

ESTIMANDO O IMPACTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRÁFEGO URBANO

Marcelo de Souza^{1,2}, Ana Bazzan² e Marcus Ritt²

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Palavras-chave: Veículos elétricos. Alocação de tráfego. Escolha de rotas.

Introdução

Os veículos elétricos são uma alternativa a uma série de problemas ambientais, como a poluição da atmosfera, poluição sonora e escassez de petróleo. Por isso, o poder público oferece benefícios a quem adquire um veículo elétrico, os quais variam desde a redução de impostos até a implantação de pistas e vagas de estacionamento exclusivas. Isso tem popularizado os veículos elétricos e modificado o tráfego das cidades. Frente a este contexto, é importante entender os impactos da inclusão destes veículos em ambientes de tráfego urbano. A presença de veículos elétricos gera uma redução no consumo médio de energia? O tempo de viagem cresce com o aumento desses veículos? Dada a melhoria na eficiência do sistema elétrico destes veículos, qual o retorno em termos de redução no consumo de energia?

Este trabalho propõe a simulação de ambientes de tráfego urbano com veículos convencionais e elétricos, medindo como evolui o consumo de energia e o tempo de viagem de ambos os grupos. Para simular estes ambientes são utilizados métodos de alocação de tráfego, os quais se baseiam em dois componentes: oferta e demanda. A oferta consiste na infraestrutura de tráfego e é representada por um grafo (também chamado de rede), onde os arcos representam as vias e os vértices representam as intersecções entre vias. A demanda consiste nas viagens e é representada por um conjunto de pares origem-destino e o respectivo fluxo de *veículos/hora*. A alocação de tráfego consiste em alocar a demanda na infraestrutura da rede, definindo a forma como os veículos se distribuem. Este trabalho propõe o uso desses métodos considerando o tempo de viagem e o consumo de energia como funções objetivo na determinação da forma como os veículos se distribuem na rede.

Alocação biobjetivo de tráfego para veículos elétricos

Um dos métodos existentes para alocação de tráfego é conhecido como *Successive Averages* (SMOCK, 1962). Este método considera que os motoristas optam pelas rotas com menor tempo de viagem. No entanto, motoristas de veículos elétricos estão preocupados não somente

com o tempo de viagem, mas também com o consumo de energia. Logo, o método não é realista para a alocação de tráfego com veículos elétricos.

A versão multiobjetivo do método (*Multiobjective Successive Averages*) permite adotar múltiplas funções objetivo. Isto é, os motoristas optam pelas rotas que apresentem valores satisfatórios para mais de um aspecto, como tempo de viagem, custo monetário ou distância total (RAITH et al., 2014). No caso dos veículos elétricos, este método foi adotado utilizando os dois objetivos destes motoristas na escolha de rotas: tempo de viagem e consumo de energia. Neste caso, não existe apenas uma melhor rota, pois uma delas pode apresentar um melhor valor para o consumo de energia, enquanto outra apresenta um melhor valor para o tempo de viagem. Logo, é preciso definir uma estratégia para distribuir o fluxo de veículos entre estas rotas. Duas estratégias gulosas são propostas neste trabalho: *Greedy Energy* (GE) e *Greedy Efficiency* (GF). Na estratégia GE, o motorista opta pela rota de menor consumo de energia, cujo tempo de viagem não ultrapasse um dado tempo adicional máximo. Na estratégia GF, o motorista opta pela rota que possua a melhor relação de eficiência, dada pela expressão $(\text{tempo adicional}) / (\text{consumo de energia})$. Ambas as estratégias ainda estão submetidas a uma eficiência mínima aceitável, que poda o espaço de soluções e elimina rotas com um ganho pequeno de energia para um gasto elevado em tempo adicional. O tempo de viagem é dado pela função *Bureau of Public Roads* (BPR, 1964), enquanto o consumo de energia é dado pelo modelo de bateria proposto por Wang et al. (2013). Os parâmetros para as estratégias foram obtidos mediante a aplicação de um questionário com 154 participantes.

Experimentos e resultados

O método proposto foi aplicado a dois cenários reais: Sioux Falls e Anaheim (BAR-GERA e STABLER, 2016). A rede Sioux Falls é uma rede de tamanho pequeno (24 vértices e 76 arcos), enquanto a Anaheim é uma rede de tamanho médio (416 vértices e 914 arcos). A demanda total da rede Sioux Falls é significativamente maior (360.600 contra 104.694,4 veículos/hora), o que a torna uma rede com muito congestionamento, diferente da rede Anaheim. Logo, as duas redes fornecem cenários bastante distintos para as simulações.

Para simular a inclusão de veículos elétricos nestes ambientes, foram executados experimentos com diferentes parcelas de veículos convencionais e elétricos. Veículos convencionais são distribuídos entre as rotas de menor tempo de viagem, enquanto veículos elétricos são distribuídos considerando tanto o tempo de viagem quanto o consumo de energia. A Tabela 1 apresenta os resultados para a rede Sioux Falls. A primeira coluna indica a estratégia utilizada. A segunda coluna indica o percentual de veículos elétricos, enquanto as

demais colunas mostram o tempo de viagem (minutos) e consumo de energia (MJ) para ambas as populações, bem como os valores médios.

Estratégia	% veículos elétricos	Convencionais		Elétricos		Média	
		Tempo	Energia	Tempo	Energia	Tempo	Energia
GE	0	20,77	10,57	-	-	20,77	10,57
GE	20	20,94	10,80	21,37	2,03	21,03	9,05
GE	50	21,34	11,31	22,13	2,05	21,73	6,68
GE	80	21,79	11,87	22,74	2,09	22,55	4,05
GE	100	-	-	22,96	2,13	22,96	2,13
GF	0	20,77	10,57	-	-	20,77	10,57
GF	20	20,87	10,82	21,16	2,06	20,93	9,07
GF	50	20,99	11,28	21,44	2,08	21,22	6,68
GF	80	21,08	12,09	21,63	2,13	21,52	4,12
GF	100	-	-	21,62	2,18	21,62	2,18

Tabela 1: Resultados para a rede Sioux Falls

Com a inclusão e o aumento de veículos elétricos no cenário estudado, o consumo médio de energia cai, dada a busca pela economia de energia destes veículos. O tempo médio de viagem sobe, uma vez que rotas com menor consumo de energia possuem velocidade menor. Com o crescimento da população de veículos elétricos, o consumo de energia deste grupo aumenta. Isso é explicado pelo aumento da competição por rotas com menor consumo de energia, aumentando seu congestionamento e forçando-os a tomar rotas menos econômicas. O impacto sofrido pelos veículos convencionais também é negativo, pois seu tempo de viagem cresce, uma vez que o desvio de rotas dos veículos elétricos congestionam aquelas utilizadas pelos veículos convencionais.

Estratégia	% veículos elétricos	Convencionais		Elétricos		Média	
		Tempo	Energia	Tempo	Energia	Tempo	Energia
GE	0	13,56	38,53	-	-	13,56	38,53
GE	20	13,49	38,66	13,71	7,67	13,53	32,46
GE	50	13,36	38,81	13,61	7,69	13,49	23,25
GE	80	13,28	38,94	13,54	7,71	13,48	13,96
GE	100	-	-	13,51	7,72	13,51	7,72
GF	0	13,56	38,53	-	-	13,56	38,53
GF	20	13,51	38,63	13,62	7,72	13,54	32,45
GF	50	13,43	38,75	13,55	7,74	13,49	23,25
GF	80	13,35	38,83	13,49	7,75	13,46	13,97
GF	100	-	-	13,46	7,76	13,46	7,76

Tabela 2: Resultados para a rede Anaheim

A Tabela 2 apresenta os resultados para a rede Anaheim. Os mesmos efeitos no consumo de energia são observados neste cenário. Porém, dada a diferença no nível de congestionamento em relação à rede Sioux Falls, os resultados em tempo de viagem são diferentes. Ou seja, a escolha de rotas dos veículos convencionais distribui melhor o fluxo de veículos, beneficiando o tempo de viagem de todos eles.

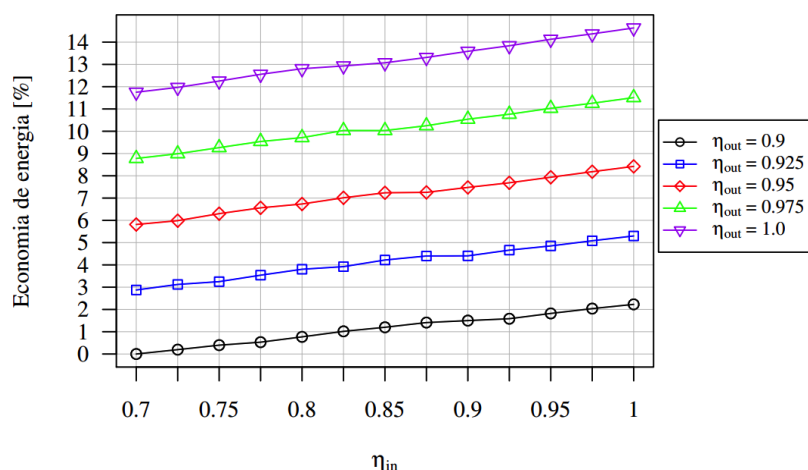


Figura 1: Energia economizada com o aumento da eficiência de veículos elétricos

Para medir o retorno de investimentos na melhoria do sistema elétrico, foram executados experimentos com valores elevados de eficiência. Assim, os veículos consomem menos energia para se mover e conseguem armazenar mais energia na recuperação. A economia de energia resultante deste cenário está representada na Figura 1. Percebe-se que a melhoria na eficiência de entrada (η_{in}) pode reduzir até 3% o consumo de energia, enquanto a redução é de até 12,5% com melhorias na eficiência de saída (η_{out}). Um cenário ideal, com melhorias em ambas eficiências, pode produzir uma economia de até 15,5%.

Considerações finais

O método proposto neste trabalho permite a simulação de ambientes de tráfego com veículos elétricos. Estes motoristas escolhem suas rotas não somente em função do tempo de viagem, mas também considerando o consumo de energia, o que o torna uma abordagem mais realista. Com os experimentos realizados, foi possível identificar o impacto dos veículos elétricos no tráfego urbano. Um impacto positivo foi observado no consumo de energia, com uma queda de até 80%. Em cenários congestionados, a presença de veículos elétricos piora o tempo de viagem. Já em ambientes sem congestionamento, uma melhor distribuição dos veículos foi atingida, o que diminuiu o tempo de viagem. Com a melhoria do sistema elétrico, uma economia de até 15,5% pode ser atingida. Em um cenário realista, com uma melhora de 5% na eficiência de entrada e 2,5% na eficiência de saída, é possível obter uma economia de 3,2%

de energia. Esta economia equivale a 366GJ para o cenário da Sioux Falls com 50% de veículos elétricos. Ou seja, o investimento para uma melhoria razoável na eficiência destes veículos gera um retorno alto em termos de economia de energia.

Referências

BPR – Bureau of Public Roads. **Traffic assignment manual**. US Department of Commerce, 1964.

RAITH, A.; WANG, J. Y.; EHRGOTT, M.; MITCHELL, S. A. **Solving multi-objective traffic assignment**. Annals of Operations Research, Springer, v. 222, n. 1, p. 483–516, 2014.

WANG, Y.; JIANG, J.; MU, T. **Context-aware and energy-driven route optimization for fully electric vehicles via crowdsourcing**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, IEEE, v. 14, n. 3, p. 1331–1345, 2013.

SMOCK, R. **An iterative assignment approach to capacity restraint on arterial networks**. Highway Research Board Bulletin, n. 347, 1962.

B A R - G E R A , H . , S T A B L E R , B . **Transportation networks**. 2016 .
<<https://github.com/bstabler/TransportationNetworks>>. Acessado: 22/07/2016.