



Universidade Federal do ABC

Operação de frotas de médio e grande porte com emissão zero: as perspectivas das partes interessadas

(Zero-emission medium- and heavy-duty fleet operation: The perspectives of stakeholders)

Autores: Ahmed Foda, Moataz Mohamed

Acesso: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.105127>

Periódico: [Transportation Research Part D: Transport and Environment](#)

Volume: 150

Número: (não informado)

Páginas: 105127

Ano de publicação: 2026

Classificação Qualis/Capes: A1

Disciplina Ciência Ambiental

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Fernanda Henrique de Souza

Tema e Contextualização

- O transporte de cargas depende fortemente de combustíveis fósseis, e os veículos de médio e grande porte respondem por uma parcela desproporcional das emissões de GEE devido à alta quilometragem e ao peso elevado.
- Diversos países têm criado metas para acelerar a adoção de veículos de emissão zero (elétricos a bateria e a hidrogênio).
- No Canadá, o "2030 Emissions Reduction Plan", foi lançado em 29 de março de 2022, prevê 35% das vendas de médio e grande porte como Veículo de Emissão Zero até 2030.

Os autores definem veículos de médio porte como aqueles com peso bruto entre 3.860 kg e 11.790 kg e veículos de grande porte como os que ultrapassam 11.790 kg.

0,022%

dos veículos de médio porte registrados no Canadá eram não fósseis no fim de 2023

Problema de Pesquisa

A literatura sobre adoção de veículos de emissão zero ainda apresenta lacunas relevantes:

Foco geográfico limitado

A maior parte dos estudos concentra-se na Europa e nos EUA; o Canadá tem condições únicas atividades transfronteiriças, clima severo e estruturas de propriedade distintas.

Escopo tecnológico restrito

Estudos anteriores tratam de combustíveis alternativos de forma ampla, ou de uma única tecnologia (hidrogênio OU elétrico), raramente comparando ambas.

Perspectiva pouco explorada

Poucos estudos investigam o comportamento de adoção sob a ótica das organizações que efetivamente operam as frotas (lado da demanda).

Veículos leves vs. pesados

Grande parte da literatura sobre veículos elétricos foca em carros de passeio, cujos achados não se transferem diretamente para Veículo de Médio e Grande Porte

Objetivo do Artigo

Explorar as perspectivas, experiências e comportamentos das partes interessadas na adoção de veículos de emissão zero, e propor um framework de intervenções de política pública.

O estudo busca responder a três perguntas de pesquisa:

Quais fatores influenciam a decisão das organizações de comprar/incorporar veículos de emissão zero em suas frotas (elétricos a bateria e a hidrogênio)?

Dentre esses fatores, quais são as barreiras e os facilitadores para a adoção, **na perspectiva das partes interessadas**?

Quais intervenções são propostas pelas partes interessadas para acelerar a adoção dos veículos de emissão zero ?

Coleta de Dados

Entrevistas: On-line, 1h de duração, roteiro semiestruturado com 6 eixos temáticos (frota, tecnologia, barreiras, educação, política, aspectos gerais).

Processo de amostragem:

Lista a pré-definida (fontes abertas e diretório MITL) → amostragem estratificada (classe de stakeholder, escopo geográfico, tipo de propriedade e tipo/porte da frota) → entrevistas realizadas → amostragem em bola de neve (indicações de novas organizações) → amostra final.

Amostra final:

24 organizações / 32 entrevistados — número definido por saturação de conhecimento (parou-se quando novas entrevistas já não traziam percepções inéditas). Cada organização = 1 documento no modelo LDA (falas de múltiplos representantes consolidadas), totalizando 24 documentos analisados."

Preparação do texto:

exigência técnica do modelo:

Remoção de stop-words e lematização o LDA só conta frequência de palavras (*bag-of-words*); sem isso, palavras sem sentido temático dominariam a contagem

Detecção de bigramas/trigramas captura expressões como "battery electric", que seriam tratadas como palavras soltas

escolha dos autores:

Lista customizada de stop-words (termos do domínio como "vehicle", "interview")

Remoção de entidades nomeadas — decisão ética, para anonimato dos entrevistados

Modelagem por Tópicos (LDA)

1. Preparação dos dados: construção da **DTM (Document-Term Matrix)**: matriz que registra a frequência de cada palavra em cada documento.

2. Configuração do modelo

- Definição dos hiperparâmetros: $\alpha = 1$ e $\beta = 0,01$.
- Teste de **K = 2 a 30** tópicos.
- Avaliação das métricas (Coherence, Griffiths2004, Arun2010 e CaoJuan2009).
- **K = 12** foi selecionado por ser o menor número de tópicos na faixa em que todas as métricas apresentaram bom desempenho, conciliando qualidade estatística e interpretabilidade do modelo.

3. Execução do LDA (VEM/Gensim): Estimação do modelo probabilístico por meio do processo generativo. Em vez de gerar os textos, **observa os documentos e infere quais tópicos e distribuições de palavras têm maior probabilidade de tê-los gerado**.

$\alpha = 1$ (Alpha): distribuição dos tópicos nos documentos → valor intermediário, favorecendo alguns tópicos predominantes em cada documento.

$\beta = 0,01$ (Beta): distribuição das palavras nos tópicos → valor pequeno, favorecendo tópicos mais específicos e bem definidos.

4. Interpretação dos resultados

Identificação de **12 tópicos**.

Análise qualitativa: os tópicos foram interpretados e nomeados manualmente pelos autores com base nas palavras de maior probabilidade.

Panorama Geral

Os 12 tópicos identificados

1. Tamanho e custo da frota

2. Escolha tecnológica

3. Custo e disponibilidade de infraestrutura

4. Planejamento de novo sistema

5. Implicações para negócio, cliente e motorista

6. Incerteza operacional

7. Compartilhamento de informação e educação

8. Incentivos e políticas

9. Restrições operacionais

10. Custos operacionais

11. Contexto organizacional

12. Desafios operacionais

Esses tópicos serviram como base para uma análise qualitativa.

A partir da interpretação dos trechos associados a cada tópico, os autores identificaram 35 barreiras e 33 facilitadores para a adoção de veículos de emissão zero.

Os autores propuseram **5 categorias de intervenções** para acelerar a transição tecnológica

Barreiras e Facilitadores Centrais

Barreiras mais citadas

Econômicas

Alto custo inicial de aquisição.
Incerteza sobre custo total de propriedade e valor de revenda.

Operacionais

Autonomia limitada.
Tempo de recarga.
Escassez de técnicos qualificados para manutenção.

Infraestrutura

Rede insuficiente de recarga e abastecimento.
Elevado investimento para implantação da infraestrutura.

Facilitadores mais citados

Econômicos

Incentivos financeiros e subsídios.
Menor custo operacional.

Operacionais

Feedback positivo dos motoristas.
Compartilhamento da infraestrutura.
Casos reais e dados operacionais que aumentam a confiança dos gestores.

Ambientais

Redução das emissões de gases de efeito estufa.
Melhor desempenho ambiental das operações.

Fatores que diferenciam a escolha tecnológica

Elétrico a bateria × Hidrogênio

Facilitadores	Menor custo out-of-door; menor custo de recarga; operação return-to-base	Autonomia comparável ao diesel; reabastecimento rápido; menor peso
Barreiras	Autonomia incerta; recarga demorada; custo de troca de bateria; maior peso	Custo de aquisição elevado; combustível mais caro; rede de reabastecimento praticamente inexistente

Intervenções Propostas

Recursos financeiros e incentivos

Subsídios para aquisição de veículos; Incentivos para implantação de infraestrutura; Políticas e metas entre províncias/países.

Avanço tecnológico

Investimento em bateria, tecnologia de carregadores e produção/armazenamento de hidrogênio; Expansão da rede de recarga

Políticas e regulamentações direcionadas

Metas progressivas de venda e privilégios operacionais para veículos de emissão zero (pedágio, faixas, peso bruto).

Ferramentas de planejamento operacional

Ferramentas de acesso aberto para configuração de frota, estação de recarga e roteirização, especialmente para pequenas frotas.

Compartilhamento de dados, educação e conscientização

Hub de dados com casos de sucesso documentados, custos reais e capacitação técnica e para motoristas.

Pontos fortes

- LDA + análise qualitativa, reduzindo a subjetividade sem perder a riqueza das entrevistas.
- Amostragem diversificada, reunindo diferentes stakeholders do setor.
- Comparação estruturada entre bateria e hidrogênio, com resultados aplicáveis ao planejamento de frotas.
- Identificação integrada de barreiras, facilitadores e intervenções para a transição energética.

Pontos de atenção

- Saturação das entrevistas definida qualitativamente, sem critério objetivo replicável.
- Interpretação dos tópicos do LDA depende de julgamento dos pesquisadores.
- Possível viés de autosseleção dos participantes.
- Resultados refletem o contexto canadense, exigindo cautela na aplicação ao Brasil.
- O estudo não considera biocombustíveis, relevantes para a realidade brasileira, nem aprofunda aplicações em operações municipais, transporte coletivo por ônibus e caminhões de coleta de resíduos.

Obrigada!

Dúvidas?

Fernanda Henrique de Souza · Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental · UFABC