

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCI-
AMENTO ELETRÔNICO EM CÉLULA DE HI-
DROGÊNIO INSTALADA EM VEÍCULO FLEX**

Santo André – São Paulo

2018

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Rivelino Alessandro de Oliveira

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCI-
AMENTO ELETRÔNICO EM CÉLULA DE HI-
DROGÊNIO INSTALADA EM VEÍCULO FLEX**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, como requisito parcial para conclusão do curso em Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Professor Paulo Tetsuo Hoashi

Santo André – São Paulo

2018

O482i

Oliveira, Rivelino Alessandro de
Implementação do sistema de gerenciamento eletrônico em
célula de hidrogênio instalada em veículo flex / Rivelino
Alessandro de Oliveira. - Santo André, 2018. – 61f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Paulo Tetsuo Hoashi

1. Eletrônica. 2. Hidrogênio. 3. Célula de combustível. 4.
Veículos flex. 5. Gerenciamento eletrônico. 6. Microcontrolador.
7. Software. 8. Sonda lambda. 9. Injeção. I. Implementação do
sistema de gerenciamento eletrônico em célula de hidrogênio
instalada em veículo flex.

621.389

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 11 DE DEZEMBRO DE 2018.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
"Implementação do sistema de gerenciamento eletrônico em
célula de hidrogênio instalada em veículo flex" DO ALUNO DO
6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. PAULO TETSUO HOASHI



MEMBROS:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO



PROF. CLEBER WILLIAM GOMES

**ALUNOS:**

RIVELINO ALESSANDRO DE OLIVEIRA



Dedico este projeto a todos que procuram meios alternativos à combustíveis fósseis, para um Mundo com menos poluentes.

AGRADECIMENTOS

A todos os docentes que nos trouxeram conhecimento no decorrer do curso e aqueles que apoiaram e ajudaram no desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

O emprego de Hidrogênio *On demand* é uma realidade em diversos lugares do Mundo onde entusiastas ou curiosos descobriram esta fonte de combustível de alta eficiência, segura e relativamente barata. Através de uma célula feita em PVC composta internamente por placas de aço inoxidável 316 L imersas em solução eletrólito a 100%, conectadas à bateria de veículo e acionadas por circuito paralelo à bomba de combustível, a célula entra em funcionamento. O controle eletrônico básico da injeção de hidrogênio compreende a redução de combustível injetado no sistema versus a corrente injetada na célula de combustível controlada por sinal PWM. Com a necessidade de implementar um sistema de software que intercepte o sinal positivo da sonda lambda, modifique este sinal senoidal e o repasse modificado, no intuito de fazer com que o sistema de injeção receba este sinal da lambda correspondente a uma mistura rica, de por exemplo 5:1, cinco partes de ar para uma de combustível e empobreça a mistura, a qual será compensada pela injeção de hidrogênio no coletor de admissão.

Palavras-chaves: Hidrogênio, CCPWM, Célula de combustível, microcontrolador, software.

ABSTRACT

The use on demand of Hydrogen is a reality in many places in the world where enthusiasts or curious found this source of fuel high efficiency, safe and relatively inexpensive. A cell made with PVC-called internally with stainless steel plates 316L immersed in electrolyte solution 100%, connected to the vehicle battery and driven by the parallel circuit to the fuel pump, the cell is ON. The basic electronic control comprises hydrogen injection to reduce fuel injected into the system versus injected current in the fuel cell controlled by the PWM signal. With the need to implement a software system that intercepts the positive signal of lambda probe, modify this sinusoidal signal and the modified transfer in order to cause the injection system to receive this lambda signal corresponding to a rich mixture, of for example 5 : 1, five air parts to one fuel parts to lean the mixture, which will be compensated by injection of hydrogen into the intake manifold.

Keywords: Hydrogen, CCPWM, Fuel Cell, microcontroller, software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mecanismo de funcionamento da célula de combustível	10
Figura 2 – Componentes da célula	13
Figura 3 – Vista interna da célula.....	14
Figura 4 - Célula HHO - Citroen C3 2006 1.4 8V.....	15
Figura 5 – Projeto de um CCPWM - Constant Current Power Supply Using Pulse Width Modulation.....	16
Figura 6 – Medidor de fluxo de Massa Coriolis.....	16
Figura 7 – Gráficos comparativos Testes 1,2 e 3.....	20
Figura 8 - Chip conectado à porta OBDII instalada no painel do C3	22
Figura 9 – Sensor magnético, substituto do “ <i>platinado</i> ”, utilizando uma bobina para detectar os campos magnéticos	31
Figura 10 – O semicondutor sob a ação do campo magnético.....	32
Figura 11 – Sensor comum de Efeito Hall.....	32
Figura 12 – Com uso de ímã tripolar.	33
Figura 13 – Com uso de ímã tripolar.	34
Figura 14 – Com uso de objeto com dois ímãs.....	34
Figura 15 – Movimento de objeto de forma lateral utilizando dois ímãs.....	35
Figura 16 – Com emprego de ímã rotativo.	35
Figura 17 – Detectando a passagem de materiais diamagnéticos.....	36
Figura 18 – Emissão de gases tóxicos resultantes de queima incompleta em um veículo ciclo Otto.....	36
Figura 19 – A queima da gasolina (as cadeias CH têm diversos comprimentos na gasolina). 37	
Figura 20 – Sensor de óxido de zircônio.	38
Figura 21 – Sensor de óxido de Ítrio.....	39
Figura 22 – Circuito para amplificador operacional	39
Figura 23 – Curva de resposta do circuito da figura 22.....	40
Figura 24 – Sensor de Oxigênio.....	40
Figura 25 – Funcionamento do Sensor de Oxigênio	41
Figura 26 – Fluxograma do software da rotina principal.....	43
Figura 27 – Subrotina da Leitura de Rotação.....	44

Figura 28 – Subrotina da Leitura de Tensão	45
Figura 29 - Placa Prof ^o Edson.....	46
Figura 30 - Placa Prof ^o Edson - 2.....	47
Figura 31 - Placa Prof ^o Edson - 3.....	47
Figura 32 - Placa Circuito Conversor de frequência para tensão.	49
Figura 33 – Circuito do NE555P , amplificador de sinal BC548B e conversor de frequência para tensão LM2917N-8 representado no software Proteus.....	49
Figura 34 – Conversor de frequência para tensão LM2917N-8.....	50
Figura 35 – Curva de transferência de rotação x tensão.	51
Figura 36 – Circuito da placa Base do Prof.º Edson, utilizada no projeto	52
Figura 37 – Circuito Geral de todas as placas conectadas, com uso do software Proteus.	53
Figura 38 – Circuito da placa Base do Prof.º Wesley, utilizada no projeto.....	54
Figura 39 – Placas e Circuito de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), em medição para marcha lenta em 1192rpm (esquerda) e já com 0,8 vezes o Duty cycle para acima de 1200rpm, com 1356rpm. Lambda permanece com 0,234 mV.	55
Figura 40 – Placas de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), com 0,8 vezes o Duty cycle em medição para marcha de cruzeiro em 3042rpm (esquerda) e para 3694rpm. Lambda varia de 0,461mV a 0474mV.	56
Figura 41– Placas e Circuito de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), ambas com fator 1 vezes o Duty cycle em medição para marcha de exigência de torque em 4347rpm (esquerda) e para aceleração máxima, com 6523rpm. Lambda varia de 0,483mV a 0941mV.	57
Figura 42 – Diagrama de processo da célula HHO	59

LISTA DE QUADROS

<u>Quadro 1 – Teste 1</u>	17
<u>Quadro 2 – Teste 2</u>	18
<u>Quadro 3 – Teste 3 – com controle</u>	19
<u>Quadro 4 – Dados aquisitados do Circuito Conversor de frequência para tensão com amplificador de sinal. (Fonte: O Autor, Nov 2018)</u>	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

Termos Automotive Glossário.

AFR: ar / combustível. Também ar / combustível sensor Ratio.

AFS: Ar / Sensor relação do combustível. Também escrito "A / FS".

CCPWM: Pulso modulado com corrente constante.

CEL: Check Engine Light. A luz de problemas no motor, que se acende no painel quando o ECU detecta uma condição de erro. Veja DTC.

COP: bobina sobre vela. Um sistema de ignição que não requer cabos de vela, é uma bobina montado diretamente em cada vela de ignição.

CTS: sensor de temperatura do líquido de arrefecimento.

DIS: Sistemas Distribuidor de Ignição. Sistemas eletrônicos, em vez de um distribuidor mecânico para o cálculo e entrega da centelha da ignição.

DTC: Código Diagnostic Trouble. O número de código que a ECU dá-lhe para ajudar diagnosticar uma condição de erro. Para 1996 e mais novos veículos, estes podem ser lidos por padrão leitores OBD-II. veículos mais velhos podem ter um sistema para iniciar um código intermitente, em que os números de erro são lidos pelo número de piscadas do Check Engine Light.

MEC: Engine Control Module. Também Módulo de Controle Eletrônico. Veja ECU.

ECT: Sensor de temperatura do líquido refrigerante do Motor. Também chamado de CTS (Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento).

ECU: Unidade de Controle Motor. O computador do veículo. É muitas vezes chamado por outros nomes, mas ECU parece ser a mais comum. Veja ECM, PCM e outros. EFI: Injeção eletrônica de combustível.

EFIE: Potenciador da Injeção Electrónica de Combustível. Um dispositivo usado para modificar o sinal de um sensor de oxigênio, para que a ECU empobreça a mistura de combustível.

EOP: Sensor de pressão do Óleo do motor.

HEGO: sensor de oxigênio aquecido dos gases de escape. Outro nome para um sensor de oxigênio.

HHO: Célula de hidrogênio

IAT: Sensor de temperatura da entrada de ar.

MAF: Sensor de fluxo da Massa de ar. Mede a quantidade de ar que entra no motor.

MAP: Sensor de pressão absoluta no coletor de admissão. Mede a pressão no interior do coletor de admissão do ar. O ECU compara-o ao sensor de pressão barométrica (pressão do ar externo) para determinar a diferença entre a pressão no coletor, e pressão do ar exterior.

MAT: Temperatura do ar no coletor de admissão.

MIL: Luz indicadora de mau funcionamento. Igual a CEL (Check Engine Light). Veja acima.

MMW: Mililitros por minuto por watt de energia consumida.

O2S: sensor de oxigênio.

OBD-II: Sistema On-Board Diagnostic. Antes de 1996 os sistemas eram proprietários de cada fabricante. 01 de janeiro de 1996 marcou o início de uma norma obrigatória para todos os veículos novos, para que entrassem em conformidade. Este foi o OBD-II. Agora, o mesmo leitor pode se conectar em qualquer carro e ler suas informações, incluindo leituras de sensores do motor, os códigos de problemas.

PCM: Powertrain Control Module. O computador. Veja ECU.

PCV: ventilação positiva do cárter. Também válvula PCV.

Estequiométricos (vem do grego stoikheion (elemento) e metriā (medida, **de** metron).

- É a combustão perfeita teórica; Proporção de 1 parte de combustível para 14,7 partes de ar para gasolina e 1:9 partes para combustível álcool.

PWM: Pulso modulado.

TPS: Sensor de posição do acelerador.

VCM: Módulo de Controle de Veículos. No entanto, outro nome para a ECU.

VSS: sensor de velocidade do veículo.

WOT: Wide Open sensor do acelerado.

SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....	1
2. MOTIVAÇÃO.....	2
3. METODOLOGIA.....	2
4. INTRODUÇÃO.....	3
5. HISTÓRICO.....	4
5.1 CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL : CLASSIFICAÇÃO.....	5
Célula a Combustível - energia elétrica a partir do hidrogênio.....	6
6. HIDROGÊNIO.....	7
7. ELETRÓLITO.....	12
8. CONTROLE DA CÉLULA – ESTUDO DE CASO.....	15
9. DISPOSITIVO EFIE (Empobrecedor da Injeção Eletrônica de combustível para sensores O2 de banda estreita).....	23
10. OUTRAS MODIFICAÇÕES POSSÍVEIS.....	25
10.1 ESTUDOS PARA APLICAÇÕES EM MOTORES DIESEL.....	27
10.2 ESTUDOS PARA APLICAÇÕES EM MOTORES CARBURADOS.....	29
11. SENSOR HALL E SONDA LAMBDA.....	30
11. 1 SENSOR HALL.....	30
11. 2 SENSOR DE OXIGÊNIO “EGO” - LAMBDA.....	36
11.3 RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL IDEAL.....	40
11.4 FUNCIONAMENTO DO SENSOR DE COMBUSTÍVEL.....	41
11.5 LOCALIZAÇÃO DO SENSOR LAMBDA.....	41
12. PROJETO.....	42
13. APLICABILIDADE E BENEFÍCIOS.....	58
14. CONCLUSÃO.....	60
15. BIBLIOGRAFIA.....	61

1. OBJETIVO

Este trabalho compreende o desenvolvimento de um *software* para modificação do sinal da sonda lambda e repasse deste sinal modificado à ECU, para reduzir a injeção de combustível no sistema, utilizando o gás hidrogênio em seu lugar.

Quando o hidrogênio é submetido a eletrólise, este divide-se em duas moléculas de H e uma molécula de O, onde a sonda lambda receberá uma leitura contendo mais oxigênio nos gases do sistema de escape e fazer o sistema interpretar que a mistura está excessivamente pobre e com esta leitura irá inserir imediatamente mais combustível no próximo ciclo de trabalho e fazer o veículo gastar mais combustível. Surgiu então a idéia de se controlar ou reduzir a leitura desta quantidade de oxigênio informado a ECU do veículo através da interceptação do sinal do sensor de oxigênio, adequá-lo de forma a mistura combustível gaseificado e hidrogênio produzirem trabalho da forma mais eficiente possível. O PIC18F4550 utilizado, irá coletar o sinal da sonda lambda através da entrada analógica AN0, o sinal de rotação por entrada analógica AN1 e deve emitir um sinal analógico de saída em PWM com a tensão 0-800mV corrigido, pela saída RC1, para empobrecer de forma controlada a mistura injetada na câmara de combustão através do *Duty Cycle* em 0,6 a 0,8 vezes a entrada do sinal da sonda lambda. A célula irá trabalhar sempre na máxima produção de hidrogênio e a modificação do sinal da sonda lambda compensará a menor ou maior injeção de combustível injetado conforme a necessidade do motor.

Após os sistemas de alimentação de combustível líquido (gasolina ou álcool) e o de gás hidrogênio estarem operando sincronamente, a intenção é homologar a sua arquitetura para ser instalado em qualquer veículo, de forma simples e prática, popularizando o sistema de hidrogênio como alternativa, evidenciando seu funcionamento seguro e com acréscimo de vida útil ao motor.

2. MOTIVAÇÃO

O custo cada vez maior dos combustíveis fósseis e do metanol acaba por justificar a introdução de combustíveis alternativos; A injeção paralela na linha combustível original do gás hidrogênio, aumenta a eficiência do combustível líquido.

Cada veículo possui um software padrão de sua montadora, e com a adequação dos sinais oriundos da sonda lambda ajustados a ECU original do veículo, consegue-se aplicar uma célula (eletrolizador) a qualquer veículo.

Considerando-se o valor dos combustíveis hoje, o fato de se obter uma autonomia média maior de até 100 por cento o rendimento originalmente alcançado pelo veículo, justifica-se a implementação do sistema. No final das contas, o emprego do sistema completo de hidrogênio mais a sua instalação no veículo terá custo de aquisição pago em menos de um ano de utilização, proporcionando uma economia de no mínimo 50% de combustível.

3. METODOLOGIA

Este projeto é composto por uma célula de fabricação caseira, composta por placas de aço 316 L, tubos e tampas de PVC, mangueiras plásticas e pequenos reservatórios de PED, de baixo custo. A composição eletrônica constitui um PIC18F4550, que irá coletar o sinal da lambda via entrada AN0, o sinal de rotação (onda quadrada) com auxílio de um circuito conversor frequência para tensão amplificado que deve emitir um sinal de saída PWM CCP2 (RC1) com a tensão 0-800mV corrigido, para empobrecer de forma controlada a mistura injetada na câmara de combustão. A célula irá trabalhar em 2 posições, (OFF) desligada: Rotação < 1200 RPM e (ON), ligada para Rotação >1200. A modificação do sinal da sonda lambda causará uma menor injeção de combustível que será compensado com a injeção de hidrogênio e a menor ou maior injeção de combustível injetado conforme a necessidade do motor. Em operação de fase de aquecimento, CUT-OFF ou máxima solicitação do pedal do acelerador, o sinal da sonda lambda entrará em by pass.

Quando a célula de combustível entra em funcionamento, esta que é um eletrolizador, inicia a quebra da água (H_2O), produzindo 2 moléculas de H para uma de O. Então o hidrogênio irá ser introduzido no coletor de admissão, junto com o oxigênio da eletrólise somado ao oxigênio coletado da atmosfera. Após o ciclo da combustão, a sonda lambda lê a quantidade de oxigênio de pós queima e fornece informações de correção para mistura se tornar mais rica ou mais pobre, em malha fechada. Então o nível de tensão captado da Sonda Lambda, entra no PIC e é modificado efetuando a correção do teor de oxigênio medido pela mesma e o repassa a ECU de forma a manter a mistura “*aparentemente*” estequiométrica no sistema, em via de regra considerando-a muito rica para que a ECU, para que sendo inserido o hidrogênio no lugar deste combustível, reduza-o. Para iniciar o experimento, utilizaremos um fator de correção de 0,8 vezes a tensão inicial da lambda, assim, tudo que a ECU receber será 20% menor que o original entre as rotações de 1200 rpm e 4200 rpm.

Os softwares utilizados são os utilizados em classe para confecção, teste e up-load para o PIC, como o MPLab X IDE, XC8 e BootLoader.

Ao acionar a partida, a bomba elétrica será acionada e começará a produção do hidrogênio. Efetuando a leitura do nível de oxigênio da sonda lambda, o sinal irá para o PIC e este sinal será modificado e corrigido, reduzindo a quantidade de combustível, economizando-o.

4. INTRODUÇÃO

A necessidade cada vez maior de se produzirem veículos menos poluentes e mais econômicos, levou a indústria a gastar rios de dinheiro para produzir motores mais eficientes. O Down Size está cada vez mais presente, seja no popular ou no veículo médio, mudando-se apenas o emprego de um motor de por exemplo, tri cilíndrico com tecnologias de pistão forjado, injeção sequencial, bobinas(canetas) de injeção ao invés de ligações vela/bobina por cabos de velas, etc. E para veículos médios, adota-se soluções utilizando-se o mesmo bloco tri cilíndrico mas com emprego da injeção direta, que melhora a mistura e um turbo compressor, melhorando significativamente a eficiência de admissão de ar na câmara de combustão, possibilitando uma mistura menos rica, mas com aumento de potência.

Mas o emprego de fontes alternativas de combustível está evoluindo a cada dia e estamos recebendo cada vez mais veículos híbridos, 100% elétricos a bateria, alternativos como o movido a ar (que indiretamente é elétrico pois depende de um compressor movido a eletricidade) elétricos com placas solares, e vários que são beneficiados por injeção de hidrogênio. Mas é sabido que se toda a frota de veículos movidos a combustíveis fósseis fossem trocados por veículos elétricos, nossa matriz energética não teria capacidade de suprir tal demanda. Então, os fósseis ainda permanecerão por algum tempo, e por que não, auxiliados por hidrogênio?

Este trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

- **Histórico:** será abordada a evolução das células de hidrogênio “on demand” e outras;
- **Eletrólito:** Abordagem sobre a importância da proporção correta para máxima eficiência da geração do gás;
- **Controle da célula:** aspectos necessários para manter sempre o controle da produção do gás com segurança, economia e em conformidade com o meio ambiente;
- **Projeto:** Concepção das ferramentas de software, assim como o hardware utilizado para o sistema de aplicação do hidrogênio ao motor;
- **Segurança e custo:** Considerações para utilização do hidrogênio como combustível complementar na aplicação do ciclo neste projeto;
- **Conclusão:** Resultados, considerações finais e trabalhos futuros.

5. HISTÓRICO

Temos publicações de que a primeira célula de combustível foi desenvolvida no século XIX por volta de 1839 por Sir William Grove, em esboço publicado em 1843. Até 1960, as Células de combustível não tiveram aplicação, quando passaram a ser empregadas em programa espaciais norte americanos para gerar eletricidade e água potável (hidrogênio e oxigênio provenientes de tanques do foguete), de maneira muito cara por conta das células exigirem hidrogênio e oxigênio de grande pureza.

As células adquiriam temperaturas altíssimas ao começar a funcionar, gerando problema em diversas aplicações. Com os avanços da tecnologia entre 1980 e 1990,

desenvolveu-se um eletrodo produzido em Nafion como catalizador em substituição a platina, barateando o uso das células por pessoas comuns em automóveis. Atualmente, empresas como Casio anunciam o lançamento de células de combustível DMFC para eletroeletrônicos que podem ser abastecidos com álcool metanol, substituindo baterias de lítio com ampliação da durabilidade média de 3 horas para 20 horas, onde seria trocado um cartucho vazio por outro cheio de álcool, após esgotado. Outra empresa, a MTI Micro anuncia um carregador de baterias movido a célula de combustível.

5.1 CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL : CLASSIFICAÇÃO

As grandes possibilidades desta tecnologia levaram a uma infinidade de soluções e ao aparecimento de diversas maneiras de funcionamento, produção ou modo de utilização. Abaixo, seguem alguns modelos e tipos existentes na praça até o término deste trabalho:

Quanto aos eletrodos

Os eletrodos são a estruturação do catodo e anodo. Eles podem ser dos tipos:

- fase de operação
 - duas fases : gás e sólido.
 - três fases : gás; sólido e líquido.
- geometria
 - plana
 - tubular

Tecnologias de funcionamento de Células a Combustível

- PEMFC
- SOFC
- AFC
- PAFC
- dentre outras.

Pelo tipo de eletrólito: O eletrólito é, por definição, toda substância que dissociada ou ionizada conduz íons ou corrente elétrica. Os eletrólitos podem ser:

- ácidos – ex: AFC
- alcalinos – ex: PAFC

- sólido – ex: SOFC
- líquido – ex: MCFC
- polimérico – ex: PEMFC.

Conforme o tipo de células de combustível, a faixa de temperatura de operação vai desde a temperatura ambiente à temperaturas próximas ao ponto de fusão da célula. Esta faixa se divide em três grupos:

baixa - de 90°C até 120°C (Nosso objeto de estudo se encontra neste grupo)

média - de 250°C até 450°C

alta - de 650°C até 1220°C

Os reagentes – O estado físico do combustível e do comburente, os processos de obtenção e empregos são formas de classificar as partes do processo:

- combustível
 - gasoso - ex.: hidrogênio
 - líquido - ex.: hidrocarbonetos
 - sólido - ex.: carvão : reação: $C+O_2 \rightarrow CO_2$
- oxidante
 - líquido - ex.: H_2O_2 (L)
 - gasoso - ex.: oxigênio
 - alimentação
 - pressão ambiente
 - sob pressão
- processo de obtenção
 - regenerativo
 - regenera os reagentes a partir dos produtos
 - ex.: eletrólise e reconstituição da água
 - integrado
 - estocagem de energia química (H_2) utilizando energia elétrica disponível na rede para posterior devolução no horário de pico
 - reator químico - redução ou oxidação de compostos orgânicos

Célula a Combustível - energia elétrica a partir do hidrogênio

Célula a Combustível é um transdutor eletroquímico e de operação contínua, que converte energia química em energia elétrica ao combinar um átomo de oxigênio a dois átomos de hidrogênio, produzindo água, energia elétrica e energia térmica. Opera com grande eficiência energética, pois transforma de forma direta energia química em

energia elétrica, sem perdas da conversão da energia química dos combustíveis fósseis como a gasolina, primeiro em energia térmica e depois em energia elétrica (e sem as limitações termodinâmicas desencadeadas pelo ciclo de Carnot).

A sua operação gera baixo impacto ambiental: não gera vibrações, pouco ruído, sem combustão, não emite particulados. Conforme a tecnologia, não emite gases estufa. E sobretudo, pretende-se eliminar a emissão de gases ácidos, com baixa poluição.

Tem operação contínua, pois diferente das baterias e pilhas químicas, gera energia elétrica enquanto existir abastecimento do combustível e do oxidante, sem nunca descarregar.

Quando em conjuntos são denominadas Pilhas de combustível, associação que se explica pois produzem correntes compatíveis com as atuais necessidades dos equipamentos modernos de grande demanda de carga.

Hidrogênio como combustível – A conversão da energia elétrica utilizado pelas pilhas a combustível opera em eletrólise reversa, combinando átomos de hidrogênio a átomos de oxigênio formando água. Este processo habilita o emprego de uma série de espécies químicas compostas quase totalmente por hidrogênio, a exemplo do gás hidrogênio, hidrocarbonetos de origem vegetal (etanol) ou mineral (gasolina).

Há muitos compostos químicos que funcionam como combustível para célula a combustível, onde se destacam o hidrogênio, metanol, etanol, hidrocarbonetos, dentre outros.

6. HIDROGÊNIO

Elemento químico conhecido de mais abundância na Terra, com a menor densidade. No seu isótopo mais típico, possui um próton e um elétron e ausência de nêutrons. Isto lhe faz único. Se estabiliza de duas maneiras:

1) Compartilhando um elétron, por meio de ligação molecular, com elemento da família dos não metais;

2) Recebendo um elétron por meio de ligação iônica com um elemento da família dos metais. Sua ligação com oxigênio ocorre da primeira maneira.

O combustível ideal para alimentar as células a combustível é o hidrogênio puro, mas seu uso não compensa devido ao custo de sua obtenção e dificuldades em armazenar, transportar e manusear este composto. Mesmo em sua forma líquida ou na forma de hidreto metálico há uma preocupação severa com segurança. Há uma forma de executar a reforma de metanol / etanol sendo estudada. Nada mais é do que o uso "On demand", onde o hidrogênio é separado da molécula do álcool no momento em que será inserido na célula. As vantagens desta tecnologia em relação à utilização do hidrogênio puro está no baixo custo, na sua compatibilidade com a atual infraestrutura existente de distribuição de combustível, pois o hidrogênio é gerado a partir da eletrólise da água destilada, armazenada em pequena quantidade (no máximo 700ml de solução onde cerca de 50% é água destilada consumida no processo) e cuja fonte de energia é o alternador, onde a bateria estará desacoplada por relé, acionado em paralelo pela bomba elétrica de combustível. A classe de PEMFC's é chamada por DEFC (*Direct Ethanol Fuel Cells*), que mesmo sendo considerada uma tecnologia promissora para aplicações veiculares, apresenta um grande desafio tecnológico para alcançar os níveis de corrente elétrica e potência atingidos pelas células que consomem o hidrogênio puro (inviáveis pelo alto custo, apesar de mais eficientes).

Há grandes estudos para se desenvolver pilhas a combustível com uso de hidrogênio puro como alternativa de combustível, pois há uma série de vantagens:

- Não há contaminação dos eletrodos em reações do eletrólito;
- Redução do número de componentes do sistema;
- Os hidrocarbonetos são processados de maneira ecológica;
- Aumento do rendimento do sistema em virtude da maior densidade do hidrogênio, etc.

O hidrogênio é gerado no lado do anodo. Este composto é encontrado na natureza sempre combinado com outro elemento. Então, é necessário separá-los e, eventualmente, armazenar e transportar para ser utilizado como combustível, gerando gastos indiretos. São diversos os processos conhecidos e em estudo para este fim. Eletrólise da água, reforma de hidrocarbonetos ou de álcoois, gaseificação de biomassa, e outros, são processos para obtenção do hidrogênio.

Oxidantes

Oxidante é o agente ou substância química que cede elétrons numa reação química, responsável por causar oxidação.

Oxigênio

Muito abundante na atmosfera, com concentração acima de 20%, na forma gaseificado, é muito interessante sua utilização neste estado, pois elimina problemas na extração, transporte, estocagem, manutenção.

O oxigênio é fornecido no lado do catodo, é encontrado no ar em seu estado gasoso à pressão ambiente e em mistura homogênea.

(Fonte:<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>, Jun 2016)

Em nosso caso, é denominado veículo híbrido movido a hidrogênio e gasolina/etanol, que é um veículo de combustível complementado por outro alternativo ao utilizar hidrogênio molecular como fonte secundária de energia para locomoção.

Temos dois métodos de uso: Por conversão da célula de combustível e por combustão. Nosso veículo utiliza o hidrogênio como método da combustão, onde o hidrogênio se queima por ciclo Otto, da mesma forma que a gasolina, ou etanol. Já através da conversão da célula de combustível, o hidrogênio se transforma em eletricidade por meio de células de combustível que giram motores elétricos — nesse método a célula de combustível funciona tal como uma bateria.

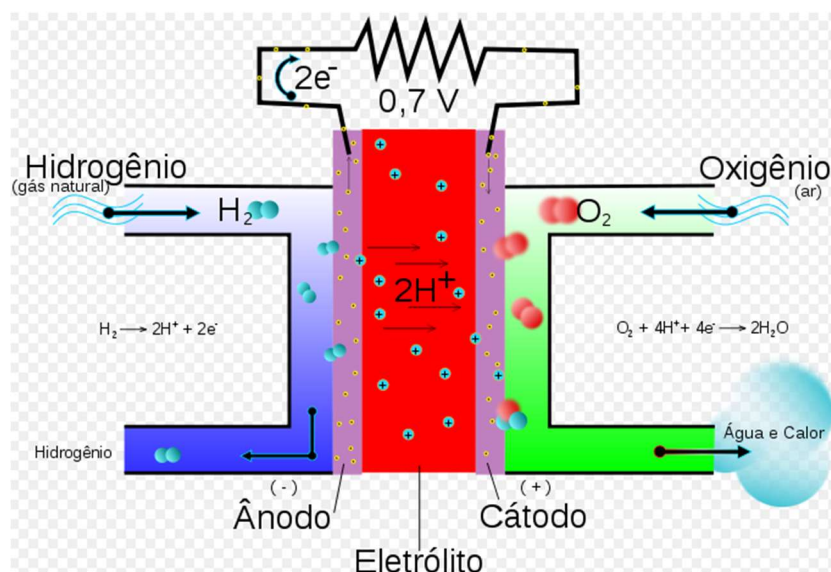
Veículos movidos com célula de combustível são considerados veículos com emissão zero de poluentes porque o único subproduto do hidrogênio consumido é a água.

Uma célula de combustível ou pilha de combustível (visto na Figura 1) é uma célula eletro química em que é consumido um composto redutor, denominado “combustível” e um agente comburente denominado “comburente”, cujo produto gera eletricidade empregada em um motor elétrico. Em uma célula de combustível, diferentemente de

pilhas ou baterias, os agentes químicos do processo são fornecidos e consumidos continuamente.

Em baterias e pilhas comuns os reagentes esgotam-se, onde alguns tipos são reversíveis e podem ser regenerados aplicando-se corrente elétrica (pilhas recarregáveis).

Figura 1 – Mecanismo de funcionamento da célula de combustível



(Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_de_combust%C3%A0vel, fev 2016)

As células de combustível têm a vantagem de serem altamente eficientes e pouco poluentes. Podem ser utilizadas como sistemas de emergência, em zonas onde não existe rede elétrica, em aparelhos portáteis e veículos. Sua desvantagem ainda é seu alto custo.

Atualmente o modelo mais desenvolvido tecnologicamente utiliza como reagentes o hidrogênio e o oxigênio.

O uso do hidrogênio como combustível é polêmico em várias aplicações, sendo que ele não é uma fonte primária de energia. Pode ser facilmente fabricado a partir de outras fontes de energia. Críticos que acompanham esta tecnologia dizem que a energia necessária para "criar" o combustível em primeiro lugar pode reduzir a eficiência final do sistema ficando pior que o mais eficiente motor de combustão interna a gasolina, e é verdade pois o hidrogênio é gerado pela eletrólise da água. Isto se traduz em

por exemplo, não valer a pena o seu veículo a gasolina/hidrogênio percorrer 20 quilômetros com um litro em relação aos 10 quilômetros originais com um eletrolisador que consuma uma corrente acima da carga máxima projetada como demanda a ser suprida pelo alternador. Desta forma, apesar da economia obtida, ocorrerá redução da vida útil dos componentes elétricos como alternador, regulador de tensão e bateria do veículo. Então cabe a escolha de um eletrolisador eficiente, que tenha alta produção de hidrogênio versus baixo consumo de corrente. Pode ser gerado também do metano, componente principal do gás natural com mais ou menos 80% de eficiência. O método de conversão do metano emana gases para o meio ambiente e por tanto este método não é ecologicamente sustentável.

Na prática, há problemas a serem superados. Os projetos atuais para o uso de células de combustível devem ser orientados de forma correta para os consumidores. Atualmente existem projetos de modelos capazes de fornecer energia para eletroportáteis, a exemplo dos telefones celulares e tablets. Alguns projetos atuais necessitam de ventilação externa e não podem funcionar debaixo d'água, não podem ser usados em aeronaves devido ao risco de vazamentos para atmosfera. Entretanto, a tecnologia "on demand" demonstrou ser uma tecnologia para reabastecimento seguro das células, assim como testes que estão sendo feitos com o uso de células alimentadas com o álcool metano.

Processo de transformação em uma célula de combustível, tendo como subproduto a água.

Como as células de combustível são dispositivos eletroquímicos, não tem condições de trabalhar no máximo de eficiência equiparando se às máquinas de combustão. Podem ser altamente eficientes em transformar energia química em elétrica.

No exemplo de uma membrana eletrolítica polimérica (PEM) de célula de combustível a membrana é condutora de prótons, separando o ânodo do cátodo. Cada lado existe um eletrodo em forma de lâmina feita de carbono, revestido com um catalizador de platina.

No polo do ânodo o hidrogênio flui para o catalisador onde sofre reação e se divide em prótons e elétrons. Os prótons então permeiam através da membrana para o catodo e os elétrons são forçados a percorrer um circuito externo (gerando energia) porque a membrana é isolada eletronicamente. No catodo as moléculas de oxigênio reagem com os elétrons (vindo pelo circuito externo) e formam água. Neste exemplo o único subproduto é o vapor d'água, ecologicamente correto.

Os veículos movidos a hidrogênio são pesquisados á tempos e as grandes montadoras (como a Mercedes Bens) utiliza células de hidrogênio em um sistema de armazenamento do gás em um tanque (caríssimo) que fornece o gás a um motor ciclo Otto dimensionado para o emprego exclusivo deste. Entretanto os custos ainda são altos no projeto deste conceito.

O emprego do Hidrogênio tem uma série de benefícios ao motor ciclo Otto. A correta estequiometria do combustível junto ao hidrogênio, produz uma queima semi perfeita. Para uma utilização de 100% de eletrólito com controle eletrônico, consegue-se rodar 300 quilômetros com acréscimo de 600ml de água destilada, alcançando-se uma autonomia média de o dobro do que o que se obtém sem uso do gás.

7. ELETRÓLITO

Fórmula do eletrólito utilizado na célula de combustível, chamado pelo vendedor por "E-22":

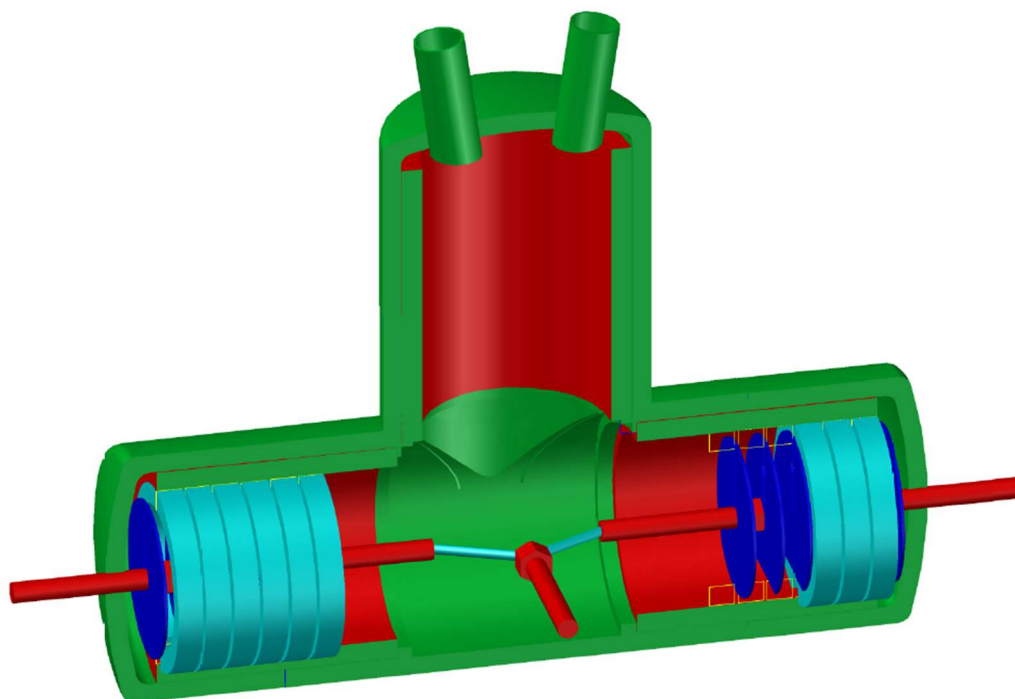
A célula adquirida pela D&N Automotive Engineering (klondikedarol@yahoo.com) vem com um pacote de 60 gramas que é chamado por eles de "Pacote inicial"(30% da plena capacidade). É a quantidade correta para fazer a célula de hidrogênio funcionar sem controle eletrônico PWM e não danificar a célula, mas não em plena capacidade. A célula de hidrogênio contém um total de 630 ml de fluido. Para se obter a máxima resistência e máxima condutividade a célula precisa de 28% de proporção de eletrólito. Significa conter 189 gramas de E-22 misturado com 630 mililitros de água destilada. A fórmula inicial é para fazer 1 litro de E-22 eletrólito, armazenado indefinidamente em uma garrafa de plástico fechada.

NaOH é soda cáustica;

Para utilização da mistura de eletrólito em 100 %, é necessário um controle de CCPWM (Constant Current Pulse With Modulation) e não apenas um PWM. Sem um controle, esta mistura pode sobreaquecer a célula que é construída em PVC, produzir mais gás e mais calor do que o seu projeto. O controle de CCPWM irá controlar o consumo de corrente e a temperatura da célula, produzindo mais gás hidrogênio com menos corrente despendida. Vide Figura 3, vista interna da célula.

Na Figura 3, podemos observar em um plano 3D da Célula utilizada para aplicação de hidrogênio

Figura 3 – Vista interna da célula



(Fonte: AutoCAD; O Autor)

Verde = corpo em PVC

Azul escuro = chapas de aço inox 316L

Azul claro = separadores em PVC

A seguir, vemos na figura 4 a célula real utilizada para o experimento

Figura 4 - Célula HHO - Citroen C3 2006 1.4 8V.



(Fonte : Veículo/foto do Autor, jun 2011)

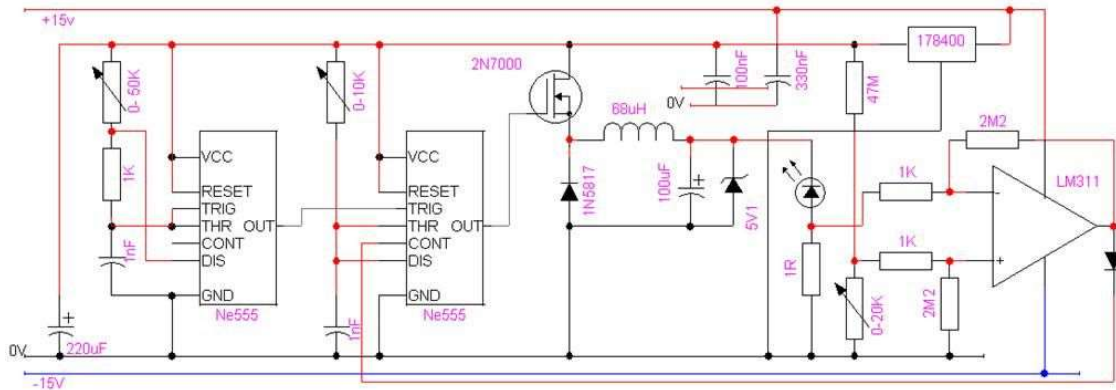
8. CONTROLE DA CÉLULA – ESTUDO DE CASO

O objetivo das linhas abaixo é aperfeiçoar todas as técnicas para gerar ganhos de quilometragem realmente significativos e sustentáveis. É importante ser capaz de assumir o controle de tudo que está dentro do alcance. O primeiro e um dos passos mais importantes na célula, é a instalação de um sistema CCPWM (Figura 5) que deve exercer controle sobre a corrente e saída de gás da célula. Uma característica da célula de hidrogênio ou “eletrolisador”, pelo fato de serem uma “pilha” com injeção de corrente, sofrem grande aquecimento.

Sem o CCPWM, visto o esquema elétrico na Figura 5, com o aumento da temperatura, ocorre um maior consumo de corrente, o que leva ao aumento da produção de gás.

Esse ciclo continua aumentando até que ocorra uma fuga térmica, de forma descontrolada. A tabela a seguir mostra o que acontece quando não se usa um CCPWM para controlar a corrente consumida e produção de gás.

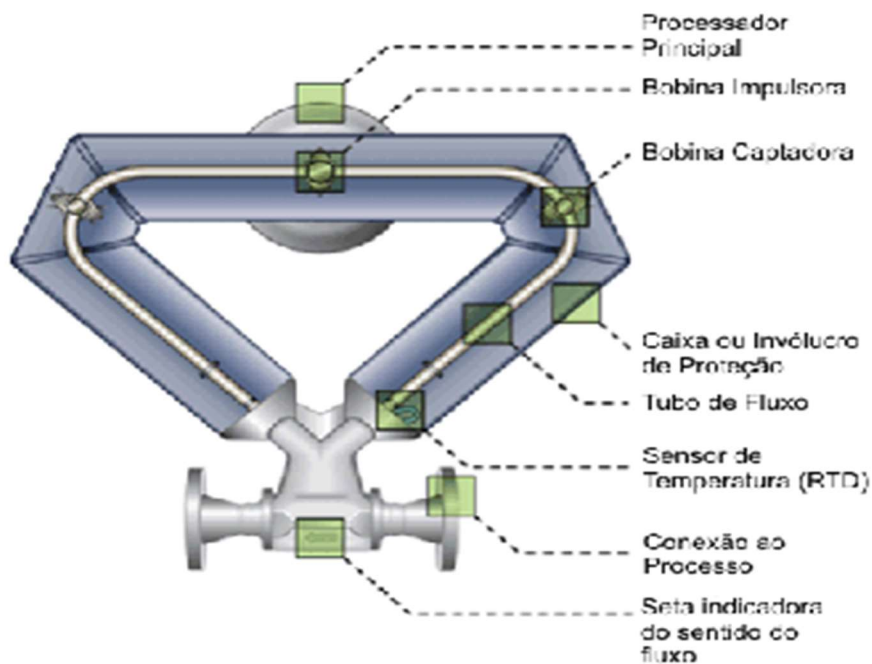
Figura 5 – Projeto de um CCPWM - Constant Current Power Supply Using Pulse Width Modulation



(Fonte: <http://www.edn.com/contents/images/> <http://www.instructables.com/id/electronics-projects-constant-current-power-suppl/>, jun 2011)

No experimento a seguir, foi utilizado um Medidor de Fluxo de Massa Coriolis, visto na Figura 6, necessário para medir a produção de gás hidrogênio pela massa.

Figura 6 – Medidor de fluxo de Massa Coriolis



(Fonte: <https://www.solucoesindustriais.com.br>, out 2018)

SEM CONTROLE DE CORRENTE - O teste seguinte do Quadro 1, utilizou 28% de solução de Hidróxido de potássio, com uso de tensão contínua (13,8 V). O valor de saída medida em litros por minuto com medidor de Fluxo de Massa Coriolis.(Figura 8), a temperatura ambiente de 20,5°C.

Quadro 1 – Teste 1

Temperatura °C	Volts	Ampers	Litros/Minuto	MMW	tempo(minutos)
21,1	13,8	7,21	1,07976	10,852	8
29,4	13,8	9,15	1,70905	13,535	29
40,5	13,8	11,5	2,09713	13,214	48
46,1	13,8	12,76	2,29676	13,043	67
51,6	13,8	13	2,43035	13,547	83
54,4	13,8	13,22	2,75402	15,096	88

(Fonte: “How to Tune & Modify Engine Manag. Systems” J. Hartman, fev 2004)

O Quadro 1 mostra a célula apresentada neste trabalho funcionando sem PWM, que é um dispositivo limitador de corrente. A primeira coluna representa a temperatura do eletrolisador durante o ensaio. A segunda coluna da esquerda mostra a tensão pré-ajustada de 13,8 volts, que é a tensão típica do seu sistema elétrico gerado com o motor ligado. A terceira coluna da esquerda mostra a variação da corrente em várias temperaturas, dado em amperes. A quarta coluna mostra a quantidade de hidrogênio produzido. A quinta coluna mostra o índice de eficiência MMW (Mililitros por minuto por watt de energia consumida). A sexta representa o tempo decorrido desde o início do teste, em minutos.

SEM CONTROLE DE CORRENTE, maior precisão - O teste seguinte do Quadro 2, está nas mesmas condições anteriores, utilizou 28% de solução de Hidróxido de potássio, com uso de corrente contínua. Saída medida em Litros por minuto com medidor de Fluxo de Massa Coriolis, em temperatura ambiente de 21°C.

Quadro 2 – Teste 2

Temperatura °C	Volts	Amperes	Litros/Minuto	MMW	tempo(minutos)
21,1	13,8	7,13	0,818	8,313	0
29,4	13,8	9,05	1,285	10,289	20
40,5	13,8	11,5	1,565	9,869	40
46,1	13,8	12,70	1,714	9,779	60
51,6	13,8	13	1,800	10,048	75
54,4	13,8	13,20	2,04	11,198	80

(Fonte: “How to Tune & Modify Engine Management. Systems” J. Hartman, fev 2004)

O Quadro 2 acima representa a saída do gás, medida por um medidor de maior precisão. Para obter medidas mais precisas, o gráfico inferior representa a saída do gás, conforme medido por um Coriolis eletrônico programado para um gás vaporoso com a gravidade específica do hidrogênio (HHO). Ambos os gráficos demonstram que a corrente quase duplica durante o ensaio no período, e o gás aumenta a produção em mais de 150%. O suprimento de gás tem aumento constante durante todo o teste. Quando o eletrolisador atingir sua temperatura máxima, ele irá se estabilizar, mas a célula poderá derreter. Analisando com cuidado, consegue-se ver o que está acontecendo e qual o efeito que isto terá sobre sua capacidade de produzir ganhos de quilometragem. O objeto deste trabalho consiste em elaborar um tipo de controlador EFI (Injeção Eletrônica de Combustível) do veículo. Com o uso deste EFIE (potencializador de injeção eletrônica de combustível) será compensado o oxigênio adicional que é injetado à sua entrada de ar pelo eletrolisador.

As dificuldades foram grandes, apesar de aparentemente serem simples. É virtualmente impossível sintonizar ou ajustar um EFIE para uma determinada configuração quando se tem uma quantidade crescente de oxigênio suplementar introduzidos no sistema, onde a quebra de H₂O produz duas moléculas de H para uma de O. O mesmo vale para um controlador MAF/MAP. Este é de extrema importância no controle da quantidade de hidrogênio injetada em sua entrada de ar. É necessário mantê-lo o mais constante possível. Há vários métodos disponíveis para fazer isso.

Os dois melhores métodos são o uso de uma CCPWM (modulador de largura de pulso de corrente constante), ou um circuito de Efeito Hall. A terceira opção e menos preferível é o uso de um modulador de largura de PWM usado para motores DC.

A desvantagem do PWM é que exige um acompanhamento constante de um amperímetro e constante adaptação do ciclo de trabalho para manter um pouco de corrente constante e regulada. A CCPWM, ou um circuito de Efeito Hall são automáticos. Pode-se definir a intensidade desejada, e ambas as unidades serão automaticamente sustentadas com corrente constante, sem precisar fazer nenhum ajuste. No gráfico seguinte nota-se o mesmo eletrolisador com um dispositivo de limitação de corrente pré-fixado em 10 ampères.

COM CONTROLE DE CORRENTE - O teste seguinte do Quadro 3, utilizou 28% de solução de Hidróxido de potássio, com uso de corrente contínua. Saída medida em Litros por minuto com medidor de Fluxo de Massa Coriolis (Figura 6). Temperatura ambiente de 21°C, corrente = 10A constante.

Quadro 3 – Teste 3 – com controle

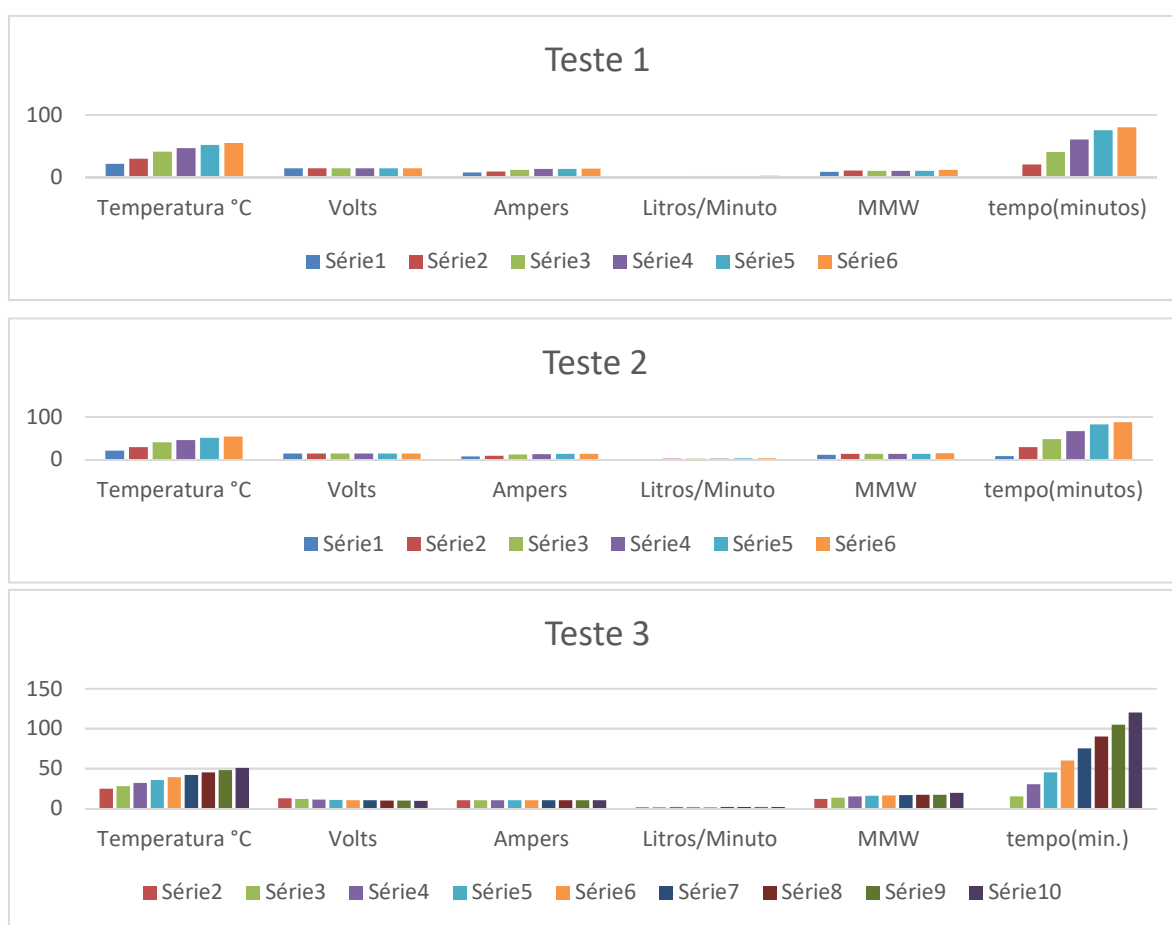
Temp. °C	Volts	Amperes	Litros/Minuto	MMW	Tempo (min.)
24,4	12,5	10	1,462	11,696	0
27,8	11,6	10	1,556	13,414	15
31,7	10,8	10	1,620	15,000	30
35,5	10,4	10	1,624	15,616	45
39	10,2	10	1,642	16,098	60
42	10,0	10	1,641	16,410	75
45	9,9	10	1,649	16,957	90
48	9,7	10	1,653	17,041	105
50,5	9,4	10	1,802	19,170	120

(Fonte: “How to Tune & Modify Engine Manag. Systems” J. Hartman, fev 2004)

O Quadro 3 de testes acima foi realizado utilizando um controlador CCPWM com base em dispositivo com acréscimo de calor na sincronização dos circuitos. A coluna um representa a temperatura do eletrolisador. Coluna dois representa a tensão utilizada em qualquer temperatura. Coluna Três, a corrente, pré-definida como constante em 10 amperes. Coluna Quatro representa a medição mais precisa da produção de gás pela massa do medidor de vazão tipo Coriolis. A Coluna Cinco representa o índice de eficiência com base nas medições mais precisas do medidor de fluxo de massa. Sexta coluna representa o tempo decorrido do teste.

Comparando-se os gráficos (Figura 7), há muitos fatores a se considerar. Um dos mais importante é que uma vez que o eletrolisador atingiu a sua faixa de temperatura operacional (30°C a 50°C.), a produção de gás sofrerá uma alteração de APENAS 1,1%. A maioria das EFIE têm + / - a tolerância de 1,75% de variação, para que seus 1,1% de estatísticas é realmente melhor do que os de seus EFIE. Este permite-lhe afinar o seu EFIE para uma quantia ideal fixa de hidrogênio e oxigênio, com temperatura constante que não danificará a célula e sem sobrecarregar o sistema elétrico do veículo.

Figura 7 – Gráficos comparativos Testes 1,2 e 3



(Fonte: O Autor, out 2018)

Para se entender melhor como funciona um CCPWM, monitora-se a tensão *versus* a temperatura. Observe como o CCPWM tem controle constante da tensão, assim como a temperatura do eletrolisador sobe para manter a definição de corrente constante 10A, de forma automática. Observa-se que usando um CCPWM, o eletroli-

sador está *controlando a temperatura*. No Quadro 2 (teste 2) levaram apenas 80 minutos para o eletrolisador chegar a 54,4°C. Se tivesse que funcionar por muito tempo e ocorresse uma fuga térmica, certamente a célula derreteria. No Quadro 3 (teste 3) o eletrolisador havia alcançado apenas 50°C em 120 minutos. Embora não seja mostrado no gráfico, a temperatura estabilizou em 53°C. E sustentou esta temperatura para um período adicional de três horas quando o teste foi totalmente concluído.

Outro comparativo são as avaliações de eficiência dos três gráficos da Figura 7. Observando-se com critério a parte inferior do gráfico do Teste-3 usando um CCPWM, percebe-se resultados significativamente maiores de MMW (números de eficiência) e uma grande parte disto tem a ver com o fato de que o CCPWM está mudando a corrente contínua sem controle para corrente pulsada controlada continuamente. O efeito disto em um eletrolisador é uma liberação mais rápida das bolhas de gás das placas e rápida substituição.

Assim, ocorre uma maior produção de gás com menor intensidade de corrente. Um bom projeto de CCPWM possui uma faixa de frequência de seus pulsos. Quando a frequência ressonante do eletrolisador estiver sintonizada corretamente com um osciloscópio, pode-se ganhar até 15% do gás produzido com a mesma corrente e tensão aplicada. A análise dos dois gráficos é de grande importância para a correta afinação dos dispositivos.

Foi utilizado no veículo citado (C3 1.4 8V 2006) juntamente com a célula, um chip de economia de combustível. Em média, os chips de economia ou "módulos Flash para ECU", como o chip de economia modelo FS2 Volo, que produzem ganhos de 8% a 13% visto na Figura 8 abaixo.

Figura 8 - Chip conectado à porta OBDII instalada no painel do C3



(Fonte: O Autor, out 2018)

É importante estabelecer a sua média atual de consumo de quilômetros por litro, fazendo uma referência de 100 quilômetros por exemplo, para se estabelecer seu consumo atual de combustível. Levantar dados como o MAP/MAF, dados de TPS, tempo de ignição e IAT típicas e temperaturas constantes, executar vários testes e registros, ao menos duas vezes. O eletrolisador é o centro do sistema HHO. Não adianta aumentar a eficiência do motor com um eletrolisador ineficiente, que irá absorver a maior parte dos benefícios que pode atingir, gerando pouco hidrogênio e consumindo muita corrente da bateria / alternador. É importante ficar menor do que 30A de consumo de corrente para evitar sobrecarga elétrica no alternador/bateria. 30A deve gerar ao menos 3 LPM em um eletrolisador eficiente, com o mínimo de calor. O ideal é consumir até 15A para produção de cerca de 2 litros de gás por minuto.

Na prática, não se deve utilizar um eletrolisador que consome mais de 15% do produzido da carga total corrente de projeto gerada pelo alternador. Não é regra produzir o máximo possível de hidrogênio. Em veículos com 4 cilindros necessitam $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ LPM. 6 ou 8 cilindros trabalham melhor com 1-2 LPM. É realmente imprudente construir "mega-células" para alimentar um veículo a gasolina exclusivamente com HHO.

Muitas pessoas tentam alimentar o carro apenas com HHO, mas o ciclo Otto foi feito para funcionar com combustível líquido (gaseificado), o qual participa da refrigeração do motor. Apenas gás irá forçar o motor a trabalhar mais, combater o movimento ascendente do pistão, estragando o sincronismo do motor, e muito mais. Um pouco de gás vai proporcionar longevidade, mas pelo menos $\frac{1}{4}$ de LPM é necessário

para começar a fazer qualquer coisa. Para controlar a saída do eletrolisador é vital ter assistência realizada por um CCPWM.

9. DISPOSITIVO EFIE (Empobrecedor da Injeção Eletrônica de combustível para sensores O2 de banda estreita)

O projeto em questão trata do desenvolvimento de um dispositivo semelhante, mas melhor. Instalar apenas um EFIE irá piorar o consumo para a maioria dos carros, pelo fato de que a hidroxila irá criar um ambiente de combustão diferente dentro do motor. É um ambiente controlado pela ECU do carro e os sensores não vão funcionar adequadamente, porque saiu das especificações de fábrica. Se o motor está queimando o combustível melhor de forma a reduzir depósitos de hidrocarbonetos nos gases de escape, os sensores O2 não irão detectar qualquer parâmetro próximo do normal da quantidade de hidrocarbonetos (geradores de poluição) nos gases de escape pois de fato terá mais oxigênio limpo no sistema.

Isto será um problema pois a programação da fábrica conta a ECU que uma condição de mistura pobre está ocorrendo, quando na verdade não está. A ECU não pode permitir possíveis danos ao motor, por isso vai acrescentar mais combustível para aumentar o nível de hidrocarbonetos e diminuir o oxigênio programado para enxergar no sistema. Quaisquer ganhos criados por seu sistema HHO serão carregados pela ECU que aumentará o consumo de combustível. O EFIE (empobrecedor da Injeção Eletrônica de Combustível) efetivamente diz à ECU através dos sensores O2 que o teor de oxigênio dos gases de escape é normal, restaurando assim o equilíbrio e permitindo que o sistema HHO possa trabalhar com ganhos de quilometragem e economia de combustível. O EFIE "diz" à ECU que tudo está OK nos gases de escape, adicionando um ligeiro aumento na tensão dos sensores O2 para compensar a quantidade de oxigênio que a célula está adicionando ao sistema.

O EFIE também pode ser usado para apoiar a mistura de combustível muito pobre, por dizer à ECU que a exaustão é ligeiramente rica em hidrocarbonetos, mas isso não pode ser feito facilmente sem ajuste de outros sensores do carro de forma a trabalharem juntos. As tentativas de fazê-lo sem interferir com outros sensores geralmente resultam no acendimento da LIM ou código de problema. Para a maioria dos

carros antes de 2000, normalmente só os sensores de O₂ anterior ao seu conversor catalítico são os que necessitam de uma interface para um dispositivo de EFIE. Para carros pós 2000, tanto os sensores "upstream" e "downstream" precisam ser abordados.

Todos os EFIEs são diferentes. A maioria dos EFIEs tem o design antiquado, que apenas acrescenta uma tensão para o sinal do sensor de O₂. Isso funciona até certo ponto, mas em carros mais recentes, é adicionado a tensão de forma controlada pela ECU, e se mudar isto, a LIM será acionada (Luz indicadora de mau funcionamento). NÃO se pode usar EFIES antigas neste projeto em SENSORES O₂ UPSTREAM. Eles irão trabalhar, em seguida irão gerar códigos de funcionamento incorreto, porque o sinal O₂ do sensor é como uma onda senoidal, ou mesmo um sinal binário. Deve ter um ponto baixo (0, pobre), e um ponto alto (1, rico). Quando se começa a adicionar tensão e compensar todo o tempo você está fazendo o ponto alto e o ponto mais baixo mais forte. Logo, o ponto baixo não é o mais baixo, portanto não aceitáveis para a ECU. Chamado por EFIEs, nosso objeto de estudo deve funcionar em conjunto com os sensores menos críticos a jusante, se necessário, usando-os para adicionar uma pequena variação de tensão na sonda Lambda, entre 350-500mv para o sinal a jusante em todos os momentos. O dispositivo PIC18F4550 irá ser equivalente ao EFIE citado, que define um ponto mais alto e permite os pontos mais baixos passarem para a ECU, tendo que satisfazer a onda cheia, e um quadro completo do que está acontecendo com o AFR. O dispositivo PIC irá dizer a ECU que AFR é rica com mais frequência. Mas nem todo o tempo, como uma velha EFIE. Estas boas EFIES são chamadas de EFIEs de "realidade digital" porque geram tanto o "1" e o "0" onde a ECU deve ler e acreditar que é apenas o sensor de O₂ funcionando normalmente. Será mudado com isso, que a EFIE é referida como o ponto de comutação de sensor de oxigênio, ou seja, o ponto no qual um sensor de sinal O₂ é traduzido para o ECU como um sinal de "mistura rica", ou um 1 digital. Este ponto de mudança é ajustável, a partir de 500mv todo o caminho para 0,050 mv. Em outras palavras, se o mais baixo for o ponto chave, mais vezes será dito que a ECU está executando mistura rica, e expelindo misturas pobres para o motor. Típico ponto de comutação de HHO com queda na sintonia entre 350-100mV especificamente carros com mais de 2 sensores O₂. Existem pontos de chaveamento no endereço de outros sensores no veí-

culo, que irão incorrer em luzes de verificação do motor (LIM), motor áspero, contrariando, protelando, terá pulverização catalítica, pingando, etc. PARA AFR / sensores O2 de banda larga. Para os veículos que não têm sensores O2 de banda estreita, mas sim sensores de banda larga ou AFR, é necessário este controlador Wideband EFIE. Sensores de O2 Wideband são dispositivos atuais não baseados em modificação da tensão da sonda lambda. São métodos que controlam o fluxo de corrente, através do PIC18F4550 com a programação modificada.

10. OUTRAS MODIFICAÇÕES POSSÍVEIS

Com outras adequações neste projeto, é possível melhorar ainda mais a economia de combustível. Um dos sensores que podem ser modificados é o sensor CTS.

A meta é acrescentar cerca de 10 graus à temperatura do líquido de arrefecimento no sensor de leitura. É importante notar que a temperatura do refrigerante real permanecerá a mesma que normalmente seria. Apenas iremos “enganar” a ECU em “enxergar” que o motor está 10 graus mais quente. Isto porque um motor aparentemente mais quente promove menor consumo de combustível e libera uma mistura mais enxuta para a ECU, que agora pode ser executado porque o hidrogênio está protegendo o motor mantendo-o fresco, bem como a queima de pequenas quantidades de gasolina com mais eficiência. Consegue-se isto modificando o sensor CTS, soldando um resistor de 3.9k a 5k ohms entre os terminais de forma paralela para atingir cerca de 10 graus de offset. Não pode sair muito do padrão de deslocamento de 10 graus ou pode ocorrer problemas de partida, porque a ECU irá achar que o motor já está aquecido quando partir a frio. Para conferir se foi feito direito, a melhor maneira é usar uma ferramenta de verificação como um scanner e saber exatamente o que a ECU lê.

Uma segunda modificação possível para ampliar os ganhos de quilômetros por litros de combustível é uma modificação do sensor IAT.

A ECU irá receber sinais dos sensores diversos sobre as condições atuais do motor. Se você tiver sob controle o sensor CTS mas não o IAT, a ECU não será capaz de gerar sinais ao sistema e o combustível será cortado. Devemos desbloquear mais

mapas na ECU fazendo essa modificação. Às vezes, o sensor IAT está incorporado ao sensor MAF como uma unidade. Deve-se rastrear o par de fios que vai para o termistor para modificar o fluxo. Esta modificação também altera a curva de tempo de ignição. Isto é necessário para se obter o maior rendimento utilizando uma HHO. O IAT tem um grande efeito sobre o ponto de ignição do motor. Quando se trata de melhorar eficiência de combustão, o tempo de ignição é tudo. Aumentar a temperatura retarda o momento e avanços do motor. Com um sistema de hidrogênio estamos procurando retardar o tempo por causa do aumento da velocidade de propagação de chama na câmara de combustão. É importante acrescentar que a próxima modificação do sensor MAP ou MAF irá avançar o mapa de ignição, então está prevendo que ao ajustar a temperatura do IAT um pouco acima da marca de tempo, o mapa de ajuste final / MAF levará o mapa de ignição ao sincronismo. 8 a 10 graus acima da temperatura ambiente soa dramático, mas normalmente é um bom ponto de partida. Uma possibilidade é um diodo de 20k com um resistor de 500 ohms em série para manter o sensor curto circuitado. Esta modificação também é associada com uma alternância depois que o motor aquece. Esta modificação é simples e permite "marcar" o valor correto para o IAT, e encontrar a configuração ideal para economia de combustível. Deve-se ajustar o IAT para temperatura máxima.

É necessário um Scanner automotivo para saber os dados da IAT que a ECU lê para fazer a modificação. Deve-se reajustar a EFIE, o CTS e sensores IAT e verificar se estão de acordo para receber uma mistura ligeiramente mais pobre, então o tempo para ajustar os sensores de O2, bem como com o EFIE. Se efetivamente foram "reduzidos aos limites de forma enxuta" para a ECU, podemos testar a EFIE e rodá-la. De um modo geral, você deve encontrar uma maneira de reduzir o volume de ar que a ECU lê através do mapa ou do sensor MAF. Não deve se usar um MAP / MAF como potencializador redutor (Enhancer, em EFIE), pois irá reduzir a quantidade de combustível que os injetores estão enviando. No entanto, o combustível irá acabar e será detectado pelo sensor O2. O sensor O2 irá gerar uma leitura e a ECU irá intervir, porque há menos hidrocarbonetos saindo depois de ter reduzido o combustível com o MAP / MAF potencializador redutor. Como resultado irá adicionar mais combustível para compensar, gerando maior consumo de combustível. Devemos registrar os dados tanto dos sensores de carga quanto dos sensores de oxigênio. Se ambos estão registrando um fornecimento de menos combustível injetado em relação ao que está

sendo “necessário”, então teremos uma economia de combustível progressiva, já que este “necessário” deve compreender o gás HHO junto.

"Como Afinar & Modificar Systems Management Engine "por Jeff Hartman.

10.1 ESTUDOS PARA APLICAÇÕES EM MOTORES DIESEL

Para motores diesel, a maioria das vezes as aplicações são individualmente diferentes.

Primeiramente deve-se mudar o conceito do sistema HHO (Browns Gás, Hidroxi) introduzido no motor dos veículos. Não estamos usando-o como um combustível, mas sim como um catalisador que permite melhorar muito a combustão e resultar em uma queima mais completa do combustível diesel que está sendo fornecido. Sabemos que na maioria dos motores, cerca de 50% ou mais do combustível a ser fornecido ao motor, não se queima durante a fase inicial do processo de combustão. Assim, estamos desperdiçando este combustível. Se agora introduzir o HHO na equação, será capaz de queimar 90% a 98% do combustível. Isto significa naturalmente que agora precisamos fornecer menos combustível ao motor, uma vez que estamos queimando o que anteriormente estava sendo enviado para o escape como resíduos. Neste ponto, precisamos lembrar o que é necessário para melhorar o consumo de combustível. As diretrizes são bastante simples. Colocá-los na prática pode se tornar bastante complicado.

1. O fornecimento de HHO suficiente para seus motores não deve consumir mais do que 15% da saída nominal de corrente de projeto do alternador;
2. Deve se produzir a quantidade necessária de HHO para reduzir o fluxo de combustível para o mecanismo;
3. Retardar o seu ponto de ignição. A propagação da chama de HHO é 1000 vezes mais rápida do que a propagação da chama do combustível diesel.

Três etapas básicas que parecem simples mas não são:

-Passo 1. Ele exige apenas um pouco de investimento, comparando avaliações de eficiência dos vários geradores disponíveis no mercado em avaliações de eficiência que são medidos em MMW. Quanto maior a avaliação da MMW, maior a eficiência do gerador.

-Passo 2. É onde os verdadeiros problemas começam. Todos os motores a diesel não são projetados da mesma forma. Cada fabricante de motores diesel usa diferentes metodologias ou diferentes sensores para determinar a AFR (relação de ar combustível) para o seu projeto de motor. Alguns fabricantes alteram de modelo A para modelo B. Não existe um padrão uniforme, tal como o sistema OBD II iniciado em todos os veículos a gasolina a partir de 1996. Um bom mecânico deve determinar como controlar o AFR em seu motor específico. Então será necessário fazer os ajustes para reduzir o combustível (que não é mais necessário) no fluxo, para o motor. Apesar disso, é verdade que alguns motores a diesel que não estão usando sensores de oxigênio O₂, são capazes de obter ganhos de economia de combustível sem modificações de qualquer dos sensores ou outros dispositivos, estes ganhos são normalmente pequenos (5% a 15%, nos que obtiveram melhores resultados). A indústria é movida pelo maior lucro versus a homologação aos padrões de emissões vigentes. Portanto, um padrão uniforme é adotado por todos os fabricantes de diesel quando forem submetidos ao padrão de emissões, nenhum fabricante produzirá um dispositivo especificamente concebido para a melhoria de consumo de combustível antes disto. Projeto e desenvolvimento seriam muito caros e requerem muito investimento em homologação.

-Passo 3. Na maioria dos casos não é aconselhável até que se tenha realizado com sucesso a etapa 2. Em alguns dos motores diesel mais antigos, foi possível ajustar manualmente o tempo das ignições. Em motores modernos, esta função é realizada pelo seu computador de bordo, com a informação a ser fornecida por vários sensores. Alguns dos modelos mais novos de motores diesel agora estão usando muitos dos mesmos sensores utilizados em veículos a gasolina. Os sensores do sistema OBD II. Os mesmos dispositivos que reduzem o fluxo de combustível em motores a gasolina, irão reduzir o fluxo de maneira precisa no motor diesel.

10.2 ESTUDOS PARA APLICAÇÕES EM MOTORES CARBURADOS

É possível atingir ganhos significativos de economia de combustível em um veículo carburado. Embora seja possível obter pequenos ganhos apenas com a adição de um eficiente eletrolisador com saída controlada, é possível obter ganhos maiores com outras modificações. Lembrando antes o que acontece com a introdução de HHO em um sistema de admissão de ar – De forma contrária ao que todos pensam sobre o HHO, não está sendo utilizado como um combustível, mas sim como um catalisador. Ao gerar uma centelha dentro da câmara empregando o gás HHO, este propaga-se aproximadamente 1000 vezes mais rápido do que empregando a gasolina. Esta velocidade muito maior da propagação da chama causa uma ampliação da combustão, e uma queima mais completa do combustível. No veículo carburado, em média 30 a 50% da gasolina que passa através do motor vai para o escape, ou não é efetivamente queimado. O objetivo é reduzir a entrada de gasolina no motor para estes mesmos 30% a 50% e usar o HHO para queimar tudo.

Com o objetivo de obter economia de combustíveis, primeiramente devemos adotar um eletrolisador eficiente (HHO Gerador). Defini-se como eficiente um gerador que irá produzir o suficiente de HHO para abastecer o veículo, e que não consuma mais corrente do que 15% do total da saída produzida pelo alternador. Uma boa regra é quando se empobrece com sucesso o fluxo de combustível (tal como será descrito mais tarde) e regular adequadamente o ponto de ignição, será necessário apenas $\frac{1}{4}$ de litro de HHO, por litro do tamanho do motor. Na prática, para um motor de 1000 cm³ é necessário 250ml de hidrogênio por minuto.

Num segundo passo, é necessária uma excelente unidade CCPWM (modulador de largura de pulso de corrente constante). Não é um PWM; Só a PWM não vai fazer o trabalho, e exigem constantes ajustes a serem feitos pelo usuário. Uma característica de todos os eletrolisadores é o fato de gerarem muita energia térmica ao funcionarem. Quando eles aumentam a temperatura, eles consomem mais corrente. Quando eles despendem mais corrente, produzem mais HHO e ainda mais calor. E assim se torna um ciclo que vai continuar a repetir-se até ocorrer uma condição conhecida como fuga térmica. Todos os veículos tem uma quantidade máxima de HHO utilizada de forma eficaz, eficientemente. Demasiada quantidade de HHO vai realmente fazer com que se perca economia por Km rodado, e pouquíssimo HHO não produzirá ganhos de

quilometragem. Com qualquer um dos dois dispositivos mencionados anteriormente, pode-se regular a quantidade de HHO produzido e enviado para o motor. Ambos são de fácil utilização com ajustes e realizará automaticamente a configuração definida.

O próximo passo será reduzir a quantidade de gasolina enviada para o motor. Devido à combustão ter sido muito melhorada e a queima ficar mais completa, boa parte do combustível não é mais necessário. Há duas formas diferentes para alcançar este objetivo. O mais recomendável é a compra de um kit de empobrecimento da mistura do carburador, composto por agulhas com orifícios de menor diâmetro, disponível em sites da internet. Outra alternativa é comprar um kit de injeção eletrônica independente e substituir o carburador por injetores até encontrar a combinação certa que funciona em seu veículo. Este pode ser muito demorado e é uma situação imprevisível.

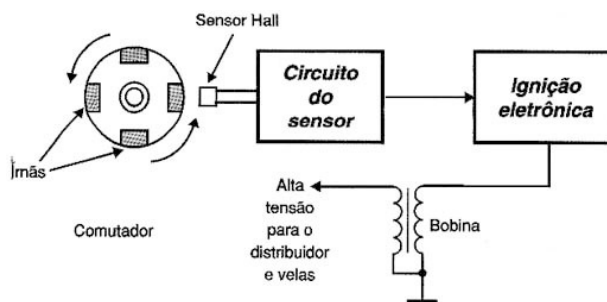
O último passo necessário é retardar o ponto de ignição tanto quanto possível sem afetar o desempenho. A instalação do gás HHO quando feito corretamente nos veículos carburados, pode produzir enormes ganhos de quilometragem. A partir daí é despendido tempo com afinação e ajustes até obter os melhores resultados.

11. SENSOR HALL E SONDA LAMBDA

11. 1 SENSOR HALL

Sensores de campos magnéticos são aplicados a diversos tipos de máquinas. Com uso de um sensoramento magnético feito com uso de uma bobina, ou com semicondutores, teremos os sensores de Efeito Hall. Através de um ímã acoplado a um objeto, é possível detectar o deslocamento deste objeto, medir a sua rotação e verificar seu posicionamento adotando-se uma referência. Em um automóvel, o sensor magnético mede com exatidão a rotação do motor e gera a centelha no momento correto, como apresenta a Figura 9.

Figura 9 – Sensor magnético, substituto do “*platinado*”, utilizando uma bobina para detectar os campos magnéticos



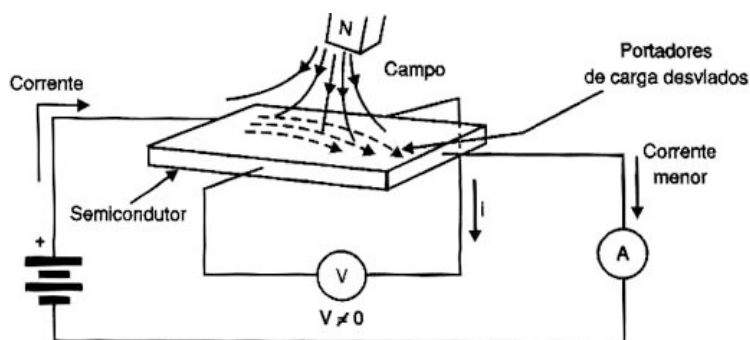
(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

Como limitações, temos a dificuldade na construção em pequena escala. Ao invés do uso destes sensores de bobina, dispositivos semicondutores que detectam campos magnéticos, fornecem um sinal que depende de um campo, mesmo que estático. Os dispositivos apresentados como "Efeito Hall" são rápidos, pequenos e de baixo custo, podendo substituir os sensores tradicionais.

EFEITO HALL - Utilizando as propriedades elétricas dos semicondutores, é possível construir dispositivos eletrônicos, onde estes se diferem dos metais ao receber temperatura, e se tornam isolantes ao invés de mais condutores. Os termistores utilizam a propriedade da resistência dos materiais semicondutores, que é bem mais sensível a variação da temperatura da maioria dos materiais condutores. A característica mais utilizada são as “junções”, que é a possibilidade da corrente ser transportada por polos positivos ou negativos de cargas. Aplicando-se a um veículo, é o efeito do campo magnético no deslocamento das cargas nestes materiais que irá medir a rotação e outros dados.

Conforme mostra a figura 5 aplicando um campo magnético externo impelido sobre um material, pela lei de Lorentz, uma força perpendicular ao deslocamento das cargas vai fazer com que a distribuição das cargas seja modificada. A intensidade desta força será proporcional à velocidade de deslocamento da carga e da intensidade do campo magnético. Se aplicado uma força a um material semicondutor, ocorrerá uma diferença de potencial onde fluirá uma corrente juntamente com um campo magnético atuante e em seu deslocamento através deles, teremos uma tendência das cargas se desviarem de sua trajetória normal, acumulando-se em uma das faces laterais, notando-se a presença de tensão, conforme mostra a figura 10.

Figura 10 – O semicondutor sob a ação do campo magnético.



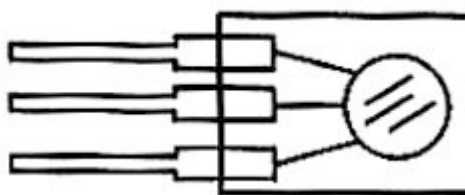
(Fonte: www.newtonbraga.com.br, out 2018)

Também teremos formação de corrente, que ao permear pelo objeto, se tornará menor devido ao aumento da resistência e poderá ser lido por amperímetro ligado em série ao circuito com as faces no sentido longitudinal.

APLICAÇÃO DOS SENSORES - Na prática os sensores de Efeito Hall ou Hall Sensors podem ser encontrados tanto na forma simples como com uma configuração em ponte.

Na figura 11 abaixo, é apresentado o sensor fabricado pela Honeywell (<http://www.honeywell.com>).

Figura 11 – Sensor comum de Efeito Hall



(Fonte: www.newtonbraga.com.br, out 2018)

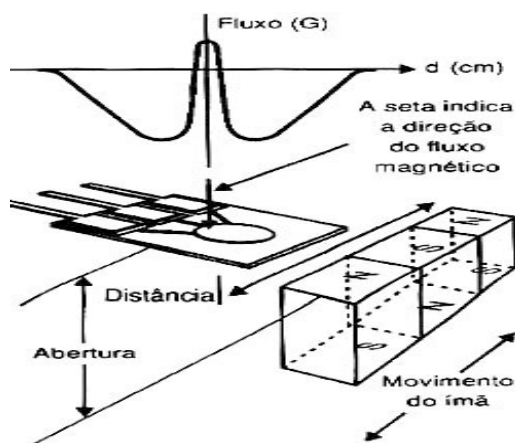
A exemplo de um sensor hall comercial, veremos o KMZ10A1, fabricado pela Philips. Com a configuração em ponte é possível fazer a detecção de variações do campo em ambos os sentidos simplificado o projeto dos circuitos detectores.

UTILIZAÇÃO - O posicionamento do sensor em relação ao campo magnético, o modo como o campo varia conforme o movimento da peça ou ímã que irá gerar o campo irão determinar a forma de sinal que obteremos na saída de um sensor de Efeito Hall.

Veremos abaixo algumas formas de uso dos sensores hall.

- a) Aproximação simples - No método mostrado na figura 12 o sensor e o ímã que gera o campo magnético se aproximam perpendicularmente de modo que a ação sobre o chip aumenta com a diminuição da distância, conforme mostra o gráfico na mesma figura.

Figura 12 – Com uso de ímã tripolar.



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

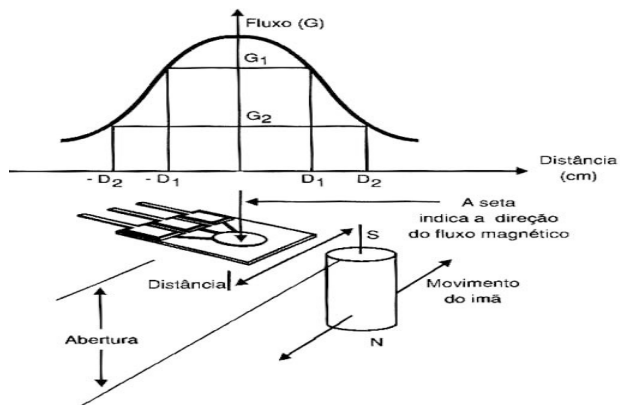
Com este arranjo a passagem de um objeto diante do sensor em que estes ímãs estejam presos pode ser detectada com extrema sensibilidade. O pico de magnetização faz com que o sinal de saída seja agudo o suficiente para excitar com facilidade circuitos lógicos desde que devidamente amplificados.

Podemos usar este arranjo para medir a velocidade de passagem de objetos (rotação, por exemplo) ou ainda fazer a contagem de objetos.

- b) Passagem lateral unipolar- Neste caso um ímã simples passa diante do sensor de modo que as suas linhas de força possam atuar sobre o chip conforme mostram as setas. A figura 13 mostra o que ocorre e o tipo de

variação de campo sobre o sensor que é obtida o que vai corresponder também à forma de onda do sinal obtido na saída.

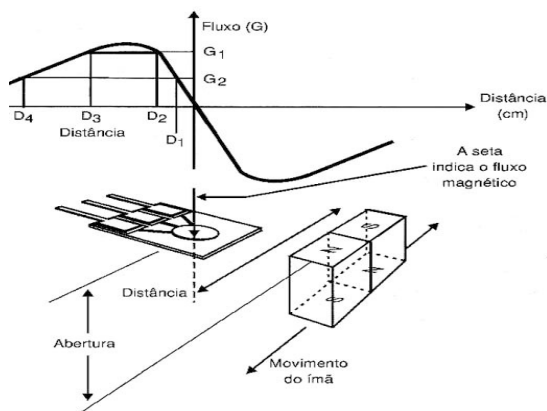
Figura 13 – Com uso de ímã tripolar.



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

- c) Passagem Lateral - Este tipo de arranjo não tem a mesma sensibilidade do arranjo anterior mas funciona perfeitamente nas aplicações menos críticas.

Figura 14 – Com uso de objeto com dois ímãs.

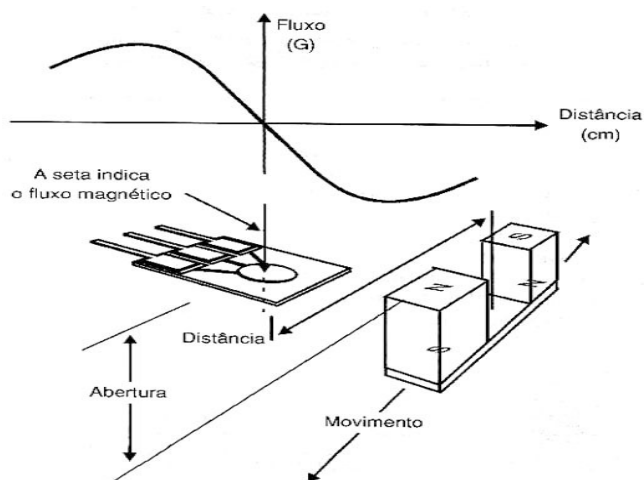


(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

A forma do sinal gerado nestas condições é demonstrado na própria figura,

- d) Passagem lateral com dois ímãs separados – No arranjo mostrado na figura 15 em que são usados dois ímãs, a forma do sinal gerado é mais suave com picos determinados pela distância de separação entre os dois ímãs.

Figura 15 – Movimento de objeto de forma lateral utilizando dois ímãs.

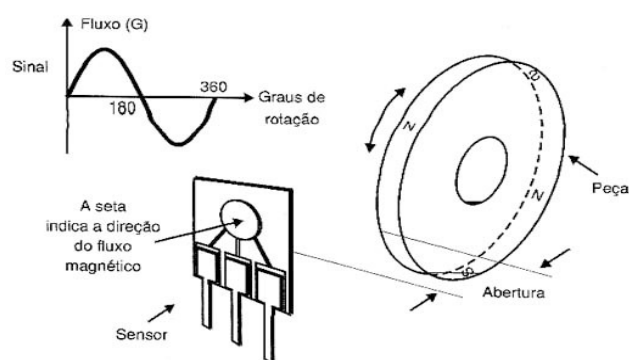


(Fonte: www.newtonbraga.com.br, out 2018)

Muitos sensores de distância comerciais utilizam esta concepção.

- e) Ímã rotativo - No arranjo mostrado na figura 16 um ímã circular ou ímãs presos a uma peça circular de modo a gerar o mesmo padrão de campo permitem detectar movimentos de rotação com facilidade.

Figura 16 – Com emprego de ímã rotativo.



(Fonte: www.newtonbraga.com.br, out 2018)

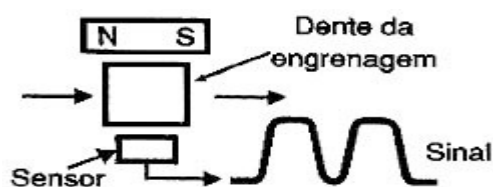
O sinal gerado com este arranjo é senoidal e pode ser facilmente trabalhado para excitar circuitos lógicos.

Outros arranjos - O posicionamento do sensor em relação ao campo de um ímã admite muitos arranjos. Tudo depende da orientação das linhas do campo cortadas que geram sinal, de sua variação e também de sua intensidade.

Deve se estar atento para as curvas de sensibilidade em relação ao posicionamento do objeto de geração ao fazer um projeto e também ao seu próprio formato que pode incluir recursos no sentido de concentrar ou dispersar linhas de força.

Um exemplo de aplicação é apresentado na Figura 17 em que a passagem de um dente de uma engrenagem de um material ferromagnético entre um sensor hall um ímã permanente, concentra as linhas de força do campo gerando um pulso de sinal.

Figura 17 – Detectando a passagem de materiais diamagnéticos.



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

11. 2 SENSOR DE OXIGÊNIO "EGO" - LAMBDA

Cada vez mais os órgãos fiscalizadores exigem automóveis menos poluentes. Através de microprocessadores e sensores que detectam os gases do escapamento, denominados por "Sonda Lambda" veremos seu princípio de funcionamento e aplicação. Os motores ciclo Otto não queimam completamente a mistura injetada na câmara de combustão, produzindo uma série de gases tóxicos, conforme mostra-a figura 18.

Figura 18 – Emissão de gases tóxicos resultantes de queima incompleta em um veículo ciclo



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

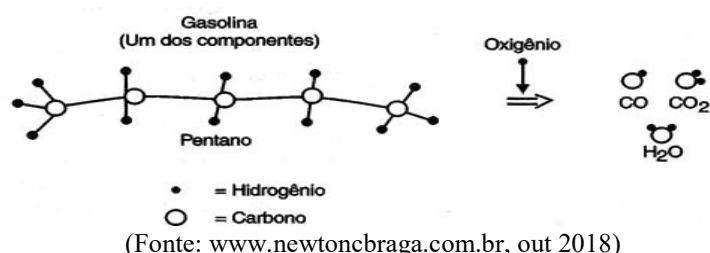
São diversos os problemas que surgem com o subproduto da queima incompleta de oxigênio e do combustível, onde a variação de regime faz com que a combustão não seja completa. A quantidade de combustível injetada no coletor de admissão e do

oxigênio deve ser dosada de acordo com regime, e depende do monitoramento preciso e cíclico dos gases resultantes da combustão, juntamente com o controle do combustível injetado e da entrada de ar. O dispositivo utilizado para medir os gases é um sensor que monitoramento constante da quantidade de gases emitidos, controlando oxigênio e combustível, de forma a gerar o máximo rendimento do motor com a mínima emissão de gases nocivos

PORQUE SONDA LAMBDA - Basicamente, devemos ter uma reação química onde a quantidade de combustível e de comburente deve ser ideal, resultando em uma combinação completa. Se a reação é completa, teremos uma relação estequiométrica.

Para os motores de combustão interna analisados a combustão completa do hidrogênio e do carbono formam as cadeias dos hidrocarbonetos das quais é feita a gasolina, conforme mostra a figura 19.

Figura 19 – A queima da gasolina (as cadeias CH têm diversos comprimentos na gasolina).



É definida como 14,7 para 1 a relação estequiométrica para a gasolina ou 14,7:1, significando que devemos fornecer ao motor 14,7 centímetros cúbicos de ar para cada centímetro cúbico de combustível líquido. Havendo mais combustível do que comburente, a mistura fornecida ao motor é rica, e se a quantidade de combustível for inferior a de comburente, a mistura será considerada pobre.

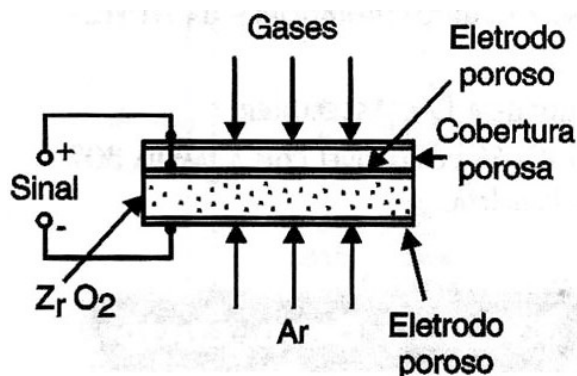
Definição da mistura:

$$\lambda = (\text{ar/combustível}) / (\text{ar/combustível estequiométrico})$$

Para uma mistura ideal ou estequiométrica, o valor atribuído a λ (lambda) será 1; será menor do que 1 para uma mistura rica e maior que 1 para uma mistura pobre. Mundialmente, foi nomeado o sensor como sensor de "EGO" (Escape Gas Oxygen), pois se baliza na presença do oxigênio excedente ou inferior dos gases do escapamento.

SONDA LAMBDA - Na figura 20 temos uma vista em corte de um sensor deste tipo a partir do qual analisaremos o seu princípio de funcionamento.

Figura 20 – Sensor de óxido de zircônio.



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

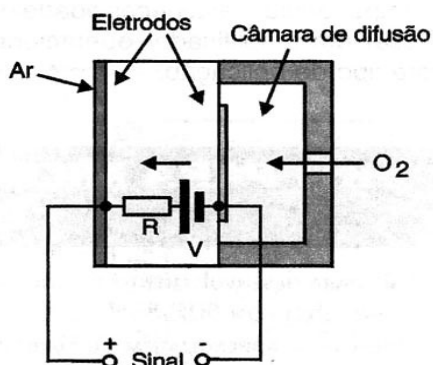
Os sensores de oxigênio mais frequentes são os de óxido de zircônio (ZrOZ) e os de óxido de titânio (TiOQ). O funcionamento deste tipo de sensor será mostrado na Figura a seguir.

Uma pequena folha de óxido de zircônio constitui o composto sensível do sensor, possui eletrodos afilados de platina fixados nas faces internas. A parte externa é exposta ao meio ambiente e absorve o gás nele existente através de um recobrimento de material poroso. Quando os átomos de oxigênio se ionizam, eles sofrem uma reação e resultam dois elétrons em excesso. O óxido de zircônio por sua vez, atrai estes íons acumulados em sua parede externa junto aos eletrodos. Assim, na presença destes íons ocorrerá uma concentração maior dos óxidos nesta face do que na outra, que recebe o ar ambiente e é considerada como referência.

Então o material gera um campo elétrico cuja orientação e intensidade dependerão da diferença de concentração dos íons de oxigênio das duas faces e também da temperatura. Para se utilizar com um Microprocessador, o sinal deve ser amplificado o sinal de tensão entre eletrodos.

OUTRO TIPO DE SENSOR - O outro tipo de sensor utilizado é o de óxido de zircônio (ZrO₂) com estabilização feita por óxido de ítrio (YO₃), visto na figura 21.

Figura 21 – Sensor de óxido de Ítrio



(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

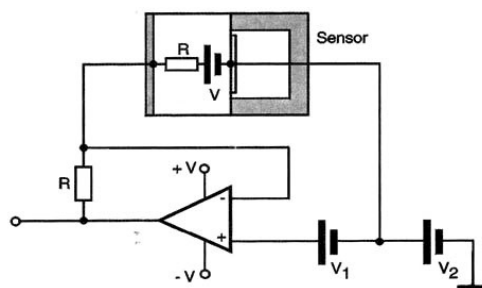
O óxido de ítrio é um elemento de difusão aquecido por um elemento resistivo.

Uma tensão é aplicada ao dispositivo elevando sua temperatura ao ponto de trabalho.

Seu funcionamento vem da difusão de íons através do elemento sensor que gera uma resistência dependente da sua concentração.

Na Figura 22 apresentamos um amplificador operacional.

Figura 22 – Circuito para amplificador operacional



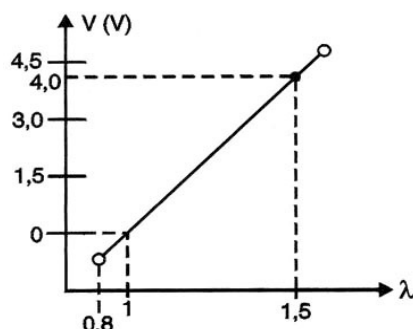
(Fonte: www.newtoncbraga.com.br, out 2018)

Injeta-se uma tensão de referência na porta não inversora de forma que a tensão de saída irá se tornar a nova tensão de referência, multiplicada pelo ganho do circuito. O sensor está ligado ao circuito de realimentação que determina o ganho.

Assim, a tensão de saída reduz quando a resistência mostrada pelo sensor diminui junto, pois o ganho do circuito será menor.

na figura 23. Será apresentada um gráfico de resposta do circuito.

Figura 23 – Curva de resposta do circuito da figura 22



(Fonte: www.newtonbraga.com.br, out 2018)

Obtemos uma resistência muito alta do sensor, caracterizando-o como um dispositivo de alta impedância, sendo necessária um amplificador operacional para correto funcionamento.

Para se compreender o funcionamento dos sensores de oxigênio visto na Figura 24, temos que conhecer o fator lambda (λ) (Figura 25). A letra grega lambda (λ) corresponde a razão de equivalência na relação ar-combustível real entre a relação considerada ideal ou estequiométrica para uma mistura.

Lambda (λ) = relação real – ar/combustível

relação ideal – ar/combustível

Figura 24 – Sensor de Oxigênio



(<http://www.dicasmecanicas.com>, abril 2016)

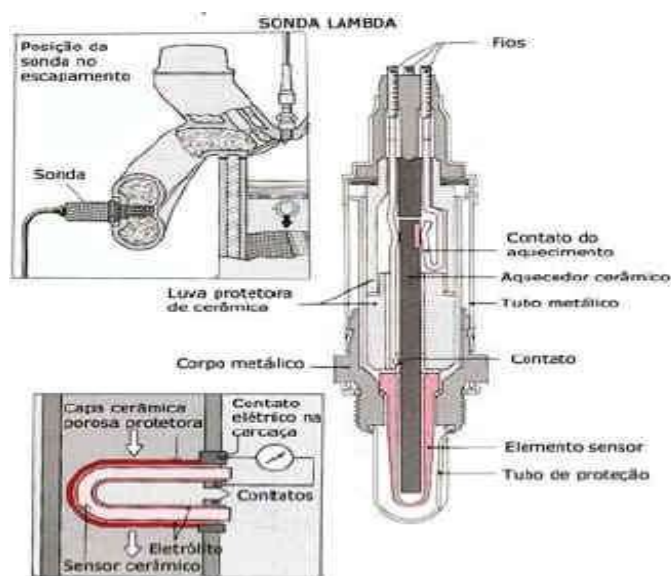
11.3 RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL IDEAL

- Gasolina: 14,7:1 (14,7 partes de ar para 01 parte de gasolina)
- Álcool: 9,0:1 (9,0 partes de ar para 01 parte de álcool)
- Diesel: 15,2:1 (15,2 partes de ar para 01 parte de Diesel)

Concluimos que quando uma mistura tem mais ar do que o ideal da tabela acima dizemos que $\lambda > 1$ ou que a mistura está pobre. Já quando a quantidade de ar está abaixo da especificada dizemos que $\lambda < 1$ ou que a mistura está Rica.

Temos na Figura 10, o posicionamento da sonda lambda no sistema de escape, um corte transversal da sonda lambda e também um esquemático representativo de seu funcionamento:

Figura 25 – Funcionamento do Sensor de Oxigênio



(Fonte: <http://www.dicasmecanicas.com>, abril 2016)

11.4 FUNCIONAMENTO DO SENSOR DE COMBUSTÍVEL

O sensor é um eletrólito em estado sólido que traz em sua composição o dióxido de zircônio (ZrO_2), este material quando atinge uma temperatura superior a $300^\circ C$ se transforma em um condutor de íons de oxigênio. Com o auxílio deste componente a sonda consegue identificar por meio de uma variação de tensão a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape. Esta tensão que pode ser medida em mV, que varia entre 0 a 800mV e é enviada para unidade de comando para que sejam feitos os cálculos usando como base o fator lambda.

11.5 LOCALIZAÇÃO DO SENSOR LAMBDA

Por funcionar com perfeição somente acima de 300°C, geralmente este dispositivo é fixado na descarga o mais próximo possível do motor e obrigatoriamente esta peça deve receber os gases provenientes de todos os cilindros para que a leitura seja a melhor. A sonda de 5 fios por sua vez pode estar localizada até mesmo próxima do catalizador pois a mesma possui uma resistência de aquecimento para que atinja os 300°C necessários, dispensando assim a necessidade de ficar próximo do motor.

Muitos mecânicos por falta de experiência acaba fazendo a troca desta peça, por ela na maioria das vezes marcar um código de avarias quando se rastreia um carro. Mas o sensor de oxigênio é mais resistente do que aparenta e a maioria das vezes os códigos marcados para esta peça é na verdade decorrente de um outro problema de gerenciamento do motor e que acaba refletindo no funcionamento do sensor, que por precaução e para avisar de possíveis falhas no funcionamento do carro, a unidade marca erro na sonda, fazendo com que alguns mecânicos desavisados façam a sua troca prematuramente.

O sensor de Oxigênio é sem dúvida uma das peças mais importantes do seu carro por isso quando for realmente necessário fazer a troca da mesma, de preferência para peças originais, pois a diferença de qualidade é evidente e o seu carro vai agradecer.

12. PROJETO

As quatro etapas se baseiam em:

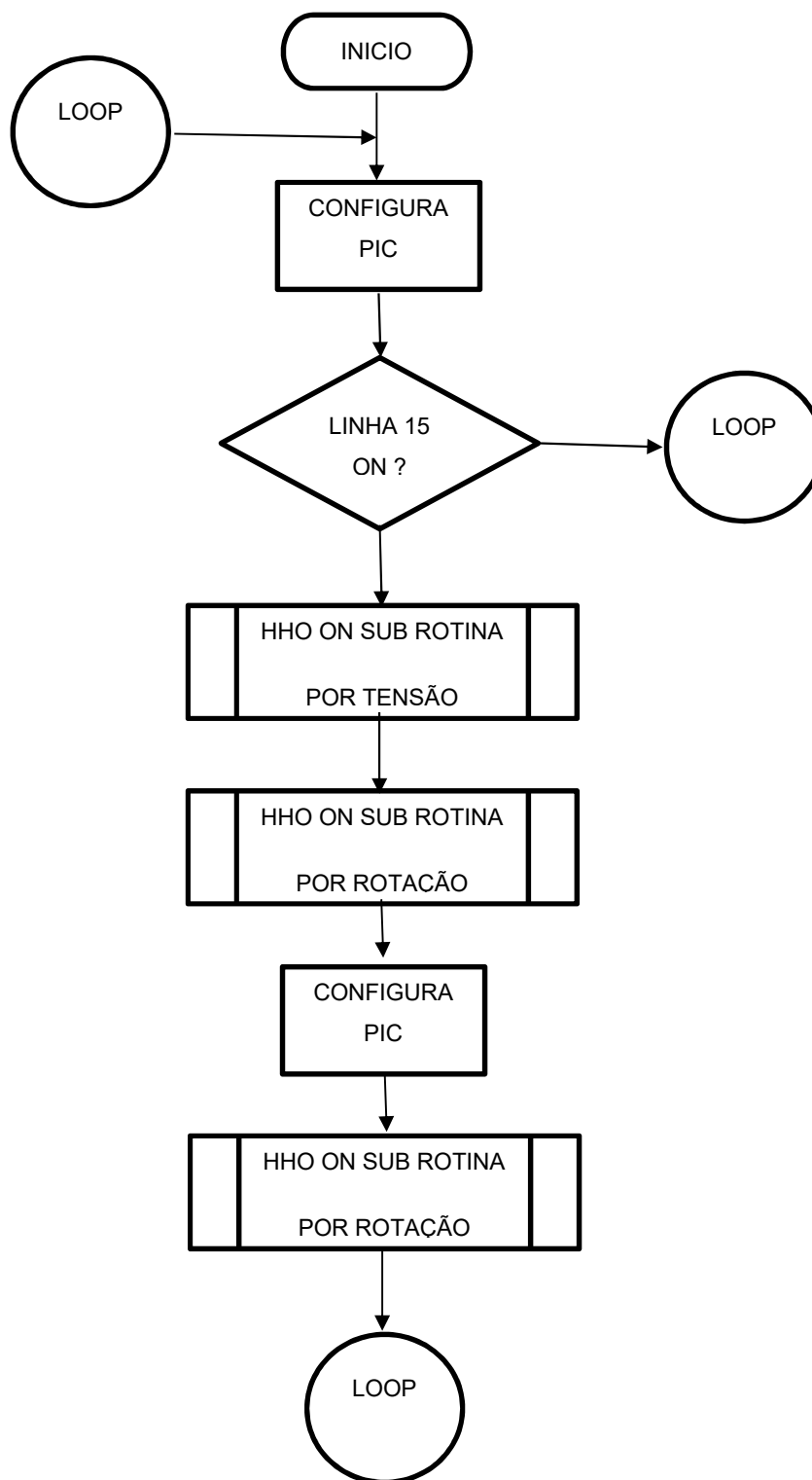
1. **Lambda**: Sinal de tensão que irá ser modificado e seguirá para a ECU;
2. **Rotação**: Sinal que irá incidir na posição da célula, OFF, 50% e 100%;
3. **CCPWM**: Será ativado pela saída RC1 para controlar a corrente da célula.
4. **Hardware**: Placa de testes do Prof. Edson

12.1 Software da rotina principal

Apresentaremos a seguir o software da rotina principal, o qual demonstra a lógica necessária para o funcionamento da célula em conjunto com a ECU. Analisando o fluxograma da Figura 26, o *software* inicia com valores *default* (padrão) e alimenta a ECU em “by pass” até iniciar a rotina principal. Após a rotina principal, o código irá

adotar um Duty Cycle = 0,8, inicialmente, para reduzir a quantidade de combustível injetado. O “Loop” executa a rotina de malha fechada.

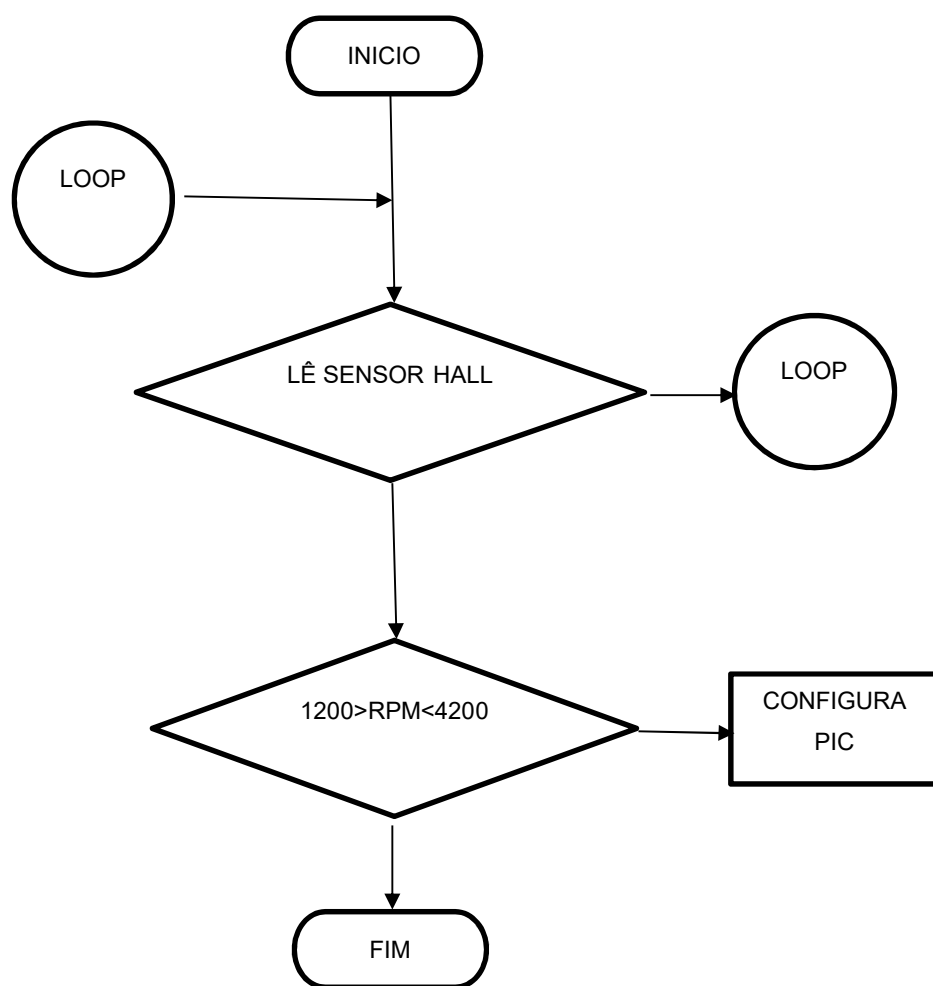
Figura 26 – Fluxograma do software da rotina principal



(Fonte: O Autor, Nov 2018)

A sub-rotina de rotação deverá funcionar segundo os dados do sensor de relutância magnético variável, dentro dos parâmetros médios de velocidade de cruzeiro, normalmente entre 1200 rpm a 4200 rpm, demonstrado na Figura 27 abaixo.

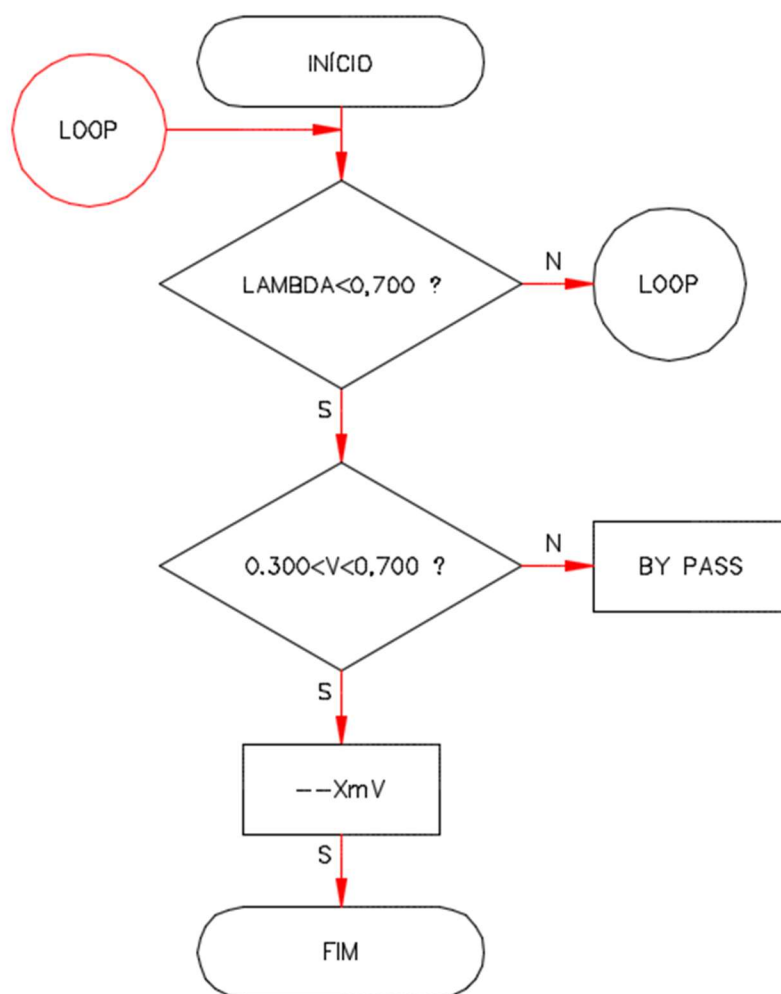
Figura 27 – Subrotina da Leitura de Rotação



(Fonte: O Autor, Nov 2018)

Nesta sub-rotina da Figura 28, todos os dados de rotação são lidos, e a partir destes valores, o *hardware* envia comandos para realizar o processo de controle da célula conforme os estados do motor do veículo, entrando no sistema de “By Pass” caso se encontre abaixo de 0,300 mV ou acima de 0,700 mV.

Figura 28 – Subrotina da Leitura de Tensão



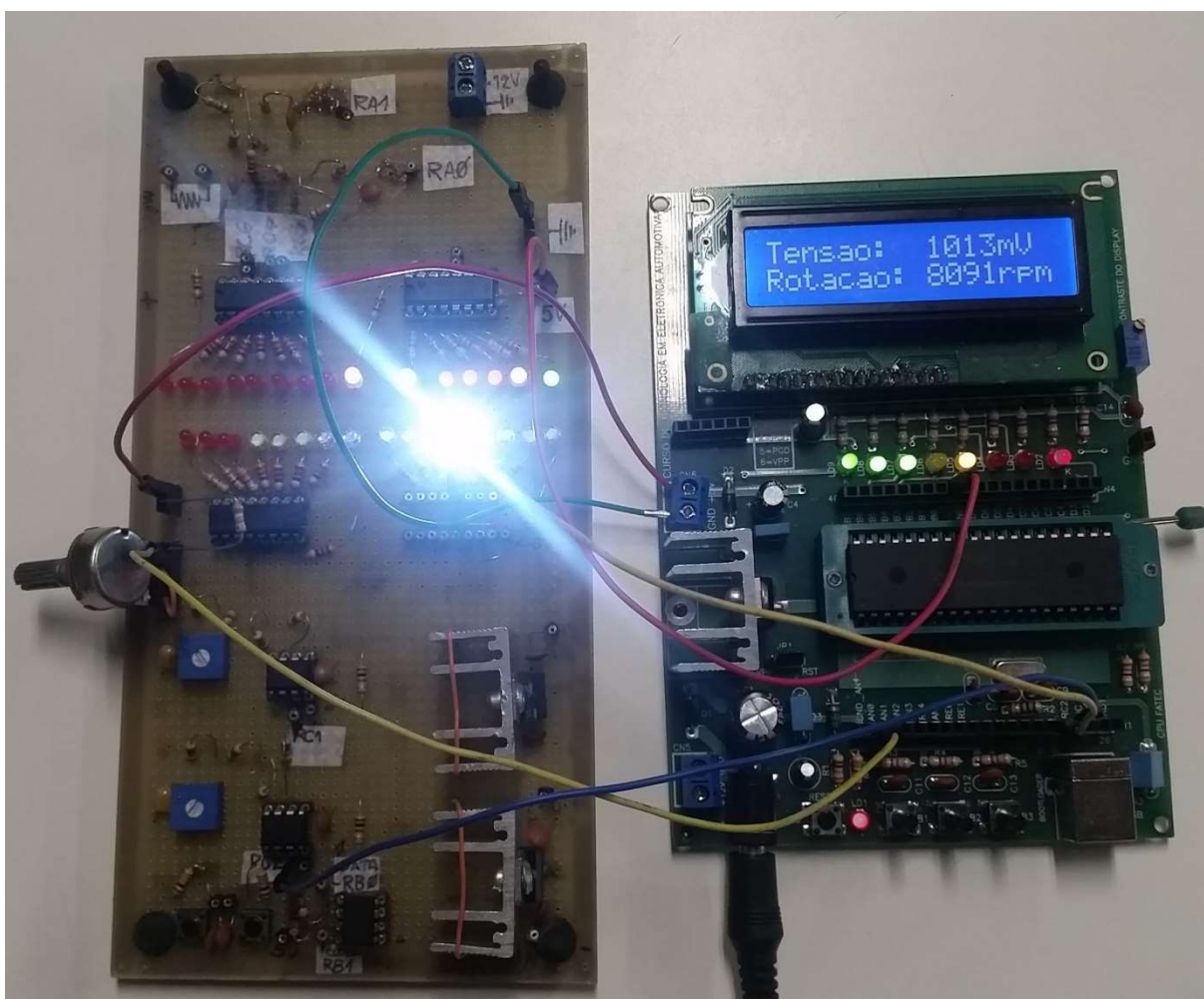
(Fonte: O Autor, Nov 2018)

.12.2 Hardware utilizado para o controle do processo

Placa desenvolvida pelo Prof. Doutor Edson Kitani

Placa com PIC18F4550, vide Figura 29, possui um display de cristal líquido, apresentando o valor máximo de tensão da Lambda (1013Mv) e máxima leitura de rotação (8091 RPM).

Figura 29 - Placa Prof^o Edson.



(Fonte: O autor, Out 2018)

Na Figura 30, apresenta a tensão mediana, mínima da leitura de tensão da Lambda (527mV e 44mV) e máxima leitura de rotação (8091 RPM).

Figura 30 - Placa Prof^o Edson - 2.

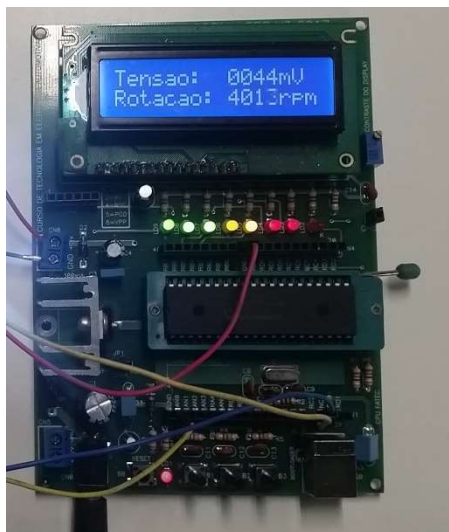


(Fonte: O autor, Out 2018)

É visto na Figura 31, a tensão mínima da leitura de tensão da Lambda (44mV) e mediana e mínima leitura de rotação (4031 e 1447 RPM).

Figura 31 - Placa Prof^o Edson - 3.

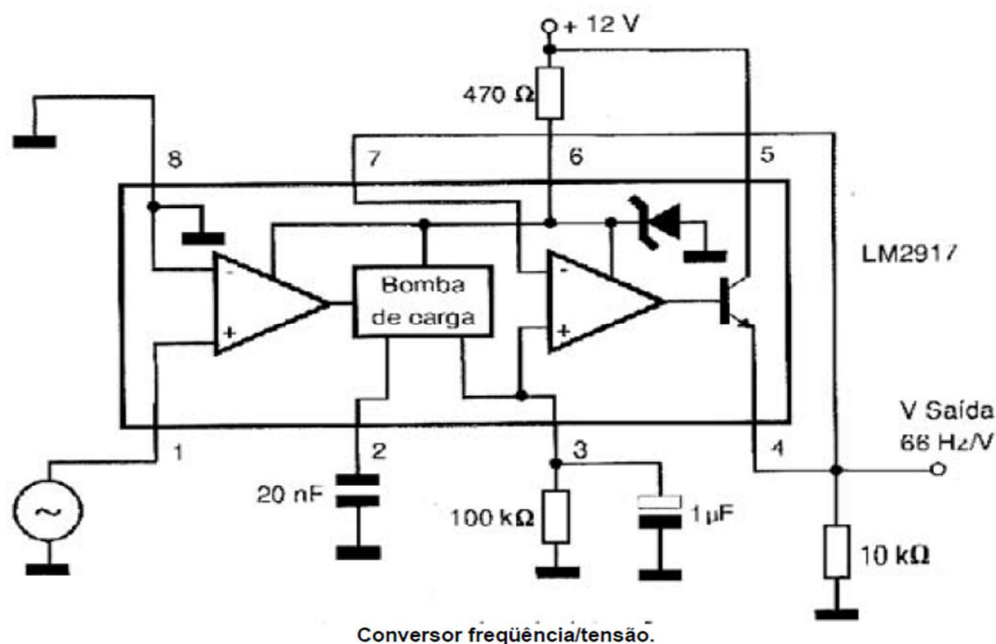




(Fonte: O autor, Out 2018)

Ao chegar na fase de implementação do software, identificamos novas dificuldades na primeira concepção, que eram duas entradas, uma analógica e outra uma PWM (RC2 – CCP1), e a saída também em PWM (RC1 – CCP2), onde não foi executável o software das entrada e saída PWM simultaneamente. A alimentação destes sinais é provinda de um potenciômetro de 10K para simular o sinal da sonda lambda, 0,200mV a 0,800mV, e o sinal do Sensor Variável de relutância Magnética, o “Sensor Hall”. Partimos para a utilização de um conversor de frequência em tensão, de modo a realizar a leitura da rotação gerado pelo CI555 em tensão, eliminando assim leitura da rotação pelo temporizador. No circuito abaixo (Figura 17) temos o CI2917 conversor:

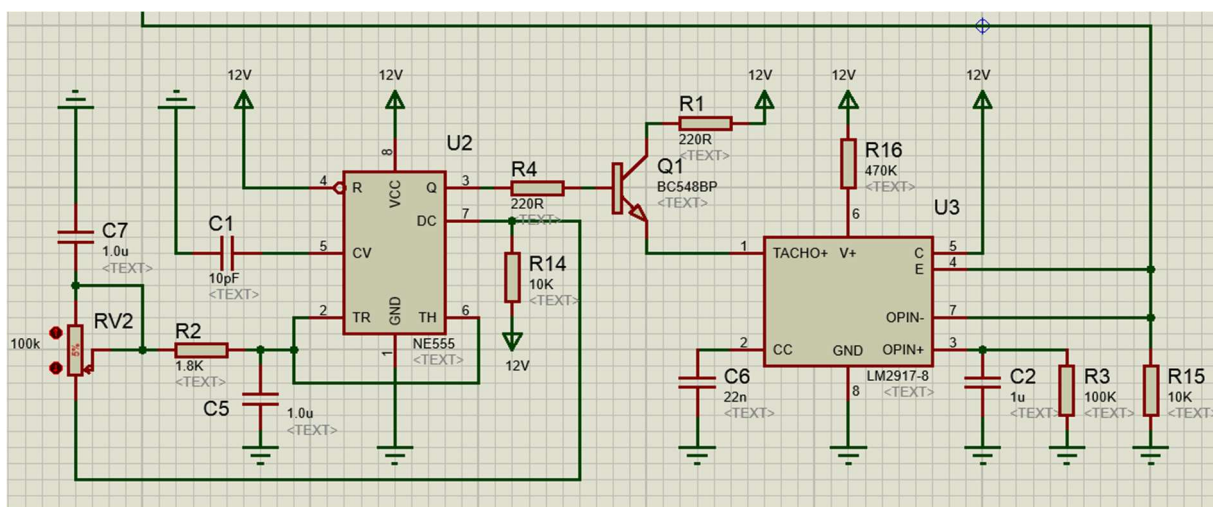
Figura 32 - Placa Circuito Conversor de frequência para tensão.



(Fonte: www.newtonbraga.com.br, Out 2018)

Entretanto, o circuito não tinha potência suficiente para gerar sinal que fosse detectável pelo CI LM2917, foi então adaptado pelo orientador um outro circuito em série para amplificar o sinal hábil provindo do CI555, circuito da placa do Prof.º Wesley. Foram utilizados um transistor amplificador BC548B associados a resistores adequados. Este amplificador gerou o sinal em uma frequência para que obtivéssemos uma medição. Abaixo segue a placa e circuito na Figura 33.

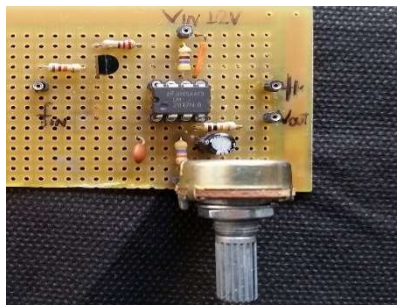
Figura 33 – Circuito do NE555P , amplificador de sinal BC548B e conversor de frequência para tensão LM2917N-8 representado no software Proteus.



(Fonte: Proteus, Out 2018)

Na Figura 34 apresentamos o circuito conversor de frequência para tensão entre o gerador 555 e a entrada analógica do PIC:

Figura 34 – Conversor de frequência para tensão LM2917N-8.



Fonte: Proteus, Out 2018)

Realizamos a medida da frequência e da tensão do circuito conversor, e obtivemos os resultados vistos no Quadro 4. A faixa de trabalho de rotações por minuto do motor foi considerada de 1100 a 6100 RPM aproximadamente, onde a faixa de trabalho útil da célula fica entre 1200 a 4200 RPM, faixa verde claro do Quadro 4. Abaixo, é demonstrado com detalhes os dados obtidos entre em 18 Hz e 101 Hertz, e a faixa média de tensão gerada levantada pelo conversor de frequência para tensão.

Quadro 4 – Dados obtidos do Circuito Conversor de frequência para tensão com amplificador de sinal.

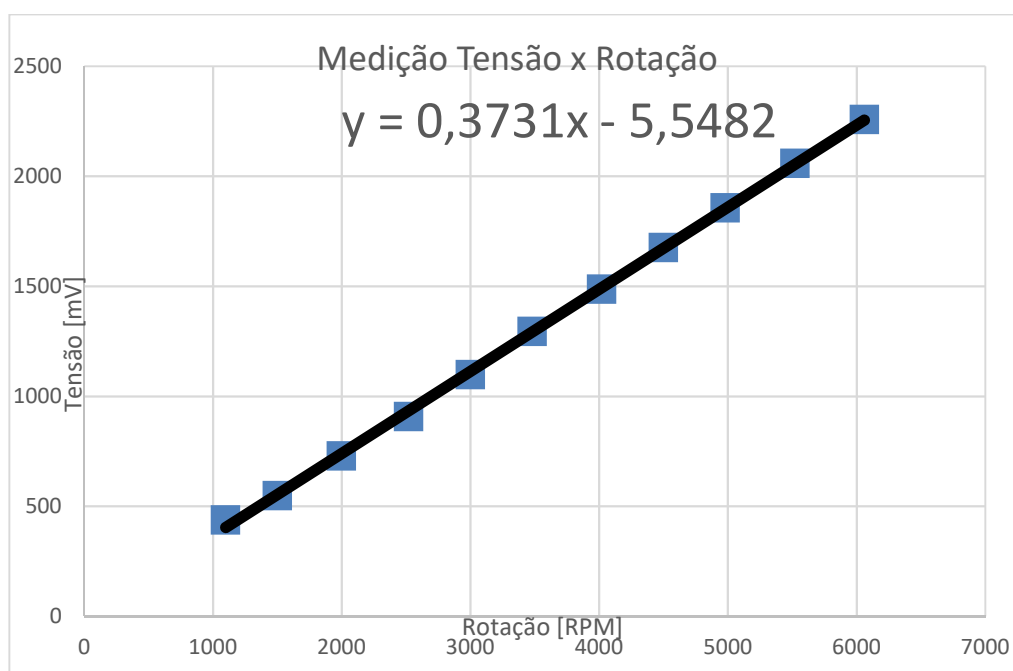
Frequência (Hertz)	Rotação (RPM)	Medição (mV)	Medição= MedAD1(mV)	Cálculo: (MedAD1+(-5,5482))/0,3731
	<1100	Osciloscópio	Multímetro	Rotação de Cálculo
18,3	1098	650	440	1194,1790
20	1200	653	481	1304,0692
25	1500	656	550	1489,0062
33,3	1998	656	730	1971,4505
42	2520	773	910	2453,8949
50	3000	830	1100	2963,1418
58	3480	830	1296	3488,4701
67	4020	812	1489	4005,7577
75	4500	867	1677	4509,6441
83	4980	926	1858	4994,7687
92	5520	983	2060	5536,1785
101	6060	968	2260	6072,2278
	Faixa de operação da célula (Duty=0,8)			

(Fonte: O Autor, Nov 2018)

Portanto a faixa útil de trabalho da célula de hidrogênio estará entre 18Hz e 67Hz. Foi considerado os dados obtidos com o multímetro e a faixa de tensão para controle do software ficou em 7 níveis entre 0,44 e 1,490 volts específico para a aplicação do Quadro 4.

Foi feito um gráfico de tensão medido pela rotação para determinar a função de transferência, visto na figura 35.

Figura 35 – Curva de transferência de rotação x tensão.



(Fonte: O autor, Out 2018)

Pela figura 35, foi retirado a função transferência, visto na equação 1:

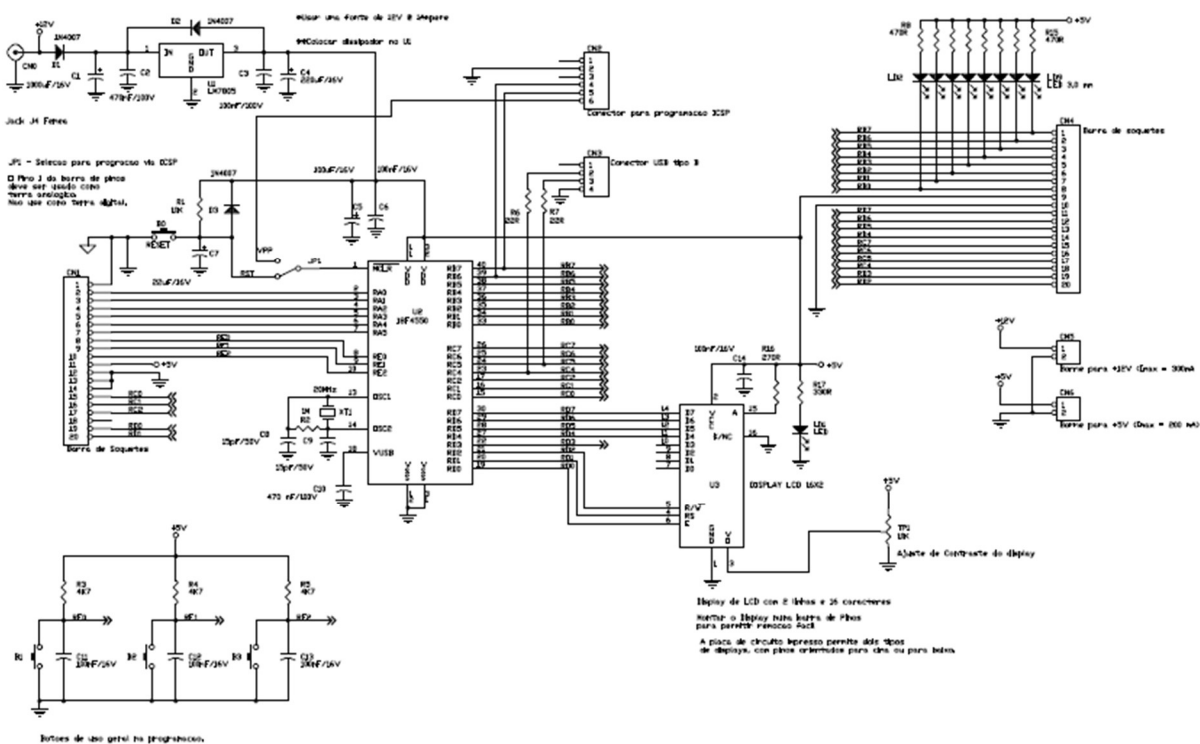
$$\text{Tensão} = 0,3731 \cdot \text{Rotação} - 5,5482 \text{m} \quad (\text{equação 1})$$

A partir da equação 1, o microcontrolador pode obter a rotação em função da tensão, visto na equação 2:

$$\text{Rotação} = (\text{Tensão} + 5,5482 \text{m}) / 0,3731 \quad (\text{equação 2})$$

Abaixo, na Figura 36, estamos apresentando a placa do Prof. Edson, onde utilizamos recursos do Microcontrolador PIC18F4550, entradas analógicas AN0, AN1, sua saída PWM RC1 (CCP2), as saídas de tensão 5Volts e 12 Volts contínuas, juntamente com o display de cristal líquido 2x16.

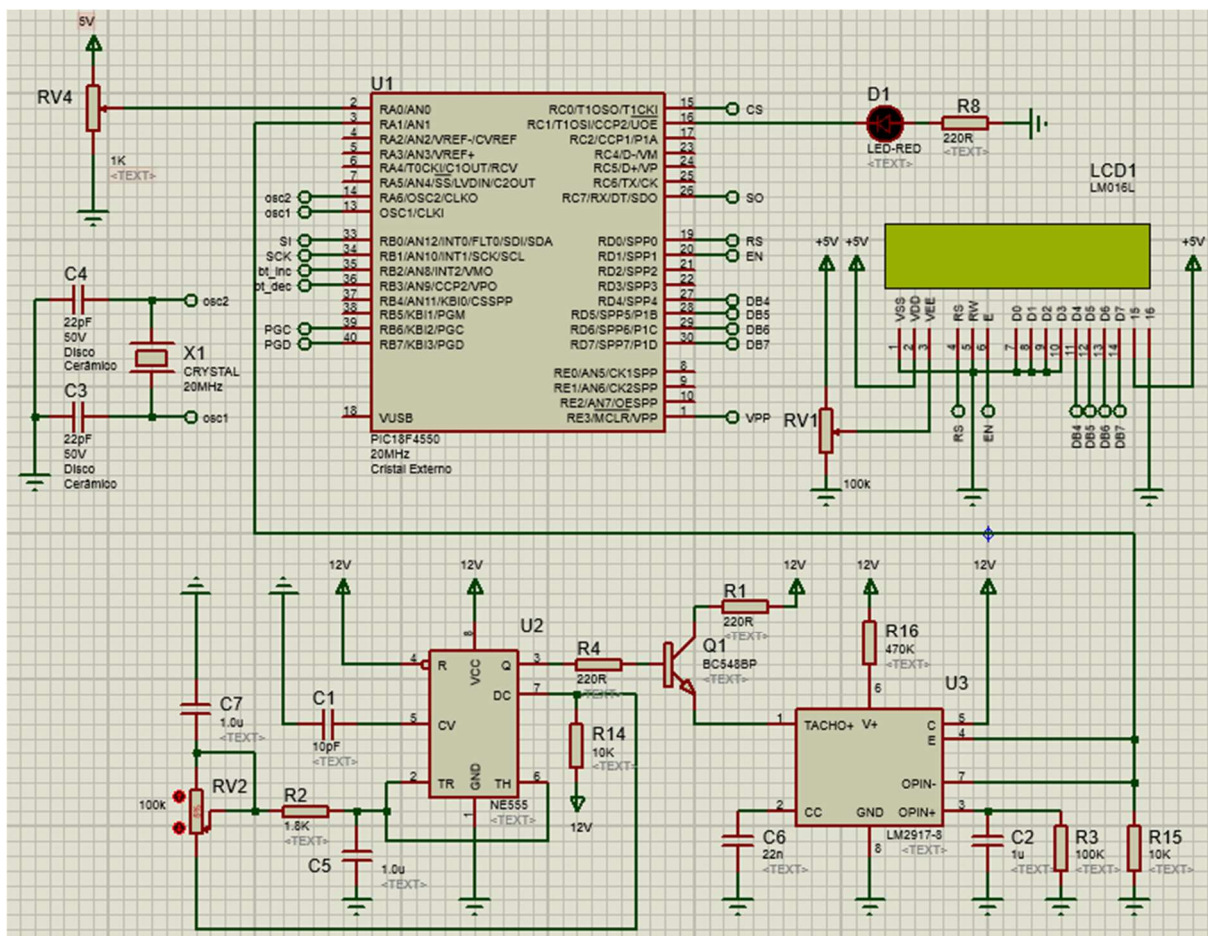
Figura 36 – Circuito da placa Base do Prof.º Edson, utilizada no projeto



(Fonte: Prof. Dr.Edson, Jan 2017)

Na figura 37 abaixo, temos a representação simplificada das placas conectadas entre si, com os dois potenciômetros nas entradas AN0, a placa do Prof. Edson com o PIC18F4550 e display 16x2, o led alimentado pela saída PWM RC1 (CCP2), e as placas de conversão do sinal de frequência gerado pelo 555, amplificador de sinal e do conversor de frequência para tensão, que é conectado à entrada analógica AN1.

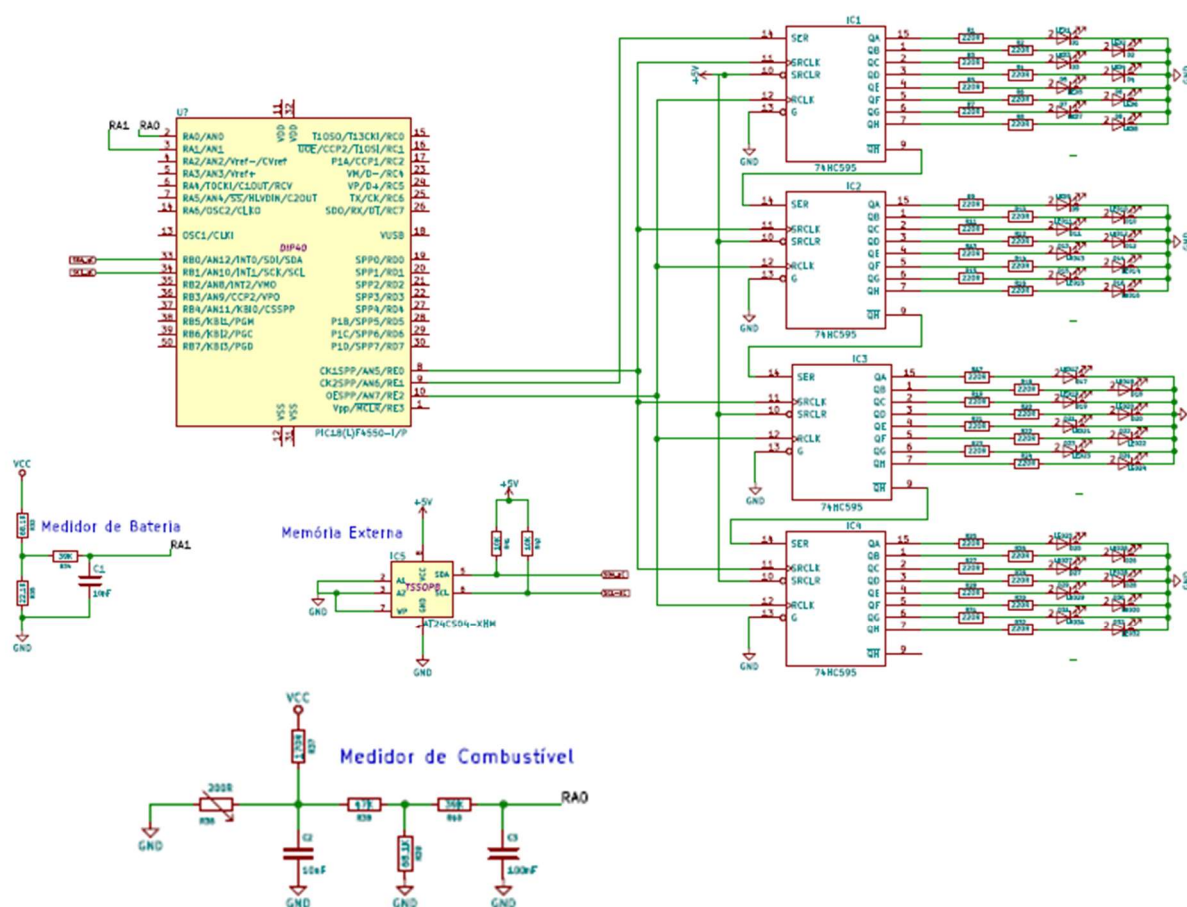
Figura 37 – Circuito Geral de todas as placas conectadas, com uso do software Proteus.



(Fonte: O Autor, Dez 2018)

Na próxima representação, vem a Figura 38 onde apresentamos a placa didática do Prof. Wesley, de onde foram utilizados as funções do CI555 para simular o sensor Hall e efetuar o controle de rotação, também um potenciômetro para simular o sinal da sonda lambda e efetuar o controle da tensão e um led que recebe sinal da saída RC1 (CCP2) PWM para representar o Duty Cycle conforme variação de sua luminosidade.

Figura 38 – Circuito da placa Base do Prof.º Wesley, utilizada no projeto

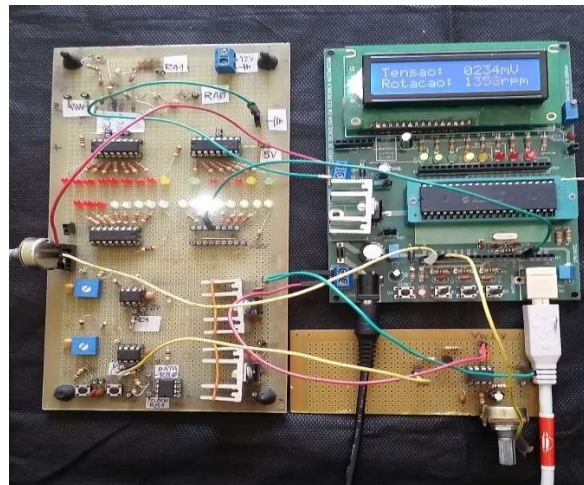
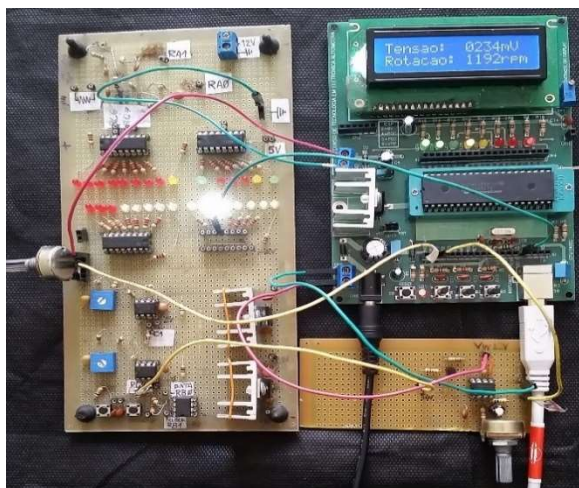


(Fonte: Prof. Wesley, Jan 2016)

Na Figura 39 abaixo, acionando-se o potenciômetro de controle (a esquerda da placa, inserido na entrada analógica AN0) teremos a variação do sinal que representa o sensor de oxigênio. Logo abaixo do primeiro, temos outro potenciômetro (Azul) interligado ao CI555 que gera um sinal de onda quadrada de frequência variável em 55 a 300 Hz aproximadamente. O sinal do CI555 entra no circuito amplificador de sinal (BC548B) e após isto será conectado ao LM2719 que irá fazer a conversão para tensão, tornando possível acionar o circuito de software sem utilizar a segunda porta PWM, entrando na porta analógica AN1. Já a saída é PWM, pino RC1 (CCP2) que controla um led com controle variável da intensidade luminosa, representando a variação da tensão do sinal modificado que será retransmitido à ECU do veículo para o correto funcionamento da célula de hidrogênio em harmonia com o motor do veículo.

Aqui teremos Duty Cycle = 1, onde se encontra a situação de marcha lenta, aquecimento do veículo e o Cut-off.

Figura 39 – Placas e Circuito de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), em medição para marcha lenta em 1192rpm (esquerda) e já com 0,8 vezes o Duty cycle para acima de 1200rpm, com 1356rpm. Lambda permanece com 0,234 mV.

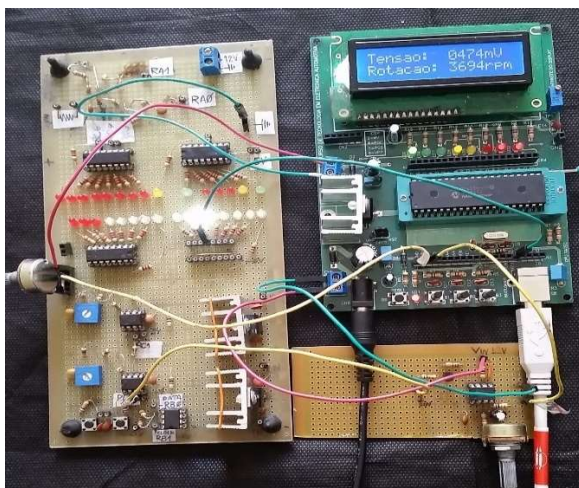
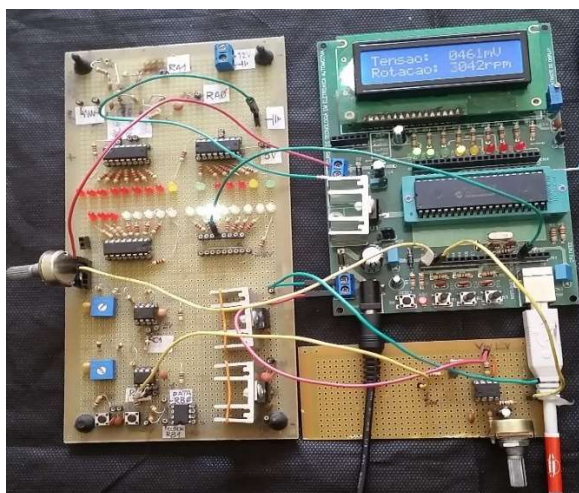


(F)

(Fonte: O Autor, Out 2018)

Na Figura 40 abaixo, acionando-se o potenciômetro Azul (RPM) de controle teremos a variação do sinal que representa o sensor de relutância magnética variável. Como o sinal de onda quadrada variou dentro de 1.15 a 1.51 volts (média 150 Hz aproximadamente), irá fazer o decremento proporcional do sinal PWM (led) representado por uma intensidade luminosa multiplicada por 0,8 *Duty Cycle*, em situação de redução e máxima economia de combustível, trocado pelo gás hidrogênio injetado.

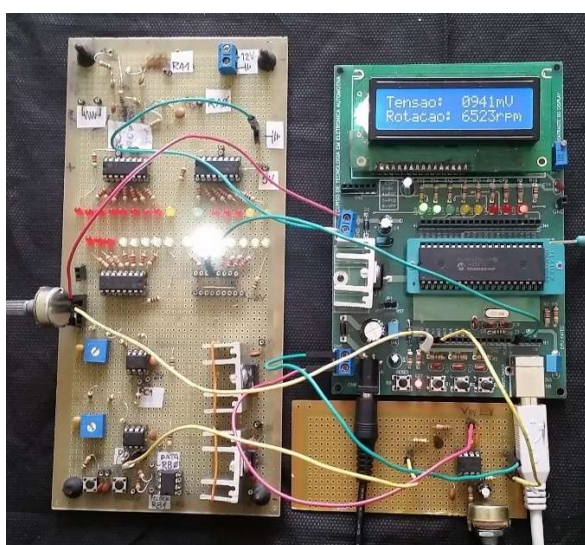
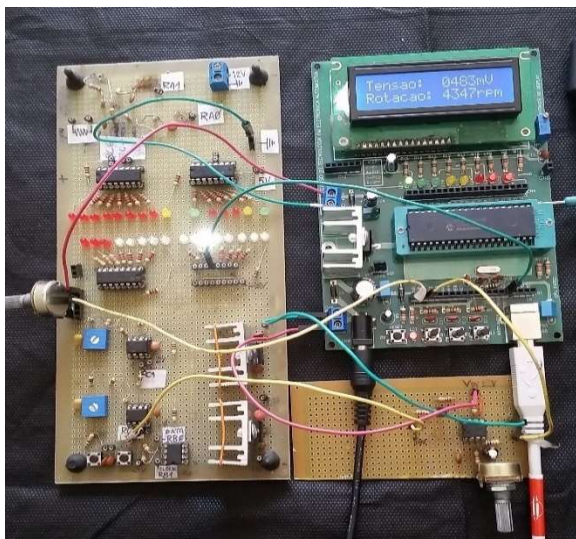
Figura 40 – Placas de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), com 0,8 vezes o Duty cycle em medição para marcha de cruzeiro em 3042rpm (esquerda) e para 3694rpm. Lambda varia de 0,461mV a 0474mV.



(Fonte: O Autor, Out 2018)

Na Figura 41, por final temos as situações de máxima solicitação do motor. Como o sinal de onda quadrada variou dentro 1,48 a 2,05 volts (base 275 Hz aproximadamente), irá entrar em fator 1 para o *Duty Cycle* do sinal PWM (led) , que representa o estado de By Pass, com uso 100% do combustível injetado.

Figura 41– Placas e Circuito de controle de frequência/tensão (RPM) e tensão (Lambda), ambas com fator 1 vezes o Duty cycle em medição para marcha de exigência de torque em 4347rpm (esquerda) e para aceleração máxima, com 6523rpm. Lambda varia de 0,483mV a 0941mV.



(Fonte: O Autor, Out 2018)

13. APLICABILIDADE E BENEFÍCIOS

O sistema de produção do hidrogênio por demanda é seguro e proporciona economia de combustível a diversos tipos de veículos, Otto e Diesel.

Sua aplicação confere diversos benefícios, como maior durabilidade

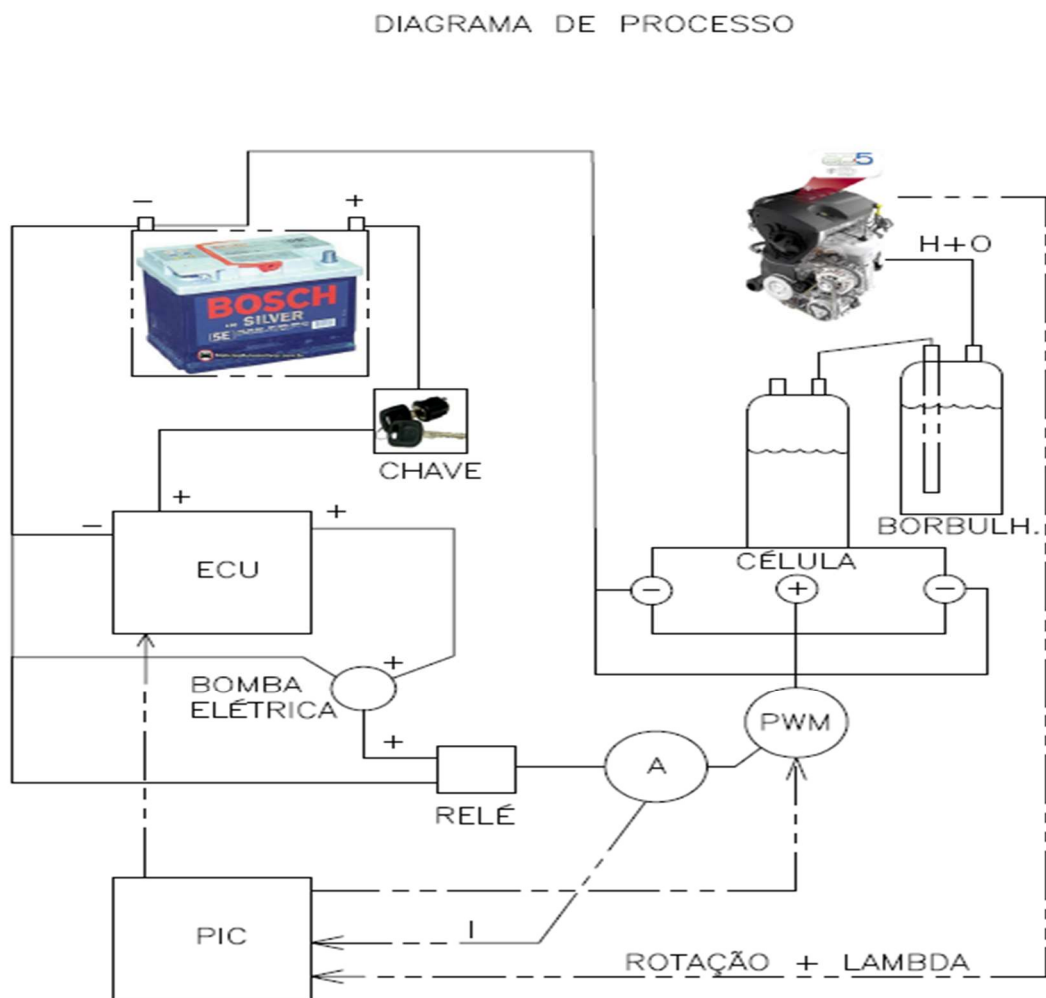
Grande parte das pesquisas e desenvolvimentos se iniciam na área espacial, fato que comprova a sua confiabilidade em sistemas embarcados, além do desenvolvimento difundido em diversas áreas, como nos celulares, sistemas multimídias e computadores, em que o uso de displays se mostram confiáveis.

A criação fica limitada apenas a interface gráfica, considerando uma linguagem de programação de alto nível, possibilita:

- Melhores recursos gráficos que em C.
- Mais formas e efeitos nas apresentações.
- Menor prazo, menor preço e a possibilidade de adiantamento de protótipos.

Na Figura 42, temos o Diagrama de Processo de funcionamento da Célula de Hidrogênio inserida no veículo.

Figura 42 – Diagrama de processo da célula HHO



(Fonte: O autor, Out 2018) – Figura: Bateria Bosch.

14. CONCLUSÃO

As células de hidrogênio tem grande aplicação nos motores a combustão, Otto e diesel, podendo ser mais viáveis do que os sistemas de GNV largamente utilizados atualmente.

Com sua simplicidade e baixo custo, as células de hidrogênio não são utilizadas no sistema “on demand” por motivos claros, relacionados a baixíssimo custo do combustível, que é água destilada, não sendo lucrativo para as grandes produtoras de combustíveis.

Com o objetivo de “afinar” o emprego de uma célula de combustível em PVC, utilizamos esta placa com emprego de um PIC18F4550 para regular a saída do sinal da sonda lambda corrigido, a fim de proporcionar a maior economia possível para qualquer veículo onde a célula seja aplicada.

Desta forma, almejamos uma homologação deste sistema, para que seja aplicado a frotas comerciais e particulares, sem problemas com garantia dos fabricantes.

A plataforma utilizada permitiu que o sinal da Lambda e o sinal de rotação pudesse levar em consideração informações cruzadas e por planilhas de médias conhecidas, fossem estabelecidos os valores corretos de mistura, com a injeção de hidrogênio no sistema, mas sem interferir na demanda do motor, economizando combustível.

O projeto não se encontra finalizado, existem funções adicionais a serem implementadas futuramente no seu desenvolvimento, como:

- Realizar construção de sistema CCPWM(Constant Current PWM);
- Aplicação de Data-logger para levantamento de mapas 3D;
- Monitoramento de nível do líquido interno da célula;
- Estudo de aplicabilidade em Diesel, cuja taxa de compressão é ideal.

15. BIBLIOGRAFIA

HARTMAN, J. , “How to Tune & Modify Engine Management Systems”, Acesso em jun 2018

MIYADAIRA, A.N., Microcontroladores PIC18F4550, 2009, Ed. Érica, Acesso em jun 2018

PEREIRA, P.,PIC – Programação em C, 2003, Ed. Érica, Acesso em jun 2018

BAPTISTA, J.P. Microcontroladores, 2001, Acesso em jun 2018

BOSCH, Manual de Tecnologia Automotiva, 25ª Ed, São Paulo, Ed. Edgard Blucher, Acesso em jun 2018

<http://www.stefanelli.eng.br/webpage/celula-combustivel/celula-a-combustivel.html>, Acesso em jun 2018

Mason, D, D & N Engenharia Automotiva-Klondikedarol@yahoo.com , Acesso em jun 2018

<https://www.solucoesindustriais.com.br/> , Acesso em jun 2018

<http://www.dicasmecanicas.com>, Acesso em jun 2018