IX SINGEP
Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Management, Project, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302
CYRUS Institute of Knowledge MAKE A DIFFERENCE
9TH INTERNATIONAL CONFERENCE

UTILIZAÇÃO DO AHP NA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PORTÁTIL PARA VEÍCULOS AUTÔNOMOS

USING AHP IN CHOOSING A PORTABLE POWER SUPPLY SYSTEM FOR AUTONOMOUS VEHICLES

MARCELLE CARUZO XAVIER
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO-IFRJ

ELTON FLACH

EDISON CESAR DE FARIA NOGUEIRA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO-IFRJ

GABRIEL RODRIGO DE SOUZA GAMA
CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Nota de esclarecimento:
Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o IX SINGEP e a 9ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **20, 21 e 22 de outubro de 2021.**

Agradecimento à orgão de fomento:
Agradecimentos ao IFRJ, campus Nilópolis, e ao CNPq pelo apoio da estrutura e pelo financiamento da pesquisa.

IX SINGEP
Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Management, Project, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302
CYRUS Institute of Knowledge MAKE A DIFFERENCE
9TH INTERNATIONAL CONFERENCE

UTILIZAÇÃO DO AHP NA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PORTÁTIL PARA VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Objetivo do estudo
O presente estudo objetiva listar opções comercialmente viáveis de tecnologias de sistemas de alimentação portáteis para aplicação em Veículos Guiados Automaticamente (AGVs).

Relevância/originalidade
O trabalho faz um mapeamento bastante atual sobre as principais tecnologias existentes de sistemas de alimentação portáteis, usando dados bibliométricos e mercadológicos para esse fim.

Metodologia/abordagem
Uma extensa busca foi realizada, e com os dados levantados foi feita uma análise comparativa. O método AHP foi usado para permitir encontrar a opção mais eficiente em termos da usabilidade e da sustentabilidade fornecidos pela tecnologia.

Principais resultados
Dado os resultados das análises feitas, foi possível constatar que a melhor tecnologia para armazenamento de energia, foi a bateria com tecnologia de íons de Lítio, dado seu desempenho moderado em todos os fatores analisados.

Contribuições teóricas/metodológicas
Entendemos que o uso de baterias, de forma eficiente, em AGVs ainda é um problema em aberto e que a principal contribuição deste trabalho é a comparação feita entre as diversas tecnologias, que apontou uma opção eficientemente viável.

Contribuições sociais/para a gestão
O estudo também incentiva o uso de materiais que são de fácil descarte, tem longos ciclos de vida útil e que são abundantes na natureza, contribuindo com o bem estar da sociedade.

Palavras-chave: AHP, Veículos Guiados Automaticamente, Sistema de Alimentação Portátil

IX SINGEP
Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Management, Project, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302
CYRUS Institute of Knowledge MAKE A DIFFERENCE
9TH INTERNATIONAL CONFERENCE

USING AHP IN CHOOSING A PORTABLE POWER SUPPLY SYSTEM FOR AUTONOMOUS VEHICLES

Study purpose
This study aims to list commercially viable options for portable power system technologies for application in Autonomous Guided Vehicles (AGVs).

Relevance / originality
The work makes a very up-to-date mapping of the main existing technologies of portable power systems, using bibliometric and market data for this purpose.

Methodology / approach
An extensive search was carried out, and with the data collected, a comparative analysis was performed. The AHP method was used to permit finding the most efficient option in terms of the usability and sustainability provided by the technology.

Main results
The results of the analyzes made it possible to verify that the best technology for energy storage was the battery with lithium-ion technology, given its moderate performance in all analyzed factors.

Theoretical / methodological contributions
We understand that the efficient use of batteries in AGVs is still an open problem and that the main contribution of this work is the comparison made between the different technologies, which has indicated an efficiently viable option.

Social / management contributions
The study also encourages the use of materials that are easy to dispose of, have long life cycles, and are abundant in nature, contributing to the well-being of society.

Keywords: AHP, Automatic Guided Vehicles, Portable Power System

1. Introdução

Os AGVs (automatic guided vehicle) são desenvolvidos para realizar tarefas pré-definidas de maneira autônoma. Isso significa interagir com um ambiente dinâmico, compreender o significado de símbolos usados para indicar sinalização e a localização de ambientes específicos (Bond, 2018). Os AGVs são usados em ambientes industriais em geral para a realização de tarefas intelectualmente sofisticadas, como fazer diagnósticos sobre a operação de outros equipamentos ou levar encomendas para setores específicos. Para que seja possível um grau de mobilidade que permita aplicação industrial estes dispositivos dependem de baterias como fontes de energia. É desejado que os AGVs operem durante longos turnos de trabalho, ininterruptos, e que suas baterias possuam uma longa vida útil, sejam ecologicamente viáveis, sem que haja a necessidade de troca por defeitos prematuros. Dessa forma, é necessário que essas baterias forneçam níveis de autonomia suficientes, que possuam ciclos de vida elevados e, assim, permitam um custo por Wh/kg fornecido aceitável (Abderrahim, Abdelghani, Trentesaux, Aissani, & Bouamrane, 2020).

Contudo, o nível de autonomia fornecido pelas baterias desenvolvidas por meio das tecnologias atuais podem ser fatores limitantes para os AGVs (Abderrahim *et al.*, 2020). Udayakumar *et al.* (2015) mostra em seu estudo que um AGV tem autonomia de 4,5 horas usando baterias de íon-lítio, mas precisa de 3,5 horas para o carregamento completo das baterias. E assim, das 24 horas diárias, em apenas 10,5 horas o dispositivo está em operação. Chen, Shu, Li, Xiao, & Shen (2017) argumenta que a capacidade máxima de carga da bateria, por não ser constante, está sujeita à degradação durante o processo de carregamento, degradação esta que se acentua em processos de carregamento rápido (ou turbo). Abderrahim *et al.* (2020) lista em seu estudo problemas logísticos de recarga de baterias e sugere como solução paliativa a troca do conjunto de baterias descarregado por outro conjunto carregado, para minimizar um pouco esse problema. Abderrahim *et al.* (2020), no mesmo trabalho, também sugere a construção de vias especiais que permitiriam carregar as baterias durante os deslocamentos do AGV. Armand e Tarascon (2008) ainda cita o problema da sustentabilidade relacionada à necessidade de uso de materiais raros na produção das baterias e que não são de fácil reciclagem. Contudo, esses tipos de soluções paliativas encarecem de forma considerável o Wh das baterias e não representam uma solução definitiva.

Entendemos que o problema de uso de baterias em AGVs ainda está em aberto e acreditamos que podemos minimizar esse problema por meio de uma pesquisa comparativa sobre as diversas tecnologias existentes de baterias. Assim, o presente estudo objetiva listar, de maneira otimizada, usando metodologia AHP (Abreu, Granemann, Gartner, & Bernardes, 2000), em relação a usabilidade e a sustentabilidade, opções comercialmente viáveis de baterias para aplicação em um dispositivo AGV.

O trabalho é composto por 5 seções: seção 1 - introdução, seção 2, a seguir, que traz um breve histórico sobre os termos relacionados a bateria e as tecnologias que se apresenta como carga autônoma recarregável, na 3ª parte é apresentada a metodologia usada para a realização deste trabalho e logo após na 4ª seção o resultado a partir da comparação dos dados teóricos coletados e por fim a conclusão na 5ª seção.

2. Referencial Teórico

A compreensão do presente trabalho depende do conhecimento dos principais termos e de suas definições, tais como **potência elétrica, capacidade de carga, densidade de energia**, **ciclabilidade** (ciclos de carga e descarga), **custo**, **reciclabilidade** e **renovabilidade**, que são

discutidos na literatura sobre o tema de sistemas de alimentação de AGVs (Hasa *et al.*, 2021). Assim, eles serão apresentados na sequência do texto.

2.1 Conceitos e Parâmetros

Todas as **baterias** são compostas por dois eletrodos conectados por um material ionicamente condutor denominado eletrólito. Esses dois eletrodos têm potenciais químicos particulares, consequência direta da estrutura atômica de cada um deles (Armand & Tarascon, 2008). A pilha converte energia química em elétrica, e é capaz de transferir essa energia para uma carga, em forma de **potência elétrica (em Watt [W])**, que é a energia elétrica consumida, durante um intervalo de tempo (Ferreira & Pomilio, 2005). Em baterias recarregáveis, a corrente elétrica pode fluir em ambos os sentidos: em um haverá a recarga e na outra, a utilização da energia armazenada. Na utilização da carga armazenada, um fluxo de elétrons acontece (de forma natural) no sentido da bateria para a carga. No caso da recarga, é necessário que haja um potencial elétrico maior do que o fornecido pelas células da bateria, fazendo com que a corrente elétrica possa fluir no sentido contrário ao natural. Isso pode levar ao superaquecimento destas, diminuindo a vida útil da bateria (Armand & Tarascon, 2008). A **capacidade de carga** é a medida de energia total que uma bateria pode armazenar e tem unidade dada em Ampère-hora [Ah] (Mathias, Silva & Silva da, 2017). A modernização dos AGVs, que passam a usar um maior número de componentes e/ou componentes com mais funcionalidades, resulta em uma demanda crescente por baterias mais densas em termos de energia fornecida e mais leves em termos de peso (**densidade de energia,** Wh/kg) para compensar o acréscimo de novos dispositivos (Zu & Li, 2011; Ferreira & Pomilio, 2005).
Em relação a **sustentabilidade**, podemos apresentar a análise sob 03 aspectos (Armand & Tarascon, 2008): a composição do material usado na bateria é um recurso natural renovável ou não renovável (OECD, 1997), a forma de descarte deste material (de fácil reciclagem ou necessidade de processos complexos para permitir o reaproveitamento) e o tempo que será possível utilizá-lo, ciclabilidade (Hasa *et al.*, 2021).

2.2 Tipos de Tecnologia

Centenas de tipos de baterias foram propostos durante o século XIX e início do século XX, como a de chumbo-ácido e de níquel cádmio (NiCd), que são as mais comumente encontradas (Armand & Tarascon, 2008; Trindade, 2006). Mas, assim como as baterias, existem outras tecnologias que podem fornecer alimentação aos AGVs, como é o caso dos supercapacitores. A seguir, serão apresentadas as tecnologias mais usuais.

2.2.1 Níquel-Cádmio (NiCd)

A bateria de níquel-cádmio (NiCd) foi amplamente usada por muitos dos dispositivos eletrônicos portáteis antes do aparecimento das baterias de níquel hidreto metálico e baterias de íon de lítio na década de 1990. Entretanto, por causa de seu impacto ambiental, fator agravante devido ao uso de cádmio (metal tóxico para humanos e de difícil descarte), sua participação de mercado diminuiu significativamente e alguns países estão limitando o uso delas (Zu & Li, 2011; Trindade, 2006; Bocchi, Ferracin & Biaggio, 2000). Essas baterias caracterizam-se por apresentar maior eficiência quando carregadas com uma corrente elétrica relativamente alta, potencial elétrico quase constante, condições de uso a baixas temperaturas (em torno de 233K a 333K) e vida útil longa (500 a 1000 ciclos). Mesmo que as baterias de NiCd tenham sofrido

um avanço considerável, sendo um deles um aumento da sua capacidade de armazenamento de energia e redução do efeito memória, ainda não houve avanço em relação à densidade de energia delas, que é considerada baixa [50 Wh/kg] (Trindade, 2006).

Em pesquisas feitas nos principais sites de venda pela internet, em média, a bateria de NiCd tem um custo aproximado de USD 0,10 por Wh.

2.2.2 Metal de lítio ou Íon-Lítio

A bateria de íon-lítio, foi comercializada pela primeira vez pela Sony em 1991 (Armand & Tarascon, 2008). O Lítio é um metal leve, tem alto potencial eletroquímico e fornece alta densidade de energia por massa (Trindade, 2006). A densidade de energia deste tipo de bateria teve um aumento considerável, de 90 Wh/kg (assim que desenvolvida) para os atuais 210 Wh/kg (Zu & Li, 2011; Bocchi *et al.*, 2000). Essas baterias possuem um ciclo de vida longo, de cerca de 3000 - 10.000 ciclos, quando comparadas com as baterias de NiCd (Zu & Li, 2011). Contudo, há relatos de que a formação de dendritos de lítio durante o processo de carregamento traz consequências como segurança insatisfatória (por exemplo: explosões e incêndios) e a necessidade de longos tempos de carregamento (Zu & Li, 2011). Por esse motivo, as baterias de íon-lítio necessitam de circuitos de proteção para evitar sobrecarga e minimizar o risco de incêndios e explosões (Trindade, 2006). Segundo Bocchi *et al.*, (2000) tanto as baterias de hidreto metálico/óxido de níquel como as de íons lítio representam riscos ambientais muito menores do que as de níquel/cádmio. Em termos de descarte, as baterias de íon-lítio exploram metais raros e não sustentáveis em relação à mineração / exploração (Bocchi *et al.*, 2000). Embora possível, a reciclagem do lítio precisa de um processo complexo e caro que não o torna atraente (Zu & Li, 2011).

Além disso, pesquisas feitas em sites de venda pela internet mostram que, em média, o custo dessas baterias fica em torno de USD 0,25 por Wh.

2.2.3 Níquel Metal Hidreto - (NiMH)

A bateria de hidreto de metal de níquel apareceu no mercado em 1989 com densidade de energia de 50-80 [Wh/kg] (Zu & Li, 2011). Assim, a bateria NiMH é uma tecnologia relativamente nova e que apresenta semelhança com as baterias de níquel-cádmio com o uso de hidrogênio absorvido em uma liga, na forma de hidreto metálico, ao invés de cádmio (Ambrosio & Ticianelli, 2001). Apresentam uma longa vida útil, entre 500 e 1000 ciclos de carga e descarga. Porém repetidos ciclos completos de carga e descarga reduzem a vida útil desse tipo de bateria, levando seu desempenho a se deteriorar após 200 a 300 ciclos. Os fabricantes recomendam descargas parciais ao invés de descarga profunda das baterias NiMH (Trindade, 2006). Ambrosio e Ticianelli (2001) afirma que a utilização das baterias de níquel-hidreto metálico constitui uma alternativa para minimizar os problemas com o descarte de baterias usadas, já que não são compostas por elementos tóxicos. Contudo, o níquel é um material raro e de difícil extração (Armand & Tarascon, 2008).

A densidade de armazenamento de energia desse tipo de bateria é de até 120 Wh/kg (Trindade, 2006), com um custo médio de USD 0,40 por Wh.

2.2.4 Chumbo Ácido

A bateria recarregável de chumbo-ácido é comercializada há mais de 100 anos. A densidade de energia aumentou gradualmente dos 25 Wh/kg iniciais para os atuais 55 Wh/kg (Mathias, Silva, & Silva, 2017). A ciclabilidade em alta temperatura é limitada, de 2 a 5 anos [500 ciclos] (Bocchi *et al.*, 2000). Em relação a sua composição, o chumbo embora seja um elemento tóxico para a saúde humana, possui processo de reciclagem eficiente e barato (Armand & Tarascon, 2008). A grande maioria das baterias exauridas já é recolhida pelos fabricantes nacionais, através da logística reversa, para recuperar o chumbo nelas contido, uma vez que o Brasil não dispõe de minas deste metal e o seu preço é relativamente alto no mercado internacional (Bocchi *et al.*, 2000).

O custo de venda é de, em média, USD 0,15 por Wh.

2.2.5 Supercapacitores

Outra tecnologia que vem sendo estudada como alternativa de sistema de alimentação recarregável é o supercapacitor. Segundo Ferreira e Pomilio (2005), esse é o termo usado para descrever os capacitores eletroquímicos de dupla camada. Geralmente são usados em sistemas híbridos, ou seja, em conjunto com baterias ou células à combustível. Deste modo, cumprem um importante papel como fonte complementar de energia, no intuito de reduzir o tempo de resposta, melhorar a estabilidade e a qualidade do sistema de alimentação. Esses dispositivos também possuem densidade de potência de 6,9 kW/kg e densidade de energia de 2,3 Wh/kg. Essas fontes de energia são caracterizadas por: Não apresentar o efeito de memória, pois a energia é armazenada diretamente no campo elétrico; Ciclo de vida com cerca de 100 anos de uso, pois o processo de armazenamento de energia é completamente reversível; E, se não excedida tensão e temperatura máximas de operação e não violado o limite de corrente, o dispositivo não necessita de manutenção, são ambientalmente amigáveis, pois são livres de materiais de risco ou tóxicos (Ferreira & Pomilio, 2005 p. 28).

Em sites de venda pela internet, em média, os supercapacitores custam USD 7,00 por Wh (González, Goikolea, Barrena, & Mysyk, 2016).

2.2.6 Outras Tecnologias em Estudo (Não oferecidas comercialmente)

Lítio-Ar - A primeira célula de lítio-ar foi usada com sucesso em 1996, mas somente em 2008 foi possível desenvolver uma bateria que tivesse capacidade de carga suficiente para aplicação real [200-250 Wh/kg] (Armand & Tarascon, 2008). Essa tecnologia ainda é uma promessa dos fabricantes que falam em alta densidade de energia, baixo custo, eletrodos renováveis, e de fácil reciclagem (Armand & Tarascon, 2008). O tempo estimado da chegada dessa tecnologia ao mercado deve ser em torno de 10 a 15 anos para aplicações em eletrônicos portáteis e para o setor automotivo, de 35 anos (Capsoni, Bini, Ferrari, Quartarone, & Mustarelli, 2012).

Zinco-Ar - Esta tecnologia promete densidade de energia mediana e alta densidade de potência, tendo em sua composição zinco não verde (difícil extração /insustentável) facilmente reciclável e de aplicações em grande escala (Armand & Tarascon, 2008).

Lítio-orgânico - Promete alta capacidade e densidade de energia, mas limitada taxa de potência. A tecnologia é acessível a um baixo custo, recarregável e com eletrodos renováveis e de fácil reciclagem (Armand & Tarascon, 2008).

Magnésio-enxofre e Al / CFx - Prometem uma densidade de energia elevada, pois o magnésio e o alumínio são metais leves. No entanto, pouco se sabe sobre a cinética das reações nesse tipo de eletrodo, carecendo assim de pesquisas que esclareçam tais detalhes (Armand & Tarascon, 2008). O ciclo de vida também é desconhecido. O Magnésio e o enxofre são verdes (não raros) e recicláveis.

Bateria de prótons - Prometem ser de moderada densidade de energia, densidade de potência desconhecida, verdes e biodegradáveis (Armand & Tarascon, 2008). Contudo, elas requerem que o ânodo tenha um nível extremamente baixo de massa equivalente, muito abaixo da convencional e não podem (ainda) operar em temperatura ambiente (Armand & Tarascon, 2008).

3. Metodologia

O presente trabalho iniciou-se pela busca na literatura por documentos que pudessem direcionar o estudo na escolha da tecnologia de bateria mais adequada para aplicação em AGVs. Para isso, foi utilizada uma metodologia baseada no protocolo PRISMA (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & The PRISMA Group, 2009). Os termos “bateria”, "baterias", “veículos autônomos”, “pilhas”, “supercapacitores” foram inseridos nas plataformas Periódico Capes e Google Acadêmico com um retorno de 7 documentos. Depois, foi feita outra busca com os termos "battery", “autonomous vehicle”, “AGVs”, "batteries", “supercapacitors”, retornando mais 21 trabalhos. No total, foram encontrados 23 artigos, 02 notas técnicas, 02 documentos de indústrias e 01 trabalho de conclusão de curso. O ano ajustado para a busca de artigos foi de 2000 em diante, por considerarmos que trabalhos anteriores a esse ano não se manteriam tão relevantes para uma pesquisa realizada no ano de 2021. Após análise prévia da relação do título com o tema proposto pelo estudo e a leitura do resumo, foram mantidos 17 documentos relevantes. Os 17 trabalhos se mantiveram relevantes após a leitura na íntegra. São listados, a seguir, os mais citados e que contribuíram mais para o desenvolvimento do presente artigo:

- *“Building better batteries”* é um artigo publicado em 2008 pela Nature (Qualis A1) escrito por M. Armand e J.-M. Tarascon, que fala sobre as principais baterias expondo pontos importantes de cada tecnologia e explica como funciona a bateria de Lítio-ar, uma grande inovação, além de apresentar aspectos bem completos ligados à sustentabilidade de baterias.
- “Thermodynamic analysis on energy densities of batteries” publicado em 2011 pela Energy Environ (de fator de impacto 4,6). O artigo é direcionado para análise profunda da densidade de energia das baterias, tanto de forma quantitativa, quanto qualitativa, de maneira cronológica e através de cálculos termodinâmicos.
- “Manufacturing 4.0 Operations Scheduling with AGV Battery Management Constraints” é um artigo de 2020, publicado na ENERGIAS (Qualis B1), cujo autores são: Moussa Abderrahim, Abdelghani Bekrar, Damien Trentesaux, Nassima Aissani e Karim Bouamrane. Traz uma análise da indústria 4.0 e seus AGVs nas manufaturas e o gerenciamento das tecnologias de alimentação desses veículos autônomos.

- "Estado da arte sobre a aplicação de supercapacitores em eletrônica de potência" é um artigo escrito por Ferreira e colaboradores, publicado no periódico Eletrônica de Potência (Qualis B4) em 2005 e fala sobre os supercapacitores e suas diferenças em relação aos demais capacitores normalmente utilizados em circuitos impressos, além de suas características em várias aspectos e aplicações.
- *"Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental"* é um artigo de 2000 sendo utilizado como fonte histórica e para embasamento de alguns termos. Foi publicado na QUÍMICA E SOCIEDADE (Qualis B5) por Nerilso Bocchi, Luiz Carlos Ferracin e Sonia Regina Biaggio com fundamentos sobre a química de algumas pilhas importantes e os impactos que causam.
- *"Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário"* é uma Nota Técnica que foi publicado 12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XII ENCITA / 2006 escrito por Rafael Heleno Ladeira da Trindade. Este documento contribui na complementação dos fundamentos e tipos de baterias e comparativos de suas funcionalidades.

Outra busca fundamental foi em sites de compras para descobrir o valor das tecnologias disponíveis no mercado, considerando o melhor custo / benefício disponível. Por exemplo, no site Alibaba.com (https://br.alibaba.com/ recuperado em 21, abril, 2021), foi possível observar uma padronização dos preços, independente dos fornecedores e / ou distribuidores. Algumas vezes, mesmo com a simulação de compra de pacotes, não se observava uma diferença considerável nos preços. Outra funcionalidade do site escolhido, foram as especificações dos produtos que estavam disponíveis, o que ajudou na análise técnica da bateria ou supercapacitor.

4. Análise de Resultados

Após as buscas feitas na literatura e em sites de venda, foi feita uma análise em todo o conteúdo levantado usando um método, baseado em multicritérios, que auxilia na escolha de opções ótimas, o AHP - Analytic Hierarchy Process (Abreu *et al*., 2000). O resultado obtido por meio desta análise é apresentado nesta seção. A Tabela 01 foi construída a partir da organização dos dados obtidos nas buscas feitas tanto na literatura científica quanto nos sites de venda. Dados esses que se encontram no formato normalizado de Saat de 9 níveis (Abreu *et al*., 2000). Na Tabela 01, só aparecem as tecnologias comercializadas atualmente. Assim, são apresentadas 4 tipos de baterias Níquel-Cádmio (NiCd), íon-lítio (Íon-Lt), Níquel hidreto metálico (NIMH) e chumbo ácido (Pb-Ácido), e o supercapacitor (Scaps) na Tabela 01. Foi objetivado expor características relacionadas a usabilidade (relacionado à densidade de energia, ao custo e risco oferecido) e a sustentabilidade (relacionado ao tempo de vida útil, a facilidade em termos de descarte e abundância do material que compõe os eletrodos) de cada tecnologia.

Assim, foram destacadas 6 categorias que mais se relacionam com a usabilidade e a sustentabilidade:

- **<u>Usabilidade</u>**:
  - **Densidade de energia (Wh/kg)**: o item avalia o peso e espaço que a bateria ou supercapacitor necessitam. 1 significa alta densidade enquanto 0, baixa;
  - **Preço (em relação à densidade de energia, o $ / Wh)**: o item avalia o custo de cada Wh da tecnologia; -1 significa alto custo enquanto 0, baixo;

- **Segurança**: item que avalia o risco que a tecnologia oferece à saúde do usuário. 1 significa baixo risco enquanto 0, alto.

- **Sustentabilidade**:
  - **Ciclos:** este item se refere ao tempo de vida útil do dispositivo (ciclo de vida) até o descarte. 1 significa longa vida útil enquanto 0, baixa;
  - **Descarte**: o item analisa a partir do tipo de substância utilizada, os níveis de toxicidade e / ou poluentes e grau de reciclabilidade. 1 significa de fácil descarte enquanto 0, difícil;
  - **Abundante**: o item avalia o quão raros são os materiais que compõem o dispositivo. 1 significa materiais abundantes enquanto 0, escassos.

Tabela 01:
Principais características das tecnologias usadas em sistemas de alimentação portáteis.

	Usabilidade			Sustentabilidade		
	Densidade	**Preço**	**Segurança**	**Ciclos**	**Descarte**	**Esgotável**
NiCd	0,71	-0,01	0,30	0,06	0,1	0,1
Íon-Lt	1,00	-0,04	0,10	0,5	0,5	0,3
NIMH	1,00	-0,07	0,30	0,06	0,1	0,1
Pb-Ácido	0,73	-0,02	0,30	0,1	0,7	0,4
Scaps	0,36	-1,00	1,00	1	1	1

Elaboração própria (2021)

Após a construção da Tabela 01, os dados foram utilizados para fazer um comparativo gráfico de 2 dimensões (usabilidade x sustentabilidade), mostrado na FIGURA 1. O grau de usabilidade para cada tecnologia é a soma total normalizada dos valores das colunas densidade, preço e segurança, enquanto o grau de sustentabilidade para cada tecnologia é a soma total normalizada dos valores das colunas ciclos, descarte e esgotável. É importante destacar que foram feitas 2 análises AHP, uma para a usabilidade e outra para a sustentabilidade. Em ambas, cada uma das 6 categorias tem peso de ranqueamento igual a 1.

Então, com os valores calculados foi possível construir o gráfico apresentado na FIGURA 1.

Destaca-se mais ao centro do gráfico, a bateria íon-lítio (Íon-Lt), que apresenta os valores mais moderados em comparação às outras tecnologias.

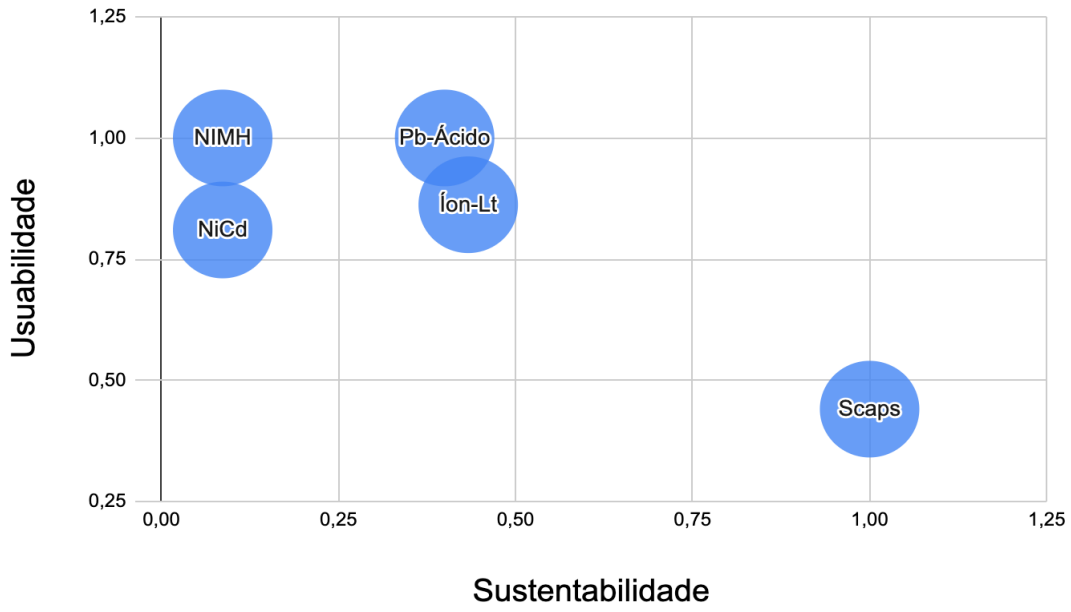

FIGURA 01 - Gráfico de comparação entre os diferentes tipos de tecnologias.
Elaboração própria (2021)

5. Conclusões/Considerações finais

Neste trabalho foi realizada uma busca tanto na literatura científica quanto em sites de compra das principais tecnologias usadas na fabricação de baterias. Após a busca, usando as informações levantadas, foi possível construir a Tabela 01 onde há um resumo das principais características de cada tecnologia. Com as informações da Tabela 01, foi possível fazer um comparativo entre as tecnologias, onde se levou em conta o desempenho (Acessível Financeiramente) e a sustentabilidade (Índice de Sustentabilidade). Os resultados dessa comparação são mostrados de maneira gráfica na FIGURA 01.

Realizando a interpretação da FIGURA 01, é possível perceber que a bateria de íon-lítio é a escolha mais apropriada dentro das opções analisadas visto que ela apresenta moderados níveis de desempenho e sustentabilidade, diferentemente do supercapacitor que, apresenta elevado custo e o NiCd que apresenta baixo índice de sustentabilidade. E é possível ainda perceber que o íon-lítio leva vantagem sobre o chumbo-ácido e o NiMH em termos de sustentabilidade.

Este estudo complementará o desenvolvimento de um protótipo AGV que está em curso, assim como para outros protótipos AGV que necessitam decidir qual melhor fonte de energia portátil até 2021. Pretende-se também dar continuidade ao estudo com buscas mais aprofundadas sobre as novas tecnologias que não foram possíveis de serem comparadas devido a falta de informação.

Agradecimentos: Ao IFRJ, campus Nilópolis, e ao CNPq pelo apoio da estrutura e pelo financiamento da pesquisa.

6. Referências

Abderrahim M., Abdelghani A., Trentesaux D., Aissani N., & Bouamrane K. (2020). Manufacturing 4.0 Operations Scheduling with AGV Battery Management Constraints. *Energies, 13*.DOI:10.3390/en13184948

Abreu, L. M., Granemann S. R., Gartner I., & Bernardes R. S. (2000). Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: Aplicação do método AHP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4*(2), 257-262.

Ambrosio R. C., & Ticianelli E. A. (2001). Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio. *Química Nova, 24*(2), 243-246.

Armand M., & Tarascon J.-M. (2008). Building better batteries. *Nature, 451*, 652-657.

Bocchi N., Ferracin L. C., & Biaggio S. R. (2000). Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. *Química Nova Na Escola, 11*.

Bond J. (2018, setembro). AGVs: Meet your autonomous mobile coworkers. *Modern Materials Handling*, 48-53. *Retrieved April 27, 2021*, from https://www.mmh.com/article/agvs_meet_your_autonomous_mobile_coworkers

Capsoni D., Bini M., Ferrari S., Quartarone E., & Mustarelli P. (2012). Recent advances in the development of Li-air batteries. *Journal of Power Sources, 220,* 253-263. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.07.123]

Chen, Z., Shu, X., Li, X., Xiao, R., & Shen, J. (2017). $LiFePO_4$ battery charging strategy design considering temperature rise minimization. *Journal of Renewable and Sustainable Energy, 9*. 064103 DOI: https://doi.org/10.1063/1.4996713

Ferreira A. A., & Pomilio J. A. (2005). Estado da arte sobre a aplicação de supercapacitores em Eletrônica de Potência. *Eletrônica de Potência, 10* (2), 25-32.

González A., Goikolea E., Barrena J. A., & Mysyk R. (2016). Review on supercapacitors: Technologies and materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58*, 1189-1206. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.249

Hasa I., Mariyappan S., Saurel D., Adelhelm P., Koposov A. Y., Masquelier C., Croguennec L., & Casas-Cabanas M. (2021). Challenges of today for Na-based batteries of the future From materials to cell metrics. *Journal of Power Sources, 482*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228872

Mathias, L. C., Silva P. R. C., & Silva, O. H. M. (2017). Um instrumento alternativo ao estudo de pilhas recarregáveis via Arduino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(1), 310-323. DOI: http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p310

Moher, D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine, 6*(7). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

OECD. (1997), Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods. Series F, No. 67 United Nations, New York, 1997. Disponível em: http://stats.oecd.org/glossary/

Trindade da R. H. L. (2006, outubro) Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário. *Anais do Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA*, São José dos Campos, SP, Brasil, outubro, 12.

Udayakumar, E., Srihari K., Roopa Sree, A., Nikhill, S., Gokhul Raj, N.K., & Arun Pradeep, B. (2015). Automatic battery replacement of robot. *Advances in Natural and Applied Sciences*, *9*(7), 33-38.

Zu C.-X., & Li H. (2011). Thermodynamic analysis on energy densities of batteries. *Energy Environmental Science,4*, 2614-2624. DOI: 10.1039 / c0ee00777c