

# **SUPERCAPACITORES COMO MEIO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA ROBÔS SEGUIDORES DE LINHA COMPETITIVOS**

**Giovani Pereira Sella<sup>1</sup> Murilo de Souza Neves<sup>2</sup> Diogo Roberto Olsen<sup>3</sup>**

## **RESUMO**

Supercapacitores são componentes eletrônicos pouco explorados como meio de armazenamento de energia para robôs autônomos como seguidores de linhas competitivos, apesar de demonstrarem ser uma alternativa viável e agregarem características únicas para os robôs. Esses componentes eletrônicos conseguem armazenar energia suficiente, porém, diferentemente das baterias recarregáveis, os Supercapacitores, devido a sua resistência interna baixa, possibilitam carga e descarga de maneira expressivamente mais rápida quando comparado a baterias. O presente trabalho busca encontrar alternativas para o bom uso desses componentes, assim como comparar essa tecnologia pouco explorada com o uso das baterias de lítio, tecnologia hegemônica utilizada nos robôs seguidores de linha competitivos. Para tal, um seguidor de linha foi construído, com dois módulos intercambiáveis - um com baterias convencionais e outro com o Supercapacitor – que podem se ligar ao seguidor para então comparar e provar a viabilidade do uso dos Supercapacitores em testes com os mesmos atuadores e sensores. Os cálculos e testes de armazenamento de energia do Supercapacitor e consumo do robô, apontam autonomia 3x maior que a necessária para completar um circuito básico. A construção do seguidor e dos módulos foi concluída e testes comparativos foram executados. Apesar da pesquisa sobre a tecnologia ainda estar em andamento, os resultados apresentados neste trabalho apontam viabilidade no uso de Supercapacitores em competições de robôs seguidores de linha competitivos.

Palavras-chave: *Line-follower*; Supercapacitor; Ultra Capacitor; Conversor *Boost*; Ladrão de Joules.

---

<sup>1</sup> Estudante do curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Campus Londrina.

<sup>2</sup> Estudante do curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Campus Londrina.

<sup>3</sup> Professor orientador do curso Técnico em Informática Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal do Paraná (IFPR) – Campus Londrina.

## **1 INTRODUÇÃO**

Supercapacitores são, basicamente, capacitores de maior nível de capacitância, parafraseando Poonam (2019), “eles conseguem ser uma mediação entre capacitores convencionais e baterias.” Esses componentes podem ser uma ponte entre um capacitor tradicional e baterias, pois contém atributos como uma longa vida útil, grande densidade energética e uma rápida carga e descarga. Porém, não vemos esses sendo utilizados como fonte primária de energia, isso se aplica também ao meio de robôs autônomos, como os seguidores de linhas competitivos.

Esse trabalho visa estudar o uso de SC como tecnologia de armazenamento de energia em seguidores de linha de competição e compará-lo com o uso de baterias convencionais ao construir um protótipo modular, que suporte tanto o uso de supercapacitores como baterias. Para isso devemos: 1) Construir um robô seguidor de linha modular - que possibilita a troca do módulo de alimentação; 2) Construir o módulo de alimentação do robô utilizando baterias Li-po; 3) Desenvolver um sistema boost ajustável baseado no sistema Ladrão de Joule; 4) Construir o módulo de alimentação do robô utilizando o SC e sistema boost; 5) Avaliar e comparar a performance do robô seguidor de linha com ambos os módulos.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Segundo Costa (2003), “Um robô seguidor de linha é aquele que tem a capacidade de detectar uma linha desenhada no chão por meio do contraste entre a cor desta linha e a cor do restante do piso”. Os percursos em que os robôs seguidores competitivos são submetidos, geralmente, não demandam um longo período de funcionamento. Para a execução dessa tarefa, esses robôs normalmente contam com baterias de Lítio-polímeros (li-po) ou íon-lítio (li-íon). Porém, a substituição dessas baterias por Supercapacitores (SCs) (Gonzalez, 2016) pode ser uma alternativa viável que traz algumas características diferentes a esses robôs. Uma queda drástica no tempo de carregamento, menor peso dos robôs, redução de custos, além da inovação na categoria são algumas das vantagens almejadas com o uso dos SCs. A prova do conceito do uso dos SCs, explorado neste trabalho, pode resultar em uma tecnologia utilizada em diversos outros dispositivos autônomos com demandas energéticas similares às dos seguidores de linha competitivos.

Supercapacitores, também chamados de Ultracapacitores, são capacitores de capacitância extremamente alta. Esses componentes possuem características intermediárias entre capacitores e baterias. Segundo Barbosa (2017), o Supercapacitor “é um sistema de armazenamento de energia que une duas características interessantes para diversas aplicações: a alta densidade de potência dos capacitores dielétricos e a alta densidade de energia das baterias químicas”.

Os SCs permitem o uso completo da carga armazenada além de inúmeros ciclos sem comprometer significativamente sua vida útil. Em seu livro, Grbović (2014), apresenta as propriedades de dispositivos comuns utilizados no armazenamento de energia, contidas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características dos dispositivos de armazenamento de energia.**

	<b>Capacitores</b>	<b>SCs</b>	<b>Baterias Eletroquímicas</b>
Densidade de energia (Wh/kg)	~0.1	1*	~100
Pico de densidade de potência (kW/kg)	~100	2-20	0.1-0.5
Número de ciclos	10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup>	~10 <sup>3</sup>
Vida útil (anos)	10 mm	~15	~5

\*Baseado nas tendências de demandas do mercado, é esperado aumento de 10% na densidade de energia dos SC nos próximos anos.

Fonte: adaptada de Grbović - **Ultra-Capacitors in Power Conversion Systems: Applications, Analysis, and Design from Theory to Practice** .

Uma vantagem dos SCs em relação às baterias, seria o descarte, uma vez que as baterias são compostas por materiais químicos, mesmo as consideradas mais ecológicas

As baterias, por mais ecologicamente corretas que sejam, acabam sempre contendo ácidos e metais ou óxidos metálicos que são prejudiciais ao meio ambiente quando incorretamente descartadas, enquanto que capacitores e supercapacitores são constituídos por eletrodos a base de carbono, ou cobre, ou alumínio, contendo uma camada separadora (dielétrico) que pode ser produzida com papel ou plástico inerte e tendo ainda um eletrólito composto por solução solvatada compostas por sais não tóxicos. Portanto do ponto de vista ecológico os supercapacitores são mais vantajosos que as baterias. (Fernandez, 2016)

A característica que dificulta o uso dos SCs é que sua tensão decai linearmente em relação ao tempo, isso faz com que os componentes do robô tenham que se adaptar com uma tensão cada vez menor. Para circuitos autônomos, como os seguidores de linha, deixar de utilizar toda a carga armazenada significa perda de autonomia, o que poderia inviabilizar o uso dos SCs. A solução encontrada para esse problema foi o uso de um conversor de aumento de tensão que possibilite o controle de sua eficiência conforme a tensão decai e que mantenha a tensão que alimenta os componentes em um valor constante.

Um sistema de controle adaptativo da tensão dos SCs similar foi criado por K. Saichand, em 2019. Tal sistema, segundo Saichand (2019), obteve ganho de eficiência de 10% a 50%, dependendo da tensão dos SCs durante o seu uso. O estudo do presente trabalho aplica técnicas similares, porém, voltadas a capacitâncias, tensões e circuitos autônomos diferentes.

Para o aumento de tensão e controle de eficiência do processo de conversão, este trabalho usa o circuito conhecido como ladrão de Joules (LJ), que é um circuito oscilador (SUJATHA, 2018) que pode ser utilizado para aumentar a tensão de uma fonte de energia. O LJ é comumente utilizado para acionar lâmpadas LED com tensões mais baixas que de sua operação. Ao acoplar componentes de estabilização e limitação de tensão à saída do LJ, é possível utilizá-lo como um transformador de tensão.

Porém, a eficiência de conversão de energia do circuito oscilador LJ é variável. No circuito LJ analisado por GREATSCOTT! (2016) a variação de eficiência foi de 24% a 94% dependendo da tensão de entrada. Por isso, um método de regulação do LJ, conforme a tensão dos SCs decai, é necessário para utilizar o máximo possível de energia contida nos SC.

Embora existam estudos sobre as características dos supercapacitores, a pesquisa sobre o uso desses em robôs autônomos é escassa. A análise e aplicação dessa tecnologia, da maneira em que o trabalho está sendo desenvolvido é algo novo, ainda não relatado e estudado para essas aplicações.

Esse artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta os objetivos gerais e específicos. A seção 3 apresenta a proposta de robô, como devem funcionar seus módulos e a importância de ser construído dessa maneira para pesquisa. A seção 4, denominada "materiais e métodos", apresenta os testes feitos e a maneira em que o robô foi construído. Na seção 5 estão relatados os resultados dos testes apresentados na seção anterior e os resultados são contextualizados. Por fim, nas conclusões e considerações finais é

apresentado o impacto esperado da pesquisa, assim como os trabalhos futuros sugeridos para a continuação da pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

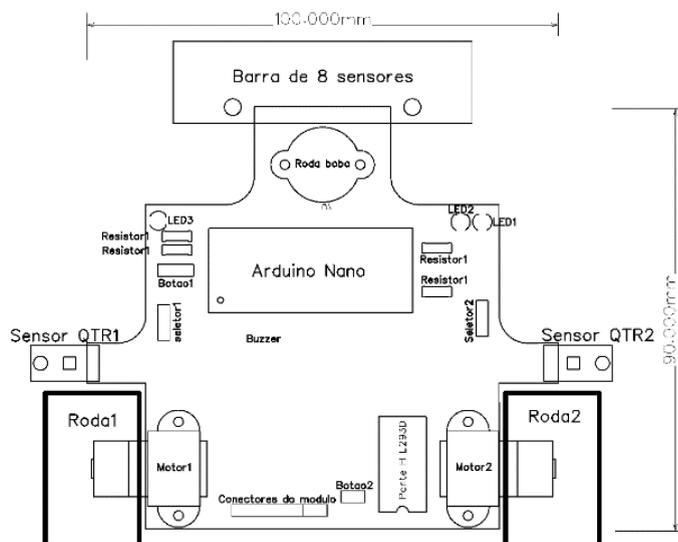
Para a execução da tarefa proposta, os Seguidores de linha utilizam certos componentes que são essenciais na composição do robô: sensor para a detecção da linha; atuador para movimentar o robô; controlador para interpretar o sinal dos sensores e controlar os atuadores e, por fim, algum método de alimentação de energia para os componentes.

#### 3.1 O Robô seguidor de Linha modular

A alimentação do seguidor desenvolvido será modular, portanto o robô deve ser desenvolvido de maneira que pinos em sua parte superior permitam o acoplamento de módulos de armazenamento de energia. O robô será produzido a partir de uma placa de fenolite dupla e personalizada e os componentes serão soldados diretamente nessa placa.

O microcontrolador utilizado para controlar o seguidor é o Arduino Nano. Os atuadores utilizados são: dois motores DC 3-6v, LEDs e um buzzer para comunicação. Os sensores do robô são: uma barra de oito sensores IR, dois sensores IR laterais e botões para a interação com o usuário. Outros componentes auxiliares foram escolhidos, como a ponte H L293D, rodas de alumínio e pneus de borracha, pinos seletores e pinos para a conexão dos módulos. O posicionamento desses componentes está representado na figura 1.

**Figura 1 - Projeto de placa de circuito impresso.**



Fonte: Autoria própria

Viu-se importante que o robô possua pinos seletores para os sensores laterais e/ou barra de sensores. Os componentes seletores são dois, formados por três pinos cada, além de um jumper que, dependendo de sua posição, pode fazer a ligação dos pinos analógicos do Arduino com os sensores laterais ou com os sensores das extremidades da barra de sensores.

Os pinos de conexão dos módulos de bateria são oito: Dois dos pinos são destinados à alimentação do robô, o pino VIN, com tensão esperada de 5-6V e o pino GND. Os pinos restantes são conectados direto aos pinos digitais sobressalentes do Arduino. Dessa maneira, caso haja algum outro componente presente nos módulos, poderá ser controlado pelo Arduino.

### **3.2 Módulo de Bateria**

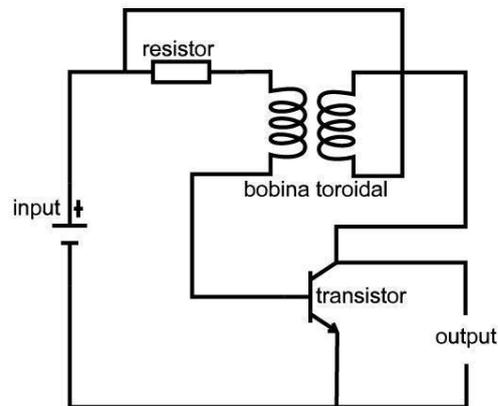
O módulo da bateria será construído de maneira mais convencional se comparado com o módulo do SC. As baterias que compõem o módulo são duas li-po, de 3.7V e 530mAh. Ao conectá-las em série, a tensão do sistema será duplicada. Além das baterias, um regulador step down comercial será utilizado para que a tensão de alimentação do robô fique constante entre 5v e 6v. Da mesma forma que o robô e o módulo do SC, este módulo utiliza uma placa de fenolite que passará pelo processo de produção de PCB caseira. Os conectores fêmea, em sua parte inferior, se encontram com os pinos macho da base do robô, assim possibilitando o acoplamento do módulo no seguidor de linha. Um botão foi adicionado ao projeto para comunicação com o arduíno.

### **3.3 Módulo do Supercapacitor**

O módulo de SC, assim como as outras partes do robô, será construído a partir de uma placa de fenolite. O SC que irá compor esse módulo será de 2.7V e 100F. Será utilizado apenas um SC e não dois ou mais em série pois, uma das características dos SCs é que, uma vez ligados em série, a capacitância total do circuito é diminuída, como demonstrado no trabalho de Vidal e Costa (2022), algo que não é desejado no presente trabalho. E, se fossem utilizados mais SCs para suprir essa deficiência, o robô ficaria mais pesado e mais complexo de ser construído.

Além dos SCs, o módulo em questão irá conter o sistema de regulação de tensão. Esse sistema será baseado no circuito LJ, representado na Figura 2.

Figura 2 - Esquemático do circuito Ladrão de Joules.

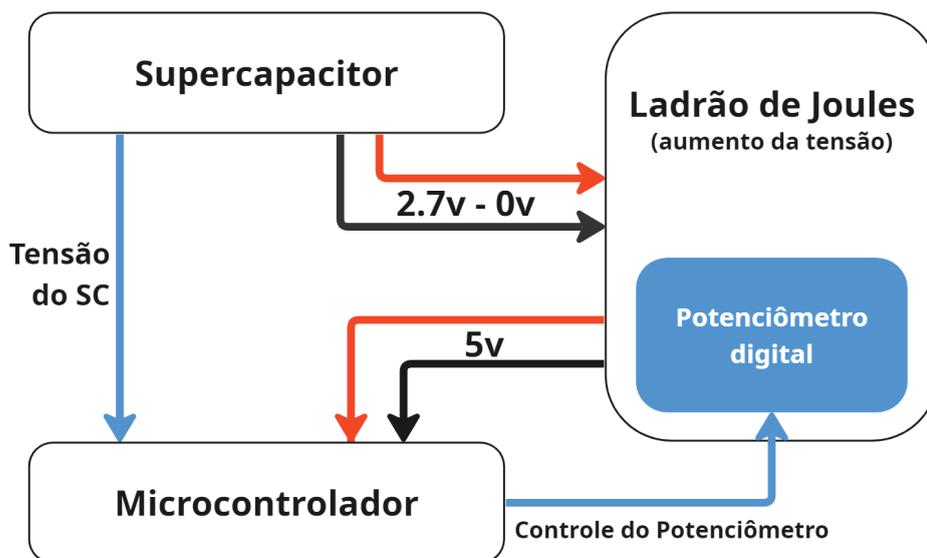


Fonte: Autoria própria

O LJ é um circuito relativamente simples, com poucos componentes. A sua tensão de operação ideal pode ser alterada, visando melhor eficiência no aumento de tensão, de acordo com o tamanho da bobina ou pela resistividade do resistor presente no sistema.

Para que a taxa de eficiência de aumento da tensão durante o funcionamento do seguidor continue sempre a maior possível, será utilizado o próprio microcontrolador do robô para a leitura da tensão do SC, a partir dessa leitura, será aplicada uma resistência diferente no LJ, em tempo real. O diagrama do circuito de regulação de eficiência pode ser analisado na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama do circuito de regulação de eficiência.

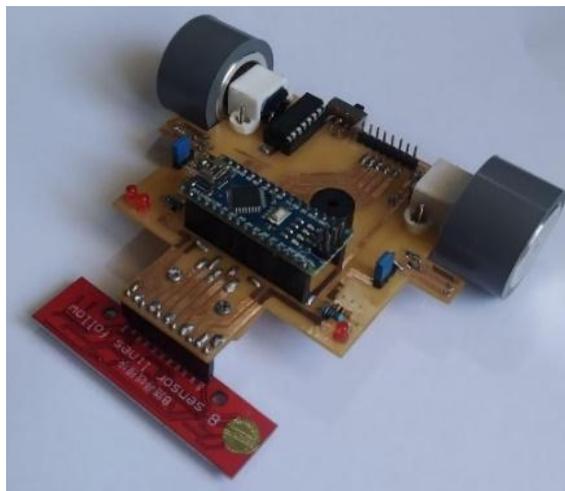


Fonte: Autoria própria

## 4 RESULTADOS

Quanto ao desenvolvimento do seguidor de linha, o design e a construção da PCI do robô (Figura 4) foram feitos, contendo os principais componentes e os pinos que se ligam ao microcontrolador, possibilitando a troca do módulo de alimentação. A partir de outros protótipos falhos, o robô pôde ser aprimorado e determinados os melhores parâmetros como dimensão e posição dos componentes nos módulos de alimentação.

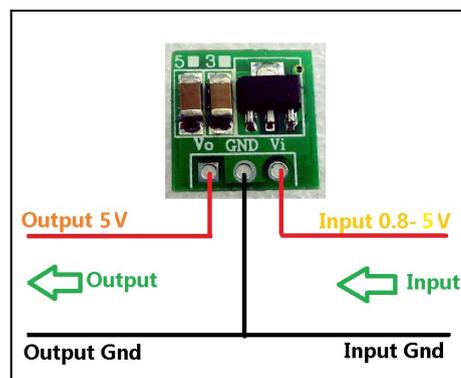
**Figura 4 - Robô seguidor de linha sem fonte de alimentação**



Fonte: Autoria própria

Outro resultado obtido foi o módulo de alimentação com bateria, que seguiu o planejamento e foi feito com o processo de PCI caseira. Já no módulo de SC foi construído um outro circuito, utilizando um ladrão de joules comercial, com uma tensão de saída pré-configurada, sem a possibilidade de controle de eficiência como planejado. Esse ladrão de joules funciona como um conversor boost e possui saída fixa de cerca de 5v.

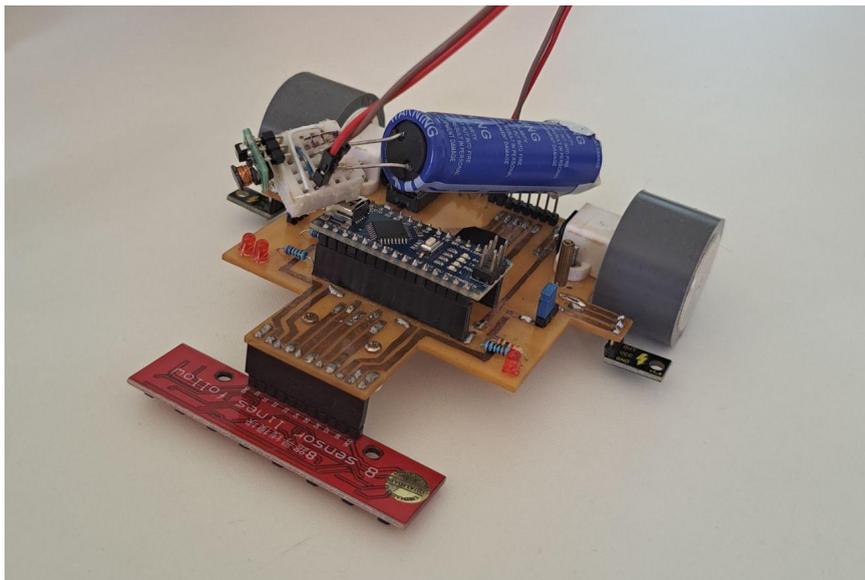
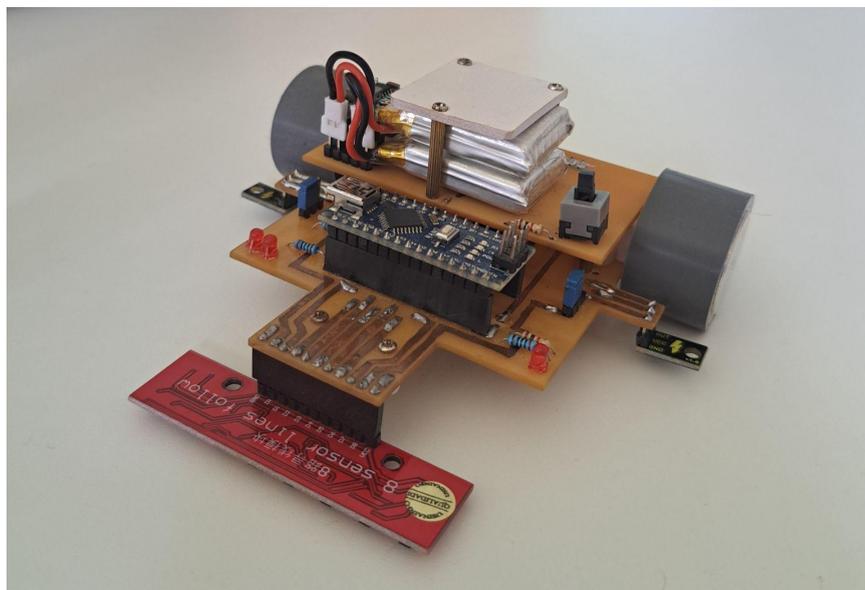
**Figura 5 -Funcionamento do ladrão de joules comercial**



Fonte: Autoria própria

Essa decisão de se utilizar um regulador de tensão *boost* comercial foi tomada para que se possa provar o conceito de se utilizar Supercapacitores como meio de armazenamento de energia para seguidores de linha, para só então depois se desenvolver a solução planejada. Uma vez que não foi necessário nessa etapa inicial de testes construir o próprio ladrão de Joules, a construção pode ser mais simples. Os resultados dos módulos podem ser vistos na Figura 6. A esquerda o seguidor de linhas com o módulo de baterias, e a direita o seguidor de linhas com o módulo de SC.

**Figura 6 - Robô seguidor de linha com módulo de bateria e módulo de supercapacitores**



Fonte: Autoria própria

Uma vez com o seguidor e o módulo de bateria prontos, foi possível programar o seguidor utilizando da técnica de PID. A programação construída possibilita a calibração dos sensores, o armazenamento dessa informação na *eeeprom* do arduino e a função de seguir a linha.

#### 4.1 Cálculos

Antes da construção do protótipo, o resultado do cálculo da quantidade de energia validou a proposta da pesquisa. Primeiramente, foi somado o gasto energético de cada componente do robô, para assim, descobrir qual o gasto total do robô e quanta energia armazenada seria necessária para seu funcionamento. O resultado da soma do consumo dos componentes resultou em cerca de 2W de gasto do seguidor, esse gasto pode ser muito diferente da realidade, pois a corrente dos motores, que são os componentes de maior gasto, varia de acordo com o torque exigido. O cálculo foi feito, portanto, a partir da média da corrente exigida pelos motores. A energia que os supercapacitores de 100F podem armazenar foi dada pela Equação (1):

$$\frac{C \times V^2}{2} = E \quad (1)$$

C = Capacitância  
V = Tensão(Volts)  
E = Energia(Joules)

Resultando 364,5 joules. Portanto, podemos determinar que o tempo de funcionamento do robô, em condições ideais, é de 182,25 segundos a partir da Equação (2):

$$\frac{J}{V} = W \quad (2)$$

J = Joules  
V = Tensão(Volts)  
W = Watts

Apesar de parecer um tempo baixo de funcionamento, é mais que o necessário para completar o circuito a que o Seguidor de linha é submetido. Comparando os resultados da competição Winter Challenge 2019, na categoria seguidor de linha *pro*, podemos ver que os tempos dos últimos colocados, conforme a Tabela 2, ainda são muito menores do que o tempo útil com os SC.

**Tabela 2 - Últimos colocados Winter Challenge 2019.**

Colocação	Robô	Equipe	Melhor Tempo
#31	Dorothy	Yapira	38 s
#32	Furious	PatoBots	49.390 s
#33	Turbinho	Grande soldador	45.21 s

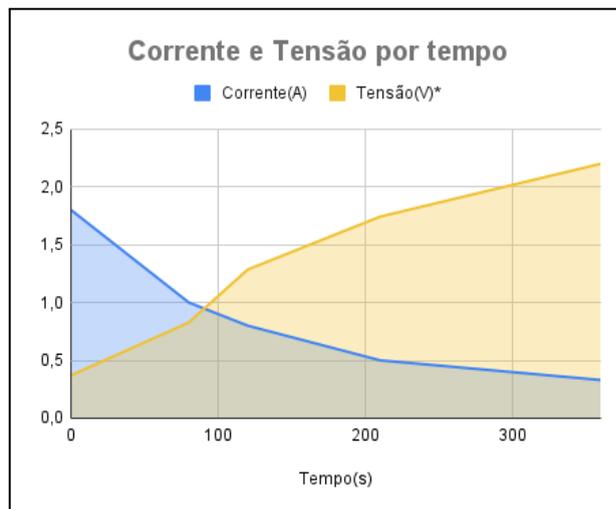
Fonte: RoboCore Event Manager

#### 4.2 Teste de carregamento

Foi notado que, conforme a tensão do supercapacitor se aproxima da sua tensão ideal, que é 2,7V, a corrente indicada na fonte diminui, fazendo com que o tempo de carregamento aumente. Os resultados estão representados na Figura 7.

\*Foram medidas apenas as tensões inicial e final, os valores de tensão restantes são aproximados.

**Figura 7 - Gráfico de corrente e tensão por tempo durante carregamento do SC**



Fonte: Autoria própria

O carregamento não é tão rápido como o esperado. Porém, é possível diminuir esse tempo caso seja utilizado algum sistema que induz maior corrente no processo de carregamento do SC, principalmente quando a tensão está chegando próxima dos 2.7V. Isso é

possível, sem deteriorar o componente eletrônico, pois o pico de densidade de potência dos SC é expressivamente maior que os de baterias, como pode ser visto na tabela 1 na seção 1.

### 4.3 Teste prático

Uma vez com o seguidor e o módulo de bateria prontos, foi possível realizar um teste inicial para a prova do conceito do presente trabalho. O teste foi realizado em ambiente controlado e os resultados obtidos foram:

**Tabela 3 - Resultados dos testes com supercapacitor.**

<b>Volta</b>	<b>Tempo de conclusão(s)</b>
1 <sup>a</sup>	46
2 <sup>a</sup>	92
3 <sup>a</sup>	139

Fonte: Autoria própria

Com o módulo de supercapacitores, o robô concluiu três voltas até que a corrente não fosse o suficiente para manter o Arduíno constantemente ligado. Nesse teste o robô teve funcionamento com 171 segundos, bem próximo do calculado, que seria de 182,25 segundos. Essa diferença se deve pelo fato de a potência real exigida pelo seguidor não é exatamente 2W - provavelmente menor - e a eficiência do Ladrão de Joules comercial não ser de 100%. Apesar de mais testes serem necessários para o entendimento completo do sistema, é impressionante a proximidade com que os cálculos feitos previram.

Outro ponto importante de salientar sobre esse teste é a consistência do funcionamento do Seguidor durante as voltas. Diferentemente de baterias, que quando sua carga está completa provêm mais energia e, quando está perto do fim, menos, o módulo manteve consistência impressionante de velocidade, leitura dos sensores e processamento do Arduíno durante as três voltas concluídas, sendo a última até mais rápida.

O teste de exaustão com o módulo de bateria não foi realizado. Isso se deu pois a bateria possui uma quantidade muito maior de energia e não seria viável e não faria sentido calcular o tempo em que o robô poderia seguir a linha por ser um tempo tão grande. Porém, foi importante fazer um teste de velocidade em uma única volta, para comparar a com o tempo de conclusão de volta do Supercapacitor. O seguidor de linha com o módulo de bateria realizou o percurso em 42s, muito próximo do resultado do módulo de SC.

Podemos notar que os tempos do robô utilizando a bateria são inferiores aos tempos dele utilizando o SC. Isso possivelmente foi ocasionado pois a tensão do módulo de bateria - que é regulável, mas tem um ajuste muito delicado - estava um pouco superior a do SC, sendo 5.12V, enquanto a tensão de saída do módulo de SC era de 4.9V. Além disso, outro motivo para esse tempo ter sido menor é que o regulador de tensão LG comercial adquirido pode ter limitado a corrente, mesmo que pouco. Para que a tensão permaneça ideal, estável e com a corrente necessária no módulo de SC, outro um circuito de LJ, mais completo, pode ser utilizado. Isso pois, o circuito comercial já tem características definidas, que não são as melhores para esse trabalho.

## **5 DISCUSSÃO**

Podemos notar que os tempos do robô utilizando a bateria são inferiores aos tempos dele utilizando o SC. Isso possivelmente foi ocasionado pela tensão do módulo de bateria, que estava um pouco superior a do SC. Para que pudéssemos ter uma tensão ideal, estável e com a corrente necessária no módulo de SC, poderíamos utilizar um circuito de LJ mais completo, como o já citado “The Scavenger” e não apenas um componente comercial já montado, pois nele já temos configurações definidas, que não são exatamente a melhor solução para esse trabalho.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi constatado que os cálculos feitos na seção 4.2.1, utilizando os componentes do robô e o armazenamento de energia dos SCs condizem com o que foi testado. Comprovando que com o SC o robô tem uma autonomia suficiente para completar a pista. Como conclusão fica evidente que é possível substituir o uso das baterias por SC com o auxílio de um conversor baseado no LJ, ponto comprovado pelos testes referenciados na seção 5.3.

O módulo de SC em PCI, ainda não foi construído pois depende dos testes com o LJ adaptado e da confirmação do seu auto regulamento com auxílio do microcontrolador presente no robô seguidor de linha. Uma vez que o módulo de SC estiver funcional, será feito novos testes e análises das vantagens de cada método de alimentação de seguidores de linha competitivos, assim gerando conclusões de conhecimentos melhor embasados para a reprodução dessa tecnologia em outros robôs de maneira mais efetiva.

As características que devem ser avaliadas são: Tempo de conclusão do percurso, peso geral do robô, tempo de funcionamento, tempo de carregamento, diferenças de custo e na construção dos circuitos, além de características gerais como distribuição do peso.

Para que o uso dos SC seja mais vantajoso, é necessário desenvolver um método de carregamento que permita manter uma corrente de entrada no SC mais constante. Assim permitindo que o tempo de carregamento seja menor. Cálculos sobre o carregamento e mais pesquisa teórica são necessários para tal.

O presente trabalho, introduz uma nova tecnologia no mundo dos seguidores de linha competitivos, assim possibilitando uma inovação na categoria. Por fim, apesar de inicial, a pesquisa demonstra o enorme potencial do uso dos SC em robôs autônomos com funções parecidas com as dos seguidores de linha.

## **ABSTRACT**

*Supercapacitors are electronic components little explored as a storage medium for autonomous robots as line-followers, even though they demonstrate to be a viable alternative and provide unique characteristics for those robots. Supercapacitors can hold enough energy and, meanwhile due to the low internal resistance, allow charging and discharging way faster than regular batteries. This article pursues ways to use supercapacitors and demonstrate the effectiveness of those, as well as compares the use of regular Batteries with the use of supercapacitors. To do so, a prototype of a line-follower robot was built. Two attachable modules, one using conventional batteries and the other using supercapacitors, were built as well, allowing to compare and prove the viability of the use of Regular Batteries and supercapacitors on the same actuators and sensors. The calculation of the energy use and storing system of Supercapacitors point out an autonomy 3 times greater than is necessary to complete the track. The construction of the line-follower has been completed and the two modules too. Although the research on this technology is not finished, the results point out the viability of the substitution of batteries by Supercapacitors on competitive line followers robots.*

*Keywords: Line-follower; Supercapacitor; Ultracapacitor; Boost converter; Joule Thief.*

## REFERÊNCIAS

- [1] BARBOSA, Victor Emanuel Soares. **Análise da viabilidade de uso de supercapacitores em carregadores de baterias com painel fotovoltaico**. 2017. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.
- [2] BIANCHI, Reinaldo A. C.. Um mini robô móvel seguidor de pistas guiado por visão local. **Academia**, São Bernardo do Campo, v. 1, n. 1, p. 710-715, jan. 2003.
- [3] COSTA, Eduardo R.. **UM MINI ROBÔ MÓVEL SEGUIDOR DE PISTAS GUIADO POR VISÃO LOCAL**. 2003. 7 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário da Fei, São Bernardo do Campo, 2003.
- [4] FERNANDEZ, Antonio Paulo Rodrigues. **ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E MICROESTRUTURAIS DE SUPERCAPACITORES PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGI**. 2016. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Utarquia Associada À Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [5] GONZÁLEZ, Ander. Review on supercapacitors: technologies and materials. **In Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Arrasate, v. 58, n. 1, p. 1189-1206, maio 2016.
- [6] GRBOVIC, Petar J.. Ultra-Capacitor Energy Storage Devices. In: GRBOVIC, Petar J.. **Ultra-Capacitors in Power Conversion Systems: Applications, Analysis, and Design from Theory to Practice**. [S. L.]: Wiley-Ieee Press, 2014. p. 22-27.
- [7] Greatscott!, “SUPERCAPACITOR Joule Thief”. in <https://youtu.be/jq7cqmDtZDc> , 2016.
- [8] KASICHEYANULA, Saichand. Adaptive Control Strategy for Ultracapacitor Based Bidirectional DC–DC Converters. **Ieee Transactions On Industry Applications**. [S. I.], p. 1717-1728. nov. 2018.

[9] NAVARRO, Lucas Cardoso. **SISTEMA AUTÔNOMO DE ILUMINAÇÃO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR**. 2015. 79 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista Campus Garatinguetá, Guaratinguetá, 2015.

[10] POONAM. Review of supercapacitors: Materials and devices. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Chandigarh, v. 21, n. 1, p. 801-825, fev. 2019.

[11] Regras Seguidor de Linha. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore\\_\\_regras\\_seguidor\\_de\\_linha\\_108.pdf](https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_seguidor_de_linha_108.pdf)>.

[12] RoboCore Event Manager. Disponível em: <<https://events.robocore.net/wcxv/tempos/27>>. Acesso em: 16 abr.2022.

[13] SUJATHA, J. A Review on Joule Resurrection Circuit and its Applications. **International Journal Of Advanced In Management, Technology And Engineering Sciences**. Durg, p. 77-84. mar. 2018.

[14] VIDAL, Lúcio; COSTA, Lia. CÁLCULO DA CAPACITÂNCIA EQUIVALENTE EM ASSOCIAÇÃO SÉRIE ATRAVÉS DE CONCEITOS DE ANÁLISE COMBINATÓRIA. **Enciclopédia Biosfera**, Cuiabá, v. 19, n. 42, p. 154-162, 30 dez. 2022. Centro Científico Conhecer. [http://dx.doi.org/10.18677/encibio\\_2022d13](http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2022d13).

[15] ZHANG, Lei. A review of supercapacitor modeling, estimation, and applications: a control/management perspective. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Beijing, v. 81, n. 1, p. 1869-1878, jan. 2018.