

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS GUARAPUAVA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

JULIO CESAR KOHUT

**MONITORAMENTO INTELIGENTE DO FLUXO DE AR EM
MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA**

**GUARAPUAVA
2018**

JULIO CESAR KOHUT

**MONITORAMENTO INTELIGENTE DO FLUXO DE AR EM
MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez
Coorientador: Prof. Msc. Hermano Pereira

GUARAPUAVA
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

MONITORAMENTO INTELIGENTE DO FLUXO DE AR EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

JULIO CESAR KOHUT

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data 03 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

David Lira Nuñez
Prof. Orientador

Hermano Pereira
Membro Da Banca

Marcelo Henrique Granza
Membro Da Banca

Aldo Przybysz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Julio Cesar Kohut

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

KOHUT, Julio Cesar **Monitoramento Inteligente do Fluxo de Ar em Motores a Combustão Interna**. 2017. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação de Engenharia Mecânica (COEME), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

RESUMO

Os recentes avanços na manufatura inteligente abrem oportunidades na área automotiva, onde existe a perspectiva de desenvolvimento de aplicações mais complexas e inteligentes que é tangível por meio da Internet das Coisas (IoT), permitindo transformar dados em informações que, por sua vez, possibilita melhorar a assertividade na tomada de decisões através de um monitoramento inteligente nos parâmetros das máquinas. O presente trabalho mostra uma perspectiva de integração da IoT em motores a combustão interna, com foco no monitoramento inteligente do sensor de massa de ar para identificar falhas mecânicas.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Sensor MAF. M2M. Sensor de Massa de Ar.

KOHUT, Julio Cesar **Intelligent Air Flow Monitoring In Internal Combustion Engines.** 2017. 20 f. Course final Project – Graduate School of Mechanical Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Guarapuava. 2017.

ABSTRACT

Recent advances in smart manufacturing open up opportunities in automotive sector. There is a perspective of smart application development, more complex and intelligent, that is tangible using Internet of Things (IoT), making possible build information and take better decisions, by means of intelligent monitoring parameters with collaborative contribution of sensors. This paper, show the perspectives of integration between IoT and internal combustion engines, with focus in intelligent monitoring of intake mass air flow sensor to identify mechanical failures.

Keywords: Internet of Things. Sensor MAF. M2M. Mass Air Flow Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Componentes IoT.....	1
Figura 2 - Tecnologias subjacentes que apoiam a Indústria 4.0.....	3
Figura 3 - Processo de Gerenciamento de Dados em Veículos.....	8
Figura 4 - Diagrama sensor de fluxo de ar Vane.....	9
Figura 5 - Localização do sensor MAF.....	10
Figura 6 - Representação de operação MAF sensor.....	11
Figura 7 - Diagrama elétrico de operação sensor MAF.....	12
Figura 8 - Ponte de Wheatstone.....	12
Figura 9 - Modos de Comunicação.....	17
Figura 10 - Modelo de Conectividade de Objetos Inteligentes.....	18
Figura 11 – Comunicação MQTT.....	18
Figura 12 - Motor MR18DE.....	20
Figura 13 – Disposição dos componentes no motor MR18DE.....	21
Figura 14 – Foto real do motor MR18DE utilizado para o estudo de caso.....	22
Figura 15 – Visão explodida dos componentes da admissão motor MR18DE.....	22
Figura 16 –Fiação do conector sensor MAF.....	23
Figura 17 –Sensor MAF.....	23
Figura 18 –Módulo ESP8266 NodeMCU.....	24
Figura 19 – Cálculo dos resistores para o divisor de tensão.....	25
Figura 20 – Simulação do circuito inicial.....	26
Figura 21 – Simulação do circuito definitivo.....	27
Figura 22 – Circuito de teste planejado em ambiente virtual.....	27
Figura 23 – Circuito de teste montado em protoboard.....	28
Figura 24 – Influência do método de ligação na leitura do sensor.....	28
Figura 25 – Placa de circuito impresso definitiva.....	29
Figura 26 – Correlação da leitura NodeMCU.....	30
Figura 27 – Configuração da IDE do arduino.....	31
Figura 28 – Instalação de pacote do ESP8266 NodeMCU na IDE do Arduino.....	32
Figura 29 – Seleção da placa NodeMCU na IDE do Arduino.....	32
Figura 30 – Diagrama de comunicação MQTT.....	33
Figura 31 – Fluxograma de comunicação.....	34
Figura 32 – Prompt de comando executando <i>Node Red</i> e <i>Mosquitto Broker</i>	34
Figura 33 – Fluxo programação gráfica Node-Red.....	35
Figura 34 – Código de conversão leitura analógica.....	35
Figura 35 – Cálculo da tensão do sensor MAF através da medição no divisor resistivo.....	36
Figura 36 – Fluxo programação gráfica Node-Red.....	36
Figura 37 – Registro dos dados coletados e formatados.....	37
Figura 38 – Condição associada a leitura em volts do sensor MAF.....	37
Figura 39 – Resposta linear ao aumento da rotação do motor.....	38
Figura 40 – Dashboard recebendo dados em tempo real.....	39
Figura 41 – Análise da faixa de operação com dados da Figura 40 – motor aquecido em lenta.....	40
Figura 42 – Aumento da rotação e observação da resposta linear no sensor MAF.....	40
Figura 43 – Funcionamento global iniciando com o veículo desligado.....	42
Figura 44 – Operação do sistema de injeção em <i>closed loop</i>	43
Figura 45 – Resultado da obstrução e remoção de componentes do sistema de admissão.....	44
Figura 46 – Resultado da remoção da tampa da caixa porta filtro.....	45

Figura 47 – Resultado da remoção da tampa da caixa porta filtro análise com Excel	46
Figura 48 –Análise com Excel do trecho de operação em lenta com acionamento do eletroventilador	46
Figura 49 – Resultado da remoção do elemento filtrante	47
Figura 50 – Resultado da remoção do elemento filtrante analisado no Excel.....	48
Figura 51 – Resultado da desconexão e remoção da mangueira	49
Figura 52 – Análise do resultado da desconexão parcial da mangueira.....	50
Figura 53 – Análise do resultado da desconexão completa da mangueira.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT - Internet of Things

TSCH - Time-Slotted Channel Hopping

RFID - Radio-Frequency Identification

CPS - Sistemas Ciber-físicos

AI - Inteligência Artificial

IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

MQTT - Message Queuing Telemetry Transport

ECU - Engine Control Unit

M2M - Machine to Machine

TSCH - Time Slotted Channel Hopping

VAF - Vane Air Flow

MAF - Mass Air Flow

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

IPv4 - Internet Protocol version 4

IPv6 - Internet Protocol version 6

6LoWPAN - IPv6 in Low-Power Wireless Personal Area Networks Working Group

RPL - IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks

PTC - Positive Temperature Coefficient

CAN - Controller Area Network

IDE - Integrated Development Environment

USB - Universal Serial Bus

TTL - Transistor-Transistor Logic

η_v - Eficiência volumétrica

N_i - Potência indicada

W – Trabalho

n - rotação do motor

z - número de cilindros

x – variável (assume valor 2 para motores 4T e 1 para motores 2T).

N_e - Potência efetiva

ω - Velocidade angular

T - Torque

\dot{m}_a - Vazão mássica de ar

ρ - Massa específica do ar atmosférico

V - Cilindrada do motor

η_e - Eficiência térmica efetiva

\dot{Q} – Taxa de transferência de calor

PCI- Poder calorífico inferior

ADC - Analog to Digital Converter

CSV - Comma-separated values

RPM – Rotações por minuto

SUMÁRIO

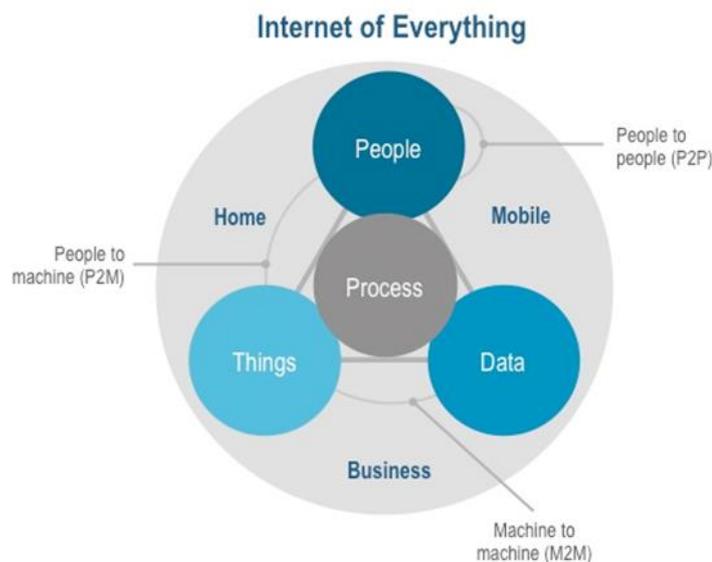
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA.....	4
1.2	OBJETIVOS	5
1.2.1	Objetivo Geral	5
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
2.1	MONITORAMENTO DE DADOS DE ENTRADA EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA	7
2.2	SENSOR DE FLUXO DE AR VANE.....	9
2.3	SENSOR DE FLUXO DE MASSA DE AR MAF.....	10
2.4	CONSIDERAÇÕES E EQUAÇÕES RELEVANTES.....	13
2.5	INTERCONEXÃO DE OBJETOS E COMUNICAÇÃO M2M	15
2.6	PROTOCOLO IPV6 E A INTERNET DAS COISAS	16
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	20
4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	25
4.1	ESTRUTURA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	25
4.2	CONFIGURAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DO MÓDULO	31
4.3	PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR MR18DE	37
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES.....	57
	APÊNDICE A - Código Programado no módulo ESP8266 NodeMCU.....	58

1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT - do inglês *Internet of Things*) tem como uma das suas funções a aquisição, transmissão e processamento de dados por meio do sensoriamento, a fim de obter informação relevante para tomada de decisões. No âmbito histórico é definido como sendo a nova onda na evolução da tecnologia de informação e comunicação, e considerada a principal aplicabilidade para a denominada quarta revolução industrial (DOU; NAN, 2017)

Existem várias definições de IoT e uma delas define como uma rede que interliga pessoas, dados, coisas e processos como ilustrado na Figura 1 (BIN ARIS; SAHBUSDIN; AMIN, 2015).

Figura 1 - Diagrama Componentes IoT



Fonte: (EVANS, 2012)

Sistemas modernos de manufatura dependem de informações avançadas e com o uso da tecnologia IoT é possível controlar e monitorar linhas de produção de forma inteligente (DOU; NAN, 2017).

Após definir o objeto de estudo como, por exemplo, o monitoramento dos parâmetros de funcionamento de uma máquina ou processo, pode-se utilizar a interligação de sensores combinando dados, após o processamento, o resultado é a informação de funcionamento global. A efetividade do resultado com uma interligação de sensores IoT depende da rede de comunicação e da cobertura que é garantida através da implementação de sensores em todos os

pontos importantes do objeto de estudo e de forma que possibilite a comunicação de todos os sensores entre eles, pois a informação é construída com dados de cada sensor de forma colaborativa e dependendo do arranjo físico a informação pode não alcançar a excelência desejada devido a falhas de comunicação (DOU; NAN, 2017)

A rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos é o que chamamos de Internet das Coisas. Isso implica uma infraestrutura de rede que interliga objetos físicos e virtuais gerando um grande volume e processamento de dados que desencadeiam ações de comando e controle das coisas. (“Indústria 4.0: Internet das coisas | Firjan”, 2016, p. 6).

Por ser uma tecnologia em ascensão a padronização da instalação ainda não está definida, estudos mostram que a disposição dos sensores afeta a cobertura, o número de sensores e a energia consumida, fato importante, visto que sensores são limitados com relação a fonte de energia.

Pesquisas mostram-se promissoras com relação a configuração otimizada do sensor e o aumento da vida útil das baterias, atingindo a marca de 11 anos em um estudo de caso com a plataforma I3Mote alimentado por duas baterias AAA. A implementação de protocolos como TSCH (do inglês - *Time-Slotted Channel Hopping*), teve por consequência a redução pela metade no consumo de corrente do sensor (LU et al., 2017).

Dentro do conceito de IoT, a Indústria 4.0 é uma tendência tecnológica, que surgiu na Alemanha com o objetivo de digitalizar a manufatura, gerando maior produtividade e competitividade no cenário internacional através de fábricas inteligentes (denominada no inglês de *smart-manufacturing* ou *smart factory*). A Indústria 4.0 já é aceita em vários países como a quarta revolução industrial, e é marcada pela era da informação digital que possibilita a tomada de decisões autônomas com base no elevado volume de dados (*Big Data*) (“Indústria 4.0: Internet das coisas | Firjan”, 2016).

Para concretização da Indústria 4.0 é necessária a interligação de sistemas físicos, virtuais com apoio de robôs, manufatura avançada, *Big Data*, realidade aumentada, realidade virtual, robótica colaborativa, tecnologia RFID, e a IoT (NUÑEZ; BORSATO, 2017) (FIRJAN, 2016).

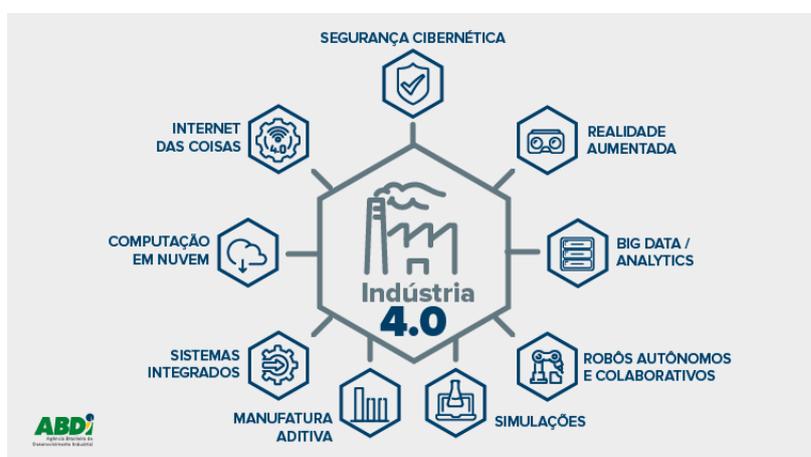
A indústria 4.0 envolve o aumento da informatização na indústria de transformação, com máquinas e equipamentos totalmente integrados em redes de internet (ROTTA, 2017).

“...o caráter disruptivo que a Indústria 4.0 traz é, sobretudo, fruto da articulação e convergência dessas tecnologias, tais como Sistemas Ciber-físicos

(CPS), Internet das Coisas (IoT), Manufatura Aditiva (impressão 3D), Big Data, Computação em Nuvem, Robótica Avançada, Inteligência Artificial (AI), Realidade Virtual e Aumentada, novos materiais etc. (IEDI, 2018, p. 16)”

Segundo o Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial – IEDI as tecnologias subjacentes que dão suporte a Indústria 4.0 encontram-se em diferentes estados de desenvolvimento e são mostradas na Figura 2.

Figura 2 - Tecnologias subjacentes que apoiam a Indústria 4.0



Fonte: (ROTTA, 2017)

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI esta mudança consolida uma transformação industrial profunda, por sua vez, relacionada aos impactos no aumento de produtividade, customização da produção, redução custos energéticos e de manutenção.

Aplicações industriais promissoras estão na prevenção de acidentes, otimização de processos de produção, manutenção e estoque. Os benefícios são mensurados como custo evitado que pode chegar a 3,7 trilhões de dólares ao ano em 2025 (“Indústria 4.0: Internet das coisas | Firjan”, 2016).

O futuro da Internet também é promissor para o ramo automotivo, em um primeiro momento em aplicações consideradas não críticas em segurança, exemplos mais claros estão nos setores de logística e transporte de mercadorias, implementando sensores inteligentes para autorização e autenticação em veículos, cálculo de peso transportado em fretes, faturamento inteligente, rastreamento e processos de garantia de qualidade. O cuidado em utilizar esta tecnologia em aplicações que não sejam críticas em segurança, deve-se a preocupação com o nível de segurança de redes de transmissão de dados e com a latência na transmissão, como no

caso de acionamento de air-bags onde o tempo de resposta é crítico para o correto funcionamento (CARIGNANI et al., 2015).

A integração da IoT com a tecnologia atual de comunicação padronizada em veículos pode possibilitar a abertura para o surgimento de aplicações mais inteligentes e complexas (CARIGNANI et al., 2015).

Para todos os tipos de motores é válido que o correto funcionamento com relação ao comportamento termodinâmico e mecânico, resulta em custo de operação reduzido e uma elevada e confiável durabilidade do motor. Assim sendo, é importante monitorar não somente o motor, mas, também seus subsistemas. O monitoramento permanente e contínuo com rápida análise de dados por meio de algoritmos de diagnóstico de falhas que resultam em uma informação primordial para o funcionamento adequado do motor e seus subsistemas. Para tal, interfaces gráficas simples permitem a fácil comunicação com o operador (STRASSER; TEICHMANN; PFISTER, 2012).

Neste sentido o presente trabalho pretende propor a integração da IoT com o monitoramento inteligente de parâmetros de funcionamento em motores a combustão interna, com foco no sensor de massa de ar, que é de fundamental relevância para o funcionamento eficiente do motor.

1.1 JUSTIFICATIVA

O futuro da Internet mostra-se promissor para o ramo automotivo e com a obtenção de dados em tempo real e por meio de uma análise precisa de um ou mais sensores pode-se melhorar a qualidade da informação e possibilitar a tomada de decisões com melhor precisão, provocando a otimização do funcionamento de equipamentos, processos entre outras aplicações. Com a implementação de um sistema que possibilite a tomada de decisões de maneira autônoma juntamente com a interconexão dos sensores é possível obter uma aprendizagem contínua e de forma integrada. Fato que vem de encontro a crescente utilização da comunicação entre máquinas (M2M – do inglês *Machine-to-Machine*), onde sensores por meio da IoT, possibilitam a comunicação e tomada de decisões com base em diferentes parâmetros, podendo melhorar a assertividade nas ações tomadas, melhorando o funcionamento, gerenciamento e armazenamento de dados para entrega de informações cada vez mais precisas, alavancando assim soluções de computação para oportunidades de pesquisa na área de engenharia mecânica (LIRA NUÑEZ D.; BORSATO M., 2016).

“As principais potências industriais do mundo movimentam-se com rapidez em direção à Indústria 4.0, lançando mão de programas de política industrial e inovação em apoio ao desenvolvimento das tecnologias subjacentes e de sua difusão na estrutura industrial. Foi lançada, assim, uma corrida internacional em direção à indústria do futuro, com potencial de redefinir as posições de liderança no setor (IEDI, 2018 p.16)”

Com a migração da indústria para o conceito 4.0 é estimado que a redução anual nos custos seja de 73 bilhões/ano. Relacionadas a economia de energia (7 bilhões/ano), redução do custo de manutenção de máquinas (31 bilhões/ano) e ganho de eficiência (34 bilhões/ano) (ROTTA, 2017).

1.2 OBJETIVOS

Para melhor elucidar o trabalho abaixo será apresetado o objetivo geral bem como os objetivos específicos.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é propor uma abordagem inteligente, no contexto de Indústria 4.0, proporcionando o monitoramento em tempo real e via Internet, da condição de funcionamento de um motor a combustão interna através da coleta e transmissão de dados de sensores embarcados em veículos, utilizando protocolos de comunicação M2M.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os seguintes objetivos específicos direcionam o presente trabalho a alcançar o objetivo geral:

- Apresentar as vantagens do uso da IoT para o tráfego de dados cada vez mais rápido, segura e ubíqual, possibilitando a tomada de decisões cada vez mais eficazes;
- Analisar dados de um sensor de ar, segundo normas relacionadas, para delimitar fronteiras nominais e anormais para a correta tomada de decisões;

- Proporcionar a comunicação do sensor de massa de ar segundo o protocolo MQTT – (do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*) adotado para a IoT;
- Analisar os impactos do gerenciamento dos dados coletados de maneira inteligente no funcionamento do motor a combustão interna;
- Avaliar a aplicabilidade da proposta com um estudo de caso real.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo 1, encontra-se a introdução que aborda o estado da arte do tema de interesse para o desenvolvimento do trabalho, começando com uma descrição dos aspectos mais relevantes de IoT e Indústria 4.0 nos sistemas mecânicos, além de apresentar a justificativa e objetivos do trabalho. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para entender a proposta de solução do problema (oportunidade de pesquisa), começando pela definição do modelo convencional de monitoramento, gerenciamento e tomada de decisões utilizado em motores a combustão interna. Finalmente, a apresentação da IoT em um contexto geral com perspectivas de empregabilidade em diversos setores. O capítulo 3 detalha o método adotado para coleta de dados usados no presente trabalho. No capítulo 4 apresenta-se a análise e discussão dos principais resultados obtidos. E por último, no capítulo 5 chega-se as principais conclusões e recomendações de futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O principal intuito deste capítulo é subsidiar o entendimento do objetivo da pesquisa e assim entender os resultados entregues, dessa forma, ele foi dividido em seis subseções. A subseção 2.1 traz uma síntese do referencial teórico sobre o método de monitoramento, gerenciamento e tomada de decisões no modelo convencional utilizado em motores a combustão interna.

2.1 MONITORAMENTO DE DADOS DE ENTRADA EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

A função de motores a combustão interna é converter a energia química liberada com a queima do combustível, dentro do motor, em energia mecânica (HEYWOOD, 1988).

Uma outra definição aponta que motor térmico é uma máquina que produz trabalho a partir da energia química de um combustível utilizando-se da energia térmica proveniente da ignição do combustível que, por sua vez, é transformada em energia mecânica (GANESAN, 2012)

Para garantir o desempenho eficiente de motores é necessário monitorar parâmetros de operação como temperatura de entrada de ar, densidade, pressão, massa de ar admitida, dentre outros. Para cada conjunto de parâmetros existe uma quantidade específica de combustível que deve ser injetada no cilindro para garantir a queima completa obtendo a máxima eficiência, diminuindo a possibilidade de sobrar combustível não vaporizado ou hidrocarbonetos não queimados (HATCH, 2016).

Para o monitoramento dos parâmetros importantes são utilizados sensores que operam de maneira análoga aos nossos cinco sentidos, por exemplo, o sentido do tato permite sentir se um objeto está quente ou frio, bem como, o sensor de temperatura permite que a unidade de controle do veículo conheça a temperatura do ar admitido para o motor. Assim, estes dados podem ser obtidos pelos sensores embarcados em veículos a combustão interna podendo ser gerenciados pela unidade de controle do motor (do inglês *Engine Control Unit* - ECU) (TOYOTA MOTOR, 2001).

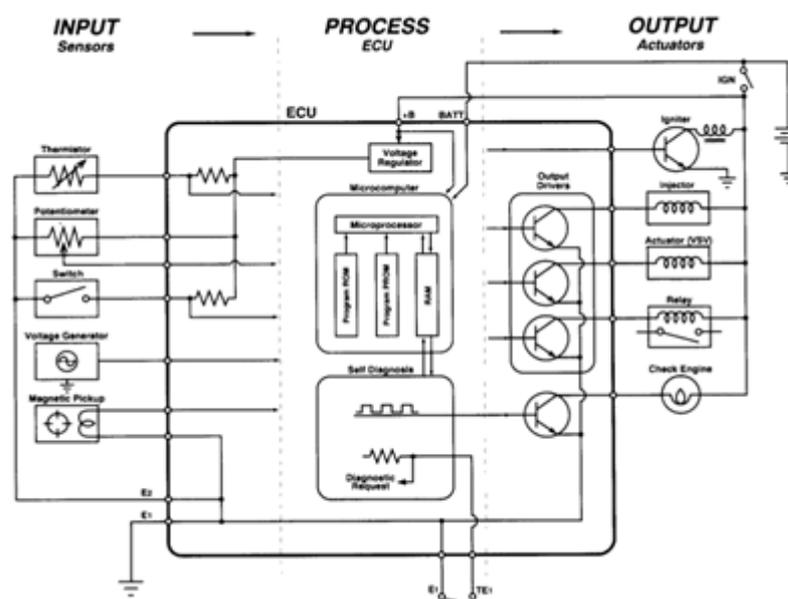
Na comunicação da ECU é empregado o protocolo *Controller Area Network* – CAN, que é definido como um protocolo de comunicação serial síncrono que trabalha com mensagens do tipo *multicast*, onde os dados enviados por um sensor são encaminhados para todos os nós da rede, o receptor identifica que é o respectivo destinatário através da leitura de um

identificador no cabeçalho de cada mensagem enviada. As transmissões são gerenciadas através de prioridade onde emissores de menor prioridade cessarão a transmissão caso uma mensagem de maior prioridade seja enviada. O protocolo permite velocidade de transmissão de no máximo um megabit por segundo (GUIMARÃES; SARAIVA, 2002).

O protocolo CAN foi desenvolvido para indústria automotiva, com o objetivo de ser imune a interferências elétricas, possuir capacidade de auto-diagnóstico, realizar o controle de erros em dados e reduzir os complexos sistemas de fiação para transmissão de dados. Este protocolo transmite no máximo 8 bytes de dados úteis por mensagem, e é padronizado pela norma ISO-11898-1:-2015 e ISO 11898-2:2016 (CORRIGAN, 2008).

O processo de monitoramento e gerenciamento destes dados em um veículo pode ser realizado conforme apresentado na Figura 3. A etapa inicial ocorre com a aquisição de dados por meio do monitoramento de dispositivos de entrada, que são os sensores como termistores, potenciômetros, interruptores, geradores de tensão e sensores magnéticos.

Figura 3 - Processo de Gerenciamento de Dados em Veículos



Fonte: (TOYOTA MOTOR, 2001)

Na segunda fase o sinal de entrada é direcionado e processado pela ECU que gerencia os dados, compara com informações guardadas na memória interna e obtém informação de funcionamento. O objetivo dessa análise é determinar a decisão a ser tomada.

A terceira fase é a saída referente a decisão tomada na etapa anterior com o controle dos atuadores como injetores, relés e lâmpadas de diagnóstico, buscando a adequação do funcionamento de modo cíclico.

O ponto mais importante deste processo é o microcomputador que tem a capacidade de receber dados, processar e tomar decisões com base em instruções de programação previamente definidos em sua memória. Quanto maior a velocidade de processamento de dados, maior a capacidade para ampliação dos parâmetros gerenciados pela unidade de controle (TOYOTA MOTOR, 2001).

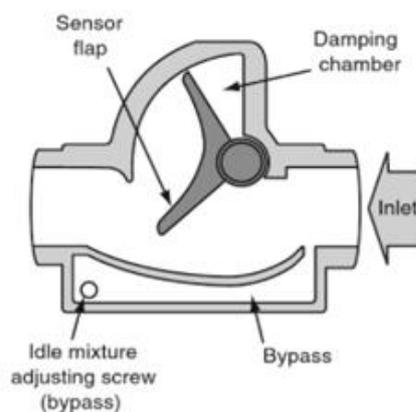
Nas sessões 2.2 e 2.3 serão apresentados dois tipos de sensores de fluxo de ar utilizados em motores a combustão interna, onde o objeto de estudo foi o sensor de fluxo de ar detalhado na sessão 2.3 (sensor MAF), pois este é empregado no motor estudado neste trabalho.

2.2 SENSOR DE FLUXO DE AR VANE

O sensor de fluxo de ar Vane (VAF - do inglês *Vane Airflow*) consiste em um instrumento fixado na tubulação de entrada de ar, que por meio de um potenciômetro converte o movimento mecânico de abertura do mecanismo de fechamento denominado “flap” apresentado na (HATCH, 2016)

Figura 4, tensionado por uma mola em um sinal de tensão variável (HATCH, 2016)

Figura 4 - Diagrama sensor de fluxo de ar Vane



Fonte: HATCH (2016 p.96)

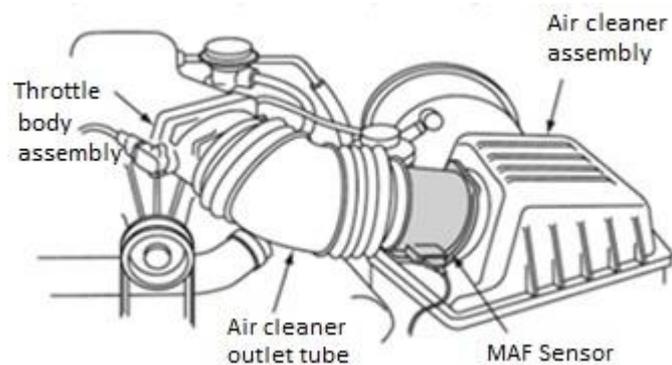
Com o fluxo de ar ocorre a abertura proporcional ao deslocamento de massa de ar que entra para o cilindro do motor. Geralmente este tipo de sensor acompanha um termistor, que é um dispositivo elétrico que como característica apresenta alteração de sua resistência elétrica

com a variação de temperatura, portanto utilizado para obter a temperatura de admissão do ar (HATCH, 2016).

2.3 SENSOR DE FLUXO DE MASSA DE AR MAF

Sensor de fluxo de massa de ar de fio quente ou filme quente (MAF - do inglês *Hot-Wire or Hot-Film Mass Air Flow*) consiste em um instrumento instalado na tubulação de entrada de ar entre o filtro de ar e o corpo de aceleração (em inglês *throttle body*), portanto, todo o ar que é admitido para o motor deve passar pelo sensor MAF.

Figura 5 - Localização do sensor MAF

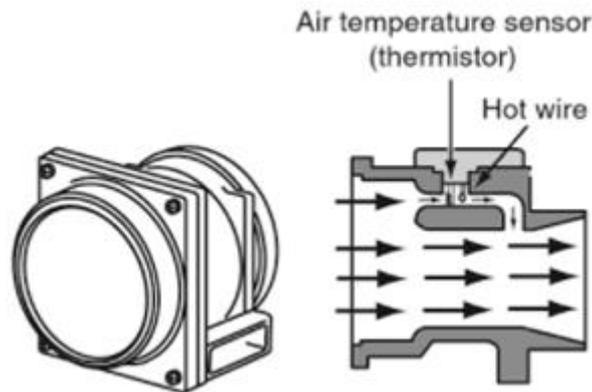


Fonte: Adaptado de (HATCH, 2016, p. 98)

Na Figura 5, é exibido o posicionamento convencional do sensor MAF em relação a distribuição de componentes do motor, entre o filtro de ar e o corpo de aceleração (HATCH, 2016).

O sensor MAF utiliza-se de um termistor para obter a temperatura ambiente e através desta leitura, por meio de seus controladores mantém o fio aquecido a uma temperatura fixada mais elevada que a condição ambiente, portanto o fio aquecido é mantido entre 100° a 200°C acima da temperatura ambiente (MTE THOMSON, 2015).

Figura 6 - Representação de operação MAF sensor



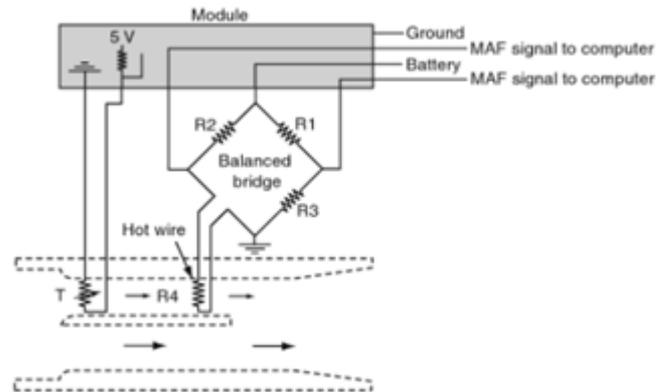
Fonte:(HATCH, 2016, p. 98)

Conforme ilustrado na Figura 6, com o deslocamento do ar para o cilindro passando pelo sensor ocorre o resfriamento do fio quente, que resulta na redução da resistência elétrica proporcional ao deslocamento da massa de ar. A redução da resistência ocorre devido ao fio quente ser na verdade um termistor do tipo PTC (do inglês *Positive Temperature Coefficient*), onde a temperatura é diretamente proporcional à resistência elétrica, quando a temperatura é reduzida, a resistência elétrica também reduz (HATCH, 2016). Os sensores do tipo *hot-wire* são sensores analógicos (variação de tensão) e os sensores do tipo *hot-film* são sensores digitais (variação de frequência de ondas quadradas).

O sensor MAF é uma forma de medição muito utilizada, pois apresenta baixíssima restrição ou interferência no fluxo de ar, visto que, o volume de ar deslocado na região de medição proporcional ao do restante do sensor, não requer correções por variação de altitude ou temperatura e não possui partes móveis (MTE THOMSON, 2015).

A seguir, na Figura 7, é mostrado que na verdade o sensor do tipo *hot-wire* consiste em um circuito composto por uma associação de resistores, onde R1 e R3 possuem valor constante e formam um circuito em série, que por sua vez, está em paralelo com R2 e R4 também em série, onde R1 e R2 possuem a mesma resistência (HATCH, 2016).

Figura 7 - Diagrama elétrico de operação sensor MAF



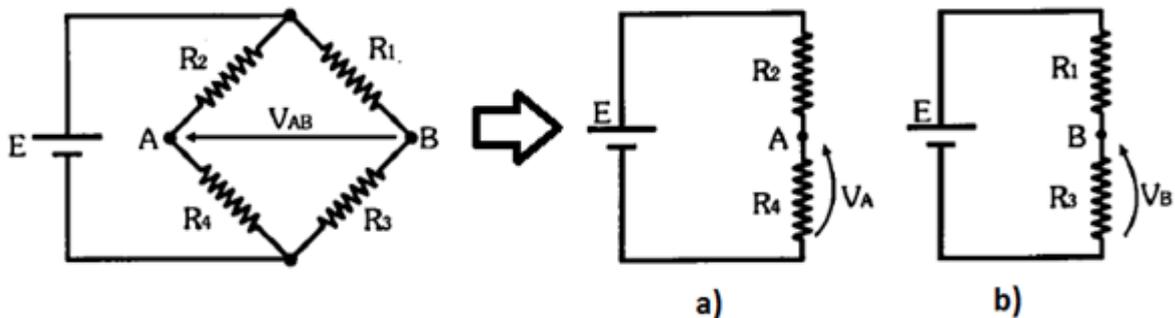
Fonte:(HATCH, 2016, p. 99)

Quando não há fluxo de ar a resistência de R_4 é a mesma de R_3 então na junção R_2/R_4 e R_3/R_1 que são os pontos de medida do sensor MAF teremos a mesma medida de tensão elétrica (HATCH, 2016)

Este circuito é muito utilizado para instrumentação eletrônica e é denominado ponte de *Wheatstone*. Para obter os valores de tensão elétrica nos pontos de interesse que são “A” e “B” podemos desmembrar o circuito submetido a uma tensão “E”, e com resistências elétricas “ R_1 ”, “ R_2 ”, “ R_3 ” e “ R_4 ” em duas partes (a) e (b) conforme ilustrado na (MARKUS, 2011)

Figura 8 (MARKUS, 2011)

Figura 8 - Ponte de Wheatstone



Fonte: Adaptado de (MARKUS, 2011, p. 54)

Com a análise do circuito será demonstrado analiticamente a obtenção dos valores de tensão nos pontos A e B, exibidos nas Equações (1) e (2).

A Equação (1), representa a tensão elétrica no ponto A.

$$E_A = R_4 \cdot i_A = R_4 \cdot \frac{E}{R_2 + R_4} \quad (1)$$

A Equação (2), representa a tensão elétrica no ponto B.

$$E_B = R_3 \cdot i_B = R_3 \cdot \frac{E}{R_1 + R_3} \quad (2)$$

Subtraindo a tensão no ponto B com a tensão do ponto A, obtém-se a Equação (3).

$$E_B - E_A = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \cdot E \quad (3)$$

Como $R_1 = R_2$, substituindo R_2 por R_1 obtém-se a Equação (4).

$$E_B - E_A = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_1 + R_4} \right) \cdot E \quad (4)$$

A Equação (4), confirma que quando R_4 for igual a R_3 a ponte estará em equilíbrio e, portanto, não haverá diferença de potencial entre o ponto A e B.

A unidade de controle (ECU) lê a diferença de tensão entre os pontos A e B que é representada pela Equação (4), compara com dados tabelados em sua memória e obtém a medida de massa de ar admitida pelo motor, utiliza-se deste dado em conjunto com os dados dos demais sensores instalados nos veículos para calcular a quantidade de combustível a ser injetada no cilindro. O sensor MAF não faz a leitura direta de umidade, pressão ou densidade, porém é capaz de medir seus efeitos na massa de ar admitida independente da variação destes parâmetros (HATCH, 2016).

2.4 CONSIDERAÇÕES E EQUAÇÕES RELEVANTES

O sistema de admissão de motores com ignição por centelha é composto tipicamente pelo filtro ar, corpo de aceleração, coletor, além dos condutos, mangueiras e alojamentos para alguns destes componentes. Durante o processo de admissão de ar, perdas de pressão ocorrem ao atravessar cada um destes componentes. A perda de pressão no sistema de admissão depende

da rotação do motor, resistência ao escoamento, da área da seção transversal em que ocorre o escoamento e da densidade de carga (HEYWOOD, 1988).

As vantagens do sistema de medição do fluxo de massa de ar consistem na compensação de tolerâncias, contabilização da contrapressão do sistema de exaustão, menor enriquecimento da mistura, funcionamento estável em lenta, entre outros (HEYWOOD, 1988).

A eficiência volumétrica (η_v) é usada como uma medida da efetividade do motor de quatro tempos e seu sistema de admissão e escape atuarem como um dispositivo de bombeamento de ar (HEYWOOD, 1988).

Segundo outro autor temos a definição: “Eficiência volumétrica é a relação entre a massa de ar realmente admitida no motor e a massa de ar que poderia preencher o mesmo volume com propriedades iguais da atmosfera local onde o motor funciona” (BRUNETTI, 2012, p. 186).

A potência indicada (N_i), consiste na potência do ciclo termodinâmico que é calculada multiplicando o trabalho (W) pela frequência em que ocorre, conforme Equação (5).

$$N_i = W \frac{n}{x} z \quad (5)$$

Onde n é a rotação do motor, z é o número de cilindros e a variável x tem valor igual a 2 para motores quatro tempos e valor 1 para motores dois tempos.

$$N_e = \omega T \quad (6)$$

A potência efetiva (N_e) é medida no eixo do motor e calculada através da multiplicação da velocidade angular (ω) pelo torque (T), conforme Equação (6).

Observa-se a proporcionalidade entre o consumo de ar (\dot{m}_a) e a potência efetiva (N_e) do motor, o que torna o fator extremamente importante para o estudo da admissão de ar (BRUNETTI, 2012, p. 185,186).

$$\dot{m}_a = \frac{\rho V n}{x} \quad (7)$$

Com a Equação (8) podemos calcular a massa de ar admitida, onde que ρ é a massa específica do ar atmosférico local, V é a cilindrada do motor, n é a rotação e a variável x tem valor igual a 2 para motores quatro tempos e valor 1 para motores dois tempos.

Os sinais primários para ECU consistem no fluxo de ar e rotação do motor, onde a duração do pulso do bico injetor de combustível é inversamente proporcional a rotação e diretamente proporcional ao fluxo de ar (HEYWOOD, 1988, p. 297)

A eficiência térmica efetiva (η_e) é dada pela Equação (8).

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{Q}} = \frac{N_e}{\dot{m} PCI} \quad (8)$$

Onde (PCI) corresponde ao poder calorífico inferior do combustível utilizado.

2.5 INTERCONEXÃO DE OBJETOS E COMUNICAÇÃO M2M

A capacidade de qualquer tipo de objeto estabelecer conexão com a Internet e se interconectar com outros objetos com a mesma característica, possibilita a troca de informações com potencial sem precedentes que é chamada de IoT. Com o desenvolvimento de tecnologias integradas, a miniaturização de componentes eletrônicos e o melhoramento das baterias, possibilita que objetos tenham a capacidade de monitorar o ambiente, coletar dados ao seu redor e executar aplicações inteligentes. Com implementação da IoT estes objetos podem se conectar e trocar informações entre eles. A comunicação máquina para máquina M2M configura uma parte importante da IoT, que é caracterizada pela troca de dados entre dois ou mais elementos ou máquinas, sem necessariamente haver uma intervenção humana (LAYA et al., 2015).

A perspectiva é que o conceito de Internet e infraestrutura de rede, destinada ao usuário final seja alterada devido a ascensão de objetos inteligentes que permitem a interconexão entre o domínio físico e virtual. O termo IoT é usado para definir a interconexão de objetos inteligentes por meio da extensão da Internet, bem como, os meios necessários para que essa visão se torne real, como sensores, atuadores, dispositivos de comunicação, etiquetas RFID e também o conjunto de aplicativos e serviços alavancados por esta nova tecnologia M2M (BEEVI, 2016).

Com o aumento de dispositivos conectados será necessário o desenvolvimento de controles de sobrecarga e congestionamento da rede, bem como, controle de qualidade do

serviço. Para garantir a operação por longo tempo sem intervenção humana, faz-se necessária a implementação de protocolos de comunicação eficientes (LAYA et al., 2015).

O Instituto de Padronização de Telecomunicações Europeu (ETSI - do inglês *European Telecommunications Standards Institute*), buscou identificar os requisitos para implementação de comunicação M2M e impulsionar a sua padronização (LAYA et al., 2015).

Além disso, com a implementação da IoT as cidades modernas e inteligentes podem utilizar-se da interconexão de todos os seus componentes (sistema iluminação, transporte, distribuição de água, entre outros) conectados em função do bem-estar dos seres humanos, garantindo uma evolução gradativa com eventual redução do impacto ambiental. Em aplicações em casas inteligentes os efeitos esperados são de acompanhamento do envelhecimento gradual da população, garantindo independência de idosos promovendo economia com custos de acompanhamento por instituições de saúde e cuidados com idosos, aumentando a qualidade de vida das pessoas (ETSI, 2016, p. 14).

Para o setor de mobilidade é vislumbrada a utilização em carros autônomos, conexão entre veículos, infraestrutura de transporte inteligente abrangendo desde estradas até o transporte marítimo e estacionamentos. Industrias inteligentes com incorporação massiva de novas tecnologias para alavancar a competitividade, por meio da utilização de objetos interconectados promovendo monitoramento e controle de sensores, energia, gerenciamento de materiais, utilizando redes com e sem fio (ETSI, 2016).

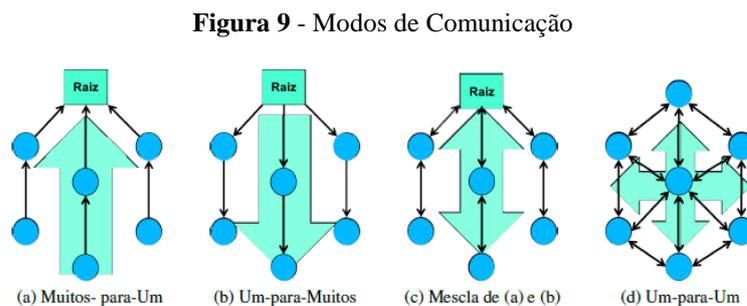
Existem perspectivas para o monitoramento e controle ambiental inteligente com utilização de sensores para monitoramento do ar, condições atmosféricas, poluição sonora, qualidade e quantidade de água e gerenciamento deste recurso. A tecnologia IoT irá melhorar e otimizar também a cadeia alimentícia, com fazendas inteligentes e segurança em qualidade de alimentos, ramo de moda com roupas e acessórios inteligentes (ETSI, 2016).

2.6 PROTOCOLO IPV6 E A INTERNET DAS COISAS

Como visto na seção anterior, o crescimento de aparelhos conectados a Internet leva a necessidade da implementação de protocolos como o IPv6, que possibilita um maior número de dispositivos endereçáveis, fato necessário para a escalabilidade da implementação da IoT. A perspectiva é que com o crescimento do número de aparelhos conectados o protocolo IPv4 se esgote (SANTOS et al., 2016).

Para possibilitar a comunicação de dispositivos que se utilizam de rádio frequência e com baixo poder computacional por meio do protocolo IPv6, foi desenvolvido o 6LoWPAN (*IPv6 in Low-Power Wireless Personal Area Networks Working Group*), que especifica regras para camada física e enlace para redes pessoais de baixa potência de transmissão, desenvolvido para o padrão IEEE 802.15.4 que é um padrão que define o nível físico e o controle de acesso de redes sem fio de uma área pessoal com baixas taxas de transmissão de dados, devido a necessidade de realizar a compressão de pacotes, para possibilitar a implementação do protocolo IPv6 nestes dispositivos (SANTOS et al., 2016).

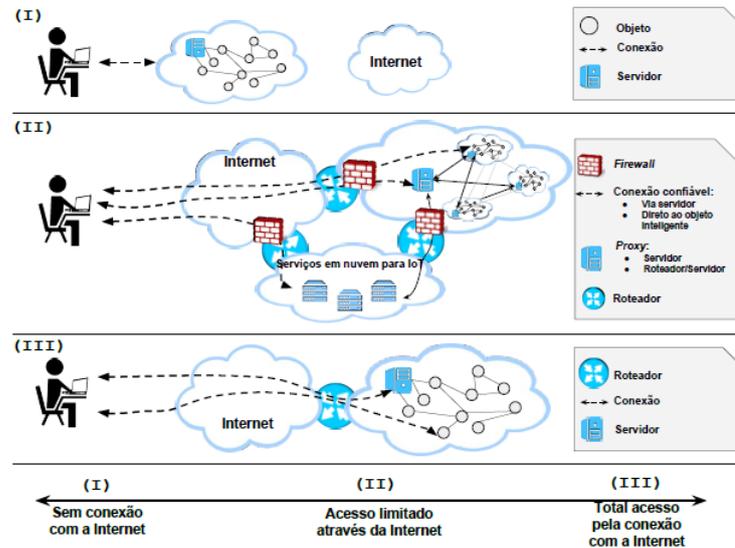
Na Figura 9, é exibido os modos de comunicação, em (a) temos uma árvore onde os dados são coletados pela raiz, sem rota reversa de comunicação. O arranjo (b) é definido pela disseminação de dados, geralmente com o objetivo de reconfigurar parâmetros dos dispositivos (SANTOS, 2016).



Fonte: (SANTOS et al., 2016)

No item (c) da Figura 9, temos uma configuração conjunta dos modos (a) e (b) permitindo uma comunicação bidirecional. A configuração do item (d) é a mais complexa e exige maior capacidade de *hardware*, por meio do protocolo RPL (*IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks*) é possível obter este modo de organização de rede (SANTOS et al., 2016).

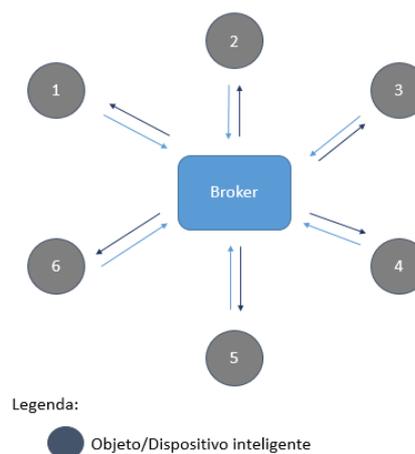
Os modelos de conectividade são mostrados na Figura 10. Para o caso (I) os objetos não possuem conexão com a Internet, para o caso (II) o acesso seguro é controlado por um firewall ou proxy (SANTOS et al., 2016).

Figura 10 - Modelo de Conectividade de Objetos Inteligentes

Fonte: SANTOS (2016)

O caso (III) configura a essência da IoT, onde os objetos inteligentes estão diretamente conectados a Internet através de um *proxy*, tornando seu conteúdo disponível para qualquer máquina ou usuário conectado a Internet (SANTOS et al., 2016).

Neste trabalho será utilizado protocolo de comunicação MQTT onde, obrigatoriamente, a comunicação é realizada entre o objeto inteligente e o servidor broker como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Comunicação MQTT

Fonte: Autoria própria

Embora um objeto não possa conectar-se diretamente a outro, é possível solicitar os dados de outro objeto ao broker que, por sua vez, passará a encaminhar as mensagens aos destinatários que se inscreveram no tópico de interesse.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho consiste em um estudo de caso utilizando um motor modelo MR18DE apresentado na Figura 12, implementando o monitoramento do sensor MAF por meio da alteração do protocolo padrão (CAN) utilizado para comunicação entre a ECU e os sensores para outro protocolo (MQTT) que possibilite a implementação da IoT em veículos a combustão interna além da disponibilização dos dados e informações na Internet para auxiliar nas tomadas de decisões.

Figura 12 - Motor MR18DE



Fonte: (“Nissan Versa’s at CarDomain.com”, 2007)

O motor MR18DE é composto por quatro cilindros em linha, transmissão por corrente de comando, capacidade volumétrica de mil e oitocentos centímetros cúbicos e potência de cento e vinte cinco cavalos aplicado nos modelos Livina, Gran Liniva e Tiida. A escolha deste motor deve-se a disponibilidade para realização do estudo de caso.

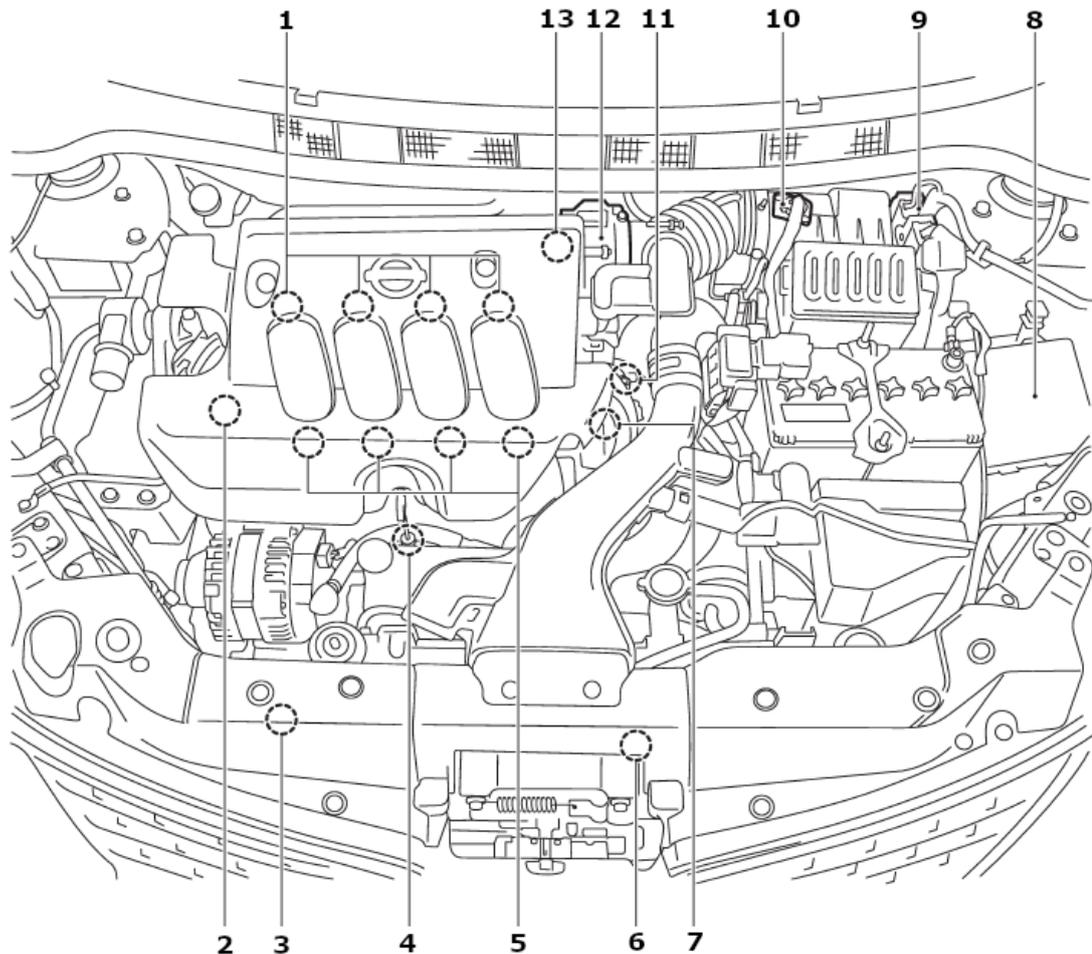
A coleta de dados será empírica em bancada com os dados reais do motor.

Inicialmente é feita uma análise do planejamento para coleta de dados do motor MR18DE. Com isso, é possível identificar que os tipos de dados coletados são níveis de tensão elétrica como sinal de saída analógica do sensor MAF. Posteriormente, esses dados alimentam um banco de dados que por meio da linguagem de programação gráfica de código aberto Node-Red desenvolvida para IoT e protocolos de comunicação MQTT onde é possível realizar o tráfego destes dados pela Internet. Algoritmos específicos do motor MR18DE transformam esses dados em informações sobre a condição de funcionamento. Assim, pode ser monitorado

o estado de funcionamento do motor em tempo real de forma ubíqua (onipresença da informática no cotidiano) auxiliando na tomada de decisões corretas do ser humano.

A disposição dos componentes no motor pode ser observada na Figura 13, onde o sensor MAF é sinalizado com o número 10.

Figura 13 – Disposição dos componentes no motor MR18DE



- | | | |
|---|---|---|
| 1. Ignition coil (with power transistor) and spark plug | 2. Intake valve timing control solenoid valve | 3. Refrigerant pressure sensor |
| 4. Knock sensor | 5. Fuel injector | 6. Cooling fan motor |
| 7. Camshaft position sensor (PHASE) | 8. IPDM E/R | 9. ECM |
| 10. Mass air flow sensor (with intake air temperature sensor) | 11. Engine coolant temperature sensor | 12. Electric throttle control actuator (with built-in throttle position sensor, throttle control motor) |
| 13. EVAP canister purge volume control solenoid valve | | |

Fonte: Adaptado de Manual de Serviço do Fabricante (NISSAN, 2010)

Na Figura 14, temos a imagem real do motor que será utilizado neste trabalho.

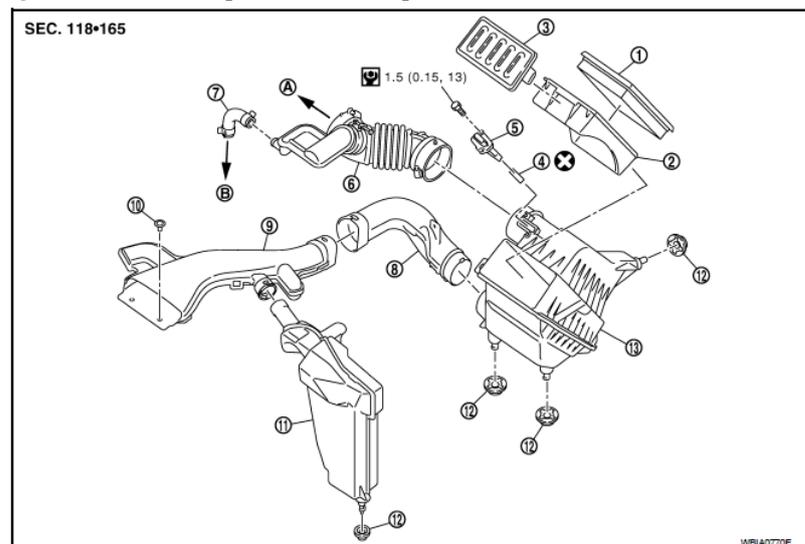
Figura 14 – Foto real do motor MR18DE utilizado para o estudo de caso



Fonte: Autoria própria

A visão explodida da região estudada é mostrada na Figura 15, onde o sensor MAF é indicado pelo número 5.

Figura 15 – Visão explodida dos componentes da admissão motor MR18DE

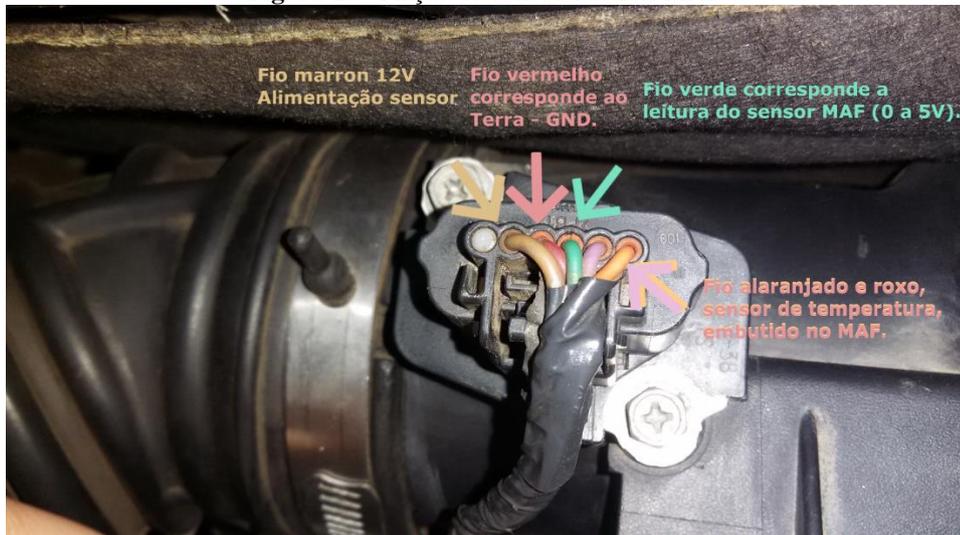


- | | | |
|-----------------------|--|----------------------|
| 1. Air cleaner filter | 2. Holder | 3. Air cleaner cover |
| 4. Seal | 5. Mass air flow sensor | 6. Air duct |
| 7. PCV hose | 8. Air duct (Inlet) | 9. Air duct (Front) |
| 10. Clip | 11. Resonator | 12. Grommet |
| 13. Air cleaner case | A. To electric throttle control actuator | B. To rocker cover |

Fonte: Manual de Serviço do Fabricante (NISSAN, 2010)

O conector que alimenta o sensor é composto por 5 fios com as funções descritas na Figura 16.

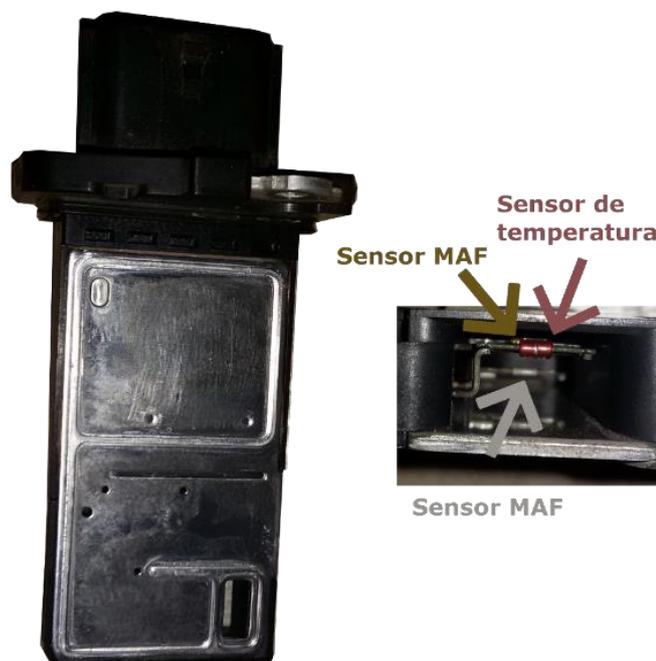
Figura 16 –Fiação do conector sensor MAF



Fonte: Autoria própria

O sensor MAF utilizado no motor MR18DE é apresentado na Figura 17.

Figura 17 –Sensor MAF



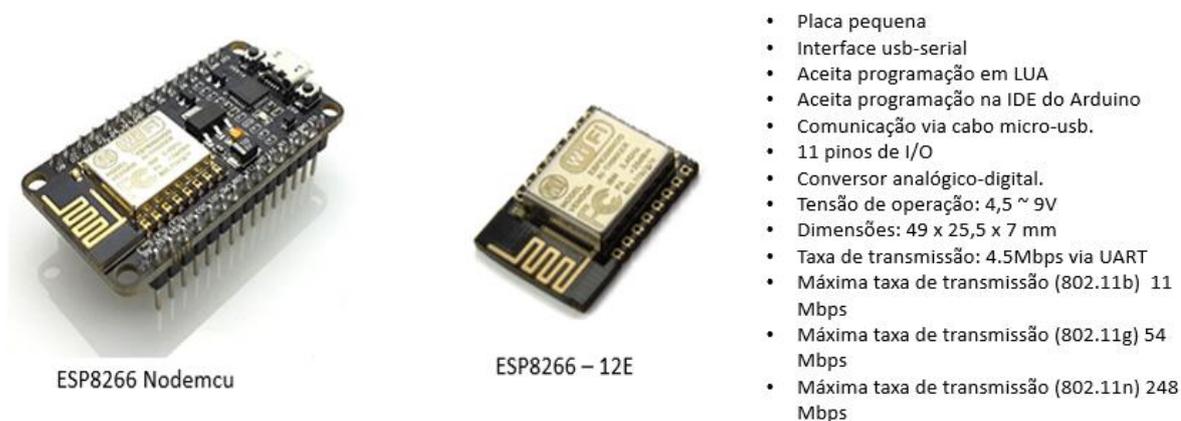
Fonte: Autoria própria

Quando removemos o sensor MAF através dos dois parafusos que aparecem na Figura 16, na região da tomada de ar do sensor (detalhe ampliado na Figura 17) é possível visualizar o

termistor (sensor de temperatura) e dois resistores do sensor MAF conforme descrito anteriormente na Seção 2.3, Figura 7.

O módulo ESP8266 – 12E, à direita da Figura 18, é suficiente para implementação na aplicação desejada, porém por não possuir entrada USB para programação do módulo é necessário a utilização de um adaptador USB serial TTL, portanto foi escolhido o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU que é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266 e uma interface usb-serial, que permite programação na IDE do Arduino ou em linguagem Lua.

Figura 18 –Módulo ESP8266 NodeMCU



Fonte: Adaptado de amazon.com

O objetivo é conectar a entrada analógica do módulo ESP8266 NodeMCU a saída do sinal obtido pelo sensor MAF (Figura 16) para possibilitar o tráfego e monitoramento dos dados em tempo real pela internet. O diagrama com o formato de comunicação e transporte de dados é exibido no Capítulo 4, Seção 4.2 na Figura 30.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

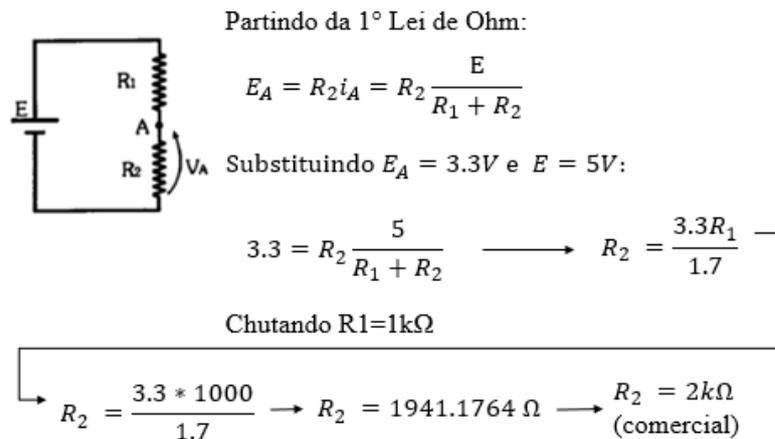
4.1 ESTRUTURA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

Para avaliar a aplicabilidade prática do projeto foram adquiridos os componentes eletrônicos e montados primeiramente em uma placa de circuito de teste (*protoboard*).

A entrada de conversão de sinal analógico para digital (ADC - do inglês *Analog to Digital Converter*) do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU que suporta até 3,3 volts devido ao divisor de tensão resistivo embutido na placa com resistores de 220k e 100k ohms, segundo diagrama técnico do fabricante (*datasheet*).

O sinal de leitura do sensor MAF do motor estudado pode atingir até 5 Volts de tensão, desta forma, o primeiro passo foi limitar a tensão a no máximo 3.3 volts por meio de um divisor de tensão resistivo, o cálculo dos resistores é mostrado na Figura 19.

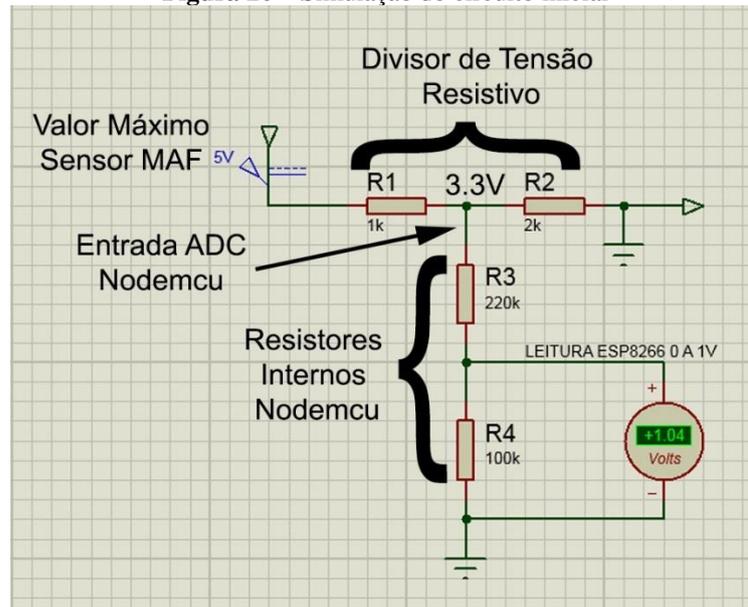
Figura 19 – Cálculo dos resistores para o divisor de tensão



Fonte: Adaptado de (MARKUS, 2011)

O circuito foi simulado na versão de teste do software Proteus 8, e os resultados foram condizentes com o esperado, entregando no máximo 3,3 volts na entrada de leitura analógica ADC do NodeMCU que, por sua vez limita a 1 volt a tensão no chip ESP8266-12E embutido.

Figura 20 – Simulação do circuito inicial



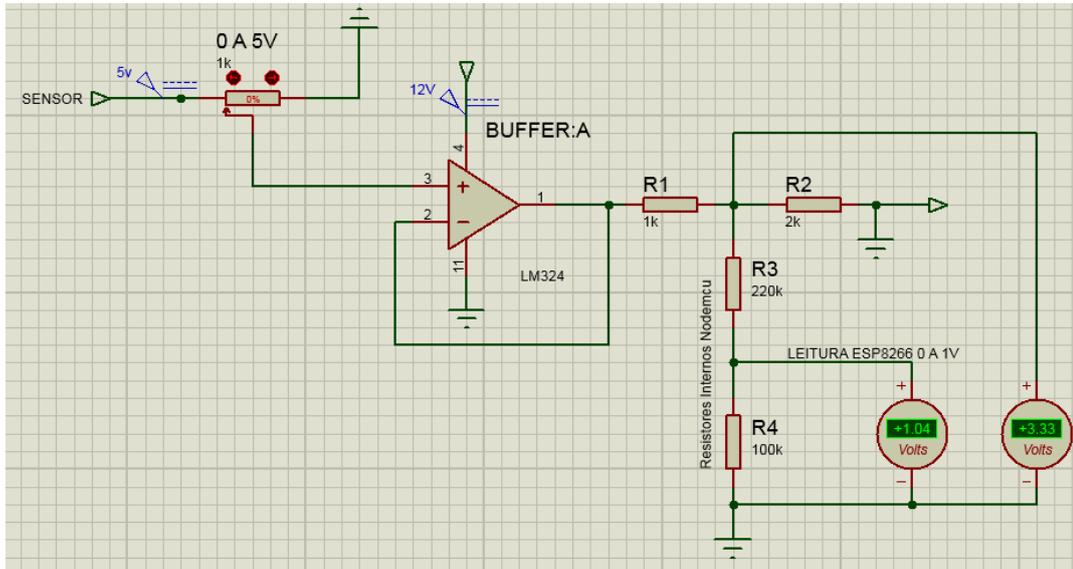
Fonte: Autoria própria (PROTEUS, 2018)

Porém a aplicação prática do circuito apresentada na Figura 20 mostrou-se ineficaz. Quando o circuito foi ligado ao sensor MAF, o valor medido pelo sensor sofreu alterações de forma significativa, provocando aumento na rotação do motor que é justificada pelo envio de dados incorretos para o módulo de controle do veículo.

Analisando o modo de funcionamento do sensor MAF descrito na seção 2.3, é possível concluir que o divisor resistivo calculado e utilizado para limitar a tensão máxima que chega ao módulo NodeMCU em 3,3 volts se associa aos resistores internos do sensor MAF, provocando assim alteração nos valores medidos.

Esse problema foi solucionado com a implementação de um componente eletrônico conhecido como amplificador operacional do tipo LM324, ligado como seguidor de tensão (*buffer*) entre o sinal de saída do sensor e o divisor de tensão, portanto o LM324 atua de forma a isolar o circuito interno do sensor dos resistores adicionais calculados, como mostrado Figura 21.

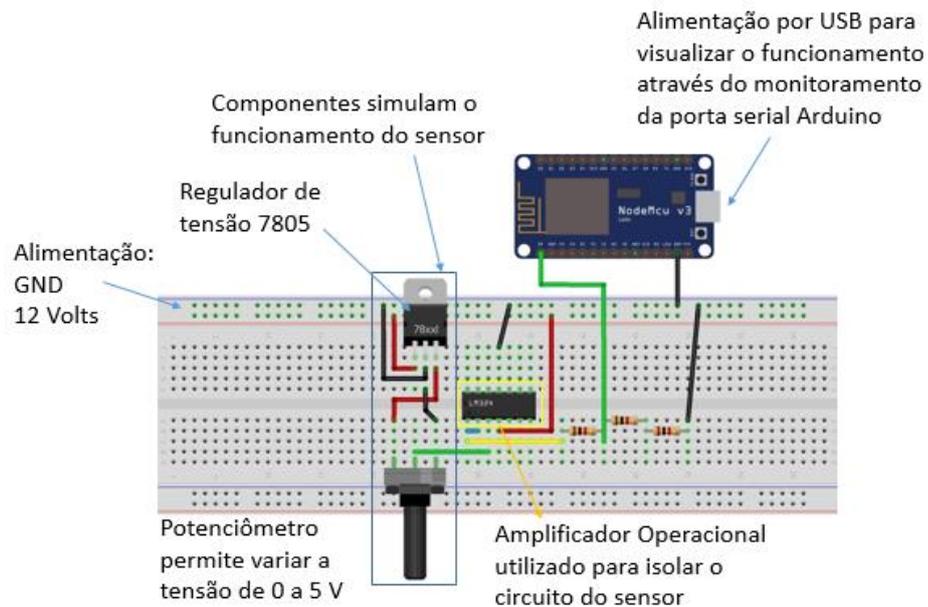
Figura 21 – Simulação do circuito definitivo



Fonte: Autoria própria – (PROTEUS, 2018)

A simulação do circuito foi realizada com um pontômetro simulando o funcionamento do sensor (0 a 5V) mostrando que o circuito com o LM324 funciona para a aplicação proposta.

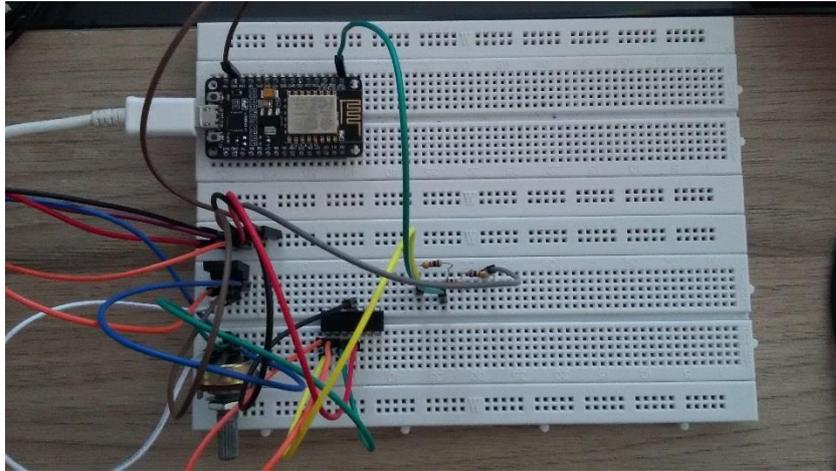
Figura 22 – Circuito de teste planejado em ambiente virtual



Fonte: Autoria própria – (FRITZING, 2016)

O circuito mostrado na Figura 22, foi montado na placa de testes mostrado na Figura

Figura 23 – Circuito de teste montado em protoboard



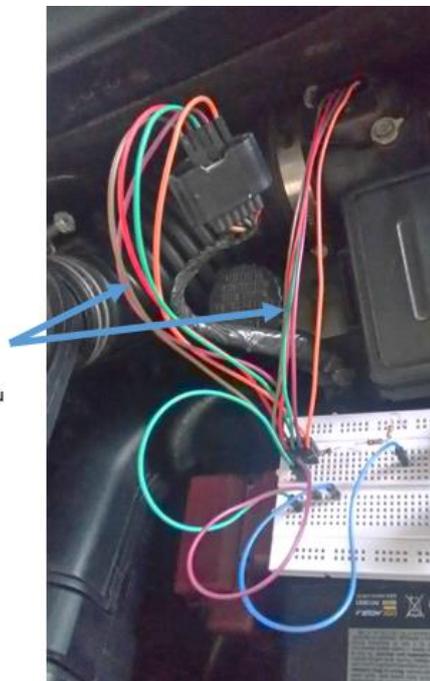
Fonte: Autoria própria

O circuito mostrado na Figura 23 funcionou conforme o esperado.

Através de testes no veículo foi identificado que o método de ligação mostrado na Figura 24 provocava alterações discretas na leitura na ordem de 0.1 volts, desta forma, o método para obter os dados foi alterado para utilização de ponta de prova.

Figura 24 – Influência do método de ligação na leitura do sensor

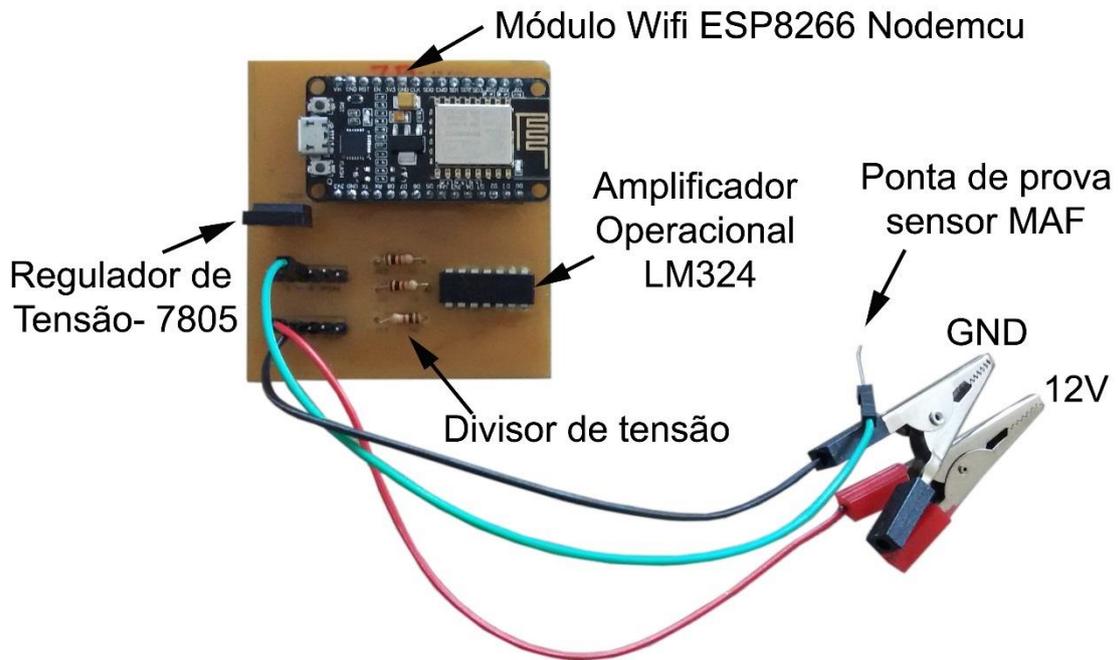
Este método de ligação entre os conectores do sensor e a protoboard também provocou alterações na leitura do sensor



Fonte: Autoria própria

Com a ponta de prova o circuito funcionou conforme era esperado e então foi confeccionada a placa de circuito impresso definitiva conforme Figura 25.

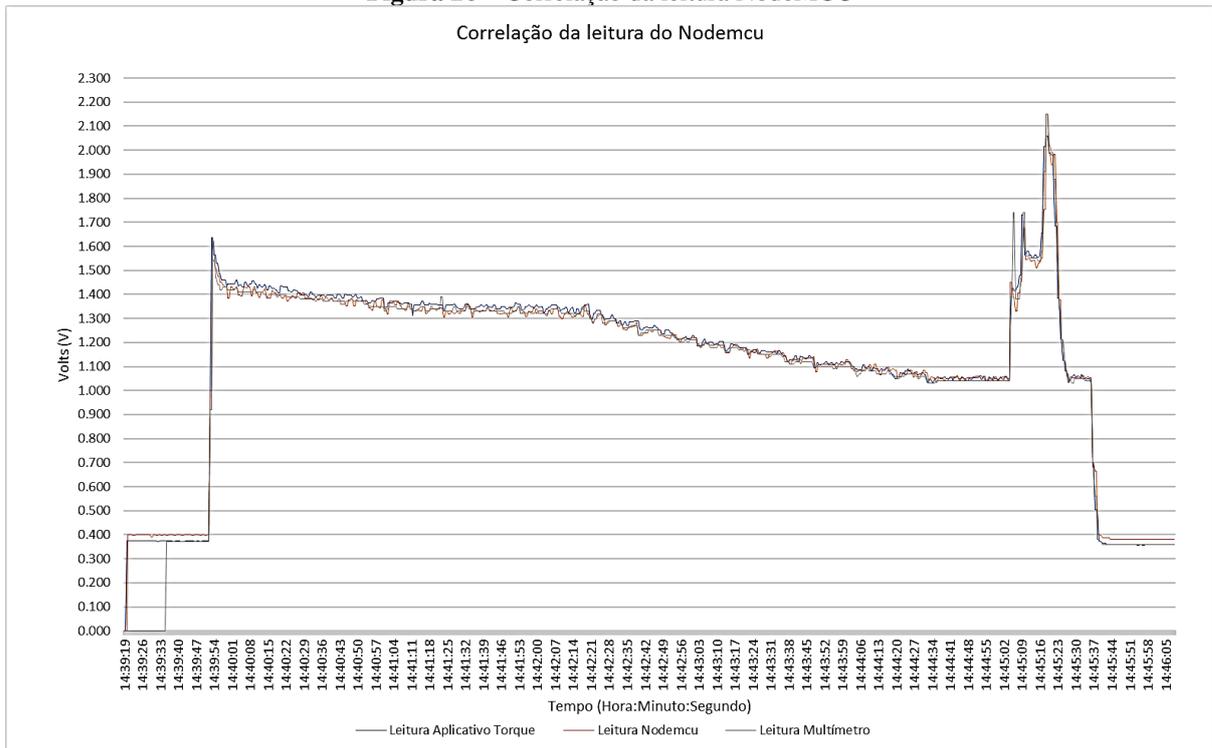
Figura 25 – Placa de circuito impresso definitiva



Fonte: Autoria própria

Na placa definitiva o regulador de tensão foi utilizado para fornecer 5 volts para alimentação do NodeMCU e eliminar a necessidade de alimentação USB.

Na Figura 26, é exibido a medições do sensor MAF sobrepostas com a placa construída com o *NodeMCU* (linha alaranjada), o aplicativo Torque (linha azul) e o Multímetro (linha cinza), com o motor ligado em marcha lenta e a temperatura ambiente.

Figura 26 – Correlação da leitura NodeMCU

Fonte: Autoria própria

O cálculo da correlação entre a leitura do NodeMCU e do aplicativo Torque e entre o multímetro e NodeMCU, apresentaram respectivamente os valores de 0.993626086 e 0.984702871, o que representa uma forte correlação positiva entre as variáveis. Para consulta, os cálculos estão disponíveis em:

https://www.dropbox.com/s/5b8os36nl4c9eq4/Dados_Correlacao_Leituras.xlsx?dl=0

O decréscimo constante na leitura deve-se ao aquecimento gradual do motor e a redução da injeção de combustível pela ECU. Os picos na parte direita da imagem aproximadamente as 14:45, referem-se ao aumento do fluxo de ar causado por pressionar o acelerador do veículo durante os testes.

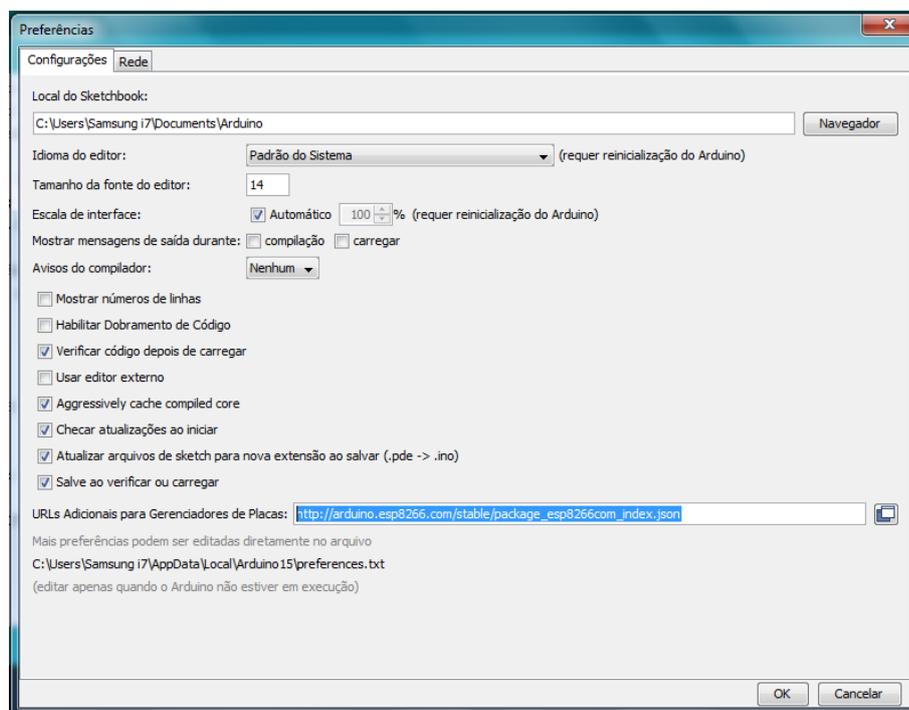
4.2 CONFIGURAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DO MÓDULO

Para programação do NodeMCU foi utilizado o Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino (IDE - do inglês *Integrated Development Environment*), que consiste em um software de código aberto, disponível em <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

Após instalada e aberta a IDE do Arduino, a primeira configuração é realizada no caminho “Arquivo”, “Preferências” no campo “URLs Adicionais para Gerenciadores de Placas” foi adicionado o endereço:

http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

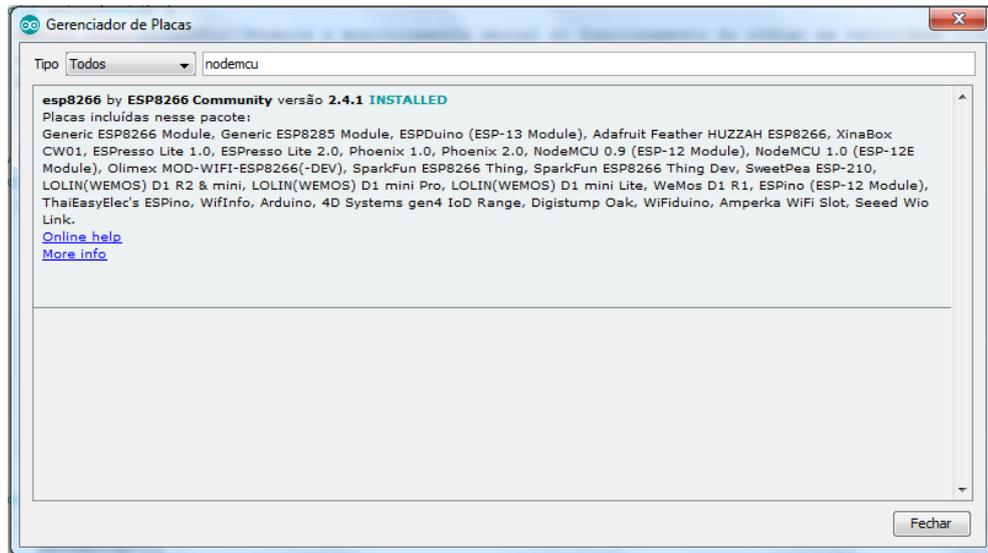
Figura 27 – Configuração da IDE do arduino



Fonte: Autoria própria (ARDUINO, [s.d.])

A versão do Arduino utilizada foi a 1.8.5, e através da guia “Ferramentas”, “Placa:”, “Gerenciamento de Placas”, foi instalado o pacote que contempla o NodeMCU, conforme Figura 28.

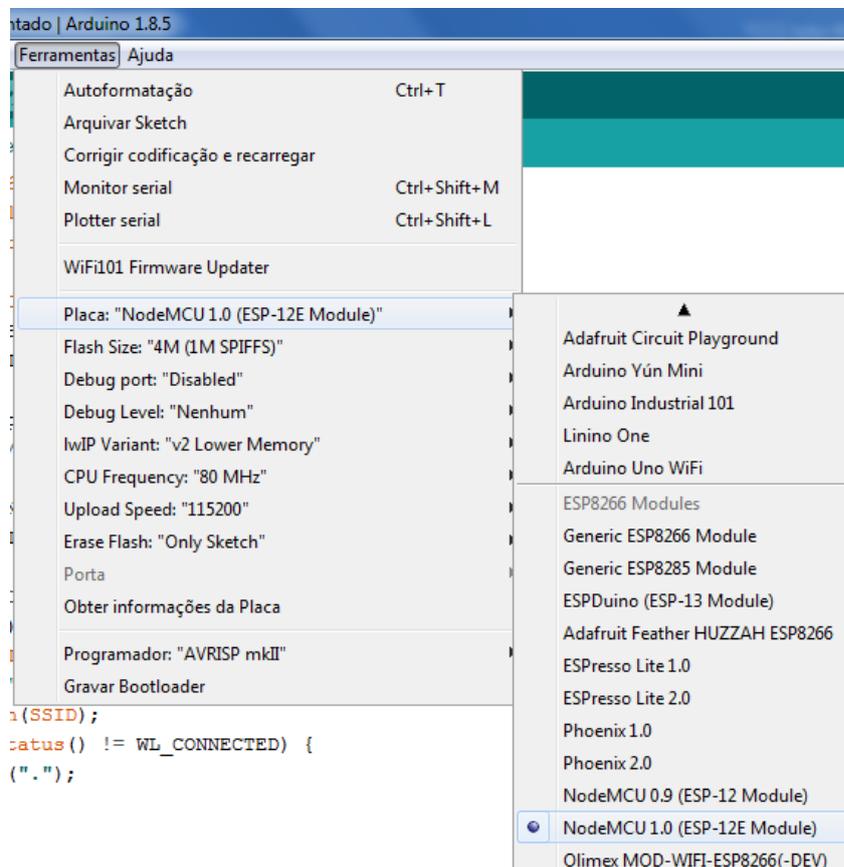
Figura 28 – Instalação de pacote do ESP8266 NodeMCU na IDE do Arduino



Fonte: Autoria própria (ARDUINO, [s.d.]

Após a instalação é possível selecionar a placa “NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)”, conforme Figura 29.

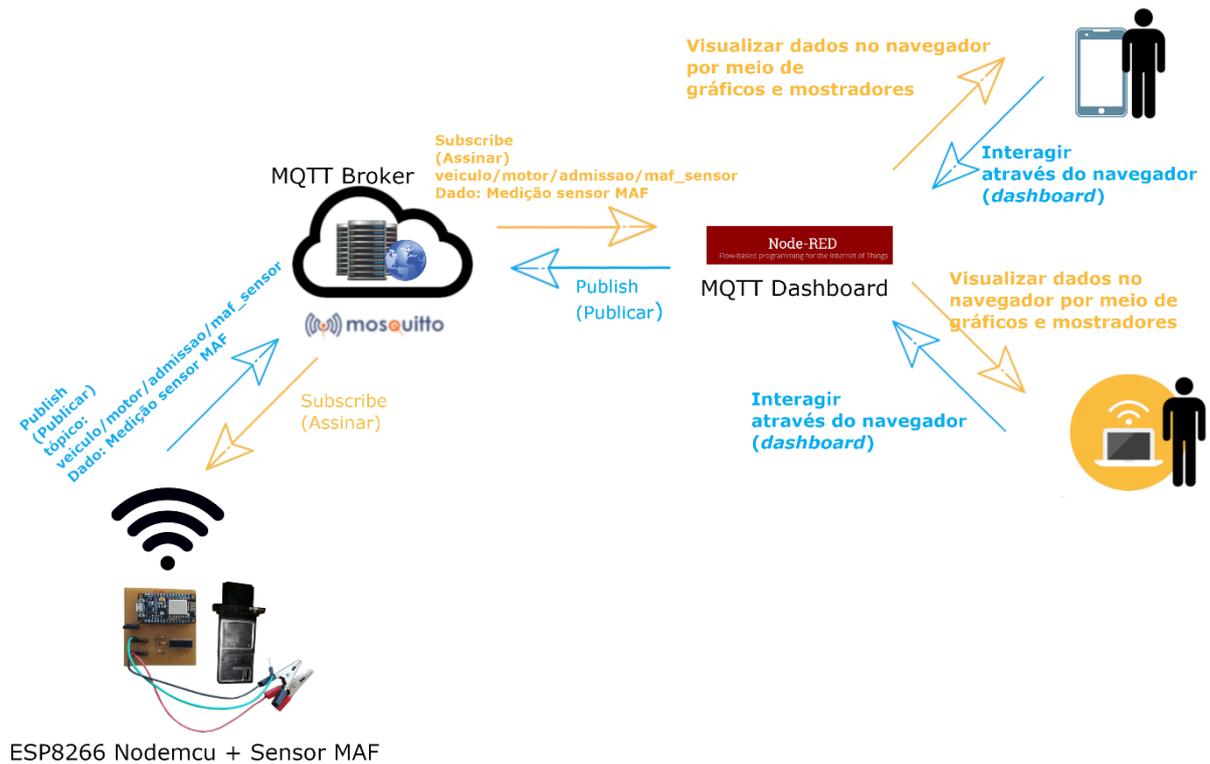
Figura 29 – Seleção da placa NodeMCU na IDE do Arduino



Fonte: Autoria própria (ARDUINO, [s.d.]

O código utilizado na programação foi adaptado de https://github.com/douglaszuqueto/ESP8266_MQTT/blob/master/test_gauge_mosquitto/test_gauge_mosquitto.ino, disponível no APÊNDICE A - Código Programado no módulo ESP8266 NodeMCU.

Figura 30 – Diagrama de comunicação MQTT

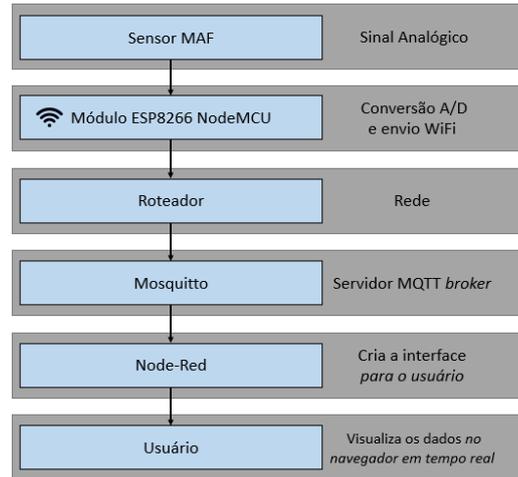


Fonte: Autoria própria

Para permitir o transporte de dados foi instalado um *software* de código aberto que suporta o protocolo MQTT (*Mosquitto Broker*). Posteriormente foi instalada a ferramenta de programação gráfica Node-Red para formatar, converter a leitura digital (0 a 1023) do NodeMCU em valor de tensão elétrica, criar gráficos e mostradores (*MQTT Dashboard*). A comunicação foi realizada com o uso de um roteador em uma rede local IPv4 e o diagrama com a estrutura de comunicação é exibido na Figura 30.

O fluxograma de comunicação é apresentado na Figura 31, onde é possível visualizar as etapas desde a coleta de dados até a disponibilização ao usuário através do navegador de Internet.

Figura 31 – Fluxograma de comunicação



Fonte: Autoria própria

Na Figura 32, é exibida a janela do *prompt* de comando com o *Node Red* executando à esquerda e o *Mosquitto Broker* à direita, é possível verificar a assinatura do *Node-Red* ao tópico “veiculo/motor/admissão/maf_sensor” no *prompt* da direita, no trecho “Received SUBSCRIBE from mqtt_3f9dfbfd.4399f4”

Figura 32 – Prompt de comando executando *Node Red* e *Mosquitto Broker*

```

node-red
Microsoft Windows [versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Samsung I7>node-red
4 Oct 13:24:26 - [info]
Welcome to Node-RED

4 Oct 13:24:26 - [info] Node-RED version: v0.19.1
4 Oct 13:24:26 - [info] Node.js version: v8.11.4
4 Oct 13:24:26 - [info] Windows_NT 6.1.7601 x64 LE
4 Oct 13:24:27 - [info] Loading palette nodes
4 Oct 13:24:28 - [warn] rpi-gpio : Raspberry Pi specific node set inactive
4 Oct 13:24:29 - [info] Dashboard version 2.9.6 started at /ui
4 Oct 13:24:29 - [warn]
4 Oct 13:24:29 - [warn] [node-red/tail] Not currently supported on Windows.
4 Oct 13:24:29 - [warn]
4 Oct 13:24:29 - [info] Settings file : \Users\Samsung I7\.node-red\settings.js
4 Oct 13:24:29 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
4 Oct 13:24:29 - [info] User directory : \Users\Samsung I7\.node-red
4 Oct 13:24:29 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
4 Oct 13:24:29 - [info] Flows file : \Users\Samsung I7\.node-red\flows_Samsun
ng17-PC.json
4 Oct 13:24:29 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
4 Oct 13:24:29 - [warn]

Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

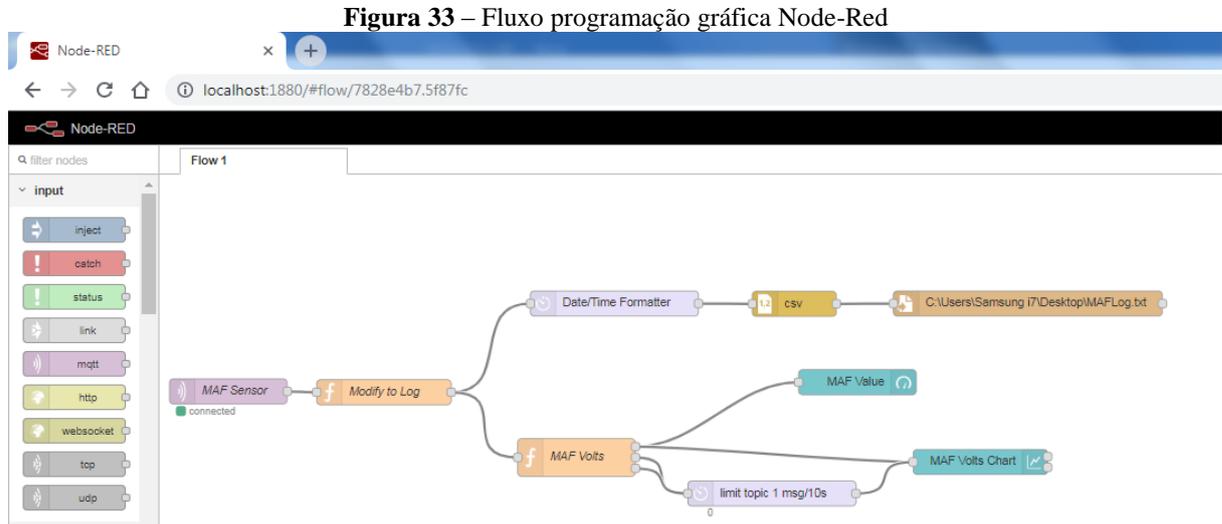
You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.

4 Oct 13:24:29 - [info] Starting flows
4 Oct 13:24:29 - [info] Started flows
4 Oct 13:24:29 - [info] Inqtt-broker:Local MQTT Broker] Connected to broker: mqtt
://localhost:1883

Run Mosquitto - Atalho
C:\Users\Samsung I7\Dropbox\Disciplinas 2018.1\TCC 2\Programas>cd "C:\Program Files (x86)\mosquitto"
C:\Program Files (x86)\mosquitto>call mosquitto -u
1538670228: Using default config.
1538670228: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1538670228: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1538670269: New connection from 127.0.0.1 on port 1883.
1538670269: New client connected from 127.0.0.1 as mqtt_3f9dfbfd.4399f4 (cl, h60
-U'Julio)
1538670269: Sending CONNACK to mqtt_3f9dfbfd.4399f4 (0, 0)
1538670269: Received SUBSCRIBE from mqtt_3f9dfbfd.4399f4
1538670269: veiculo/motor/admissao/maf_sensor (QoS 0)
1538670269: mqtt_3f9dfbfd.4399f4 @ veiculo/motor/admissao/maf_sensor
1538670269: Sending SUBACK to mqtt_3f9dfbfd.4399f4
  
```

Fonte: Autoria própria

A programação para criação da *dashboard* e do histórico de dados é simples com a utilização do *Node-Red*, como exibido na Figura 33.



Fonte: Autoria própria (NODE-RED, [s.d.])

O nó com nome “*limit topic 1 msg/10s*”, tem a função de enviar as linhas do limite de funcionamento superior (1.2V) e inferior (0.9V) a cada 10 segundos para atualizar o gráfico.

O nó com nome “*Modify to Log*” corresponde a conversão analógica para digital (0 a 1023) na leitura real (tensão elétrica), exibido na Figura 34.

Figura 34 – Código de conversão leitura analógica

```

node properties
Name
Modify to Log
Function
1 var t = Date();
2 conversao=((msg.payload*(3.11/1023))*1.45033112583)+0.1 //r1+(r2+r3)/(r2+r3) R1= 884 R2= 976 R3=987 medidos
3 payload={"time":t, "payload":conversao, "topic":msg.topic};
4 msg.payload=payload;
5 return msg;

```

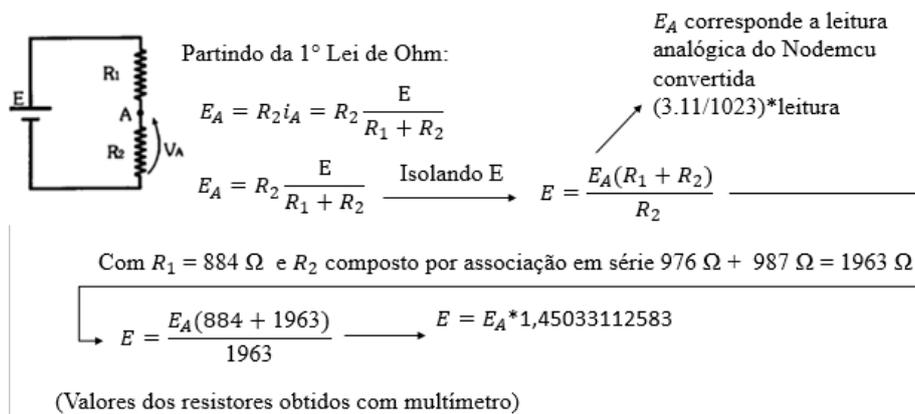
Fonte: Autoria própria (NODE-RED, [s.d.])

A Figura 34 é exibido o valor de 3.11 que em teoria corresponderia a 3.3 volts (valor máximo lido pelo NodeMCU em sua entrada analógica), porém ao confrontar a medida utilizando um multímetro notou-se que a leitura máxima (1023) ocorria em 3.11 volts. Portanto para obter a tensão na porta analógica da placa basta dividir o valor máximo 3.11 volts por 1023, que fornece a correspondência de aproximadamente 0.00304008 volts para cada unidade

lida na porta analógica, bastando multiplicar o resultado da divisão pela leitura realizada na porta analógica, então será obtido o valor da tensão elétrica que chega ao NodeMCU.

Deseja-se obter a leitura do sensor *MAF* e como foi utilizado um divisor de tensão resistivo, é necessário calcular a tensão sem os efeitos do divisor, que corresponde ao cálculo exibido na Figura 35.

Figura 35 – Cálculo da tensão do sensor MAF através da medição no divisor resistivo



Fonte: Adaptado de (MARKUS, 2001)

Onde ‘E’ corresponde a tensão fornecida pelo sensor MAF.

A soma do valor 0.1 corresponde a correção na medição, devido a diferença de aproximadamente 0.1 volts observada entre o negativo da bateria e o negativo da *ECU* do veículo.

O nó com nome ‘MAF Volts’ foi utilizado somente para restringir a casas decimais em somente duas para melhorar a exibição na *dashboard*, conforme Figura 36.

Figura 36 – Fluxo programação gráfica Node-Red

```

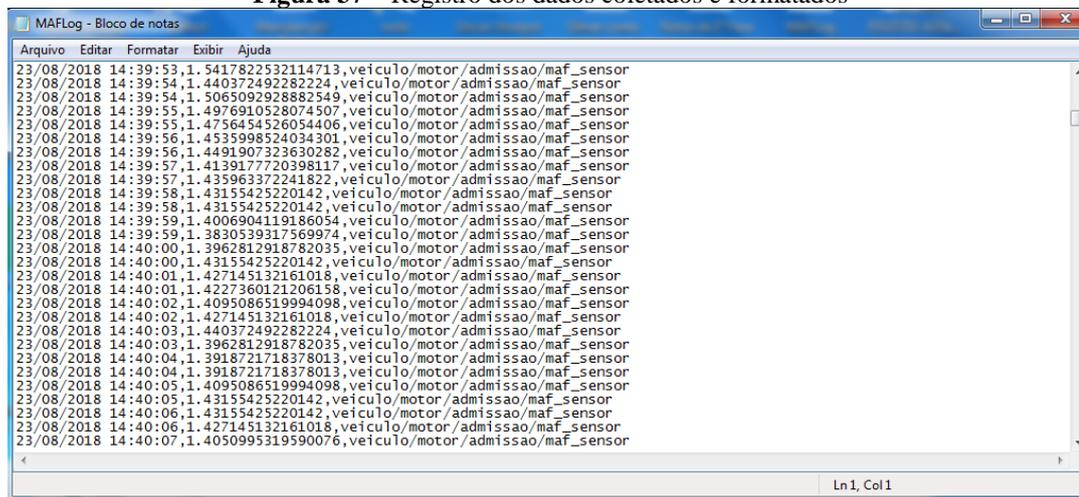
node properties
  Name
  MAF Volts
  Function
  1 o = msg.payload;
  2 msg.payload = o.payload.toFixed(2);
  3 return msg;

```

Fonte: Autoria própria (NODE-RED, [s.d.]

O NodeRed foi utilizado para exportar e gerar histórico com os dados conforme exibido na Figura 37, criando registros em formato (.txt) em CSV (separado por vírgula), com data e hora, valor da leitura, tópico.

Figura 37 – Registro dos dados coletados e formatados



Fonte: Autoria própria

A *dashboard* criada com o *Node-Red* para visualização dos dados pelo usuário é apresentada na Figura 40, o valor da leitura do sensor MAF é exibido em volts.

4.3 PARÂMETROS DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR MR18DE

Através do manual de serviços do fabricante foi possível obter dados e informações referentes as condições de diagnóstico e operação corretas do motor MR18DE e seus componentes. Na Figura 38, na primeira coluna temos a condição de funcionamento que é associada a leitura do sensor MAF na segunda coluna dada em volts.

Figura 38 – Condição associada a leitura em volts do sensor MAF

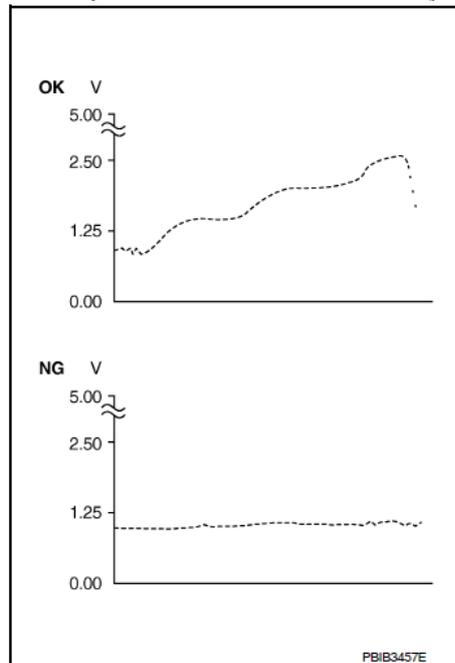
Condition	MAS A/F SE-B1 (V)
Ignition switch ON (Engine stopped.)	Approx 0.4
Idle (Engine is warmed-up to normal operating temperature.)	0.9 - 1.2
2,500 rpm (Engine is warmed-up to normal operating temperature.)	1.5 - 1.8
Idle to about 4,000 rpm	0.9 - 1.2 to 2.4*

*: Check for linear voltage rise in response to engine being increased to about 4,000 rpm.

Fonte: Manual de Serviço do Fabricante (NISSAN, 2010)

As condições que serão avaliadas no estudo de caso correspondem as duas primeiras, sendo elas, motor desligado com a chave na posição ON e motor aquecido em marcha lenta que devem indicar, respectivamente, aproximadamente 0.4V e estar no intervalo de 0.9 a 1.2V.

Figura 39 – Resposta linear ao aumento da rotação do motor



Fonte: Manual de Serviço do Fabricante (NISSAN, 2010)

A resposta do sensor MAF deve corresponder à um crescimento quase linear com o aumento da rotação, como mostrado na Figura 39, onde no gráfico superior sinalizado com um 'OK' é mostrada a característica de funcionamento correto do sensor com o aumento da rotação. Na parte inferior da figura temos uma leitura constante independente da rotação sinalizado com 'NG', característica que indica um funcionamento incorreto do sensor.

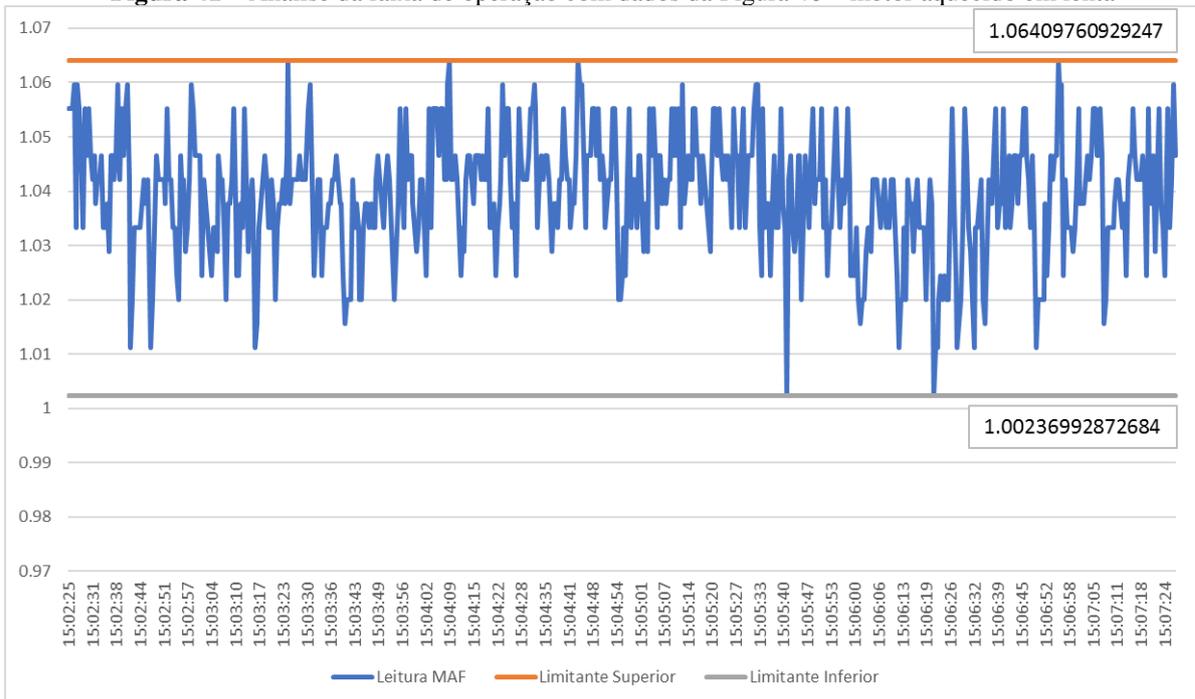
Figura 40 – Dashboard recebendo dados em tempo real

Fonte: Autoria própria

Os dados que observamos na Figura 40, correspondem ao funcionamento normal do motor MR18DE com o motor aquecido e em marcha lenta. A linha azul no gráfico corresponde a medição do sensor MAF e as linhas cinza e alaranjada correspondem, respectivamente, aos limites superior e inferior que limitam a faixa de valores indicativos de funcionamento correto do motor segundo manual de serviços do fabricante.

Através do registro armazenado em .txt é possível analisar os dados de maneira detalhada com o Excel, observando detalhes de maneira mais precisa. Através da Figura 41 podemos observar a faixa de oscilação do sensor, onde percebe-se que com o motor aquecido a variação não foi maior que 0.061727681 volts.

Figura 41 – Análise da faixa de operação com dados da Figura 40 – motor aquecido em lenta



Fonte: Autoria própria

Para verificar a resposta do sensor, após aquecimento do motor a rotação foi aumentada gradualmente da marcha lenta (700 ± 50 RPM para câmbio automático) até 4000 RPM e observou-se o aumento linear na leitura do sensor MAF, conforme Figura 42.

Figura 42 – Aumento da rotação e observação da resposta linear no sensor MAF



Fonte: Autoria própria

O manual indica leitura de no máximo 2.4 volts (Figura 38) a rotação de 4000 RPM, e o valor de pico obtido no detalhe da Figura 42 é 2.1 volts, fato aceitável considerando que os valores de tensão elétrica correspondem a um comportamento médio. Portanto comparando os dados da Figura 42 com a Figura 39, comprovamos o funcionamento conforme os dados do fabricante.

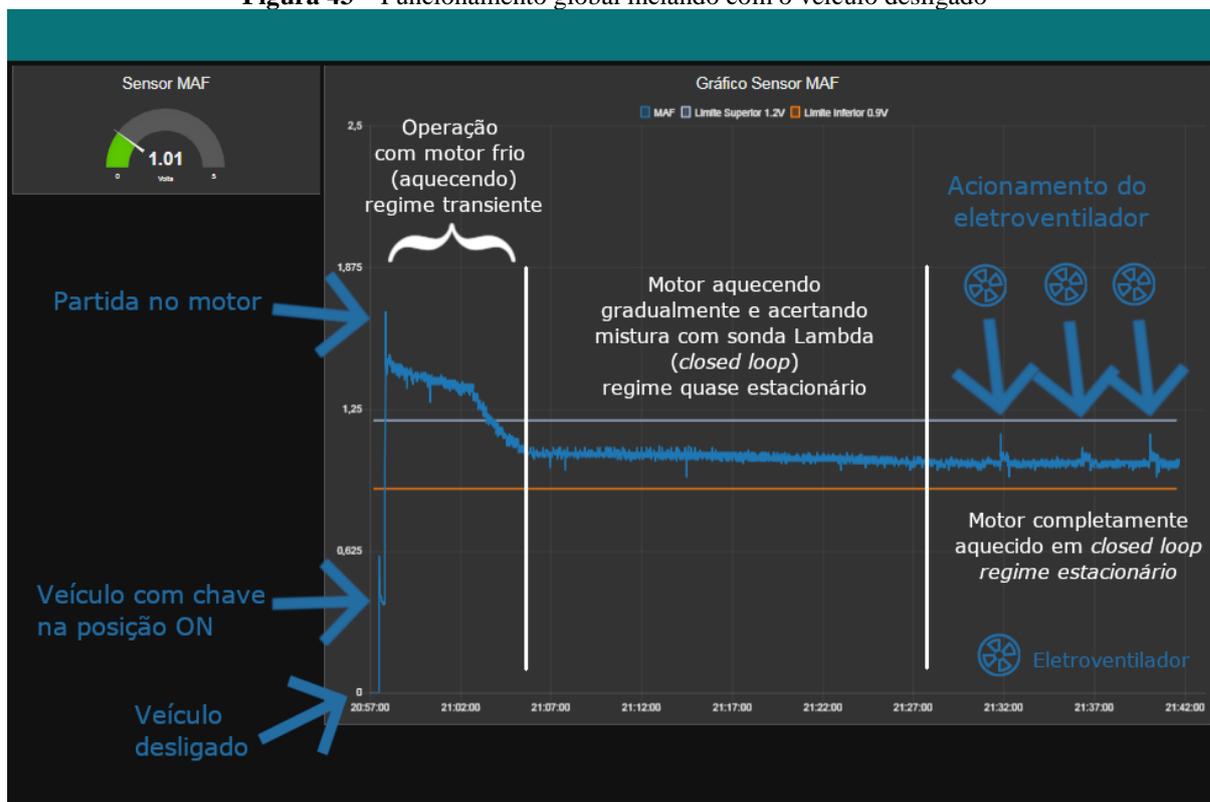
A análise do funcionamento global, iniciando com o veículo desligado pode ser observada na Figura 43, onde obtemos a leitura nula com o veículo desligado, aproximadamente 0.4 volts com a ignição na posição ON (painel ligado) e observamos o pico na leitura no momento da partida.

Quando o motor é ligado percebe-se um fluxo de ar maior devido a leitura mais elevada no sensor MAF, que é justificado pela injeção de mais combustível pela ECU nos momentos iniciais de funcionamento com motor frio para enriquecer a mistura e facilitar a combustão. O fato de proporcionar uma mistura rica deve-se a tentativa de compensar a vaporização lenta do combustível à baixa temperatura, onde o enriquecimento da mistura é reduzido gradualmente com o aquecimento do motor, como vemos nos primeiros minutos de operação na Figura 43 (HEYWOOD, 1988, p. 296,570)

Os parâmetros para mistura no sistema de admissão são discutidos em estado estacionário (regime permanente) e transiente. O estado transiente compõe o momento de partida do motor, o aquecimento até a temperatura do estado estacionário e as regiões de variação brusca na carga e rotação do motor. (HEYWOOD, 1988, p. 834)

Com a redução do enriquecimento da mistura percebe-se que a rotação do motor tende a diminuir e operar na faixa de 700 ± 50 RPM, conforme dados do fabricante (NISSAN, 2010).

Figura 43 – Funcionamento global iniciando com o veículo desligado



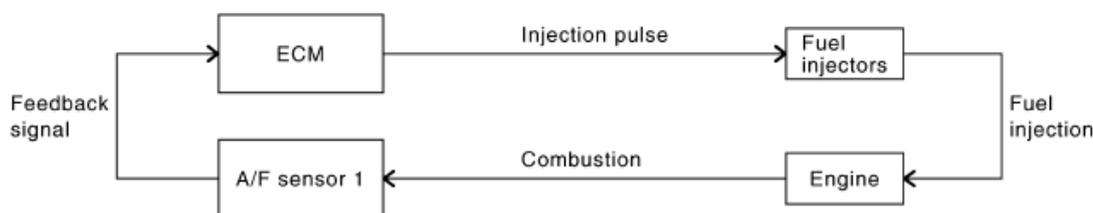
Fonte: Autoria própria

Após o aquecimento completo, é indicado no gráfico os pontos de acionamento do eletroventilador que impede o super aquecimento do motor, percebe-se claramente a influência na leitura do sensor MAF, que é justificada devido a maior necessidade de energia, ou seja, um aumento de carga sobre o motor ao acionar os componentes eletrônicos e uma redução ao desligar, refletida em um fluxo de ar maior para uma carga maior e menor quando a carga é removida.

A quantidade de combustível injetada é determinada pela duração do pulso elétrico que provoca a abertura do injetor de combustível, essas condições de operação são determinadas pela unidade de controle (ECU) através dos sinais de entrada do sensor MAF (massa de ar admitida) e o sensor de posição do virabrequim (RPM). Em situações de partida e aquecimento do motor, aceleração, alta carga e alta velocidade a quantidade de combustível injetado é aumentada para garantir a performance, já em situações de desaceleração é reduzida (NISSAN, 2010).

Figura 44 – Operação do sistema de injeção em *closed loop*

CLOSED LOOP CONTROL

**Fonte:** Manual de Serviço do Fabricante (NISSAN, 2010)

Na Figura 44 vemos o funcionamento em *closed loop*, onde o sensor ar/combustível (A/F sensor 1) monitora constantemente se a combustão está rica ou pobre, fornece os dados a ECU que ajusta a duração do pulso elétrico alterando o tempo de abertura do injetor de combustível, afim de manter a mistura em um intervalo próximo ao estequiométrico, que seria a quantidade ideal da mistura ar e combustível para o correto funcionamento e redução de emissões (NISSAN, 2010).

A unidade de controle ajusta a mistura o mais próximo da condição teórica, porém problemas como o entupimento ou travamento dos injetores e a leitura do sensor MAF, afetam diretamente a mistura de ar e combustível, o controle com a sonda lambda passa a compensar essas anomalias (NISSAN, 2010).

Neste estudo de caso, após o aquecimento completo do motor, iniciou-se o procedimento para provocar situações atípicas ao funcionamento normal, como a obstrução do duto de admissão e a remoção dos seus componentes, com o objetivo de simular obstrução por sujeira e quebra de componentes, verificando se estas falhas são detectáveis analisando a leitura do sensor MAF.

A primeira ação foi a obstrução do duto de ar frontal com um pano, a segunda foi a remoção completa do duto de ar frontal, a terceira foi a remoção do duto de entrada da caixa porta filtro, seguida da obstrução com o pano na caixa porta filtro, indicadas respectivamente por 1, 2, 3 e 4 na Figura 45.

Figura 45 – Resultado da obstrução e remoção de componentes do sistema de admissão



Fonte: Autoria própria

Alterações significativas na leitura do sensor MAF não foram observadas, portanto pode-se concluir que estas falhas não poderão ser detectadas facilmente através do monitoramento exclusivo do sensor MAF.

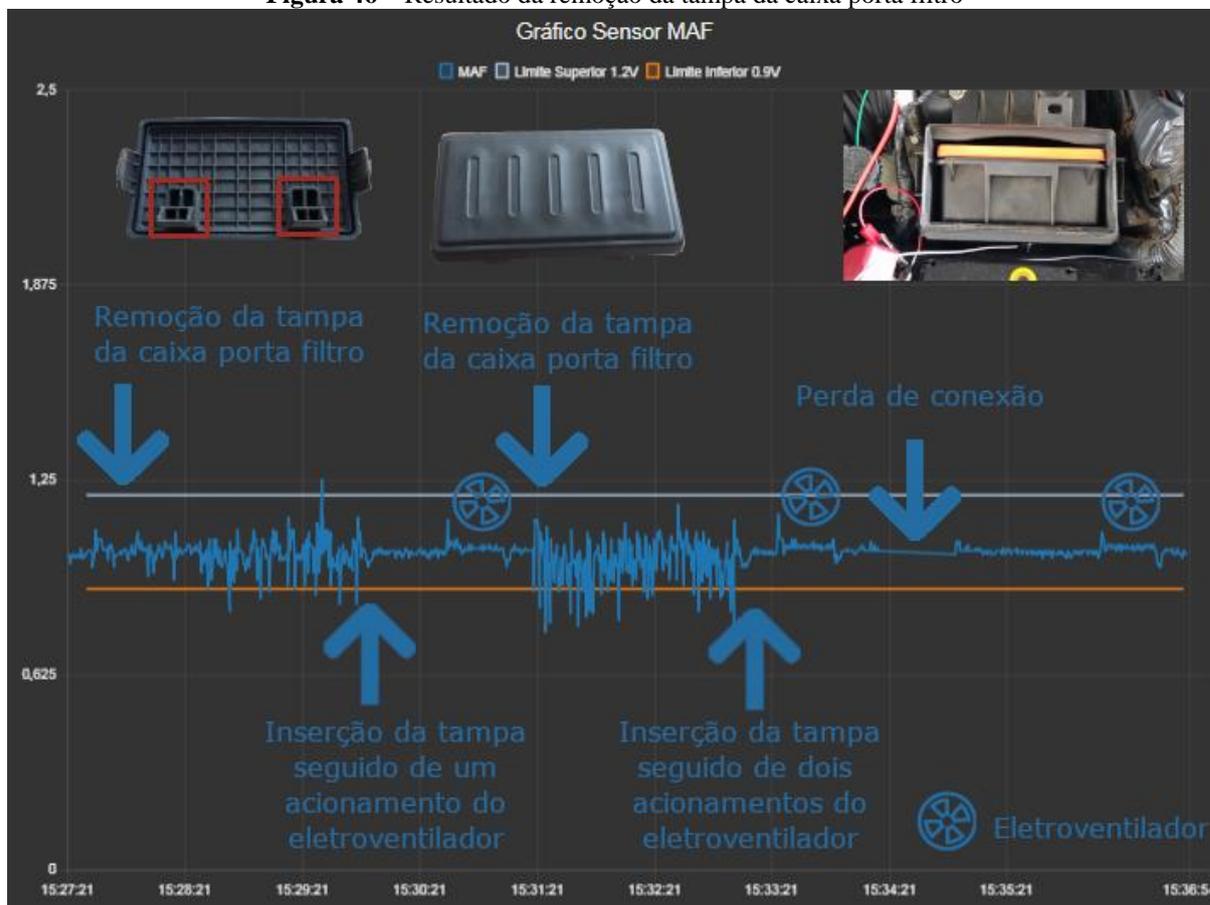
Em sequencia foi removida somente a tampa da caixa porta filtro sem remover o elemento filtrante. A tampa quando encaixada pressiona o elemento filtrante através do ressalto destacado em vermelho na Figura 46 contra a caixa porta filtro para provocar a vedação necessária.

Com a remoção da tampa verificamos uma alteração significativa na leitura do sensor MAF, foi observado um aumento considerável na oscilação da leitura atingindo e ultrapassando diversas vezes o limite inferior (0.9 volts) de funcionamento em marcha lenta e uma única vez o limite superior (1.2 volts) como indicado na Figura 46.

Com a tampa encaixada a leitura do sensor MAF retornava ao funcionamento correto, com oscilações de baixa amplitude somente com os picos característicos de acionamento do

eletroventilador. Durante o teste ocorreu uma perda de conexão devido ao afastamento do notebook utilizado do ponto de acesso (roteador Wifi), fato que não comprometeu os resultados.

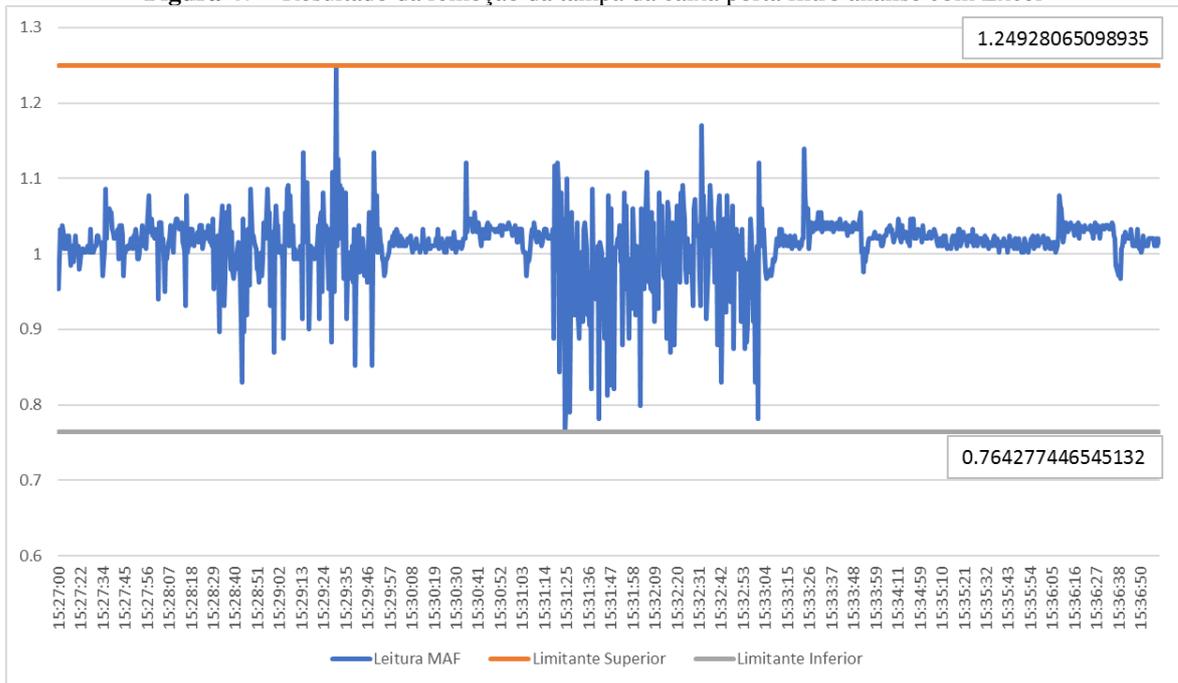
Figura 46 – Resultado da remoção da tampa da caixa porta filtro



Fonte: Autoria própria

Os dados da Figura 46, foram analisados com o Excel por meio do registro de dados, onde percebeu-se uma oscilação significativa, com o variação máxima entre os extremos de 0.485003204444218 volts, como apresentado na Figura 47.

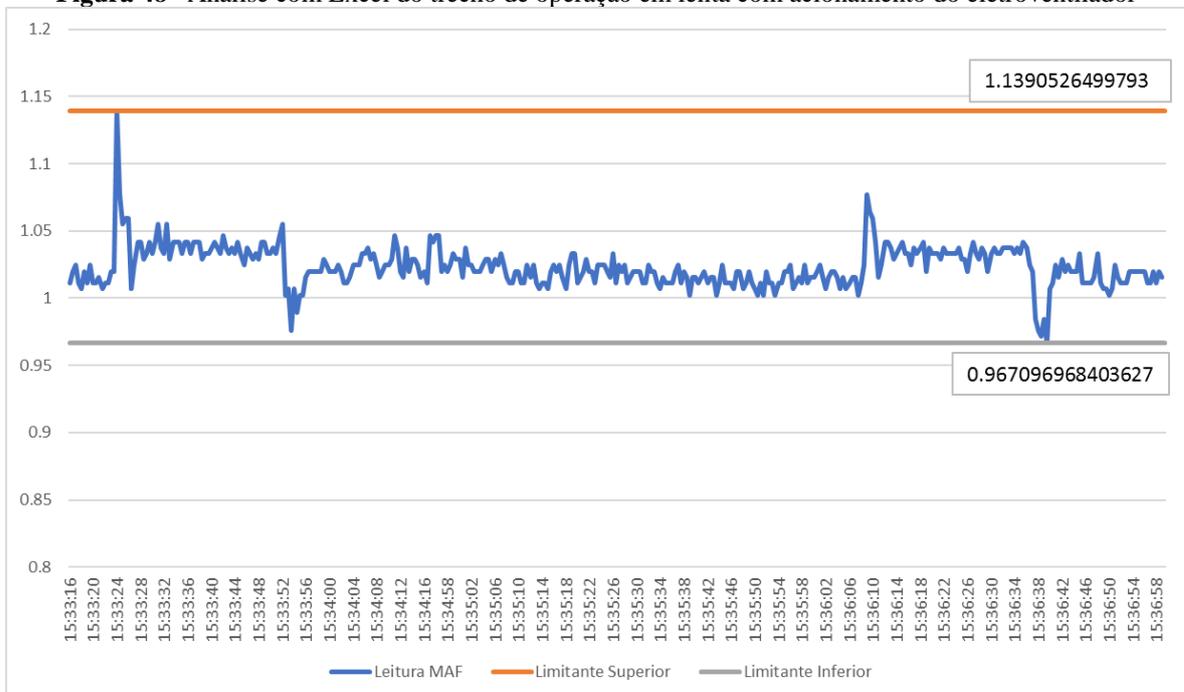
Figura 47 – Resultado da remoção da tampa da caixa porta filtro análise com Excel



Fonte: Autoria própria

O faixa de operação em lenta com acionamento do eletroventilador foi observado na Figura 48, responsável por uma oscilação máxima de 0.171955681575673 volts.

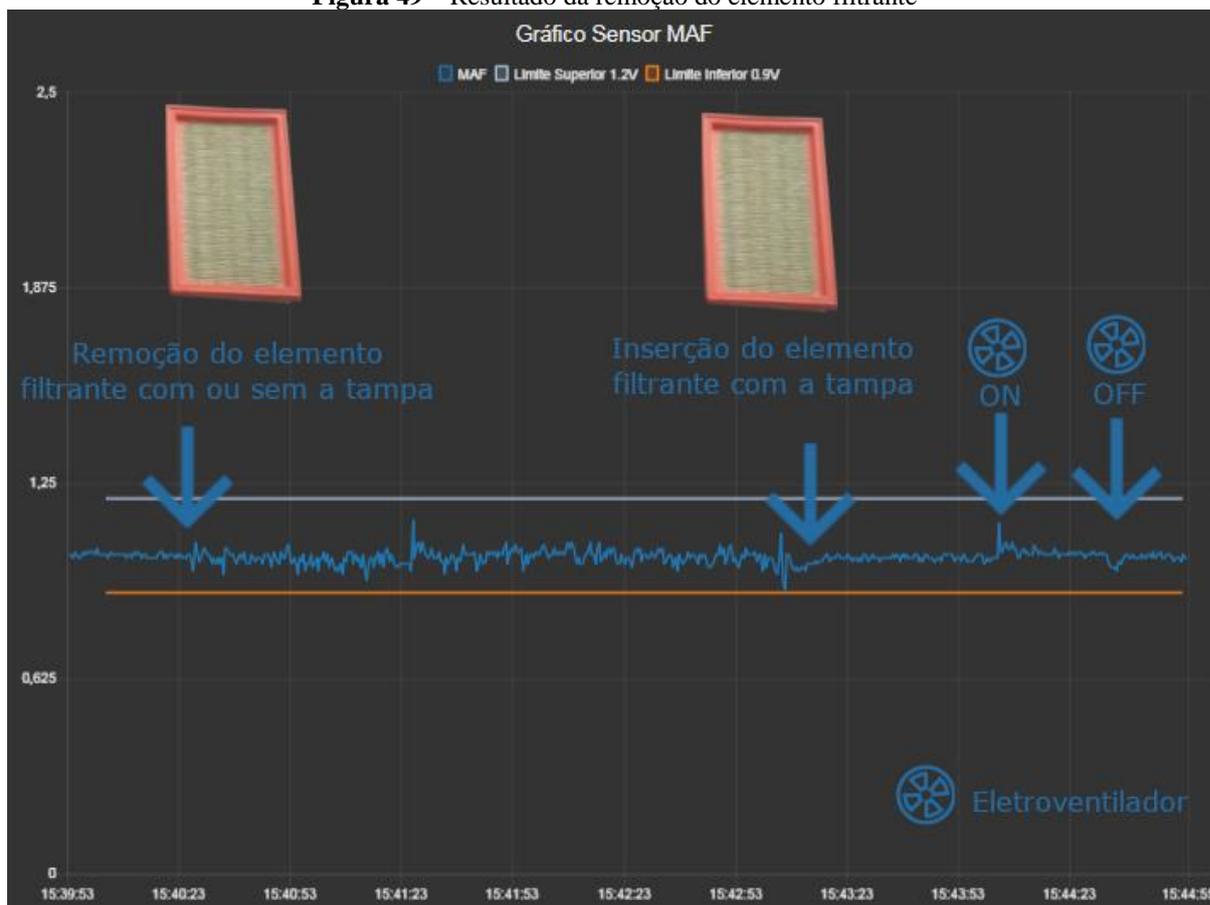
Figura 48 –Análise com Excel do trecho de operação em lenta com acionamento do eletroventilador



Fonte: Autoria própria

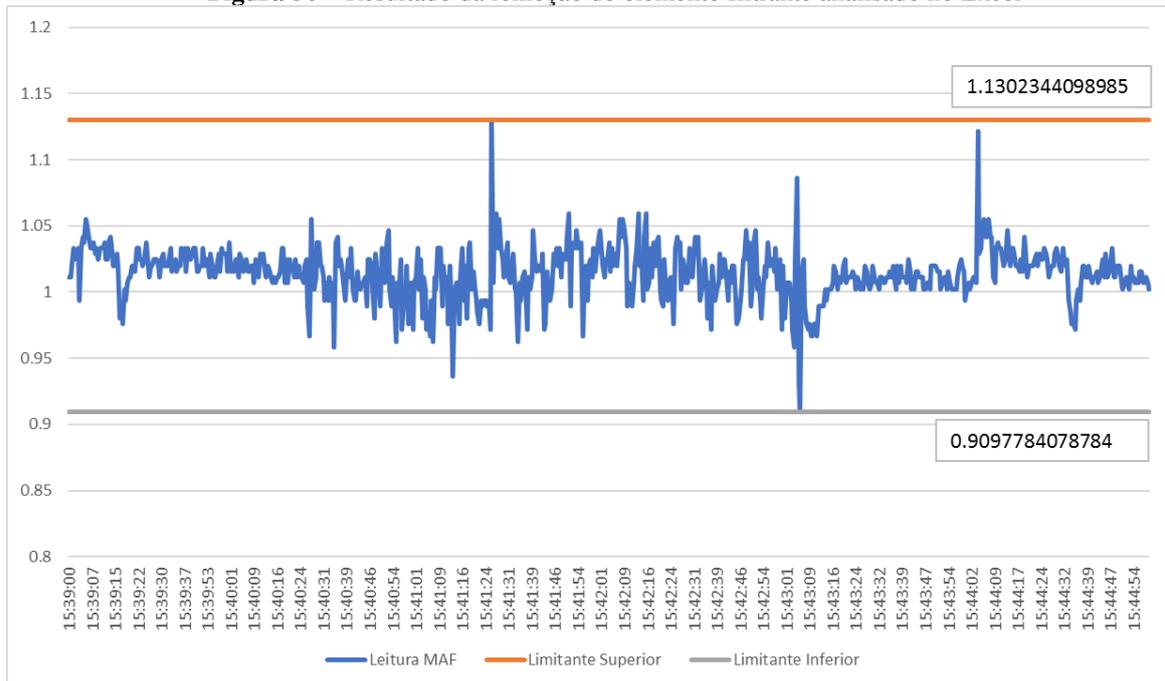
O elemento filtrante foi removido com o carro em funcionamento, a partir disto, foi observado um aumento na amplitude da leitura do sensor MAF, porém dentro dos limites de operação informados no manual, com a inserção do filtro e a tampa a leitura retornou à condição normal de operação como apresentado na Figura 51.

Figura 49 – Resultado da remoção do elemento filtrante



Fonte: Autoria própria

Com a análise dos dados apresentados na Figura 49 no Excel, percebemos que a variação máxima na oscilação causada pelo filtro de ar é 0.2204560020201 volts, porém o limite superior (1.1302344098985V) é muito próximo ao causado pelo acionamento do eletroventilador (1.1390526499793V), conforme Figura 50.

Figura 50 – Resultado da remoção do elemento filtrante analisado no Excel

Fonte: Autoria própria

A remoção da caixa porta filtro implica na remoção do sensor, portanto não foi removida de sua posição.

O próximo passo foi a desconexão da mangueira que conecta a caixa porta filtro ao corpo de aceleração. Com a desconexão da mangueira e seu deslocamento lateral, é observada uma significativa queda, com valores próximos a tensão característica da chave na posição ON (0.4 volts), porém com amplitude de oscilação maior que o normal, onde os picos mostram o acionamento do eletroventilador na Figura 51.

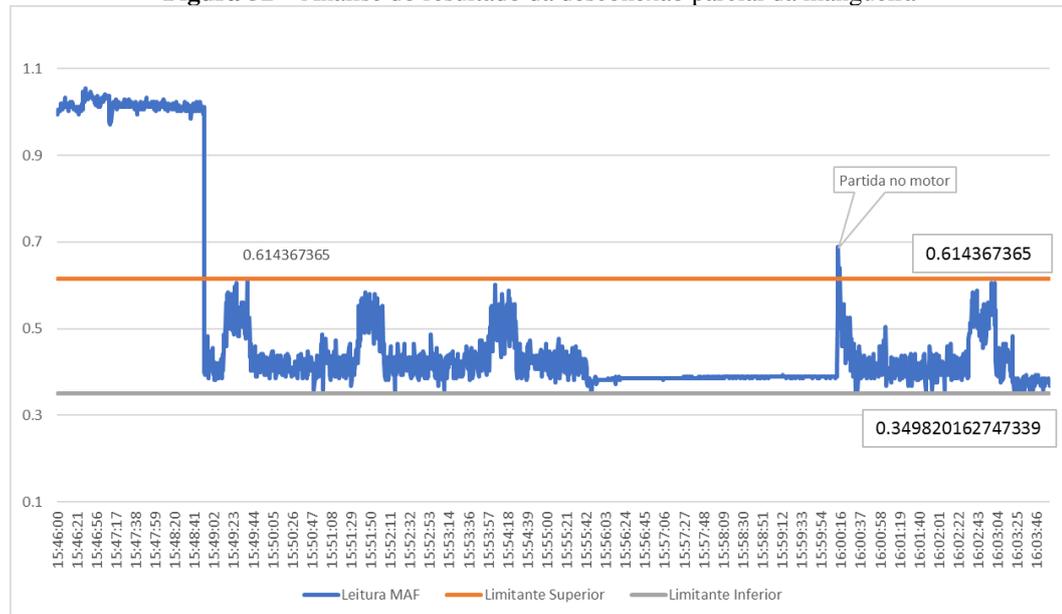
Figura 51 – Resultado da desconexão e remoção da mangueira



Fonte: Autoria própria (NODE-RED, 2018)

Ao desligar o veículo e manter a chave na posição ON é possível observar o comportamento linear da tensão elétrica, sem oscilações e, portanto, simples de distinguir o comportamento de ignição ligada para mangueira desconectada. Após ligar o motor e observar o mesmo comportamento a mangueira foi completamente removida, percebeu-se a redução da amplitude, porém o comportamento não é linear, ocorrem flutuações na leitura onde é possível identificar os acionamentos do eletroventilador.

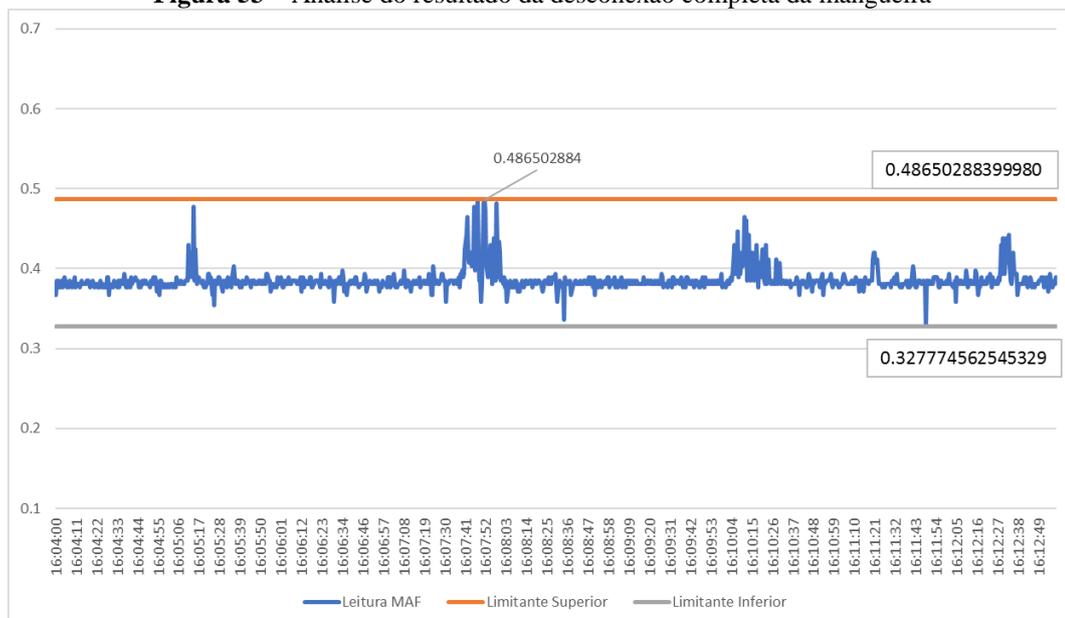
Figura 52 – Análise do resultado da desconexão parcial da mangueira



Fonte: Autoria própria

Analisando a característica do comportamento para quando a mangueira é parcialmente desconectada podemos observar a faixa de operação característica desta falha pela delimitação da Figura 52, incluindo os momentos de acionamento do eletroventilador, onde a oscilação máxima é 0.264547202252661 volts.

Figura 53 – Análise do resultado da desconexão completa da mangueira



Fonte: Autoria própria

Com a mangueira totalmente desconectada, a região de operação com os acionamentos do eletroventilador, compreende a faixa delimitada na Figura 53, com oscilação máxima de 0.158728321454474 volts.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentam-se o protocolo MQTT como um mecanismo de comunicação de dados que permite consolidar as tendências e novidades relacionadas a Indústria 4.0, quando aplicadas em sensores utilizados em motores a combustão interna. A utilização do protocolo de comunicação MQTT consiste em uma abordagem para atender uma nova demanda de digitalização de dados em tempo real, que requer a padronização da coleta de dados e tomada de decisões mais precisas e autônomas, aumentando a competitividade graças redução de perdas em motores ou máquinas.

O resultado da análise mostra um grande potencial na aplicação do protocolo MQTT e também que este configura uma solução tangível para implementação em sensores de veículos automotores, por ser um protocolo leve permite comunicação rápida, utilizando dispositivos com baixo poder de processamento, ampliando os horizontes para o ramo automotivo.

Com o resultado deste trabalho fica evidente a capacidade de diagnosticar falhas em componentes mecânicos como desconexão total ou parcial em mangueiras, problemas de vedação do elemento filtrante, entre outras, através do monitoramento do sensor MAF. Em uma análise mais aprofundada, utilizando de aplicações com múltiplos sensores conectados a detecção de falhas poderá tornar-se muito mais complexa e assertiva, considerando que a detecção será baseada em vários parâmetros distintos de funcionamento.

Potenciais aplicações futuras são o diagnóstico em tempo real através de algoritmos que identifiquem ou antecipe a ocorrência de falhas através do monitoramento do funcionamento do veículo, possibilitando a tomada de decisão autônoma ou auxiliando na tomada de decisão do ser humano.

Fabricantes de veículos poderiam utilizar-se de dados transmitidos pela internet para coletar dados de operação e utiliza-los em projetos futuros diminuindo a probabilidade perpetuação de erros e recall, utilizar-se da Internet para corrigir dados de programação. Por exemplo, a adição de etanol na gasolina regulamentada pela Lei N°8.723, de 1993 e o aumento gradual do percentual por meio de decretos elevou o percentual para 27% que se mantém desde março de 2015, fato que não afeta o funcionamento de motores flex, porém os motores alimentados exclusivamente a gasolina certamente sofreram alterações. Com soluções IoT este impacto poderia ser mensurado e observado com maior clareza, onde inclusive eventuais reprogramações poderiam ser realizadas via Internet.

Aplicações IoT em sensores torna possível também o diagnóstico remoto, onde uma equipe de especialistas pode ter acesso a todos os parâmetros de funcionamento de um motor mesmo a quilômetros de distância, de maneira rápida e confiável.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **Arduino - Software**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>>. Acesso em: 9 dez. 2018
- BEEVI, M. J. **A fair survey on Internet of Things (IoT)**. 2016 International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS). **Anais...IEEE**, fev. 2016 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7603005/>>. Acesso em: 4 nov. 2017
- BIN ARIS, I.; SAHBUSDIN, R. K. Z.; AMIN, A. F. M. Impacts of IoT and big data to automotive industry. **2015 10th Asian Control Conference (ASCC)**, p. 1–5, maio 2015.
- BRUNETTI, F. **Motores De Combustao Interna**. [s.l.] EDGARD BLUCHER, 2012.
- CARIGNANI, M. et al. **A prototype bridge between automotive and the IoT**. 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). **Anais...IEEE**, dez. 2015 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7389019/>>. Acesso em: 29 out. 2017
- CORRIGAN, S. Introduction to the controller area network (CAN). **Texas Instrument, Application Report**, 2008.
- DOU, R.; NAN, G. Optimizing Sensor Network Coverage and Regional Connectivity in Industrial IoT Systems. **IEEE Systems Journal**, v. 11, n. 3, p. 1351–1360, set. 2017.
- ETSI. **TR 103 375 - V1.1.1 - SmartM2M; IoT Standards landscape and future evolutions**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.etsi.org/standards-search>>. Acesso em: 5 nov. 2017.
- EVANS, D. **How the Internet of Everything Will Change the World...for the Better #IoE [Infographic]**. Disponível em: <<https://blogs.cisco.com/digital/how-the-internet-of-everything-will-change-the-worldfor-the-better-infographic>>. Acesso em: 11 dez. 2017.
- FRITZING. **Fritzing Download**, 2016. Disponível em: <<http://fritzing.org/download/0.9.3b>>. Acesso em: 9 dez. 2018
- GANESAN, V. **Internal combustion engines**. [s.l.] McGraw Hill Education (India) Pvt Ltd, 2012.
- GUIMARÃES, A. DE A.; SARAIVA, A. M. O protocolo CAN: entendendo e implementando uma rede de comunicação serial de dados baseada no barramento “Controller Area Network”. **Society of Automotive Engineers**, p. 1–10, 2002.
- HATCH, S. V. **Computerized engine controls**. [s.l.] Cengage Learning, 2016.
- HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. 1988.
- IEDI. **ESTRATÉGIAS NACIONAIS PARA A INDÚSTRIA 4.0**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180705-estrategias_nacionais_para_a_industria_4_0.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2018.

Indústria 4.0: Internet das coisas | Firjan. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0.htm#pubAlign>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

LAYA, A. et al. Green MTC, M2M, Internet of Things. In: **Green Communications**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p. 217–236.

LIRA NUÑEZ D.; BORSATO M. Dependability Modeling for the Failure Prognostics. **Transdisciplinary Engineering: Crossing Boundaries**, v. 4, p. 885–894, 2016.

LU, X. et al. **Reaching 10-years of battery life for industrial IoT wireless sensor networks**. 2017 Symposium on VLSI Circuits. **Anais...IEEE**, jun. 2017 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8008550/>>. Acesso em: 29 out. 2017

MARKUS, O. **Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada, teoria e exercícios**. [s.l.] Editora Érica, 2011.

MTE THOMSON. **Informações Técnicas - Medidor de Fluxo de Ar**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/wp-content/uploads/2014/10/SENSOR-MAF-1.pdf>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

NISSAN. **Nissan Versa 2011 Factory Service Manuals**. Disponível em: <<https://www.nicoclub.com/FSM/Versa/2011/>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

Nissan Versa's at CarDomain.com. Disponível em: <<http://www.cardomain.com/ride/2451734/2007-nissan-versa/photo-gallery/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

NODE-RED. **Node-RED - JS Foundation**, [s.d.]. Disponível em: <<https://nodered.org/>>. Acesso em: 9 dez. 2018

NUÑEZ, D. L.; BORSATO, M. An ontology-based model for prognostics and health management of machines. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 33–46, jun. 2017.

ROTTA, F. **ABDI - Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil**. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **Homepages.Dcc.Ufmg.Br**, p. 52, 2016.

STRASSER, C.; TEICHMANN, R.; PFISTER, C. Condition based monitoring for industrial engines. **2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings**, p. 801–806, maio 2012.

TOYOTA MOTOR. **Overview ENGINE CONTROLS-INPUT SENSORS**. Disponível em: <<http://www.lovehorsepower.com/ToyotaPDFs/24.PDF>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

MOSQUITTO. **An open source MQTT broker**, [s.d.]. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>. Acesso em: 9 dez. 2018

TORQUE. **Torque Pro (OBD2) - Ian Hawkins**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.prowl.torque&hl=pt_BR>. Acesso em: 9 dez. 2018.

ABDI. **ABDI - Inteligência**. Disponível em: <<https://abdi.com.br/sobre>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Código Programado no módulo ESP8266 NodeMCU

```

#include <ESP8266WiFi.h> //Inclusão das bibliotecas
#include <WiFiClient.h> // Inclusão das bibliotecas
#include <PubSubClient.h> // Inclusão das bibliotecas

const char* SSID = "S*****"; //Seu SSID da Rede WIFI
const char* PASSWORD = "9*****"; // A Senha da Rede WIFI
const char* MQTT_SERVER = "192.168.0.100"; //IP do Broker (como o broker foi instalado
na rede local o ip é da rede interna)

int RAWanalogInput = 0; //Declaração da variável que armazena a leitura analógica convertida
em digital (0 corresponde a 0V e 1023 corresponde a 3.11V para este caso)
char msg[50]; //Variavel de texto, necessária para enviar a leitura como texto para o broker

WiFiClient CLIENT;
PubSubClient MQTT(CLIENT);

//CONFIGURAÇÃO DA INTERFACE DE REDE
void setupWIFI() {
  WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
  Serial.print("Conectando na rede: ");
  Serial.println(SSID);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
}

void setup(void) {
  Serial.begin(115200); //Permite o monitoramento serial do funcionamento do código na
velocidade 115200
  setupWIFI();
  MQTT.setServer(MQTT_SERVER, 1883); //Conecta ao broker na porta 1883
}

//Enquanto não conectar ao broker o código tentará realizar a conexão
void reconectar() {
  while (!MQTT.connected()) {
    Serial.println("Conectando ao Broker MQTT."); //Exibe mensagem quando monitoramento
serial por usb é utilizado
    if (MQTT.connect("ESP8266")) {
      Serial.println("Conectado com Sucesso ao Broker"); //Exibe mensagem quando
monitoramento serial por usb é utilizado
    } else {
      Serial.print("Falha ao Conectador, rc="); //Exibe mensagem quando monitoramento serial
por usb é utilizado
      Serial.print(MQTT.state());
    }
  }
}

```

```
    Serial.println(" tentando se reconectar...");//Exibe mensagem quando monitoramento serial
por usb é utilizado
    delay(3000);
  }
}
}
void loop(void) {
  if (!MQTT.connected()) { //Verifica se esta conectado a cada loop, caso não esteja encaminha
para função reconectar
    reconectar();
  }
  MQTT.loop();

  RAWanalogInput = analogRead(A0); //Obtém a leitura na porta A0 do ESP8266
  dtostrf(RAWanalogInput,3, 2, msg); //Converte a variável do tipo inteiro em string (texto)
  Serial.print("Mensagem a ser Puplicada: ");Serial.println(msg); //Exibe mensagem quando
monitoramento serial por usb é utilizado
  MQTT.publish("veiculo/motor/admissao/maf_sensor", msg);// Publica o valor lido no tópico
veiculo/motor/admissao/maf_sensor no broker
  delay(500); // Espera meio segundo para reiniciar o loop
}
```