

Control-e

Sistema de gerenciamento térmico de baterias em ônibus elétricos

Alunos: Bruna Loesch (bruna.loesch98@gmail.com) – Caetano David – Eduardo Avi – Henrique Naim – Lucas de Abreu – Lucius Assis – Marcos Dias – Matheus Amorim – Nuno Lamas

Orientador: Fabio Delatore - fdelatore@fei.edu.br

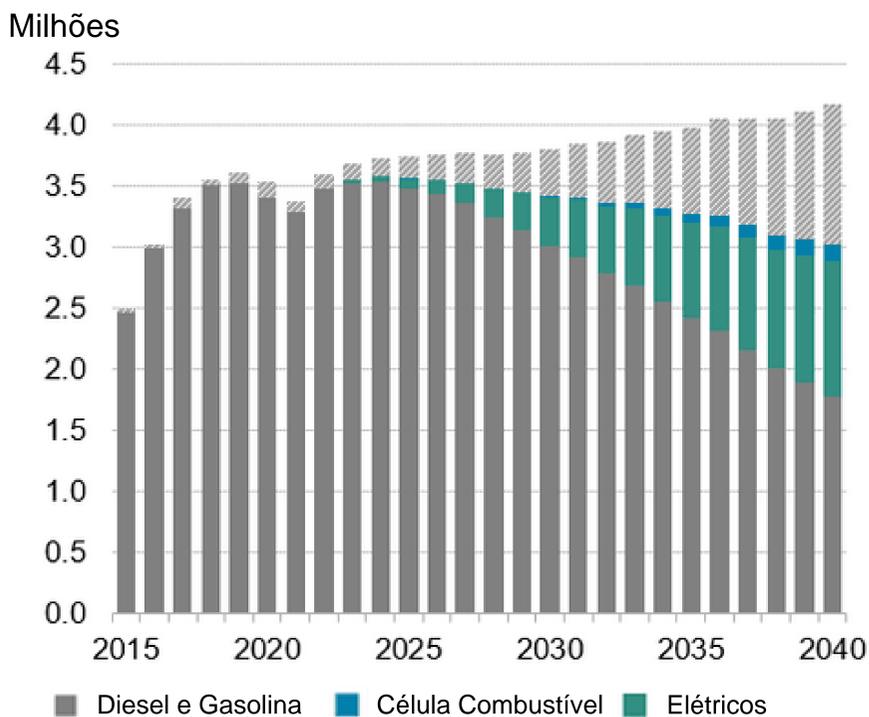
Resumo

O projeto Control-e desenvolve um sistema completo de arrefecimento para baterias em ônibus elétricos urbanos, de forma a limitar a temperatura máxima de funcionamento das células em 40 °C e, de acordo com os modelos veicular, dinâmico e de uso propostos, uma vida útil entre 12 e 14 anos, reduzindo o intervalo de troca das células, custo agregado ao produto e o descarte do conjunto, tornando o produto elétrico em si mais sustentável em uma análise de emissões totais (*Cradle to Grave*).

Contextualização

Entende-se que, com a demanda crescente de veículos elétricos no mercado mundial, devido a motivos como sustentabilidade, eficiência energética e emissões totais, ocorrerá um período de alta demanda para fabricação e substituição de baterias para tais veículos elétricos, cuja produção gera emissões significativas em si.

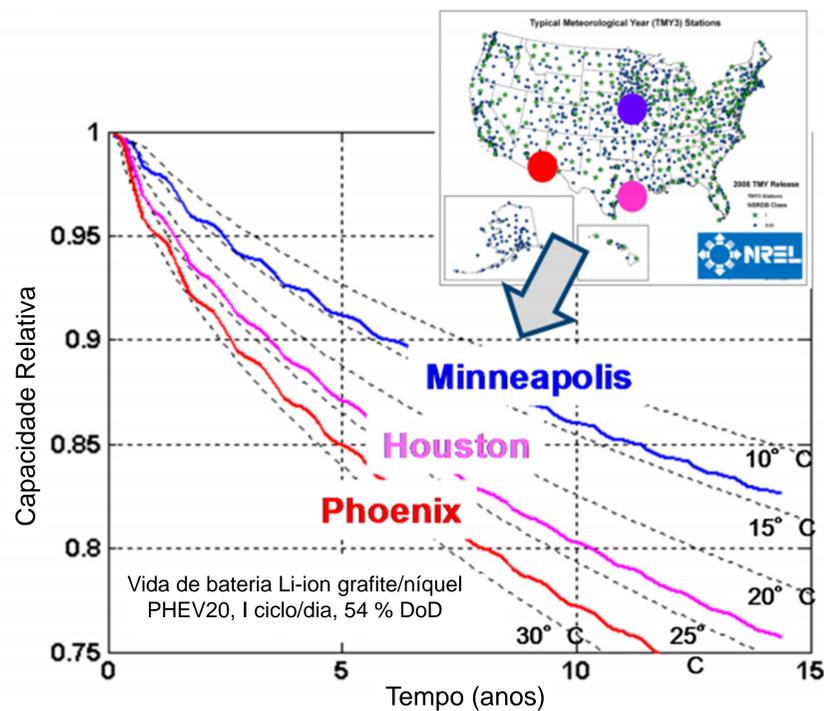
Veículos Comerciais de Trabalho Pesado



Fonte: Adaptado de Bloomberg NEF, 2018.

A degradação e consequente troca destes conjuntos é associada à alta temperatura de funcionamento, uma vez que a perda de capacidade é diretamente associada a tal, como comprovado cientificamente através de múltiplos estudos.

Contextualização



Fonte: Adaptado de National Renewable Energy Laboratory, 2013.

Sendo assim, para reduzir tais intervalos de troca, bem como manter uma segurança geral do veículo e melhorar o *business case* da aquisição de veículos comerciais elétricos, motiva-se o uso de sistemas de arrefecimento ativo, de forma a refrigerar as células do pacote de baterias e permitindo seu trabalho em uma faixa de temperaturas ideal. O target do projeto foi definido de forma a possibilitar uma vida útil de 10 anos (2018), período em que a SP Trans limita a vida de seus veículos na Cidade de São Paulo.

Problema



Os ônibus elétricos urbanos têm a vida útil do conjunto de baterias reduzida, quando atingem temperaturas inadequadas durante o funcionamento.

Propósito

Aumentar a vida útil do pacote de baterias ao manter sua temperatura dentro da condição ideal de funcionamento, entre 15 e 40 °C.



Control-e

Sistema de gerenciamento térmico de baterias em ônibus elétricos

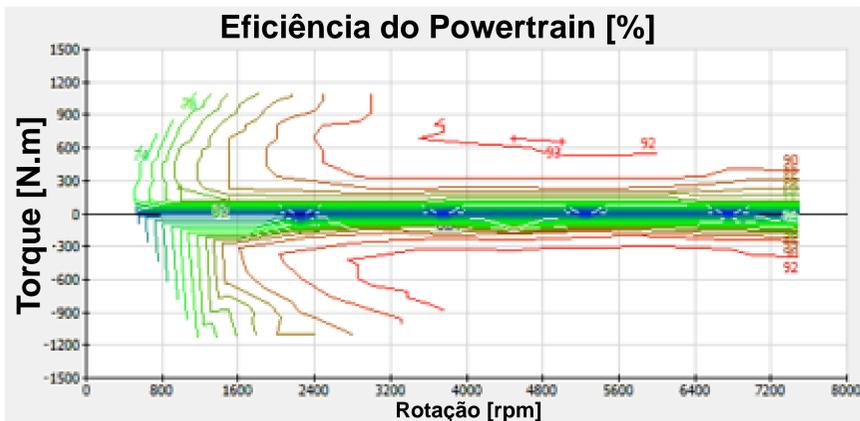
Alunos: Bruna Loesch (bruna.loesch98@gmail.com) – Caetano David – Eduardo Avi – Henrique Naim – Lucas de Abreu – Lucius Assis – Marcos Dias – Matheus Amorim – Nuno Lamas

Orientador: Fabio Delatore - fdelatore@fei.edu.br

Metodologia de Cálculo

Para início do desenvolvimento do produto, faz-se necessário entender a taxa de geração de calor proveniente do pacote de baterias. Para tal, estabelece-se um modelo veicular padrão, de um ônibus urbano, com as características:

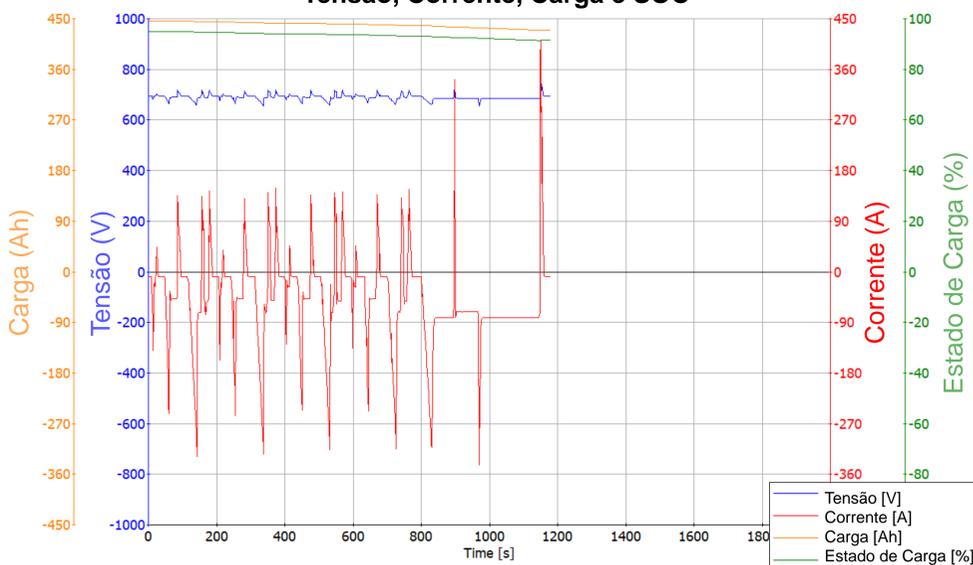
- Máquina elétrica de 300 kW;
- Pacote de Baterias 300 kWh/468 Ah 200s123p;
- 24.600 células de 3,2 V @ 3,8 A;
- Tensão do motor 640 V;
- Torque máximo do motor 1.100 N.m (curva);
- Redução fixa de 25:1;
- Mapa de eficiência *Powertrain*;
- Peso carregado – 20,3 ton;
- Área frontal 8m² / Entre eixos 6.150 mm;
- Balanço dianteiro 2.590 mm.



Fonte: Autores, AVL Cruise, 2021.

Através de tal configuração e de ciclos NEDC padrão, é possível levantar gráficos de demanda energética para o modelo veicular.

Tensão, Corrente, Carga e SOC



Fonte: Autores, AVL Cruise, 2021.

Metodologia de Cálculo

Após o entendimento da taxa de descarga do veículo, comparando a variação de carga em função do tempo, pode-se correlacionar tal parâmetro à geração de calor volumétrica proveniente dos módulos, através da referência:

Geração de calor em baterias usando LiFePO ₄ and LiMnNiCoO ₂ como materiais de catodo.		
Condições Operacionais	Taxa de Corrente	Geração volumétrica média de calor em W L ⁻¹
Recarga @ 25°C	0,5 C	3,55
Descarga @ 40°C	0,2 C	0,66
Descarga @ 25°C	0,2 C	0,74
	0,5 C	3,96
	1C	11,18
	2C	15,57

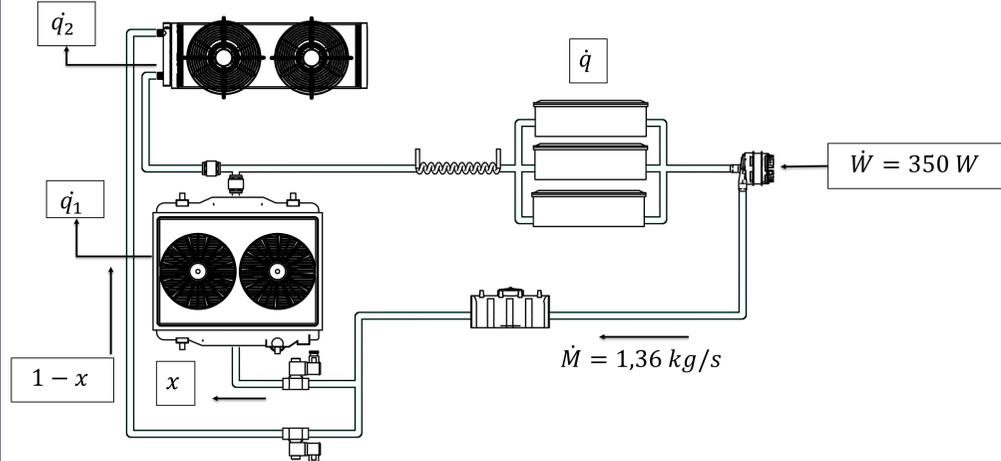
Fonte: Adaptado de Lin, Xu, Liu, 2018.

O cálculo de degradação em si depende da temperatura de funcionamento do pacote e segue a equação abaixo.

$$\theta^{CYC} = A \cdot \exp \left[\frac{-31700 + 370.3 \times (I^{CELL} / C^{CELL})}{R_{GAS} \cdot T^{CELL}} \right] (\phi^{AH,TH})^{0.55}$$

Fonte: Wang et al, 2011.

Através do volume do pacote de baterias especificado, obtém-se os valores de 562 W gerados durante a descarga, e 9366 W durante a recarga (considerada à taxa de 1 C, para recarga em uma hora completa). Especifica-se o sistema através do diagrama abaixo, em que o radiador escolhido é utilizado exclusivamente durante descargas em temperatura externa inferior a 30 °C, o ar-condicionado é utilizado durante descargas em temperatura externa superior a 30 °C e ambos os mecanismos são utilizados durante a recarga, sendo as frações de vazão mássica variáveis em função da temperatura externa.



Fonte: Autores, 2021

Control-e

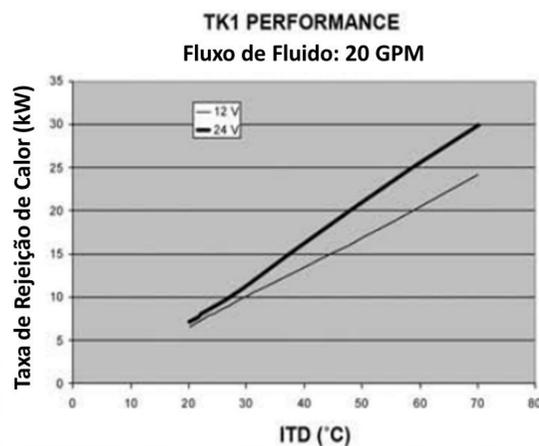
Sistema de gerenciamento térmico de baterias em ônibus elétricos

Alunos: Bruna Loesch (bruna.loesch98@gmail.com) – Caetano David – Eduardo Avi – Henrique Naim – Lucas de Abreu – Lucius Assis – Marcos Dias – Matheus Amorim – Nuno Lamas

Orientador: Fabio Delatore - fdelatore@fei.edu.br

Dimensionamento do Sistema Térmico

Os sistemas de troca térmica foram projetados para a condição de troca térmica máxima. A rejeição de calor proveniente do radiador segue a curva especificada pelo fabricante:



Fonte: Adaptado de EMP, 2021.

Sendo assim, para a troca térmica máxima, levando em consideração a temperatura ambiente (contemplada no parâmetro ITD, sendo esta a diferença entre temperatura de saída e temperatura ambiente), levanta-se a equação e curva abaixo, para cálculo da fração mássica destinada ao ar-condicionado durante a recarga, situação mais crítica:

$$x = \left(\frac{15}{42} \cdot (33 - T_{ext}) - 0,7149 \right) \frac{1}{1,36 \cdot 3,26 \cdot 2}$$

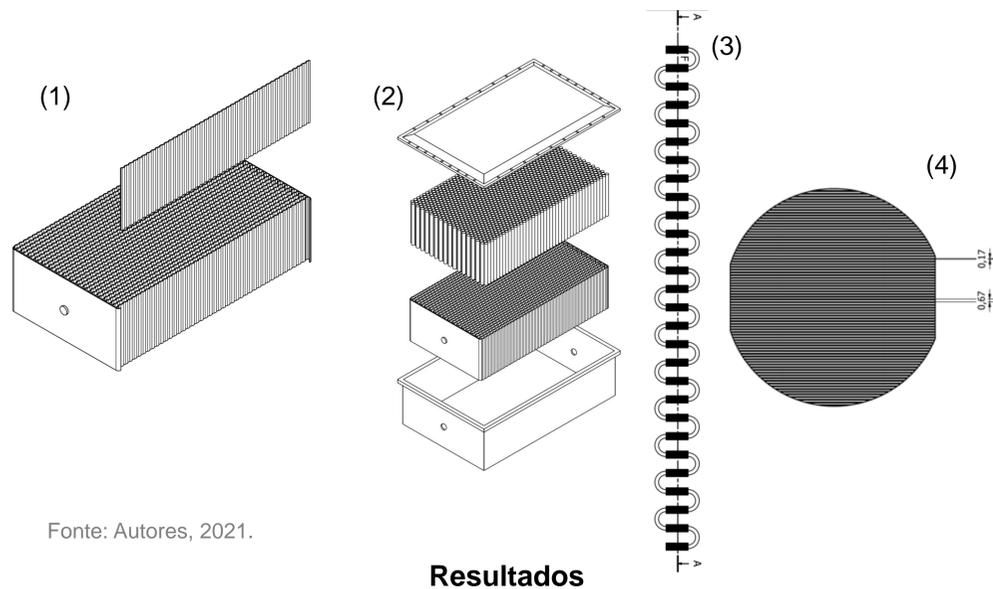
Fonte: Autores, 2021.

Assim, para a condição mais crítica, dimensiona-se o trocador de calor entre fluido e saída do ar condicionado, estimando todos os coeficientes de troca térmica com base nos materiais, velocidade do fluido de arrefecimento, velocidade do ar e propriedades de ambos os fluidos, resultando em uma serpentina com 6286 aletas anelares e 69,5 m² de área para troca térmica.

Componentes do Sistema Térmico

Sendo assim, apresenta-se os componentes dimensionados, como sendo as serpentinhas para troca térmica nos módulos de baterias (1), os módulos em si (2) e a serpentina para troca térmica com o ar-condicionado do veículo (3), bem como seu detalhe (4).

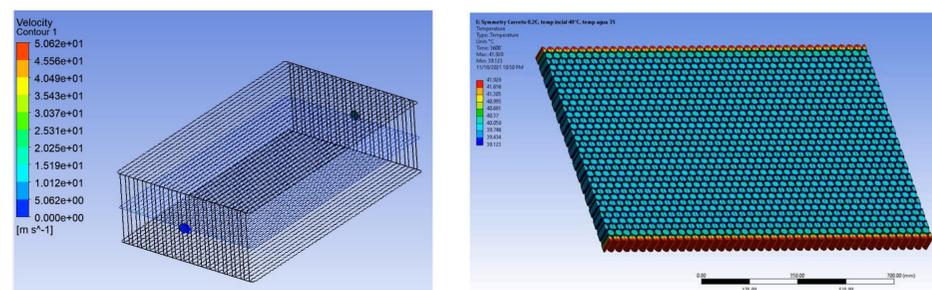
Componentes do Sistema Térmico



Fonte: Autores, 2021.

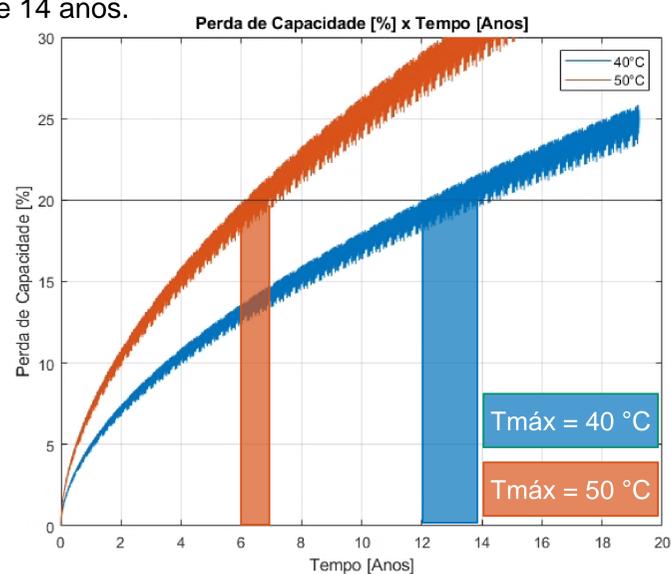
Resultados

As simulações térmicas e hidráulicas realizadas nos componentes mencionados são apresentadas nas figuras abaixo. Através de sua análise, comprova-se a ordem de grandeza dos cálculos efetuados, dando confiabilidade ao projeto.



Fonte: Autores, 2021.

Finalmente, após todas as considerações realizadas, obtém-se um ganho de 100 % na vida útil das baterias quando compara-se a um modelo com temperatura constante de 50 °C, tendo um resultado de vida entre 12 e 14 anos.



Para mais informações, acesse:



Site Oficial