

Mobilidade elétrica

Por: Vitor Torquato Arioli, Aghatta Moreira, Maria de Fatima Rosolem, Raul Beck, Thiago Nascimento, Marcelo Camboim, Jonathan Moura, Thomas Santana Nunes, Riciéri Pessinatti Ohashi, Felipe Lima dos Reis Marques, Wagner Rezende Cano, Gisele da Silva Oliveira, Camila Omae*

Capítulo V

Projeto Second Life – reuso de baterias de veículos elétricos em nova aplicação

INTRODUÇÃO

O setor de transportes é responsável por um quarto das emissões globais de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), metano e óxido nitroso [1]. Como consequência, é inegável que iniciativas globais de descarbonização devam se pautar na adoção de meios de transporte mais sustentáveis em detrimento à dependência de combustíveis fósseis. Em conformidade com esta necessidade, estima-se que até o ano de 2030, a frota de veículos elétricos (VEs) no mundo atinja 145 milhões de unidades, representando, portanto, 7% da frota total de veículos em circulação [2]. Esta tendência é impulsionada por uma série de circunstâncias, dentre as quais é possível citar imposição de metas de eliminação de veículos tradicionais (com motor de combustão interna) por diversos países, como a China, União Europeia e Estados Unidos, além da tendência de queda nos preços das baterias de íons de lítio e o maior acesso às infraestruturas de recarga [3]. Atrélado a isso, o custo final dos VEs continua decrescendo, tornando sua aquisição comparável à de um veículo à combustão interna, o que sustenta o crescimento exponencial deste mercado.

A química de bateria mais utilizada atualmente para a composição de VEs é a de lítio-íon (LiBs) devido à sua alta densidade de energia (de 200 a 250 Wh/kg) e elevada vida cíclica. No entanto, estas baterias degradam durante sua utilização nos veículos, resultado de dois fenômenos de envelhecimento diferentes, que na prática ocorrem em combinação, chamados de Calendar Aging e Cycling Aging. Devido a estes mecanismos de degradação, após serem utilizadas em veículos elétricos por períodos de cerca de 8 a 10 anos, as LiBs não são mais capazes de fornecer os requisitos

mínimos necessários de autonomia e aceleração necessários, dessa forma, atingem o fim de sua vida útil nesta aplicação – precisando ser substituídas por novas. Por esse motivo, mesmo sob estimativas otimistas, é esperado que 3,4 milhões de kgs de LiBs previamente utilizadas em VEs sejam despejadas em aterros sanitários até o ano de 2040 [4].

Ao serem retiradas dos VEs, é estimado que as baterias ainda contenham cerca de 70-80% de sua capacidade nominal de armazenamento disponível [5], o que é suficiente para que elas sejam reutilizadas em novas aplicações menos exigentes em termos de potência e energia – este conceito é chamado second-life, sendo uma alternativa para melhor aproveitamento de todo o valor atrelado a estas unidades, precedendo os processos de reciclagem. Em conformidade com esta tendência, os sistemas de armazenamento de energia com baterias (BESS – Battery Energy Storage System) estarão com alta demanda nos próximos anos, tendo em vista uma maior incorporação de Recursos Energéticos Distribuídos à rede elétrica. Assim, endereçar estas baterias retiradas de VEs uma segunda vida é benéfico não só do ponto de vista econômico, como também auxiliará a reduzir a demanda global por baterias para BESS e reduzindo também desperdícios, o que é extremamente relevante tendo em vista a necessidade crescente de extração de materiais para produção de novas baterias.

Neste contexto, o projeto pioneiro de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “CPFL Second-life” (código RD PD-00063-3061/2019), em execução no âmbito do Programa de P&D do setor elétrico brasileiro da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) pela Companhia CPFL Energia, em cooperação com o CPQD (Centro de Pesquisa de Desenvolvimento em

Telecomunicações) e a BYD Brasil têm como objetivo desenvolver soluções de armazenamento de energia utilizando baterias de segunda vida. Para esta finalidade, contempla o desenvolvimento de processos de desmontagem das baterias, de uma metodologia de seleção de células e a reconfiguração destas em novos sistemas considerando para isto todos os desenvolvimentos mecânicos, térmicos e eletrônicos necessários. De maneira complementar, uma série de ensaios laboratoriais foram executados tanto para analisar a vida útil destas baterias ao considerar regimes específicos de operação adotados em novas aplicações quanto para fornecer subsídios para o desenvolvimento de algoritmos utilizados para monitorar os principais parâmetros de operação da bateria na nova aplicação, de forma a cumprir requisitos de segurança necessários, e para estimar sua vida útil remanescente (RUL) na nova aplicação dado seu regime de operação atual.

CARACTERIZAÇÃO DE CÉLULAS PARA USO EM SEGUNDA VIDA

As células constituintes das LiBs são compostas por uma variedade de componentes, dentre os quais é possível citar o cátodo, ânodo, eletrólito e separador. A escolha da química do cátodo e do ânodo influenciam diretamente o desempenho da

bateria em termos de densidade de energia, capacidade, vida útil, taxa de recarga e descarga, entre outros fatores. Por esse motivo, as diferentes células de baterias disponíveis comercialmente são nomeadas a partir da composição de seu cátodo, pois o ânodo é praticamente dominado pelo grafite. No que diz respeito às baterias utilizadas em VEs, três químicas se destacam: LFP (Lítio Ferro Fosfato), NMC (Lítio Manganês Cobalto) e NCA (Lítio Níquel Cobalto), sendo que cada uma delas apresenta suas vantagens e desvantagens em termos de segurança, estabilidade térmica, custo, vida útil e densidade de energia.

De forma a possibilitar a avaliação do real desempenho de baterias de VEs em segunda vida de uso e desenvolver produtos de armazenamento de energia, o Projeto “CPFL Second-Life” analisou mais de 500 amostras de células de LiBs, do tipo LFP (Lithium Iron Phosphate) – as quais já haviam sido utilizadas na sua primeira vida, ou seja, em aplicação real de veículos elétricos. Para determinar a capacidade real das células recebidas, de modo a possibilitar que comparações pudessem ser realizadas entre métodos alternativos de determinação do Estado de Saúde (SoH) de baterias de segunda vida, foram realizados ensaios de capacidade. A Figura 1 ilustra os resultados de capacidade obtidos, a partir dos quais foi possível observar uma predominância de células com capacidade em torno de 60% da nominal. Apesar disso, notou-se a

varixx

Sistema de proteção contra Arco Elétrico

O Zyggot Arco protege sistemas elétricos e componentes através de uma rede inteligente de sensores que detectam arco elétrico através da radiação UV. Essa radiação existe em qualquer arco voltaico nos momentos iniciais, antes mesmo da luz visível (uma fase já associada à expansão de ar e superaquecimento). Pode ser aplicado em painéis elétricos de baixa, média e alta voltagem e em aplicações externas.



◀ Saiba mais

presença de células de diferentes grupos de capacidades, o que foi importante ao considerar critérios de heterogeneidade úteis para enriquecer os estudos, possibilitando comparações destes valores com outros parâmetros, como a impedância interna, fundamentais para o desenvolvimento de uma metodologia robusta para seleção de células de forma mais rápida, sendo uma alternativa aos ensaios de capacidade comumente aplicados.

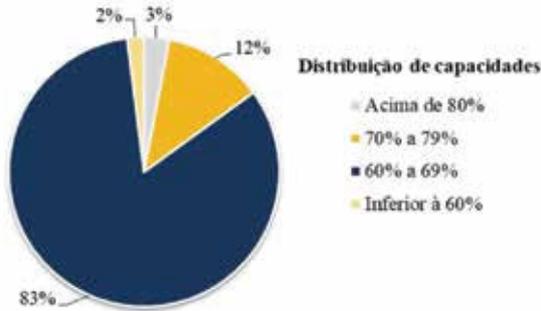


Figura 1 - Capacidade real de 395 amostras de baterias de veículos elétricos.

Essencialmente, o SoH é uma métrica utilizada para avaliar o estado de saúde atual de uma bateria, comparando-o com seu estado inicial de operação. A capacidade de uma célula de armazenar energia e prover potência decai com o tempo, devido a processos químicos internos que levam a sua degradação. Portanto, ao avaliar o SoH de uma bateria, além de verificar a capacidade restante, é recomendado realizar medições adicionais, como a de resistência interna, para identificar possíveis degradações internas precocemente, o que auxilia na determinação da condição atual da bateria e na tomada de decisões adequadas em relação à sua utilização ou substituição.

Um dos principais desafios de montagem de baterias para segunda vida é identificar de forma rápida, precisa e com baixo custo, a capacidade remanescente de baterias/módulos/células que foram retiradas dos veículos elétricos. Há uma variedade de técnicas descritas na literatura para estimação da capacidade remanescente de LiBs: os métodos experimentais mais comuns são a Contagem Ah (também chamada de Contagem de Coulombs) [7], a realização de medidas de resistência ou impedância, e a Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIS). A técnica de EIS é amplamente utilizada em laboratórios para estudar os processos químicos internos de degradação das células de íons de lítio, permitindo a diferenciação entre vários processos distintos por meio da aplicação de um sinal de corrente alternada (CA) de baixa amplitude e ampla faixa de frequências [8].

Dentre as técnicas mencionadas, a medição de EIS é mais rápida do que a Contagem de Coulombs, além de não demandar que a bateria passe por ciclos completos de recarga e descarga. Em comparação às medidas de resistência ou impedância, a EIS é capaz de apresentar resultados mais completos do que os obtidos

ao considerar medidas em apenas uma frequência, possibilitando a realização de análises detalhadas das características elétricas internas da célula, o que permite estudar seu comportamento quando um grande número de processos ocorre de forma inter-relacionada e em diferentes taxas. Devido à alta dimensionalidade do espectro de EIS, visto que as medições possuem parte real e imaginária da impedância em uma faixa de frequência que se estende entre 0,1 Hz a 1,05 kHz, é um desafio identificar características quantitativas que possam ser correlacionadas com a degradação das células, de forma individual.

As abordagens comumente adotadas para a análise destes gráficos tratam esta questão ao reduzirem o espectro em características dimensionais mais baixas: normalmente ajustando-o de forma a compor um modelo de circuito equivalente. Este tipo de ajuste pode levar a conclusões incertas e é questionável se um modelo puramente elétrico pode capturar as propriedades físicas, químicas e materiais e processos de uma bateria, limitando-se apenas a frequências selecionadas individualmente [9]. Devido a estas limitações, de modo a possibilitar o início das análises, optou-se pelo desenvolvimento de algoritmos específicos para análise do espectro como um todo.

Para selecionar os valores de resistência e reatância a serem utilizados, foi elaborado um gráfico que compara a correlação entre Resistência e Reatância. Os valores de correlação obtidos de acordo com a frequência são mostrados na Figura 2, em que as curvas azul e vermelha representam as seguintes correlações: Resistência x SoH, e Reatância x SoH, respectivamente. A partir dos resultados, concluiu-se que os valores de entrada mais adequados para o sistema de inferência foram: (1) a resistência medida na frequência de 0,4 Hz e (2) a reatância na frequência de 50 Hz. Estas frequências podem ser relacionadas aos processos de difusão dos íons de lítio em partículas sólidas.

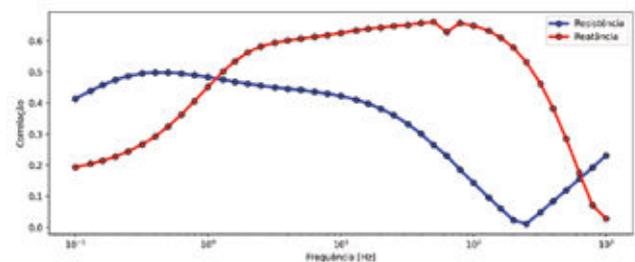


Figura 2 - Correlação entre os valores de resistência x SoH (Linha azul) e reatância x SoH (Linha vermelha) de acordo com a frequência de medição, em que o eixo x foi colocado na escala logarítmica (Autoria própria).

Os métodos orientados por dados dispensam conhecimento prévio sobre o funcionamento da bateria, dependendo apenas de dados coletados, o que é especialmente relevante ao considerar que normalmente não é possível acessar os dados coletados pelo BMS

(Battery Management System) durante a primeira vida da bateria devido a critérios de confidencialidade.

APLICAÇÕES

O adiamento do fim da vida útil das baterias retiradas de VEs para uso em novas aplicações é altamente desejável, pois aumenta o valor residual dos VEs, cria potenciais mercados de armazenamento de energia e reduz os preços de venda de VEs e sistemas de armazenamento, além de contribuir para a redução de resíduos químicos e metálicos e economizar energia utilizada na produção de novas baterias.

Os sistemas de armazenamento de energia são partes indispensáveis em diferentes sistemas elétricos, como no provimento de serviços ancilares à rede elétrica, backup de energia, armazenamento associado à geração por fontes renováveis, aplicações em microrredes, novas aplicações veiculares (p.e., empilhadeiras elétricas), dentre outros, favoráveis ao uso de baterias de segunda vida oriundas de VEs. Isso poderá tornar os investimentos nesses sistemas mais atraentes e encurtar o período de payback.

De forma a analisar a adaptabilidade e comportamento de envelhecimento das baterias ao considerar os regimes de operação típicos das principais aplicações de segundo uso, foram realizados ensaios de envelhecimento acelerado conforme procedimento descrito no item 6.6.1 (Endurance in Cycles) da norma internacional para Aplicação Estacionária IEC 62620 (2014), intitulada “Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications”. É inviável aguardar o envelhecimento de uma célula reproduzindo fielmente as condições normais de sua operação, portanto este ensaio busca um envelhecimento acelerado, que pode partir da ciclagem ininterrupta com uso de altas taxas de corrente. Neste ensaio, a profundidade de descarga utilizada foi de 100 % e não sendo aplicado tempo de repouso entre uma recarga e uma descarga, a cada 100 ciclos foi realizado um Ensaio de Capacidade Real em Regime Nominal (C5) para identificar a perda de capacidade de cada amostra, conforme resultados mostrados na Figura 3.

É importante mencionar que a amostra com capacidade de 100% que tem demonstrado comportamento de degradação mais abrupto do que a outra amostra de mesma capacidade foi mantida a 35°C, ou seja, 10°C acima de todas as outras células sendo cicladas. Assim, destaca-se o expressivo impacto da temperatura na vida útil destas células. Os resultados do ensaio de durabilidade demonstram que as baterias de veículos elétricos apresentam um alto potencial para serem utilizadas em uma segunda vida, evidenciado pela baixa perda de capacidade nas amostras que possuíam uma capacidade

Aqui o bicho não pega.

Condumax REPEL



Tecnologia pioneira que torna cabos

repelentes contra:

Roedores – Cupins – Insetos



Instalações elétricas expostas ou subterrâneas sofrem ataques de roedores e insetos que danificam os cabos e aumentam os riscos de curto-circuito. Este problema gera milhões em prejuízos.

Com Condumax Repel, você aumenta a durabilidade de sua rede, sem agredir o meio ambiente.

Ideal para ambientes rurais, áreas urbanas com infestações, usinas fotovoltaicas, indústrias e redes instaladas diretamente no solo ou sem proteção.



Acesse o nosso site e conheça a linha completa de cabos.

Condumax
FIOS E CABOS ELÉTRICOS

0800 701 3701

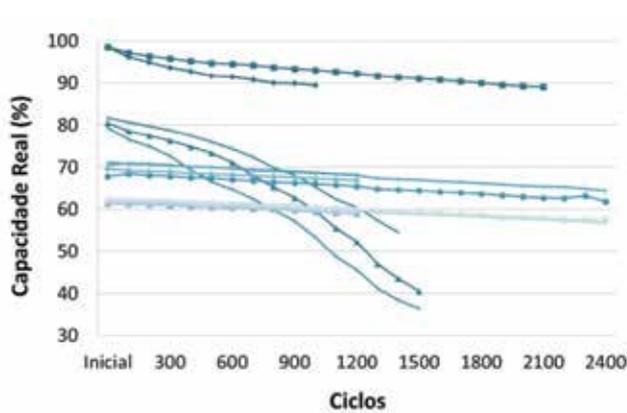


Figura 3 - Ciclagem realizada de acordo com a norma IEC 62620.

residual de 60 a 70% em relação ao valor inicial. Mesmo após 2.400 ciclos, as células ainda não haviam alcançado um nível de capacidade que tornasse seu uso inviável. Cabe informar que não há, até o momento, requisito normativo de fim de vida útil para baterias de segunda vida, como por exemplo, para baterias de lítio-íon em primeira vida o requisito é 60% da capacidade inicial (ABNT NBR 16975 - Células e baterias secundárias de lítio para aplicações estacionárias - Especificação elétrica e métodos de ensaio).

Por outro lado, os resultados também revelaram que, no lote específico recebido, as células com um SoH de 80% demonstraram um envelhecimento mais acelerado em comparação com as outras células, inclusive aquelas que inicialmente tinham uma capacidade remanescente inferior. Após análises adicionais, foi possível concluir que há possíveis efeitos internos de degradação da célula causando este comportamento inesperado, sendo que a medição de EIS conseguiu identificar que estas células possuem um valor maior de impedância em determinadas faixas de frequência. Dessa forma, conclui-se que a determinação da capacidade remanescente por si só pode não ser um parâmetro suficiente de determinação da vida útil remanescente – destacando a necessidade de realização de estudos complementares (p.ex., medições de EIS). É possível que todas estas células sejam advindas da mesma bateria, que provavelmente enfrentou condições de operação mais severas (como por exemplo, altas temperaturas, um acidente ou enchente) durante sua primeira vida – o que pode justificar, inclusive, o motivo de terem sido retiradas do veículo ainda com alta capacidade.

DESENVOLVIMENTO DE BATERIA DE SECOND-LIFE

A reutilização das baterias de veículos elétricos permite aproveitar suas partes constituintes em diferentes níveis, desde a bateria completa até o nível do módulo ou da célula. Para facilitar análises mais detalhadas e o desenvolvimento de uma solução de armazenamento de energia personalizada, no projeto foi decidido desmontar os módulos recebidos para utilizar as células individualmente, o que possibilitou seu agrupamento de acordo com a capacidade remanescente e resistência interna em novas

configurações personalizadas. Este processo é a alternativa de maior custo final tendo em vista a necessidade de desmontagem e procedimentos de empacotamento e desenvolvimento de novo BMS. Do ponto de vista econômico e técnico, se houver a possibilidade de reutilizar toda a bateria sem desmontá-la, esta deve ser a opção preferível [10].

Um componente imprescindível e fundamental nas novas gerações de baterias são os sistemas eletrônicos de gestão e controle, denominados BMS. Esses sistemas exercem um papel fundamental na segurança e desempenho das baterias de lítio-íon, que possuem um eletrólito estável somente numa determinada faixa de tensão, pois sua decomposição ocorre fora desse intervalo, podendo resultar em explosões ou incêndios. O BMS possui diversas funções, sendo seu requisito principal garantir que as células de lítio-íon operem dentro das faixas seguras de tensão, corrente e temperatura, além de proteger a bateria contra qualquer anormalidade externa, como curtos-circuitos. É igualmente importante que o BMS contenha algoritmos que garantam o desempenho esperado, como o balanceamento de carga das células.

O uso das estimativas para prever o comportamento das células é outra tendência. Enquanto o SoH determina a degradação atual da célula, o uso de informações para prever a degradação em instantes futuros e determinar o tempo restante até o fim da vida útil é um tema em destaque nesta área. O termo RUL (Remaining Useful Life) é utilizado para descrever esses estimadores, que possibilitam, por exemplo, a manutenção preditiva de um conjunto de baterias ou o gerenciamento inteligente de recarga e descarga. A motivação para desenvolvimento destes algoritmos decorre do fato de que a projeção de vida útil remanescente de baterias de íons de lítio pode ser distorcida devido a complexas reações químicas que ocorrem no interior das células da bateria durante os processos de descarga e recarga.

No âmbito do projeto, o foco foi o desenvolvimento de um sistema de armazenamento de energia (tensão nominal de 48 Vcc) composto por células de second-life, o qual será destinado



Figura 4 – Bateria second-life desenvolvida – visão da bateria aberta e em operação.

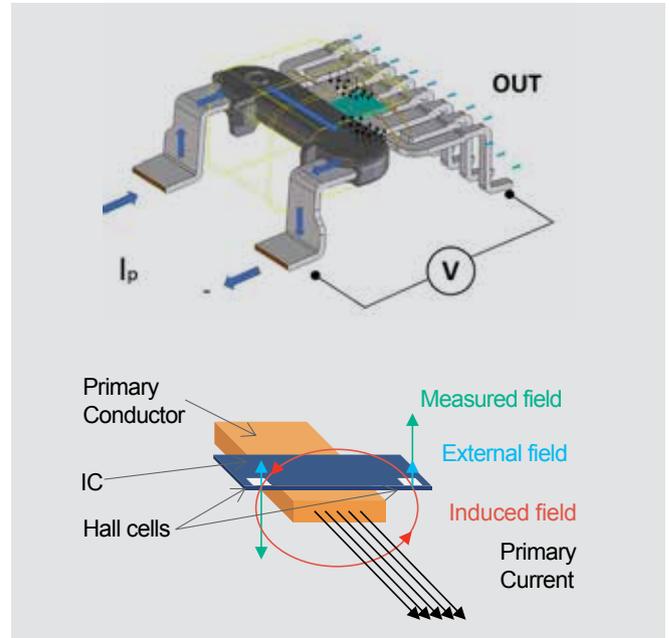
Sensores de corrente, e porque eles são vitais para dispositivos eletroeletrônicos

Monitorar a corrente de forma adequada é vital para dispositivos eletrônicos como fontes de alimentação, sistemas de gerenciamento de bateria, acionamentos de motores eletrônicos e redes de energia renovável. A minituarização de placas de circuito impresso traz desafios no gerenciamento de altas correntes, os níveis de energia mais altos apresentam desafios no layout da PCB, isolamento, gerenciamento térmico e EMI. Sensores de corrente integrados (SCI) fornecem uma solução integrando todos os estágios de um sensor de corrente em um único encapsulamento.

A medição tradicional de corrente baseada em shunt tem muitas limitações como, alta dissipação de energia, desvio térmico e perturbação de tensão indesejada. Ele utiliza o campo magnético produzido pelo fluxo de corrente para medição sem contato, com vantagens de isolamento integradas. Ele integra o caminho do fluxo de corrente, placas de efeito Hall para detecção de campo magnético, operação sem contato, isolamento galvânico, tratamento de sinal dentro de um ASIC e recursos adicionais.

O mesmo oferece vantagens como redução de área ocupada, eliminação da necessidade de um núcleo de magnético, redução de custos, maior densidade de potência, faixa de temperatura estendida, desempenho de frequência e isolamento aprimorado. O isolamento reforçado no SCI garante a separação física entre os circuitos de alta e baixa tensão. A integração de ASICs no SCI fornece recursos exclusivos, como tratamento de sinal, detecção de sobrecorrente, compensação de tensão e temperatura com diferentes modos de saída.

	LTS / LTSR	HLSR	HMSR
Produto			
Data de lançamento	2002	2012	2020
Volume			
Performance			
Preço			



O SCI também pode ser uma parte fundamental em estações de recarregamento rápido DC para veículos elétricos, onde a medição precisa de corrente é crucial para o fornecimento eficiente de energia, proteção e monitoramento do processo de carregamento. O SCI fornece soluções compactas e confiáveis integrando todos os componentes necessários em um único produto. Eles permitem a medição precisa da corrente que flui da rede para o veículo elétrico, otimizando o fornecimento de energia e evitando sobrecarga ou superaquecimento da infraestrutura de recarregamento.

Os transdutores híbridos da LEM, HOB, combinam a tecnologia baseada em ASIC e DC para atender à demanda por operação de alta frequência, tamanho reduzido e maior eficiência em conversores de energia utilizando MOSFETs em SiC. A família HOB atinge tempos de resposta de até 100ns e oferece alta performance na medição de corrente para aplicações como solda, UPSs, fontes de alimentação e acionamentos de motores.



Como líder em medição elétrica, a LEM vem construindo uma experiência e know-how únicos e o portfólio mais amplo do mercado. Os sensores, transdutores e CISs da LEM atendem todas as suas necessidades de detecção de corrente e tensão de 10A a 2.000 A, e de 10V to 4,200 V. Venha nos visitar na FIEE, estande nº A49, a ocasião perfeita para discutir qual produto LEM atende às suas necessidades.

a aplicações associadas a sistemas fotovoltaicos on-grid a nível residencial. Dessa forma, foram desenvolvidos hardwares, firmwares, algoritmos, empacotamento mecânico e interface gráfica para operação e manutenção. A Figura 4 apresenta o protótipo cabeça de série desenvolvido e em operação conjunta com inversor híbrido on-grid. A solução mecânica permite que a instalação seja fixada na parede ou uso no chão com rodízios (ilustrado na Figura 4).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao atingirem o final de sua vida útil em veículos elétricos as baterias ainda possuem cerca de 70-80% de sua capacidade disponível, possibilitando que elas sejam reutilizadas em outros tipos de aplicação cujas condições de operação sejam menos severas. Essa oportunidade de reuso gera novas possibilidades para o mercado, proporcionando a criação de novos modelos de negócios. Outro fator a ser considerado ao optar pela utilização de baterias em segunda vida é que nem todas as células da bateria de um VE se degradam exatamente da mesma maneira por várias razões, incluindo gradientes de temperatura dentro da bateria e pequenas diferenças de fabricação.

Isso significa que o desempenho das baterias de segunda vida pode ser potencialmente imprevisível. Ou seja, ao serem retiradas da sua primeira aplicação e enviadas aos centros de recondição/reutilização, há poucas informações sobre essas baterias. Uma possibilidade para a obtenção dessas informações é a análise dos dados armazenados no BMS, porém, eles nem sempre estão disponíveis. Dessa forma, é necessário submeter a bateria ou as células a uma série de procedimentos de forma a possibilitar a análise de seu SoH e determinar se ela realmente está apta a um novo uso. O projeto descrito neste artigo identificou que medições de EIS tem forte correlação com a capacidade remanescente das células de segunda vida recebidas, permitindo uma metodologia rápida e de baixo custo para seleção de células que irão compor uma bateria de segunda vida.

Os ensaios de durabilidade cíclica foram de suma importância para o projeto, pois tem como objetivo fornecer dados para análise da vida útil que as células, já degradadas na primeira vida, ainda podem suportar. Os resultados mostraram que as células têm apresentado comportamento de degradação bastante satisfatório, não apresentando perda de capacidade expressiva durante a ciclagem.

O desenvolvimento de uma solução de armazenamento de energia a partir de células degradadas durante a aplicação em VEs previamente utilizados no país fortalecerá o avanço tecnológico da indústria nacional de VEs e baterias. Além disso, o uso de baterias em segunda vida está totalmente alinhado ao conceito

de economia circular, proporcionando o reaproveitamento de células que inicialmente seriam descartados ou encaminhados para reciclagem.

REFERÊNCIAS

[1] International Energy Agency (IEA). *Tracking Transport 2020*. Available at: <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>. Accessed August 2022.

[2] International Energy Agency (IEA). *Global EV Outlook 2021: accelerating ambitions despite the pandemic*. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVOutlook2021.pdf>. Accessed August 2022.

[3] M. Dennis, "Are We on the Brink of an Electric Vehicle Boom? Only with More Action". *World Resources Institute*. September, 2021. Available at: <https://www.wri.org/insights/what-projected-growth-electric-vehicles-adoption>. Accessed August 2022.

[4] Richa K, et al. *A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles*. *Resour Conserv Recycl* 2014;83:63e76. Feb.

[5] Hossain E, et al. *A comprehensive review on second-life batteries: current state, manufacturing considerations, applications, impacts, barriers potential solutions, business strategies, and policies*. *IEEE Access* 2019;7:73215e52. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[6] H. Man. "What are LFP, NMC, NCA batteries in electric cars?". *Zecar*. August 2022. Available at: <https://zecar.com/post/what-are-lfp-nmc-nca-batteries-in-electric-cars>. Accessed August 2022.

[7] Christopherson, Jon. *Battery Test Manual For Electric Vehicles*. Idaho National Laboratory, 2015.

[8] Carvalho, Liliane A. De; Andrade, Adalgisa R. de; Bueno, Paulo R. *Espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo das reações heterogêneas em ânodos dimensionalmente estáveis*. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 796-804, 2006.

[9] ZHANG, Yunwei et al. *Identifying degradation patterns of lithium ion batteries from impedance spectroscopy using machine learning*. *Nature communications*, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2020.

[10] Ahmadi, L., Yip, A., Fowler, M., Young, S.B., Fraser, R., "Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries", *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 6:64-74, 2014.

*Vitor Arioli, Aghatta Moreira, Maria Rosolem, Raul Beck, Thiago Nascimento, Marcelo Camboim, Jonathan Moura, Thomas Nunes, Ricieri Ohashi, Felipe Marques, Wagner Cano e Gisele Oliveira são pesquisadores do CPqD. Camila Omae é pesquisadora da Unicamp e integra o quadro de colaboradores da CPFL Energia.