

ANÁLISE TÉCNICO-CIENTÍFICA DE BATERIAS DE TRAÇÃO E SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS (BMS) APLICADOS A KARTS ELÉTRICOS: MODELOS CONCEITUAIS PARA COMPETIÇÃO E LAZER

Igor Walker Smaniotto¹, Gabriel Vidotto Neves², João Gabriel Ribeiro Damian³
Vlademir de Jesus Silva Oliveira⁴, Guilherme Braga do Vale⁵, Giovane Maia do Vale⁶

¹ Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Engenharia Elétrica, Sinop, Brasil (igor.smaniotto@unemat.br)

^{2,3,4,6} Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Engenharia Elétrica, Sinop, Brasil

⁵ Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, Brasil

Resumo: Neste trabalho se apresenta o estudo, análise e detalhamento técnico-científico de baterias de tração e sistemas de gerenciamento (*Battery Management System* - BMS) aplicados a veículos elétricos do tipo kart. Por revisão bibliográfica sistemática e dimensionamento analítico, foram comparados dois modelos conceituais: kart de competição - ideal (28 kW) e kart recreativo - possível (10 kW). Os resultados indicaram que a seleção integrada deve considerar autonomia, massa, custo e segurança térmica.

Palavras-chave: veículos elétricos; baterias de tração; BMS; kart elétrico; modelos conceituais.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por mobilidade sustentável tem posicionado os veículos elétricos (VEs) como protagonistas da transição energética global. Segundo a International Energy Agency (IEA, 2023), o estoque global de VEs ultrapassou 40 milhões de unidades em 2023, com perspectivas de crescimento exponencial impulsionadas por políticas de descarbonização e reduções superiores a 90% nos custos de baterias de íons de lítio desde 2010. As baterias de tração e os sistemas de gerenciamento (*Battery Management System* – BMS) emergem como elementos estruturantes do desempenho, da segurança e da viabilidade econômica dos VEs.

Entre as tecnologias de armazenamento, as baterias de íons de lítio consolidaram-se como solução predominante no mercado, em virtude da elevada densidade energética, baixa autodescarga e eficiência em distintos regimes de carga e descarga (Nagaura e Tozawa, 1990; Goodenough e Kim, 2010). As principais químicas — LFP, NMC e NCA — apresentam equilíbrios distintos entre densidade energética, vida útil, estabilidade térmica e custo. Por sua vez, o BMS monitora SoC (*State of Charge* ou Estado de Carga), SoH (*State of Health* ou Estado de

Saúde), equilíbrio entre células e gerenciamento térmico, impactando diretamente a segurança operacional (He et al., 2011).

Diante deste cenário, karts elétricos têm se consolidado como plataformas privilegiadas de pesquisa em engenharia elétrica por concentrarem, em sistemas compactos, os desafios típicos de VEs de maior porte. A FIA (Federação Internacional de Automobilismo) regulamentou a categoria e-Karting Sênior em outubro de 2025, estabelecendo potência de 28 kW e tensão de 60 V (FIA, 2025). Em paralelo, o mercado recreativo demanda soluções como as do Sodi RSX2 (ERKC, 2025), que é um kart elétrico de última geração produzido pela firma Sodikart. A distinção entre "veículo ideal" e "veículo possível", abordada neste trabalho, constitui o eixo metodológico relevante para a construção de critérios de decisão em engenharia (Larminie e Lowry, 2003).

Os objetivos da pesquisa foram: (I) revisar as principais tecnologias de baterias de tração para karts elétricos; (II) apresentar fundamentos e arquiteturas de BMS; (III) dimensionar analiticamente os pacotes de dois modelos conceituais; e (IV) discutir as implicações técnicas, econômicas e operacionais das soluções propostas.

MATERIAL E MÉTODOS

A seguir se apresenta do delineamento metodológico e seus pormenores, previstos na realização da pesquisa.

2.1 Abordagem Metodológica

Esta pesquisa é de natureza aplicada, com caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e dimensionamento analítico. O processo compreende: (I) Revisão no Scopus, Web of Science e IEEE Xplore; (II) Levantamento de regulamentos técnicos (FIA, 2025); (III) dimensionamento do pacote de baterias por equações consolidadas; e (IV) comparação dos modelos por indicadores técnicos e econômicos.

2.2 Definição dos Modelos e Requisitos de Potência

Para o kart de competição (modelo ideal) adotou-se a potência de 28 kW e a tensão de 60 V conforme FIA (2025). Para o kart recreativo (modelo possível), tomou-se o Sodi RSX2 como referência: potência de 10 kW, tensão de 48 V, capacidade de armazenamento de carga de 86 Ah e autonomia de ~60 min (ERKC, 2025). Cada segmento impõe filosofias de projeto distintas em todos os subsistemas, indo desde a seleção química das células à arquitetura do BMS, passando pelo gerenciamento térmico.

2.3 Seleção das Tecnologias de Células

A seleção de tecnologias de células foi multicritério, tendo se observando: (a) Densidade energética (Wh/kg); (b) Densidade de potência (W/kg); (c) Estabilidade térmica; (d) Vida útil em ciclos; (e) Custo por kWh; (f) Compatibilidade com a tensão de sistema.

Tabela 1. Comparativo técnico entre as principais químicas de células de íons de lítio.

Parâmetro	LFP	NMC	NCA	Referência
Dens. energ. (Wh/kg)	90–160	50–260	200–260	Nitta et al. (2015)
Tensão nominal (V)	3,2	3,6–3,7	3,6–3,7	Zhang et al. (2021)
Vida útil (ciclos)	> 3K	1K–2K	500–1.5K	IEA (2023)
Estab. térmica	Excelente	Boa	Moderada	Büchner et al. (2018)
Custo rel. (R\$/kWh)	Baixo	Médio	Alto	Büchner et al. (2018)

Considerando o comparativo apresentado na Tabela 1, para o kart de competição selecionou-se células NMC 21700 (200 – 260 Wh/kg), que possuem alta taxa de descarga e atingem ~42% mais capacidade de

armazenamento que o formato 18650 (Zhang et al., 2021).

Para o modelo recreativo, optou-se por células LFP prismáticas, que suportam mais que 3.000 ciclos, e possuem menor custo (Nitta et al., 2015).

2.4 Dimensionamento do Pacote de Baterias

Nas subseções que seguem, se descreve o dimensionamento e a disposição das células do pacote de baterias.

2.4.1 Estimativa da Energia Total Necessária

A energia total necessária do pacote (E_{total}) para o funcionamento adequado do veículo é calculada conforme Calligaris e Janzen (2021):

$$E_{total} = P \times t \times f_s \quad (1)$$

Onde:

- P é a potência nominal ou taxa de consumo do equipamento dada em W ou kW ;
- t é o tempo de uso do equipamento, em horas;
- f_s é o fator de serviço.

Para o kart de competição se tem: $P = 28 kW$, $t \approx 8$ min (0,13 hrs), $f_s = 1,20$. Logo a energia total necessária para o funcionamento adequado do veículo é $E_{total} = 4,368 Wh$.

Por sua vez, para o kart recreativo, tem-se: $P = 10 kW$, $t \approx 20$ min (0,33 hrs) e $f_s = 0,75$. Neste caso, a energia total deve ser de $E_{total} = 2,5 Wh$.

2.4.2 Número de Células em Série

O número de células conectadas em série ($N_{série}$) é dado por:

$$N_{série} = \frac{V_{sistema}}{V_{célula}} \quad (2)$$

Onde:

- $V_{sistema}$ é a tensão desejada para o sistema;
- $V_{célula}$ é a tensão nominal de cada célula.

Para o kart de competição, considerando as células NMC, tem-se que a quantidade de células ligadas em série será de aproximadamente 17 ($N_{série} = 60/3,7 \approx 17$). Assim, a tensão do pacote será de cerca de 62,9 V (i.e. $V_{pacote} = 62,9 V$).

Considerando que, o kart recreativo utiliza células LFP, tem-se que a quantidade de células ligadas em série será 15 ($N_{série} = 48/3,2 = 15$). Logo, a tensão do pacote será de 48 V (i.e. $V_{pacote} = 48,0 V$).

2.4.3 Número de Células em Paralelo

Visando atender a demanda de energia e corrente do sistema, efetuou-se cálculos relativos às ligações de

células em paralelo. As condições energéticas e de corrente são dadas, respectivamente, por:

○ **Demanda de Energia**

$$N_{paralelo(E)} = \frac{\frac{E_{total}}{V_{pacote}}}{C_{célula}} \quad (3)$$

Onde:

- $N_{paralelo(E)}$ é a quantidade de fileiras (*strings*) de células ligadas em paralelo;
- E_{total} é a energia total necessária (em *Wh*) ou a capacidade total exigida pelo sistema.
- V_{pacote} é a tensão nominal de operação do pacote/banco de baterias (em *V*).
- $C_{célula}$ é a capacidade unitária da célula de bateria individual (em *Ah* ou *Wh*).

○ **Demanda de Potência**

$$N_{paralelo(I)} = \frac{\frac{P}{V_{pacote}}}{I_{célula}} \quad (4)$$

Onde:

- $N_{paralelo(I)}$ é o número de fileiras (*strings*) de células ligadas em paralelo, considerando a restrição de corrente;
- P é a potência nominal ou taxa de consumo do equipamento dada em *W* ou *kW*;
- V_{pacote} é a tensão nominal de operação do pacote/banco de baterias (em *V*);
- $I_{célula}$ é a corrente nominal ou de descarga fornecida por uma única célula (ou bateria individual);

Assim, para o kart de competição, adotando-se a corrente nominal da célula NMC 21700 de $I_{célula} = 50 \text{ A}$ (taxa de 10 *C* sobre capacidade de 5,0 *Ah*), obtém-se $N_{paralelo(I)} = 28.000 / (62,9 \times 50) \approx 9$. Contudo, adotou-se $N_{paralelo(I)} = 5$ por três razões técnicas: (I) Os 28 *kW* representam a potência de pico e não sustentada, sendo a demanda média real significativamente menor; (II) Células NMC 21700 suportam até 20 *C* em regime de *burst*, compatível com os 100 *A/célula* de pico verificados (Zhang et al., 2021); e (III) A redução de 153 para 85 células representa economia de aproximadamente 4,8 kg — fator crítico em kartismo, onde incrementos de massa impactam diretamente a aceleração. O resultado é um perfil robusto de 250 *A* contínuos e 500 *A* de pico, compatível com inversores de competição. Já para o kart recreativo, adotando-se $I_{célula} = 45 \text{ A}$ (taxa de 15 *C* sobre capacidade de 3,0 *Ah* da célula LFP), obtém-se $N_{paralelo(I)} = 10.000 / (48,0 \times 45) \approx 5$ (condição de corrente).

Diante destes resultados, as configurações ficaram 17s5p (85 células NMC) e 15s5p (75 células LFP). Ou seja, para o kart de competição tem-se 17 células NMC ligadas em série multiplicadas por 5 conjunto de células ligados em paralelo e, para o kart recreativo, tem-se 15 células LFP ligadas em série multiplicadas por 5 conjunto de células ligados em paralelo.

2.4.4 Modelagem de Descarga segundo Shepherd

O comportamento dinâmico da tensão em função da corrente, da capacidade e do estado de carga, foi modelado pela equação de Shepherd (1965):

$$V_{bat} = V_0 - K \cdot \frac{C}{(C - it)} \cdot it - R \cdot I + A \cdot e^{-B \cdot it} - K \cdot \frac{C}{(C - it)} \cdot I^* \quad (5)$$

Onde:

- V_0 é a tensão de circuito aberto;
- K é a constante de polarização;
- C é a capacidade nominal;
- it é a carga extraída;
- A, B são parâmetros exponenciais;
- R é a resistência interna;
- I^* é a corrente filtrada.

2.5 Especificação do BMS

Para o kart de competição adotou-se a arquitetura distribuída com microcontroladores locais, comunicação por meio de protocolo CAN (*Controller Area Network*) e balanceamento ativo (Zhang et al., 2021). Para o kart recreativo optou-se por arquitetura modular com balanceamento passivo. Em ambos os veículos o BMS monitora tensão de célula (NMC: 2,5 – 4,2 *V*; LFP: 2,5 – 3,65 *V*), temperatura (20 – 40 °C) e SoC (20–90%). A estimativa de SoC por *Coulomb Counting* foi complementada por Filtro de Kalman Estendido (EKF) no modelo de competição (He et al., 2011; Plett, 2004).

2.6 Gerenciamento Térmico

A dissipação de calor por célula é estimada por meio equação (6), que se destina ao cálculo da taxa de geração de calor (ou potência térmica).

$$Q_{célula} = I_{célula}^2 \times \frac{R}{N_{total}} \quad (6)$$

Onde:

- $Q_{célula}$ é a quantidade de calor gerada por cada célula;
- $I_{célula}$ é a corrente na célula;
- R é a resistência total no banco de baterias;
- N_{total} é o número total de células.

Considerando, para o kart de competição, $I_{célula} = 20\text{ A}$, $R = 20\text{ m}\Omega$ e $N_{total} = 85$, chegou-se a $Q_{célula} \approx 0,59\text{ W/célula}$ (ou $\sim 50\text{ W}$ totais).

Diante do valor obtido, verificou-se aplicável o uso de resfriamento líquido com placas de alumínio e etilenoglicol, prevenindo o *Thermal Runaway* (Silva et al., 2020).

Para o kart recreativo, foram considerados os valores: $I_{célula} = 42\text{ A}$, $R = 5\text{ m}\Omega$ e $N_{total} = 75$. Logo, chegou-se a $Q_{célula} \approx 0,12\text{ W/célula}$ (ou $\sim 9\text{ W}$ totais). Assim, optou-se por arrefecimento via ventilação forçada.

Em ambos os veículos, sensores termistores NTC (*Negative Temperature Coefficient*) fornecem leituras ao BMS, que aciona, se necessário, o resfriamento via algoritmo Proporcional-Integral (PI). A Tabela 2 consolida o dimensionamento.

Tabela 2. Resumo comparativo do dimensionamento dos dois modelos de kart elétrico.

	Kart Ideal (Competição)	Kart Possível (Recreativo)
Potência nominal (kW)	28	10
Tensão do sistema (V)	60	48
Corrente cont. do sistema (A)	250	208
Química das células	NMC 21700	LFP prismática
Tensão nominal célula (V)	3,7	3,2
Capacidade da célula (Ah)	5,0	3,0
Energia total (kWh)	4,0	2,5
Config. série × paralelo	17s5p	15s5p
Total de células	85	75
Tensão do pacote (V)	62,9	48,0
Capacidade do pacote (Ah)	25,0	15,0
Gerenciamento térmico	Refrig. líquido	Ventilação forçada
Arquitetura de BMS	Distribuída (CAN)	Modular
Autonomia estimada (min)	~20	~30–45

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise aqui apresentada é estruturada em cinco eixos:

- (I) Caracterização das tecnologias de células;
- (II) Dimensionamentos e curvas de descarga;
- (III) Análise térmica;
- (IV) Arquiteturas de BMS; e
- (V) Análise integrada e limitações.

Nas seções que seguem, os resultados, análises e discussões são apresentadas.

3.1 Caracterização Comparativa das Tecnologias

Os dados da Tabela 1 e o Diagrama de Ragone (Figura 1) evidenciam a relação fundamental entre densidade energética e densidade de potência. As células NMC e NCA ($150 - 260\text{ Wh/kg}$) são compatíveis com sessões intensas de corrida. Por outro lado, as células LFP ($90 - 160\text{ Wh/kg}$) combinam estabilidade térmica e vida útil maior que 3.000 ciclos, que são atributos críticos e necessários para a operação contínua em kartódromos (Nitta et al., 2015; Tarascon e Armand, 2001).

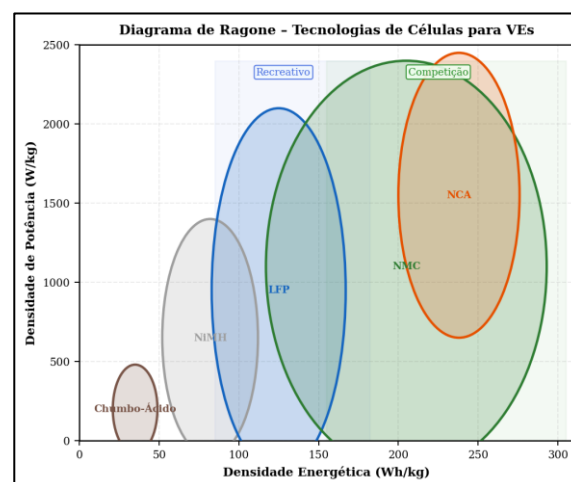


Figura 1. Diagrama de Ragone — tecnologias de células de íons de lítio. Fonte: elaborado pelo autor a partir de Nitta et al. (2015), Zhang et al. (2021), IEA (2023) e Büchner et al. (2018).

Na Figura 1, as zonas coloridas indicam faixas de densidade energética × densidade de potência adequadas ao kart de competição - ideal (verde) - e ao recreativo - possível (azul) (Nitta et al., 2015; Zhang et al., 2021; IEA, 2023; Büchner et al., 2018).

A superioridade energética do NMC implica maior complexidade no gerenciamento térmico e custo mais elevado. As células 21700 têm energia por célula $\sim 42\%$ superior ao formato 18650 (Zhang et al., 2021). As células LFP prismáticas oferecem maior aproveitamento volumétrico e tolerância térmica (Pesaran et al., 2013). A vida útil superior a 3.000 ciclos da célula LFP representa uma vantagem operacional expressiva para kartódromos com

carregamento diário (~300 ciclos/ano), podendo superar 10 anos de uso.

3.2 Dimensionamentos e Comportamento de Descarga

As configurações 17s5p (NMC) e 15s5p (LFP) atendem os requisitos elétricos de cada modelo (Tabela 2). Para o kart de competição, a condição de corrente ($N_{paralelo(I)} \approx 9$) é mais restritiva; a adoção de 5 ramais com regime de *burst* é compatível com inversores que operam com picos de 500 A. Para o kart recreativo, $N_{paralelo(I)} = 5$ é diretamente determinado pela condição de corrente.

A capacidade do pacote LFP (15,0 Ah $\times$ 48,0 V = 2,5 kWh) resulta em uma autonomia de 30 – 45 min em cruzeiro. Esta autonomia está coerente com o mercado, considerando que o Sodi RSX2 opera por 60 min com 4,1 kWh, implicando consumo médio de ~4,1 kW (ERKC, 2025).

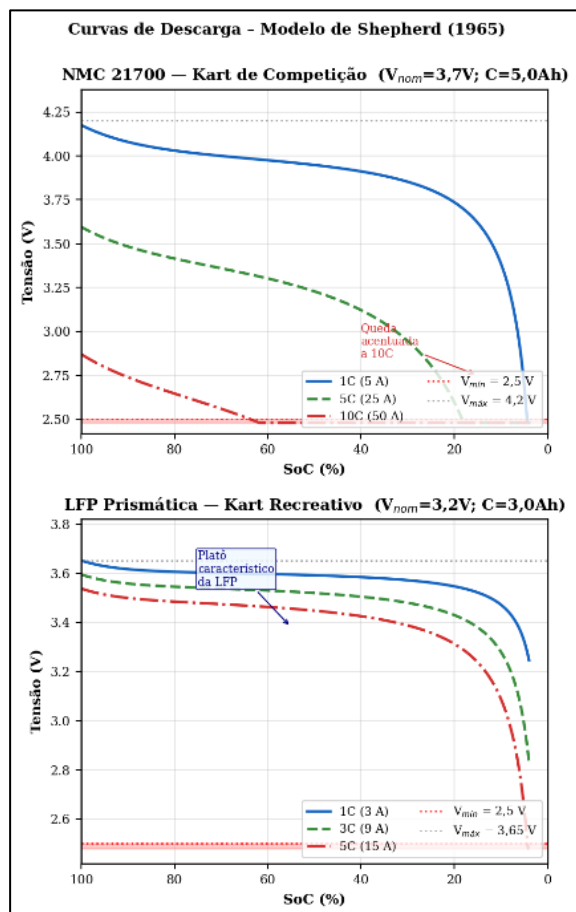


Figura 2. Curvas de descarga — Modelo de Shepherd (1965) - Superior: NMC 21700. Inferior: LFP prismática. Eixo x invertido: de SoC=100% (esquerda) a 0% (direita). Fonte: elaborado pelo autor a partir de Shepherd (1965), Zhang et al. (2021) e Nitta et al. (2015).

As curvas de descarga (Figura 2) confirmam comportamentos distintos para ambas as baterias. Para

células NMC, a queda de tensão acentua-se em taxas de 5C e 10C, reforçando a necessidade de controle preciso de corrente pelo BMS. O platô de tensão característico da LFP favorece a estimativa de SoC por contagem coulométrica em regime moderado, onde erros de integração são menores (Chen e Rincon-Mora, 2006). A queda abrupta ao final do ciclo é capturada pelos parâmetros A e B da Equação 5 e constitui o principal sinal de alerta para desconexão protetiva pelo BMS.

3.3 Análise Térmica e Gerenciamento do Calor

A análise térmica (Figura 3) quantifica a distinção entre os sistemas de resfriamento. A dissipação de 0,59 W/célula NMC totaliza ~50,2 W no pacote de 85 células — nível incompatível com ventilação convencional. O fenômeno de *Thermal Runaway*, acelerado acima de 60 °C em células NMC (Spotnitz e Franklin, 2003), torna o resfriamento líquido uma necessidade técnica. Para o kart recreativo, 0,12 W/célula (~9 W totais) é compatível com ventilação forçada.

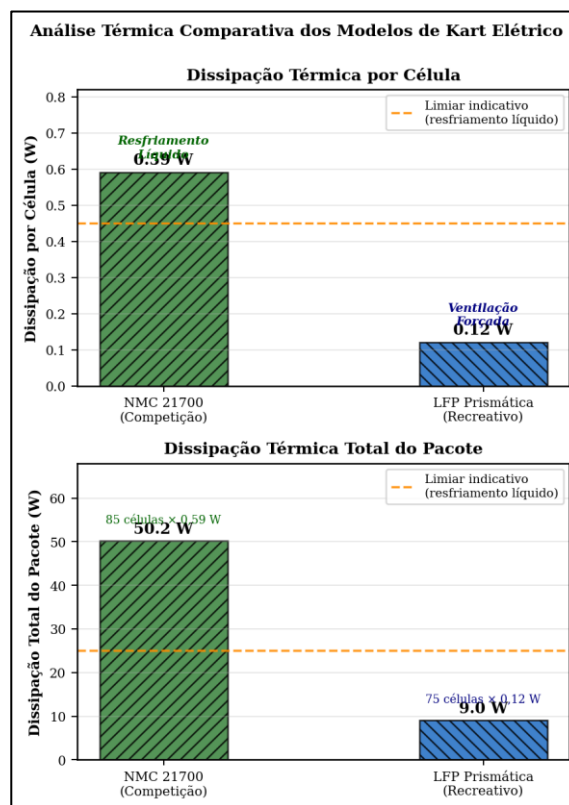


Figura 3. Análise térmica comparativa. Gráfico superior: dissipação por célula (W). Gráfico inferior: dissipação total do pacote (W). Linha tracejada: limiar indicativo para resfriamento líquido. Fonte: elaborado pelo autor a partir de Silva et al. (2020), Spotnitz e Franklin (2003), Zhang et al. (2021) e Nitta et al. (2015).

A diferença de uma ordem de grandeza reflete tanto as resistências internas distintas (20 mΩ NMC vs. 5 mΩ LFP) quanto os perfis de uso. Materiais de mudança

de fase (PCM) representam uma alternativa emergente de gerenciamento passivo para situações intermediárias (Pesaran et al., 2013).

3.4 Arquiteturas de BMS: Análise Comparativa

A arquitetura distribuída com CAN e balanceamento ativo pode recuperar 2–5% da energia que seria dissipada por balanceamento passivo (Zhang et al., 2021). O EKF compensa variações bruscas de corrente em alta dinâmica, onde a contagem coulométrica simples acumula erros relevantes (Plett, 2004). Algoritmos de aprendizado de máquina para estimativa preditiva de SoH representam tendência crescente na literatura (Hu et al., 2019; Zhang et al., 2018).

A Tabela 3 sintetiza os parâmetros dos BMSs previstos para ambos os modelos de kart elétricos.

Tabela 3. Comparativo entre as arquiteturas de BMS dos dois modelos de kart elétrico.

Parâmetro	Kart Competição	Kart Recreativo
Arquitetura	Distribuída	Modular
Protocolo	CAN	I ² C / SPI
Estimativa de SoC	Coulomb Cnt. + EKF	Coulomb Counting
Balanceamento	Ativo (DC-DC)	Passivo (resistores)
Tensão monit. (V)	2,5–4,2 (NMC)	2,5–3,65 (LFP)
Temperatura (°C)	20–40	20–45
Resfriamento	Algoritmo PI via BMS	Sensor NTC automático
Previsão RUL	Modelo exp. + EKF	Contagem de ciclos
Complexidade	Alta	Baixa
Custo relativo	Alto	Médio-Baixo

3.5 Análise Integrada e Limitações

A distinção entre "kart ideal" e "kart possível" não é meramente econômica: ela reflete diferentes filosofias de projeto com implicações em cascata sobre cada subsistema. O modelo ideal maximiza o desempenho dinâmico com células NMC, BMS distribuído e resfriamento líquido. O modelo possível otimiza custo-benefício com células LFP, BMS modular e ventilação forçada — solução otimizada para um conjunto diferente de restrições, críticas para projetos acadêmicos com orçamento limitado.

Do ponto de vista ambiental, as células LFP dispensam cobalto (extração com impactos socioambientais severos) e apresentam maior

facilidade de reaproveitamento em aplicações estacionárias de segunda vida (Tarascon e Armand, 2001). A validação experimental dos modelos — medições de SoC, temperatura e corrente em condições reais com variações de temperatura e degradação ao longo de ciclos — é etapa indispensável para implementação dos protótipos.

CONCLUSÃO

No presente trabalho se realizou a análise técnico-científica de baterias de tração e BMS aplicados a karts elétricos mediante revisão bibliográfica e dimensionamento analítico de dois modelos conceituais distintos: o kart de competição (ideal) e o kart recreativo (possível).

Os resultados mostraram que:

- (I) Células NMC 21700 (200–260 Wh/kg) são adequadas ao kart de competição e células LFP prismáticas (>3.000 ciclos e excelente estabilidade térmica) atendem o kart recreativo;
- (II) As configurações 17s5p (4,0 kWh) e 15s5p (2,5 kWh) são compatíveis com os requisitos de cada segmento;
- (III) A dissipação de uma ordem de grandeza maior no NMC (0,59 W/célula vs. 0,12 W LFP) justifica sistemas de resfriamento distintos;
- (IV) As arquiteturas de BMS distintas — distribuída com EKF para o modelo ideal e modular com balanceamento passivo para o modelo possível — refletem os diferentes requisitos técnicos e econômicos de cada modelo.

Como trabalhos futuros recomenda-se: (a) A construção e instrumentação dos protótipos para validação experimental; (b) O desenvolvimento de algoritmos preditivos de BMS baseados em aprendizado de máquina para a estimativa de SoH; e (c) A investigação de PCM - *Phase Change Material* (ou Material de Mudança de Fase) para gerenciamento térmico passivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNEMAT, UNICAMP e à FAPEMAT pelo apoio financeiro por meio das bolsas PROBIC (Edital N° 009/2025 – UNEMAT/PRPPG) e ao Orientador Prof. Dr. Giovane Maia do Vale pelo acompanhamento e apoio técnico e científico.

REFERÊNCIAS

- BÜCHNER, T. et al. Comparative study of lithium-ion battery technologies for electric vehicle applications. *Journal of Energy Storage*, v. 18, p. 1-10, 2018.



- CALLIGARIS, L. B.; JANZEN, F. C. Introdução ao dimensionamento de um banco de baterias para um veículo Fórmula SAE elétrico. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 1-15, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n3-761.
- CHEN, M.; RINCÓN-MORA, G. A. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, v. 21, n. 2, p. 504-511, 2006.
- ERKC – EUROPEAN RACING KART CHAMPIONSHIP. Electric kart specifications: Sodi RSX2 technical data. 2025.
- FIA – FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE. FIA e-Karting Senior Technical Regulations. 2025.
- GOODENOUGH, J. B.; KIM, Y. Challenges for rechargeable Li batteries. *Chemistry of Materials*, v. 22, n. 3, p. 587-603, 2010.
- HE, H. et al. State-of-charge estimation of the lithium-ion battery using an adaptive extended Kalman filter based on an improved Thevenin model. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 60, n. 4, p. 1461-1469, 2011.
- HU, X. et al. Battery lifetime prognostics. *Joule*, v. 4, n. 2, p. 310-346, 2019.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global EV Outlook 2023: Trends in batteries. Paris, 2023.
- LARMINIE, J.; LOWRY, J. Electric Vehicle Technology Explained. Chichester: Wiley, 2003.
- NAGAURA, T.; TOZAWA, K. Lithium ion rechargeable battery. *Progress in Batteries and Solar Cells*, v. 9, p. 209-217, 1990.
- NITTA, N. et al. Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, v. 18, n. 5, p. 252-264, 2015.
- PESARAN, A. A. et al. Tools for designing thermal management of batteries in electric drive vehicles. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2013.
- PLETT, G. L. Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs – Part 1. Background. *Journal of Power Sources*, v. 134, n. 2, p. 252-261, 2004.
- SHEPHERD, C. M. Design of primary and secondary cells: II. An equation describing battery discharge. *Journal of the Electrochemical Society*, v. 112, n. 7, p. 657-664, 1965.
- SILVA, C. M. da et al. Thermal behavior of lithium-ion batteries: aging, heat generation, thermal management and failure. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 120, p. 109-123, 2020.
- SPOTNITZ, R.; FRANKLIN, J. Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells. *Journal of Power Sources*, v. 113, n. 1, p. 81-100, 2003.
- TARASCON, J. M.; ARMAND, M. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, v. 414, p. 359-367, 2001.
- ZHANG, H. et al. An improved unscented particle filter approach for lithium-ion battery remaining useful life prediction. *Microelectronics Reliability*, v. 81, p. 288-298, 2018.
- ZHANG, R. et al. Study on the characteristics of a high capacity nickel manganese cobalt oxide (NMC) lithium-ion battery – an experimental investigation. *eTransportation*, v. 10, p. 100105, 2021.