

DIFUSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E BATERIAS EM FIM DE VIDA – O CASO DA NORUEGA PARA 2040

Tainara Volan
Caroline Rodrigues Vaz
Mauricio Uriona-Maldonado

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

RESUMO

Um dos atuais desafios é a busca por desenvolvimento sustentável da sociedade, e a mobilidade elétrica possui um grande papel para o seu cumprimento. Com o crescimento da produção de automóveis, o número de veículos elétricos em fim de vida aumenta de modo significativo. A falta de gerenciamento correto, principalmente das baterias, é um dos maiores problemas que acompanha os veículos elétricos. Dessa forma, este estudo apresenta uma análise, realizada por meio da Dinâmica de Sistemas, da difusão de veículos elétricos na Noruega, bem como os veículos elétricos em fim de vida até 2040. A partir disso, realizam-se análises quanto as baterias em fim de vida, obtendo diferentes cenários para o tempo de vida útil e observando suas consequências. Ademais, elaboraram-se cenários contendo diferentes caminhos para quais as baterias podem seguir após seu primeiro uso, como reciclagem e aterro. Sendo assim, foi possível combinar diferentes taxas e observar o montante final de baterias em cada setor para um cenário até 2040.

ABSTRACT

One of the current challenges is the development of a sustainable society, and the electric mobility has a great role to achieve this point. With the growth of automobile production, the number of end-of-life electric vehicles increases significantly. The lack of proper management, especially of batteries, is one of the main problems that follows electric vehicles. Thus, this article presents an analysis, performed through the system dynamics, of the diffusion of electric vehicles in Norway, as well as the electric vehicles at the end of life up to 2040. Apart from that, different scenarios for the useful life are obtained, among observing its consequences. In addition, scenarios containing different paths are elaborated for which batteries can follow after their first use, such as recycling and landfill. Then, it was possible to combine different rates and observe the final amount of batteries in each sector for a scenario up to 2040.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade elétrica vem surgindo como uma alternativa para a redução de emissão de gases de efeito estufa (Figenbaum *et al.*, 2015). Do mesmo modo, a dependência mundial por combustíveis fósseis tem o tornado cada vez mais escasso, desse modo, os veículos elétricos (VEs) podem diminuir a demanda pelo petróleo (Miedema e Moll, 2013). Analisando a frota atual de VEs no mundo, apresentam-se: a China dominando com 40% de uma frota de aproximadamente 3,1 milhões; seguido pelos Estados Unidos (24%); Japão (7%) e Noruega com 6% (Bunsen *et al.*, 2018).

A Noruega é vista como um dos países mais importantes para VEs, servindo como laboratório de pesquisas, testes de incentivos, novos modelos e formas de condução (Røstvik, 2018). Os VEs são beneficiados de isenções fiscais, privilégios de direção, isenção de taxas de estacionamento nos centros das cidades e, muitas vezes, o carregamento do veículo é feito a custo zero. Como consequência dessas políticas e outras, o número de vendas dos veículos elétricos aumentaram cerca de 99% de 2008 a 2018 (EUROSTAT, 2019), sendo que em 2018, o mercado de VEs correspondia a 29% de veículos híbridos e 31,2% de veículos de emissão zero (OFV, 2019).

Devido ao aumento das vendas de VEs, mudanças significativas podem surgir no gerenciamento do seu fim de vida. Um exemplo, é o aumento de baterias descartadas (Feng, 2018), pois o tempo de vida útil da bateria é mais curta que de VEs, portanto, se obtém um

maior número de resíduos de baterias do que resíduos de VEs (Ramoni e Zhang, 2013).

Ademais, com o impulso da transição em curso para as energias renováveis, espera-se que a procura de baterias cresça rapidamente nos próximos anos, tornando esse mercado cada vez mais estratégico a nível global (COMISSÃO-EUROPEIA, 2019). Diante disso, a infraestrutura necessária para o gerenciamento apropriado da bateria de VEs é necessária mais cedo do que as empresas, organizações e governos podem ter esperado (Ai *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o presente artigo pretende analisar o impacto da difusão de VEs na Noruega e, conseqüentemente, as implicações dos mesmos em seu fim de vida até 2040. Posteriormente, analisa-se o montante de baterias descartadas e possíveis formas de realizar seu gerenciamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção compreende uma breve visão histórica da Noruega, posteriormente, apresenta-se também a ferramenta utilizada para a busca dos resultados.

2.1. Visão histórica de VEs na Noruega

A história de VEs na Noruega pode ser dividida em cinco fases: (1) desenvolvimento de conceito, (2) testes, (3) mercado inicial, (4) introdução ao mercado e (5) expansão do mercado (Figenbaum e Kolbenstvedt, 2013). Para a expansão do mercado, a Noruega usou uma ampla gama de incentivos fiscais, subsídios diretos, economia de custos de combustível, entre outros (Figenbaum *et al.*, 2015).

Para Figenbaum *et al.* (2015), os incentivos foram acrescidos até que o mercado respondesse com o aumento das vendas, ou seja, os incentivos visam tornar o custo dos VEs comparável aos veículos convencionais, propiciando ao comprador uma vantagem que compensa as desvantagens, reduzindo assim o risco ligado à compra e uso do VE. Como resultado destes incentivos, nos últimos 5 anos a Noruega experimentou um crescimento acentuado no mercado de VEs (Bauer, 2018).

Alguns dos incentivos adotados pela Noruega são: isenção de impostos de VEs sobre a compra e venda de automóveis; estacionamento público gratuito; uso de estradas com pedágio e balsas de forma gratuita; uso de faixas de tráfego de ônibus coletivo; menor valor de impostos anuais comparado à carros a combustão e; carregamento gratuito em grande parte das estações de recarga (Holtmark e Skonhoft, 2014). Uma série de países anunciou recentemente planos para proibir novos carros com motor de combustão interna, e a Noruega pretende a concretização desse plano até 2025 (Velten *et al.*, 2019).

2.2. Dinâmica de Sistemas e Modelo de Difusão de Bass

A Dinâmica de Sistemas (DS) consiste numa técnica de modelagem de simulação para analisar sistemas sociais complexos e oferecer recomendações políticas (Forrester, 1992). Nesse sentido, visa melhorar a compreensão de sistemas complexos e capacitar os tomadores de decisão a selecionar políticas, o que levará a um maior sucesso (Baur e Uriona M, 2018).

Segundo Sterman (2000), os estoques e fluxos são os elementos centrais na DS para representar sistemas complexos. Os estoques são acumulados e, assim, caracterizam o estado do sistema, podendo ser contado ou medido em um instante de tempo, o qual é influenciado por meio dos fluxos, de forma dinâmica, gerando processos de retroalimentação (*feedback*).

Aplicações anteriores da DS na temática do estudo são abundantes, um exemplo é o trabalho de Benvenuti *et al.* (2017), onde a DS foi utilizada para analisar a difusão a longo prazo de veículos movidos a combustíveis alternativos no Brasil. Seguindo a mesma linha em estudos de alternativas à veículos a combustão, Benvenuti *et al.* (2019), analisaram quatro políticas potenciais para a frota de veículos leves, as quais são: eficiência energética, mudança modal e gestão regulatória, renovação de frota e aumento de biocombustível.

Aplicações de simulações foram realizadas também para verificar a influência da composição, quantidade e duração de vida dos veículos de passageiros nos resíduos de veículos em fim de vida na Bélgica (Mohamad-Ali *et al.*, 2017). Ainda há o trabalho de Azmi e Tokai (2017), onde estimou-se o número de VEs e híbridos em fim de vida gerados até 2040 na Malásia.

Somando a utilização da DS, um dos modelos mais comuns para a difusão de inovações é o modelo de Difusão de Bass, o qual possui como premissa a probabilidade de adoção de um produto (ou tecnologia) que dependeria de duas forças ou mecanismos, os quais são considerados independentes um do outro. O primeiro vem de influências externas, como publicidade, sendo dependente do mercado potencial (uma fração dele) e independente do número de adotantes, conhecido como mecanismo de “adoção por inovação”. À medida que o número de adotantes aumenta, o mercado potencial diminui e, conseqüentemente, o mecanismo de “adoção por inovação” perde força. A segunda força ou mecanismo é dependente do número de adotantes anteriores e, portanto, sua contribuição aumenta com o aumento de adotantes, formando um *feedback* positivo, conhecido como “adoção por imitação” (Frank M. Bass, 1969).

Ainda por Frank M. Bass (1969) e Frank M. Bass *et al.* (1994), a equação básica do modelo de Bass descreve a probabilidade de compra inicial no momento T , conforme:

$$P(T) = p + \frac{q}{m} + F(T) \quad (1)$$

A constante p representa a “adoção por inovação” e $\frac{q}{m}$ é a constante formada pelo coeficiente de imitação q e tamanho do mercado potencial m . A divisão representa a “adoção por imitação” dependendo do número de adotantes já existentes, expresso por $F(T)$, no qual representa uma função cumulativa e $f(T)$ é a função de densidade correspondente que leva a reformulação da equação (1) para a equação (2):

$$P(T) = \frac{f(T)}{1-F(T)} = p + \frac{q}{m} G(T) \quad (2)$$

Sterman (2000) afirma que, o comportamento segue rápido no início (taxa de adoção alta) e estável no final (taxa de adoção baixa devido à saturação do mercado), seguindo uma curva S, conforme Figura 1.

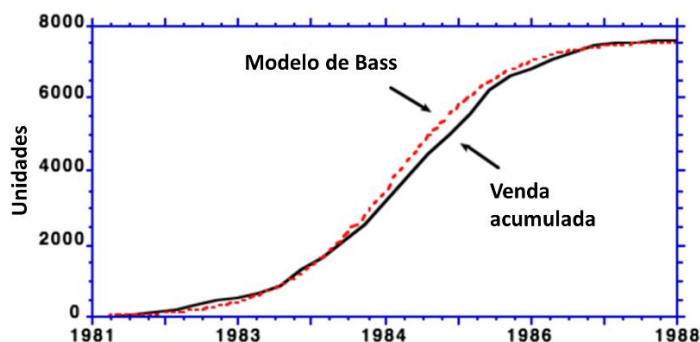


Figura 1: Comparação Modelo de Bass e Vendas acumuladas

Desse modo, tanto imitadores quanto inovadores são compradores iniciais (Baur e Uriona M., 2018). O modelo Bass é uma extensão útil e significativa da logística básica do modelo de difusão de inovação, e é aplicada a uma ampla gama de fenômenos de difusão e crescimento.

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO

O modelo está subdividido em dois setores, sendo que o primeiro corresponde a difusão de VEs na Noruega e os veículos em fim de vida no ano de 2040 e, posteriormente, apresentam-se as opções de gerenciamento de fim de vida para as baterias.

3.1. Difusão de VEs e VEs em fim de vida

Com o incentivo do governo na Noruega, a aquisição e expansão do número de VEs no país é cada vez maior. O modelo de referência para o estudo em questão são dados da (EUROSTAT, 2019), no qual o crescimento dos VEs (tanto puros quanto híbridos) cresceu 51% dentre os anos de 2016 e 2017.

Com o histórico de VEs de 2008 a 2018, simulou-se os valores de p e q que se adequam aos dados históricos e, possivelmente representam o comportamento de futuros cenários (até 2040). De acordo com o Statistics-Norway (2019), o número de carros particulares no país em 2018 foi de 2.768.864 veículos. Diante desse valor, considerando o tempo de análise em 2040 e, seguindo a premissa de que parte desses veículos já são elétricos e de que pode não haver total conversão do uso da tecnologia por parte dos usuários, considerou-se um valor de 1.800.000 para o mercado potencial. A Figura 1 demonstra o resultado da simulação para p e q conforme o mercado potencial dado.

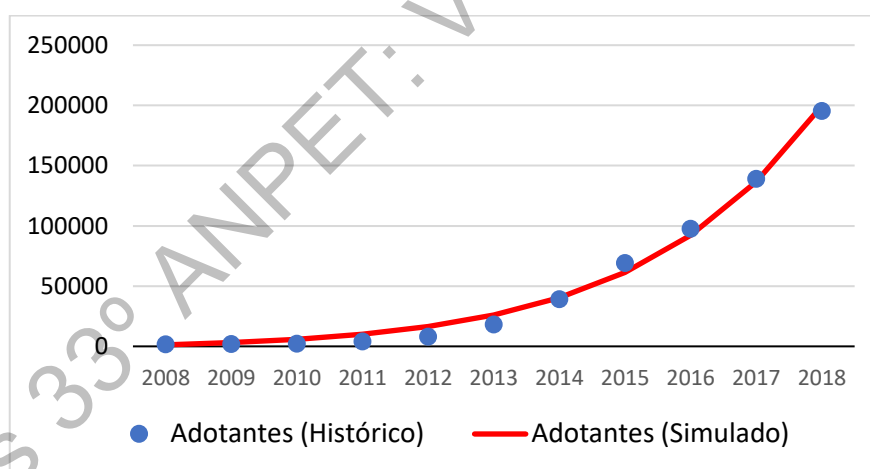


Figura 1: Frota de veículos elétricos na Noruega – simulação p e q

Para o tempo de vida dos veículos considerou-se dados da Statistics-Norway (2019), o qual identifica uma média de 18 anos para o desuso do veículo, ou seja, a cada 18 anos uma bateria é retirada do veículo elétrico. Além disso, deve-se levar em consideração a degradação da bateria, que ocorre quando a bateria atinge cerca de 80% de sua capacidade inicial (Shokrzadeh e Bibeau, 2016), situada em média entre 8 e 10 anos de uso (Ai *et al.*, 2019).

Outro fator a ser levado em consideração após o descarte do veículo é a compra de um novo veículo (nomeado como recompra), onde para o estudo considerou-se que 95% dos usuários adquire um novo veículo. A Tabela 1 apresenta as variáveis utilizadas no primeiro setor do modelo.

Tabela 1: Variáveis inseridas no modelo – Setor 1

Variáveis	Valores	Fonte
Mercado potencial	1.800.000	Statistics-Norway (2019)
Taxa fracional	1%	-
Fator p	0,0005	-
Fator q	0,40	-
Tempo de vida VE	Média de 18 anos	Statistics-Norway (2019)
Idade para troca da bateria	Entre 8 e 10 anos	Ai, Zheng, and Chen (2019b)
Taxa de recompra de VE	95%	-
Adotantes t = 0	1500	-

A simulação da Figura 2, realizada no *software* Stella, ilustra o primeiro setor do modelo elaborado para o estudo.

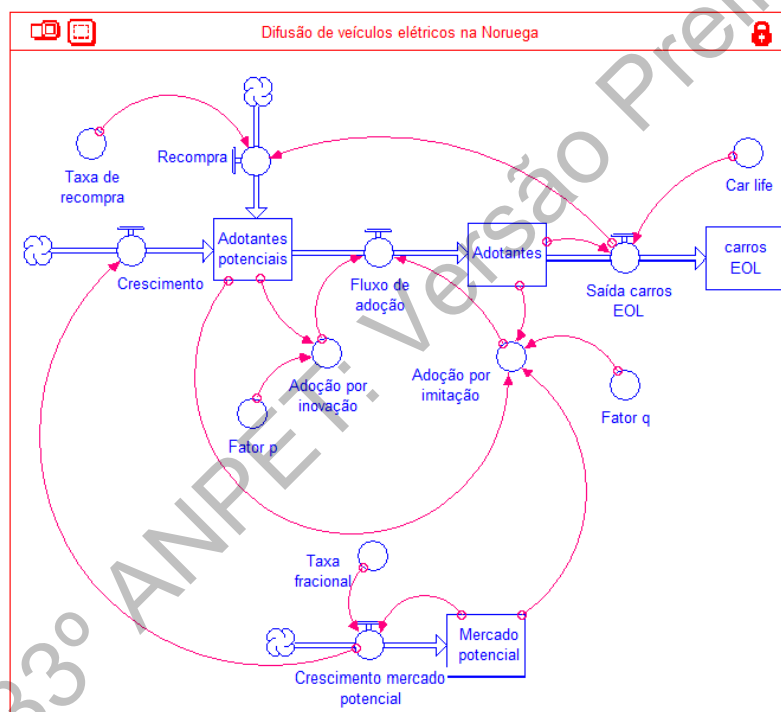


Figura 2: Modelo de difusão de Bass para VEs e VEs em fim de vida

O modelo é constituído de quatro estoques e cinco fluxos. As variáveis endógenas resultantes do modelo é o número de adotantes e o número de VEs em fim de vida na Noruega.

3.2. Baterias em fim de vida

Devido a degradação da bateria quando retirada dos VEs, elas podem ter diferentes opções de caminhos. Para o modelo em estudo, definiram-se as categorias de reciclagem, aterros e outros usos (remanufatura e segundo uso). Ademais, considera-se que uma unidade de veículo elétrico contém uma unidade de bateria, de forma a simplificar o entendimento da simulação.

A indústria de baterias tem crescido exponencialmente nos últimos anos. No entanto, a indústria está atrasada quanto aos métodos de reciclagem, sendo que grande parte são depositadas em aterros (Heelan *et al.*, 2016). Diante disso, o processo de reciclagem é uma estratégia potencial,

tanto para aumentar os suprimentos de matérias-primas e mitigar as flutuações de preços, quanto para eliminar problemas ambientais que podem ocorrer devido a incorreta disposição final dos resíduos (Mayyas *et al.*, 2019).

Para a reciclagem das baterias, comumente são usados três processamentos: mecânico, hidrometalúrgico e pirometalúrgico (Moura Bernardes *et al.*, 2003), que estão agrupados no estoque de reciclagem. Outra opção é o segundo uso como forma de estender a vida útil da bateria, podendo contribuir para o uso comercial, já que a venda de baterias pode oferecer alguma receita aos fabricantes de automóveis e torná-los mais competitivos, bem como retardar a ida da bateria para aterros ou reciclagem (Jiao e Evans, 2016). Após as baterias irem para o segundo uso, seu tempo de vida é de aproximadamente 6 anos (Li *et al.*, 2018). Na sequência ela volta para o ciclo, podendo ser reciclada ou então destinada ao aterro. A Figura 3 apresenta a segunda parte da simulação, que contempla a gestão de resíduos de baterias.

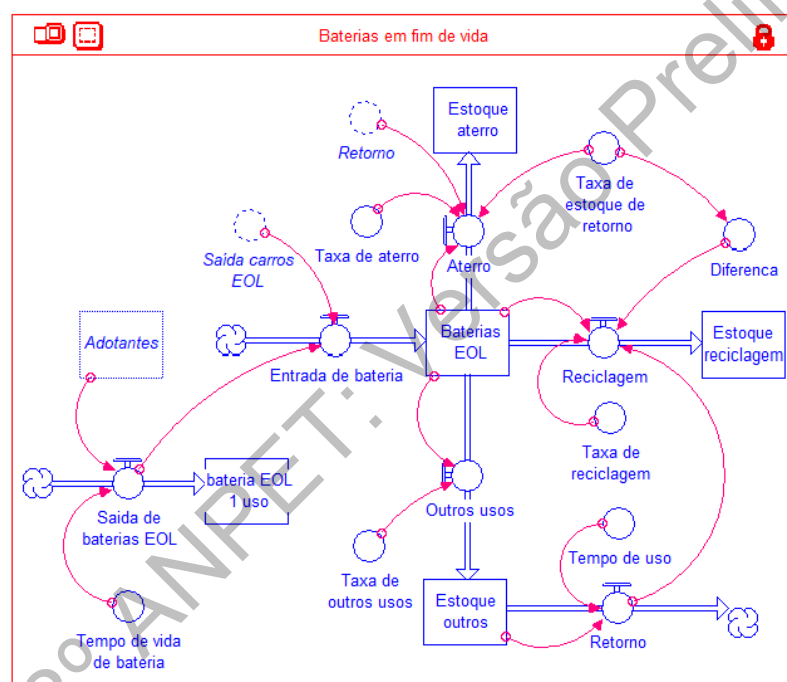


Figura 3: Setor de baterias em fim de vida

O estoque de fim de vida de baterias é abastecido pelo primeiro setor (vindo dos VEs) e pelo tempo de vida útil da bateria, sendo que após isso há mais três estoques: aterro, reciclagem e outros usos, que abrange remanufatura e segundo uso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo foi ajustado para simular o comportamento real do sistema no período de 2008 a 2018. A Figura 4 apresenta a validação do modelo, comparando-o com os valores reais da frota de veículos elétricos ao longo do tempo.

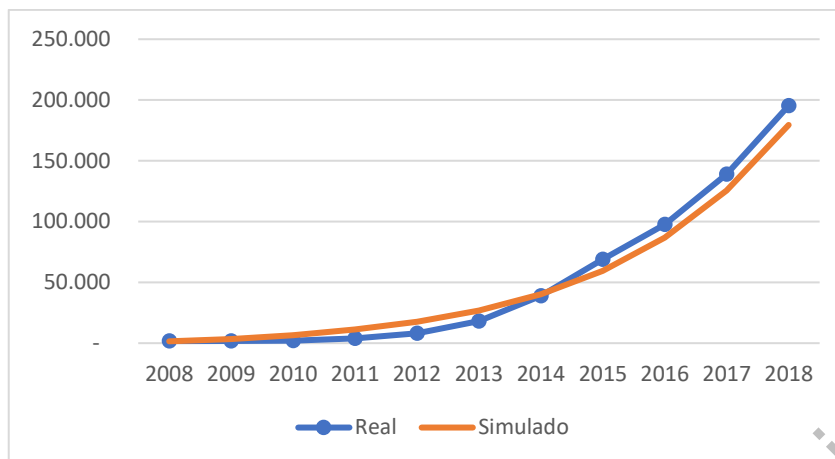


Figura 4: Validação do modelo

Com base nos parâmetros levantados na seção anterior, apresenta-se os resultados da primeira simulação, que se refere à adoção de VEs, conforme Figura 5.

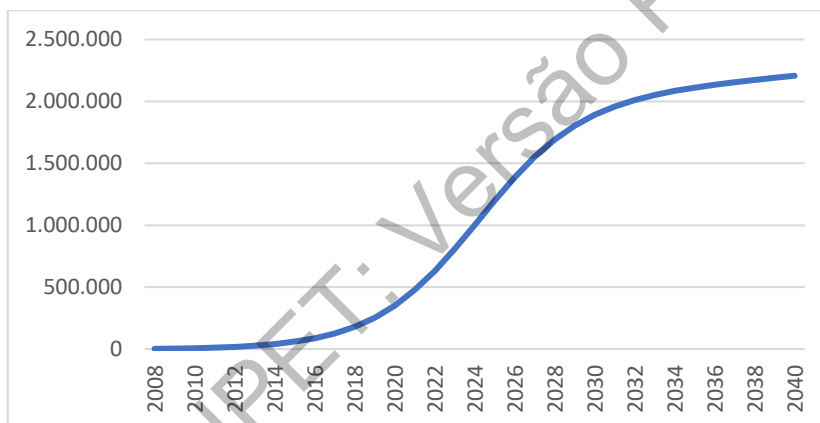


Figura 5: Crescimento da difusão de VEs na Noruega

A adoção de VEs cresce de acordo com a taxa fracional de mercado, passando de 1.691 veículos em 2008 para 2.207.110 em 2040. Este crescimento demonstra a incorporação do aumento de tecnologias e de investimentos aplicados à difusão da mobilidade elétrica, ações que já ocorrem na Noruega. A substituição da frota de veículos à combustão por VEs é um futuro alcançável, já que há a possibilidade de implantação de políticas e regulamentações proibindo a comercialização de veículos à combustão.

A Tabela 2 ilustra os três cenários de mudanças no tempo de vida útil das baterias, com o objetivo de analisar o montante de baterias no fim de vida. O cenário inicial, chamado de C1, é usual, composto por uma vida útil de 8 anos. Posteriormente apresenta-se o cenário C2 que, com avanços da tecnologia, a vida útil é prolongada para 12 anos. Por fim, mostra-se um cenário otimista (C3), no qual a bateria pode chegar até 18 anos de vida útil.

Tabela 2: Cenários para a vida útil de baterias de VEs

Cenários	Vida útil (anos)
C1 (usual)	8
C2	12
C3	18

Diante da simulação realizada, alterando o valor do tempo de vida da bateria, apresenta-se a Figura 6, que mostra os resultados de forma comparativa dos cenários da simulação.

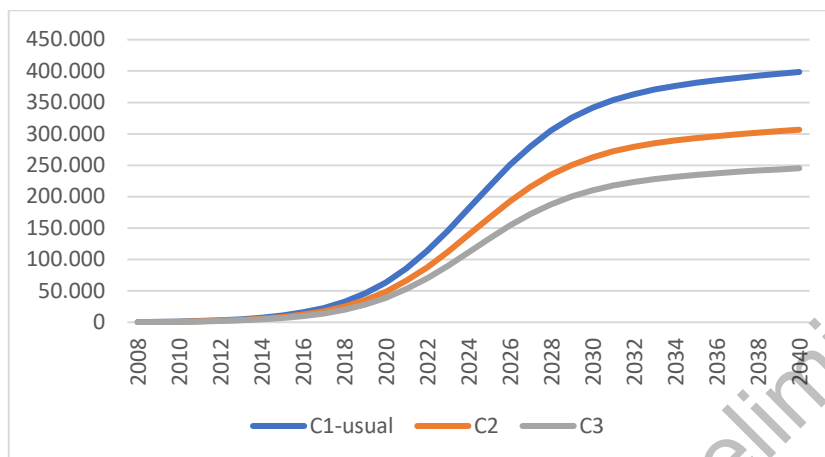


Figura 6: Cenários para aumento da vida útil das baterias e seu fim de vida

De acordo com os resultados do modelo, é possível analisar uma redução de resíduos de baterias no fim de vida em 2040 de 23% para o C2 e de 38% para o C3. Embora o último resultado tenha mais impacto na quantidade, o aumento para 18 anos de vida útil pode trazer impactos na composição das baterias, já que para a melhoria da capacidade, pode ser que mais minérios deverão ser retirados da terra ou então o uso de outros que ainda não foram utilizados ou descobertos. Por outro lado, o C2 aparenta ser mais factível, pois algumas baterias já estão chegando a 10 anos e conforme o usuário faz uso do seu veículo esse valor pode ser ainda maior.

Em seguida, outra simulação foi realizada, que se refere a diferentes formas de gerenciamento de baterias de veículos elétricos no fim de vida. Não se encontraram dados da quantidade de baterias de veículos elétricos que já são reciclados na Noruega. Consta somente na base de dados da EUROSTAT (2019) informações sobre baterias e acumuladores gerenciados como reciclagem, variando entre 440 e 494 toneladas ao ano, dados a partir de 2014 até 2018.

Desse modo, para um comportamento usual, optou-se por assumir que em média 10% desses valores são de baterias recicladas de VEs. Levando em consideração que, em média, uma bateria possui massa de 250 kg (Idjis e da Costa, 2016), dentre os anos de 2014 e 2018, foram recicladas em média 176 baterias. Isso representa, no modelo, uma taxa de 2% ao ano de reciclagem, e 98% de baterias depositadas em aterros. Valor próximo considerado por (Heelan *et al.*, 2016), que afirma que cerca de 95% das baterias de lítio são aterradas no fim de sua vida útil. Na Tabela 3 apresentam-se os cenários propostos para a segunda simulação.

Tabela 3: Cenários para gerenciamento de baterias de VEs no fim de vida

Cenários	Reciclagem	Outros usos	Aterro	2ª Reciclagem	2º Aterro
C4-usual	2%	0	98%	0	0
C5	80%	10%	10%	90%	10%
C6	25%	70%	5%	45%	55%
C7	47%	50%	3%	60%	40%

O cenário C5 considera investimentos e desenvolvimentos de fábricas e tecnologias para a

reciclagem de baterias de VE, num cenário otimista para 2040, onde 80% das baterias são recicladas. Espera-se que tal cenário assemelha-se as baterias de chumbo-ácido, que atualmente possuem uma taxa de reciclagem de aproximadamente 99% (Heelan *et al.*, 2016).

O cenário C6, oposto ao anterior, considera intenso investimento financeiro e formulação de políticas para aplicação das baterias em um segundo uso (70%), de forma a retirar valor econômico para uma nova aplicação e estender o tempo de utilização das baterias. E para o último cenário, C7, considera-se um cenário de equilíbrio, onde há taxas semelhantes de baterias sendo diretamente recicladas depois do primeiro uso ou então sendo utilizadas para segundo uso e após isso recicladas. A Figura 7 mostra os resultados para os cenários elaborados.

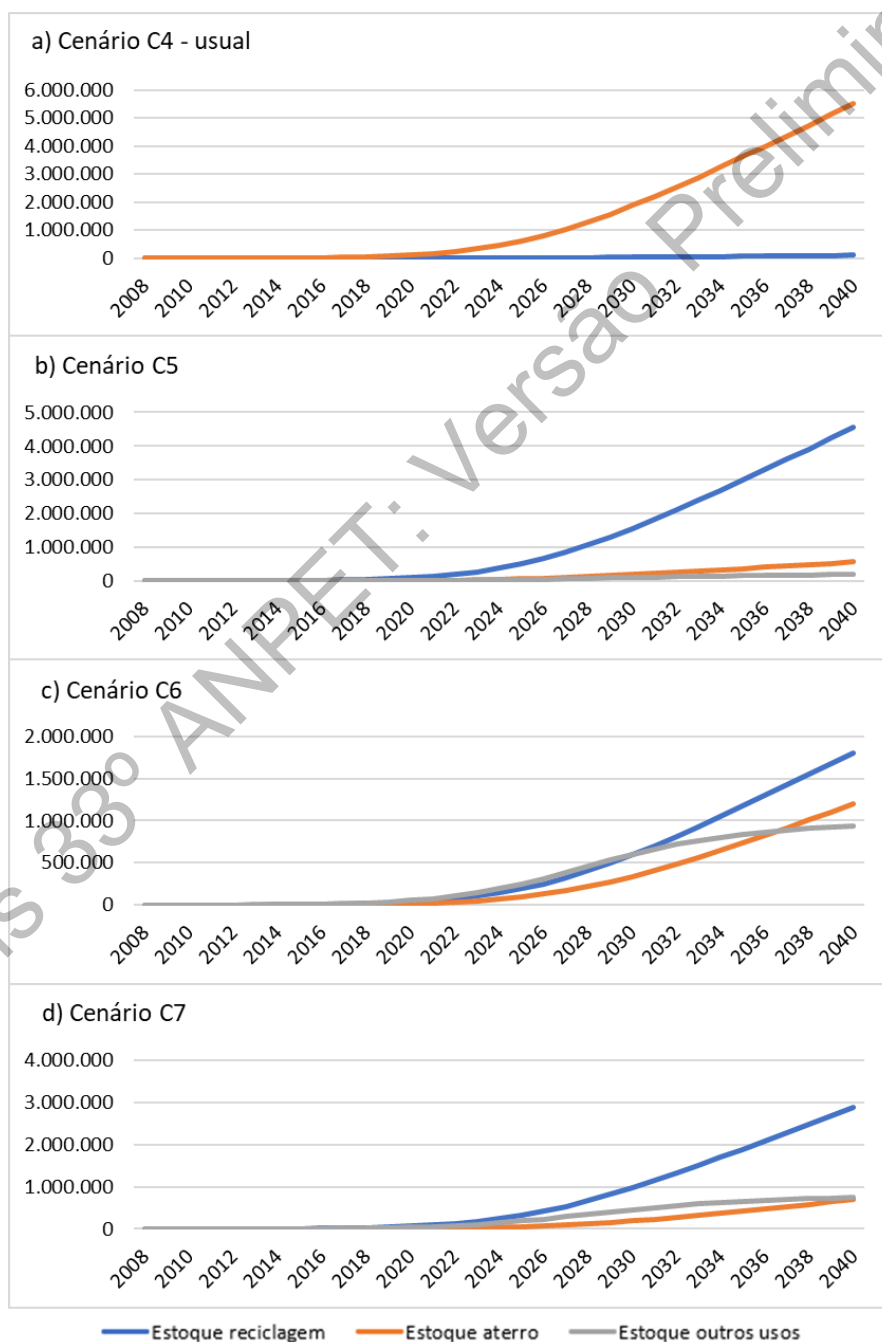


Figura 7: Cenários para gerenciamento de baterias no fim de vida

No cenário C5, onde há altos investimentos em tecnologias de reciclagem, é possível reduzir em 82% o número de baterias que iriam para o aterro, recuperando grandes taxas de cobalto e lítio, minérios importantes e considerados de risco de fornecimento no mundo (Mayyas *et al.*, 2019). Para tanto, tornar real esses valores dependem de grande empenho governamental, de forma a incentivar as empresas a reciclar as baterias de VEs, bem como colaboração das fabricantes de baterias, que devem optar por um *design* que facilite a reciclagem e identificação dos componentes utilizados, tornando assim o processo de reciclagem seguro.

Quando ocorre investimentos em tecnologias para remanufatura e posterior segundo uso das baterias (C6), há uma retardação de baterias no fim de vida devido ao tempo de vida útil adicionado, no entanto, a redução de resíduos de aterros é de apenas 21,8%. Essa baixa redução em comparação ao C5 deve-se as baterias que saem do estoque de segundo uso e vão para o aterro, já que de acordo com o cenário proposto, não houve investimentos em tecnologias e fábricas para reciclagem. Entretanto, o estoque final (2040) do montante de baterias reduz cerca de 30% em relação ao cenário usual.

O último cenário (C7), de aparente equilíbrio, demonstra um montante menor de baterias no fim de vida, com uma redução de aproximadamente 23%. Aliado a isso, há uma redução do número de baterias no estoque de aterro e aumento do estoque de reciclagem, o que representa sucesso no gerenciamento das baterias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira simulação, a qual refere-se ao tempo de vida útil da bateria, demonstra a evolução da tecnologia e como ela impacta no montante de resíduos de baterias até 2040. Conforme há o aumento do tempo de vida, há uma diminuição da quantidade de resíduos, o que mostra ser positivo. No entanto, ressalta-se que no presente estudo não se analisou possíveis impactos subsequentes desses cenários, como por exemplo, a tecnologia a ser empregada, que pode requerer maior quantidade de minérios raros.

No segundo setor em análise, definiu-se possíveis caminhos que as baterias podem seguir após o primeiro uso em veículos. A reciclagem de baterias de VEs é um dos caminhos, que cria um fornecimento alternativo de cobalto e lítio, aumentando assim a sua disponibilidade e segurança de fornecimento, além de evitar que as baterias sejam depositadas em aterros, o qual traz consequências graves ao meio ambiente. Aliada a reciclagem, há a utilização das baterias para segundo uso, necessitando para isso, em alguns casos, de remanufatura, o qual proporciona retorno econômico e prolongamento da vida útil da bateria.

Nas análises realizadas a partir dos cenários, percebe-se a necessidade de equilíbrio nas políticas, tanto para reciclar as baterias, como também remanufaturar e utilizar em um segundo uso.

O artigo apresenta limitações quanto ao número de veículos no fim de vida, o qual não considerou desmanches de veículos antes dos 18 anos de vida, bem como problemas que podem ocorrer tanto em veículos como baterias que, precocemente, geram resíduos. Além disso, não se considerou as diferentes baterias e suas particularidades. Também é necessário deixar exposto que o presente trabalho possui análise macroscópica, não levando em conta aspectos operacionais como características da logística local para o transporte do descarte das baterias e infraestrutura necessária para o descarte, tais limitações podem ocorrer em impactos

significativos no modelo. O mesmo ocorre para efeitos indiretos não relatados aqui.

Para futuras pesquisas, recomenda-se replicar o estudo de forma global, podendo efetuar uma análise da influência dos VEs no estoque de reservas de minérios em risco.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e ao grupo SINERGIA/PPGEP-UFSC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ai, N., Zheng, J., & Chen, W. Q. (2019). U.S. end-of-life electric vehicle batteries: Dynamic inventory modeling and spatial analysis for regional solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, 208-219. doi:10.1016/j.resconrec.2019.01.021
- Azmi, M., & Tokai, A. (2017). Electric vehicle and end-of-life vehicle estimation in Malaysia 2040. *Environment Systems and Decisions*, 37(4), 451-464. doi:10.1007/s10669-017-9647-4
- Bass, F. M. (1969). A new product growth for model consumer durables. *15*(5), 215-227.
- Bass, F. M., Krishnan, T. V., & Jain, D. C. J. M. s. (1994). Why the Bass model fits without decision variables. *13*(3), 203-223.
- Bauer, G. (2018). The impact of battery electric vehicles on vehicle purchase and driving behavior in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 239-258. doi:10.1016/j.trd.2017.12.011
- Baur, L., & Uriona M, M. (2018). Diffusion of photovoltaic technology in Germany: A sustainable success or an illusion driven by guaranteed feed-in tariffs? *Energy*, 150, 289-298. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.104>
- Benvenuti, L. M., Ribeiro, A. B., & Uriona-Maldonado, M. (2017). Long term diffusion dynamics of alternative fuel vehicles in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1571-1585. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.051>
- Benvenuti, L. M., Uriona-Maldonado, M., & Campos, L. M. S. (2019). The impact of CO2 mitigation policies on light vehicle fleet in Brazil. *Energy Policy*, 126, 370-379. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.014>
- Bunsen, T., Cazzola, P., Gorner, M., Paoli, L., Scheffer, S., Schuitmaker, R., . . . Teter, J. (2018). *Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification*. Retrieved from
- COMISSÃO-EUROPEIA. (2019). RELATÓRIO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU, AO COMITÉ DAS REGIÕES E AO BANCO EUROPEU DE INVESTIMENTO sobre a aplicação do Plano de Ação Estratégico para as Baterias: Criação de uma cadeia de valor estratégica das baterias na Europa. *Comissão Europeia, Bruxelas*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0176&from=EN>
- EUROSTAT. (2019). Your key to European statistics. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Feng, S. (2018). System dynamics model for battery recycling of electric vehicles in Anylogic simulation. *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, 5(4), 405-418. doi:10.1504/IJIMS.2018.095260
- Figenbaum, E., Assum, T., & Kolbenstvedt, M. (2015). Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities. *Research in Transportation Economics*, 50, 29-38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.06.004>
- Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2013). *Electromobility in Norway-experiences and opportunities with Electric Vehicles*.
- Forrester, J. W. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59(1), 42-63. doi:[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90006-U](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90006-U)
- Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z., Wang, Q., Chen, M., Apelian, D., & Wang, Y. (2016). Current and Prospective Li-Ion Battery Recycling and Recovery Processes. *Jom*, 68(10), 2632-2638. doi:10.1007/s11837-016-1994-y
- Holtmark, B., & Skonhoft, A. (2014). The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? *Environmental Science & Policy*, 42, 160-168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.006>
- Idjis, H., & da Costa, P. (2016). Is electric vehicles battery recovery a source of cost or profit? In *The Automobile Revolution: Towards a New Electro-Mobility Paradigm* (pp. 117-134): Springer International Publishing.
- Jiao, N., & Evans, S. (2016). Business models for sustainability: the case of second-life electric vehicle batteries. In G. Seliger, H. Kohl, & J. Mallon (Eds.), *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing -*

- Decoupling Growth from Resource Use* (Vol. 40, pp. 250-255).
- Li, L., Dababneh, F., & Zhao, J. (2018). Cost-effective supply chain for electric vehicle battery remanufacturing. *Applied Energy*, 226, 277-286. doi:10.1016/j.apenergy.2018.05.115
- Mayyas, A., Steward, D., & Mann, M. (2019). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 19. doi:10.1016/j.susmat.2018.e00087
- Miedema, J. H., & Moll, H. C. (2013). Lithium availability in the EU27 for battery-driven vehicles: The impact of recycling and substitution on the confrontation between supply and demand until 2050. *Resources Policy*, 38(2), 204-211. doi:10.1016/j.resourpol.2013.01.001
- Mohamad-Ali, N., Ghazilla, R. A. R., Abdul-Rashid, S. H., Sakundarini, N., Ahmad-Yazid, A., & Stephenie, L. (2017). *Development of an end-of-life vehicle recovery model using system dynamics and future research needs*. Paper presented at the International Technical Postgraduate Conference 2017, Tech-Post 2017.
- Moura Bernardes, A., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2003). Collection and recycling of portable batteries: a worldwide overview compared to the Brazilian situation. *Journal of Power Sources*, 124(2), 586-592. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(03\)00810-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(03)00810-3)
- OFV. (2019). I april var hver tredje nye personbil en nullutslippsbil. Retrieved from <https://ofv.no/aktuelt/2019/registreringsstatistikken-for-april>
- Ramoni, M. O., & Zhang, H.-C. (2013). End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries. *Clean Technologies Environmental Policy*, 15(6), 881-891. doi:10.1007/s10098-013-0588-4
- Røstvik, H. N. (2018). The mobility revolution as seen through Norwegian eyes. *Architectural Science Review*, 61(5), 362-366. doi:10.1080/00038628.2018.1502152
- Shokrzadeh, S., & Bibeau, E. (2016). Sustainable integration of intermittent renewable energy and electrified light-duty transportation through repurposing batteries of plug-in electric vehicles. *Energy*, 106, 701-711. doi:10.1016/j.energy.2016.03.016
- Statistics-Norway. (2019). Registered vehicles - Statistikk sentralbyrå. Retrieved from <https://www.ssb.no/en/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar>
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics - Systems Thinking and Modeling for a Complex World*: Mc Graw Hill Higher Education, Boston.
- Velten, E. K., Stoll, T., Meinecke, L., Kreibich, S. C., & Duin, L. (2019). *Measures for the Promotion of Electric Vehicles*. Retrieved from https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2019/3564-foeorderung_von_e-autos-engl-langfassung.pdf