

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRE

PEDRO LUIZ MARQUES ALMEIDA

**PLATAFORMA PARA MEDIR TEOR DE ETANOL EM COMBUSTÍVEIS
BRASILEIROS**

Santo André - SP

Julho - 2018

Pedro Luiz Marques Almeida

**PLATAFORMA PARA MEDIR TEOR DE ETANOL EM COMBUSTÍVEIS
BRASILEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Dr.: Antônio Armando Maria
Laganá

Coorientador: Paulo Alexandre Hayashida

Santo André - SP

Julho - 2018

Ficha Catalográfica

Almeida, Pedro Luiz Marques
Plataforma para medir teor de etanol de combustíveis Flex /
Pedro Luiz Marques Almeida. – Santo André, 2018.
74p.

Orientador: Dr. Antônio Armando Maria Laganá
Coorientador: Paulo Alexandre Hayashida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro
Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Fatec Santo André
– Curso de Eletrônica Automotiva.

1. Combustível Flex. 2. Sensores. I Laganá, Antônio A. M. II
Fatec Santo André.

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 02 DE JULHO DE 2018

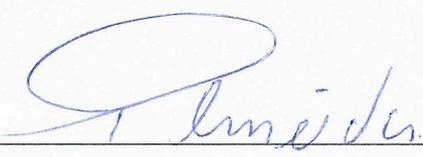
LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "PLATAFORMA PARA MEDIR TEOR DE ETANOL EM COMBUSTÍVEIS BRASILEIROS" DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. CARLOS ALBERTO MORIOKA 

MEMBROS:

PROF. ME. ADRIANO RIBOLLA PROF. ME. JHONNY FRANK SOUSA JOCA **ALUNOS:**PEDRO LUIZ MARQUES ALMEIDA 

Agradecimentos

À Fatec Santo André que me acolheu desde o primeiro dia vislumbrando o meu crescimento como aluno e como profissional.

À direção, secretaria, auxiliares docentes e demais funcionários; os quais sempre se mostraram empenhados, com legítimo sucesso, em manter o ambiente escolar harmonioso e cativante para nós alunos.

Aos Doutores, Mestres e Professores que nela lecionam com verdadeira dedicação e compromisso. Sendo esses, fonte rica de conhecimento técnico e caráter, os quais tenho o privilégio de tê-los conhecido.

À Continental por ter fornecido o componente e o respectivo manual.

Ao Professor Garup, que me incentivou na reta final de minha empreitada, exigindo de mim um verdadeiro trabalho acadêmico; aquele que digo que tive sorte de ter encontrado.

Ao meu orientador, Professor Doutor Antônio Armando Maria Laganá, o qual foi exemplo magnífico de pessoa e educador, descortinando para mim o maravilhoso universo da pesquisa e do estudo, este o qual assumo com absoluta convicção que continuarei a explorar.

Ao coorientador, Professor Paulo Alexandre Hayashida, que me acompanhou, apoiou e instruiu desde o início dessa jornada.

A todos colegas e amigos que ajudaram neste fabuloso ambiente escolar.

E à minha amada família pela confiança, paciência e amparo.

Resumo

O trabalho de conclusão de curso que se apresenta nas próximas páginas discorre sobre a tecnologia empregada no sensor composição de combustível Flex Br-FFS (Brazilian Flex Fuel Sensor), que é usado especificamente nos carros brasileiros com motores sobrealimentados. É apresentado: desde as peculiaridades dos combustíveis brasileiros; características gerais e funcionamento do motor de ciclo Otto, eletrônica embarcada, turbocompressor e auxiliares de partida; conceitos básicos de eletromagnetismo; e características gerais e funcionamento do componente em questão. Foi desenvolvida ainda uma plataforma de teste que simula uma linha de combustível, onde através do sensor de composição, é realizada a medição da porcentagem de etanol do combustível que percorre o sistema; utilizando o microcontrolador PIC18F4550 para interpretação do sinal proveniente do sensor e um display LCD para interface homem-máquina.

Palavras-chave: Combustível brasileiro, Motor Flex, Sensores, Br-FFS.

Abstract

The undergraduate thesis that is showed on next pages talks about the technology contained on Brazilian Flex Fuel Sensor is used specifically on Brazilians cars with supercharged engines. It's introduce since the particularly of Brazilians fuels, generals features and operation of cicle otto's engine, embedded electronics, turbocharger and start assistant; basic concepts about electromagnetism; and general features about the device. A stand was developed to simulate a real fuel line that provides condition to measure the levels of ethanol in the compound. The measurement was estimated by sensor composition. The microcontroller PIC18F4550 is used to read the signals from sensor composition, meanwhile LED display supports man-machine interface.

Keys words: Brazilians Fuels, Flex Engines, Sensors, Br-FFS

Lista de Ilustrações

Figura 1: 4 tempos do motor de ciclo Otto	21
Figura 2: Fluxograma da partida a frio	27
Figura 3: Turbocompressor.....	28
Figura 4: Capacitor.....	31
Figura 5: Capacitor e seu Dielétrico.....	32
Figura 6: Transdutores do Sensor Br-FFS.....	35
Figura 7: Sinal de saída do sensor	37
Figura 8: Circuito condicionador.....	39
Figura 9: Microcontrolador PIC 18F4550 - Pinagem	43
Figura 10: 1º Ensaio – 50Hz	51
Figura 11: 3º Ensaio – 143Hz de etanol.....	52
Figura 12: 4º Ensaio – 190Hz Frequência de erro.....	53

Lista de Tabelas

Tabela 1: Gasolina x Etanol – Características gerais.....	18
Tabela 2: Gasolina x Etanol – Potência e torque.....	19
Tabela 3: Gases emitidos.....	21
Tabela 4: Sensores e atuadores	24
Tabela 5: Motor aspirado x Motor com turbocompressor	28
Tabela 6: Misturas entre gasolina e etanol	36
Tabela 7: Faixa de medida do sensor	38
Tabela 8: Exemplo de identificação da água no sinal de saída do sensor.....	38
Tabela 9: Características gerais.....	39
Tabela 10: Configurações dos “timers”	44

Lista de Quadros

Quadro 1: Gasolinas comercializadas pela Petrobras	17
Quadro 2: Sinal da Sonda Lambda.....	23
Quadro 3: Gerenciamento do motor mono-combustível.....	24
Quadro 4: Gerenciamento do motor bicombustível	26
Quadro 5: Constante dielétrica do etanol.....	36
Quadro 6: Frequência x Porcentagem de etanol	37
Quadro 7: Diagrama de blocos do CCP	45
Quadro 8: Diagrama de blocos da plataforma de teste de linha de combustível	46
Quadro 9: Registrador de configuração do CCP	49

Lista de Símbolos

A	área da seção transversal [área – m ²]
A ¹	área da placa [metro quadrado – m ²]
a	volume de água no composto
C	capacitância [farad – F]
d	distância entre as placas [metro – m]
e	volume de etanol no composto
\mathcal{E}	campo elétrico [newton por coulomb – N/C]
ϵ_0	permissividade elétrica no vácuo [farad por metro – F/m]
ϵ^1	permissividade elétrica [farad por metro – F/m]
ϵ_r	permissividade relativa do material
f	fração do respectivo elemento [metros cúbicos – m ³]
G	condutância [siemens – S]
g	volume de gasolina no composto
Hz	frequência [hertz - Hz]
I	corrente elétrica [ampère – A]
J	densidade de corrente elétrica [ampère por metro quadrado – A/m ²]
K	constante eletrostática
L	comprimento [metro – m]
ρ	resistividade elétrica [ohm metro – Ω m]
σ	condutividade elétrica [siemens por metro – S/m]
q	carga elétrica [coulombs – C]
R	resistência [ohm – Ω]
T	temperatura [graus celsius – °C]
μ C	microcontrolador
V	tensão [volts – V]
s	segundos

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivo	14
1.3	Contribuições Esperadas	14
1.4	Organização do Trabalho	15
2	Referencial Teórico	16
2.1	Breve discussão sobre combustíveis	16
2.2	Breve discussão sobre injeção eletrônica	20
2.3	Motor Flex	25
2.4	Partida a frio	26
2.5	Turbocompressor	27
2.6	Condutividade elétrica	29
2.7	Capacitância	30
2.8	Dedução matemática	33
3	Sensor de Composição de Combustível Flex	34
3.1	Princípios de Medição	34
3.2	Sinal Gerado	37
3.3	Circuito condicionador e características gerais	39
3.4	Vantagens do sensor Br-FFS	39
4	Metodologia	41
4.1	Início dos estudos	41
4.2	Hardware	43
4.3	Software	47
5	Resultados Obtidos	50
5.1	Plataforma com Sensor Br-Flex Fuel Sensor	50
6	Conclusão e Considerações finais	54

Referências	55
Apêndice A: Fluxograma	58
Apêndice B: Programa em C	68

1 Introdução

Segundo Alvarenga (2014) o Brasil é um dos grandes produtores de petróleo do mundo. De acordo com Brunetti (2012), a partir dessa matéria prima são retirados vários subprodutos, como: gasolina, diesel, óleo de combustível, GLP, querosene, nafta entre outros. Embora o Brasil tenha uma grande produção de derivados de petróleo, essa produção não torna o Brasil autossuficiente em petróleo, obrigando-o a importar o restante.

Conforme Uol (2008), na década de 1970 houve grande escassez global no fornecimento dessa matéria prima, denominada crise do petróleo, na qual o barril custava US\$1,80 em 1970 mais que dobrou o valor em apenas 4 anos. Em 1979 houve outro grande choque no preço do petróleo que chegou a custar US\$88,00 o barril.

Em meio a essas crises, para não ficar dependente das instabilidades do preço do petróleo, em 1975, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Petróleo (Proálcool) - prescrevendo subsídios federais para a produção da cana-de-açúcar. Às indústrias automotivas foram oferecidos incentivos fiscais, como empréstimos com baixa taxa de juros para que investissem em carros movidos a etanol. Em 1978, segundo G1 (2009), a Fiat lançou o Fiat 147 (primeiro carro movido totalmente a álcool) e nos próximos anos, o carro movido a etanol passou a ser uma realidade nas cidades brasileiras.

Na década de 1980, com os resultados positivos do programa, o governo implantou a adição de 20% de etanol anidro na gasolina, ponderando-se até a questão ambiental, referente à qualidade do ar expelido nos escapamentos - que não era o intuito primordial. No começo da década de 1990, a frota de carros movidos a etanol era alta, porém nos anos seguintes, aqueles incentivos tiveram um efeito inverso não previsto; o aumento do preço de outros alimentos causado pela monocultura, e a queda no preço do barril. Em 1998, o governo passa a não intervir mais na indústria sucroalcooleira e o carro movido a gasolina voltou a ser majoritário nas ruas.

No começo do novo milênio, houve outra crise do petróleo; contudo, as indústrias automotivas estavam mais bem preparadas para o mercado. Em 2003 a Volkswagen implementa na terceira geração do Gol o *motor Flex*, sendo este o

primeiro carro bicomustível comercializado, o qual o motor aceita qualquer teor de gasolina e álcool.

Em 2008, medidas previstas pelo protocolo de Kyoto para a redução de poluentes entram em vigor, fazendo com que o governo brasileiro passasse a se preocupar mais em controlar as emissões dos carros.

Hoje é possível encontrar nos postos de combustíveis a gasolina e o etanol, sendo que a gasolina é misturada com álcool anidro numa proporção que o governo controla devido às conveniências ambientais, políticas, econômicas que lhe é pertinente e nas concessionárias o carro com motor Flex.

Embora haja fiscalização governamental, comprometimento das refinarias e dos postos de distribuição para entregar ao motorista o combustível que ele tenha comprado, existem variações naturais dentre os combustíveis encontrados nas ruas.

Sendo assim, além dos diversos sensores automotivos que são usados pelo motor para extrair o seu melhor desempenho, foi desenvolvido ainda mais um, com uma nova tecnologia para identificar exatamente qual o combustível que está sendo injetado nos motores turbo da Volkswagen. Lançado no UP! TSI 1.0 em 2016, o sensor de composição de combustível é apresentado nas próximas páginas dessa monografia.

1.1 Motivação

Explorar a mais nova tecnologia empregada na eletrônica automotiva brasileira. Assimilar a integração que o sensor de composição de combustível faz com os recentes motores sobrealimentados, e compreender a importância da identificação exata do combustível antes da combustão ser realizada.

1.2 Objetivo

Desenvolver uma plataforma de estudo para o sensor de composição de combustível Flex (Br-FFS). E a partir do sinal de saída gerado pelo componente, realizar sua leitura e interpretação com um microcontrolador PIC 18F4550 da Microchip (para processamento) e com um display LCD (para Interface Homem Máquina).

1.3 Contribuições Esperadas

É esperado pelo autor dessa monografia, além de explicar o funcionamento do sensor Br-FFS e a sua importância no motor, proporcionar um material de base

para futuros trabalhos, como por exemplo, o aprofundamento do estudo do circuito de interpretação do transdutor que está contido no componente e o desenvolvimento das informações enviadas pelo sensor para melhorias no gerenciamento do motor.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho discorrerá da seguinte forma: No capítulo 2 é apresentado o referencial teórico seguido pelo funcionamento e características e vantagens do sensor no capítulo 3. O desenvolvimento e metodologia no capítulo 4, resultados alcançados com experiências e ensaios serão apontados no capítulo 5 e a conclusão no capítulo 6, além do fluxograma e programa em C anexos à obra.

2 Referencial Teórico

Neste capítulo serão abordados temas considerados, pelo autor, fundamentais para a compreensão do funcionamento e da importância do sensor de composição de combustível Flex.

2.1 Breve discussão sobre combustíveis

Segundo Brunetti (2012), o combustível é o elemento principal para a geração de trabalho do motor, ao mesmo tempo é perigoso desde: a sua extração; ao seu manuseio; até a sua combustão dentro do motor. Assim, características como poder calorífico, densidade, viscosidade, volatilidade, temperatura de ebulição, massa dos componentes químicos contidos nele entre outros fatores são minuciosamente estudados pelas refinarias e companhias de distribuição - visando a sua máxima eficiência e segurança para todos os usuários, tanto para motoristas, quanto para operadores de transporte e de postos de gasolina e o menor dano ao meio ambiente.

Sendo as características dos combustíveis das mais diversas, serão abordadas aqui apenas as pertinentes ao estudo que discorre, sendo essas: teor de etanol na gasolina; octanagem; e relação estequiométrica.

2.1.1 Gasolina

De acordo com Brunetti (2012), a gasolina é um hidrocarboneto, pelo fato de ser composta por apenas átomos de hidrogênio e de carbono.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2013) estabelece dois tipos de gasolinas: a do tipo A, conhecida como gasolina pura, sem adição de etanol anidro; e a gasolina do tipo C, esta com adição do etanol anidro – conforme (CIMA, 2015) numa proporção atualmente de 25% para as gasolinas de especificação Premium, e 27% para as de especificação Comum, esta chamada E27.

Autoridade esta garantida à ANP através do parágrafo 1º do art. 5º Lei nº 13.033 de 2014: “O Poder Executivo poderá elevar o referido percentual até o limite de 27,5% (vinte e sete inteiros e cinco décimos por cento), desde que constatada sua viabilidade técnica, ou reduzi-lo a 18% (dezoito por cento).” (BRASIL, 2014)

A ANP (2013) estabelece ainda duas especificações para as gasolinas tipo C comercializadas nos postos distribuidores, são essas: Gasolina Comum - octanagem

mínima de 87 IAD (Índice Ante Detonante); e a Gasolina Premium - octanagem mínima de 91 IAD.

Conforme ANP (2013) e Petrobras (2017) a Gasolina Comum ao sofrer adição de detergentes e dispersantes, os quais têm a função de limpar os componentes envolvidos no sistema de combustão do motor passa então a ser chamada de Gasolina Aditivada. A composição e quantidade de aditivos que são adicionados a ela ficam a critério das distribuidoras de combustíveis, obedecendo é claro às normas vigentes.

E a Gasolina Premium, além de apresentar maior octanagem, o que melhora significativamente o rendimento do motor, tem menor concentração de enxofre, o que diminui a liberação de gases tóxicos no final da queima.

A título de exemplo, o quadro 1 mostra as gasolinas fornecidas pelos postos da Petrobrás. Vale salientar que a gasolina chamada de Grid é a gasolina de especificação Comum com aditivos. A chamada Podium é a de especificação Premium com no mínimo 91 IAD, mas são fornecidos 97 como visto na tabela.

Quadro 1: Gasolinas comercializadas pela Petrobras

	Gasolina Comum	PETROBRAS GRID	podium
Octanagem (IAD) min.	87	87	97 (maior desempenho)
Enxofre (ppm) máx.	50	50	30 (menos poluente)
Aditivos	Não	Sim (verde)	Sim (menor nível de depósitos)

Fonte: Adaptado de Petrobras 2017

2.1.2 Etanol

A fórmula molecular do etanol é C_2H_6O – nota-se a presença de átomos de oxigênio em sua composição, o que não ocorre na fórmula da gasolina. Essa peculiaridade do etanol permite a sua identificação pelo sensor de composição de combustível Flex, o que será visto mais adiante no tópico 2.4.1.

Conforme Novacana (2017), o etanol é um composto oxigenado, um combustível de origem orgânica resultado da fermentação de cereais. Além de possuir matéria prima renovável (cana de açúcar - no Brasil) a sua outra grande vantagem é a menor emissão de gases causadores do efeito estufa.

O primeiro etanol obtido através do processo de fermentação é denominado Etanol Hidratado, pois de 95,1% a 96% de sua composição é álcool e o restante água. Há ainda o Etanol Anidro, conhecido como álcool puro. Este é obtido pela desidratação daquele hidratado, processo químico o qual é retirado água de sua composição, restando o mínimo de 99,6% de álcool.

Portanto existem dois tipos de etanóis, o anidro e o hidratado. O anidro é o que se mistura com a gasolina, e o hidratado é o etanol comum fornecido nos postos distribuidores de combustíveis. Há ainda postos distribuidores que disponibilizam o etanol comum aditivado.

Na tabela 1, são mostradas algumas características da gasolina e do etanol hidratado. A fonte bibliográfica a qual o autor teve acesso nesta tabela foi referente à gasolina E22 (e não E27), mas para fins comparativos essa pequena diferença no percentual de etanol na gasolina é irrelevante.

Tabela 1: Gasolina x Etanol – Características gerais

	Gasolina E22	Etanol Hidratado
Fórmula	C ₈ H ₁₈	C ₂ H ₅ OH
Composto	Hidrocarboneto	Oxigenado
Poder Calorífico	9.600 kcal/kg	6.100 kcal/kg
Temperatura de Ebulição	26°C à 220°C*	70°C
Temperatura de Autoignição	400°C	420°C
Taxa de Compressão	8,5:1 até 13,0:1	10,0:1 até 14,0:1
Relação Estequiométrica	E0 14,4 : 1 E22 13,3 : 1	E100 9,0 : 1
Calor de Vaporização	101 kcal/kg	201 kcal/kg
Octanagem	87**	98**

*a gasolina por ser formada por diversos compostos possui diversos pontos de ebulição iniciando em 26°C.

**em média, mas pode variar de acordo com o método de análise da octanagem utilizado (RON ou MON).

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Brunetti (2012), a relação estequiométrica é um parâmetro químico referente ao combustível, se refere à quantidade de massa de ar e de combustível que devem compor a mistura, para que ocorra a queima total do composto. Na tabela 1 acima, é possível perceber que na medida em que o teor de álcool na gasolina aumenta, a relação estequiométrica diminui.

Ainda na tabela 1, nota-se que a gasolina possui maior poder calorífico, o que expressa um maior potencial de entrega de energia ao motor, entretanto, o etanol

possui uma relação estequiométrica menor, demandando mais massa de combustível para o mesmo volume de ar admitido.

“Apesar do seu baixo poder calorífico, o calor de mistura é alto, pois a pequena relação ar-combustível exige a adição de maior volume de combustível para o mesmo volume de ar aspirado.” (BRUNETTI, 2012, p. 385).

Na tabela 2, são relatadas as especificações técnicas do motor 1.0L Flex GM - Onix Joy 2017, ilustrando a diferença e o melhor desempenho, tanto para potência quanto para torque, quando utilizado o etanol. O melhor desempenho do etanol tem por consequência, obviamente, um maior consumo do combustível.

Tabela 2: Gasolina x Etanol – Potência e torque

Onix Joy 2017 Motor 1.0L SPE/ 4ECO	Potência Máxima (ABNT - NBR ISO 1585)	Torque Máximo (ABNT - NBR ISO 1585)
Gasolina	78 CV (57,4kW) a 6.400 rpm	93 Nm (9,5mKg.f) a 5.200 rpm
Etanol	80 CV (58,8 kW) a 6.400 rpm	96 Nm (9.8mKg.f) a 5.200 rpm

Fonte: Manual do Proprietário - GM Onix Joy 2017

2.1.3 Octanagem

De acordo com Brunetti (2012), a octanagem de um combustível refere-se à sua resistência à autoignição ou combustão espontânea. Significa que quanto maior a sua resistência à pré-ignição (maior o IAD – Índice Antidetonante), maior é a pressão que esse combustível suporta na câmara de combustão, assim sendo capaz de armazenar mais energia para ser entregue ao virabrequim quando ocorrer a combustão.

A octanagem é responsável por determinar dois pontos importantes para o funcionamento do motor: a relação de compressão do motor (parâmetro mecânico); e o avanço de ignição (momento o qual é gerada a centelha dentro do cilindro – início da combustão).

Foi visto que a octanagem do etanol é maior que a da gasolina, exprimindo assim que um motor movido a etanol pode ter maior relação de compressão e maior avanço de ignição comparado ao motor movido à gasolina.

2.2 Breve discussão sobre injeção eletrônica

2.2.1 Motor ciclo Otto a 4 tempos

A maioria dos carros de passeio brasileiros possuem o motor ciclo Otto, conhecido também por motor de 4 tempos, são esses: Admissão; Compressão; Combustão e Exaustão.

Admissão: conforme Brunetti (2012), nesta etapa do ciclo ocorre a abertura da válvula de admissão permitindo a entrada da mistura ar-combustível (em um motor aspirado), para o cilindro através da sucção gerada pelo movimento descendente do próprio êmbolo. Posição do virabrequim: 0° - 180° .

Compressão: com o fechamento da válvula de admissão, inicia-se o ciclo de compressão, etapa em que o êmbolo tem como destino o Ponto Morto Superior (PMS) do cilindro, onde haverá a compressão da mistura ar-combustível. Precisamente, esta compressão acontece em uma saliência, denominada câmara de combustão, na parte superior do êmbolo – onde a razão entre o volume da câmara de combustão e o volume do cilindro determina a taxa de compressão do motor.. Posição do virabrequim: 180° - 360° .

Combustão: trata-se de um processo químico o qual depende de três elementos fundamentais para que aconteça, são esses: *Comburente*, *Combustível* e *Calor*.

Segundo Brunetti (2012), o comburente é disponibilizado através da válvula de admissão admitindo ar atmosférico que contem oxigênio; o combustível, através da válvula injetora de maneira mais atomizada possível.

O calor é obtido através da vela de ignição, componente este acoplado ao cabeçote do motor de maneira a qual sua extremidade encontra-se no PMS e em contato com a mistura ar-combustível comprimida. E no momento determinado pela unidade de controle do motor (UCM) é gerada uma centelha entre os eletrodos contidos na extremidade da vela de ignição, fornecendo o calor, incitando a combustão.

O deslocamento do êmbolo se direciona ao Ponto Morto Inferior (PMI). Apenas nesta etapa do ciclo há geração de trabalho, devido à expansão dos gases, transformando energia térmica em energia mecânica, passando essa energia ao virabrequim. Neste ciclo o ângulo do virabrequim alcança 540° .

Exaustão: conforme Brunetti (2012), após a combustão, a válvula de escape é aberta para a liberação dos gases gerados, iniciando o 4º e último ciclo. Passam ainda por um catalizador a fim de reduzir a emissão de poluentes, e pela sonda lambda, este, um sensor de oxigênio responsável por informar a qualidade da mistura ar-combustível para a UCM.

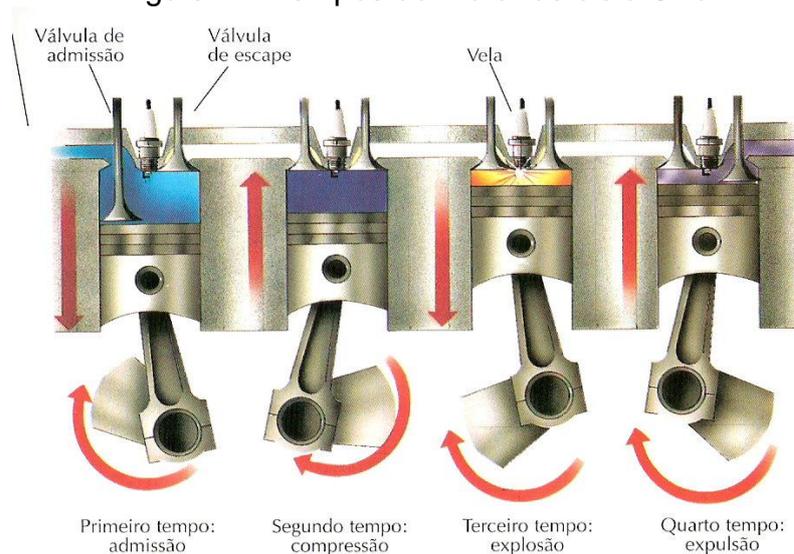
Tabela 3: Gases emitidos

Não Tóxicos 99%	Nitrogênio N ₂ 71%
	Dióxido de Carbono CO ₂ 18%
	Vapor d'água H ₂ O 9%
	Oxigênio e gases inertes 1%
Tóxicos 1%	Monóxido de Carbono (CO) - efeito estufa
	Hidrocarbonetos (HC) – smog
	Óxido de Nitrogênio (NOx) - chuva ácida
	Óxido de Enxofre (SOx) - chuva ácida

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 3 indica que a quantidade de gases tóxicos emitidos é baixa (1%) em relação ao total emitido, e também seus malefícios para o meio ambiente. Vale lembrar que o etanol não produz óxido de enxofre, e ainda que o gás carbônico, embora já contido no ar atmosférico, também contribui com o efeito estufa.

Figura 1: 4 tempos do motor de ciclo Otto



Fonte: Adaptado de Dicas de Mecânica 2017

2.2.2 Sensores e atuadores

Um sensor é basicamente constituído de transdutores com circuito eletrônico. Os transdutores são os responsáveis por relacionar grandezas físicas a grandezas elétricas; encarregados de detectar os diversos fenômenos físicos existentes na

natureza, tais como temperatura, vibração, oxigênio, campo magnético, etc. Cabe ao circuito eletrônico interpretar a variação elétrica sofrida pelos transdutores e fornecer um sinal relativo às mudanças ocorridas.

Os atuadores, por sua vez, se definem de maneira oposta aos sensores, e devem realizar trabalho a partir de um sinal elétrico recebido. Por exemplo, motores elétricos, bombas elétricas e solenoides.

Para a unidade de controle do motor (UCM) ser capaz de realizar cada etapa do ciclo Otto com o máximo de aproveitamento do combustível, do ar e do motor, são imprescindíveis diversos sensores e atuadores, sendo que alguns serão abordados sucintamente a seguir.

Sensor de Posição da Borboleta: segundo Laganá (2010), conhecido também por TPS (Throttle Position Sensor) é responsável por informar à UCM o ângulo de abertura da válvula borboleta.

Sensor de Rotação: conforme Turner (2009), é um sensor de efeito hall, localizado na roda fônica do motor. A partir da informação enviada por esse sensor, a UCM é capaz de calcular e determinar a rotação do motor e sua posição angular.

Sensor de Detonação: segundo Turner (2009), é um sensor piezo-elétrico fixado no bloco do motor responsável por informar a UCM a ocorrência de detonação durante o ciclo de combustão do motor.

Sensor de Temperatura: dentre os diversos sensores de temperatura no carro, os principais são para medir a temperatura da água de arrefecimento do motor e outro para medir a temperatura do ar no coletor de admissão. Através deste último, é possível calcular a quantidade de massa de ar que é admitida pelo motor.

Sensor de Pressão do Coletor de Admissão (MAP): localizado no coletor de admissão, também fornece um dos parâmetros para o cálculo da massa de ar que é admitida, a pressão absoluta do ar admitido.

Sonda Lambda: de acordo com Turner (2009) e Brunetti (2012), trata-se um sensor de oxigênio localizado no sistema de exaustão do motor, antes e depois do catalizador, responsável por identificar a quantidade de gás oxigênio (O_2) contido no gás de escape do motor. Com essa leitura, torna-se possível a identificação da qualidade da mistura dentro do cilindro - se a mistura está rica (com mais combustível), ou se está pobre (com mais ar), ou ainda se está estequiométrica.

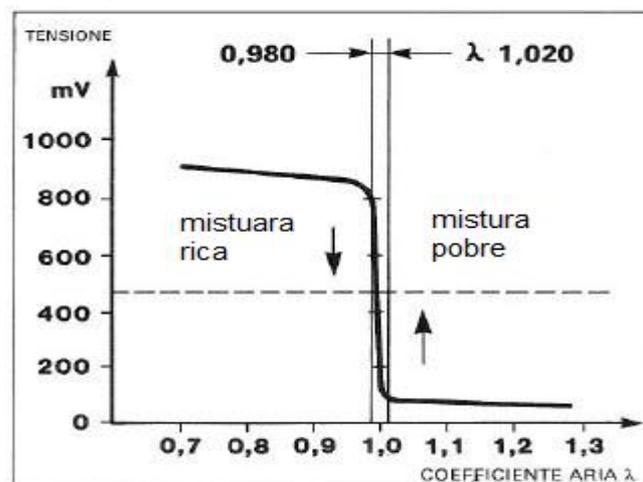
Através do seu sinal, a UCM define o tempo em que a válvula injetora ficará aberta, estabelecendo a massa de combustível da mistura na próxima volta do

motor, tornando o sistema de injeção de combustível um sistema de controle em malha fechada.

Vale ressaltar que a UCM deve ser capaz de compreender e reconhecer a necessidade do motorista em cada momento - se ele quer uma mistura rica para fazer uma ultrapassagem, ou uma mistura estequiométrica em marcha lenta. Posto isto, dentre os vários regimes de trabalho do motor, é considerado ou não a informação fornecida pela sonda lambda.

É lembrado ainda, que a mistura não estequiométrica (rica ou pobre), gera gases tóxicos para o meio ambiente. Na figura abaixo, verifica-se o gráfico típico do sinal da sonda lambda, em que lambda (λ), é representado por um valor de tensão.

Quadro 2: Sinal da Sonda Lambda



Fonte: Adaptado de Primauto 2017

Válvula Borboleta: segundo Turner (2009), trata-se de uma válvula acoplada a um motor elétrico localizado no coletor de admissão do ar, controlado pela UCM através de um PWM (Pulse Width Modulation) relacionado ao pedal de aceleração do motorista, ou com o regime de trabalho do motor. Tem a função de regular a passagem de ar para o motor.

Bobina e Vela de Ignição: segundo Brunetti (2012) a bobina de ignição é um transformador elevador de tensão responsável de fornecer à vela de ignição uma tensão que pode variar entre 5KV à 20KV. A vela de ignição corresponde a um componente acoplado ao bloco do motor responsável por fornecer calor à mistura, gerando um arco-voltaico entre seus eletrodos na câmara de combustão no momento exato indicado pela UCM.

Válvulas Injetoras: segundo Brunetti (2012) e Froes (2015), tratam-se de solenoides responsáveis por injetarem o combustível de maneira mais pulverizada

possível, visando uma mistura homogênea com facilidade de queima. As características das válvulas injetoras são inúmeras, como: o tipo de injeção do motor (direta ou indireta); o sistema de admissão de ar (aspirado ou sobrealimentado) entre outros fatores.

Na tabela 4 é possível identificar os sensores, atuadores e suas funções de forma mais simplificada.

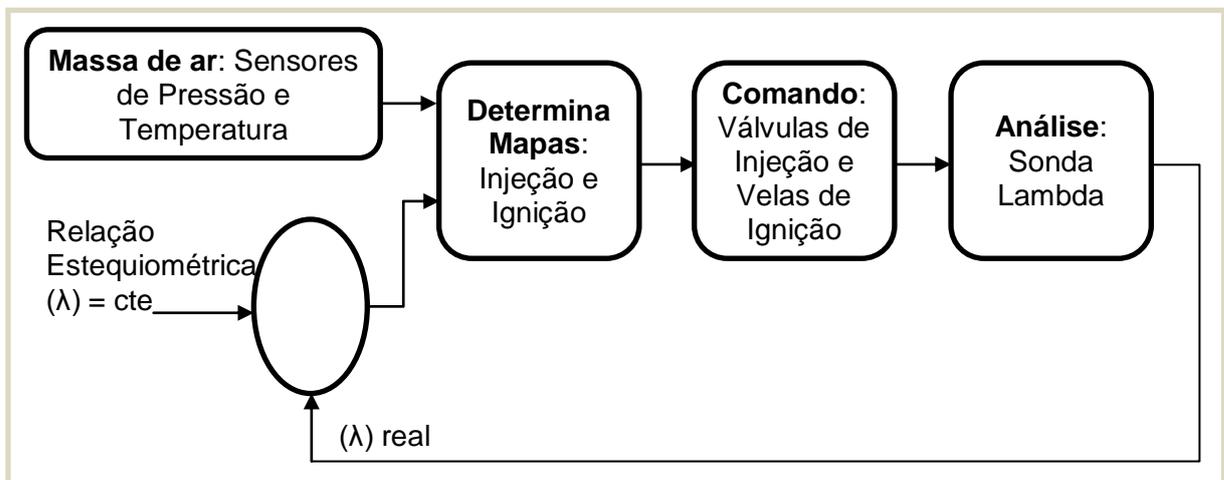
Tabela 4: Sensores e atuadores

Função	Sensores	Atuadores	Objetivo
Admissão de ar	MAP / MAF	Válvula Borboleta	Estimar a quantidade de massa admitida pelos cilindros
	Temperatura		
	Rotação		
	TPS		
Formação da mistura Ar-Combustível	Sonda Lambda	Válvulas Injetoras	Injetar massa de combustível conforme massa de ar admitida, visando uma mistura homogênea
		Bomba de Combustível	
Ignição	Detonação	Bobinas de ignição	Gerar a combustão no devido momento
		Velas de Ignição	

Fonte: Froes 2015

Dentre os diversos sensores e atuadores da eletrônica embarcada foram tratados aqui, ainda que de forma sucinta, apenas os que têm íntima relação com a mistura ar/combustível. Há sensores e atuadores para incontáveis finalidades no automóvel, que empregam desde o gerenciamento do motor ao conforto do motorista e dos passageiros. Para o aprofundamento no tema, recomenda-se ao leitor investigar em outras bibliografias.

Quadro 3: Gerenciamento do motor mono-combustível



Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro 3 ilustra por diagrama de blocos o gerenciamento do motor mono-combustível. Sensores como de rotação, de detonação e atuadores como bobinas

de ignição, bomba de combustível, relés e outros fatores como linha 30 por exemplo, que influenciam diretamente no funcionamento do motor, não foram citados visando a simplificação do diagrama.

2.3 Motor Flex

A palavra Flex provém de ‘flexibilidade’ que um motor Flex possui para operar com qualquer teor de etanol ou gasolina. Esta vantagem disponível ao motorista se deve à eletrônica embarcada atuando para continuar extraindo do motor o melhor desempenho independentemente do combustível usado.

Conforme Froes (2015), reabastecer o tanque com um combustível diferente do qual estava sendo usado, pode ser considerada uma situação um tanto delicada. Isto porque, como a gasolina e o etanol são compostos com características próprias e distintas - com seus respectivos mapas de injeção e de ignição - se não houver o conhecimento exato do combustível presente na galeria, podem ocorrer danos no motor e em seu funcionamento, tais como: detonações (foto1); e “afogamento do motor” causado pela grande quantidade de combustível injetado.

Foto 1: Cilindro danificado - Detonações



Fonte: Minha Oficina Minha Vida 2015

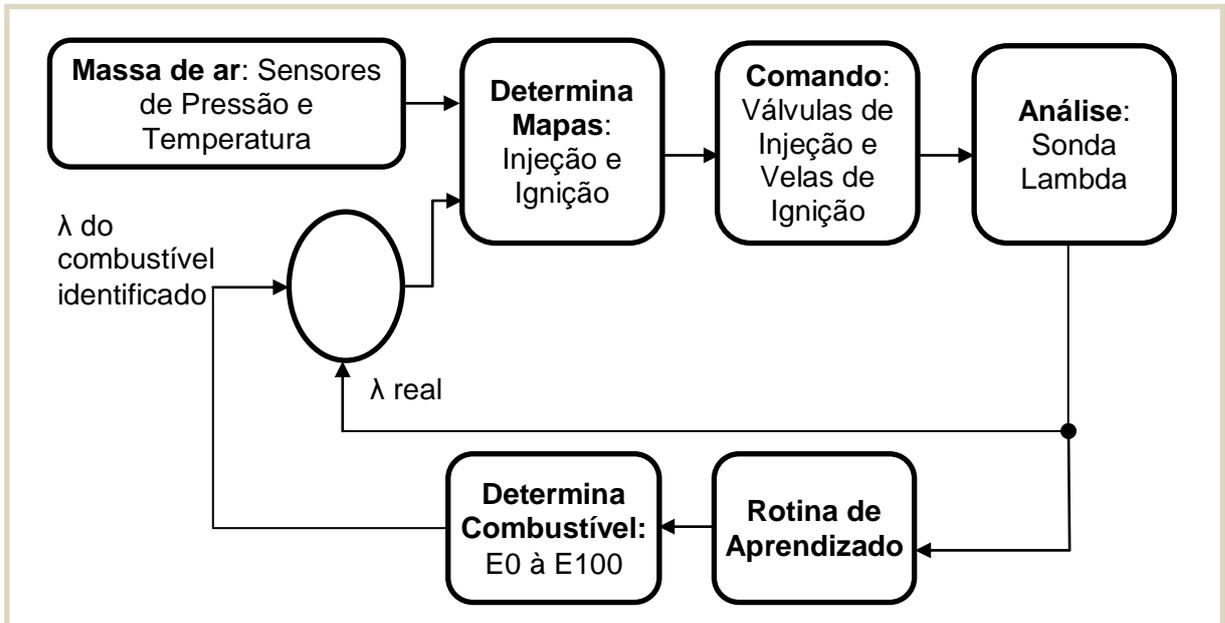
A UCM deve ser capaz de aplicar os mapas de ignição e de injeção correspondente ao combustível. Para isso, é considerado o valor da sonda lambda e um software de aprendizado – ou o sensor de composição de combustível.

O momento de reconhecimento do combustível é chamado de fase adaptativa.

O quadro 4 ilustra por diagrama de blocos o gerenciamento do motor bicomcombustível de forma simplificada. Onde é possível notar a implementação que foi feita no diagrama do quadro 3, com os blocos: “Rotina de Aprendizado” para a

comparação de parâmetros contidos na memória da UCM; e “Combustível” para a determinação da relação estequiométrica.

Quadro 4: Gerenciamento do motor bicombustível



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se no diagrama, que o lambda real que anteriormente era comparado com uma constante, passa a ser no motor bicombustível, comparado com um lambda variável. Afinal, a relação estequiométrica irá variar em função do teor de etanol contido na mistura. Ou seja, a UCM deve considerar agora de 0% a 100% de etanol hidratado, e/ou no mínimo 27% de etanol anidro na mistura.

Outra particularidade de um motor Flex, é quanto a sua relação de compressão, esta que é determinada no projeto do motor considerando-se o quanto que o combustível se permite ser comprimido - agora, deve ser determinada numa faixa intermediária para atender os dois compostos empregados nesse motor.

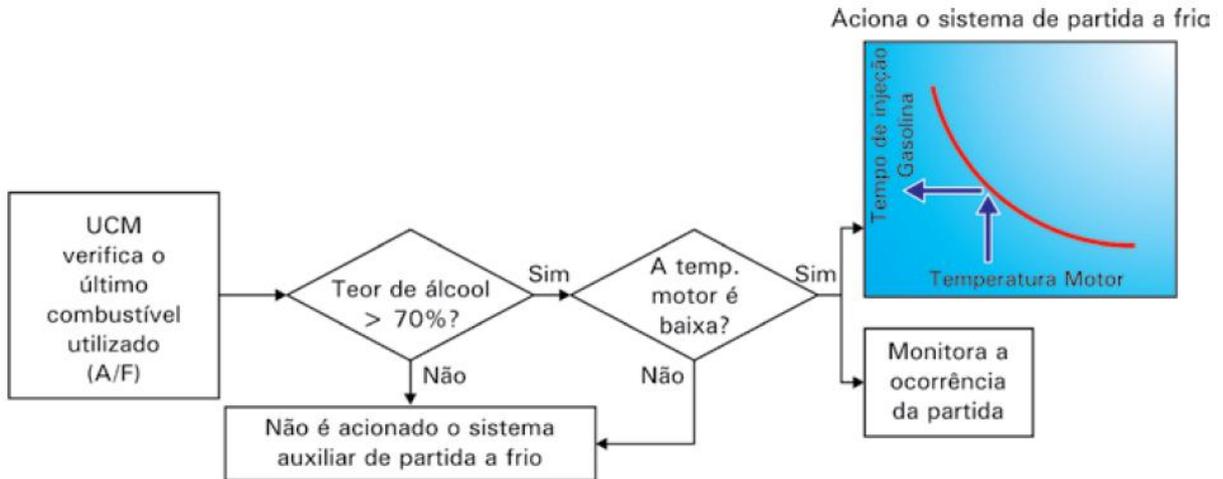
2.4 Partida a frio

Além do reconhecimento do combustível, outro tópico a ser considerado num motor Flex é a sua partida em baixa temperatura, a qual pode vir a não ocorrer quando usado o etanol, visto que este tem maior necessidade de calor para entrar em combustão em relação à gasolina.

Diante desse impasse, são disponíveis dois sistemas auxiliares para a partida a frio quando usado o etanol. O mais comum é simplesmente o auxiliar de partida frio; e um mais recente é chamado de sistema E-Flex.

A UCM realiza a rotina ilustrada no fluxograma a seguir para atestar a necessidade do sistema auxiliar.

Figura 2: Fluxograma da partida a frio



Fonte: Silva 2017

Segundo Silva (2017), o sistema auxiliar mais comum é constituído de um tanque reserva preenchido só por gasolina. Ao ser acionado, é injetado no cilindro gasolina junto com o etanol, de modo que a quantidade de gasolina a ser injetada é inversamente proporcional à temperatura do combustível. Este gráfico pode ser visto na figura 2.

O sistema E-Flex, por sua vez, constitui-se de um tubo de distribuição de combustível composto por aquecedores que realizam o pré-aquecimento do etanol, antes do mesmo ser injetado no cilindro. Eliminando-se o tanque reserva de gasolina, dando mais confiabilidade à partida.

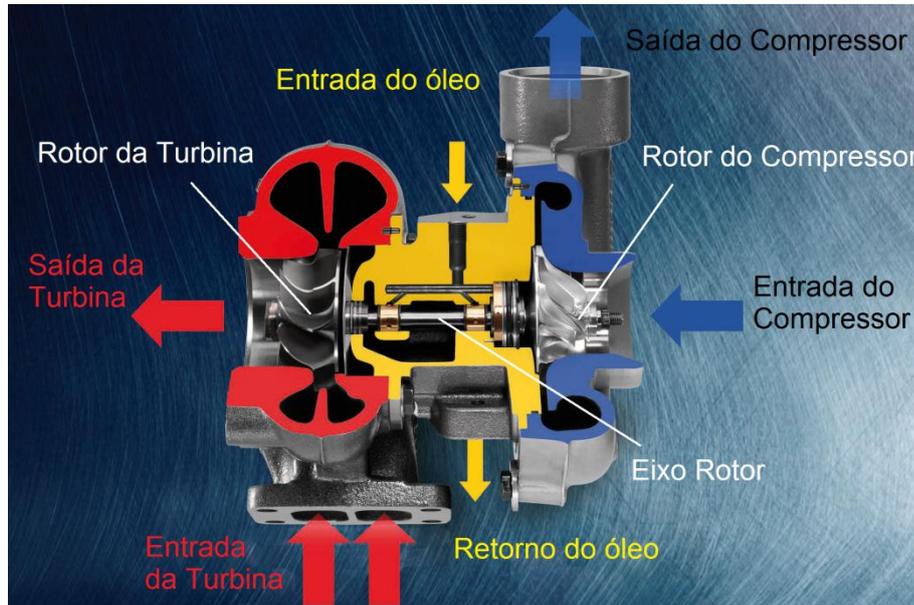
2.5 Turbocompressor

O turbocompressor é um componente adicionado aos motores de combustão interna, cuja função é utilizar os gases de escape para comprimir o ar admitido pelo motor.

A figura 3 ilustra o sistema de turbocompressor de um automóvel onde a parte vermelha corresponde aos gases de escape e a azul ao ar admitido. Os gases de escape ao girar o rotor da turbina, através do eixo rotor, gira conseqüentemente o rotor do compressor, este comprimindo o ar admitido. Evidencia-se que na turbina, há uma quantidade menor de pás do que no compressor. Além dessa diferença de quantidade, inclui-se também a diferença entre os tipos de pás nos respectivos

rotores, tanto no formato quanto no material, fatores importantes para a compressão do ar.

Figura 3: Turbocompressor



Fonte: Adaptado de Mahle 2011

O ar que anteriormente por sucção (gerada pelo próprio movimento dos cilindros), era absorvido de forma “dispersa” ao motor, passa agora a ser comprimido, e ainda “empurrado” para dentro do cilindro.

Assim, é garantido oxigênio para qualquer massa de combustível injetada, eliminando o desperdício de combustível que pudesse vir a ocorrer por falta de oxigênio para a combustão. De maneira ideal, o combustível injetado queima completamente. Obtendo-se um maior aproveitamento energético deste motor em relação ao de admissão aspirada.

Tabela 5: Motor aspirado x Motor com turbocompressor

UP! 1.0 TOTALFLEX 55/60 kW		Gasolina	Etanol	UP! 1.0 TOTALFLEX 74/77 kW - TSI		Gasolina	Etanol
Potência do motor (a 6.250 rpm)		55 kW (75 cv)	60 kW (82 cv)	Potência do motor (a 5.000 rpm)		74 kW (101 cv)	77 kW (105 cv)
Torque Máximo (a 3000 rpm)		95 Nm (9,7 kgfm)	102 Nm (10,4 kgfm)	Torque Máximo (a 1500 rpm)		165 Nm (16,8 kgfm)	
Taxa de Compressão		11,5:1		Taxa de Compressão		10,5:1	
Consumo*	Cidade	13,5 km/L	9,2 km/L	Consumo*	Cidade	13,8 km/L	9,6 km/L
	Estrada				Estrada	16,8 km/L	11,1 km/L

Aspirado com injeção indireta

Turbo com injeção direta

* Valores aproximados, afinal foram encontrados diversos valores, entre os quais variavam a medida de análise de consumo, como: ar condicionado ligado ou desligado e velocidades atingidas.

Fonte: Manual do Proprietário VW UP! 2017 e Silva 2017

A partir da tabela 5, nota-se que o motor com turbocompressor e injeção direta obtém potência e torque superiores ao motor aspirado com injeção indireta - ainda que com uma faixa de rotação menor - comprovando o seu melhor desempenho. A injeção direta também influencia no desempenho do motor, mas a mesma não será abordada aqui.

Obviamente esse desempenho demanda mais eficiência do motor e de seus componentes. Estes devem sofrer alterações para que seu rendimento e durabilidade não sejam comprometidos. Para suportar a altas pressões da admissão comprimida do ar, o tipo de material empregado no bloco e cabeçote do motor, dos pistões e bielas, design do coletor de admissão e coletor de escape entre outros componentes na linha de combustível são algumas das modificações que um motor sobrealimentado recebe.

2.6 Condutividade elétrica

A resistividade elétrica se refere à oposição ou dificuldade que um material apresenta para a passagem de corrente elétrica por ele mesmo. Segundo Boylestad (2012), a condutividade é simplesmente o inverso da resistividade, portanto se refere à facilidade que o material apresenta para a passagem de corrente elétrica sobre ele mesmo.

A corrente elétrica é o fluxo líquido de cargas elétricas transitando significativamente em um sentido. É o movimento de elétrons de modo não aleatório, provocado, por exemplo, por um campo elétrico.

Segundo Boylestad (2012), existem componentes que são projetados apenas com o intuito de se opor a essa resistência, chamados resistores. A equação 1 mostra a primeira lei de ohm usada para o cálculo da resistência.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

A condutância também pode ser expressa em G:

$$G = \frac{1}{R} \quad (2)$$

Essas equações se referem a grandezas macroscópicas. Se o objeto de estudo ou análise for um material, devem ser trabalhadas grandezas microscópicas.

$$\rho = \frac{\epsilon}{J} \quad (3)$$

Sendo a condutividade o inverso da resistividade, pode-se escrever:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

Há ainda a 2ª lei de Ohm:

$$R = \rho * \frac{L}{A} \quad (5)$$

Por meio da qual é possível obter a resistência através de parâmetros específicos do material como a resistividade; além dos geométricos (comprimento e área). E a partir dela alcançar uma equação para a condutância:

$$G = \frac{A}{\rho * L} \quad (6)$$

No tópico 2.5 (precisamente na equação 14), a equação 5 é explorada, a fim de comprovar a importância da temperatura na resistência elétrica do composto.

2.6.1 Auto ionização da água

Conforme Ayala (2017), quando elétrons são retirados do átomo, chama-se o átomo de íon positivo ou apenas de cátion. Quando elétrons são adicionados ao átomo chama-se o átomo de íon negativo ou apenas de ânion – quando isso acontece, a substância fica eletricamente desequilibrada.

A água por sua vez, pode se auto ionizar conforme sua temperatura e volume. Formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H₂O). Segundo Bronsted-Lowry, podem se ionizar formando H₃O⁺ (hidrônio) e OH⁻ (hidróxido). E podem da mesma maneira se associar voltando a formar H₂O.

De acordo com Fogaça (2017), o desequilíbrio elétrico torna as moléculas de uma determinada substância mais suscetíveis à condução de elétrons.

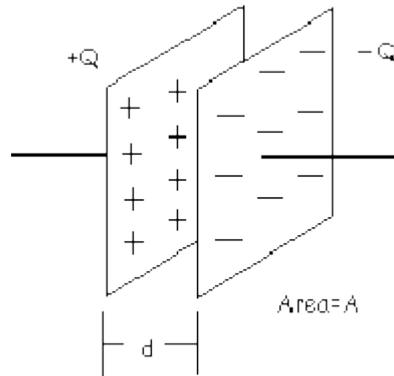
Isto posto, ao analisar os três compostos – gasolina, etanol e água – nota-se três condutores considerados ruins, sendo que a água, por apresentar a capacidade de auto ionização, tem uma condutividade ligeiramente maior que a dos outros dois e, desta forma, se faz possível a circulação de uma pequena corrente elétrica por ela, o que não ocorrerá nos outros dois (considerando essa mesma corrente elétrica), característica fundamental para a identificação da água no composto pelo sensor Br-FFS.

2.7 Capacitância

Segundo Boylestad (2012), a capacitância se refere à quantidade de carga elétrica que um capacitor é capaz de armazenar em suas placas. Quanto maior a capacitância, maior é a quantidade de cargas elétricas que o capacitor é capaz de armazenar.

O capacitor é um componente eletrônico constituído de dois condutores em paralelos, chamados de placas, sejam essas de qualquer geometria. As placas são separadas por uma distância 'd' e são carregadas com cargas elétricas de mesmo valor absoluto e com sinais opostos.

Figura 4: Capacitor



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como em Boylestad (2012), quando aqui se referir à carga elétrica 'q', se refere ao valor absoluto em uma das placas, e não ao valor total de cargas no capacitor, que é zero. Essa carga 'q' forma uma diferença de potencial que chamaremos de 'V', e não de 'ΔV' como em outros casos da elétrica. A partir dessa concepção, pode-se afirmar que a carga 'q' (quantidade de cargas elétricas contidas em uma das placas) é proporcional a diferença de potencial 'V', representada pela seguinte equação:

$$q = C * V \quad (7)$$

Onde "C" é a constante de proporcionalidade da quantidade de cargas armazenadas nas placas condutoras, chamada de capacitância. Esta qual é determinada por quesitos geométricos. Área dos condutores e a distância entre eles. Há ainda a equação 8 indicando a capacitância.

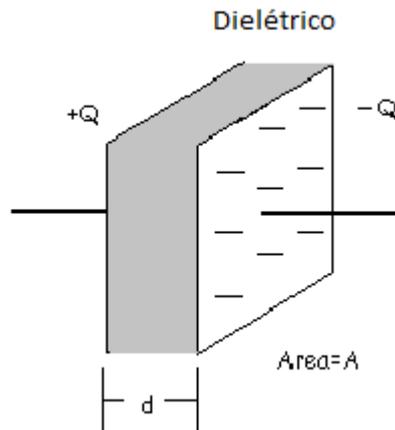
$$C = \frac{\epsilon_0 * A^1}{d} \quad (8)$$

Sendo que a permissividade elétrica é determinada pela equação 9:

$$\epsilon^1 = \frac{1}{4\pi k} \quad (9)$$

Entretanto, é possível preencher o espaço entre as placas com um material isolante com dois intuitos. O primeiro é aumentar a capacidade de armazenar cargas elétricas nas placas condutoras, o segundo é estabelecer ou limitar a diferença de potencial entre elas. O material isolante também é denominado por dielétrico.

Figura 5: Capacitor e seu Dielétrico



Fonte: Elaborado pelo autor

Obtém-se então a seguinte equação:

$$C = \frac{\epsilon^1 * A^1}{d} \quad (10)$$

Sendo “ ϵ^1 ” a constante dielétrica do meio relacionada ao material do dielétrico

$$\epsilon^1 = \epsilon_r * \epsilon_o \quad (11)$$

O dielétrico permite limitar a diferença de potencial entre as placas a um valor ‘ $V_{máx}$ ’. Ao ultrapassar esse valor ocorre a ruptura do dielétrico, e este que antes era um material isolante, passa agora a conduzir as cargas elétricas.

2.7.1 Permissividade

Conforme Boylestad (2012), a permissividade dielétrica é uma propriedade física própria de cada material, a qual está relacionada: à capacidade de interação do material com o campo elétrico ao qual ele está submetido; e à maneira (intensidade) em que esse material é polarizado por esse campo elétrico.

Portanto a capacitância, além dos fatores geométricos como área e distância, depende também da permissividade do material dielétrico utilizado.

Conforme Ribolla (2017), trazendo o discorrido até aqui ao campo de estudo deste trabalho, ressalta-se agora a diferença entre a permissividade relativa do etanol para a da gasolina, fato este decorrente da presença de oxigênio (componente que confere ao meio uma maior permissividade) na fórmula do etanol (C_2H_6O) – o qual, seja anidro ou hidratado, possui uma permissividade relativa ($\epsilon_r \approx 24,3$) maior que a da gasolina ($\epsilon_r \approx 2$) pois esta não tem oxigênio em sua fórmula (C_8H_{18}).

Assim, os combustíveis ao serem submetidos a um campo elétrico, atuando como possíveis dielétricos, fornecerão valores de capacitância distintos, relativos é claro, às suas respectivas permissividades ou composição molecular.

2.8 Dedução matemática

Neste tópico, é abordada conceitualmente, a maneira como é estimada a capacitância e a condutividade pelo sensor em função da temperatura.

Inicialmente, afirma-se que o material em estudo, é na verdade um composto (um combustível), formado basicamente por frações de três elementos (gasolina, etanol e água). Obtendo-se assim a equação 12:

$$Volume = f(gasolina) + f(álcool) + f(água) = 1 \quad (12)$$

Afirma-se agora que a capacitância e condutividade (inverso da resistividade) do combustível medida pelo sensor; se referem à capacitância e condutividade média dos elementos que constituem o composto.

Agora, a 2ª lei de ohm (equação 5), é reapresentada, com a ressalva da resistividade média:

$$R = \rho_{média} * \frac{L}{A} \quad (13)$$

Onde:

$$\rho_{média} = g * \rho_{gasolina}(T) + e * \rho_{etanol}(T) + a * \rho_{água}(T) \quad (14)$$

Sendo que a resistividade do material está em função da temperatura.

Anteriormente também foi apresentada a equação da capacitância (equação 10), a qual a mesma será retomada com a ressalva da permissividade média:

$$C = \varepsilon^1_{média} * \frac{A^1}{d} \quad (15)$$

Onde:

$$\varepsilon^1_{média} = g * \varepsilon^1_{gasolina}(T) + e * \varepsilon^1_{etanol}(T) + a * \varepsilon^1_{água}(T) \quad (16)$$

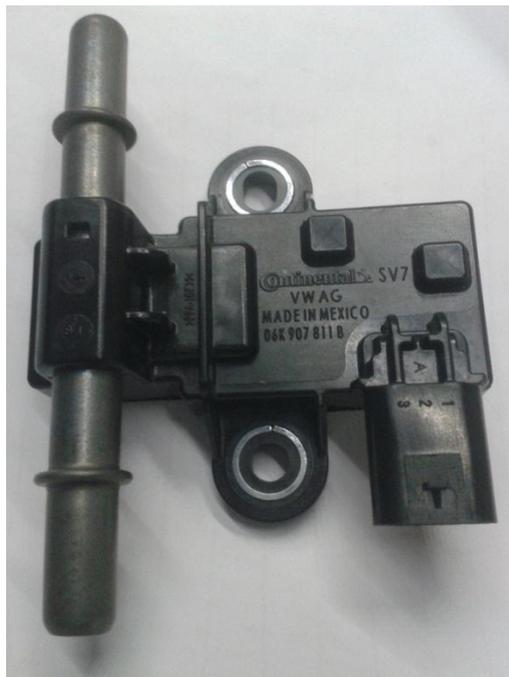
Sendo que a permissividade específica do material está em função da temperatura.

3 Sensor de Composição de Combustível Flex

De acordo com Continental (2014), o sensor de composição de combustível Flex, Brazilian Flex Fuel Sensor (Br-FFS), também conhecido como sensor de etanol, foi construído para atender especificamente o mercado automotivo brasileiro, sendo que este possui um mercado diferenciado como já explanado anteriormente.

O instrumento, visto na foto 2, tem a função de informar à unidade de controle do motor a porcentagem de etanol presente no combustível e a temperatura do mesmo.

Foto 2: Sensor de Composição de Combustível



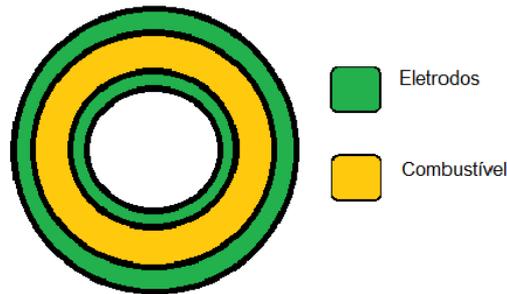
Fonte: elaborado pelo autor

3.1 Princípios de Medição

Segundo Continental (2014), o sensor possui um tubo metálico constituído de dois eletrodos em sua parte interna. O combustível ao passar por entre os tubos tem sua permissividade e condutividade medidas pelos eletrodos: a primeira - relacionada com a composição molecular do combustível (mais precisamente o oxigênio); e a segunda - relacionada com a quantidade de água (contida no etanol).

A Figura 6 ilustra como isto é feito: o combustível (em amarelo) entre os eletrodos (verde) assume o papel de um dielétrico como em um capacitor, possibilitando a leitura de permissividade, e também a sua condutividade.

Figura 6: Transdutores do Sensor Br-FFS



Fonte: Continental 2014

É realizada ainda a leitura da temperatura do combustível por um sensor de temperatura. A medida desta grandeza se faz necessária pelo fato de a disposição espacial volumétrica das moléculas variar conforme a temperatura. De modo que, em temperaturas mais elevadas, as moléculas de um material qualquer se encontram em geral mais dispersas do que essas mesmas moléculas submetidas a uma temperatura menor.

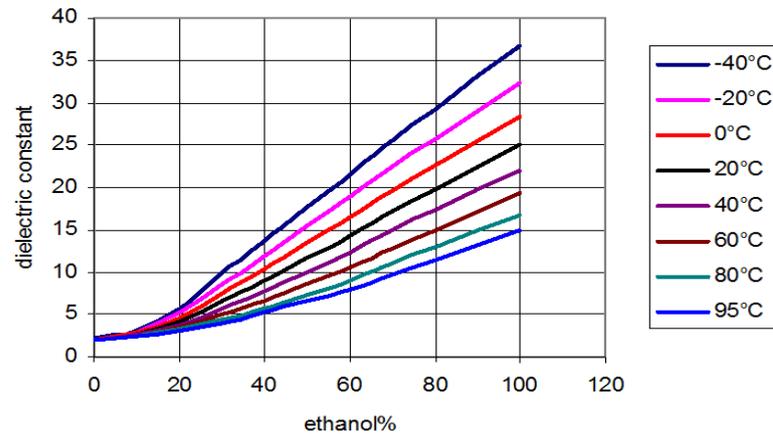
Desse modo, a informação da temperatura é indispensável para o próprio circuito eletrônico do sensor, este com a responsabilidade de realizar o cruzamento das informações de condutividade e capacitância, com a da temperatura do combustível – que é utilizada para estimar o volume contido entre os eletrodos – possibilitando o sensor prenciar o valor de condutividade e de capacitância a serem lidas para aquela quantidade mássica de combustível (e para aquela temperatura).

3.1.1 Permissividade lida pelo sensor

Segundo Continental (2014), a permissividade elétrica relativa (grandeza adimensional) da gasolina é aproximadamente 2, a do álcool é aproximadamente 24,3. Diante dessa diferença é possível estabelecer qual combustível está passando pelo duto do sensor.

No quadro 5, apresenta-se um gráfico da frequência do sinal de saída do sensor e o valor da constante dielétrica (ϵ_r) – determinada pelos transdutores conforme a variação da temperatura do combustível. Pode-se observar que a permissividade das curvas com menor temperatura é maior do que as de temperaturas superiores, comprovando que o sensor não pode fornecer a informação da porcentagem de etanol baseado apenas no parâmetro da permissividade como fonte, devendo também ter como parâmetro a informação da temperatura do combustível – o que justifica a presença do sensor de temperatura.

Quadro 5: Constante dielétrica do etanol



Fonte: Continental 2014

Na tabela 6 é indicado a composição dos combustíveis e seu respectivo valor de permissividade e de frequência de leitura pelo sensor. A primeira parte tabela indica combustíveis não usados no mercado; na segunda os combustíveis usados. É possível notar o aumento de (ϵ_r) conforme aumenta a porcentagem de etanol.

Tabela 6: Misturas entre gasolina e etanol

Proporção da Mistura	Etanol Anidro na Gasolina		Água na Gasolina		Etanol Hidratado no Álcool		Água no Álcool		
	% de Gasolina	% de Etanol	% de Gasolina	% Etanol Anidro	% Etanol Hidratado	% de Água	Total Etanol	Dielétrico (ϵ_r)@25°C	Br-FFS Saída(Hz)
	22,50%		0,09%		95,10%		4,90%		
Combustível não Empregado no Brasil	0	0	100	0	0	0	0	2	50
	0	0	95	5	0	0	5	3,13	55
	0	0	90	10	0	0	10	4,23	60
	0	0	85	15	0	0	15	5,35	65
	0	0	80	20	0	0	20	6,47	70
Combustível Empregado no Brasil	100	0	77,4	22,5	0	0,1	22,5	7,09	72,5
	90	10	69,7	20,3	9,5	0,6	29,8	9,07	79,8
	80	20	61,9	18	19	1,1	37	11,06	87
	70	30	54,2	15,8	28,5	1,5	44,3	13,05	94,3
	60	40	46,4	13,5	38	2	51,5	15,03	101,5
	50	50	38,7	11,3	47,6	2,5	58,8	17,02	108,8
	40	60	31	9	57,1	3	66,1	19,01	116,1
	30	70	23,2	6,8	66,6	3,5	73,3	20,99	123,3
	20	80	15,5	4,5	76,1	3,9	80,6	22,98	130,6
	10	90	7,7	2,3	85,6	4,4	87,8	24,97	137,8
0	100	0	0	95,1	4,9	95,1	26,96	145,1	

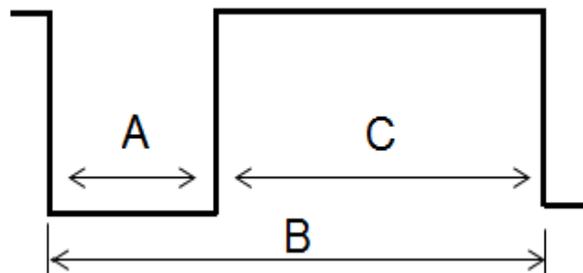
Fonte: Adaptado de Continental 2014

Segundo Continental (2014), o componente não foi feito para onde não há etanol hidratado. E ao detectar concentração abaixo de 22,5% de etanol anidro o sensor poderá ter a sua precisão de resposta comprometida.

3.2 Sinal Gerado

De acordo com Continental (2014), o dispositivo fornece um sinal de onda quadrada atualizado a cada 225ms, onde a frequência representa a porcentagem de etanol presente no combustível; e o tempo em nível lógico baixo, a sua temperatura. A figura 7 ilustra o sinal do sensor.

Figura 7: Sinal de saída do sensor



Fonte: Continental 2014

“A = tempo de pulso - tempo ligado do período (Temperatura); B = Período total (% Etanol); C = Tempo desligado do período.” (CONTINENTAL, 2014, p.8, tradução nossa).

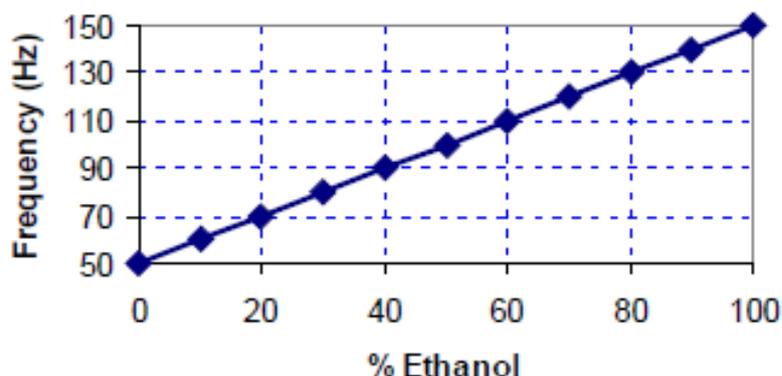
Para abstrair a temperatura a em “°C” por meio do tempo em nível lógico baixo em milissegundos [ms] utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Temperatura } [^{\circ}\text{C}] = [(t_{pulse} - 1\text{ms}) * 41,25^{\circ}\text{C/ms}] - 40^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

Fonte: Continental 2014

Para abstração da porcentagem do etanol é fornecido o seguinte gráfico pelo fabricante.

Quadro 6: Frequência x Porcentagem de etanol



Fonte: Continental 2014

Diante do qual, obtém-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Etanol} = \text{Frequência [Hz]} - 50 \quad (18)$$

As equações 17 e 18 são utilizadas no programa em linguagem C.

3.2.1 Faixa de medida e precisão

A tabela 7 fornece a faixa de medida pelo sensor, e seu respectivo sinal.

Tabela 7: Faixa de medida do sensor

	Faixa de Medida	Valor do Sinal
Etanol	0% a 100%	50Hz à 150Hz
Temperatura	-40°C à 125°C*	1ms à 20ms - t_pulse

*faixa correspondente à medição do ar, para o combustível, o range de medição é < 90°C.

Fonte: Continental 2014

“Quanto a precisão, esta está em função de 5 fatores: Relativa precisão da medição de capacitância; Precisão da medição de temperatura; Precisão da célula de medição; Software; Calibração.” (CONTINENTAL, 2014, p.10, tradução nossa).

Assim, equivalente a Continental (2014), deve ser considerado na resposta do sensor um desvio de +/- 5Hz (Resolução do etanol é de 0,1 % - 0,1Hz).

3.2.2 Diagnóstico

Existem algumas frequências fornecidas pelo sensor que são reservadas para informar a UCM falha no hardware ou combustível adulterado.

Tabela 8: Exemplo de identificação da água no sinal de saída do sensor

Combustível	Gasolina	Etanol Anidro	Etanol Hidratado	Água Normal	Água alterada*	Água Total*	Presença de Água	Sinal Br-FFS[Hz]
Gasolina	77.5%	22.5%	0%	0.1%	0	0.1	Não	72.5
					2	2.1	Não	75.4
					4	4.1	Sim	180/81.3
50% Gasolina 50% Álcool	39%	11%	47.6%	2.5%	0	2.5	Não	108.9
					2	4.5	Não	113.2
					4	6.5	Não	119.2
Álcool	39%	11%	47.6%	2.5%	0	4.9	Não	145.1
					2	6.9	Não	150.0
					4	8.9	Não	150.0

*valores de água total e água alterada em porcentagem

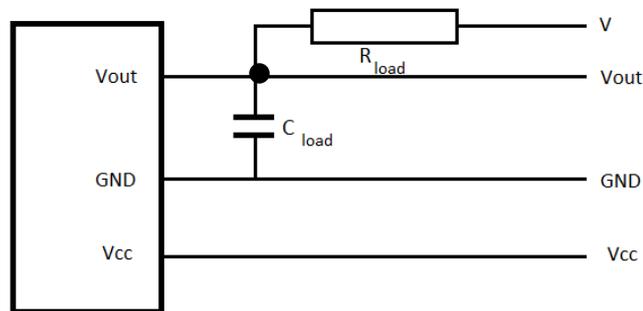
Fonte: Continental 2014

Na tabela 8, nota-se que no sinal de saída da gasolina com etanol anidro (com praticamente 0% de água) é identificado a presença de água no combustível e portanto o sinal muda para uma das frequências de erro (180Hz).

3.3 Circuito condicionador e características gerais

Abaixo é ilustrado o esquemático do circuito responsável por tratar o sinal originado pelo sensor para poder conecta-lo à UCM ou a um osciloscópio por exemplo.

Figura 8: Circuito condicionador



Fonte: Continental 2014

“Nota 1: O resistor de carga deve ser escolhido com limite de pull-up de 5mA. Altos resistores irão arredondar a borda de subida saída do sinal. A tensão de saída é limitada para 11mA.

Nota 2: Capacitor com alto valor irá arredondar a borda de subida do sinal.

Nota 3: A tensão de pull-up do resistor deve ser atribuída considerando o sinal máximo de saída com a maior frequência de saída (150Hz).”
(CONTINENTAL, 2014, p.12, tradução nossa).

A tabela que segue apresenta algumas características do dispositivo.

Tabela 9: Características gerais

Nível Lógico Alto	Tensão máxima de 0,5V corrente máxima de 5mA
Nível Lógico Baixo	Estabilizado com o módulo de gerenciamento pull-up
Corrente de Fuga	100uA
Tensão de Alimentação	9 – 18V
Corrente de Entrada	< 25mA
Tensão de Saída	3 – 18V
Pressão Máxima	< 3 kPa à 25°C com vazão de 135L/h
Vazão Máxima	400 L/h
Pressão Máxima do Combustível	13,5bar (189psi)

Fonte: Continental 2014

3.4 Vantagens do sensor Br-FFS

Ao implementar o sensor de composição de combustível ao motor Flex pode ser eliminada automaticamente a fase adaptativa do motor, esta qual, refere-se ao tempo em que a Unidade de Controle do Motor leva para reconhecer o combustível a ser injetado na câmara de combustão, e então, ajustar os mapas de injeção e de ignição para a relação estequiométrica ar-combustível ideal.

Eliminando-se a fase adaptativa do motor Flex – devido ao reconhecimento prévio do combustível evitam-se possíveis danos no motor; alcança-se a economia de combustível em razão da melhor eficiência da combustão; e reduz-se a emissão de gases poluentes.

Posto tais utilidades disponibilizadas pelo sensor à UCM, o motivo final pelo qual o sensor foi integrado ao motor Flex – é a durabilidade que o mesmo pode garantir ao próprio motor, quando este, é sobre alimentado com turbo compressor. Afinal, com um sistema de alta pressão, o dano causado por pequenos atrasos para o reconhecimento do combustível (que geram falhas na estequiometria da mistura) seriam, sem dúvida, bastante nocivos ao motor e sua durabilidade - mais do que no motor aspirado. Desta forma, as montadoras ao visualizar o projeto em longo prazo, adicionaram o sensor ao sistema de gerenciamento do veículo, a fim de prevenir futuros problemas que poderiam ocorrer nos carros com o turbo.

Pode-se dizer que essa foi a maneira encontrada pelas fabricantes para compreender o uso do turbo nos motores Flex brasileiros, visto que nosso combustível possui certas peculiaridades. Ao conversar com profissionais do mercado automotivo, dentre mecânicos, professores e técnicos de montadoras, fui levado a crer que as montadoras já assimilaram o impacto de nosso combustível nas atuais aplicações, e estudam retirar o componente do motor, com o intuito de reduzir os custos.

Desse modo o reconhecimento do combustível seria realizado como é na maioria dos carros, através do sensor de oxigênio, a sonda lambda.

Dentre os dados fornecidos pelo sensor, além da porcentagem de etanol, a temperatura do combustível também pode ser útil ao gerenciamento do motor, contribuindo diretamente para o sistema auxiliar de partida a frio, tornando a estratégia auxiliar mais eficaz. Entretanto, tal informação não é usada hoje pelas montadoras.

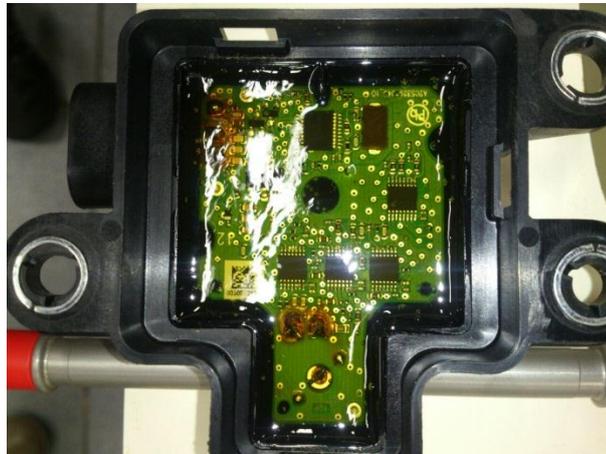
4 Metodologia

Neste capítulo será visto: o início dos estudos do sensor e sua prática de funcionamento; o funcionamento e aplicação dos periféricos usados do microcontrolador e ainda como foram desenvolvidos pontos chave de sua programação para a leitura do sinal gerado pelo sensor.

4.1 Início dos estudos

Primeiramente um sensor Br-FFS foi desmontado (foto 3) com o intuito de compreender como era obtida a leitura da temperatura pelo dispositivo, já que no manual do mesmo não há esta informação. Logo, foi visto que a leitura da temperatura era realizada por um sensor de temperatura (foto 4).

Foto 3: Sensor aberto



Fonte: Elaborado pelo autor

Foto 4: Sensor de Temperatura



Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de desmontado, foi desmembrado ainda o tubo de passagem do combustível do circuito eletrônico de tratamento do sinal gerado pelos transdutores. Possibilitando a visualização dos terminais dos transdutores (foto 5).

Foto 5: Célula de Medição - Transdutores



Fonte: Elaborado pelo autor

O autor considera importante relatar que foram realizadas medições de parâmetros elétricos do etanol e da gasolina através de um medidor de resistência, capacitância e indutância (medidor RCL – foto 6). E o objetivo de tais medições nesta obra seria de apenas é iniciar o levantamento das características elétricas dos combustíveis, possibilitando a investigação dessas para que fossem utilizadas em projetos futuros. Porém, devido às condições de ensaio não serem consideradas ideais, dignas e confiáveis, os valores obtidos não serão apresentados.

Foto 6: Medidor RCL



Fonte: Elaborado pelo autor

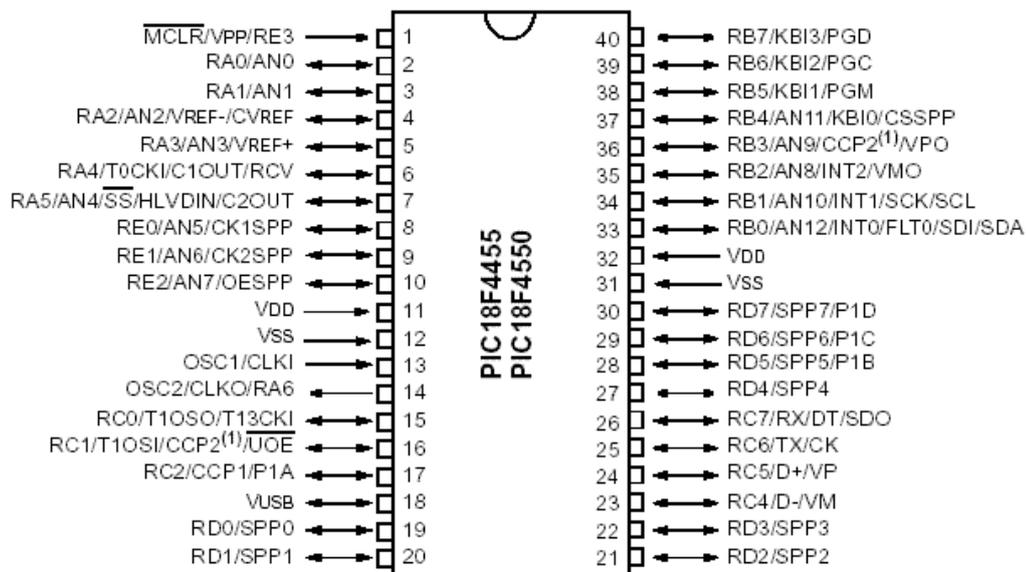
Foram utilizados também: multímetro; osciloscópio; gerador de função para simulação de onda quadrada (nos testes para o programa que realiza a interpretação da onda quadrada); termopar para comprovação da temperatura lida; fonte de alimentação e uma bomba de combustível; além de mangueiras, válvulas, soquetes de interligação e cabos de alimentação.

4.2 Hardware

4.2.1 Microcontrolador

O microcontrolador (μC) que atendeu as necessidades do projeto foi o PIC18F4550 da Microchip. Tal escolha se deve ao fato dele possuir USB (Universal Serial Bus), facilitando sua gravação, evitando o manuseio do componente na placa do projeto. Além do fato dele e da placa já terem sido usados em outros projetos do curso.

Figura 9: Microcontrolador PIC 18F4550 - Pinagem



Fonte: Microship 2009

Timers: são periféricos do μC que podem ser configurados como contadores ou temporizadores.

Análogo a Pereira (2010), a grande vantagem do timer é o seu funcionamento paralelo ao funcionamento da CPU do microcontrolador, isto porque programar um periférico significa modificar um circuito físico do microcontrolador. Assim, é possível a CPU realizar cálculos e executar linhas do código de programação enquanto o periférico trabalha, até que haja uma sinalização (por flag) de interrupção, gerada pelo periférico para que software execute a devida rotina de tratamento dessa flag.

Conforme Microship (2009), o PIC 18F4550 é constituído de 4 timers com características próprias de configurações. Todos têm a sua frequência de trabalho dividida por 4 caso o clock de referência seja o externo.

Modo Contador: essa configuração viabiliza incrementar ao registrador do timer um bit a cada pulso externo recebido pelo pino 6 (RA4/T0CK) resultando na

contagem desse sinal externo. E quando o registrador for totalmente preenchido: 8 bits – 256 pulsos; 16 bits - 65536 pulsos; sua flag será setada.

Modo Temporizador: essa configuração permite que o programador determine o tempo de acionamento da flag de overflow. Geralmente tem como fonte um oscilador externo estável, o cristal oscilador, o que permite a temporização de tempos reais (em segundos).

Deve ser considerado o clock de referência que o timer terá, interno ou externo, o tamanho do registrador utilizado, de 8 bits ou de 16 bits, e também a sua pré-escala.

A pré-escala do timer é um recurso que permite o programador manipular o tempo ou frequência de trabalho do timer. Refere-se ao quanto que a frequência de referência do timer deve ser dividida. Esse valor varia de 1:1 a 1:256 no caso do timer 0. Saliencia-se que antes da pré-escala há a divisão própria do uC por 4. A tabela a seguir exhibe as configurações dos Timers utilizadas no projeto.

Tabela 10: Configurações dos “timers”

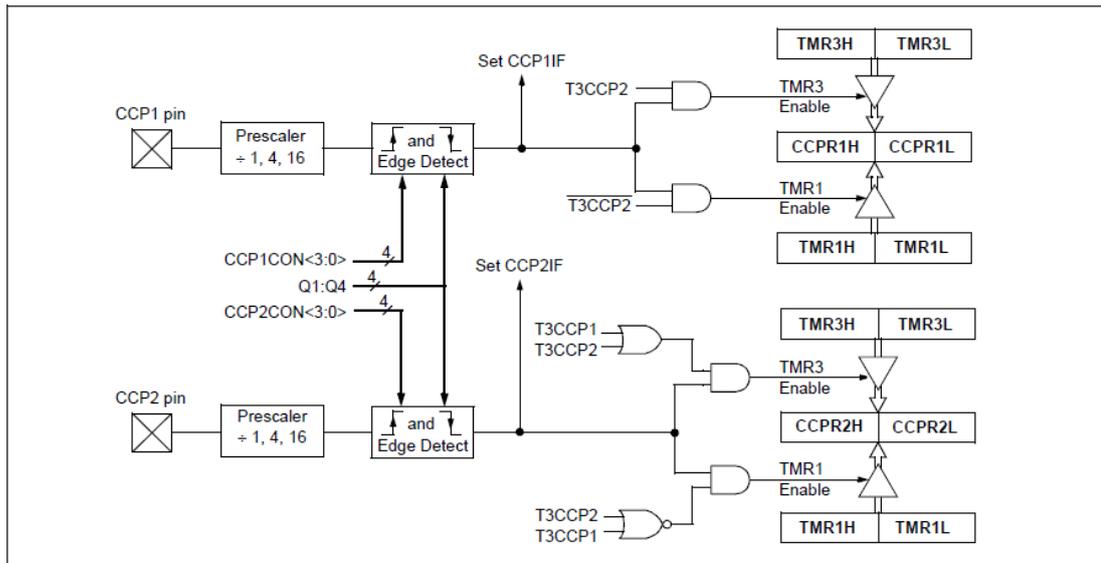
Timer	Tamanho do registrador	Pré-escala	Utilização
0	8 bits	1:256	Temporizador
1	Não utilizado	--	Flag do CCP 1
2	Não utilizado	--	--
3	2 x 8 bits ou 1 x 16 bits	1:1 a 1:8	CCP 2

Fonte: Elaborado pelo autor

CCP Capture/Compare/PWM: conforme Microship (2009), trata-se de um periférico com 3 modos de operação. São esses Captura: que permite capturar a borda de um sinal. Comparação: tem a função de comparar um sinal. Gerador de PWM: que permite gerar um sinal PWM.

Foram usados ambos os módulos CCP1 e CCP2, o primeiro para capturar borda de descida e o segundo para capturar borda de subida; embora o mesmo resultado pudesse ser alcançado utilizando apenas um módulo CCP - realizando a configuração de borda durante o programa e não na etapa inicial como é feito aqui.

Quadro 7: Diagrama de blocos do CCP



Fonte: Microship 2009

Ao ocorrer o evento programado (borda de subida ou de descida), é setada a flag (CCPxIF) permitindo a identificação dos níveis lógicos da onda quadrada.

O CCP1 utiliza o registrador do Timer 1 e o CCP2 utiliza o registrador do Timer 3, isto significa que buscar um dado no registrador do CCP, é o mesmo que buscar no registrador do seu respectivo Timer.

4.2.2 Display de Cristal Líquido

O LCD é a Interface Homem Máquina (IHM) do projeto, é claro que o dispositivo em estudo não se relaciona com o homem, e sim com a unidade de controle do motor. Mas como o objetivo aqui é elucidar seu funcionamento, emprega-se o display - responsável por expor as interpretações realizadas pelo PIC.

Para utilização do LCD deve ser compreendido três de seus pinos. São esses: RS, R/W e E.

- RS (Register Select): informa ao LCD se os dados que chegarão serão comandos ou caracteres.
- R/W (Read/Write): informa se será escrito no display ou se os caracteres contidos nele serão lidos.
- E (Enable): habilita a transferência de dados.

Foto 7: Placa com microcontrolador + display

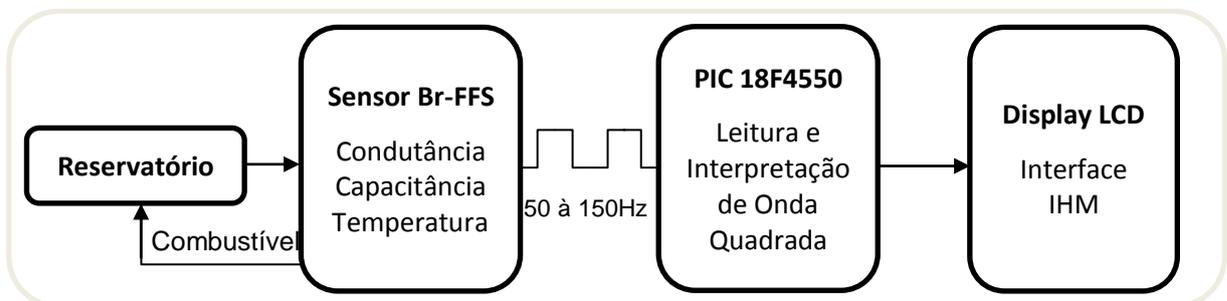


Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3 Plataforma de Teste

O quadro 8 ilustra basicamente o funcionamento da plataforma de teste.

Quadro 8: Diagrama de blocos da plataforma de teste de linha de combustível



Fonte: Elaborado pelo autor

A foto 6 mostra a plataforma que foi desenvolvida para a simulação da linha de combustível. Integrando o sensor Br-FFS, com reservatório e bomba de combustível, com a placa eletrônica já citada para a leitura do sinal do sensor.

Foto 8: Plataforma Linha de Combustível



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Software

Bootloader: O bootloader é um programa gravado na memória do microcontrolador, em um espaço que não será mais possível apagar ou sobrescrever outro programa.

Após gravado no microcontrolador, o bootloader possibilita o reconhecimento do periférico USB do PIC pelas portas USB do computador, e através do aplicativo executável que leva o mesmo nome do programa, é possível gravar o arquivo “.hex” no PIC, facilitando a rotina de ensaios do programador.

4.3.1 Configuração dos Timers

Embora os Timers e os módulos CCPs sejam periféricos (hardware), esses devem ser configurados via software, assim sua configuração é desenvolvida neste capítulo.

Timer 0: utilizado como temporizador para ministrar o tempo em que devem ser ocorridos alguns laços na programação, como: escrita e saudação do display e cálculos de expressões.

Como foi usado o bootloader, o PIC trabalha numa frequência de 48MHz por causa da porta USB, sendo assim, a frequência de entrada é de 48MHz. E deve ser dividida por 4 conforme sugere o fabricante.

$$\frac{f_{osc}}{4} = \frac{48MHz}{4} = 12MHz \quad (19)$$

Foi determinada uma pré-escala de 1:256, escolhida para nos fornecer o tempo de **1ms** mostrado adiante (equações 22 e 23).

$$\frac{12MHz}{256 \text{ pré-escala}} = 46875Hz \quad (20)$$

Portanto, o tempo em que será feita a contagem do timer 0 será de

$$1/46875Hz = \mathbf{21,333\mu s} \quad (21)$$

A base de tempo escolhida para contagem foi de **1ms**, logo:

$$\frac{\text{tempo desejado}}{\text{tempo de incremento do Timer}} = \frac{1ms}{21,3\mu s} \approx \mathbf{47 \text{ pulsos}} \quad (22)$$

Como será usado um registrador de 8 bits, temos:

$$255 \text{ pulsos} - 47 \text{ pulsos} = \mathbf{208 \text{ pulsos}} \quad (23)$$

Assim, o registrador do Timer 0 deve ser iniciado com o valor de 208. De modo que ocorra a sua interrupção ao final da contagem de 47 pulsos, resultando num tratamento de interrupção a cada **1ms**.

Timer 1: este timer não é especificamente utilizado. Foi utilizado apenas o seu registrador para o módulo CCP.

Timer2: Não utilizado.

Timer 3: o timer 3 é inicializado apenas uma vez na configuração inicial do programa setando-se o bit 'TIMER3ON', e desde então, manipula-se apenas o seu registrador, assim evitando seu "START - STOP" durante o programa, resgatando o seu valor nas trocas de bordas e limpando no final de um período de onda quadrada.

$$\frac{f_{osc}}{4} = \frac{48MHz}{4} = 12MHz \quad (24)$$

Utilizando pré-escala de 1:8.

$$\frac{12MHz}{\text{pré-escala}} = \frac{12MHz}{8} = 1,5MHz = \mathbf{666\mu s} \quad (25)$$

Desta maneira, cada pulso contabilizado pelo registrador do Timer 3 representa 666µs. Este valor é importante porque quando houver o resgate da contagem contida no registrador, a contagem deve ser multiplicada por 666µs.

Observa-se aqui que, embora escrevendo um valor no Timer 0 e lendo um valor no Timer 3, ambos Timers têm a função de temporizadores, afinal possuem como frequência de referência uma fonte de clock estável (que é o oscilador externo de 20MHz). Sendo que o Timer 0 tem sua contagem previamente estabelecida pelo programador e o Timer 3 tem sua contagem estabelecida pela sinalização de troca de estado advindo dos módulos CCPs.

4.3.2 Configuração CCP

Quadro 9: Registrador de configuração do CCP

REGISTER 15-1: CCPxCON: STANDARD CCPx CONTROL REGISTER

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—(1)	—(1)	DCxB1	DCxB0	CCPxM3	CCPxM2	CCPxM1	CCPxM0
bit 7							bit 0

Fonte: Microship 2009

“CCP1CON = 0b00000100”;

“CCP2CON = 0b00000101”.

Bit 3-0: responsáveis por determinar o modo em que o CCP irá atuar. Borda de subida ou borda de descida.

Utilizando-se dos dois módulos CCPs, o primeiro para capturar borda de descida e o segundo borda de subida. É fato que ao detectar a flag CCP2IF (borda de subida), a contagem contida até aquele momento no registrador do CCP2 ou do Timer 3 refere-se ao nível lógico baixo da onda quadrada. E quando setada a flag CCP1IF (borda de descida), representa a volta ao nível lógico anterior e portando o final do período da onda quadrada.

Assim, uma vez iniciado o temporizador do Timer 3, as futuras interrupções geradas pelas flags sinalizadoras de evento programado, indicarão ao programa o momento em que deve ser lido a contagem contida no registrador do Timer 3.

Neste programa foi usado apenas o registrador do CCP2. De modo que a importância do CCP1 se deve à sinalização de captura de borda.

5 Resultados Obtidos

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados na plataforma de medição do teor de etanol no combustível. As imagens do funcionamento da plataforma.

5.1 Plataforma com Sensor Br-Flex Fuel Sensor

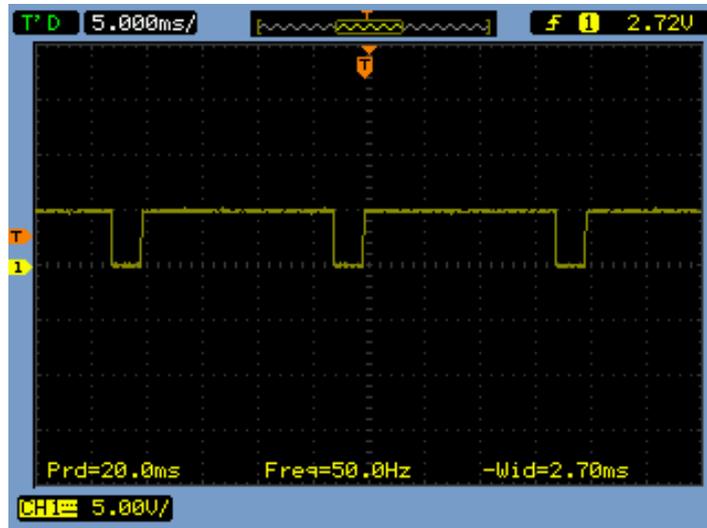
Foram realizados 3 ensaios na plataforma de teste: o primeiro ensaio mostrará o limite inferior da faixa de medição do componente, com frequência de 50Hz; o segundo ensaio, mostrará o sinal obtido com o etanol hidratado; e o terceiro, mostrará uma das frequências de erro.

Em cada um desses três experimentos mencionados acima, exibe-se a imagem da onda quadrada lida pelo osciloscópio e em seguida a imagem mostrada pelo display LCD na placa universal.

A seguir, além de ser verificado o funcionamento do sensor, conforme é apontado no seu manual; é verificada também a lógica usada para a interpretação do sinal e o funcionamento do programa em C.

No 1º ensaio, observa-se a onda quadrada a uma frequência de 50Hz, sinalizando que não há etanol no combustível. Isto se deve ao fato deste primeiro ensaio ter sido realizado sem qualquer composto ter circulado pela linha de combustível e pelo componente.

Figura 10: 1º Ensaio – 50Hz



Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se também o período (20ms) da onda para a respectiva frequência (50Hz), que são os limites inferiores da faixa de medição citada no tópico 3.2.1.

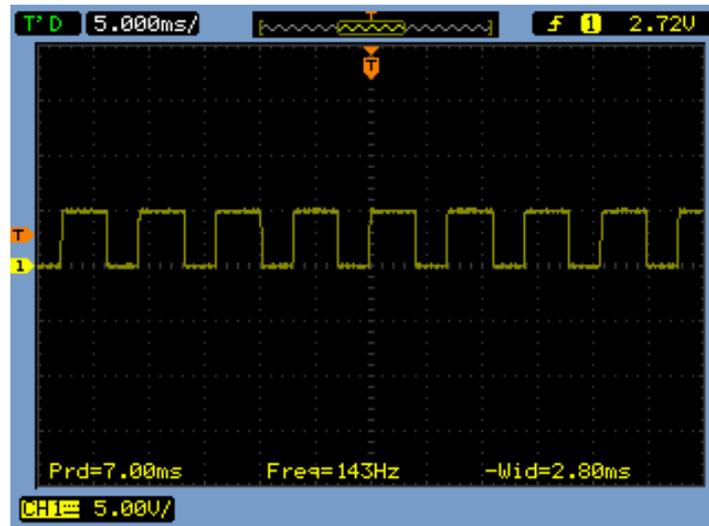
Foto 9: 1º Ensaio – 29°C e 0% de etanol



Fonte: Elaborado pelo autor

O 2º ensaio foi realizado com etanol comum, em que foi obtida uma frequência de 143Hz correspondente à porcentagem de aproximadamente 94% de etanol. Sendo possível verificar aqui que o etanol comum não é composto apenas por etanol e possui sim uma porcentagem de água. Sendo essa parcela de 4,9% no máximo. Valor próximo ao lido pelo sensor na plataforma de teste.

Figura 11: 3º Ensaio – 143Hz de etanol



Fonte: Elaborado pelo autor

Este ensaio foi realizado por pouco tempo, não o suficiente para observar a grande variação na temperatura do etanol.

Foto 10: 3º Ensaio – 34°C e 94% de etanol

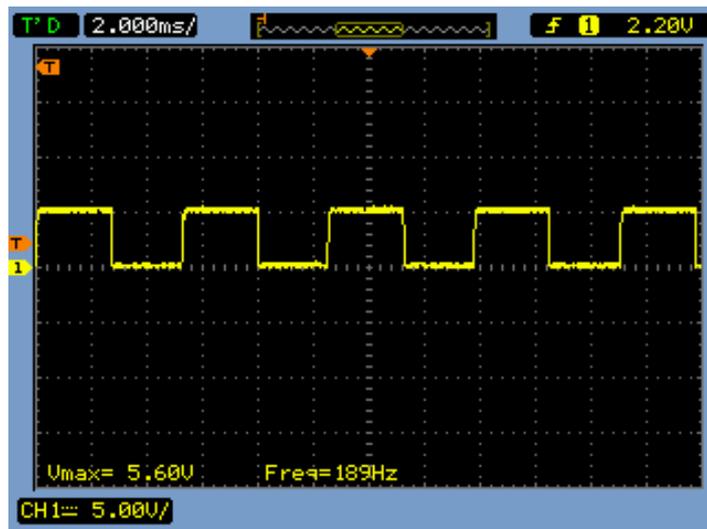


Fonte: Elaborado pelo autor

O 3º ensaio foi realizado involuntariamente, porém com igual importância a dos programados.

Isso porque depois de deixar o combustível (que era o etanol) no reservatório por um período de aproximadamente três semanas, e ao voltar a utilizar a plataforma para testes, foi possível visualizar uma das frequências de erro do sensor – a qual indica alta condutividade do combustível com 190Hz – indicando água no composto (mais do que o tolerável), sugerindo que houve alteração da composição.

Figura 12: 4º Ensaio – 190Hz Frequência de erro



Fonte: Elaborado pelo autor

Foto 11: 4º Ensaio – 190Hz Frequência de erro



Fonte: Elaborado pelo autor

6 Conclusão e Considerações finais

Concluo minha obra citando primeiramente os conhecimentos adquiridos no curso do trabalho, como: sobre os combustíveis brasileiros e as leis que o estabelecem; a visualização e aplicação de conceitos de campo elétrico, condutância e capacitância; e a programação em C para leitura do sinal gerado pelo componente.

A plataforma de teste simuladora de linha de combustível desenvolvida foi importante para o estudo, ensaio e comprovação do funcionamento do sensor Br-FFS, onde foi analisado o sinal gerado, compreendendo-o, interpretando-o e disponibilizando suas informações no display LCD.

Vimos que o dispositivo, mesmo fornecendo vantagens importantes ao veículo, não se torna tão fundamental para o sistema de gerenciamento do motor, e por isso, pode ser declinado por parte das fabricantes com o intuito de baratear o custo final do automóvel – voltando a utilizar os meios convencionais para estimar a composição do combustível e para a correção da mistura ar-combustível.

Dentre as considerações finais, resalto a possibilidade de: melhorias deste projeto; e possíveis trabalhos futuros.

A plataforma de teste pode ser aperfeiçoada esteticamente e com o incremento de componentes. Podem ser realizadas melhorias no software do projeto, como a utilização de apenas um módulo CCP, e uma rotina com melhor atualização do reconhecimento do sinal e apresentação do display. Também seria interessante: o controle e a medição da temperatura do combustível; um recipiente para melhor armazenamento do combustível e que facilite a troca de compostos; e ainda a adição de um distribuidor de combustível.

Quanto a futuros projetos: um circuito eletrônico que realize a função do sensor Br-FFS, o qual fará a leitura dos valores medidos pelos transdutores (capacitância e condutância), fornecendo então, um sinal respectivo àquela informação; e um estudo sobre a permissividade e a condutividade dos combustíveis.

Referências

ALVARENGA, D. A Petrobras gastará 140% mais com importação de combustível até 2020. **G1**, São Paulo, 25 fev. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/2014/02/petrobras-gastara-140-mais-com-importacao-de-combustivel-ate-2020.html>>. Acesso em: out. 2016.

AYALA, José Danilo. **Definições de Ácidos e Bases – Química Inorgânica**. 2017. Disponível em: <<http://qui.ufmg.br/~ayala/matdidatico/acidobase.pdf>>. Acesso em 27 dez. 2017.

ANP. Resolução nº40, de 25 de outubro de 2013. Classifica os tipos de gasolina A e gasolina C. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 28 out. 2013. Seção 1, p. 83-85. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 02 out. 2017.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 12^a. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

BRASIL. Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 24 set. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm#art4>. Acesso em: 02 out. 2017.

CHEVROLET. Manuais de Veículos. Onix Joy, **GM**, 2017. Disponível em: <<http://www.chevrolet.com.br/servicos/manuais-veiculos.html>>. Acesso em fev. 2017.

CIMA. Resolução nº1, de 4 de março de 2015. Estabelece percentual de adição de etanol anidro nas gasolinas Comum e Premium. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 06 mar. 2015. Seção 1, p. 17. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 02 out. 2017.

CONTINENTAL. **Brazilian Flex Fuel Sensor (Br-FFS)**. Continental, U.S.A. 28 fev. 2014.

DICAS DE MECÂNICA. Funcionamento de um motor 4 tempos. **Mecânica e suas Tecnologias**, 02 mar. 2012. Disponível em: <<http://mecanicaesuastecnologias.blogspot.com.br/2012/03/funcionamento-de-um-motor-4-tempo.html>>. Acesso em: jan. 2017.

FOGAÇA, J. Produto Iônico da Água (Kw). **Brasil Escola**, [2017]. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/produto-ionico-Agua-kw.htm>>. Acesso em: jun. 2017.

FROES, A. **Ar Atmosférico e Combustível**. Material da aula de Motores a Combustão Interna I, 2015, Fatec Sando André, Santo André.

FUSSY, P. Volkswagen Up! TSI (turbo): primeiras impressões. **G1**, São Paulo, 30 jul. 2015. Disponível em: <g1.globo.com/carros/noticia/2015/07/volkswagen-tsi-turbo-primeiras-impressoes.html>. Acesso em: out. 2016.

G1. Indústria comemora 30 anos do 1º carro a álcool no país. **G1**, São Paulo, 19 jul. 2009. Disponível em: <g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL1234087-9658,00.html>. Acesso em: out. 2016.

LAGANÁ, A. **Apostila de Sensores Automotivos**. Santo André: Fatec Santo André/Poli-USP, 2010.

MAHLE. **Revisão Turbo Mahle**. Poster Check, maio 2011.

MICROSHIP. PIC18F4550 Data Sheet. **Microship**, U.S.A, 2009. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>>. Acesso em: out. 2016.

MINASPETRO. Os 4 tipos de combustível comercializados em postos brasileiros. **Minaspetro**, 13 ago. 2015. Disponível em: <minaspetro.com.br/blog/2015/08/13/os-4-tipos-de-combustivel-comercializados-em-postos-brasileiros>. Acesso em: jan. 2017.

MINHA VIDA MINHA OFICINA. Diferença de Detonação e Pré-ignição. **OficinaVTech**, 19 fev. 2015. Disponível em: <<http://oficinavtech.blogspot.com.br/2015/02/diferenca-de-detonacao-e-pre-ignicao.html>>. Acesso em: dez. 2017.

NOVACANA. Tipos de Etanol Combustível. **Nova Cana**, 2017. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/tipos-combustivel/>>. Acesso em: jan. 2017.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC18 Detalhado**: Hardware e Software. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2010.

PETROBRAS. 10 Respostas para suas dúvidas sobre a gasolina. **Petrobras**, 2017. Disponível em: <<http://gasolina.hotsitespetrobras.com.br/10-respostas-para-suas-duvidas/>>. Acesso em: out. 2017.

PÓS-VENDAS VW. Motor FSI 2.0 Turbo. **Academia Volkswagen**, jan. 2009, São Bernardo do Campo.

PRIMAUTO. Sonda Lambda. **Primauto**. Disponível em: <<http://www.primauto.net/file%20descrizione%20componenti/SONDA%20LAMBDA.htm>>. Acesso em: jan. 2017.

RIBOLLA, A. **Sensor de Combustível**. Material da aula de Motores a Combustão Interna II, 2016, Fatec Sando André, Santo André.

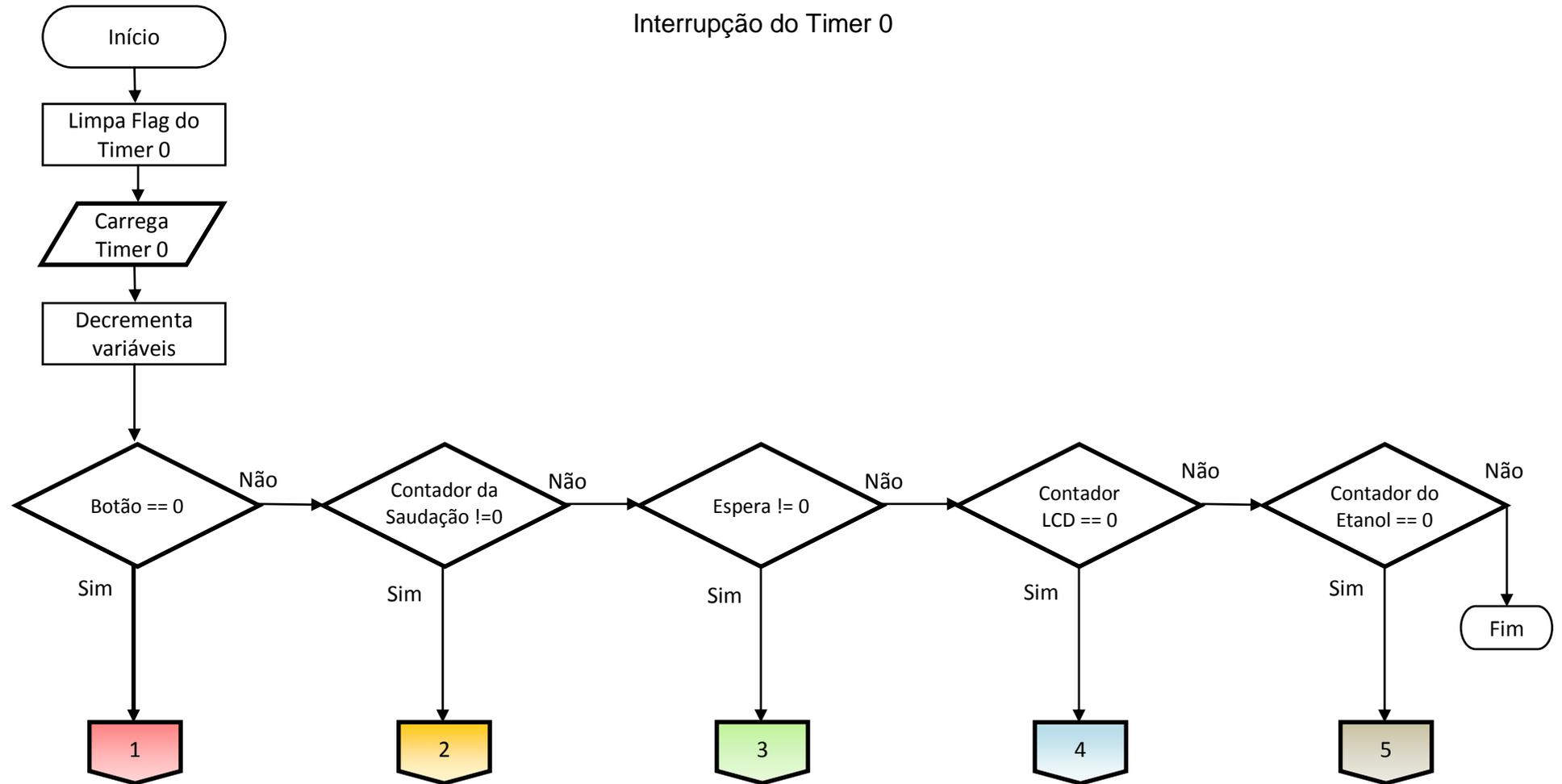
SILVA, C. N. **Novas Tecnologias UPI**. Treinamento Volkswagen, 2017, Fatec Santo André, Santo André.

TURNER, J. **Automotive Sensors**. 1ª.ed. New York : Momentum Press LLC, 2009.

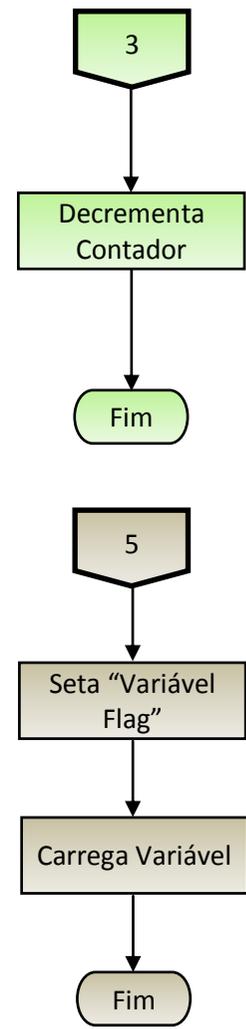
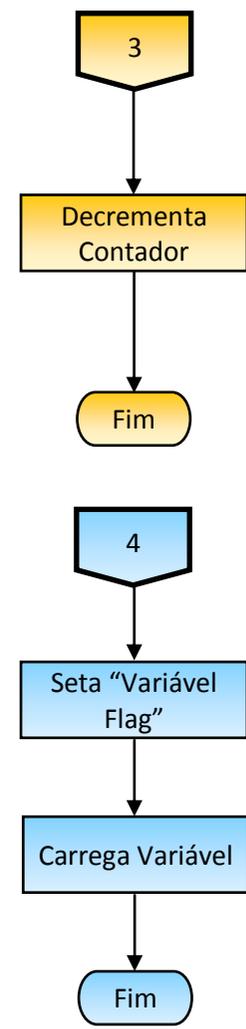
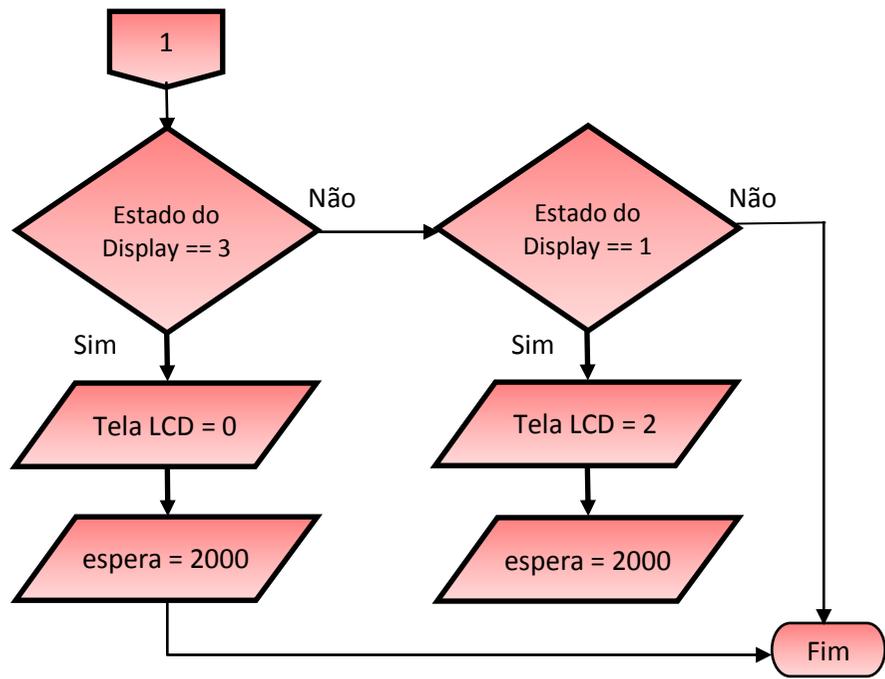
UOL. De 2 dólares em 1970 a 140 em 2008: quatro décadas de alta do petróleo. **UOL**, 26 jun. 2008. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultnot/economia/2008/06/26/ult35u60527.jhtm>>. Acesso em: out. 2016.

VOLKSWAGEM. Manuais . UPI, **VW**, 2017. Disponível em: <<https://www.vw.com.br/pt/servicos/manuais-e-garantia/manuais.html>>. Acesso em: fev. 2017.

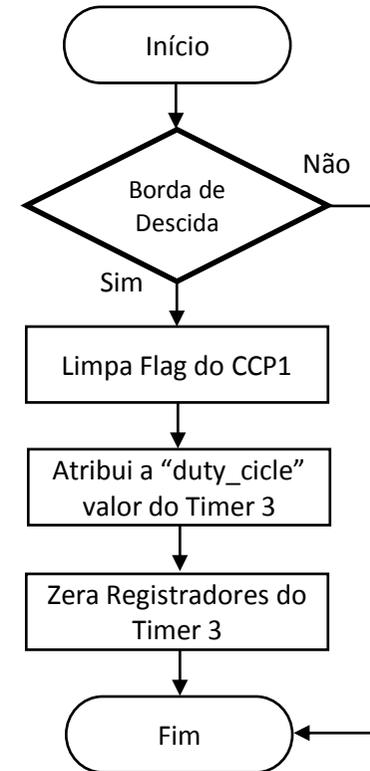
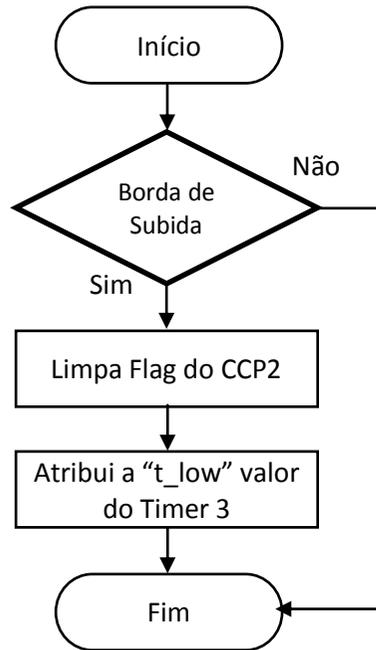
Apêndice A: Fluxograma



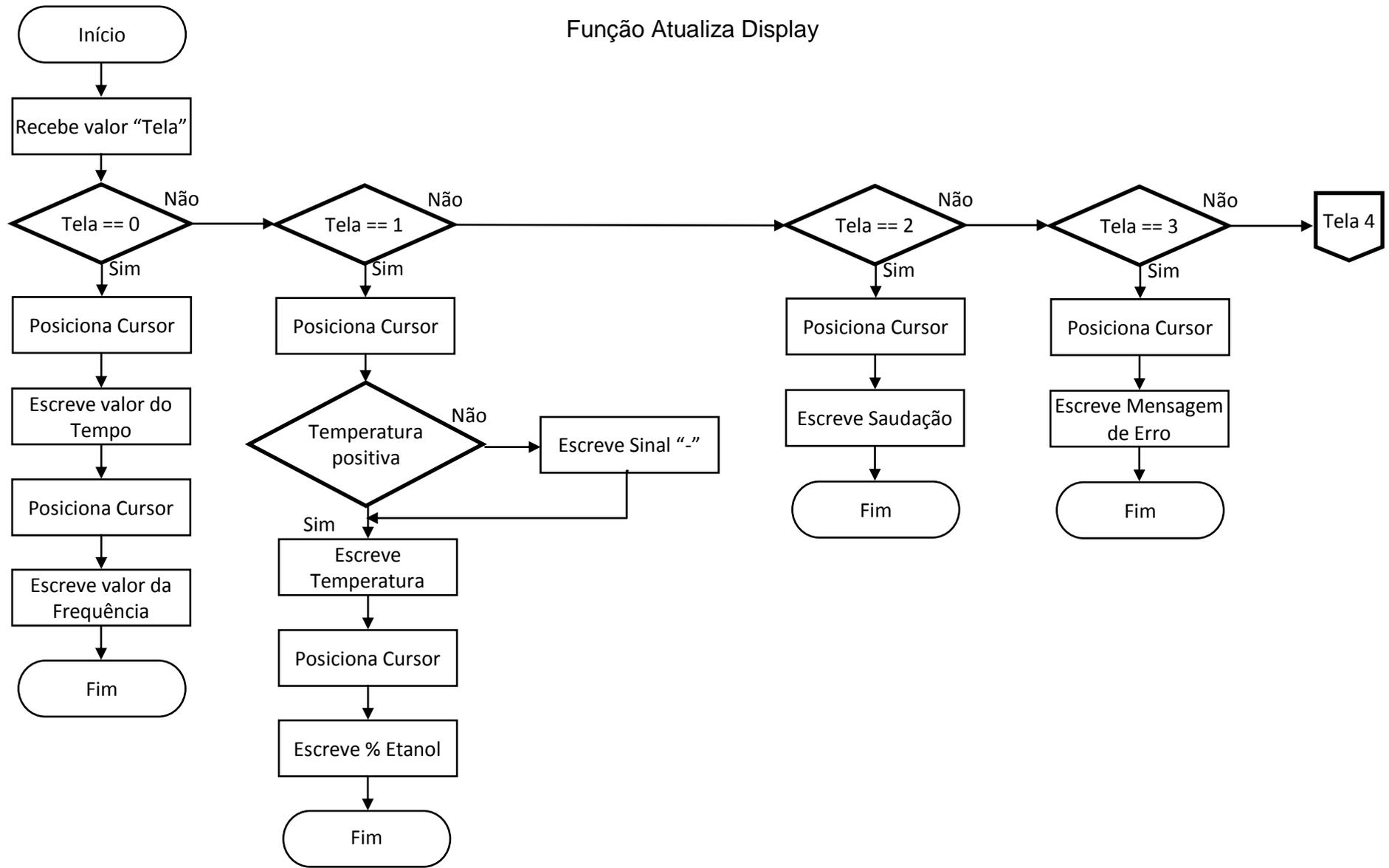
Laços da interrupção do Timer 0



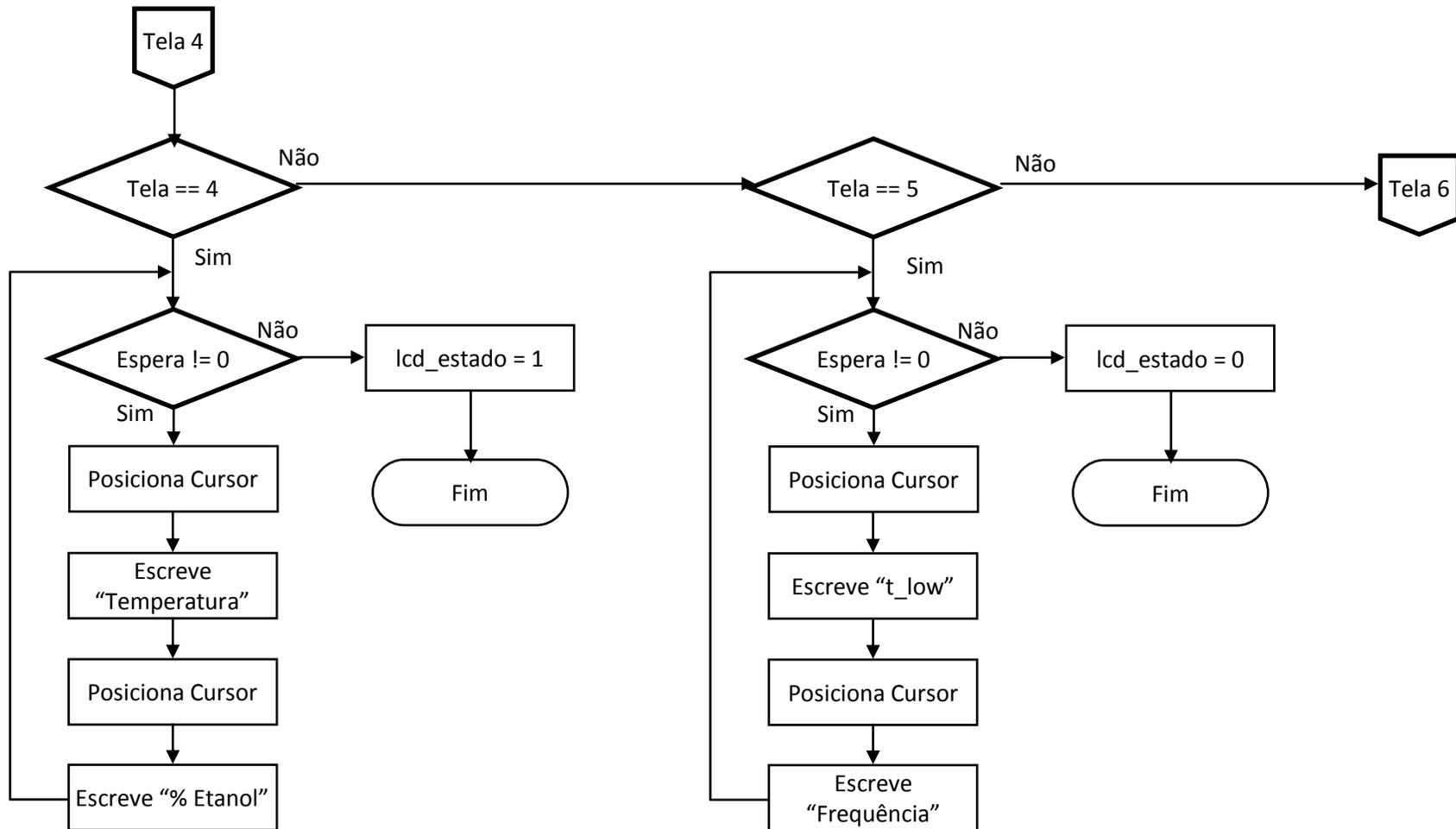
Interrupções dos CCP's



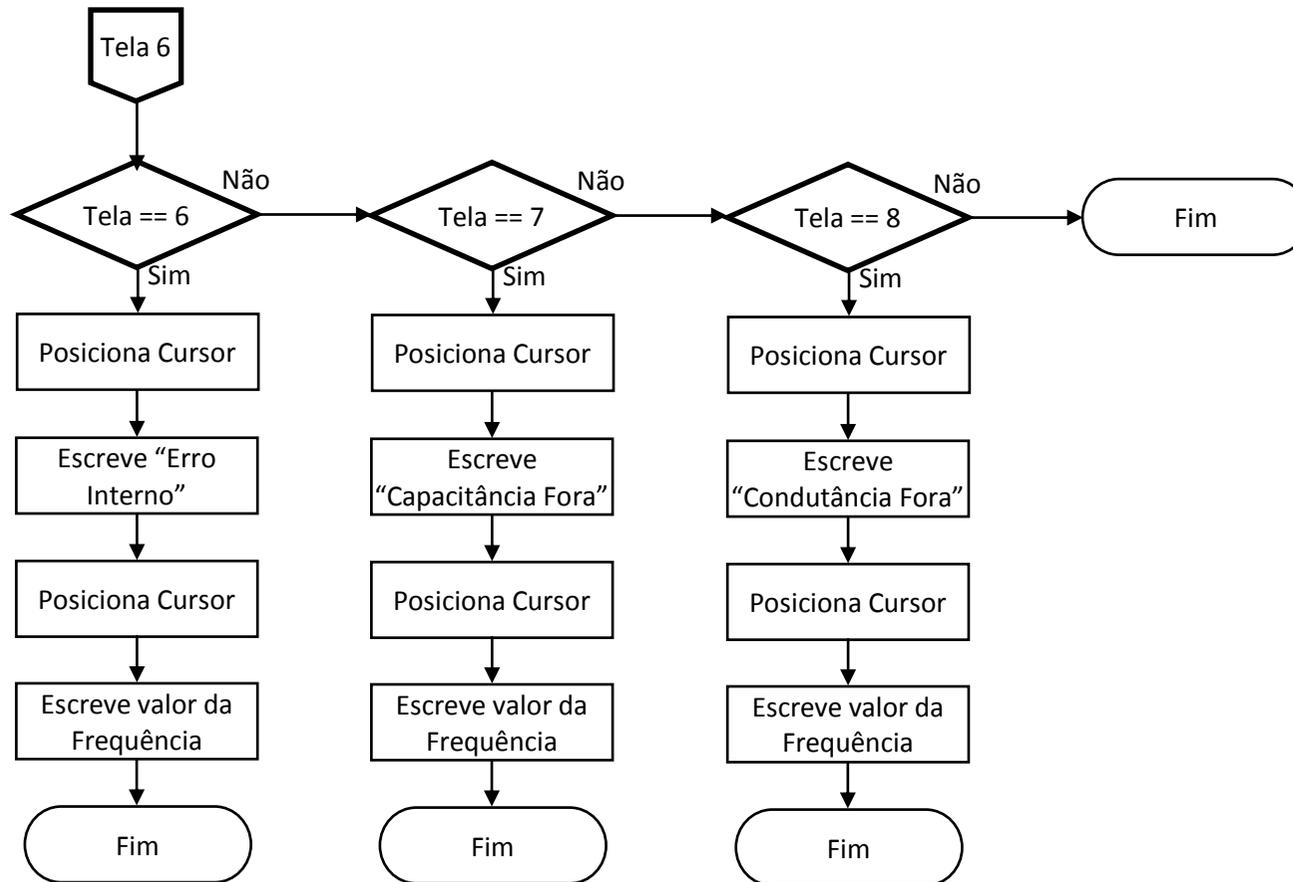
Função Atualiza Display



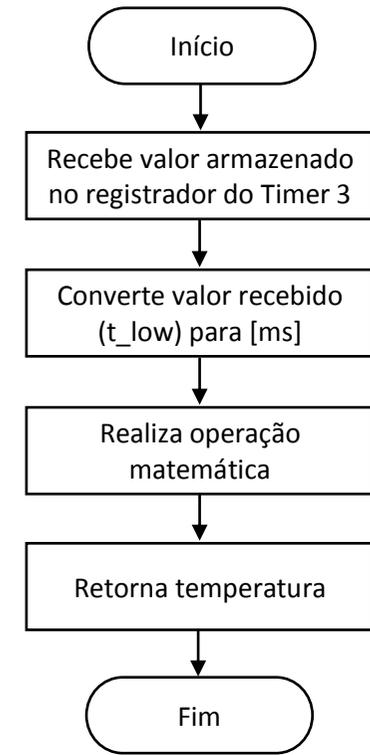
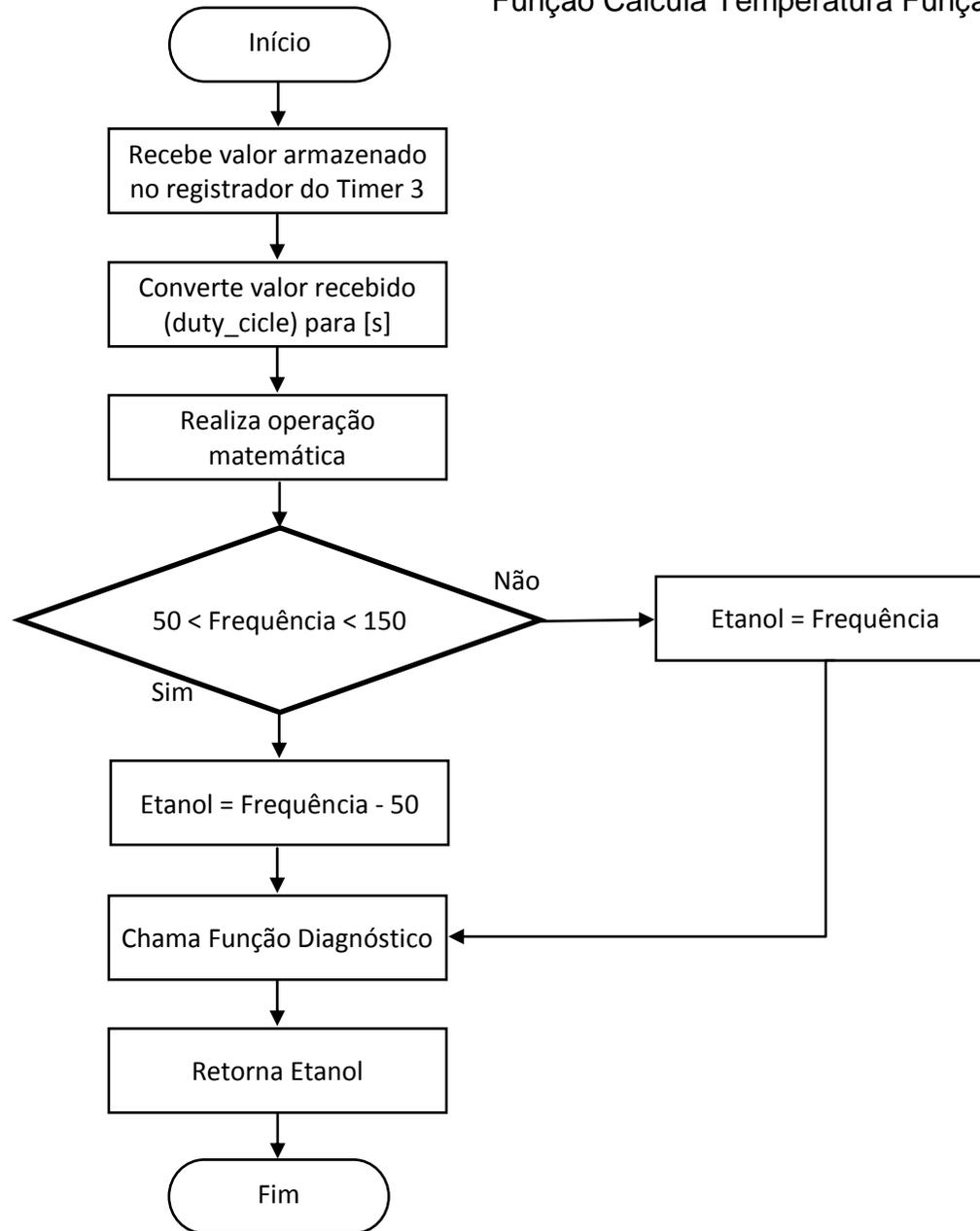
Função Atualiza Display



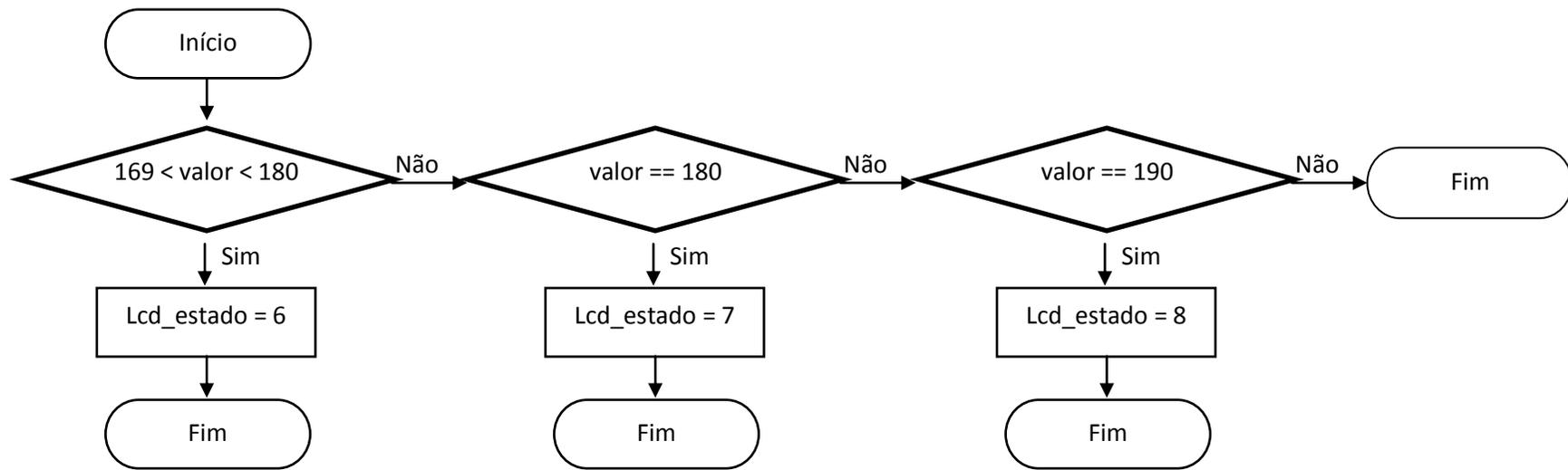
Função Atualiza Display



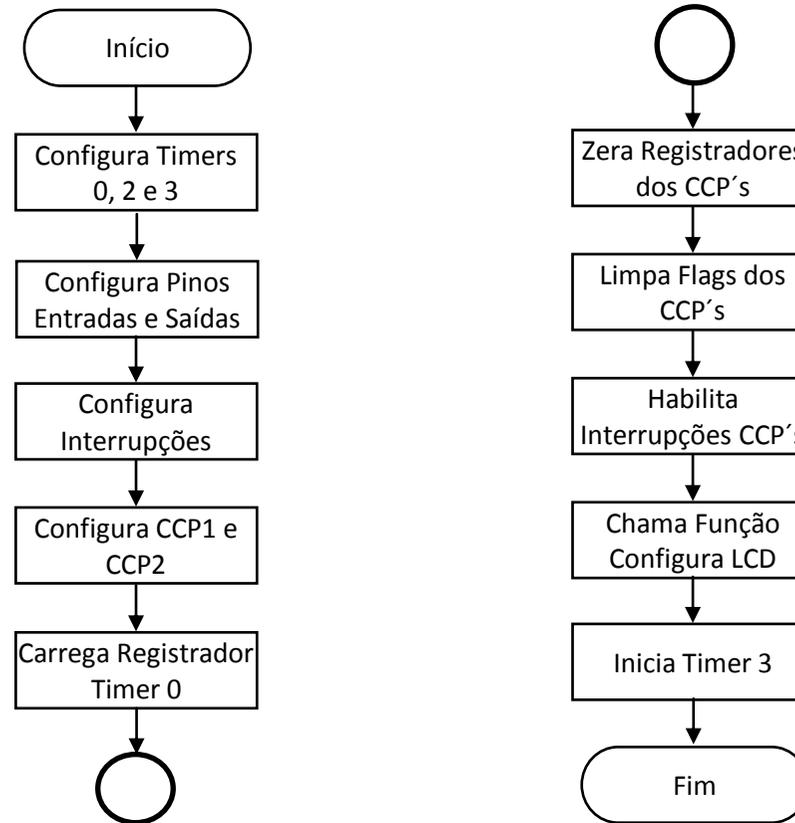
Função Calcula Temperatura Função Calcula Etanol

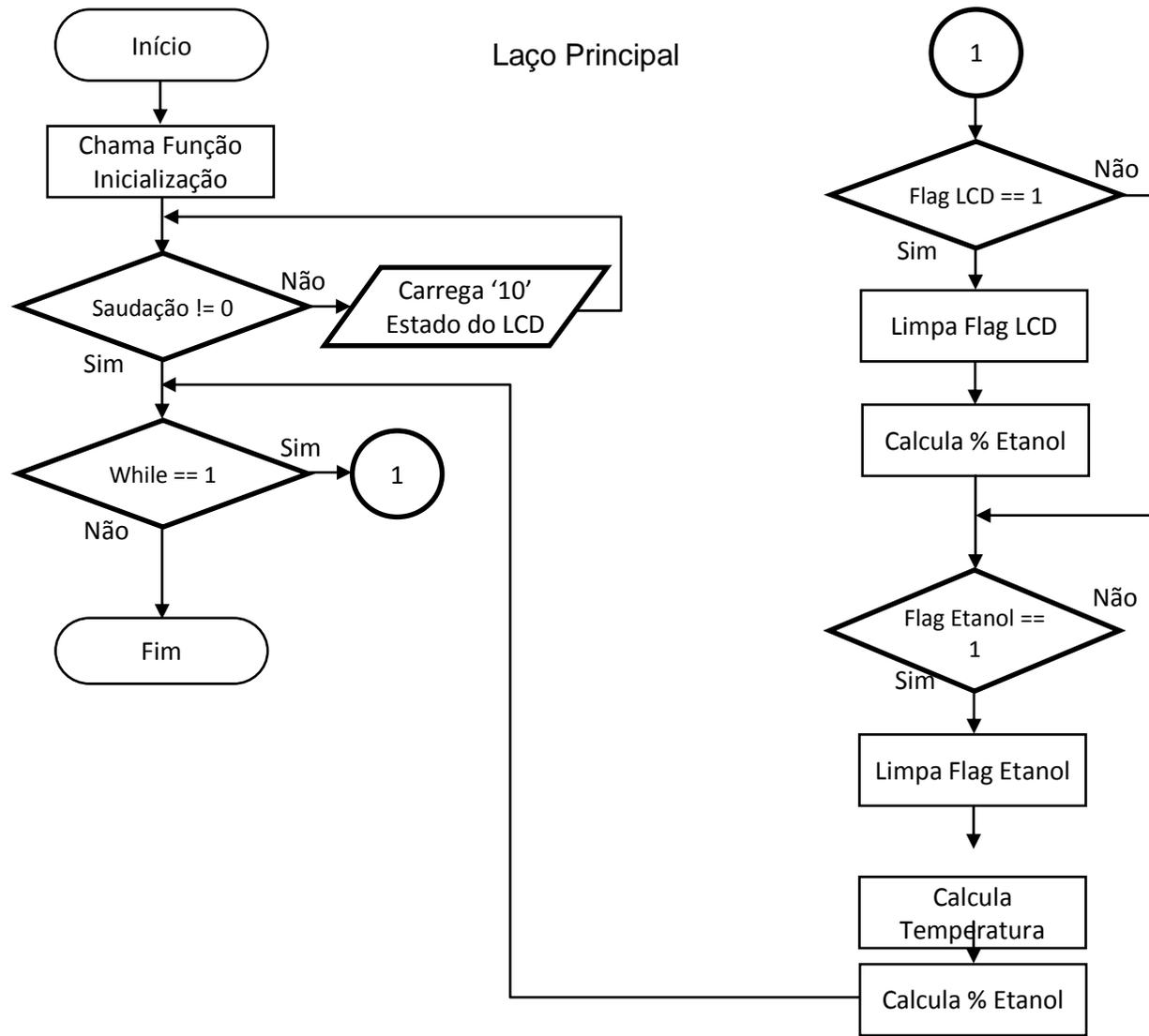


Função Diagnóstico



Função de Inicialização





Apêndice B: Programa em C

```

#include "xc.h"
#include "displayLCD.h"
#include "Config.h"
#include <stdlib.h>

unsigned long int t_pulse, duty_cicle, t, y;
unsigned long int tempo = 0;
unsigned long int frequencia = 0;
signed long int x;
unsigned int lcd_flag = 0, etanol_flag = 0;
unsigned int lcd_estado;           // atribuido à tela, muda-se pelo botão
unsigned int etanol_counter = 250; // calcula valores temperatura e etanol a cada 250ms
unsigned int lcd_counter = 2000;
unsigned int welcome_counter = 2000; // 1 segundo de saudação
unsigned int espera = 2000;
unsigned int pisca = 1000;         // pisca led 500ms
bit botao;

#define botao PORTEbits.RE1

void interrupt isr (void)
{
    if(INTCONbits.TMR0IF)           // entrará nessa função a cada 1 ms
    {
        INTCONbits.TMR0IF = 0;     // limpa flag do TIMER0
        TMR0L = 208;               // carrega valor em TIMER 0

        lcd_counter--;             // decrementa contador do lcd
        etanol_counter --;         // decrementa do contador do etanol
        pisca --;

        if(botao == 0)             // le botao
        {
            if((lcd_estado == 3) || (lcd_estado == 4))
            {
                lcd_estado = 0;
                espera = 2000;
            }
            else if((lcd_estado == 1) || (lcd_estado == 4))
            {
                lcd_estado = 2;
                espera = 2000;
            }
        }
    }
    if(welcome_counter != 0)
    {
        welcome_counter--;
    }
}

```

```

if(espera != 0)
{
    espera--;
}
if(lcd_counter == 0)
{
    lcd_counter = 200;           // conta até 200ms
    lcd_flag = 1;               // atualiza lcd na função main
}
if(etanol_counter == 0)
{
    etanol_counter = 250;       // faz a conta a cada 250ms - tempo de atualização do sensor
    etanol_flag = 1;           // atualiza etanol na função main
}
if(pisca == 0)
{
    LATBbits.LB0 = !LATBbits.LB0; // pisca led
    pisca = 1000;                 // alterna leds a cada 500ms
}
} //end flag timer 0
if(PIR2bits.CCP2IF)              // Detecta Borda de Subida
{
    PIR2bits.CCP2IF = 0;         // limpa flag CCP2
    t_pulse = (TMR3H << 8) + TMR3L; // atribui valor a t_low por shift left e bit a bit
} //end CCP2
if(PIR1bits.CCP1IF)              // Detecta Borda de Descida
{
    PIR1bits.CCP1IF = 0;         // limpa flag CCP1
    duty_cicle = (TMR3H << 8) + TMR3L; // atribui valor a duty_cicle
    TMR3H = 0x00;                // zera registradores
    TMR3L = 0x00;
} //end CCP1
if (PIR2bits.TMR3IF == 1)
{
    PIR2bits.TMR3IF = 0;
    TMR3H = 0x00;                // zera registradores
    TMR3L = 0x00;
    duty_cicle = 0;
}
} //end interrupt

void diagnostico(unsigned long int valor)
{
    if(169 < valor && valor < 180)
    {
        lcd_estado = 5;
    }
    else if(valor == 180)
    {
        lcd_estado = 6;
    }
    else if((valor > 190) || (valor == 190))

```



```

    escreve_inteiro(x,0,0);                // escreve temperatura sem sinal
}
else if(x < 0){                            // se for temperatura negativa
    escreve_inteiro(0,x,1);                // escreve temperatura com sinal
}
PosicaoCursorLCD(1,4);
EscreveFraseRamLCD("  oC  ");

PosicaoCursorLCD(2,1);
escreve_inteiro(y,0,0);                    // escreve porcentagem de etanol
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(" % Etanol  ");
break;

case 2:                                    // TELA 2: Troca de Tela
    while(espera != 0)
    {
        PosicaoCursorLCD(1,1);
        EscreveFraseRamLCD("Tempo em baixa ");
        PosicaoCursorLCD(2,1);
        EscreveFraseRamLCD(" Frequencia  ");
    }
    lcd_estado = 3;
break;

case 3:                                    // TELA 3: tempo[ns] e frequencia[Hz]
t = tempo/10000;                            // multiplica para tranformar em ms
PosicaoCursorLCD(1, 1);
escreve_inteiro(t,0,0);                    // escreve tempo
PosicaoCursorLCD(1,7);
EscreveFraseRamLCD("x 10^-5 s  ");

PosicaoCursorLCD(2,1);
escreve_inteiro(frequencia,0,0);          // escreve frequencia
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(" Hz  ");
break;

case 4:                                    // TELA 4: Mensagem de Erro
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD(" Sinal Fora da ");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Faixa de Mediçãõ ");
break;

case 5:                                    // Tela 5: Erro Interno
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD(" erro interno  ");
PosicaoCursorLCD(2,1);
escreve_inteiro(frequencia,0,0);          // escreve frequencia
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(" Hz  ");

```

```

break;

case 6:                                     // Tela 6: Água no Combustível
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Água no Combust.");    // 180Hz
PosicaoCursorLCD(2,1);
escreve_inteiro(frequencia,0,0); // escreve frequencia
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(" Hz      ");
break;

case 7:                                     // Tela 7: Combustível Condutor
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD("Alta Condutancia");    // 190 Hz
PosicaoCursorLCD(2,1);
escreve_inteiro(frequencia,0,0); // escreve frequencia
PosicaoCursorLCD(2,4);
EscreveFraseRamLCD(" Hz      ");
break;

case 10:                                    // TELA 10: Saudação
PosicaoCursorLCD(1,1);
EscreveFraseRamLCD(" TCC 2017 ");
PosicaoCursorLCD(2,1);
EscreveFraseRamLCD("Fatec Sant Andre");
break;
} //end switch
} //end atualiza_lcd

void Init (void)
{ //bit 76543210                            // clock de 20MHz
TOCONbits.T08BIT = 1;
TOCONbits.TOCS = 0;
TOCONbits.TMR0ON = 1;                      // timer para a contagem
TOCONbits.T0SE = 0;
TOCONbits.PSA = 0;
TOCONbits.TOPSO = 1;
TOCONbits.TOPS1 = 1;
TOCONbits.TOPS2 = 1;

T1CON = 0b00010000; // PREESCALA 1:2 mas nao estamos mais usando o TIMER 1
T3CON = 0b01110000; // PREESCALA 1:8 usando apenas o TIMER 3 para o CCP

TRISA = 0xFF;
TRISB = 0x00;
LATB = 0xFF;
TRISC = 0xFF;
TRISD = 0x00;
TRISE = 0xFF;

ADCON1 = 0xFF;

```

```

INTCONbits.GIE = 0x01; // habilita interrupção geral
INTCONbits.PEIE = 0x01; // habilita interrupção por periférico
INTCONbits.TMROIE = 0x01; // habilita interrupção do TIMERO

CCP1CON = 0b00000100; // configura CCP1 como borda de descida
CCP2CON = 0b00000101; // configura CCP2 como borda de subida

TMR0L = 0xE4; // carregar valor do timer 0 para contar um 1ms para atualização
TMR0H = 0x48;
CCPR1 = 0x00; // zera registrador do CCP1
CCPR2 = 0x00; // zera registrador do CCP2

PIR1bits.CCP1IF = 0x00; // limpa flag ccp1
PIR2bits.CCP2IF = 0x00; // limpa flag ccp2

PIE1bits.CCP1IE = 0x01; // habilita CCP1
PIE2bits.CCP2IE = 0x01; // habilita CCP2

ConfiguraLCD(); // inicializa Display
DesligaCursor();

T3CONbits.TMR3ON = 1; // start timer 3 TESTE
}

void main()
{
  Init();
  while(welcome_counter != 0) // realiza esse laço até welcome_counter for diferente de zero
  {
    // igualou a zero, sai desse laço
    atualiza_lcd(10); // mostra no display case de saudação
  }
  LimpaDisplay();
  while(1)
  {
    if(lcd_flag == 1) // chama função para escrever no LCD
    {
      // chama-se essa função a cada 200ms pelo timer 0
      lcd_flag = 0; // limpa a flag
      atualiza_lcd(lcd_estado); // lcd_estado muda para a tela que deve ser escrita
    }
    if(etanol_flag == 1) // chama funções para calcular valores - faz a conta
    {
      // chama-se essas funções a cada 250ms pelo timer 0
      etanol_flag = 0; // limpa flag
      x = CalculoTemperatura (t_pulse); // chama função das operações matemáticas
      y = CalculoEtanol (duty_cicle);
    }
  }
  } //end atualiza display
} //end while

```