

**Relatório Parcial da Bolsa de Iniciação Científica**

Conforme descrito no Edital PIBIC Vigência 2018/2019

**Estratégia de navegação de um protótipo de veículo elétrico com telemetria  
embarcada**

**Aluno**

André Hiroki Morishita

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - EESC/USP

**Orientadora**

Prof<sup>ª</sup> Dra. Vilma Alves de Oliveira

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - EESC/USP

São Carlos, SP, fevereiro de 2019

# 1 Introdução

O projeto em desenvolvimento tem por objetivo o estudo de uma estratégia de navegação que indique qual o perfil de velocidades, considerando algumas regras, reduz ao máximo o consumo de energia de um protótipo de veículo elétrico (VE) voltado à competições de eficiência energética, como a *Shell Eco-Marathon*. Em seguida, vai ser projetado um sistema de telemetria compatível com o estudo realizado. O presente relatório descreve as atividades realizadas no período de Agosto de 2018 a Fevereiro de 2019. Em relação ao cronograma inicial, as atividades 1, 2 e 4 foram concluídas. Devido a imprevistos no controlador do motor elétrico da equipe universitária EESCuderia Mileage da USP de São Carlos, houve um tempo restrito e a atividade 3 não foi realizada.

## 2 Consumo e otimização de um VE

Foi realizado um estudo em artigos que abordam assistentes de condução (*driving assistance*) em veículos elétricos e a combustão e seus impactos no consumo energético.

### 2.1 Principais fatores que influenciam no consumo energético de VEs

De acordo com [1], os principais fatores que influenciam no consumo energético de um VE podem ser divididos em seis grupos:

- *Tecnologia e fatores do veículo*: sistema de baterias, tipo de células utilizadas, *Battery Management System* (BMS) utilizado;
- *Ambiente artificial*: trânsito, semáforos, nível de urbanização;
- *Meio ambiente*: topografia, zona climática, clima;
- *Condutor*: agressividade na direção (quanto maior a variabilidade na aceleração, desaceleração e velocidade média, maior é a agressividade), idade, gênero, conforto;
- *Tipo de jornada*: distância do percurso, urgência, frequência de utilização da rota;
- *Medição*: metodologia de teste, *hardware* e *software* utilizados, etc.

A Figura 1 resume os grupos citados. Desses, foram selecionados os fatores relacionados ao meio ambiente (topografia) e ao condutor (agressividade na direção) para uma investigação mais aprofundada.

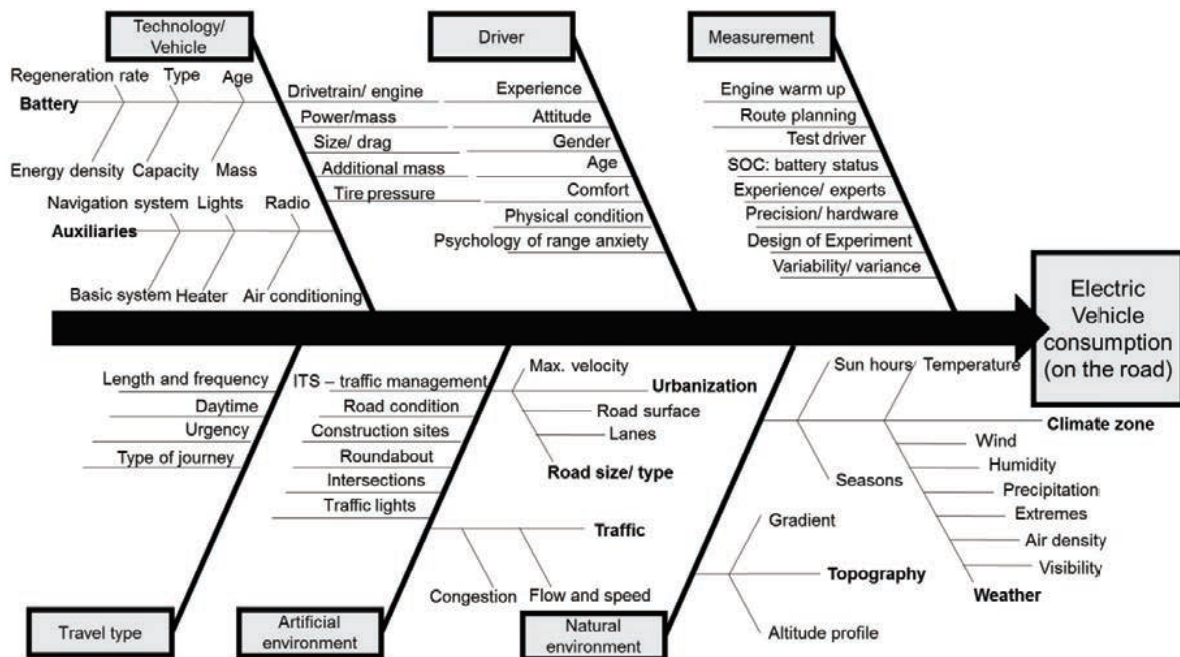


Figura 1: Principais fatores que influenciam no consumo energético (Fonte:[1])

## 2.2 Otimização do consumo por condução antecipatória

É possível economizar combustível utilizando técnicas de *anticipatory driving* (condução antecipatória, em tradução livre), que consiste em avisar o condutor, em momentos anteriores a uma redução de velocidade, quando interromper a aceleração para que as forças dissipativas (resistência do ar, resistência ao rolamento, por exemplo) desacelerem o veículo de forma suave e sem a utilização de freios (conhecido como *freewheeling* ou *coasting*) até que chegue à velocidade desejada no momento adequado. A estratégia reduz a agressividade do condutor na direção e pode fornecer economias energéticas de 5% a 30% em certos casos [2].

A Figura 2 ilustra que para ter uma melhor eficiência energética com o menor tempo, é necessário encontrar o equilíbrio entre desempenho e consumo energético. Por exemplo, se um veículo a 100  $km/h$  aproxima-se de um trecho restrito a 50  $km/h$ , há três maneiras de desacelerar:

1. Continuar a 100  $km/h$  e frear bruscamente até 50  $km/h$  próximo ao trecho restrito. Apresenta o melhor desempenho por tempo (canto superior esquerdo da Figura 2);
2. Interromper a aceleração o mais cedo possível, deixando que apenas as forças dissipativas desacelerem o veículo até chegar a 50  $km/h$  e manter a velocidade, acelerando novamente. Apresenta o melhor consumo energético (canto inferior direito da Figura 2);

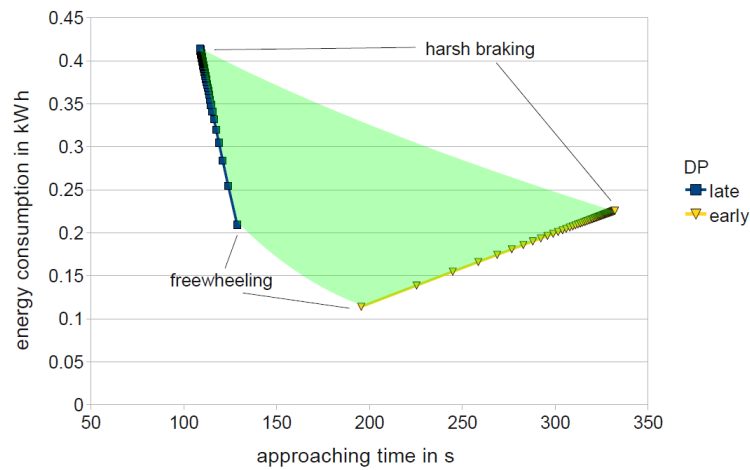


Figura 2: Consumo x Tempo (Fonte:[2])

3. Continuar a  $100 \text{ km/h}$  o máximo possível e interromper a aceleração em um preciso momento, deixando que apenas as forças dissipativas desacelerem o veículo até  $50 \text{ km/h}$  no instante exato em que chegar no trecho restrito. Apresenta o melhor consumo energético com o melhor desempenho por tempo (canto inferior esquerdo da Figura 2) e será a maneira explorada neste trabalho. A Figura 3 ilustra a terceira opção.

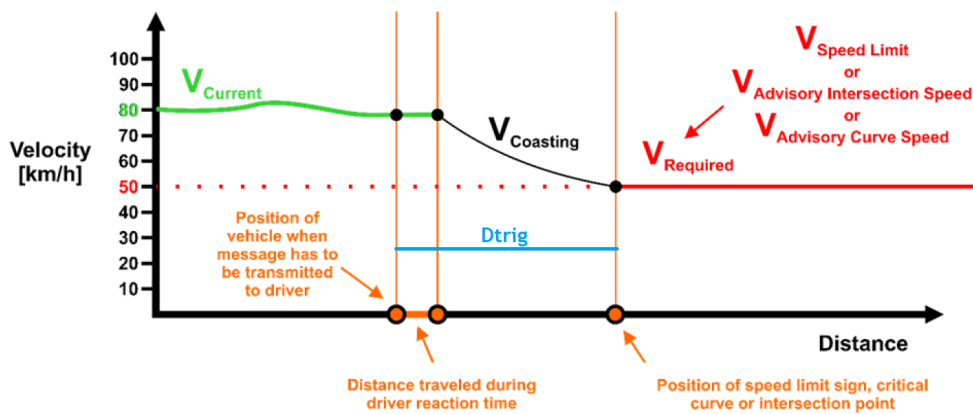


Figura 3: Perfil de desaceleração durante o *coasting* (Fonte:[3], modificado)

### 3 Influência da topografia

#### 3.1 Desaceleração em *coasting*

Pela Figura 4, considerando que o veículo possui uma velocidade positiva e que está sujeito apenas às forças dissipativas (*coasting*), obtém-se, de acordo com [3]:

$$ma = -F_{Aero} - F_{Rolling} - F_{Slope} \quad (1)$$

em que  $m$  é a massa do veículo,  $a$  é a aceleração resultante do veículo e as forças dadas por:

$$F_{Aero} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2 \quad (\text{força de resistência do ar})$$

$$F_{Rolling} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (\text{força de resistência ao rolamento})$$

$$F_{Slope} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (\text{componente da força peso})$$

com  $g$  a aceleração gravitacional;  $\alpha$  o ângulo de inclinação do segmento;  $f$  o coeficiente de resistência ao rolamento;  $A$  a área frontal do veículo;  $C_d$  o coeficiente de atrito aerodinâmico;  $\rho$  a densidade do ar e  $v$  o módulo da velocidade do veículo.

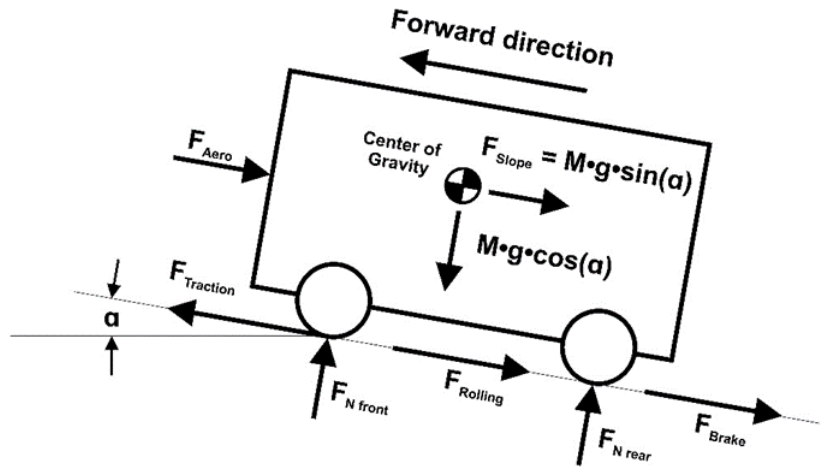


Figura 4: Diagrama de forças presentes em um veículo (Fonte:[3])

De (1) tem-se:

$$ma = -\frac{1}{2} \cdot A \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2 - mg(f \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (2)$$

e a aceleração resultante pode ser obtida.

Segundo [4], a distância  $d_{trig}$  (conforme a Figura 3) entre o veículo e a posição do início de um trecho com velocidade restrita em que o condutor vai precisar iniciar o *coasting* é dada por:

$$d_{trig} = \frac{v_{limite}^2 - v_{atual}^2}{2a} \quad (3)$$

em que  $v_{limite}$  é o limite de velocidade do próximo trecho e  $v_{atual}$  é a velocidade atual do veículo.

### 3.2 Velocidade máxima em curvas

Para estimar a velocidade máxima  $v_{max}$  que um veículo pode possuir em curvas, pela Figura 5, de acordo com [4] obtém-se:

$$N = \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta}. \quad (4)$$

A resultante horizontal  $F_{net}$  é dada por:

$$F_{net} = N(\sin \theta + \mu \cos \theta). \quad (5)$$

Portanto:

$$F_{net} = \left( \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \right) (\sin \theta + \mu \cos \theta) = \frac{\tan \theta + \mu}{1 - \mu \tan \theta} mg. \quad (6)$$

Como  $1 - \mu \tan \theta \approx 1$  na maioria dos casos e  $F_{net}$  é uma resultante centrípeta, logo:

$$\frac{mv_{max}^2}{r} = (\tan \theta + \mu)mg \quad (7)$$

o que fornece

$$v_{max} = \sqrt{(\tan \theta + \mu)gr}. \quad (8)$$

Com  $\tan \theta = e$ , a superelevação é dada por:

$$v_{max} = \sqrt{(e + \mu)gr}. \quad (9)$$

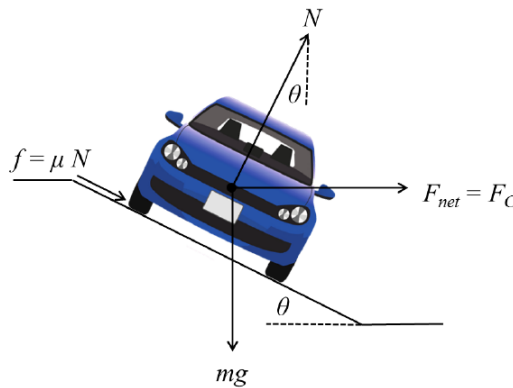


Figura 5: Diagrama de forças presentes em um veículo que realiza uma curva (Fonte:[4])

## 4 Sistema de telemetria

O sistema de telemetria vai ser capaz de realizar (2) e (3) a fim de indicar ao condutor, acendendo um LED no painel do veículo, o momento de executar o *coasting*. A Figura 6 ilustra o sistema de telemetria indicando as conexões entre os 2 microcontroladores.

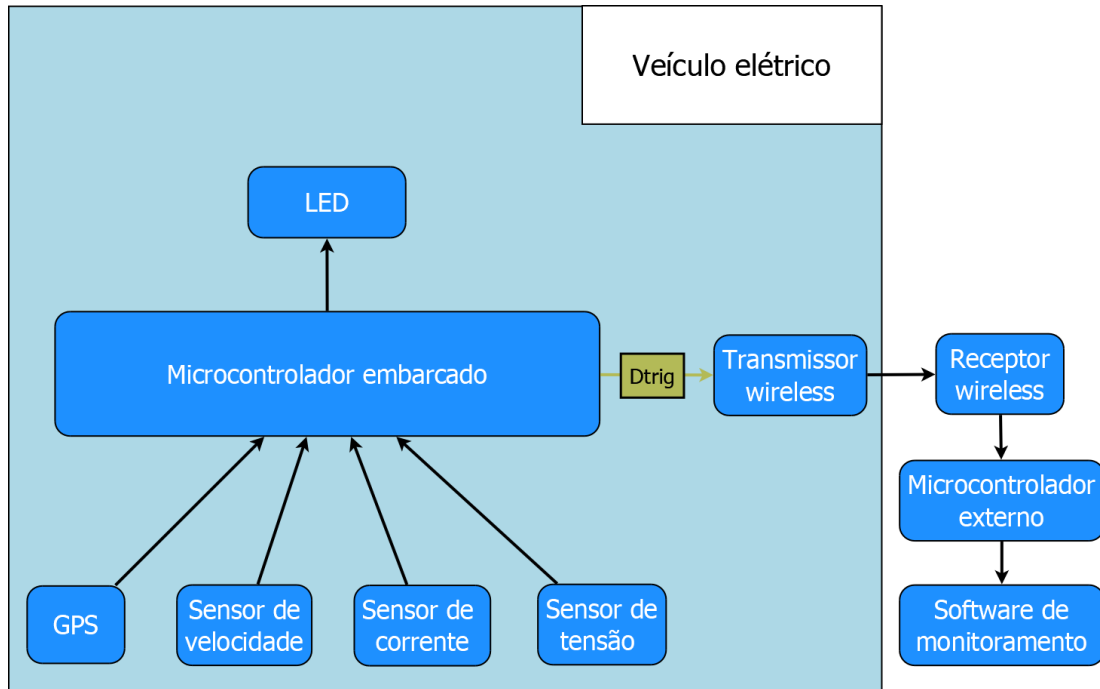


Figura 6: Diagrama do sistema de telemetria.

A velocidade atual, juntamente com a inclinação calculada utilizando os giroscópio e acelerômetro inclusos na placa, fornece os valores das variáveis  $a$  e  $d_{trig}$  através de (2) e (3), respectivamente. Disso, as coordenadas do VE fornecidas pelo módulo GPS vão indicar a posição atual do VE. Com a posição do VE, a medida da aceleração a partir de (2), a velocidade atual a partir de um velocímetro e o limite de velocidade pré-estabelecido calcula-se a distância denominada  $d_{trig}$ . Se o veículo está dentro da distância  $d_{trig}$ , um LED de alerta acende para indicar à motorista para não atuar no pedal de aceleração.

A fim de permitir o monitoramento do sistema de telemetria em tempo real pela equipe responsável pelo VE, todas as variáveis (coordenadas do VE, velocidade atual, inclinação, tensão e corrente na bateria) vão ser transmitidas para um outro microcontrolador STM32 de forma *wireless* utilizando a tecnologia de longo alcance LoRa. O *software* que vai fornecer a interface visual para o monitoramento será o *STM Studio*.

A escolha dos componentes foi inspirada no projeto apresentado por [5] e pelo sistema de telemetria da equipe *Fórmula SAE* da USP São Carlos, com algumas modificações. Na sequência, um resumo dos componentes do sistema de monitoramento é apresentado.

## 4.1 Microcontroladores STM32

Foi escolhido um *kit* STM32F3DISCOVERY que utiliza microprocessadores com tecnologia ARM que tornou-se popular em sistemas embarcados, coleta de dados em tempo real, com alta precisão e portabilidade [6]. A Figura 7 ilustra o *kit*.

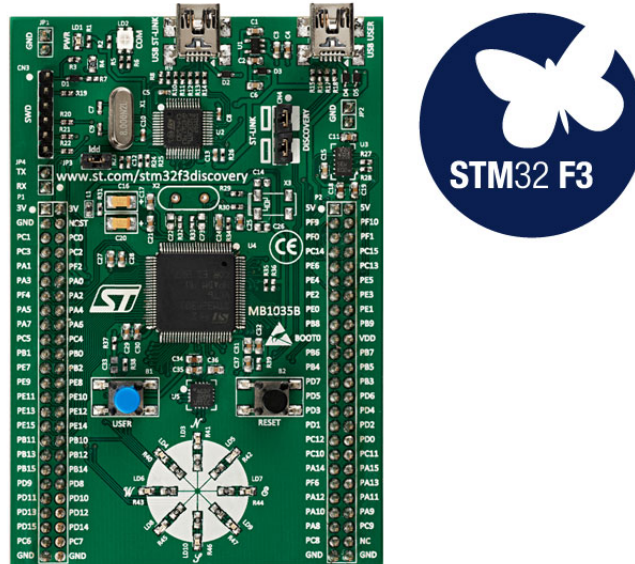


Figura 7: *Kit* STM32F3DISCOVERY (Fonte: <https://www.st.com>)

O STM32F3DISCOVERY é baseado no microcontrolador STM32F303VCT6 caracterizado pela CPU ARM<sup>®</sup> Cortex<sup>®</sup>-M4 32-bit com frequência de *clock* de 72 MHz [7]. Possui a ferramenta de *debug* ST-LINK/V2 or ST-LINK/V2-B inclusa na própria placa e possibilidade de ser alimentado com fontes de 5 ou 3V [8], o que facilita os processos de prototipagem e teste dos algoritmos a serem desenvolvidos. Além disso, possui o giroscópio L3GD20 com saída digital e o acelerômetro LSM303DLHC também inclusos na placa [8]. Por isso, vai estar embarcado no protótipo de VE desenvolvido pela equipe universitária *EESCuderia Mileage* da USP São Carlos. O microcontrolador externo vai ser do tipo STM32 a ser definido.

## 4.2 Módulo GPS

O módulo GPS a ser utilizado vai ser o NEO-6M da *u-blox*, ilustrado na Figura 8. Conhecido pelo baixo custo aliado a uma alta performance, seu tamanho compacto e baixo consumo energético o faz ideal para o sistema embarcado desenvolvido [9]. A comunicação entre o módulo e o microcontrolador será feita através do protocolo *Serial Peripheral*



Interface (SPI) com o conjunto de especificações NMEA.

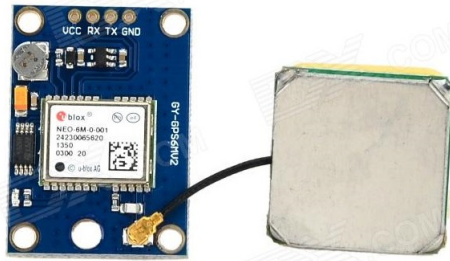


Figura 8: NEO-6M (Fonte: <https://www.dx.com>)

### 4.3 Sensor de velocidade

Um ímã vai ser fixado no aro da roda do protótipo de VE. O sensor Hall SS49E, ilustrado na Figura 9, alimentado por uma tensão de 3.3V (de acordo com [10], ele é compatível com essa tensão) vai detectar os momentos de passagem do ímã, indicando a frequência  $f$  da rotação. Sabendo-se também o raio  $r$  da roda, é possível calcular a velocidade atual do VE através de:

$$v_{atual} = 2\pi r f. \quad (10)$$

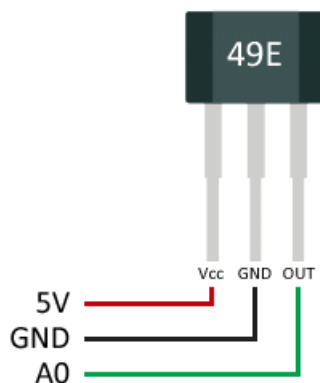


Figura 9: Sensor Hall 49E (Fonte: <https://www.luisllamas.es/>)

### 4.4 Sensor de tensão

A tensão na bateria será determinada utilizando um divisor de tensão em seus terminais, ilustrado na Figura 10.

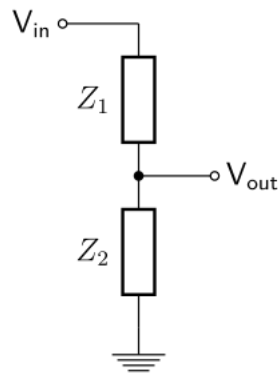


Figura 10: Divisor de tensão (Fonte: <https://upload.wikimedia.org/>)

Do divisor de tensão obtém-se:

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right). \quad (11)$$

Conforme (11), definindo  $Z_1 = 3k\Omega$  e  $Z_2 = 43k\Omega$  a tensão de saída  $V_{out}$  para o microcontrolador vai ser cerca de 15 vezes menor que a tensão real da bateria  $V_{in}$ . Como a bateria a ser utilizada possui uma tensão nominal de 36V, os valores lidos pelo microcontrolador estarão na faixa de 2.2 a 2.7V.

## 4.5 Sensor de corrente

Para medir a corrente DC que percorre a bateria, vai ser utilizado o sensor ACS712, ilustrado na Figura 11, de 20A com sensibilidade de 100mV/A. Consiste em um sensor Hall linear e preciso e que permite fácil implementação em aplicações como controle de motores e detecção de carga [11].

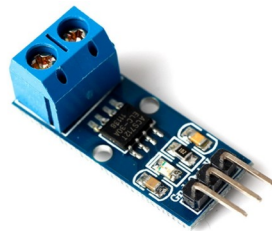


Figura 11: Sensor ACS712 (Fonte: <http://www.alselectro.com/>)

## 4.6 Transmissão *wireless*

O módulo LoRa Ra-01, ilustrado pela Figura 12, fornece um sinal de longo alcance, com pouca interferência e baixo consumo energético [12]. Vai ser utilizado para realizar a comunicação serial entre o microcontrolador embarcado e o microcontrolador receptor.

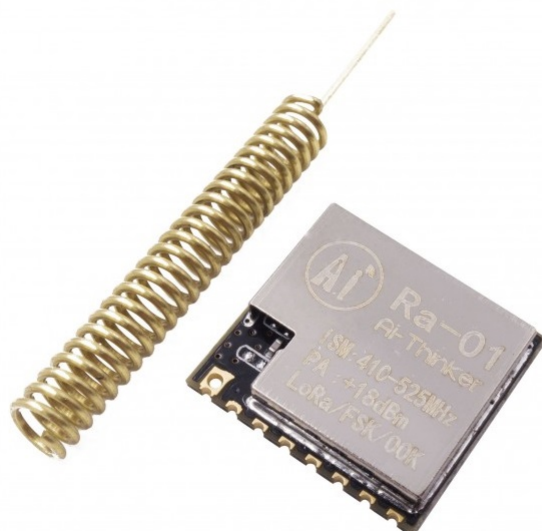


Figura 12: Módulo LoRa Ra-01 (Fonte: <https://www.smart-prototyping.com>)

#### 4.7 *Software* de monitoramento

A Figura 13 ilustra um exemplo de uso do *software STM Studio*, demonstrando algumas opções de visualização de variáveis em gráficos distintos. O *software* é não-intrusivo e auxilia nos processos de *debug* e diagnóstico dos dispositivos STM32 mostrando suas variáveis em tempo real, além de permitir o registro, em arquivo, dessas variáveis ao longo do tempo. Por ser feito para aplicações em que não se pode pausar para realizar operações de monitoramento [13], vai ser utilizado neste projeto.

## 5 Conclusão

No período a que se refere este relatório, foi possível selecionar os principais fatores que influenciam no consumo energético dos VEs e com isso determinar a técnica de condução antecipatória que vai ser implementada no sistema de telemetria. Os sensores a serem utilizados também foram definidos.

Como o sistema de telemetria determinado neste trabalho é importante para a equipe EESCuderia Mileage obter resultados satisfatórios na competição *Shell Eco-Marathon* 2019, vai haver uma maior ênfase na implementação completa do sistema de telemetria até o mês de Julho de 2019, momento em que o protótipo de VE da equipe estará em fase de testes. Por isso, a atividade 3 do cronograma inicial não será realizada nas próximas etapas deste projeto e foi designada para um outro grupo.

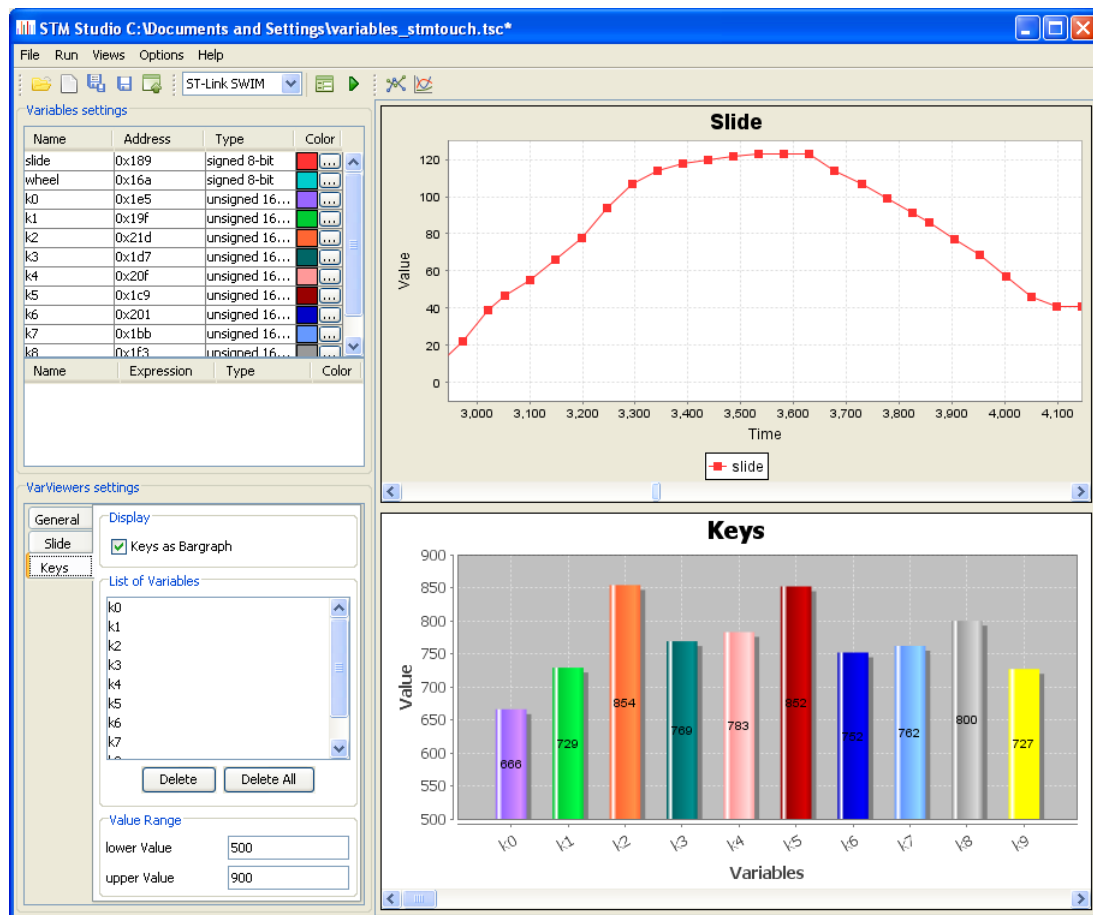


Figura 13: *STM Studio* (Fonte: [13]).

## 6 Próximas Etapas

1. Implementação da rotina de aquisição das variáveis de posição, velocidade atual, inclinação, tensão e corrente;
2. Implementação da rotina de acionamento do LED colocado no painel da motorista;
3. Implementação da rotina de transmissão *wireless* e monitoramento;
4. Prototipagem e testes do sistema de telemetria;
5. Ensaios em campo com os sistemas embarcados (controle e telemetria/sensoriamento) no veículo.

## Referências

- [1] W. Li, P. Stanula, P. Egede, S. Kara, and C. Herrmann. Determining the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles in the usage phase. In

*23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, pages 352 – 357, 2016.

- [2] T. Bär, R.f Kohlhaas, and J. Marius Zöllner. Anticipatory driving assistance for energy efficient driving. In *2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems*, 2011.
- [3] M. Cvetkovič. Real-time driver advisory system for fuel economy based on the adasis data. Dissertação de mestrado, Czech Technical University in Prague, 2017.
- [4] C. G. Serna and Y. Ruichek. Dynamic speed adaptation for path tracking based on curvature information and speed limits. *Sensors*, 2017.
- [5] N. J. Peçanha, P. V. V. Silva, P. F. Moura, and V. H. A. H. S. Silva. Estratégia de navegação com telemetria embarcada. Relatório de disciplina, Universidade de São Paulo, 2018.
- [6] H. Zhang and W. Kang. Design of the data acquisition system based on stm32. In *First International Conference on Information Technology and Quantitative Management*, pages 222 – 228, 2013.
- [7] STMicroelectronics. Stm32f303xb stm32f303xc. Datasheet - production data, STMicroelectronics, 2018.
- [8] STMicroelectronics. Discovery kit with stm32f303vc mcu. Data brief, STMicroelectronics, 2016.
- [9] u blox. Neo-6. Datasheet, u-blox, 2011.
- [10] Honeywel. Ss39et/ss49e/ss59et series. Datasheet, Honeywel, 2015.
- [11] Allegro. Acs712. Datasheet, Allegro, 2007.
- [12] Shenzhen Ai-Thinker Technology. Ra-01 lora product specification v1.1. Product specification, Ai-Thinker, 2017.
- [13] STMicroelectronics. Stm-studio-stm32. Data brief, STMicroelectronics, 2016.