

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BATERIAS

Luciano Cyrne¹, Caio Márcio Souza¹, Guilherme Doxa¹ e Paulo Henrique Meireles²

¹FCA – Fiat Chrysler Automobiles

²Altran Technologies

E-mails: luciano.cyrne@fcagroup.com, caio.souza@fcagroup.com,
guilherme.doxa@fcagroup.com, paulo.meireles@external.fcagroup.com

RESUMO

O trabalho aqui apresentado visa demonstrar a viabilidade de utilizar um sistema embarcado de monitoramento que calcule parâmetros de baterias automotivas de chumbo-ácido, tais como, estado de saúde, estado de carga e corrente de stand-by.

Devido à constante busca por inovação, controle e otimização de veículos automotores, a aplicação de sensores tem sido amplamente difundida para monitoramento de componentes e funções específicas, agregando custo no sistema eletroeletrônico do veículo.

A tecnologia embarcada pode contribuir proporcionando economia e confiabilidade, pois executa tarefas com requisitos específicos que obedecem a determinados parâmetros como processamento em tempo real, portabilidade e segurança. Uma das possíveis aplicações é a utilização dessa tecnologia no monitoramento de bateria, componente fundamental para estabilização elétrica e ignição do veículo, além de complementar a energia do alternador e manter os dispositivos eletroeletrônicos e de segurança em funcionamento enquanto o veículo está desligado.

Desta forma, apresentam-se nesse trabalho uma metodologia e estudos experimentais, sobre o comportamento da bateria nas diversas condições de aplicação em um veículo automotor, a fim de viabilizar um sistema embarcado de monitoramento de bateria.

ABSTRACT

The work presented here aims to demonstrate the feasibility of embedded battery monitoring system, which calculates automotive lead-acid batteries parameters, such as, state of health, state of charge and ignition off draw.

Due to constant demand for innovation, control and optimization of automotive vehicles, the application of sensor have been widespread to monitoring of components and specific functions, assembling costs on the vehicle electro-electronic systems.

The embedded technology can contribute providing savings and reliability, due to tasks execution with specific requirements, and must complies parameters such as real time processing, portability e safety. Embedded technologies can be used to monitor the battery, which is a main device for electric stabilization, vehicle ignition, complement the generator energy and keep safety and electronic devices in operation while the engine is off.

Therefore, it is presented on this paper a methodology and experimental studies, about the battery behavior at the various conditions of application on the vehicles, in order to enable an embedded system for battery monitoring.

INTRODUÇÃO

A bateria automotiva possui funções primordiais para o funcionamento do veículo. São elas:

- Com o motor ligado, estabilizar a tensão do alternador atuando como um filtro para absorver as flutuações de tensão, já que estas podem causar danos ao sistema eletroeletrônico do veículo;
- Complementação da energia do alternador quando a capacidade de geração deste for aquém daquela necessária e o balanço elétrico é negativo;
- Fornecimento de energia para o motor de partida e sistema de ignição para a partida do motor de combustão interna (MCI);
- Com o MCI desligado, alimentar as cargas elétricas do veículo que possuam corrente de stand-by (IOD).

Em relação ao IOD, este representa um risco para a bateria, pois caso seja elevado, pode drenar energia da bateria impossibilitando a partida do MCI. Desta forma, existe a necessidade de monitorar este parâmetro com o intuito de evitar inconvenientes para o condutor devido à descarga da bateria.

Componentes eletrônicos específicos, chamados sensores inteligentes de bateria (IBS), já são aplicados pela indústria automotiva global para, além de calcular o IOD, avaliar o estado de carga e o estado de saúde da bateria.

Esses sensores são responsáveis por verificar e informar o diagnóstico integral da bateria, requisito mandatório para sistemas como o Start&Stop, que utiliza essas informações para desligar o MCI do veículo. Neste sistema o módulo de controle recebe diversos parâmetros da bateria, através do IBS, para garantir que ela será capaz de acionar o motor de partida novamente para ligar o MCI, promovendo segurança e confiabilidade ao sistema [1]. Isso otimiza o desempenho do veículo no que tange as questões ambientais, proporcionando redução de consumo de combustível e reduzindo, conseqüentemente, o nível de emissões.

Devido à importância para o diagnóstico da bateria, sobretudo em veículos de alta gama, que possuem uma complexa arquitetura eletroeletrônica e requerem maior confiabilidade da bateria, o IBS se torna componente mandatório, porém agregando um alto custo, em parte devido aos encargos de importação. O IBS também é utilizado em sistemas Start&Stop que aumentam o custo do veículo devido a sua complexidade que requer sensores adicionais e lógicas de redundância para garantir a confiabilidade e segurança.

Os veículos de entrada, atualmente comercializados no Brasil, são dotados de diversas centrais eletrônicas, que podem ou não ser agrupadas em um único componente, o computador de bordo (BCM). Estas centrais são relacionadas às funcionalidades do veículo como controle de vidros, abertura de portas, controle de iluminação, entre outras.

O sistema de monitoramento proposto visa diagnosticar parâmetros vitais da bateria, agregando ao BCM mais esta função. Para atingir esse objetivo, é importante que o sistema proposto informe com precisão o estado da bateria [2].

Após conclusão do projeto, o sistema deverá ser capaz de diagnosticar dados como o estado de carga, o estado de saúde, além de calcular o IOD que depende da interação da bateria com as cargas elétricas do veículo que possuem funcionamento em stand-by. Com as informações fornecidas pelo sistema, surgem diversas oportunidades para a conectividade do sistema eletroeletrônico do veículo com o cliente poderia, por exemplo, ser solicitado a procurar assistência técnica para uma manutenção preventiva, caso haja um alto IOD, evitando assim a descarga da bateria. Outra interação seria emitir um alerta caso a bateria esteja em uma iminência de falha por comprometimento de suas funções vitais.

1. METODOLOGIA

A fim de determinar o estado de carga, o estado de saúde e o IOD, alguns conceitos foram desenvolvidos e posteriormente validados em veículo e laboratório. Serão descritas abaixo as teorias relativas aos parâmetros compreendidos pelo sistema proposto.

1.1 Estado de saúde

O estado de saúde é uma indicação de degradação e envelhecimento da bateria [3], que representa em porcentagem a capacidade de uma bateria em relação a sua condição nominal. Desta forma, o estado de saúde influencia diretamente na quantidade de energia armazenada pela bateria, proveniente do alternador, e posteriormente fornecê-la para o sistema eletroeletrônico do veículo.

O sistema proposto considera as mudanças nas propriedades da bateria chumbo-ácido ao longo da sua vida útil. Reações irreversíveis e degradação são atribuídas ao envelhecimento, bem como corrosão de elementos internos, perda de água por gaseificação, e perda de material ativo devido à ciclagem [4]. Além disso, as baterias podem apresentar estratificação de ácido e sulfatação, que também degradam o estado de saúde.

O cálculo proposto considera a tensão da bateria durante a partida do MCI, onde a mínima tensão encontrada durante a partida será proporcional ao estado de saúde da bateria [5], de acordo com a Figura 1.

O afundamento de tensão apresentado se deve ao incremento abrupto da densidade de corrente, promovendo uma migração dos íons de sulfato (SO_4^{-2}) da solução do ácido sulfúrico, em direção às placas. Uma vez esgotado, o eletrólito não consegue difundir-se rapidamente para manter a tensão da bateria [6]. Em função da natureza instantânea desta descarga, apenas uma pequena quantidade de SO_4^{-2} é transformada em PbSO_4 , permitindo que o eletrólito se restabeleça e a tensão retorne ao patamar anterior [7].

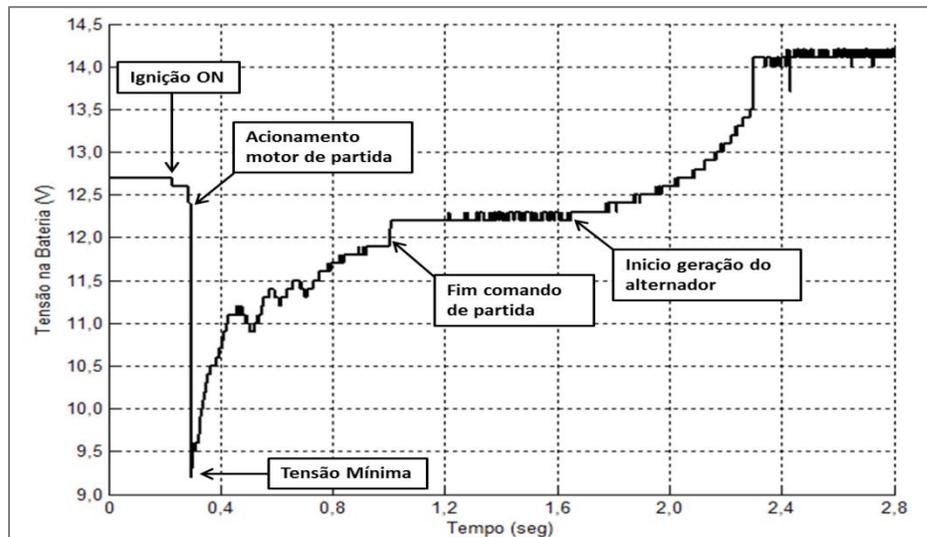


Figura 1 – Mínima tensão de partida do MCI

Caso seja submetida a uma descarga de perfil $P(t)$ que dependa de um tempo t e tenha duração t_1 , a tensão da bateria apresentará um valor mínimo V_{min} . A menor tensão aceitável durante a descarga V_1 para uma aplicação específica, e a menor tensão V_{nova} de uma bateria nova, são usadas para definir o estado de saúde [3]:

$$Estado\ de\ saude = \frac{V_{min} - V_1}{V_{nova} - V_1} \quad (1)$$

De forma análoga, a capacidade atual C_{atual} da bateria pode ser considerada, ou seja, a capacidade total de uma dada bateria para armazenar energia; C_{nova} , que é capacidade referência para uma bateria nova e C_{limite} que é o mínima

capacidade aceitável para a aplicação, pode-se estabelecer para o estado de saúde [3]:

$$\text{Estado de saúde} = \frac{C_{\text{atual}} - C_{\text{limite}}}{C_{\text{nova}} - C_{\text{limite}}} \quad (2)$$

1.2 Estado de carga

O estado de carga trata-se da quantidade de carga restante na bateria, representado em porcentagem da carga nominal.

A determinação do SOC de uma bateria pode ser um problema com maior ou menor complexidade dependendo do tipo de bateria e da aplicação na qual ela é utilizada [8].

A seguinte equação demonstra o conceito do estado de carga:

$$\text{Estado de carga} = \frac{\text{Quantidade de carga atual}}{\text{Quantidade de carga total}} \quad (3)$$

Em uma bateria chumbo-ácido, existe uma dependência amplamente conhecida entre a tensão em equilíbrio [3] e o respectivo estado de carga, conforme pode ser visto na Figura 2. Entende-se por tensão em equilíbrio como a tensão da bateria medida após um tempo de repouso suficiente para remover as influências de recargas ou descargas, a qual a bateria tenha se submetido.

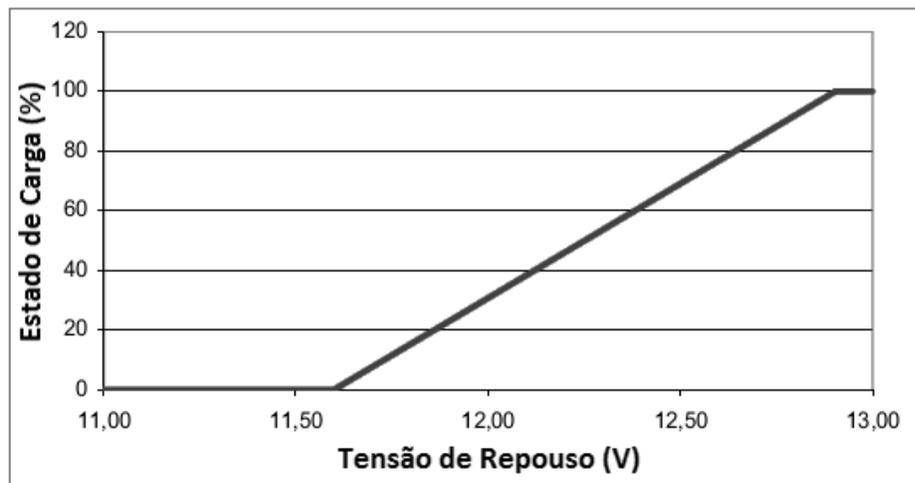


Figura 2 – Estado de carga a partir da tensão de repouso

Existe outra correlação para a tensão de repouso da bateria, a qual é dependente também da temperatura. Assim quando a bateria é submetida a baixas temperaturas, sua tensão de repouso diminui. Da mesma forma quando a bateria é exposta a altas temperaturas, sua tensão aumenta.

A variação de temperatura promove uma série de reações químicas internas que podem variar a correlação entre tensão de repouso e estado de carga [9].

1.3 IOD

Apesar de uma descarga profunda em uma bateria não causar sua degradação imediata, haja vista que mesmo em casos de 100% de descarga, uma bateria chumbo-ácido pode manter até 200 ciclos de carga e descarga [10], entretanto este tipo de comportamento não é aceitável para uma aplicação comercial na indústria automotiva, principalmente no que se refere à confiabilidade das baterias e dos sistemas que ela suporta.

Portanto é imperativo que o sistema de monitoramento de bateria seja preciso e confiável para um veículo. Para tanto, o IOD é um fator crítico que não está totalmente sob o controle do fabricante de bateria ou da indústria automotiva, pois o usuário pode instalar equipamentos eletroeletrônicos após a compra do veículo, fato que compromete a especificação inicial da bateria.

Para melhor entendimento, é importante ressaltar que o estado ideal de tensão de repouso nunca é atingido quando a bateria está conectada ao sistema eletroeletrônico do veículo, isso devido as correntes quiescentes dos módulos eletrônicos que descarregam a bateria continuamente. Assim, mesmo com o MCI e a ignição desligados, existe uma corrente elétrica reduzida que descarrega a bateria.

A estratégia para determinar o IOD analisa o tempo que o veículo permaneceu desligado de forma a eliminar qualquer influência de carga ou descarga na bateria. Quando o tempo de repouso é atingido, o sistema inicia a avaliação de tensão ao longo do tempo. Aqui é proposto o parâmetro mV/h – mili volts por hora, que representa a queda de tensão da bateria medido em intervalos de uma hora. Segue a equação para calcular este parâmetro:

$$IOD = \frac{V_{IODf} - V_{IODi}}{T_{IODf} - T_{IODi}} \quad (4)$$

Onde:

V_{IODi} é a tensão da bateria medida após o repouso

V_{IODf} é a tensão da bateria medida antes de acordar a rede do veículo

T_{IODi} representa o tempo inicial após finalizado o período de repouso

T_{IODf} representa o tempo final após finalizado o período de repouso

2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

2.1 Determinação do estado de saúde através do afundamento de tensão durante a partida do MCI

A validação da estratégia da captura da tensão mínima, para a estimativa do estado de saúde da bateria, foi obtida por meio de experimentos em uma frota de veículos controlada. Tais carros foram instrumentados para a aquisição ininterrupta da tensão de bateria durante períodos que variaram de semanas a meses dependendo do veículo. Ressalta-se que os veículos monitorados possuíam diferentes perfis de utilização, garantindo significatividade nas condições de trabalho das baterias.

Além de registrar a tensão da bateria continuamente, a aquisição permitiu o registro dos eventos de chave ligada, início de partida, final de partida e chave desligada. A temperatura da água do motor é registrada juntamente com o evento de início de partida. A taxa de aquisição é ajustada de acordo com o regime de funcionamento, sendo de 1Hz para chave desligada, 100Hz para ignição ligada e 500Hz para o período de partida do motor.

A Figura 3 mostra o registro das tensões mínimas, obtidas durante a partida em veículos equipados com baterias com mesmo estado de carga, e diferentes estados de saúde, de maneira a observamos a metodologia proposta. Para envelhecer as baterias, foi utilizado o ciclo proposto em [11]. Cada registro de tensão de partida é acompanhado da temperatura da água do motor no instante da partida. A temperatura da água do motor foi medida com intuito de obter uma estimativa da temperatura onde se localiza a bateria, bem como avaliar a correlação entre a mínima tensão de partida e a temperatura no momento da partida.

Os veículos C1, C2, C3 equipados com uma bateria em 100% de estado de saúde apresentaram os menores afundamentos de tensão durante a partida. Mais abaixo no gráfico, são mostradas as tensões nos veículos com bateria a 85% (veículo C4), 75% (veículos C5 e C6) e 47% (veículo C7) de estado de saúde respectivamente. Nota-se pelo gráfico que, apesar dos desvios observados, a tensão mínima durante a partida está relacionada ao envelhecimento da bateria.

Aplicando (1) para as condições representadas no gráfico acima, é possível obter boa correspondência entre o estado de saúde da bateria obtida em laboratório e o valor calculado, observando as condições ideais e limítrofes aceitáveis para o funcionamento da bateria no veículo.

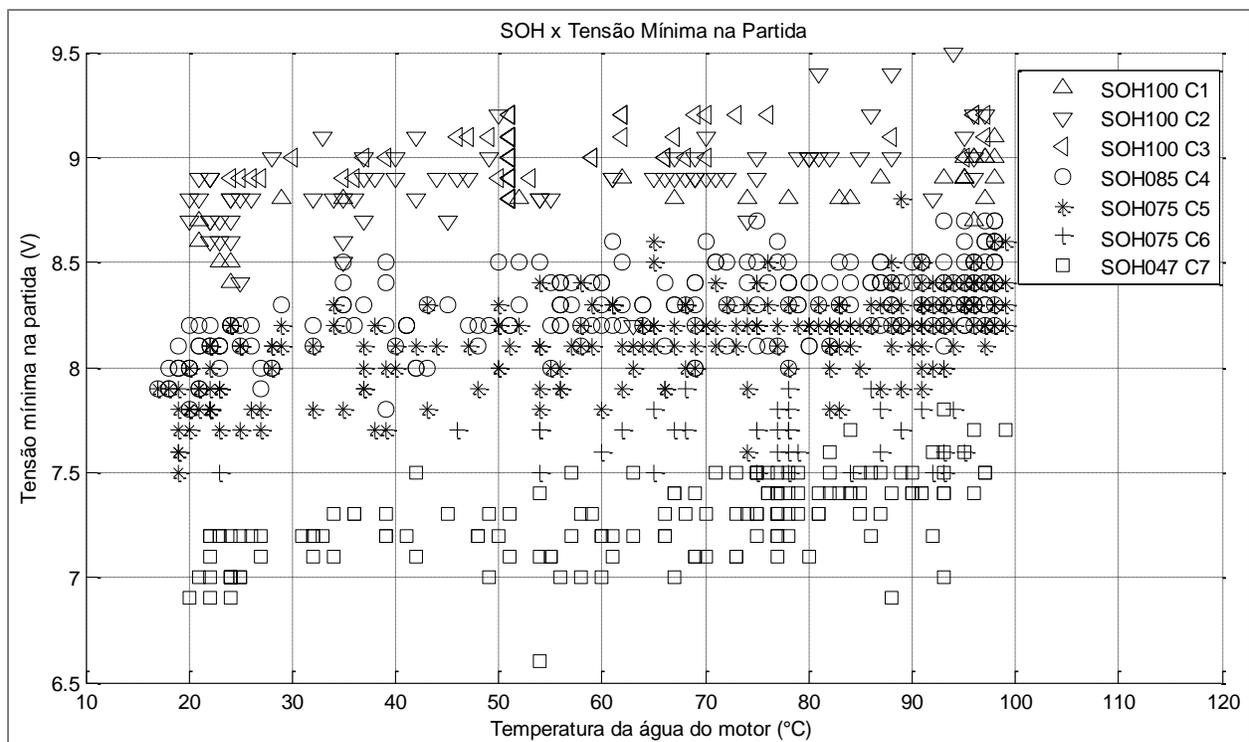


Figura 3 – Relação de estado de carga com tensão mínima e temperatura

Analisando cada condição de estado de saúde isoladamente, observa-se que o afundamento de tensão é maior em temperaturas mais baixas. Isto porque em altas temperaturas a viscosidade do óleo do MCI é menor, facilitando a partida através da redução do seu torque inercial

2.2 Determinação do estado de carga por tensão de repouso

Utilizando a mesma base de dados da validação do estado de saúde, também é possível determinar o estado de carga da bateria pela correlação com a tensão de repouso. Para isso, é necessário aguardar um período específico para remover influências de carga e descarga [2].

A Figura 4 mostra a curva de tensão da bateria após o desligamento do MCI. Observa-se que após um período específico de inatividade, a tensão alcança um valor estável, que é conhecido como tensão de repouso. Esta tensão reflete diretamente o estado de carga da bateria.

A relação entre tensão de repouso e estado de carga depende de aspectos físico-químicos, ou seja, varia de acordo com a capacidade, elementos químicos utilizados nas placas e composição química utilizada no eletrólito da bateria.

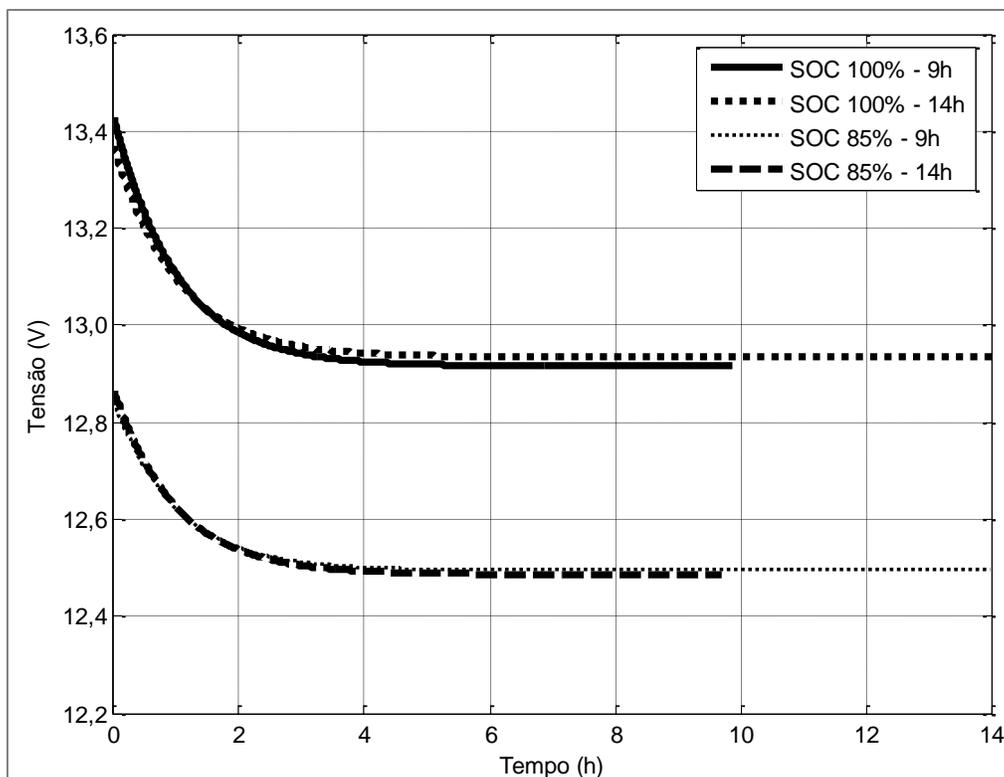


Figura 4 - Tensão de repouso e estado de carga

2.3 Determinação do IOD pela taxa de decaimento de tensão

O cálculo do IOD foi obtido através de um experimento que submete a bateria a diferentes correntes de descarga, relacionando-as com a sua queda de tensão. Foram escolhidas as correntes de 34mA, 140mA e 350mA representando assim uma faixa de valores de IOD usualmente encontrados em equipamentos eletrônicos instalados nos veículos no mercado de reposição.

Tais valores de corrente foram aplicados em três diferentes condições de operação: bateria em 100% de estado de carga e 25°C, bateria em 100% de estado de carga e 70°C, e bateria em 80% de estado de carga e 25°C. As taxas de variação da tensão, sob as três condições descritas, são mostradas respectivamente nas figuras Figura 5, Figura 6 e Figura 7.

Observa-se pelos gráficos que quanto maior a corrente de descarga, maior é a queda de tensão em mV/h. No entanto, percebe-se que a relação entre estas variáveis não é linear.

Uma análise comparativa entre as figuras Figura 5 e Figura 6 permite concluir que a taxa de decaimento da tensão cresce com o aumento da temperatura. Este fenômeno pode ser explicado pela auto descarga da bateria que também aumenta com a temperatura

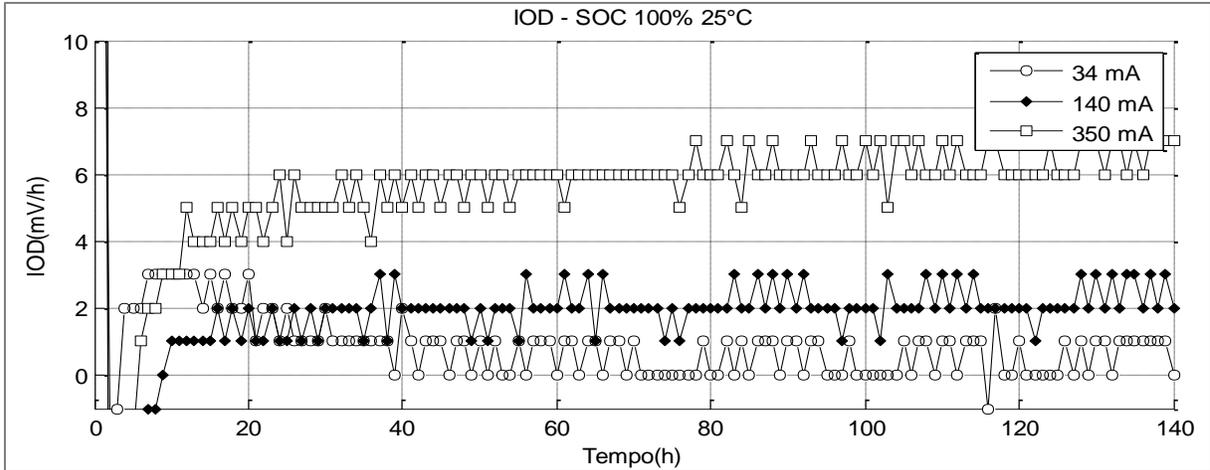


Figura 5 - IOD em estado de carga 100%, 25°C

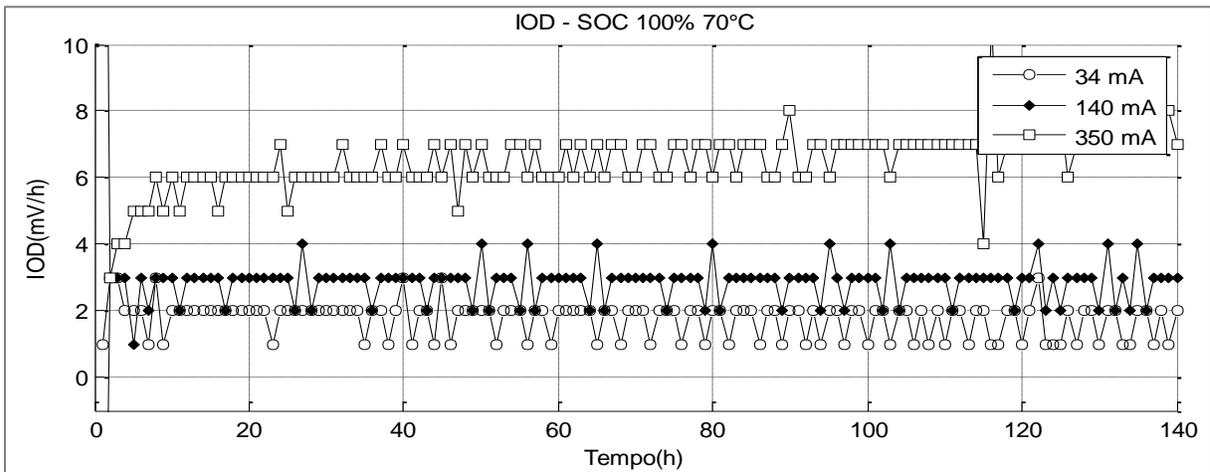


Figura 6 - IOD em estado de carga 100%, 70°C

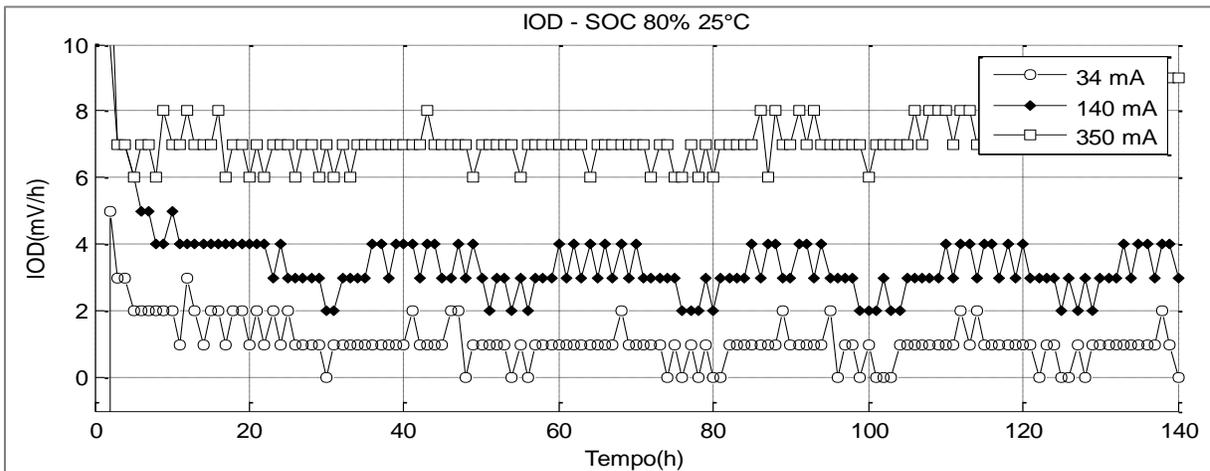


Figura 7 - IOD em estado de carga 80%, 25°C

Analisando as figuras 5 e 7, pode-se verificar que o IOD é inversamente proporcional ao estado de carga, já que a bateria com estado de carga de 80% apresentou maior IOD que a bateria com 100% de estado de carga.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados experimentais obtidos, foi possível comprovar a metodologia proposta para calcular parâmetros relacionados à bateria, através da tensão medida em momentos específicos do funcionamento do veículo.

Foi verificado que o afundamento de tensão na partida do MCI está relacionado com o estado de saúde, quando as baterias com maior envelhecimento apresentaram maior afundamento. Também foi comprovada que para um mesmo estado de saúde, os maiores afundamentos de tensão foram observados nas temperaturas mais baixas. Será escopo de estudos futuros a influência do estado de carga no afundamento de tensão.

A aquisição da tensão nos períodos de repouso da bateria demonstrou forte correspondência com valores de estado de carga tabelados e difundidos pelos fabricantes de bateria. Porém tal relação não é verídica caso a bateria seja previamente submetida a cargas e descargas. Assim, o cálculo do estado de carga dinâmico demanda estudos adicionais e será apresentado em trabalhos posteriores.

Enquanto a ignição está desligada, a taxa na qual a tensão decai está diretamente relacionada com a corrente de descarga à qual a bateria é submetida. Tal correlação não é linear, uma vez que aumentando dez vezes a magnitude da corrente, a taxa de decaimento de tensão em mV/h aumenta três vezes aproximadamente. A correspondência entre a taxa de queda de tensão e a corrente de descarga pode ser explorada para calcular o IOD do veículo. A influência do estado de saúde no parâmetro mV/h será aprofundada em pesquisas específicas.

O diagnóstico de baixo custo da bateria, cria um novo cenário para interação do cliente que poderia receber informações de manutenção preventiva do componente e evitar futuras falhas em campo.

Portanto foi demonstrada a viabilidade científica do sistema de diagnóstico de bateria sem utilização de sensores específicos no veículo. Entretanto, pesquisas adicionais são necessárias para entender outras influências na metodologia proposta, prevendo assim todas condições de contorno mandatórias para um sistema embarcado, a fim de garantir robustez ao sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] MAY, G, J; CALASANZIO, D; ALIBERTI, R. "VRLA automotive batteries for stop&go and dual battery systems. *Journal of Power Sources* 144 (2005) 411-417.
- [2] LUKIC, SM. Energy storage systems for automotive applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2008 vol:55 iss:6 pg:2258 -2267.
- [3] MEISSNER, E; RICHTER, G. "The challenge to the automotive battery industry: the battery has to become an increasingly integrated component within the electric power system". *Journal of Power Sources* 144 (2005) 438-460.
- [4] RUETSCHI, P. "Aging mechanisms and service life of lead-acid batteries". *Journal of Power Sources* 127 (2004) 33-44.
- [5] YAMADA, K; YAMADA, Y; OTSU, K; MACHIYAMA, Y; EMORI, A; OKOSHI, T. "The Intelligent Automotive Battery, "CYBOX"". 12TH Asian Battery Conference.
- [6] LINDEN, D; REDDY, T, B. "Handbook of Batteries". New York: McGraw-Hill, 2002.
- [7] GOU, J., et al., Modeling of the cranking and charging processes of conventional valve regulated lead acid (VRLA) batteries in micro-hybrid applications, *Journal of power sources*, 2014 vol:263 pg:186.
- [8] PILLER, S. Methods for state-of-charge determination and their applications, Germany, *Journal of power sources*, 2001 vol:96 iss:1 pg:113 -120.
- [9] FERNANDEZ, M. Optimization of the cycle life performance of VRLA batteries, working under high rate, partial state of charge (HRPSOC) conditions, *Journal of power sources*, 2006 vol:158 pg:1149 -1165.
- [10] CHAO, K.-H. State-of-health estimator based-on extension theory with a learning mechanism for lead-acid batteries, *Expert systems with applications*, Taiwan, 2011 vol:38 iss:12 pg:15183 -15193.
- [11] SOEIRO, L; CYRNE, L; FIGUEIREDO, L; LAROCHELLE, C; TSURUMAKI, M. "Battery Development for Stop-Start Application in Brazilian Market," *SAE Technical Paper* 2013-01-1526, 2013, doi:10.4271/2013-01-1526