

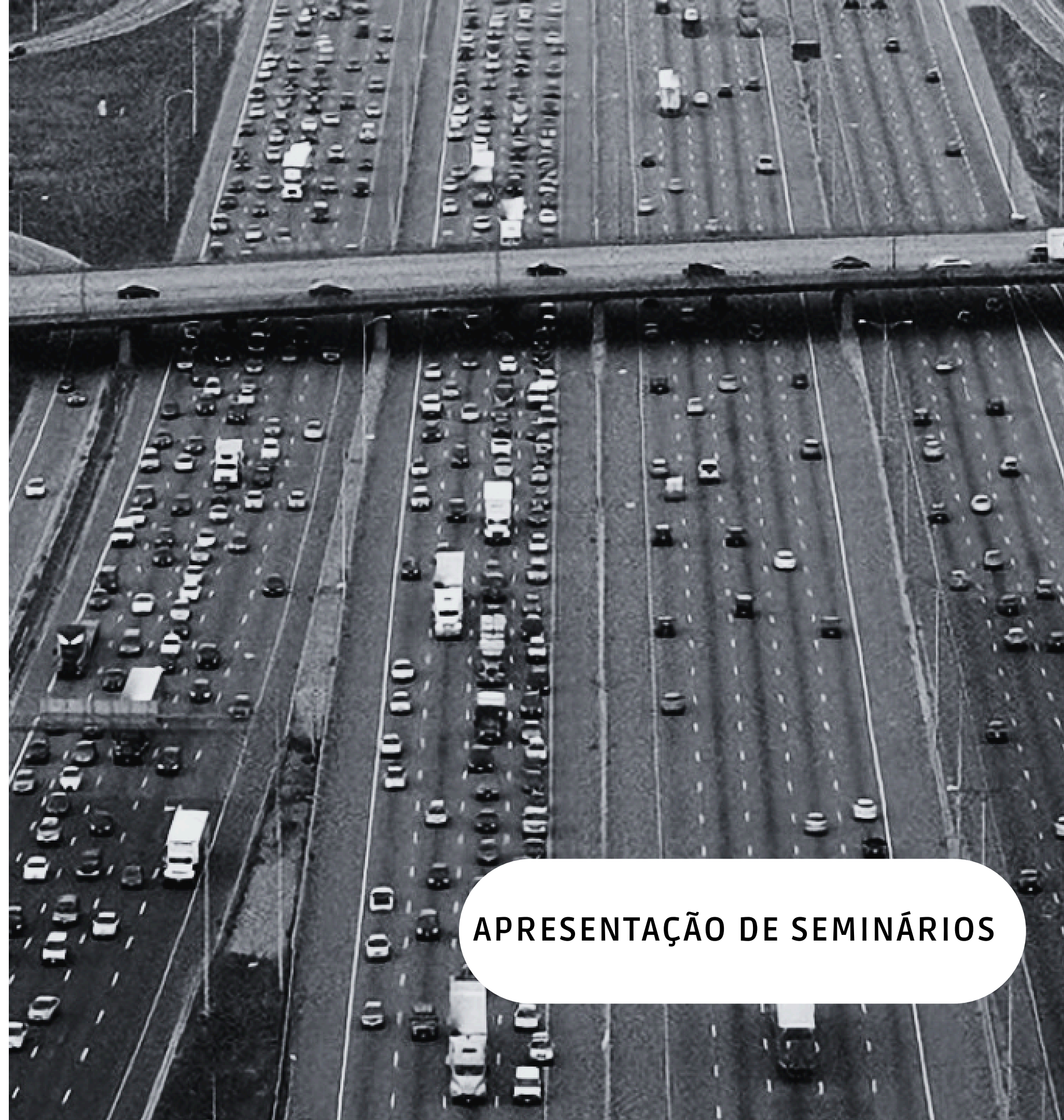
IMPACT OF THE CAR FLEET EVOLUTION ON ELECTRICITY DEMAND IN QUÉBEC

IMPACTO DA EVOLUÇÃO DA
FROTA DE AUTOMÓVEIS NA
DEMANDA DE
ELETRICIDADE EM QUÉBEC



Apresentado por:
Jéssica Eulálio

APRESENTAÇÃO DE SEMINÁRIOS



Autores: Frédéric Lavictoire, Simon Brassard, Amaury Philippe, Martin Trépanier e Normand Mousseau

Título: Impact of the car fleet evolution on electricity demand in Québec

Periódico: Sustainable Futures

Volume: 10

Fascículo: Não informado

Páginas: 13

Ano de publicação: 2025

Classificação Qualis/Capes: A1

Sustainable Futures 10 (2025) 101296



Contents lists available at ScienceDirect

Sustainable Futures

journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/sustainable-futures





Impact of the car fleet evolution on electricity demand in Québec

Frédéric Lavictoire ^{a,*}, Simon Brassard ^a, Amaury Philippe ^b, Martin Trépanier ^b, Normand Mousseau ^{a,*}

^a Département de physique and Institut Courtois, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3J7
^b Polytechnique Montréal, 2500 Chem. de Polytechnique, Montréal, Québec, Canada

ARTICLE INFO

Keywords:
Electrification
Evolution of car fleet
Transport
Data Analysis
Energy
Impact of electrification of transport on electricity demand

ABSTRACT

Under pressure to reduce its greenhouse gas emissions (GHG), the global passenger car market is experiencing a shift from vehicles powered by internal combustion engines towards hybrid and fully electric models. In colder regions such as northern North America and northern Europe, the adoption of electric vehicles is expected to generate an uneven demand on the electric grid, with peak demand coinciding with building heating requirements in winter. To quantify the impact of this transformation, this study projects, using registered light-duty vehicles in Quebec, Canada, from 2011 to 2021, the evolving demand for electricity of the fleet under various electrification scenarios. Two historical tendencies enhance potential demand for electricity: (i) vehicles become increasingly heavy, gaining an average of 11 kg per vehicle between 2011 and 2021; (ii) the number of registered vehicles shows a yearly increase of 67,276 vehicles, about 1.3% of the fleet. Based on these trends, and accounting for per-vehicle energy use by weight, mileage, and temperature-related range losses, the projections show that stabilizing electric vehicle mass at 2021 levels would lead to a fleet that is 25.9% lighter and reduce electricity demand by 17.6% in 2040 with respect to the business as usual scenario. While a life-cycle assessment shows the benefits of electric vehicles over gasoline vehicles in terms of GHG reduction in any scenarios, our results underline the importance of understanding the potential strain on the electric grid that can be caused by unbridled transformation of the car fleet from internal combustion engine to battery-electric models.

1. Introduction

Canada ranks as the 11th largest greenhouse gas (GHG) emitter worldwide, contributing 1.5% of the total emissions in 2022 [1]. As a participant to the Paris Agreement, Canada has made a commitment to take significant action in reducing GHG emissions, including a target to reduce emissions by 30% below 2005 levels by the year 2030 [2]. Among Canada's emissions, the transport sector alone contributes a significant 30% [3]; understanding the impact of decarbonizing the sector is therefore crucial. This issue, of course, is not unique to Canada as, globally, the transport sector accounted for 15% of the total emissions in 2020, making it the second-largest contributor [4]. The province of Quebec, with a population of 8.8 million people, faces an even more pressing situation, with the transport sector being responsible for 43.3% of GHG emissions [5]. To address this issue, the Quebec government has outlined its commitment to the electrification of transportation in the recent 2030 Plan for a Green Economy, announcing a goal to have

2 million electric vehicles (EVs) on the road by 2030, while phasing out the sales of new fossil-fuel powered cars and passenger trucks by 2035 [6]. Since the light-duty transport sector is the focus of both provincial and federal regulation and it is responsible for 63.3% of the GHG emissions of the road transportation sector in Quebec [5], it will be the focus of our study.

Our research assesses how the evolution of fleet size and weight impacts the electricity demand in regions with cold climates and affects the GHG emissions from internal combustion engine vehicles (ICEVs) and battery electric vehicles (BEVs) in a low carbon electricity mix. This topic is of increasing global importance, as many countries with similar climates pursue ambitious transport electrification targets [7]. Quebec represents a particularly relevant case study due to its clean electricity grid, EV adoption policies, and harsh winter conditions, providing valuable insights regarding the challenges and opportunities of electrification in similar regions worldwide.

* Corresponding authors.
E-mail addresses: frederik.lavictoire@umontreal.ca (F. Lavictoire), normand.mousseau@umontreal.ca (N. Mousseau).

<https://doi.org/10.1016/j.sfsr.2025.101296>

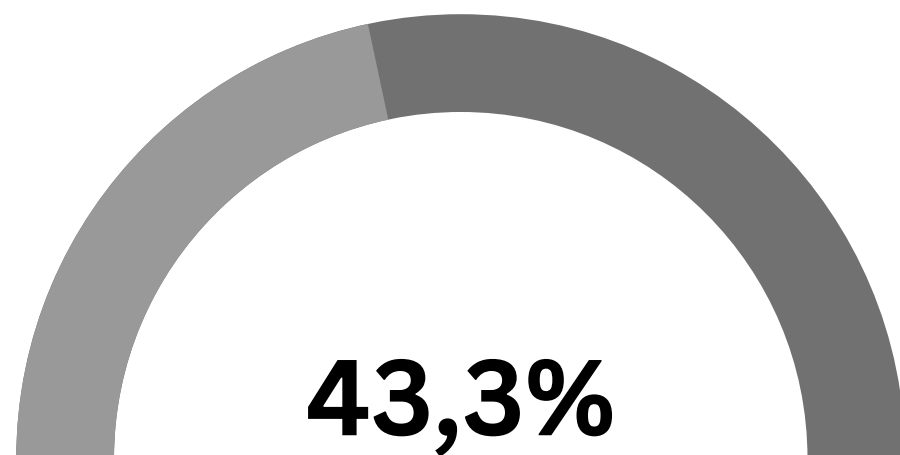
Received 1 April 2025; Received in revised form 19 August 2025; Accepted 9 September 2025
Available online 20 September 2025
2666-1888/© 2025 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



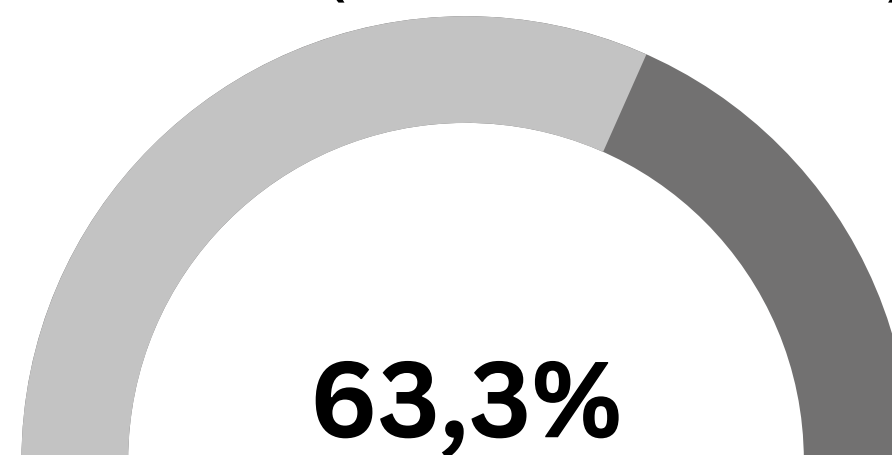
Tema e contextualização

Os impactos da eletrificação da frota de veículos leves sobre a demanda de eletricidade e as emissões de GEE, considerando a evolução do peso dos veículos e a influência do clima na província de Québec, Canadá.

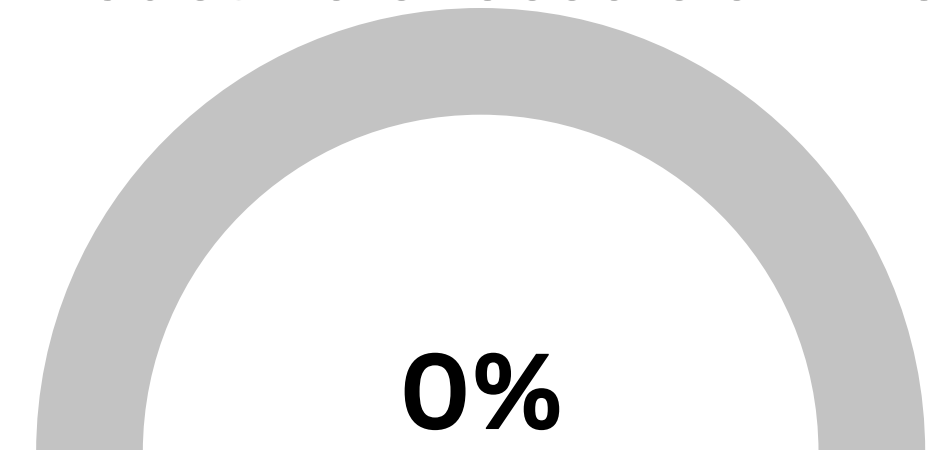
Emissões do Setor
de Transportes



Emissões do transporte
rodoviário (Veículos leves)



Venda de veículos movidos a
combustíveis fósseis em 2035



O governo pretende atingir **2 milhões de veículos elétricos até 2030** - Em 2021, possuía cerca de 72 mil veículos elétricos em uma frota total de 5,5 milhões de veículos (**aproximadamente 1,3% da frota**)

Problema de pesquisa

Se os veículos elétricos já são mais pesados por causa das baterias e, ao mesmo tempo, os consumidores estão migrando para SUVs e pickups, qual será o impacto disso sobre o consumo futuro de eletricidade?



Autores observam que a frota não está apenas se eletrificando, ela está:

- **Crescendo;**
- Os veículos estão ficando mais **pesados**;
- **SUVs e pickups** estão substituindo carros compactos.



Buscam analisar simultaneamente:

- A eletrificação dos veículos;
- A evolução do peso da frota;
- A influência do clima sobre a demanda de eletricidade.

Objetivos do artigo

- Analisar a evolução do número de veículos, do peso médio e da composição da frota entre 2011 e 2021;
- Projetar o crescimento futuro da frota sob diferentes cenários de eletrificação;
- Estimar a demanda atual e futura de eletricidade da frota considerando o peso dos veículos, a quilometragem percorrida e os efeitos da temperatura;
- Avaliar as necessidades de energia e potência para atender à demanda sazonal em Québec;
- Comparar, por meio da avaliação do ciclo de vida (ACV), as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de veículos elétricos e de veículos movidos a combustíveis fósseis considerando a matriz elétrica da província.

Método

Etapa 1 – Caracterização da frota de Québec (2011–2021)

Analisaram a evolução histórica da frota de veículos leves de Québec.

Fonte dos dados

- Société de l'Assurance Automobile du Québec (SAAQ) e Fuel Consumption Guide (FCG)

a) Banco de registro de veículos

- Número de veículos;
- Categoria do veículo;
- Massa (peso);
- Ano-modelo;
- Combustível utilizado.

b) Banco de retirada de circulação

- Vida útil média dos veículos;
- Taxa de renovação da frota.

c) Banco de quilometragem

- Estimaram a distância anual percorrida por cada veículo.

d) Dados complementares:

- Consumo energético;
- Consumo de combustível;
- Taxa de emissão de CO₂;
- Capacidade da bateria.

Método

Etapa 2 – Classificação dos veículos

Compacto	Subcompactos, minicompactos e veículos de dois lugares
Sedan	Médio porte e grande porte
Wagon	Peruas pequenas e médias
SUV pequeno	Utilitários esportivos compactos
SUV padrão	Utilitários esportivos médios e grandes
Minivan	Vans de passageiros, vans de carga e veículos especiais
Pickup	Caminhonetes pequenas e grandes

Método

Etapa 3 – Construção de cenários

BAU - Business as Usual

Tendências históricas continuam sem mudanças. Os veículos continuam ficando mais pesados e a frota segue crescendo.

MR1 - Mass Restriction 1

O aumento de peso é limitado. Elimina-se a tendência de crescimento do peso, mas mantém-se o aumento decorrente da eletrificação.

MR2 - Mass Restriction 2

O peso médio fica congelado nos níveis de 2021. Qualquer aumento de massa devido à bateria deve ser compensado pela redução de peso em outros componentes do veículo.

Método

Etapa 4 – Modelagem da eletrificação da frota

Construíram um modelo matemático para simular a substituição gradual dos veículos a combustão por veículos elétricos até 2040.

01

Determinaram a diferença média de massa entre:

- Veículos a combustão (ICEV);
- Veículos elétricos (BEV).

02

Modelaram a relação entre:

- Massa do veículo;
- Consumo de eletricidade.

Permitiu estimar o consumo energético de cada modelo convertido para uma versão elétrica

Método

Etapa 4 – Modelagem da eletrificação da frota

03

Incorporaram:

- Quilometragem média anual;
- Crescimento da frota;
- Evolução histórica do peso dos veículos

Com isso foi possível estimar:

- Consumo anual de energia;
- Potência necessária;
- Demanda elétrica total.

04

Modelaram o efeito da temperatura:

- Regressão linear utilizando estudos experimentais sobre perda de autonomia de veículos elétricos em diferentes temperaturas;
- Combinaram os resultados com as temperaturas médias mensais de Montréal.

Assim conseguiram estimar:

- Consumo no inverno;
- Aumento de demanda provocado pelo frio.

Método

Etapa 5 - Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Quantificar a redução de emissões com a substituição dos veículos com motor a combustão interna (ICEVs) por veículos elétricos a bateria (BEVs)

Produção

- Fabricação da carroceria;
- Fabricação da bateria.

Utilização

- Consumo de gasolina (ICEVs);
- Consumo de eletricidade (BEVs).

Utilizaram a abordagem que:

- Contabiliza toda a cadeia energética
- Combustão : Extração do petróleo; refino; transporte; combustão do combustível
- Veículos elétricos: geração da eletricidade; construção das instalações de geração; transmissão e distribuição da energia; consumo pelo veículo.

Reciclagem

- Recuperação de materiais;
- Reciclagem da bateria.

Os créditos ambientais da reciclagem foram incorporados ao cálculo

- Redução da necessidade de extração de matérias-primas;
- Diminuição emissões futuras.

Resultados e discussão

01

Crescimento da frota e aumento da massa veicular

- Frota de veículos leves cresceu cerca de 67 mil veículos por ano (2011–2021);
- Massa média dos veículos aumentou aproximadamente 11 kg/ano;
- Tendência de substituição de veículos compactos e sedans por SUVs e caminhonetes.

02

Impacto da eletrificação no peso dos veículos

- Veículos elétricos a bateria (BEVs) são, cerca de, 23% mais pesados que os veículos a combustão;
- Em média, os veículos elétricos são 344 ± 81 kg mais pesado que veículos a combustão
- Varia de 263 kg a 425 kg.

03

Relação entre peso e consumo energético

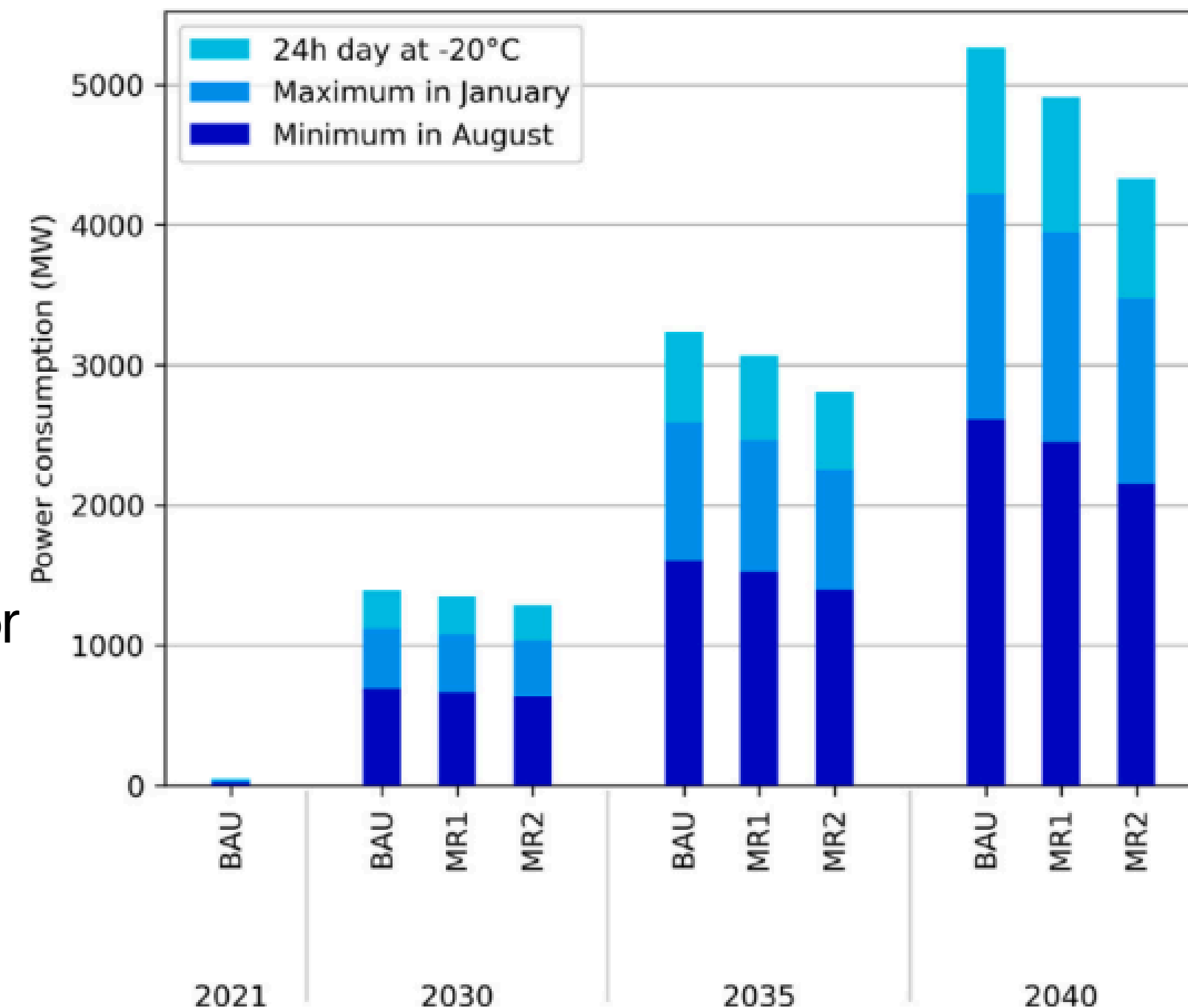
- Existe correlação direta entre massa e consumo de energia
- Cada 100 kg adicionais aumentam o consumo em 0,696 kWh/100 km.

Resultados e discussão

04

Projeções de demanda elétrica

- Em 2030
 - Aproximadamente 2 milhões de veículos elétricos a bateria (BEVs);
 - Consumo de até 7,68 TWh/ano.
- Em 2040
 - Frota totalmente eletrificada;
 - Consumo de 29,03 TWh/ano
- Em dias de -20°C
 - Demanda média de potência superior a 5 GW.
- Cenário MR2
 - Redução de 17,6% na demanda de potência;
 - Frota cerca de 25,9% mais leve.



Resultados e discussão

05

ACV e Emissões de GEE

Etapa da ACV	Veículos a Combustão (milhões t CO ₂ -eq)	Veículos Elétricos (milhões t CO ₂ -eq)	Observações
Utilização	17,18 a 19,12	0,96 a 1,08	A fase de uso apresenta emissões significativamente menores para os veículos elétricos.
Produção	0,80 a 1,04	89,48 a 111,51	As emissões dos veículos elétricos concentram-se principalmente na fabricação das baterias, envolvendo mineração de matérias-primas, processamento de minerais, fabricação de componentes e montagem dos sistemas de armazenamento.
Reciclagem	Redução de 0,56	Redução de 61,87	A reciclagem de baterias permite a recuperação de materiais, reduzindo a necessidade de extração de novas matérias-primas e contribuindo para a mitigação das emissões ao longo do ciclo de vida.

Conclusões mais relevantes

Eletrificação é altamente eficaz para reduzir emissões de GEE

- Apesar dos veículos elétricos emitirem mais na fase de fabricação, emitem menos ao longo da utilização;
- Reciclagem compensa parte importante dessas emissões;
- Entretanto, o aumento contínuo da massa dos veículos reduz parte desses benefícios.

Veículos maiores aumentam impactos ambientais

- Consomem mais eletricidade;
- Exigem baterias maiores;
- Demandam mais materiais na fabricação;

Desafios para a rede elétrica

- O principal desafio está nos picos de demanda durante o inverno rigoroso;
- Possível necessidade de expansão da infraestrutura elétrica.

Conclusões mais relevantes

Papel do gerenciamento de demanda

- Tecnologias como Vehicle-to-Grid (V2G):
 - Podem reduzir sobrecargas na rede - Veículos devolvam eletricidade à rede durante picos;
 - Eficiência limitada durante períodos de frio extremo - Consumo dos veículos aumenta, a autonomia diminui e sobra menos energia disponível para ser devolvida à rede.

Importância de políticas complementares

- Apenas eletrificar a frota pode não ser suficiente;
- Necessidade de incentivar:
 - Veículos menores e mais leves;
 - Mobilidade sustentável;
 - Planejamento energético integrado.

A **redução da massa dos veículos** pode potencializar os benefícios da eletrificação, diminuindo simultaneamente:

- Demanda de eletricidade;
- Os picos de potência na rede;
- Os impactos ambientais associados à fabricação e operação dos veículos.

Análise Crítica

- **Integra diferentes dimensões da mobilidade elétrica:**
 - Evolução da frota;
 - Comportamento do consumidor;
 - Demanda energética;
 - Impactos ambientais.
- Utiliza **dados reais da frota** de Québec entre 2011 e 2021;
- Demonstra que a **eletrificação, isoladamente, não garante a maximização dos benefícios ambientais;**
- Quantifica o efeito do aumento da **massa dos veículos** sobre o **consumo de energia** e a **demanda elétrica;**
- Apresenta **cenários futuros** (BAU, MR1 e MR2) úteis para **subsidiar políticas públicas.**

Análise Crítica

- **Projeções específicas para as condições climáticas e energéticas de Québec**
 - Elevada disponibilidade de eletricidade renovável (Matriz elétrica predominantemente hidrelétrica);
 - Clima extremamente frio.
- **Ausência de análise econômica**
 - O estudo discute expansão da infraestrutura elétrica, mas não quantifica:
 - Custos da expansão da rede;
 - Custos da redução da massa dos veículos;
 - Impactos econômicos para consumidores;
 - Reduzir o peso da frota pode ser mais eficiente, mas não demonstram economicamente se essa estratégia é realmente mais barata ou viável.
- **Avaliação de ciclo de vida relativamente simplificada**

Não consideram:

- Manutenção;	- Infraestrutura de recarga;
- Segunda vidas das baterias;	- Substituição de baterias.

Análise Crítica

- **Não inclui mudanças comportamentais dos usuários:**
 - Redução do uso do automóvel;
 - Compartilhamento de veículos;
 - Ampliação do transporte coletivo;
 - Trabalho remoto.
- **Tendências atuais de mercado**
 - Projeções até 2040 assumem que as tendências observadas entre 2011 e 2021;
 - O mercado automotivo está passando por transformações aceleradas;
 - Um horizonte de quase 20 anos utilizando extrapolações relativamente lineares.
- Possíveis **avanços tecnológicos** nas baterias ou peso dos veículos **não foram plenamente incorporados** às projeções
 - Novas químicas de baterias;
 - Redução da intensidade material;
 - Melhorias aerodinâmicas.

Análise Crítica

- **Uso de médias para representar a frota**
 - A análise utilizou valores médios de massa e consumo;
 - Isso simplifica a modelagem, mas pode mascarar diferenças importantes entre categorias de veículos;
 - SUVs, pickups e veículos compactos apresentam padrões de uso muito distintos;
 - Pode reduzir a precisão das projeções.
- **Tratamento simplificado da tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G)**
 - O estudo conclui que o V2G perde eficiência em condições de frio intenso;
 - Falta discutir:
 - Carregamento inteligente;
 - Armazenamento estacionário;
 - Integração com energias renováveis;
 - Resposta da demanda.

OBRIGADA



Apresentado por:
Jéssica Eulálio

APRESENTAÇÃO DE SEMINÁRIOS