Junior, e Rodrigo Carlo Toloi. 2018. "O transporte rodoviário no Brasil e suas deficiências". Refas-Revista Fatec Zona Sul 4 (4): 1–13.

SHARMA, Kshitij. Modular Model to Generate Drive Cycles for Estimating the Energy Consumption and Fuel Consumption of Heavy-Duty Vehicles. Dissertação de Mestrado, Politecnico di Torino, 2020.

STEVEN, H. VECTO tool development: Completion of methodology to simulate Heavy Duty Vehicles' fuel consumption and CO2 emissions Upgrades to the existing version of VECTO and completion of certification methodology to be incorporated into a Commission legislative proposal. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://climate.ec.europa.eu/system/files/2017-12/sr7_lot4_final_report_en.pdf>.

ZACHAROF, N. et al. Simulating City-Bus On-Road Operation With VECTO. Frontiers in Mechanical Engineering, v. 5, 24 set. 2019.