

## **Identificação preliminar de perigos em sistema híbrido de energia para navios**

Tito Livio Medeiros Cardoso  
Berkeley Research Group – BRG, Brasil

Adriana Miralles Schleder, Marcelo Ramos Martins  
Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos (LabRisco) da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo, Brasil

### **1- Introdução**

Os requisitos de proteção ao meio ambiente estão direcionando as buscas do uso mais racional e eficiente da energia, dando origem a sistemas híbridos, onde mais de uma fonte de energia está envolvida, geralmente com a presença de elementos para armazenamento de energia, como baterias, supercapacitores e flywheels. Desde 2008, a propulsão híbrida em navios é um campo de pesquisa crescente que aborda questões específicas como a seleção e desenvolvimento de tecnologias, alternativas de configuração dos sistemas, arquitetura de controle do sistema de gerenciamento de energia e os perigos e riscos da tecnologia.

Em navios híbridos de maior porte, a potência e capacidade necessária para o sistema de armazenamento de energia demanda grandes instalações embarcadas de baterias. Portanto, a densidade de energia do sistema é um fator crítico para obter equilíbrio entre a capacidade de armazenamento requerida e o espaço disponível no navio.

O presente trabalho apresenta como objeto de estudo uma versão híbrida de um navio de abastecimento de plataformas (platform supply vessel, PSV), parte de uma frota comercial, alocada ao transporte de vários tipos de materiais e equipes operacionais para plataformas offshore, que passará por retrofit. O navio possui 87 m de comprimento, capacidade de operação com posicionamento dinâmico (Dynamic Positioning, DP) e está equipado com guindaste no deck da popa e tanques de armazenamento das cargas localizados abaixo do convés.

O banco de baterias Li-Íon com 3.440 kW de potência e 1.040 kWh de capacidade foi dimensionado para aumentar a eficiência energética do navio, permitindo que os geradores atuem apenas em operações que demandam plena potência e sejam desligados, passando a embarcação a ser alimentada apenas pelas baterias, durante as etapas de manobra, onde os geradores operaram em faixas menos eficientes, e na aproximação e afastamento do porto, de modo a cumprir com os requisitos de redução de ruído e emissões em proximidade a áreas populacionais.

#### **1.1- Objetivo**

O objetivo deste estudo é identificar os perigos envolvidos na aplicação do sistema de armazenamento de energia proposto para o PSV e definir respostas adequadas para seu controle. Esta informação será utilizada no desenvolvimento do projeto de engenharia da embarcação híbrida e servirá também de entrada para análises de riscos mais detalhadas.

#### **1.2- Perigos relacionados às grandes instalações de baterias embarcadas**

Ao introduzir sistemas híbridos de energia baseados em armazenamento por baterias, novos perigos específicos devem ser considerados no projeto e operação dos navios. O guia para grandes sistemas embarcados de baterias da DNV GL [1] e as orientações para grandes instalações de bateria do Lloyd's Register [2] relacionam perigos envolvidos em bancos de baterias a bordo de navios. Esses perigos estão

relacionados, mas não limitados, a:

- Thermal runaway: Um evento térmico pode acontecer se a impedância do curto-circuito interno for alta o suficiente para criar calor suficiente, mas suficientemente baixa para permitir uma corrente suficiente e que a ponte condutora seja forte o suficiente para não se quebrar quando a corrente está fluindo. Além disso, o aquecimento deve ocorrer em um local onde uma temperatura local alta pode induzir reações em cadeia, resultando em cell thermal runaway [1]. Como consequência do aumento da temperatura em torno da bateria defeituosa pode desdobrar o aquecimento das células adjacentes, causando uma reação em cadeia na instalação. Este efeito é relevante para quase todas as células químicas e pode ser iniciado por curto circuito interno, danos mecânicos e defeitos de fabricação [3].
- Em células de íons de lítio não aquosas, os eletrólitos inflamáveis podem produzir vapores inflamáveis e também liberam energia química substancial quando se queimam. Após um evento de thermal runaway, as baterias Ion-Li podem produzir gás hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e metano, entre outros. A maioria destes gases é inflamável, com perigos de incêndio e explosão, e o monóxido de carbono é tóxico.
- Dano mecânico: fraturas no catodo e má adesão nos elementos internos da bateria podem causar falha das células.
- Curto-circuito: existem dois tipos básicos de curto-circuito. Um está conectado a uma falha de projeto ou a micro defeitos de fabricação, como contaminação de partículas de metal e poeira, que podem perfurar o separador e iniciar um curto-circuito. Em outros casos, o curto-circuito pode ocorrer em um evento de estresse durante a operação, como carregamento excessivamente rápido, carregamento em temperaturas congelantes, vibração ou um incidente casual. Quando os eletrodos não conseguem acomodar o fluxo de corrente, o resultado é a redução de potência, blindagem do anodo com perda irreversível de capacidade e, uma vez que o revestimento não é necessariamente homogêneo, a formação dendrítica pode resultar em curto circuito entre os eletrodos [4].
- Autocombustão: o principal combustível na bateria de íons de lítio é o eletrólito, que é uma solução consistindo em solvente orgânico e sal inorgânico. Os solventes mais comuns utilizados nas baterias de íons de lítio são o carbonato etileno (EC), o carbonato propileno (PC), o carbonato dimetil (DMC) e o carbonato de dietilo (DEC) e suas combinações. Para qualquer eletrólito / metal / óxido-assistido, há uma temperatura na qual as células apresentam autocombustão. Os incêndios nos compartimentos adjacentes também podem aumentar a temperatura o suficiente para causar a ignição das baterias. Por exemplo, o teste de baterias  $\text{LiPF}_6$  com eletrólito EC + DEC demonstra que, para uma embalagem de 25 kg, se a temperatura dos materiais da bateria Li-Íon for superior a  $66,5^\circ\text{C}$ , a bateria carregada sofrerá auto aquecimento e se a temperatura for superior a  $75^\circ\text{C}$ , ele sofrerá thermal runaway [5].

Uma revisão da literatura, revela outros perigos potenciais, não específicos das baterias, mas diretamente relacionadas a elas da seguinte forma:

- Falhas no sistema de gerenciamento de bateria (battery management system, BMS) em proteger as células de sobrecargas e outras situações de estresse [2].
- Falhas em retificadores ativos ou nos conversores das baterias em operações quando a tensão do barramento DC aumenta fora das faixas especificadas, por exemplo, durante a frenagem regenerativa no giro rápido de navios com dois ou mais propulsores [6].
- Repentina conexão/desconexão de grandes cargas no grid. Se esta mudança não estiver bem gerenciada, ocorre o risco de aplicar torque excessivo aos eixos do gerador e da turbina, fazendo com que o sistema de controle desligue o sistema de energia para evitar danos catastróficos a esses componentes-chave e deixando o navio à deriva, eventualmente, durante uma operação crítica [7].
- Um dos perigos com o armazenamento de energia é que, em situações específicas, a energia armazenada pode ampliar o dano durante uma falha. Por exemplo, em uma simulação a nível de sistema de uma topologia de tiristores com comutação de linha, demonstrou-se que uma falha no barramento AC, ocorrendo durante a operação de regeneração de um conversor de energia, poderia induzir a falha de comutação do circuito de interface, exacerbando as consequências da falha. Quando ocorre uma falha de linha a linha AC durante a descarga do sistema de armazenamento, o sistema de armazenamento de energia capacitiva atuará como uma fonte de tensão CC que, por sua

vez, faz com que o tiristor direto não comute (desligue) a corrente. Isso resulta em falha de corrente DC no barramento AC do navio até que o capacitor de armazenamento de energia esteja completamente descarregado [7].

## 2- Análise Prospectiva de Perigos

Cabe aqui conceituar “Perigo” como o potencial de um evento que, caso ocorra, poderá causar consequências negativas para pessoas, ativos e/ou para o meio ambiente. Após a ocorrência do evento, o perigo se materializa em um acidente. Este conceito difere de “Risco”, atribuído à incerteza utilizada para avaliar o efeito potencial de um acidente em termos de sua probabilidade de ocorrência e a magnitude de suas consequências. O risco é composto por três elementos - cenários, frequências e consequências – e expressa a média esperada da probabilidade de ocorrência pela magnitude do efeito em todos os cenários possíveis.

Os métodos prospectivos de análise de perigos (prospective hazard analysis, PHA) são uma maneira eficaz para elevar a compreensão dos perigos em um sistema e implementar mudanças antes que ocorram danos.

A PHA é um requisito importante do Programa de Gerenciamento de Riscos (Risk Management Program, RMP) da EPA, 40 CFR Part 68 e padrão de Gerenciamento de Segurança de Processo (PSM) da OSHA, 29 CFR 1910.119. Esses regulamentos exigem que a PHA enfoque os perigos de intoxicação, incêndio e explosão resultantes de produtos químicos específicos e seus possíveis impactos sobre os funcionários, o público e o meio ambiente [8].

O Process Improvement Institute define a seleção da técnica em termos de: modo de operação, complexidade do processo, número de cenários, experiência e nível de informação disponível sobre o processo [9].

No momento em que foi realizado este trabalho, existia pouca disponibilidade de base histórica específica com informações de segurança, já que a aplicação constitui uma inovação tecnológica, e o projeto do PSV híbrido estava em fase P&D / conceitual.

Para estas situações a AIChE recomenda o uso da técnica What-If por ser capaz de lidar com processos em fase de pesquisa e desenvolvimento, ver Tabela 1 [8]. O Process Improvement Institute recomenda o uso das técnicas Check-list e HAZID para a fase de projeto conceitual [9]. Os sistemas de implantação de projetos de capital da indústria mundial propõem o uso de práticas PHA relacionadas ao ciclo do projeto, algumas das quais listam o Check-list ou HAZID, no início da etapa conceitual do Front-End Loading [10].

A análise pela técnica What-If é utilizada para identificar perigos, situações perigosas ou cenários de acidentes. O método pode ser usado para examinar os perigos nas diversas fases do ciclo de vida do ativo - projeto, construção, modificação ou operação. A prática requer uma compreensão básica do processo e uma capacidade de combinar possíveis desvios da intenção do projeto na forma de questões dirigidas a um grupo de especialistas. A AIChE destaca a técnica What-If como um procedimento eficaz se a identificação de perigos for realizada por uma equipe experiente [8].

Tabela 1 - Aplicabilidade das Técnicas PHA [8].

Fases do desenvolvimento e operação de processo	Checklist	What-if	What-if / Checklist	HAZOP	FMEA	FTA
P&D		X				
Projeto conceitual / Básico	X	X	X			
Planta piloto	X	X	X	X	X	X
Engenharia detalhada	X	X	X	X	X	X
Construção / Partida	X	X	X			
Operação	X	X	X	X	X	X

Modificação	X	X	X	X	X	X
Investigação de incidentes		X		X	X	X
Desativação	X	X	X			

### 3- Metodologia

O trabalho iniciou por uma revisão bibliográfica focada em padrões de segurança e artigos investigando perigos em grandes arranjos de baterias, não limitado a sistemas embarcados. Foram também pesquisadas as regras de classificação para navios dotados de sistemas de posicionamento dinâmico, como é o caso do PSV, objeto do trabalho.

Após a definição do escopo da análise, foram desenvolvidas as Questões "What-If", seguidas da definição da equipe de especialistas e organização do workshop de identificação de perigos. Após o workshop, foram elaborados o Registro de Perigos e o Relatório Técnico, seguido da sua revisão e dos comentários dos especialistas para a consolidação do trabalho.

Uma identificação de perigos de alto nível e flexível foi utilizada como o primeiro passo de um processo mais amplo e estagiado para servir de entrada apropriada ao uso de métodos mais detalhados e quantitativos em etapas posteriores. Neste primeiro passo, começamos a identificar os perigos potenciais pelo uso da técnica What If. A Figura 1 resume o processo de aplicação da técnica: um grupo de especialistas é apresentado a um conjunto de questões relacionadas a condições hipotéticas, fora das faixas usuais dos parâmetros de projeto do sistema. Com base nas informações disponíveis do sistema e na sua experiência prévia, os especialistas descrevem os cenários de consequência esperados. Se o impacto dessas consequências apresentar potenciais danos às pessoas ou aos ativos, os especialistas estabelecerão as possíveis causas e discutirão as probabilidades desta ocorrência à luz dos controles incluídos no conceito de projeto do sistema. Recomendações são propostas para o aprimoramento da segurança no projeto e operação do sistema.

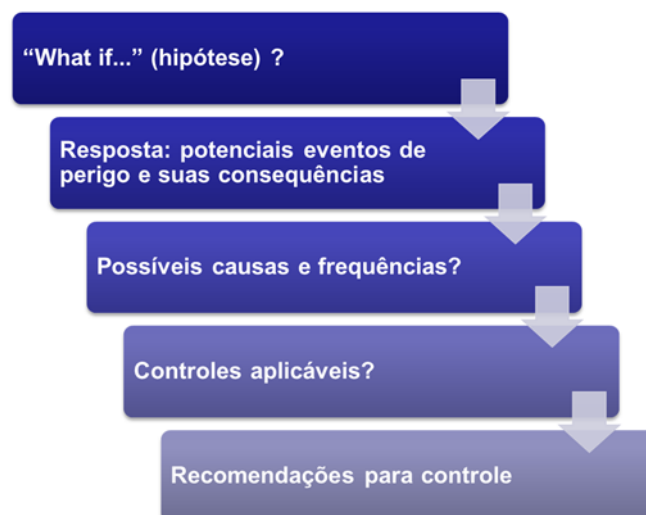


Figura 1 – Técnica What If para identificação de perigos

Um facilitador da Berkeley Research Group, BRG, experiente em análises de riscos e perigos similares facilitou o trabalho completo. Após a definição do escopo e perfil da equipe de especialistas, o facilitador coordenou o Workshop de Identificação de Perigos e procedeu a análise dos resultados.

O workshop de Identificação de Perigos foi realizado em julho de 2016 na Universidade de São Paulo (USP), com um grupo de especialistas sênior, formado por especialistas em sistemas elétricos, controle e análise de riscos das escolas elétrica e naval da politécnica da USP, especialista em riscos de saúde e segurança industriais da Zaed Engenharia, capitão experiente de embarcações com sistema de posicionamento dinâmico da Petrobrás e especialistas do fabricante de baterias e células de combustível Electrocell.

A definição deste perfil para a equipe de especialistas teve como objetivo suportar a identificação de perigos com:

- Expertise multidisciplinar complementar dos participantes;
- Experiência sênior geral dos participantes;
- Equilíbrio entre as experiências da indústria, engenharia e pesquisas.

Com base na descrição da operação planejada para o PSV, especificação e lista de equipamentos principais, descrição do sistema de baterias, diagrama de blocos e em suas experiências passadas e conhecimento de situações semelhantes, esta equipe experiente pode discernir de forma eficaz e produtiva as questões importantes relacionadas ao sistema em estudo na Tabela 2.

Tabela 2 - Conjunto de perguntas What-If do workshop.

Perguntas “What-If”
Demanda de energia acima do disponível nas baterias
Demanda de potência abaixo da disponível nas baterias
Elevação repentina de amperagem no barramento
Elevação repentina da tensão no barramento
Bateria operando acima de 80% State-of-charge (SoC)
Bateria operando abaixo de 20% State-of-charge (SoC)
Tensão da bateria superior à faixa nominal
Tensão da bateria inferior à faixa nominal
Falha na informação de tensão
Falha na informação da temperatura da bateria
Curto-circuito da bateria
Geração de calor durante o fornecimento / descarga de energia da bateria
Incêndio no local do banco de baterias
Incêndio em áreas vizinhas às baterias
Falha contínua ou aleatória no sistema de gerenciamento de energia
Relâmpago interferindo com o grid do navio
Contato físico das baterias com a carga transportada: água
Contato físico das baterias com a carga transportada: metanol
Contato físico das baterias com a carga transportada: combustível
Contato físico das baterias com a carga transportada: grânéis sólidos

As perguntas foram respondidas pelos especialistas, considerando as consequências possíveis em três diferentes condições do ciclo operacional / status das baterias aplicáveis ao caso do PSV:

- Manobra no porto (modo alimentado somente por baterias),
- Viagem nos primeiros/últimos 10 km de/para o porto (modo alimentado somente por baterias),
- Operação DP durante a transferência de carga para/da plataforma offshore (baterias em recarga).

Estabelecidas as possíveis consequências, a equipe foi levada a identificar as condições que poderiam iniciar o perigo, além de comentar sobre a probabilidade de sua ocorrência, classificando-as em acordo com a Tabela 3. A equipe de especialistas então fez recomendações das ações para prevenir os perigos identificados.

Tabela 3 - Classificação de Consequências e Frequências.

Consequência		Frequência	
Classe	Descrição	Classe	Descrição
Alta	Incêndio, explosão e outras situações com potencial de danos graves para o barco e/ou pessoas, ou situações que podem levar à perda de controle do navio em operações críticas.	Alta	Casos frequentemente observados, com base na experiência dos especialistas.
Média	Situação com consequências que levam a danos localizados ou a perda de função do equipamento, mas não há consequências mais severas ou extensas para o navio ou pessoas.	Média	Casos intermediários
Baixa	Consequências financeiras e outras que não envolvem danos aos ativos e às pessoas.	Baixa	Casos raramente observados, com base na experiência dos especialistas.

## 4- Resultados

Para as 20 questões listadas, a equipe de especialistas identificou 23 possíveis consequências para 16 delas. Mais da metade dos casos apresentaram um alto nível de impacto associado a causas com baixa probabilidade de ocorrência de acordo com os critérios da Tabela 3.

### 4.1- Principais Perigos

Os perigos identificados com alto nível de impacto estão relacionados às flutuações de tensão devido às manobras, podendo desligar o sistema de energia durante uma operação crítica do PSV no modo alimentado somente por baterias, sobretensão quando ocorre o desligamento de uma grande carga durante o carregamento da bateria, taxas de carga / descarga mais altas com geração de calor dependendo da química da bateria, danos / falhas do sensor de temperatura durante a carga / descarga da bateria, danos / falhas do sensor de amperagem ocorrendo quando um curto-circuito atinge as baterias, danos mecânicos das baterias, na montagem ou em operação, com potencial de falha por curto-circuito da bateria em operações, incêndio em compartimentos adjacentes, danos / vazamentos nos tanques de metanol, incêndio na sala das baterias simultâneo ao não funcionamento do sistema de ventilação devido a danos nas outras fontes de energia do PSV, entre outros.

### 4.2- Principais Recomendações

Para controle dos perigos, as recomendações propostas incluem:

- Seleção da química  $\text{LiFePO}_4$  para as baterias. Conforme mostrado na Tabela 4, a química baseada em lítio-ferro-fosfato fornece um material de catodo com elevada segurança, onde temperaturas até 270 °C podem ser alcançadas antes do início dos eventos de thermal runaway. A redução de perigos é compensada com uma densidade de energia ligeiramente menor comparando com valores mais altos de outras químicas de baterias [11].
- Sistema confiável de refrigeração das baterias em circuito fechado. Para evitar as principais consequências do superaquecimento do banco de baterias, este estudo inclui uma recomendação específica para a adoção de um sistema de resfriamento. O sistema deve ser baseado em água, com alguns aditivos para evitar a corrosão e em circuito fechado para evitar o contato direto com água salgada ou outros fluidos. Uma pequena bomba normalmente garante a circulação de água e o exterior do banco de baterias deve ser totalmente blindado. Portanto, não há consequências em caso de inundações na sala das baterias. De acordo com os especialistas, sistemas de refrigeração similares ao descrito são aprovados para uso em aviões. O dimensionamento deste sistema de



resfriamento é crítico e deve ser objeto de estudo detalhado.

- Sensor de pressão no sistema de refrigeração, como medida redundante ao sensor de nível.
- Sensores de detecção de gás na sala de baterias, apropriados para as emissões do tipo de eletrólito.
- Garantir a funcionalidade dos sensores de temperatura do BMS: posicionamento, especificação e redundância.
- Procedimentos de teste de condição das baterias e BMS, para prevenir desvios das faixas nominais avaliando de tensão de saída, corrente e temperatura.
- Fontes de alimentação / backup independentes para evitar o desligamento prematuro do o BMS e sistema de refrigeração das baterias.
- Sala de baterias fechada com sistema de ventilação dedicado.
- Projeto do sistema de ventilação e do sistema de refrigeração das baterias, considerando a possibilidade de usar a própria energia da bateria, se disponível, para manter a ventilação em caso de falha dos geradores principais e emergência, por exemplo em caso de explosão na sala dos geradores.
- Localização das baterias separada da sala dos geradores principais.
- Localização do gerador de emergência separado dos geradores principais e das baterias.
- A supressão tradicional à base de água pode não ser o método mais eficaz para a supressão de incêndios envolvendo baterias de íon de lítio. Uma série de outras abordagens de supressão, como o “smothering”, aplicação de espuma, sistemas de névoa de água, etc. podem ser explorados. Recomenda-se a condução de testes usando pequenos arranjos de células para avaliar a eficácia dos supressores na prevenção da propagação de thermal runaway. Um teste em plena escala seria usado para validar as abordagens mais promissoras [14].
- Proteção redundante entre barramento e baterias.
- O disjuntor em AC deve ser especificado para desarmar em milissegundos. Os relés digitais devem ser parametrizados para esta curva de resposta rápida.
- Adotar outro disjuntor DC como uma segunda proteção.
- Capacidade de reconfiguração do sistema para retomar a operação normal com duas fases, caso ocorra a falha de uma das fases do gerador durante a demanda de cargas.
- Inversores para cada string em módulos paralelos do banco de baterias.
- Realizar análise de condições extremas, simulação e bancada de teste, verificando as situações de transiente máximo e garantir que os sensores sejam especificados com uma margem de segurança para as flutuações e transientes identificados.
- Análise Quantitativa de Riscos do cenário de vazamento do tanque de metanol.
- Análise dos efeitos de relâmpago no grid durante as operações do navio híbrido.
- Elaboração de uma guia de projeto e operação do PSV híbrido, abordando o nível recomendado de carga máximo e mínimo das baterias, sistema de refrigeração de segurança, entre outros.

Tabela 4 - Resumo das principais variantes Íon-Li [12]

	LiCoO <sub>2</sub>	LiFePO <sub>4</sub> (HEV)	LiFePO <sub>4</sub> (EV/PHEV)	NCM (HEV)
Densidade de energia no nível das células [Wh / kg]	170 – 185	90 – 125	80 – 108	150
Densidade de energia no nível das células [Wh / l]	450 – 490	130 – 3000	200 – 240	270 – 290
Durabilidade em ciclos [100% DoD]	500	2000	2000	1500
Preço estimado [US\$ / Wh]	0.31 - 0.46	0.3 - 0.6	0.4 - 1.0	0.5 - 0.9

Potência [Taxa C]	1 C	5 C contínuo 10 C pulso	30 C contínuo 50 C pulse	20 C contínuo 40 C pulse
Thermal runaway [°C]	170	270	270	215
Tensão [V]	3.6	3.2	3.2	3.7
Faixa de Temperatura [°C]	-20 a 60	-20 a 60	-20 a 60	-20 a 60

Entre as recomendações apresentadas, três são de importância vital: a seleção adequada da química, o sistema de refrigeração das baterias e o procedimento de testes do BMS.

O BMS é responsável pelo monitoramento da temperatura e do estado exato de carga das baterias, o que é crítico para manter sua vida útil e para proteger contra curtos-circuitos e sobrecargas. O sistema protege as células de danos ao prevenir que a tensão reduza além do especificado durante a descarga [13].

Sua função e seus diversos componentes foram identificados, pela equipe de especialistas, como salvaguardas-chave para controlar os perigos identificados e avaliado como crítico devido ao alto nível dos impactos associados, caso o mesmo venha a falhar. Recomenda-se a aplicação de um teste para verificar a integridade do BMS e detectar antecipadamente qualquer anomalia no sistema. Esta verificação pode ser realizada como procedimento de rotina ou continuamente ao longo da operação do navio híbrido.

Em 2010, técnicos da Pickering Interfaces e da DMC Engineering propuseram um sistema de teste do BMS [15]. A configuração do dispositivo de teste é apresentada na Figura 2 e inclui testes emulados para:

- Simulador de bateria;
- Simulação dos sensores de temperatura;
- Entradas / Saídas analógicas e digitais;
- Comutação de alta tensão da saída das baterias;
- Comunicação com o BMS através de uma porta CAN.

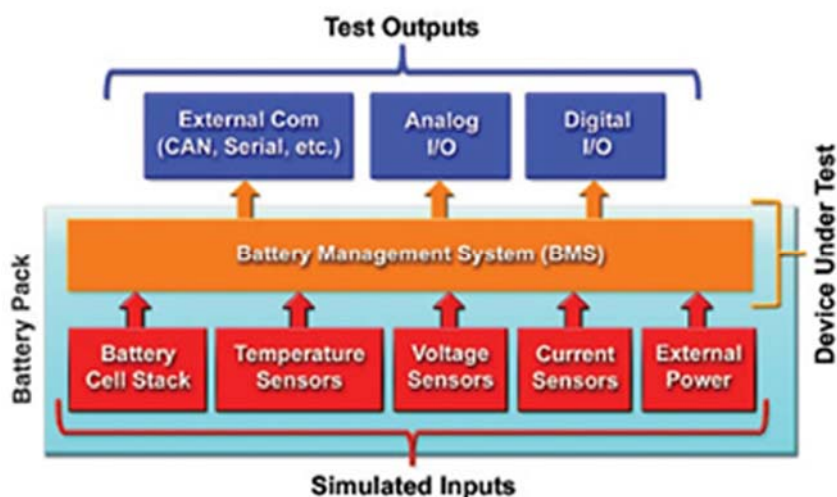


Figura 2 – Elementos funcionais de um sistema de teste do Sistema de Gerenciamento das Baterias [15].

## 5- Conclusões

A análise What-If produziu uma saída de recomendações com foco na seleção de química de baterias, procedimentos para testes das baterias e do sistema de gerenciamento das baterias (BMS), especificação do sistema de refrigeração do banco de baterias e especificações de sensores e disjuntores.

O estudo apresenta um caso interessante de uso de um método conhecido e relativamente simples para identificação de perigos aplicado em uma tecnologia complexa com pouco histórico de aplicação industrial,



demonstrando como essa análise pode produzir resultados importantes e inovadores, como, por exemplo, a adoção de um sistema para testes on-line de condição do sistema de gerenciamento das baterias, produzindo uma solução eficiente para gerenciar os perigos identificados.

## 6- Agradecimentos

Este artigo apresenta parte dos resultados gerais do projeto de pesquisa e desenvolvimento conduzido pelo Research Center for Innovation Gas (RCGI), da USP, patrocinado pela Shell e Fundação de Pesquisas de São Paulo (FAPESP), aos quais os autores registram sua gratidão. Os autores também agradecem à Petrobras, Electrocell e Zaed Engenharia pela participação no workshop e ao Programa de Desenvolvimento de Recursos Humanos (PRH19) da Petrobras e da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo apoio financeiro.

## 7- Referências

- [1] *Guideline for Large Maritime Battery Systems*, DNV GL, No. 2013-1632, Rev. V1.0, 10/03/2014 (2013)
- [2] *Large battery installations – a Lloyd’s Register Guidance Note*, Lloyd’s Register, May 2015 (2015)
- [3] HIRSCHBOLD, M. HOEPPNER, C. “Verifying the Health of Backup or Emergency Power Supply Batteries”, *Schneider Electric White Paper* (2014)
- [4] HARRY, K. J., PARKINSON, D. Y., BALSARA, N. P. “Failure Analysis of Batteries Using Synchrotron-based Hard X-ray Microtomography”. *J. Vis. Exp.* (102), e53021, doi:10.3791/53021 (2015)
- [5] WANG, Q., SUN, J., CHU, G. “Lithium Ion Battery Fire And Explosion”, *8th Fire Safety Science International Symposium*, pp. 375-382 (2005)
- [6] DE BREUCKER, S.; PEETERS, E.; DRIESEN, J. “Possible applications of plug-in hybrid electric ships”, *Electric Ship Technologies Symposium*, ESTS. IEEE, pp.310-317, 20-22, April 2009 (2009)
- [7] B. ZAHEDI AND L. E. NORUM. “Modelling and simulation of hybrid electric ships with DC distribution systems”, *15th Power Electronics and Applications European Conference*, pp. 1-10, Lille, (2013)
- [8] US EPA REGION 10 “PHA Techniques”, *Chemical Emergency Prevention & Planning Newsletter*, pp. 3-6, July-August 2008 (2008).
- [9] BRIDGES, W. 2008. “Selection of Hazard Evaluation Techniques”, Process Improvement Institute, Inc., *ASSE Middle East Chapter Conference*, Bahrain (2008).
- [10] PEREZ, J. T. “Enhanced PHA Integrity Through a Modified PHA Cycle for Capital Projects”, Celerity3 Engineering, Inc. disponível em: [http://www.cognascent.com/\\_literature\\_127016/Enhanced\\_PHA\\_Integrity\\_Through\\_a\\_Modified\\_PHA\\_Cycle\\_for\\_Capital\\_Projects-Paper](http://www.cognascent.com/_literature_127016/Enhanced_PHA_Integrity_Through_a_Modified_PHA_Cycle_for_Capital_Projects-Paper) (2016)
- [11] PEIFENG HUANG, QINGSONG WANG, KE LI, PING PING & JINHUA SUN. “The Combustion Behavior Of Large Scale Lithium Titanate Battery”, *Scientific Reports*, 5:7788, DOI: 10.1038/srep07788 (2015)
- [12] *Guide to Batteries*. Johnson Matthey Battery Systems, EUA (2012)
- [13] *Guide for Selection and Use of Battery Monitoring Equipment in Stationary Applications*, IEEE, 1491-2005 (2005)
- [14] MIKOLAJCZAK, C, KAHN, M, WHITE, K, LONG R.T. “Lithium ion batteries hazard assessment and use”, *National Fire Protection Association (NFA)*, july-2011 (2011)
- [15] OWEN, D., STASONIS, B., HOERMAN, B. “A Solution for Testing Battery Management Systems”. Disponível em: <http://www4.evaluationengineering.com/articles/201004/a-solution-for-testing-battery-management-systems.php> (2010)