

# Desenvolvimento de um sistema para economia de combustível com rede neural artificial

Murilo Lopes Andrade <sup>a</sup> e Celso Ap.de França <sup>b</sup>  
 Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos

**Resumo** – Este artigo tem como objetivo desenvolver uma placa de aquisição de dados para identificar os trechos de subida e descida de um veículo por meio de uma rede neural artificial LSTM (Long Short Term Memory), e estimar a redução no consumo de combustível caso o mapa de injeção eletrônica fosse ajustado para ter a informação da rede neural e otimizar o corte de combustível na desaceleração (DFCO - Deceleration Fuel Cut Off).

A placa de aquisição de dados é composta por três microcontroladores que recebem dados dos sensores do veículo. Esses dados são usados para treinar a rede neural artificial LSTM, que é capaz de identificar os trechos de subida e descida na rota percorrida.

A partir da informação da rede neural, é possível otimizar o DFCO do veículo, ajustando o mapa de injeção eletrônica para melhorar o consumo de combustível. Isso é feito por meio de um algoritmo que utiliza as informações da rede neural para estimar a redução no consumo de combustível que pode ser alcançada com as mudanças no mapa de injeção.

Os resultados mostraram que a placa de aquisição de dados foi capaz de identificar os trechos de subida e descida com uma precisão de 96,7%, e que a otimização do DFCO com base nas informações da rede neural pode resultar em uma redução significativa no consumo de combustível. Esse estudo contribui para o desenvolvimento de tecnologias que possam melhorar a eficiência energética dos veículos, reduzindo o impacto ambiental e os custos operacionais.

**Palavras-Chave** – Consumo de combustível, DFCO, LSTM, Rede Neural.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções que visam reduzir o consumo de combustível dos veículos automotores tem se tornado cada vez mais importante. Com o aumento dos preços dos combustíveis e a crescente preocupação com as emissões de gases poluentes, a indústria automotiva tem buscado novas tecnologias que permitam a otimização do consumo de combustível e a redução da pegada ambiental - medida da quantidade de recursos naturais que uma pessoa, empresa, produto ou atividade consome e da quantidade de resíduos que produz - dos veículos.

Considerando-se a demora na popularização de veículos dotados de novos trens de força mais eficientes, como os híbridos e elétricos, e a idade da frota dos países emergentes como o Brasil, é importante considerar alternativas de baixo custo que possam ser implementadas em veículos à combustão interna novos e até adaptada em veículos antigos para a diminuição do consumo de combustível, até que a conversão da

frota para motores mais eficientes seja realizada plenamente.

Um dos primeiros mecanismos de economia de combustível utilizados por veículos com sistemas de injeção eletrônica é conhecido como deceleration fuel cut off (DFCO) e consiste no corte da injeção de combustível durante a desaceleração ou em descidas, aproveitando a inércia do veículo para reduzir o consumo de combustível. E, além de contribuir para a redução do consumo de combustível, o corte da injeção de combustível durante a desaceleração também pode aumentar a vida útil dos freios do veículo, já que reduz a necessidade de frenagem. Isso pode resultar em economias adicionais para o proprietário do veículo.

Uma das principais dificuldades de se otimizar o sistema DFCO, porém, é na delimitação de seus parâmetros ativadores, em razão da necessidade de se considerar as situações onde o motorista pode não desejar um total corte do motor em função das características de elevação do terreno ou da circunstância de uma breve pausa na aceleração. E, em especial, os parâmetros de retardo inicial e tempo de corte, que ditam o quanto tempo após o início da desaceleração a quantidade de combustível injetada começa a decair e após quanto tempo ela é cortada totalmente, respectivamente, são os que mais influenciam na ativação do sistema.

Com o objetivo de tornar esse sistema mais eficiente, o presente trabalho desenvolve e implementa um sistema de aquisição de dados baseado em ESP-32 e Arduino. O sistema armazena e analisa, com o uso de uma rede neural artificial, os parâmetros de um veículo leve durante sua condução e detecta, na série temporal adquirida, os começos de declives ou aclives, que são informações valiosas para a Central Eletrônica de Controle (ECU) do veículo determinar se a injeção de combustível pode ser interrompida.

Por fim, um estudo sobre a potencial redução no consumo de combustível caso os resultados fossem empregados na programação da injeção eletrônica do veículo em questão é realizado.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversas abordagens são utilizadas para se atingir uma diminuição do consumo de combustível em veículos com motores à combustão interna. Um estudo de Tran et al. [1] intitulado "Fuel Consumption Reduction in Connected and Automated Vehicles Using Cooperative Adaptive Cruise Control and Speed Harmonization" explorou o uso de controle de cruzeiro adaptativo cooperativo (CACC) e harmonização de velocidade para reduzir o consumo de combustível em veículos conectados e autônomos. O estudo constatou que o uso do piloto automático desenvolvido e a harmonização de velocidade podem reduzir o consumo de combustível em até 16% em uma frota de veículos.

Um estudo de Fang et al. [2] intitulado "Eco-Driving Data Acquisition System Based on Inertial Sensors and OBD-II" apresentou um sistema de aquisição de dados voltado para direção ecológica baseado em sensores inerciais e na conexão de diagnósticos presente nos veículos (OBD-II). O sistema pode detectar o comportamento de condução agressivo e fornecer feedback ao motorista para melhorar o consumo de combustível em uma viagem. O estudo concluiu que o sistema proposto pode reduzir significativamente o consumo de combustível em até 10%.

<sup>a</sup> E-mail autor: murilo@estudante.ufscar.br

<sup>b</sup> E-mail orientador: celsofr@ufscar.br

OChen et al. [3] usaram uma combinação de métodos experimentais e analíticos para desenvolver e avaliar uma estratégia de controle híbrido - baseada em modelagens matemáticas e também em dados experimentais - para o sistema Overrun Fuel Cut (OFC), muito similar ao DFCO, em motores a gasolina. Os autores coletaram dados de direção do mundo real da unidade de controle do motor (ECU) de um motor a gasolina 1.6L com transmissão automática de quatro marchas. Os dados foram coletados usando um analisador de gás e foram processados usando o software MATLAB para identificar os principais fatores que afetam o desempenho do sistema OFC. Os autores então desenvolveram uma estratégia de controle híbrido que combinou as vantagens das estratégias de controle de malha aberta e malha fechada.

A revisão da literatura mostra que a aquisição de dados de direção do carro tem potencial para reduzir significativamente o consumo de combustível, sendo as aplicações focadas em fornecer feedback ao motorista para melhorar o comportamento de direção ou controlar alguma entrada do carro para o motorista de forma automática, ou com base em suas ações de forma pré determinada são as mais comuns. Além disso, os estudos apresentados nesta revisão exploraram diferentes métodos de aquisição de dados, incluindo sensores inerciais, OBD-II, sensores de smartphones e sensores de emissão de gases, sem considerar a forma direta de medição diretamente nos sensores que o veículo já utiliza.

### 3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

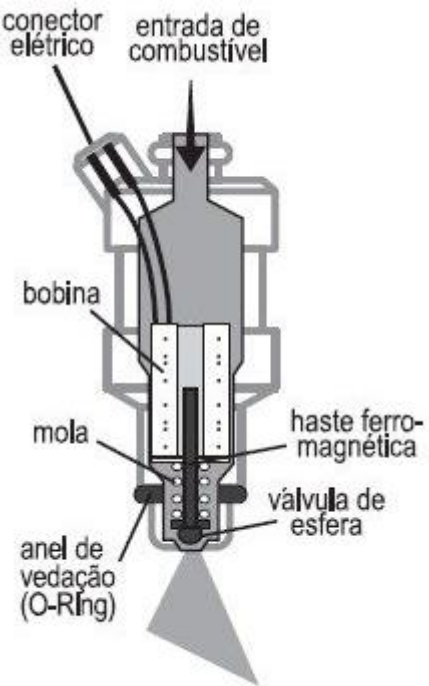
O motor de ciclo otto moderno, utilizado na maioria dos carros movidos à gasolina, funciona com um sistema de injeção eletrônico que injeta o combustível, diretamente na câmara de combustão ou na admissão, de forma dosada, através de um spray que é controlado por um pulso PWM aplicado a um bico injetor de combustível. O bico injetor consiste em um duto anexado a uma válvula em seu extremo, que se encontra fechada por uma haste metálica, ou agulha com diâmetro menor que o duto principal, pressionada por uma mola, conforme a Figura 1. O acionamento é feito através da passagem de corrente elétrica por uma bobina que envolve a haste, gerando assim um campo magnético que puxa a haste, abrindo o caminho para a válvula de saída [4] .

O ciclo de trabalho desse pulso PWM é negativamente controlado – o comando de abertura é dado através da conexão do terminal de controle com o negativo - pela ECU, que é pré-programada e responde de acordo com os dados colhidos pelos diversos sensores espalhados pelo veículo e as entradas dadas pelas ações do motorista e condições do ambiente. E pode-se determinar o consumo de combustível de um motor através do sensor de fluxo de combustível, para os veículos que apresentam um dispositivo que o meça, ou através da medição dos pulsos que controlam a abertura do bico injetor, representados na Figura 2, juntamente com os dados de pressão da linha de combustível, a vazão nominal do equipamento, que é dada em lb/h ou cm<sup>3</sup>/min, e a quantidade de cilindros do motor.

Nota-se que a forma de onda de controle do bico injetor apresenta a peculiaridade de variar até 68 V, no caso do veículo estudado, no momento em que o mesmo é fechado. Isso se deve ao colapso do campo magnético da bobina que ele contém,

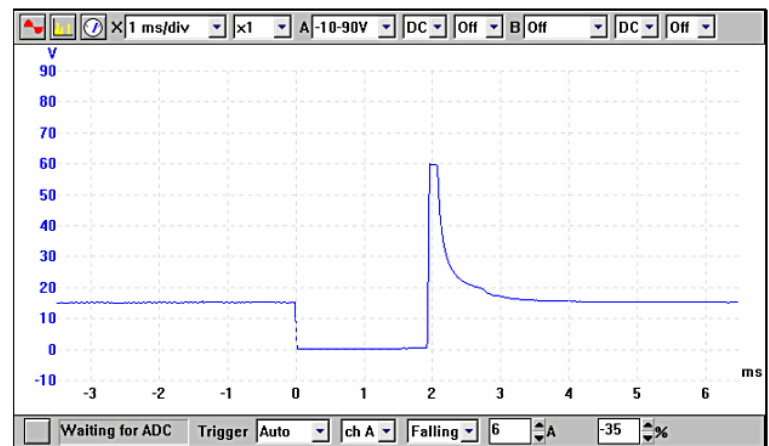
Figura 1, e teve que ser considerado na concepção do circuito, uma vez que é uma tensão elevada quando comparada aos 12 V máximos dos outros sensores.

Figura 1: Arquitetura de um bico injetor



Fonte: MTE-Thomson [5].

Figura 2: Forma de onda de controle de um bico injetor



Fonte: <http://www.pearltrees.com/ksanderson/petrol-fuel-system/id14467285/item126370148>

De acordo com a documentação técnica sobre injeções eletrônicas programáveis desenvolvida pela empresa Motorsport Electronics [6], o Overrun Fuel Cut (OFC) ou Deceleration Fuel Cutoff (DFCO) é um método usado por algumas ECUs *Original Equipment Manufacturer* (Fabricante de Equipamento Original) (OEM) para desligar a injeção de combustível sob certas condições - como rolar ladeira abaixo com o acelerador fechado (ou seja, sob freio motor) e tem como principais vantagens a economia de combustível e refrigeração dos cilindros, se configurados os parâmetros corretamente. As configurações presentes na Tabela 1 geralmente são levadas em consideração para permitir seu uso enquanto o motor estiver funcionando.

Tabela 1: Parâmetros ativadores do DFCO

Parâmetro	Descrição
Min RPM	Mínimo RPM para o OFC operar. Se o RPM estiver abaixo disso, não será ativado.
Max MAP	A pressão máxima do coletor de admissão para operação do OFC.
Max TPS	Esta é a porcentagem máxima de aceleração para o OFC operar. Usualmente o OFC só deve operar quando o acelerador estiver zerado.
Min CLT	A temperatura mínima que o líquido de arrefecimento do motor deve atingir antes de permitir a operação do OFC.
Atraso de inicialização e tempo de corte	Depois que todas as condições acima forem atendidas, um cronômetro começará a contar (é redefinido para 0 toda vez que o motor sair das condições acima). Então o OFC começará a operar, reduzindo gradualmente a porcentagem de combustível ao longo do "Tempo de corte".
Tempo de retorno	Quando o motorista pressiona o acelerador ou o MAP aumenta devido ao aumento da carga, a porcentagem de combustível será recuperada 'suavemente' de 0% de volta ao valor normal no tempo especificado.
Adicionar combustível trim(%) & Adicionar combustível Duração(s)	Como o coletor de admissão terá sido "seco" durante o OFC, geralmente é necessário algum combustível extra para o retorno à operação normal. Essas duas configurações definem por quanto a quantidade de combustível comandada deve ser enriquecida e também por quanto tempo esse enriquecimento deve ocorrer.

Fonte: Motorsport-electronics, 2019 [6]

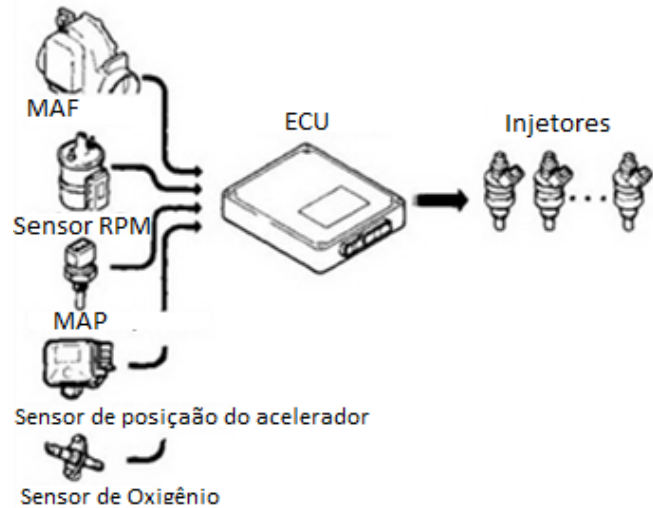
Um dos métodos mais comuns de aquisição de dados de veículos em tempo real é por meio do uso de sensores. Esses sensores são colocados estrategicamente em todo o veículo e podem medir uma ampla gama de parâmetros, incluindo velocidade, aceleração, temperatura, pressão e consumo de combustível. Os dados coletados por esses sensores são então transmitidos para um dispositivo de registro de dados ou um computador para análise. Uma das vantagens do uso de sensores é que eles fornecem dados precisos e em tempo real, permitindo uma tomada de decisão rápida e eficaz. No entanto, os sensores podem ser caros para instalar e manter e nem sempre conseguem capturar todos os dados relevantes.

Um segundo método de aquisição de dados de veículos em tempo real é através do uso de sistemas de diagnóstico a bordo (OBD). Esses sistemas usam sensores e outros equipamentos de monitoramento já presentes no veículo para coletar dados sobre o desempenho, incluindo informações sobre o motor, transmissão e sistemas de emissões. Os sistemas OBD

são particularmente úteis para detectar e diagnosticar problemas com um veículo, pois podem fornecer informações detalhadas sobre a origem de um mau funcionamento. No entanto, os sistemas OBD podem não ser capazes de capturar todos os dados relevantes e requerem equipamentos especializados para interpretar os dados que coletam, que geralmente estão disponíveis apenas para o próprio fabricante.

A ECU de um veículo trabalha com dados provenientes de dezenas de sensores simultaneamente, de forma a controlar os diferentes sistemas do em malha fechada sempre que possível. No que diz respeito ao sistema de injeção de combustível, representado na Figura 3, existem dois atuadores principais: o bico injetor e o corpo de borboleta, que regulam a quantidade de combustível e ar que entram no motor, respectivamente. Os principais sensores utilizados para comandar estes atuadores são o pedal do acelerador, o sensor de pressão da admissão (MAP), o sensor de massa de ar de admissão (MAF), o sensor hall que mede a velocidade do veículo e o sensor que mede a RPM do motor. E cada sensor funciona de maneira individual e pode ter em sua saída dados na forma analógica ou digital, em diferentes faixas de tensão.

Figura 3: Sensores usuais de um sistema de injeção eletrônica



Fonte: Traduzida de Micro-Tronik [7].

Por outro lado, grampear –do inglês tap, como uma ligação direta- os sinais dos sensores de um carro para registrar seus dados diretamente usando microcontroladores é um processo técnico que requer um profundo conhecimento do sistema de fiação do veículo e das especificações de seus sensores. O processo envolve conectar os fios do sensor a um microcontrolador, programar o microcontrolador para ler os dados do sensor e armazenar os dados em uma unidade de memória. Os dados podem então ser analisados usando aplicativos de software para fornecer informações valiosas sobre o desempenho do veículo e o comportamento do motorista. O tipo de microcontrolador utilizado dependerá da aplicação específica e da quantidade de dados que precisam ser processados. Por exemplo, um microcontrolador simples como o Arduino Uno pode ser usado para aplicações básicas que requerem apenas alguns sensores. Aplicações mais complexas que exigem vários sensores e processamento de dados em tempo real podem exigir um microcontrolador mais poderoso, como o Raspberry Pi.

Uma placa de aquisição de dados é um sistema eletrônico que tem como objetivo coletar dados do veículo, como velocidade, rotação do motor, temperatura, entre outros. O uso de

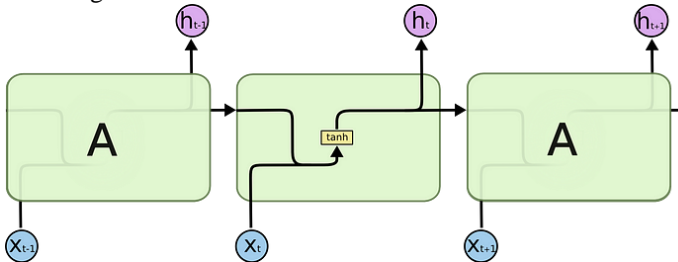
microcontroladores Arduino e ESP32 permite a leitura desses dados através de sensores e envio para um computador ou dispositivo móvel para análise.

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que utiliza uma placa com microcontrolador e uma linguagem de programação simplificada para permitir a criação de projetos de eletrônica. O ESP32 é um microcontrolador que possui conectividade Wi-Fi e Bluetooth, além de uma unidade de processamento de dados de alta performance. A utilização de ambos é possível através da interface serial com um computador portátil, que tem alta capacidade de receber e armazenar os dados.

Ambos microcontroladores dispõe da função de interrupção externa, que consiste em uma rotina que é ativada com prioridade máxima no software a partir do momento que um sinal externo é recebido em pinos específicos do microcontrolador e, se configurada corretamente, pode ser utilizada para a medição de eventos que ocorrem na ordem de milissegundos com precisão, como é o caso dos pulsos dos sensores do carro e do PWM de controle do bico injetor.

Para trabalhar com essas informações a Rede Neural Recorrente (RNR) alcança grande grande sucesso nos campos que envolvem análise de dados sequenciais(Choi et al., [8], Ma et al., [9], Mou et al., [10]). A partir da estrutura gráfica da Rede Neural Recorrente (RNR) mostrada na Figura 4, pode-se ver que a RNR pode armazenar informações do estado oculto anterior e aplicá-las à saída junto com a entrada atual. Dessa forma, RNNs podem capturar representações dinâmicas de dados sequenciais usando um estado oculto recorrente específico (LeCun et al. [11]).

Figura 4: Estrutura de uma Rede Neural Recorrente



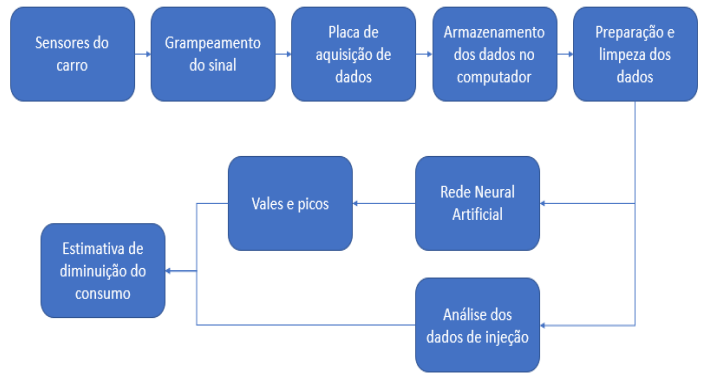
Fonte: <http://www.medium.com/@web2ajax/redes-neurais-recorrentes-lstm-b90b720dc3f6>

As Redes Neurais Long Short Term Memory (LSTM) são RNR especiais, que têm a capacidade de remover ou adicionar informações ao estado da célula, cuidadosamente reguladas por estruturas chamadas portas. Então, quanto mais blocos de células LSTM a rede neural possuir, maior a sua possibilidade de guardar as informações por um maior período de tempo e, por esse motivo, são muito utilizadas em aplicações de séries temporais [12].

#### 4. METODOLOGIA

O sistema desenvolvido e implementado no presente trabalho foi desenvolvido de acordo com o diagrama de blocos apresentado na Figura 5, que descreve o fluxo da coleta e processamento dos dados, até a sua interpretação com os resultados finais de consumo de combustível, elevação e estimativa de consumo com a mudança do mapa de injeção eletrônica de combustível.

Figura 5 – Diagrama de blocos do Sistema.



Fonte: Autor

Primeiramente, os sensores do carro que mais influenciam no sistema de injeção eletrônica foram mapeados e, utilizando-se do manual de serviços e do esquema elétrico do veículo, foi identificado o ponto mais fácil para se realizar o grampeamento do sinal com cabos longos e fita isolante automotiva foi utilizada para o isolamento elétrico e térmico dos mesmos, para, posterior o teste e aquisição dos sinais. Os sinais e sensores que foram mapeados e os locais de acesso à sua fiação estão os contidos na Tabela 2.

Tabela 2: Sensores mapeados e local de acesso à sua fiação

Sinal/Sensor:	MAP	Acelerador	Velocidade	RPM	INJE-TOR
Local Fiação:	Cofre do motor	Pedais	Painel	Painel	Cofre do motor

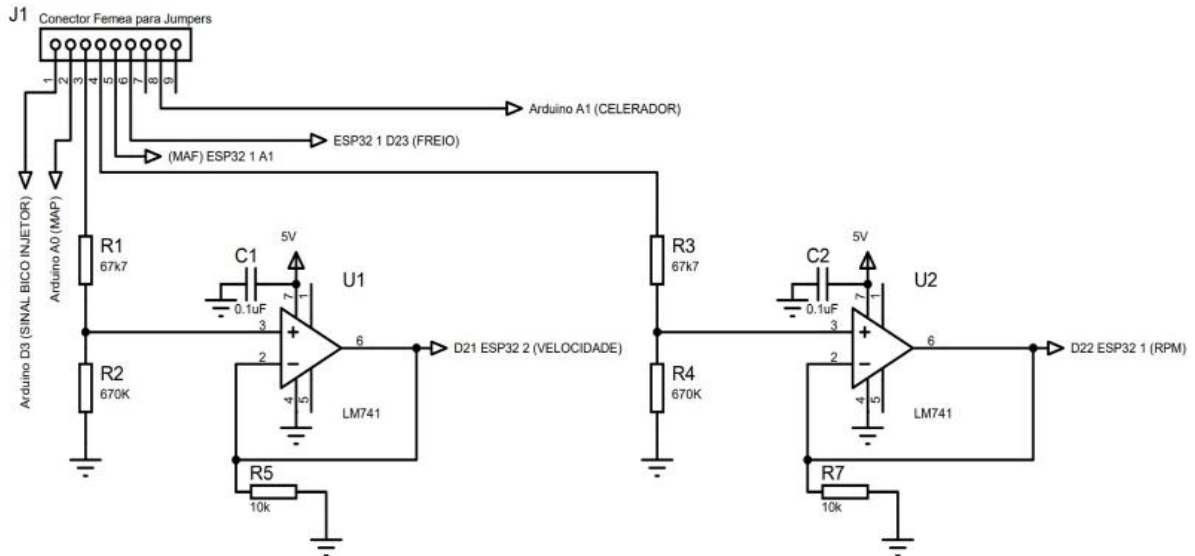
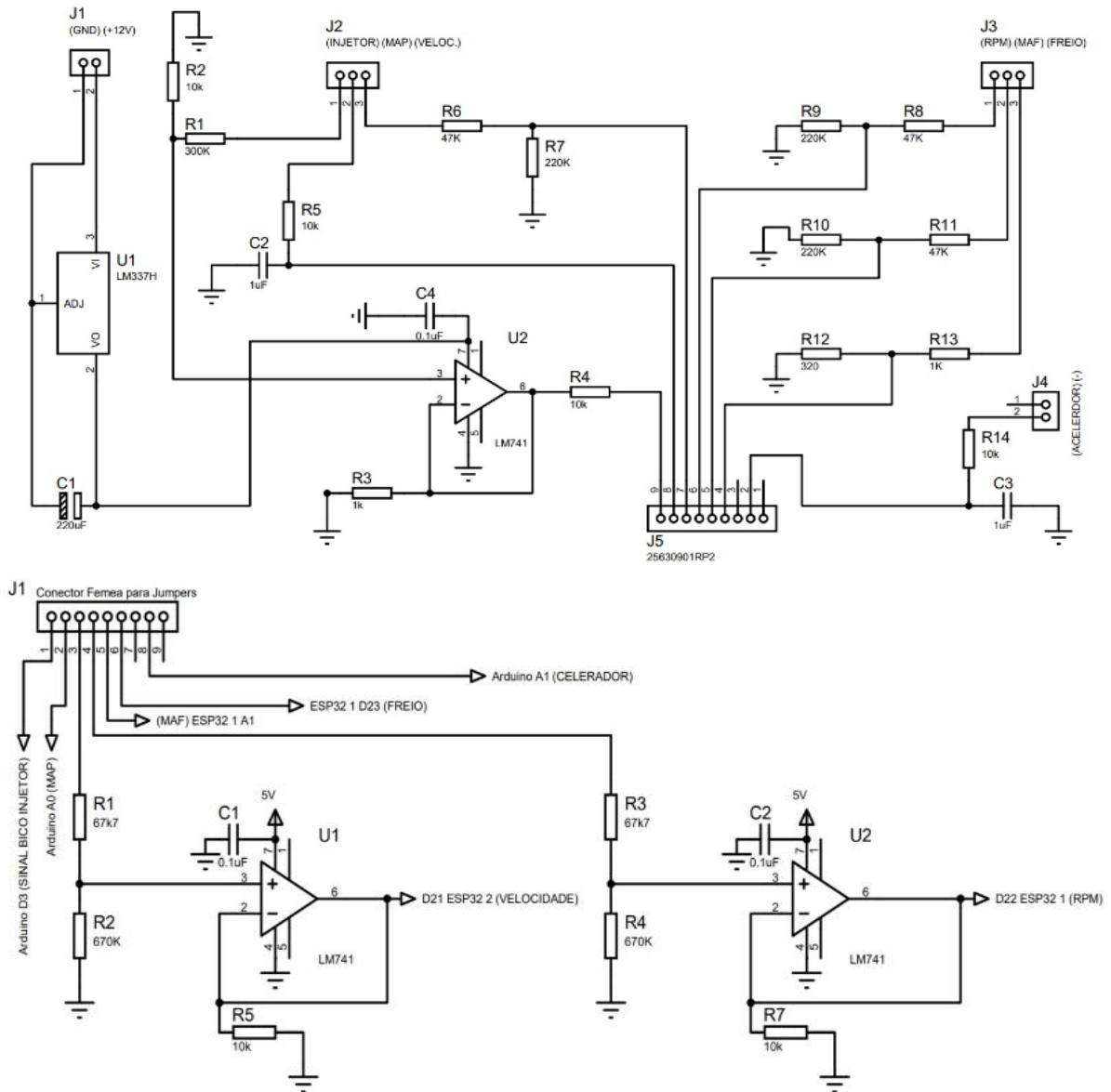
Fonte: Autor

Após identificados os locais de acesso aos cabos que transmitem os sinais dos sensores e de sinal da injeção, foi necessário realizar a desmontagem do painel e acabamentos internos, na parte interior do veículo, e a retirada da cobertura do motor, caixa de ar, e de alguns chicotes elétricos, no cofre do motor, para poder realizar o processo de grampeamento. Após concluído o processo, os novos cabos foram encaminhados para o porta-luvas por meio dos caminhos já existentes nos chicotes originais do veículo, para que pudessem ser facilmente acessados a qualquer momento.

Realizou-se, então, o estudo das características dos sinais de cada sensor em diversas etapas da direção do veículo, por meio do uso de um osciloscópio, para que o circuito de filtro e captura do sinal adequado pudesse ser desenvolvido. E, dessa forma, pôde-se chegar na placa de aquisição de dados final, como mostrado no circuito da Figura 6.

Nota-se que a utilização de três microcontroladores se deu baixo custo se deu pela alta disponibilidade no mercado e custo benefício imbatíveis, sendo uma opção mais viável do que a utilização de microcontroladores mais potentes e com processadores com mais núcleos e capacidade de processamento em paralelo.

Figura 6: Circuito da placa de aquisição de dados



Fonte: Autor

A placa de aquisição de dados tem seu funcionamento baseado em canais que levam os sinais a três microcontroladores, dois ESP32 e um Arduino Uno, que realizam a aquisição dos sinais por meio de suas portas habilitadas para interrupções externas e leituras analógicas ou digitais, a depender da velocidade do sinal medido. Utilizou-se três microcontroladores separados pois três dos sinais coletados (Velocidade, RPM e Injetor) necessitam de rotinas de interrupção externas, que se utilizadas no mesmo microcontrolador ocorreriam uma durante a execução da outra, impossibilitando a aquisição dos sinais com precisão no tempo. A Tabela 3 mostra as entradas de cada microcontrolador.

Para que os dados fossem armazenados para posterior processamento, a interface serial dos microcontroladores foi utilizada, se comunicando com um computador portátil que grava os dados utilizando o software de código aberto PuTTY

[13], no formato *comma separated values* (CSV). A Tabela 4 apresenta uma amostra dos dados extraídos do veículo pela placa de aquisição desenvolvida. Os dados de altitude foram inseridos juntamente com esses dados, sendo extraídos do sensor de GPS do computador portátil, tendo sido utilizados para a validação dos resultados encontrados pela RNA, após a sua manipulação para se encontrar os topos e vales do caminho percorrido.

Tabela 3: Amostra dos dados extraídos do veículo

Entradas dos Microcontroladores		
Arduino	ESP32 1	ESP32 2
Acelerador	MAF	Velocidade
MAP	Freio	
Injetor	RPM	

Fonte: Autor



Tabela 4: Amostra dos dados extraídos do veículo

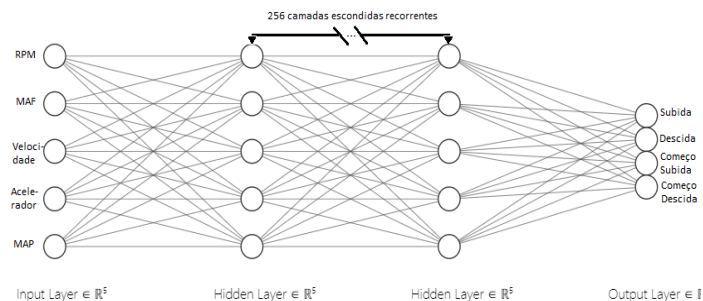
Altitude (m)	Engine RPM	MAF	Speed Km/h	Throttle Position	MAP (kpa)	Injetor (ms)
830.5	968	5.64	24	17.64	576	10.35
830.6	968	5.64	24	17.65	538	
830.7	968	5.64	24	15.29	500	
830.8	968	5.64	24	15.30	452	
830.9	968	5.64	24	15.31	408	8.83
830.10	968	5.64	24	15.32	364	
830.11	968	5.64	24	15.33	330	
830.12	968	5.64	24	15.34	299	
830.13	968	5.64	24	15.35	275	
830.14	968	5.64	24	15.36	258	
830.15	968	5.64	24	15.37	241	6.06
830.16	968	5.64	24	15.38	233	
830.17	946	5.64	24	15.39	224	
830.18	946	5.64	24	15.40	220	
830.19	946	5.64	23	15.41	219	4.88

Fonte: Autor

Uma vez extraídos os dados, um código em Python foi escrito para realizar a filtragem e preparação dos mesmos para que pudessem ser utilizados como entrada na RNR. Tal etapa se faz necessária porque há casos em que pequenas oscilações fazem com que uma pequena parcela dos dados colhidos seja errônea, com valores fora dos possíveis.

Após a limpeza, os dados foram separados entre dados da injeção eletrônica e dados de sensores. Os dados da injeção foram analisados e utilizados para medir-se o consumo de combustível atual do carro, bem como entender o comportamento da injeção. Já os dados dos sensores foram utilizados como entrada na rede neural artificial recorrente do tipo LSTM, que pode ser vista no diagrama da Figura 7.

Figura 7: Diagrama da RNR LSTM utilizada



Fonte: Autor.

Para a medição do consumo de combustível atual do veículo no trajeto realizado foi realizado um experimento em laboratório, no qual a pressão da linha de combustível real do veículo utilizado foi medida utilizando-se um manômetro especializado para esta função. E, com o resultado desse teste, o

bico injetor do veículo foi colocado em um medidor de vazão e testado, como mostra a Figura 8, para o consumo exato no tempo em que o bico injetor estivesse aberto durante o uso do veículo pudesse ser calculada.

Figura 8: Medição da vazão do bico injetor



Fonte: Autor.

Para os dados que foram utilizados na RNR, dividiu-se, ainda, uma parcela de 25% dos 781 trechos de 128 pontos de medida cada foram utilizadas para dados de treino e o restante foi utilizado como dado de teste e uma amostra de como os dados foram inseridos na RNR pode ser vista na Tabela 5. Nota-se que a coluna linha identifica cada linha da tabela por ordem em que foi preenchida, N°\_medidas separa as entradas em trechos de 128 medidas para serem identificados pela RNR por tipo de relevo, Id\_serie representa cada um desses trechos, e Id\_linha representa cada entrada em um trecho específico.

Após serem analisados pela RNR, os dados dos sensores geraram resultados de quantidade de picos e vales no relevo do caminho percorrido pelo veículo, que foram comparados com os dados de altitude colhidos pelo receptor de GPS.

Com a confirmação de que os dados obtidos pela RNR eram válidos, foi realizada uma estimativa de consumo de combustível na mesma rota percorrida pelo veículo, porém, considerando-se um mapa de injeção que levasse em consideração os picos e vales, permitindo um DFCO antecipado e, na teoria, economizando combustível.

Essa estimativa foi realizada através da modificação dos dados colhidos da injeção eletrônica no trajeto real, adiantando o tempo de início do DFCO para o momento em que a RNR identificou que o veículo estava em uma situação de começo de descida. E esta etapa também foi realizada utilizando-se um código escrito em Python, com o uso das equações (1) e (2):

$$Volume Utilizado = \frac{6 \cdot (soma\ tempo\ inj\ aberto\ [s]) \cdot (433,5 + 0,001)}{60} \quad [l] \quad (1)$$

$$Consumo\ Médio = \frac{Distância\ Percorrida}{Volume\ Utilizado} \left[ \frac{Km}{l} \right] \quad (2)$$

Tabela 5: Amostra de dados inseridos na RNR

Linha	Id_linha	Id_serie	N°_medida	Engine RPM	MAF	Speed Km/h	Acele radior	MAP (kpa)
0	0_0	0	0	968	5.64	24	17.64	576
1	0_1	0	1	968	5.64	24	17.65	538
2	0_2	0	2	968	5.64	24	15.29	500
3	0_3	0	3	968	5.64	24	15.30	452
...	...	...	...	...	...	...	...	...
126	0_126	0	126	968	5.64	24	17.71	317
127	0_127	0	127	968	5.64	24	15.44	364
128	1_0	1	0	968	5.64	24	15.45	330
129	1_1	1	1	968	5.64	24	15.46	400
130	1_2	1	2	968	5.64	24	15.47	412
131	1_3	1	3	968	5.64	24	15.48	317
132	1_4	1	4	968	5.64	24	17.72	361

Fonte: Autor

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando-se os dados obtidos a partir dos sensores e sinais da ECU, a RNR foi capaz de classificar a série temporal utilizada como entrada com uma eficácia de 96,7%, classificando 100% dos segmentos da série como descida e subida corretamente, 93,1% dos segmentos referentes a começos de descidas corretamente e 89,4% dos segmentos relativos a começos de subidas corretamente.

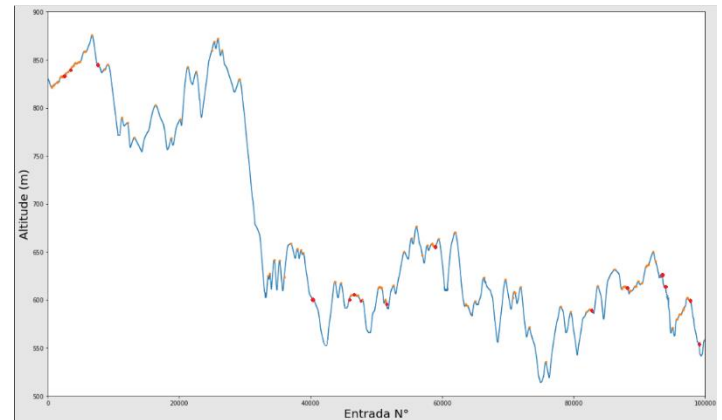
Na Figura 9, pode-se ver todos os picos reais, em laranja e os picos não encontrados pela RNR, em vermelho. Já na Figura 10, pode-se ver todos os vales reais, em laranja e os vales não encontrados pela RNR, em vermelho. Essas informações são o que classificam o trecho em que o ponto em questão está presente entre começo de subida ou começo de descida e nota-se que há trechos com topos e vales muito próximos, o que ocorre em locais de pequenos aclives e declives repetidos no terreno.

À parte ao estudo das redes neurais foi realizada a análise dos dados obtidos a partir do sinal do bico injetor de combustível, multiplicando o tempo de injeção total obtido pelo número de cilindro do motor (6), obter um consumo médio para

o trajeto de 11,23 Km/l.

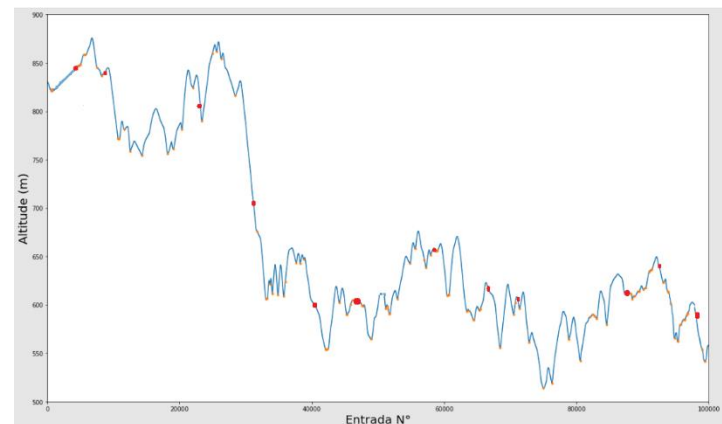
Com as informações fornecidas pelos resultados da análise dos dados de injeção e os dados de altitude, foi possível determinar que, em média, o tempo de atraso de inicialização e tempo de corte para o DFCO do veículo testado foram de 2,7s no trajeto. Como pode ser visto na Figura 11, o bico injetor continua recebendo sinais e injetando combustível mesmo após, em média, 2,7s do início de um trecho de descida, que são representados pela soma dos retângulos vermelho e amarelo.

Figura 9 Picos (laranja) e picos não encontrados pela RNR (vermelho)



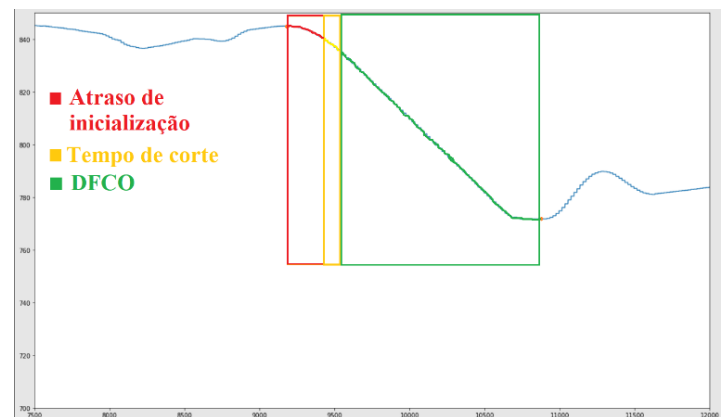
Fonte: Autor

Figura 10: Vales (laranja) e vales não encontrados pela RNR (vermelho)



Fonte: Autor

Figura 11: Representação do Tempo de atraso de inicialização e do tempo de corte para o DFCO



Fonte: Autor

Por fim, rodou-se o código em Python que estima o consumo de combustível para o trajeto caso a injeção eletrônica receba uma programação contendo um feedback a partir da RNR com a informação do momento onde se iniciam os trechos de subidas e descidas. E obteve-se uma economia de 0,48L de combustível, totalizando um consumo médio de 11,87 Km/l utilizando essa projeção, o que representaria uma redução de 5,3% no consumo de combustível.

## 6. CONCLUSÕES

A placa de aquisição de dados desenvolvida e implementada nesse trabalho provou ser eficaz na coleta de dados dos mais variados parâmetros do veículo. Os dados coletados por meio deste circuito permitiram identificar com precisão os trechos de subida e descida do trajeto e projetar um mapa de injeção de combustível otimizado para maximizar as ocasiões de DFCO e, assim, diminuir o consumo de combustível.

Em conclusão, os resultados deste estudo demonstram o potencial do uso de sistemas de aquisição de dados e algoritmos contendo redes neurais artificiais, em especial as LSTM, para reduzir o consumo de combustível dos carros. As modificações do mapa de injeção de combustível propostas com base nos dados coletados resultaram em uma redução significativa no consumo de combustível, contribuindo para uma mitigação das mudanças climáticas ocasionadas pelas emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Tran, H.N., Rahimi-Eichi, H., Sadeghian, P., Ma, X., & Lu, X. (2021). Fuel consumption reduction in connected and automated vehicles using cooperative adaptive cruise control and speed harmonization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 126, 103053.
- [2] Fang, C., Cheng, Y., Yan, S., Zhang, Y., & Xie, D. (2019). Eco-driving data acquisition system based on inertial sensors and OBD-II. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 9647126..
- [3] OChen, S., Zhang, Y., Liu, J., & Liu, X. (2019). Effect of open-to-closed valve timing and fuel injection strategies on gasoline direct injection engine performance and emissions. *Energy Conversion and Management*, 183, 57-67.
- [4] FERNANDES FILHO, J. A. Válvulas de controle. São Paulo: Ed. Blucher, 2014
- [5] MTE-THOMSON. Aula 13 – VÁLVULA INJETORA. Disponível em: <https://cursosonline.mte-thomson.com.br/unit/aula-13-valvula-injetora/>. Acesso em: 10 jan 2023.
- [6] Motorsport Electronics Ltd. (n.d.). 8211 Datalogger - Overrun Fuel Cut (OFC). Disponível em: [http://www.motorsport-electronics.co.uk/onlinehelp/html/8211.html#:~:text=Overrun%20Fuel%20Cut%20\(or%20OFC,cylinder%20cooling%20if%20correctly%20configured.](http://www.motorsport-electronics.co.uk/onlinehelp/html/8211.html#:~:text=Overrun%20Fuel%20Cut%20(or%20OFC,cylinder%20cooling%20if%20correctly%20configured.) Acesso em: 10 set 2022.
- [7] MICRO-TRONIK. Sistema de injeção eletrônica de combustível. Disponível em: <http://www.micro->

[tronik.com/learning/technical-information/automotive/repair-basics/general-engine-infromations/electronic-fuel-injection/](http://www.micro-tronik.com/learning/technical-information/automotive/repair-basics/general-engine-infromations/electronic-fuel-injection/). Acesso em: 08 nov 2022.

- [8] CHOI, S. et al. Control strategy optimization for electronic fuel injection system in gasoline engine. *Energy Procedia*, v. 142, p. 3687-3692, 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.077.
- [9] MA, Y. et al. Optimal design of an electronic fuel injection system for gasoline engine based on multi-objective optimization. *Applied Energy*, v. 147, p. 54-63, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.004.
- [10] MOU, H. et al. Dynamic optimization of fuel injection timing and pressure in a common-rail diesel engine using a hybrid PSO-DE algorithm. *Applied Thermal Engineering*, v. 113, p. 406-414, 2017. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.11.050.
- [11] LE CUN, Y. et al. Deep learning. *Nature*, v. 521, p. 436-444, 2015. DOI: 10.1038/nature14539
- [12] Jose Júnior. (2019). Redes Neurais Recorrentes — LSTM [Online]. Disponível: <https://medium.com/@web2ajax/redes-neuraisrecorrentes-lstm-b90b720dc3f6>. Acesso em: 15 dez 2022.
- [13] PUTTY. Disponível em: <https://www.putty.org/>. Acesso em: 19 jun. 2022.