

ALEXSANDER DAVID GASPAROTTO

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DA
TECNOLOGIA MULTI COMBUSTÍVEL NO
MERCADO AUTOMOBILÍSTICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia Automotiva.
(Mestrado Profissionalizante)

São Paulo

2002

ALEXSANDER DAVID GASPAROTTO

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DA
TECNOLOGIA MULTI COMBUSTÍVEL NO
MERCADO AUTOMOBILÍSTICO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissionalizante)

Orientador:
Professor Doutor
Marcelo Massarani

São Paulo
2002

AGRADECIMENTOS

A General Motors do Brasil por iniciar uma parceria entre a indústria e a universidade, propiciando a minha participação no curso de mestrado profissional e incentivando esta nova modalidade de curso no Brasil.

A FIAT/GM Powertrain por manter e incentivar a minha participação no Mestrado Profissional ministrado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aos colegas e amigos da Engenharia de Motores e do Laboratório de Motores da FIAT/GM Powertrain pelo estímulo e colaboração através de informações técnicas sobre o desenvolvimento de motores de combustão interna.

Aos fornecedores de sistemas de gerenciamento eletrônico do motor, Bosch e Delphi, que participaram com informações essenciais para a conclusão do tema em questão.

Aos colegas Geri Reuss e Penelope Willick da General Motors – North America Operations, que contribuíram com o envio de “technical papers” da SAE Internacional.

Ao meu orientador Professor Doutor Marcelo Massarani pelo auxílio no transcorrer do trabalho de conclusão de curso.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram com a execução deste trabalho de curso.

RESUMO

O objetivo do trabalho é um estudo para a aplicação de uma nova tecnologia no conjunto motor de um veículo; onde o consumidor final poderá optar pelo quesito performance do motor ou visar a economia no consumo de combustível, dependendo do seu uso diário e dos preços oferecidos nos postos de abastecimento de combustível.

O multi combustível é uma tecnologia em desenvolvimento para o mercado automobilístico que mescla a utilização de dois combustíveis (gasolina e o álcool hidratado) e as suas combinações em um motor de combustão interna.

Três aspectos que englobam esta tecnologia devem ser considerados:

- ✓ Desenvolver um Programa de origem vegetal (cana-de-açúcar) substituindo em parte a energia fóssil originada do petróleo, pois a biomassa é uma forma de energia limpa e renovável. Esta solução contribui também com o meio ambiente devido à redução da emissão de CO₂ para a atmosfera.
- ✓ Analisar através de aspectos socioeconômicos e técnicos a viabilidade para a implementação do sistema multi combustível.
- ✓ Com o auxílio de uma matriz de decisão identificar os melhores parâmetros para contribuir na escolha do tamanho do motor e qual o tipo de sensor para detectar a presença de álcool na mistura de combustível.

ABSTRACT

The objective of this work is a study for the application of a new technology that will be used in the engine management system in the vehicle; where the final consumer can opt for the inquiry performance or seeking an economy for the fuel consumption depending on its daily use and of the prices offered in the gas stations.

Flexible Fuel is a technology in development for the automobile market that mixes the use of two fuels (gasoline and ethanol) and their mixtures in the internal combustion engine.

Three aspects that include this technology should be considered:

- ✓ To develop a program of vegetable origin (cane of sugar) substituting the originated fossil energy of the petroleum partly, because biomassa is a form of clean energy and renewable. This solution contributes also with the environment due to reduction of the emission of CO₂ for the atmosphere.
- ✓ To analyze through social, economical and technical aspects the viability for the flexible fuel system implementation.
- ✓ Through a decision matrix to identify the best parameters to contribute in the choice of motor size and which the type of sensor to detect alcohol in the fuel mixture.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Aspecto Socioeconômico	4
1.2	Mercado Mundial do Álcool	5
1.3	Definição do Problema	7
2	MARKETING ESTRATÉGICO	9
2.1	Consumidor e Marketing Atual	9
2.2	Incentivos Governamentais – IPI	10
2.3	Análise Econômica	12
3	TIPO DE COMBUSTÍVEL	20
3.1	Combustível Gasolina	20
3.2	Combustível Álcool	20
3.3	Características dos Combustíveis: Gasolina e Álcool	21
3.4	Miscibilidade de Combustíveis	23
3.5	Diagrama Ternário de Gibbs	23

4	EMISSÕES	25
4.1	Efeito Estufa	25
4.2	Lei de Emissões	27
4.3	Relação Estequiométrica Ar / Combustível	29
4.4	Conversor Catalítico	33
5	TECNOLOGIA MULTI COMBUSTÍVEL	35
5.1	Motor Básico	36
5.1.1	Taxa de Compressão	38
5.1.2	Sistema de Ignição	39
5.1.3	Velas de Ignição	39
5.1.4	Câmara de Combustão	42
5.2	Linha de Combustível	44
5.2.1	Bomba de Combustível	44
5.2.2	Galeria de Combustível	45
5.2.3	Filtro de Combustível	46
5.3	Sistema de Gerenciamento Eletrônico do Motor	47
5.3.1	Válvula Injetora	49
5.3.2	Reconhecimento do Sistema de Combustível	50
5.3.3	Sensor de Oxigênio (Sonda Lambda)	53
5.3.4	Sistema de Partida a Frio	55
6	ESTUDO DE CASO	57
6.1	Seleção de Alternativas	58
6.1.1	Tamanho do Motor	58

6.1.2	Sensor para detectar a presença de Álcool	68
6.2	Projeto de Componentes para o Sistema Multi Combustível	75
6.3	Vantagens de um Sistema Multi Combustível para a Montadora	76
6.4	Implementação: Dificuldades Técnicas	77
7	CONCLUSÃO	81
8	ANEXOS	86
	ANEXO A	86
	ANEXO B	87
	ANEXO C	88
9	BIBLIOGRAFIA	89
	APÊNDICES	
	APÊNDICE A	
	APÊNDICE B	

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Vendas internas de veículos movidos a álcool x gasolina
- Figura 2 – Taxas de IPI por cilindrada do motor
- Figura 3 – Gastos em combustível (álcool e gasolina) versus Km rodada
- Figura 4 – Gastos com combustível no ponto de equilíbrio
- Figura 5 – Relação álcool/gasolina – “Break even”
- Figura 6 – Diagrama Ternário de Gibbs
- Figura 7 – Limite de poluentes na lei de emissões
- Figura 8 – Relação ar/combustível versus poluentes
- Figura 9 – Relação ar/combustível versus potência e consumo específico
- Figura 10 – Emissão dos gases de escape
- Figura 11 – Gráfico comparativo de potência
- Figura 12 – Gráfico comparativo de torque
- Figura 13 – Dissipação de calor no interior da vela de ignição
- Figura 14 – Comparativo entre velas de ignição do tipo quente versus tipo fria
- Figura 15 – Interior de uma bomba de combustível – tipo “in line”
- Figura 16 – Esquema de um sistema de alimentação
- Figura 17 – Interior de um filtro de combustível
- Figura 18 – Posicionamento de um sensor de álcool na carroceria
- Figura 19 – Esquema de gerenciamento eletrônico com sensor de álcool

Figura 20 – Posicionamento do sensor de oxigênio no sistema de gerenciamento

Figura 21 – Posicionamento do reservatório de partida a frio

Figura 22 – Detalhe dos componentes do sistema de partida a frio

Figura 23 – Gráfico de barras: parâmetros versus grau de importância

Figura 24 – Curva de destilação dos combustíveis

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxas de IPI atualizadas

Tabela 2 – Nomenclatura dos códigos de motor

Tabela 3 – Corsa 1.0L - Potência e torque.

Tabela 4 - Corsa 1.0L - Consumo de combustível.

Tabela 5 – Astra 1.8L - Potência e torque.

Tabela 6 – Astra 1.8L - Consumo de combustível

Tabela 7 – Custo de combustível (1999 – 2002)

Tabela 8 – Corsa 1.0L - Autonomia e consumo de combustível

Tabela 9 – Astra 1.8L - Autonomia e consumo de combustível

Tabela 10 – Propriedades químicas da gasolina e álcool

Tabela 11 – Parâmetros do preço final

Tabela 12 – Parâmetros de investimento

Tabela 13 – Parâmetros de consumo de combustível

Tabela 14 – Parâmetros de versatilidade

Tabela 15 – Parâmetros da potência

Tabela 16 – Parâmetros de torque

Tabela 17 – Parâmetros do mercado consumidor

Tabela 18 – Parâmetros de taxas governamentais

Tabela 19 – Determinação do tamanho do motor através da técnica ponderacional

Tabela 20 – Resultados para o tamanho do motor

Tabela 21 – Parâmetros de custo do componente

Tabela 22 – Parâmetros de investimento

Tabela 23 – Parâmetros de tempo de calibração

Tabela 24 – Parâmetros para o tempo de desenvolvimento

Tabela 25 – Parâmetros de versatilidade

Tabela 26 – Determinação do sensor de álcool através da técnica ponderacional

Tabela 27 – Resultados para o sensor de álcool

Tabela 28 – Contribuição de emissões de CO₂ por ramo de atividade

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEAC – Álcool Etílico Anidro Carburante

AEHC – Álcool Etílico Hidratado Carburante

(A/F) – Relação Ar/Combustível

(A/F)_{ESTQ} – Relação Ar/Combustível - Estequiométrica

A.F.R. – “Additional fuel required”

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotivos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

C10NE – Motor 1.0 litro movido a gasolina

C10YE – Motor 1.0 litro movido a álcool

C18NE – Motor 1.8 litros movido a gasolina

C18YE – Motor 1.8 litros movido a álcool

E85 – “Ethanol 85” (mistura de: 85% - álcool e 15% - gasolina)

FFV – “Flexible Fuel Vehicle”

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IPVA – Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores

L - Litros

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio

MME – Ministério das Minas e Energia

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

R.P.M. – Rotações por minuto

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo o estudo para aplicação da tecnologia do multi combustível e o potencial mercado consumidor para esta inovação onde o cliente pode optar por um veículo com boa performance ou por um automóvel econômico dependendo do seu uso diário.

As vantagens de um programa de desenvolvimento de origem vegetal substituindo ou participando com a energia fóssil do carvão mineral e do petróleo, são de ordem ecológica, social e política, porque a biomassa* é uma energia limpa, renovável, geradora de empregos na zona rural e descentralizadora de rendas [73].

Pró - Álcool: Após os problemas enfrentados com o embargo do petróleo em 1973, o Brasil, assim como ocorreu em outros países, iniciaram a busca de combustíveis alternativos em substituição ao petróleo importado. Em 1975, foi criado no país o Programa Nacional do Álcool, sendo que este programa governamental tinha como finalidade fornecer ao mercado interno o álcool como combustível alternativo à gasolina, evitando a crise de abastecimento.

Com a difusão em larga escala social do combustível álcool, inúmeros interesses foram com o transcorrer do tempo sendo atendidos. Os usineiros ocuparam a capacidade ociosa das usinas de cana-de-açúcar atingidas com a baixa demanda do açúcar no mercado internacional e a rede de distribuição de combustíveis não foi afetada na época, podendo sem muitos custos adicionais, assumir a introdução do álcool hidratado em postos de abastecimento [17].

Devido à concorrência imposta pelo álcool hidratado, este ainda contribuiu para o barateamento da distribuição da própria gasolina no mercado interno.

A indústria automobilística não necessitou sofrer alterações de grande porte na sua

* Biomassa: “É toda energia proveniente das plantas verdes, algumas de altíssima produtividade nos países tropicais, tais como a cana-de-açúcar, mandioca, dendê, florestas de rápido crescimento, etc., capazes de serem transformadas em energia líquida, sólida, gasosa ou elétrica” [73].

linha de montagem, devido ao motor movido a álcool hidratado necessitar somente de algumas modificações quando comparado ao motor base movido a gasolina.

Após a implementação e difusão do uso do álcool em larga escala, o que se verificou ao longo dos anos foi uma série de desajustes e desequilíbrios na atribuição dos envolvidos na implantação do programa. A indústria automobilística acelerou o ritmo da produção de veículos movidos a álcool hidratado, chegando a 95% de sua produção total no final dos anos 80 e cerca de 5 milhões de veículos movidos a álcool circulavam pelo Brasil [32].

No final dos anos 70, a produção de álcool era de 0,5 milhão de m³/ano. Após dez anos, esta produção passou para aproximadamente 13 milhões m³/ano, quando se estabilizou [17].

Este foi o único programa de grande porte implantado no mundo com o objetivo de incentivar e substituir a energia fóssil no setor de transportes por uma fonte renovável de energia [17].

Enquanto isso, a área de plantio de cana-de-açúcar e a produção do álcool combustível não cresceram no mesmo ritmo. O Governo Federal, com a ausência de uma sólida política energética para o país e devido a uma falha no planejamento da safra e à manutenção de incentivos fiscais para a aquisição de veículos movido a álcool hidratado, contribuiu em grande parte para que em fins de 1989 configurasse uma irresistível crise já anunciada desde 1985; o inevitável déficit do combustível álcool hidratado para o início dos anos 90.

“Diante da previsão de um déficit de álcool na ordem de 2 bilhões de litros entre dezembro de 1989 e maio de 1990, um grupo de trabalho composto por especialistas da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotivos (ANFAVEA), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), Companhia Energética de São Paulo (CESP), Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a Petrobrás, produtores de álcool e metanol, além dos representantes dos ministérios do Desenvolvimento da Indústria e Comércio (MDIC) e das Minas e Energia (MME), iniciaram em setembro de 1989 estudos para propor alternativas a um possível racionamento de álcool. A partir destes estudos foram propostas e adotadas algumas medidas, tais como: redução do volume de álcool combustível

adicionado à gasolina, passando de 22% para 13%, com exceção à região metropolitana do Estado de São Paulo que manteve o índice de 22%; e adição ao álcool combustível de 5% de gasolina” [32].

A manutenção do índice de 22% de álcool para a região metropolitana do Estado de São Paulo teve como intenção amenizar os efeitos dos gases de exaustão numa região crítica em emissão de poluentes.

Entre os anos de 1991 até meados de 2002; a porcentagem de mistura do álcool anidro à gasolina foi inúmeras vezes alterada.

A partir de julho de 2002, foi sancionada a lei que permite aumentar a adição de álcool anidro na gasolina. A nova regulamentação possibilita agora a adição de até 25% de álcool na gasolina, este limite era de 24%. A lei nº 8.723/93, que regulamenta essas alterações, prevê também uma variação de 1% para mais ou menos, permitindo que o percentual de álcool chegue a 26%. Para o ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, esta alteração é benéfica, pois direciona o crescimento da safra de cana-de-açúcar para este setor. Esta medida deverá absorver cerca de 400 milhões de toneladas da produção canavieira nacional [21].

Outro incentivo para o segmento é que o uso do veículo movido a álcool hidratado é obrigatório nas frotas do Governo Federal e em automóveis vendidos com isenção de impostos (frotistas).

Avanços tecnológicos na área da agricultura, que podem contribuir para a redução dos custos de produção do álcool são uma possibilidade para a expansão do setor canavieiro, com a intenção de reduzir as necessidades de subsídios aplicados pelo Governo Federal.

Atualmente com a crise no suprimento de energia elétrica, o setor canavieiro pode ser transformado em fonte produtora de eletricidade, barateando o custo de produção do álcool anidro e hidratado. O aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar, principalmente para a fornecimento de energia elétrica, deve contribuir para aumentar a economia da produção do álcool [57].

1.1 Aspecto Socioeconômico

Atualmente no Brasil pode ocorrer uma dupla interpretação sobre o programa de incentivo à produção do combustível álcool, ou seja, podemos considerar que o Programa Brasileiro de Álcool Automotivo é um projeto inovador, baseado em energia renovável, com matéria-prima e tecnologia nacional, empregando milhares de trabalhadores na zona rural e fazendo com que o Brasil seja um dos países mais bem alinhados com os propósitos do Protocolo de Kyoto; ou é um programa energético desacreditado, orientado para abastecer uma frota em progressivo desuso, cronicamente dependente do Governo Federal, com destilarias incapazes de operar sem os subsídios e isenções oferecidos pela União.

Paradoxalmente, o Programa Brasileiro de Álcool Automotivo pode corresponder a estas duas visões, todavia pode e deve ser recuperado, seja resgatando suas vantagens, seja eliminando as distorções que ainda subsistem.

É necessário definir uma estratégia para o seu futuro, pois à medida que se sucateiam e não se repõem os veículos movidos a álcool hidratado, temos o mercado para este combustível sendo diminuído, e conseqüentemente trazendo o risco de desaparecimento de toda a infra-estrutura de distribuição e revenda consolidada no transcorrer dos anos (Apêndice A).

Dentre as diversas medidas que podem ser articuladas para superar esta situação, pode-se destacar a introdução dos veículos com motores movidos a um sistema multi combustível ou “FFV - Flex Fuel Vehicle”, que podem ser adaptados para a utilização desde o álcool hidratado até a gasolina.

A partir da evolução do sistema de gerenciamento eletrônico do motor, esta tecnologia já está disponível comercialmente e, particularmente nos Estados Unidos, temos o chamado E85 (“Ethanol 85” - mistura de 85% de álcool extraído do milho e 15% de gasolina), onde o número de veículos capazes de abastecer com qualquer combustível disponível na bomba chegam a quase um milhão de unidades [04, 05]. A escolha de um ou outro combustível passa a ser determinada então pela economia e desempenho, a critério do usuário. O custo adicional, quando empregado em larga escala de produção é de cerca de US\$ 200,00 [51] e já foi testado em alguns motores

brasileiros como conceito através dos fornecedores de sistemas de gerenciamento eletrônico disponível no mercado brasileiro [54].

1.2 Mercado Mundial do Álcool

Brasil: Neste cenário, o Brasil pode ser inserido como um grande produtor de álcool, sendo o maior produtor do mundo com preços altamente competitivos.

A produção de álcool no Brasil é fragmentada em dois tipos de álcool combustível para a aplicação veicular: o anidro e o hidratado.

O álcool anidro, responde por cerca da metade da capacidade de produção nas destilarias [51], sendo usado como aditivo antidetonante para melhorar as propriedades da gasolina e tem apresentado um consumo crescente, devido ao maior número de veículos movidos à gasolina dentro do mercado automobilístico brasileiro. Qualquer veículo brasileiro quando movido à gasolina está consumindo uma mistura deste derivado de petróleo com o derivado da cana de açúcar, em teores que tem variado entre 20% a 26% nos últimos anos [31], dependendo das previsões de safra e disponibilidade de estoques, o que constitui uma flexibilidade interessante na política energética brasileira e propicia o início de um programa com o sistema multi combustível.

No entanto, apenas o álcool anidro não justifica a produção dos canaviais brasileiros. É preciso considerar o outro tipo de álcool, o álcool hidratado, que só pode ser usado em motores fabricados ou adaptados especificamente para o seu uso. Nos últimos anos o preço do álcool hidratado vem sendo competitivo quando comparado à gasolina, porém o seu descrédito é muito forte com os consumidores devido às crises de abastecimento passadas. Se nos anos 80 veículos movidos a álcool hidratado correspondiam a quase totalidade das vendas, hoje poucos consumidores se interessam por um automóvel novo movido com este tipo de combustível, sendo estimado que cerca de 150 mil veículos movidos a álcool são sucateados a cada ano [51], sem a devida reposição desta frota.

Quanto ao mercado de álcool no Brasil, atualmente as montadoras têm pouco investido neste tipo de combustível nos lançamentos atuais. Hoje o índice de

reposição é pequeno e também há uma desconfiança do consumidor em relação a carros movidos exclusivamente a álcool, não por conta da qualidade e eficiência do combustível renovável, mas pelo fato do automóvel representar o primeiro ou segundo grande investimento pessoal do brasileiro. Por esta razão, o consumidor quer segurança quanto ao preço e abastecimento do combustível, o que um programa com multi combustível garante sem nenhum problema.

Segundo cálculos da Datagro, o álcool já representou 57% do consumo de combustíveis do ciclo Otto em gasolina equivalente, porcentual esse que vem caindo rapidamente nos últimos anos, e atualmente se encontra em 36% [50]. Apesar das conquistas já alcançadas, o apoio ao álcool, como produto ambientalmente limpo, poupador de divisas, gerador de empregos, promotor do desenvolvimento, e competitivo com a gasolina a preços de mercado, ainda é deficiente.

Com relação às exportações, o álcool tem um mercado potencial de 16 bilhões de litros/ano nos Estados Unidos. No Canadá, a previsão é de 2,7 bilhões de litros e há grande interesse para o uso de combustíveis limpos. O México também representa um potencial de consumo de 2,1 bilhões de litros nos próximos quatro anos. Desta forma, o Brasil poderá ser o grande fornecedor destes mercados [17].

Estados Unidos: Enquanto no Brasil, o álcool de biomassa continua sendo esquecido como matriz energética, nos Estados Unidos temos um quadro oposto, onde é verificado um incentivo neste campo de recursos renováveis, apesar da importância econômica e política da indústria do petróleo.

Depois do Brasil, os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de álcool, com 5,7 bilhões de litros/ano, oriundos de milho, batata e resíduos orgânicos agrícolas. Atualmente, a frota nos Estados Unidos que usa o combustível alternativo é de 750 mil veículos, com previsão de 5 milhões para o ano de 2005 [17].

“Recentemente, dois grupos ambientalistas divulgaram um relatório com propostas para reduzir a dependência dos Estados Unidos por petróleo importado à metade do que é hoje, até 2020. Uma das cinco propostas oferecidas no relatório é a de se adotar o mandato de uso de combustíveis renováveis - “ Renewable Fuels Standard”, previsto no Projeto de Lei do Senado Nr. 1766, de autoria de Tom Daschle” [42].

As autoridades norte americanas acreditam que a política energética é essencial para garantir o crescimento econômico e que atualmente o país é muito dependente de fontes de energia. A idéia é tornar-se auto-suficiente, menos dependente, tendo um plano energético que encoraje a conservação, o uso do álcool e explore a energia no Hemisfério Norte e dentro dos estados americanos [42].

O desenvolvimento de fontes alternativas de energia tem o potencial de se tornar o mercado de maior crescimento e o maior gerador de empregos da América nos próximos 10 anos. No ano de 2020, estima-se que os combustíveis alternativos e renováveis devam ser responsáveis por 20% da produção americana de energia [50]. O Brasil já foi visto como modelo, por ter desenvolvido um programa em larga escala de álcool de biomassa, tendo recebido elogios dos últimos líderes norte-americanos.

1.3 Definição do Problema

O objetivo do trabalho é estabelecer os principais parâmetros para viabilizar a escolha de um conjunto motor na aplicação multi combustível, sendo que os aspectos destacados durante o trabalho são de origem socioeconômica e técnica.

O aspecto socioeconômico é demonstrado no Capítulo 2, através das relações de marketing e política do Governo Federal. Para os aspectos relacionados aos carburantes e ao meio ambiente, temos o Capítulo 3, que se refere às propriedades dos combustíveis e o Capítulo 4, que está relacionado às emissões de poluentes.

O trabalho desenvolve-se no Capítulo 5, focando os componentes do motor que necessitam de modificações, tais como: a taxa de compressão, a câmara de combustível, as velas de ignição, a válvula injetora, o sistema de alimentação, o conversor catalítico e a inclusão de um sensor que detecta a presença de álcool na mistura.

A forma para definição de uma estratégia de aplicação do sistema multi combustível é estudada no Capítulo 6, através do tamanho do motor e da definição de um sensor para detecção da presença de álcool no sistema.

Atualmente, a indústria automobilística tem definida a sua estratégia para desenvolvimento de sistemas de gerenciamento do motor para as aplicações gasolina ou álcool. Entretanto, para o multi combustível não existe uma direção clara de suas metas, que devem ser revistas e reavaliadas, principalmente agora que ocorreu uma modificação significativa nas taxas governamentais.

Com o auxílio de uma matriz de decisão é possível identificar os principais itens que devem ser considerados para a escolha de um melhor sistema para o motor nesta configuração proposta de multi combustível. A base do estudo é a utilização de um motor com características para a aplicação de combustível álcool, onde será necessária alguma adaptação técnica para o emprego do multi combustível. Os itens relevantes para esta decisão são o tamanho do motor e o tipo de sensor para a detecção da quantidade de álcool na mistura.

Desta forma é possível estabelecer uma estratégia para o desenvolvimento e outra para a implementação de uma nova geração de motores que serão aplicados em plataformas de veículos movidos a multi combustível.

Para o sistema de alimentação e gerenciamento eletrônico de combustível, o objetivo é atingir os valores de desempenho, consumo de combustível e emissões de poluentes dos respectivos veículos movidos somente a álcool ou gasolina, independente do carburante utilizado.

2 MARKETING ESTRATÉGICO

2.1 Consumidor e Marketing Atual

O sistema multi combustível tem como objetivo o desenvolvimento de um motor onde se obtenha um bom desempenho ou opte-se pelo consumo de combustível em situações de abastecimento desde o álcool hidratado até a gasolina comum, bem como as suas misturas intermediárias.

A queda da utilização do álcool hidratado como combustível começou na década de 90, com o esgotamento de recursos governamentais e o descompasso entre a oferta e a demanda do produto, ocasionada pela deficiência no suprimento de combustível devido a problemas sazonais na produção de cana-de-açúcar. Tal cenário gerou descrédito junto ao consumidor quanto à eficiência do uso do álcool hidratado como combustível alternativo à gasolina, induzindo o sucateamento da frota de carros movidos a álcool hidratado. Em 1987, os veículos movidos a álcool hidratado representavam 95% da frota nacional e, em 1999, esta participação caiu para 1% [59], conforme ilustrado na Figura 1.

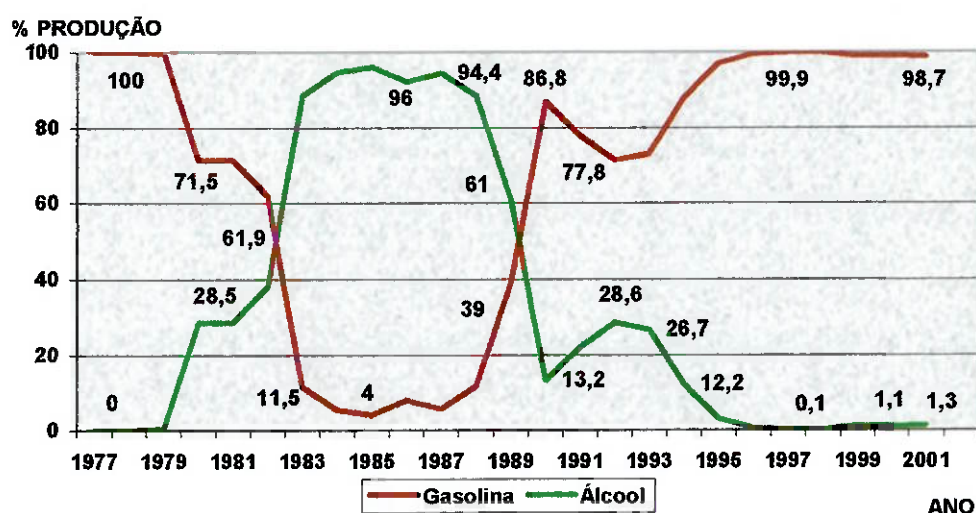


Figura 1 – Vendas internas de veículos movidos a álcool x gasolina [59]

Diferentemente da década de 90, a expansão do uso através desta tecnologia com sistema multi combustível levaria os produtores de cana-de-açúcar para um desafio de reverter a rejeição ao álcool hidratado como combustível alternativo.

Para que o produto álcool retorne à credibilidade passada e tenha a aceitação do mercado consumidor seria necessário cumprir duas regras básicas: estratégia de mercado para concorrer com os combustíveis fósseis e campanhas de marketing para persuadir o consumidor das vantagens econômicas e ambientais da utilização do produto. O consumidor, por sua vez, deveria visualizar a garantia de fornecimento do álcool, e desta forma seria capaz de escolher o combustível mais barato e adequado ao seu orçamento, dependendo do momento atual da economia de mercado.

O mercado reconhece que se não houver um consenso quanto à produção de veículos movidos a álcool ou a um sistema multi combustível, este tipo de produto termina em dez anos [51].

Para a indústria automobilística seria uma substituição interessante, porque atende ao consumidor e elimina a exigência de duas linhas de aplicação distintas. A princípio, os veículos mais adequados para esta nova tecnologia seriam os populares, que dominam 70% do mercado [46, 59], sendo que esta tecnologia deve estar disponível para ser implementada em até dois anos [51].

Entretanto, as modificações ocorridas no Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) devem alterar este cenário de produção que é focada nos motores de 1000 cilindradas.

2.2 Incentivos Governamentais - IPI

Até o ano de 1999, o IPI era dividido em quatro faixas distintas em função da potência do motor, sendo que os veículos movidos a álcool tinham um desconto de 5% sobre o seu equivalente movido à gasolina [31].

Entre os anos de 1999 até julho de 2002, as montadoras pagavam 10% de IPI para veículos movidos à gasolina e a álcool até 1.000 cilindradas, que são os denominados

populares. Para os veículos com mais de 1.000 cilindradas, a alíquota de IPI era de 25% [31], conforme ilustrado na Figura 2.

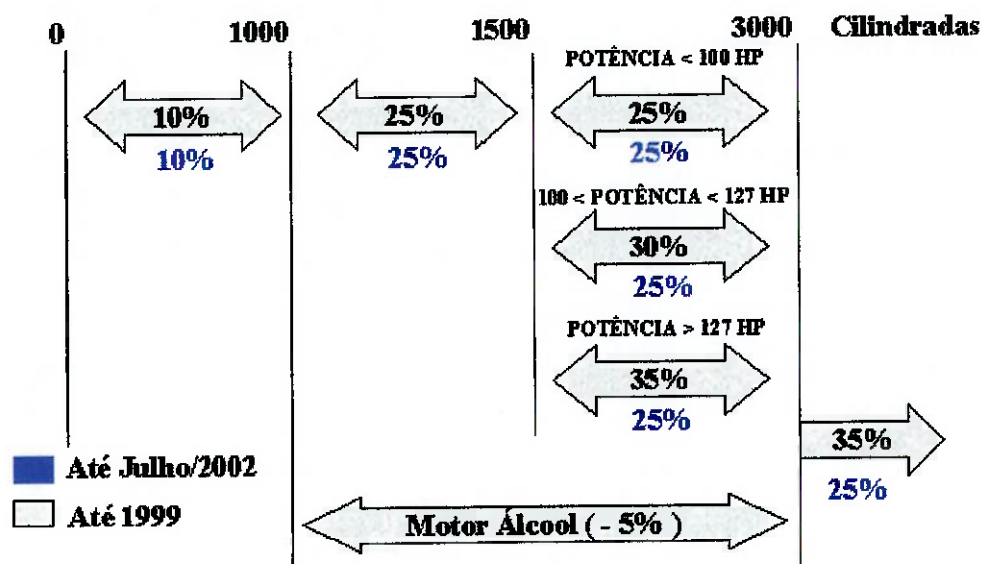


Figura 2: Taxas de IPI por cilindrada do motor [55]

A partir de 01 de agosto de 2002, o Governo Brasileiro reduziu a alíquota de impostos sobre produtos industrializados dos automóveis populares (com propulsores de até 1.000 cilindradas) e de automóveis de médio porte (acima de 1.000 cilindradas até 2.000 cilindradas), conforme a Tabela 1 [64].

Tabela 1: Taxas de IPI atualizadas [64]

Motorização	Combustível	Alíquota Anterior (%)	Alíquota Atual (%)
1.000 cilindradas	Gasolina	10	9
	Álcool	10	9
	Bicombustível	---	9
Acima de 1.000 até 2.000 cilindradas	Gasolina	25	16
	Álcool	25	14
	Bicombustível	---	14
Acima de 2.000 cilindradas	Gasolina	25	16
	Álcool	25	14
	Bicombustível	---	14

Para os veículos populares, a alíquota de 9% será mantida somente até 31 de outubro de 2002 para modelos à gasolina, depois volta a vigorar a alíquota normal de 10%. O IPI menor será mantido nesta categoria, apenas para os veículos movidos a álcool. Desta forma, o governo tenta incentivar as vendas de veículos com esse combustível, que hoje representam pouco mais de 3% dos negócios [64].

Vale ressaltar que a mudança na tributação já vinha sendo negociada entre a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e o Governo Federal há dois anos e chega num momento em que o setor vive uma fase complicada, onde as vendas caíram 17,7% [64]. Desta forma, a nova tributação que está em vigor deve ajudar o setor a retomar as vendas e a evitar demissões em massa de trabalhadores, devido à crise econômica interna.

Na divulgação desta nova tabela, também tem-se a inclusão do sistema bicombustível (destacado em amarelo na Tabela 1) que apresenta faixas de IPI idênticas ao dos veículos movidos a álcool hidratado. Este é um sinal positivo do Governo Federal para o desenvolvimento e implementação de um sistema multi combustível no mercado brasileiro.

2.3 Análise Econômica

Um dos pontos que deve ser destacado é a viabilidade econômica considerando as vantagens e/ou desvantagens que o consumidor pode encontrar quando está utilizando um veículo movido a gasolina, a álcool ou um multi combustível, sendo que neste estudo devem ser ressaltados o preço do combustível no postos de abastecimento, o consumo de combustível e a autonomia do veículo.

Inicialmente para esta análise é necessário o conhecimento de alguns parâmetros técnicos especificados pela engenharia de produtos na área de motores dentro da indústria automobilística e cujas medições em veículo foram realizadas segundo normas técnicas brasileiras.

Os dados técnicos foram extraídos de um fabricante nacional de automóveis (a Chevrolet) e a categoria escolhida foi a de veículos para passageiros.

Para a análise foram utilizados os dados dos veículos Corsa 1.0L – 8 válvulas e do Astra 1.8L – 8 válvulas, ambos com as configurações gasolina e álcool para efeitos de comparação dentro do estudo [28].

A nomenclatura utilizada para a especificação dos motores é a da própria Montadora de veículos [28] que é representada na Tabela 2.

Tabela 2: Nomenclatura dos códigos de motor [28]

Motorização	Veículo (8 válvulas)
C10NE	Corsa 1.0L - Gasolina
C10YE	Corsa 1.0L - Álcool
C18NE	Astra 1.8L - Gasolina
C18YE	Astra 1.8L - Álcool

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 são referentes às especificações técnicas dos motores em análise pelo estudo de caso.

Especificações Técnicas do veículo CORSA 1.0L – 8 válvulas (conforme NBR ISO 1585) [07]

Tabela 3: Corsa 1.0L – Potência e torque [07]

Motor	Cilindrada	Taxa Compressão	Potência	Torque
	cm ³		CV@ r.p.m.	Nm@ r.p.m.
C10NE	999	9,4:1	60 @ 6000	81 @ 3000
C10YE	999	12,6:1	64 @ 6200	82 @ 3000

Consumo de Combustível: Corsa 1.0L (conforme NBR 7024) [06]

Tabela 4: Corsa 1.0L – Consumo de combustível (km/l) [06]

	Cidade	Estrada	Circuito Misto
C10NE	12,3	17,3	14,6
C10YE	8,3	11,6	9,8

**Características Técnicas do veículo ASTRA 1.8L – 8 válvulas
(conforme NBR ISO 1585) [07]**

Tabela 5: Astra 1.8L – Potência e torque [07]

Motor	Cilindrada	Taxa Compressão	Potência	Torque
	cm ³		CV@ r.p.m.	Nm @ r.p.m.
C18NE	1796	9,2:1	110 @ 5400	155 @ 4800
C18YE	1796	11,7:1	110 @ 5200	165 @ 2400

Consumo de Combustível: Astra 1.8L (conforme NBR 7024) [06]

Tabela 6: Astra 1.8L – Consumo de combustível (km/l) [06]

Motor	Cidade	Estrada	Circuito Misto
C18NE	9,4	14,4	11,7
C18YE	7,5	11,0	9,1

O circuito misto caracteriza-se por uma média ponderada de rodagem com 55% do espaço percorrido ocorrendo em cidade e os 45% restantes em estrada.

✓ **Pesquisa do Preço de Combustíveis.**

Através da Tabela 7 é possível verificar a evolução no preço dos combustíveis nos últimos três anos e qual a sua relação (A/G) quando comparados entre si.

O preço do combustível para a gasolina e o álcool é uma média dos preços durante os respectivos meses de consulta dentro da cidade de São Paulo [58].

A relação A/G significa o preço do combustível álcool dividido pelo preço do combustível gasolina e o resultado é obtido em forma de porcentagem pela multiplicação da divisão por 100.

Esta informação será importante para determinar a relação entre os combustíveis e obter o ponto de equilíbrio, onde ocorre a inversão na vantagem de utilização de um combustível em relação ao outro carburante.

Tabela 7: Custo do combustível (1999 – 2002) [64]

Mês	ÁLCOOL*	GASOLINA*	A/G (%)**
Jan/1999	0,422	0,938	45
Nov/1999	0,775	1,195	65
Jun/2000	0,758	1,246	60
Ago/2000	1,013	1,489	68
Dez/2000	1,039	1,632	64
Jun/2001	0,992	1,584	63
Nov/2001	0,987	1,772	56
Fev/2002	0,971	1,544	63
Abr/2002	0,979	1,737	56
Jul/2002***	0,812	1,746	47

* Preço médio dos combustíveis (R\$/litro) [64].

** Relação do preço da gasolina dividida pelo preço do álcool em porcentagem.

*** Preço médio entre os dias 07/07/2002 a 13/07/2002 [58].

✓ Custo do Quilômetro Rodado (Veículo: Corsa 1.0L)

Analisando-se o custo do litro de combustível, tem-se que um veículo movido a **gasolina comum** gasta atualmente (Jul/2002) em média **R\$ 1,746/litro consumido** e um veículo movido a **álcool hidratado** gasta **R\$ 0,812/litro consumido**, conforme mostrado na Tabela 7.

Baseado num estudo econômico entre veículos movido a álcool hidratado e os movido a gasolina, é possível identificar que com o preço atual da gasolina, os proprietários de veículos movidos a álcool obtêm vantagens sobre a gasolina comum até uma determinada relação entre os combustíveis. Esta relação pode ser

determinada pelo quociente entre o preço do álcool hidratado dividido pelo preço da gasolina vigente na época do estudo.

Uma pesquisa mais detalhada pode ser realizada, levando-se em consideração diversos fatores, tais como: preços dos automóveis, Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), seguro obrigatório e a venda do veículo com uma determinada taxa de depreciação.

A Figura 3 representa os gastos para cada tipo de combustível, onde foi considerada uma quilometragem idêntica de percurso rodado (750 km). O consumo de combustível foi extraído da Tabela 4, sendo avaliado através do consumo misto (14,6 km/l) para o estudo de caso em análise.

Desta forma, temos como resultado duas retas representando o valor gasto pelos carburantes versus a quilometragem rodada.

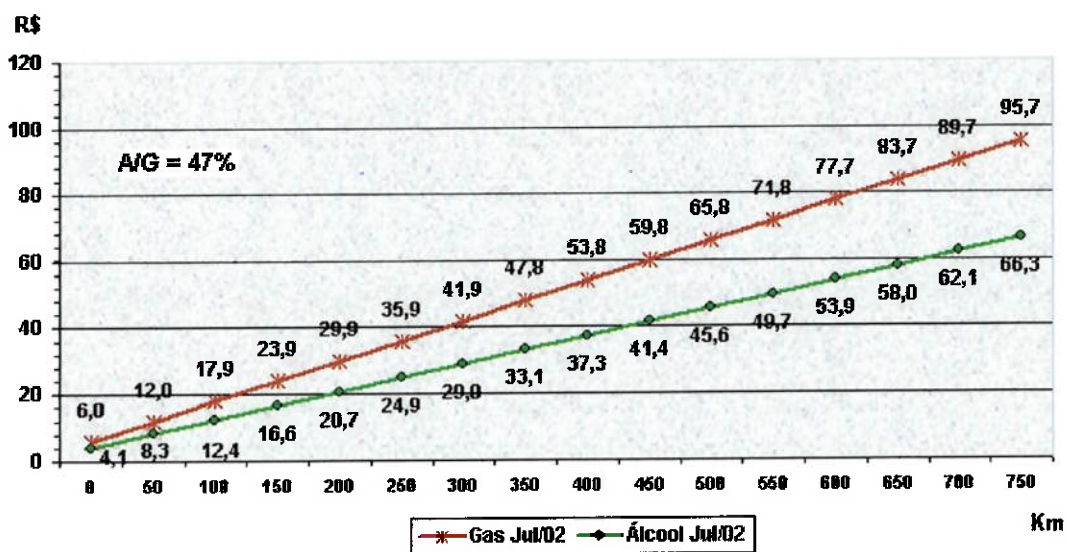


Figura 3 – Gastos em combustível (álcool e gasolina) versus km rodada.

Através da Figura 3, onde temos os gastos do tipo de combustível em relação à quilometragem rodada, pode ser verificado que atualmente é viável a aplicação de veículos movidos a álcool, porém esta situação é instável, pois depende dos preços do combustível vigente na época de estudo, e conforme verificado na Tabela 7, em

fevereiro de 2000, quando a relação entre a gasolina e o álcool era pequena, a utilização da gasolina era a melhor solução.

Pode-se observar que o combustível gasolina só apresentaria competitividade frente ao álcool quando o preço do litro da **gasolina** mantivesse a estabilidade em R\$ 1,746, e o litro do **álcool** fosse para a quantia de R\$ 1,172. Esta conclusão é obtida com a construção de um gráfico que considera o custo da gasolina ou álcool em relação ao seu consumo de combustível (Tabela 4) quando percorrida uma determinada quilometragem. Todavia, conforme pode ser verificado, os custos ainda seriam iguais (Figura 4).

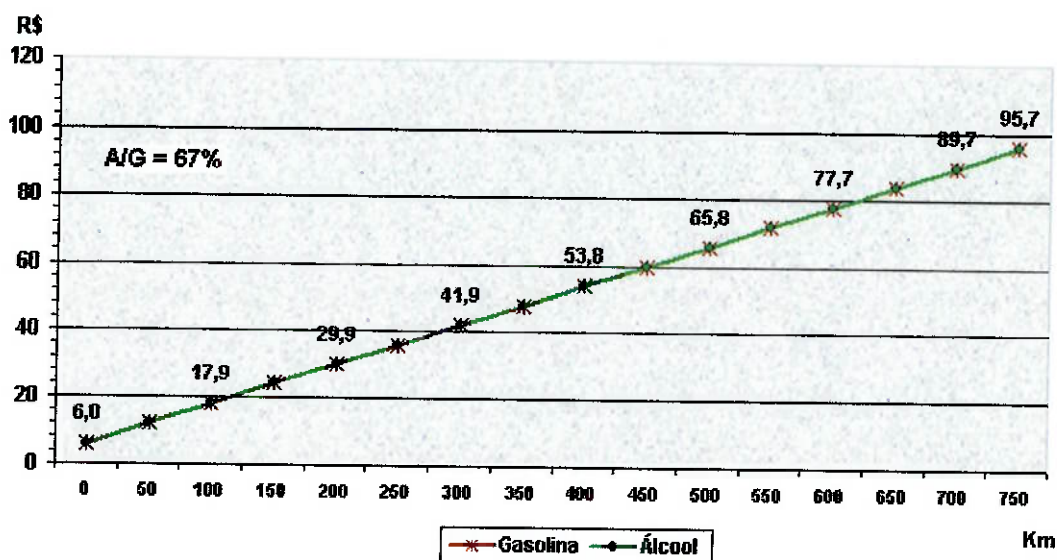


Figura 4 – Gastos com combustível no ponto de equilíbrio.

Para determinar a inversão de vantagens do álcool em relação à gasolina, devemos determinar o ponto de equilíbrio entre os carburantes.

Quando a relação entre a gasolina e o álcool é igual a 67,1% (Figura 5), temos o chamado ponto de equilíbrio das retas do estudo entre a gasolina e o álcool, onde as vantagens de utilização do álcool são idênticas às da gasolina e desta forma, podem ser desconsideradas.

Através da Figura 5 é possível concluir que quando a relação A/G estiver abaixo do “break even”, o consumidor deve optar pelo combustível álcool e quando a relação

A/G estiver acima do “break even”, o consumidor deve optar pela utilização do combustível gasolina.

Este estudo é válido também para o Astra 1.8L – 8 válvulas que apresenta resultados idênticos quando ocorre a comparação entre os carburantes.

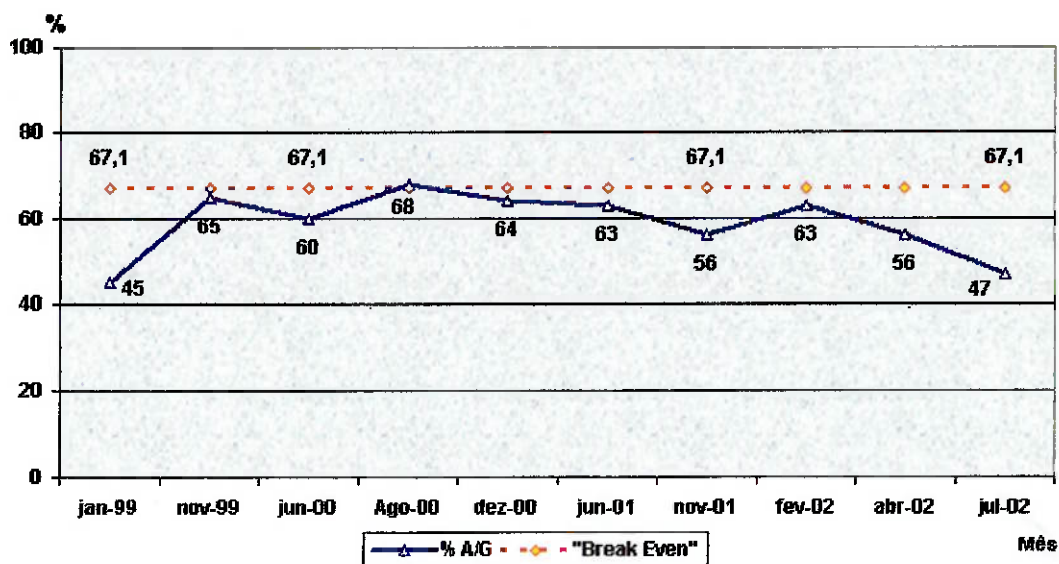


Figura 5 – Relação Álcool/Gasolina – “Break even”.

Pode-se concluir que através da aplicação de um veículo multi combustível este poder de decisão estaria com o consumidor final.

✓ Autonomia

Para análise da autonomia foi considerado os veículos da chamada Família Corsa, que compreendem os modelos “hatchback” de 3 e 5 portas e o modelo sedan que apresentam um tanque de combustível com capacidade de 46 litros de armazenamento.

O consumo de combustível foi o utilizado da Tabela 4.

A pick-up Corsa não foi considerada por apresentar um tanque de combustível com capacidade superior ao dos modelos Corsa acima descritos, com capacidade para 50 litros.

Apesar do custo do álcool ser um fator importante para a escolha do combustível a ser utilizado pelo consumidor, vale ressaltar que com relação à autonomia os veículos movidos a gasolina têm vantagem sobre os movidos a álcool, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8: Corsa 1.0L: Autonomia e consumo de combustível [06, 43]

Família CORSA	Consumo Misto (km/l)	AUTONOMIA (km)
GASOLINA	14,6 km/l	<u>671,6 km</u>
ÁLCOOL	9,8 km/l	450,8 km

Para motores de maior cilindrada, esta relação para a autonomia permanece idêntica. Como exemplo, temos o Astra 1.8L, onde a capacidade do tanque de combustível é de 52 litros e a sua autonomia é ilustrada na Tabela 9.

Tabela 9: Astra 1.8L: Autonomia e consumo de combustível [06, 43]

Família ASTRA	Consumo Misto (km/l)	AUTONOMIA (km)
GASOLINA	11,7 km/l	<u>608,4 km</u>
ÁLCOOL	9,1 km/l	473,2 km

Esta vantagem é observada devido ao consumo de combustível em veículos movidos a álcool ser superior ao da gasolina

No caso da utilização de veículos multi combustível, o consumidor pode optar pelo combustível dependendo do trajeto a ser realizado e dos pontos de abastecimento durante o percurso da viagem.

3 TIPO DE COMBUSTÍVEL

3.1 Combustível Gasolina

A grande maioria dos motores de combustão interna utiliza derivados de petróleo como combustível. Os principais derivados de petróleo utilizados em motores de combustão interna são a gasolina, o óleo diesel, o querosene de aviação e os óleos pesados para motores estacionários de baixa rotação.

O petróleo é constituído fundamentalmente de hidrocarbonetos (compostos binários de carbono e hidrogênio). Os principais hidrocarbonetos encontrados no petróleo são das famílias das:

- ✓ Parafinas.
- ✓ Oleofinas.
- ✓ Naftênicos ou cicloparafínicos.
- ✓ Aromáticos.

De acordo com Brunetti [35], como regra geral, quanto menor e simples a molécula maior a temperatura de auto-ignição e, portanto, maior a resistência à detonação. O ponto de ebulição dos diferentes hidrocarbonetos cresce mais ou menos regularmente com a massa molecular. Esta diferença é utilizada na destilação fracionada de grupos de hidrocarbonetos, para dividir o petróleo nos derivados que tem importância comercial. A gasolina é uma mistura de um grande número de hidrocarbonetos produzidos por diversos processos na refinaria. Esta mistura visa ajustar as propriedades do composto para o bom funcionamento do motor ciclo Otto.

3.2 Combustível Álcool

Segundo Brunetti [35], os álcoois caracterizam-se por ter uma fórmula básica igual à

dos hidrocarbonetos, onde se substitui um hidrogênio por um ou mais radicais OH (hidroxila). São, portanto denominados combustíveis oxigenados. Os mais importantes em termos de disponibilidade são o metanol e o álcool. O álcool é obtido pela decomposição de substâncias mais complexas como os açúcares e os amidos, enquanto que o metanol pela síntese do monóxido de carbono e hidrogênio. A produção de álcool mostra-se mais viável a partir da cana-de-açúcar, que é fonte de uma energia renovável. O metanol é obtido, principalmente, a partir do gás natural, mas pode ser também energia renovável quando originado da madeira. Ambos podem ser misturados com a gasolina para aumentar o seu número de octanas, já que o seu poder antidetonante é relativamente alto. Outro fator importante é a redução de emissões dos gases poluentes gerados por esta mistura de álcool à gasolina.

Para a utilização de álcool na gasolina comum, deve-se utilizar a sua forma anidra, pois a presença de água na mistura de combustível pode originar a separação de fases.

Para os veículos movidos a álcool, deve-se utilizar o hidratado, pois a retirada de toda a água do processo é complexa, devido ao carburante ser uma formação de mistura azeotrópica, ou seja, de uma substância simples.

Brunetti [35] citou que apesar do poder calorífico ser diferenciado para os combustíveis, a potência do motor pode ser igual ou superior quando comparada ao da gasolina devido às relações estequiométricas compensarem a grandeza do poder calorífico, porém é conhecido que o consumo de combustível aumenta. Na prática observa-se consumos de combustível de 20 a 25% maiores no motor a álcool e 45 a 55% a mais com o metanol.

3.3 Características dos Combustíveis: Gasolina e Álcool

Devido às diferenças entre as propriedades físico-químicas da gasolina e do álcool (Tabela 10), os parâmetros de ignição e injeção são diferenciados com o objetivo de fundamentar o desenvolvimento de um sistema para cada tipo de combustível.

Tabela 10: Propriedades químicas da gasolina e álcool [35, 69]

Propriedades dos Combustíveis	Gasolina	Álcool
Fórmula Química	Cadeias de C ₄ até C ₁₂	C ₂ H ₅ OH
Densidade (kg/m ³)	730-760	811
Calor Específico (MJ/kg)	42,7	26,8
Calor Latente de Vaporização (kJ/kg)	380-500	904
Temperatura de Ebulição (°C)	21-215	78
Relação Ar/ Combustível	14,7	9,0
Potência	Padrão	+ 5%
Condições de Partida a Frio	Boa	Ruim

De acordo com a Tabela 10, um volume extra de 46% de álcool é necessário para atingir o mesmo nível de energia de motores movido a gasolina, resultando em uma menor autonomia para os veículos movidos a álcool.

A relação teórica de ar/combustível resulta em 35% menos gasolina que para o álcool para uma massa de ar idêntica, desta forma, algumas modificações no sistema de injeção são necessárias.

Como o álcool é uma substância pura (sem uma cadeia de carbono), a queima é realizada de forma diferente quando comparado à gasolina. Provêm altas velocidades de queima e baixo nível de óxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) dentro dos gases de exaustão. Porém deve ser destacado que a combustão aumenta a concentração de aldeídos e álcoois não queimados, os quais apresentam altas características tóxicas e atividade fotoquímica [69].

Apesar do calor latente de vaporização, o álcool retira o dobro de quantidade de calor dos arredores em comparação à gasolina. Por este motivo, o início de funcionamento de um motor em baixas temperaturas é mais difícil em veículos movidos a álcool. Sendo a adição de gasolina necessária para assegurar uma boa partida a frio, através de mecanismos remotos (reservatório de partida a frio com auxílio de gasolina injetada no coletor de admissão) instalados no veículo.

3.4 Miscibilidade de Combustíveis

Segundo Castro [18], no Brasil, a comercialização de gasolina com 24% de álcool etílico anidro e de álcool etílico hidratado carburante (AEHC), incentiva esforços para o desenvolvimento de motores de ciclo Otto que funcionem com boa performance, utilizando misturas de ambos combustíveis. Um dos principais problemas encontrados em misturas de gasolina e álcoois, especificamente com metílico e etílico, é a separação de fases que ocorre na presença de determinadas concentrações de água. Esse fato depende também da temperatura e da composição da gasolina, tendo como consequência um eventual desequilíbrio da combustão, e dificuldades adicionais em monitorar o fluxo de combustível, mediante o uso de sensores, e aumento da agressividade corrosiva. Por este motivo, é importante determinar as proporções de misturas entre gasolina, álcool etílico anidro carburante (AEAC) e a água que são limitantes ao processo de solubilidade total da mistura.

O problema é de difícil análise por estar relacionado com variações freqüentes de pressão, temperatura e das condições do fluxo de combustível. Na literatura técnica (Pea apud Bortolozzo[14]) encontram-se diagramas ternários, sobre a miscibilidade entre os três compostos, os quais são à base dos atuais combustíveis brasileiros; mas esse conhecimento é restrito à temperatura ambiente (20°C) e à pressão atmosférica. Tem sido também detectado que misturas de hidrocarbonetos (80% saturados e 20% de aromáticos em peso) e álcool etílico hidratado (5% em peso de água), tornam-se homogêneas com adições de álcoois superiores tipo Isobutanol (Terzone apud Bortolozzo[14]), e que para misturas gasolina/metanol a tolerância à água é aumentada com adições de TBA (2Metil 2 Propanol). O efeito é considerado como sendo uma sinergia entre os álcoois do sistema (Nierhaue apud Bortolozzo[14]).

3.5 Diagrama Ternário de Gibbs

O Diagrama Ternário de Gibbs para água, gasolina e álcool anidro em diferentes temperaturas (-10°C, 20°C e 60°C) e pressão atmosférica é mostrado na Figura 6. As misturas homogêneas estão acima da linha de temperaturas constantes (isotérmicas).

O diagrama revela que a região de miscibilidade aumenta com o aumento das temperaturas.

Uma linha conecta as misturas álcool hidratado e a mistura gasolina + álcool anidro, mostrando todas as possíveis misturas que podem ser geradas quando ocorre a combinação entre os dois combustíveis, sendo possível observar que nenhuma linha isotérmica é interceptada [14].

Desta forma, as misturas entre álcool hidratado e gasolina com 24% de álcool anidro são miscíveis entre as temperaturas de -10°C a $+60^{\circ}\text{C}$ [14, 41].

Através do Diagrama Ternário de Gibbs e das propriedades dos carburantes, pode-se concluir que na faixa de temperatura onde o sistema multi combustível trabalha ocorre a miscibilidade dos combustíveis e não temos a separação de fases.

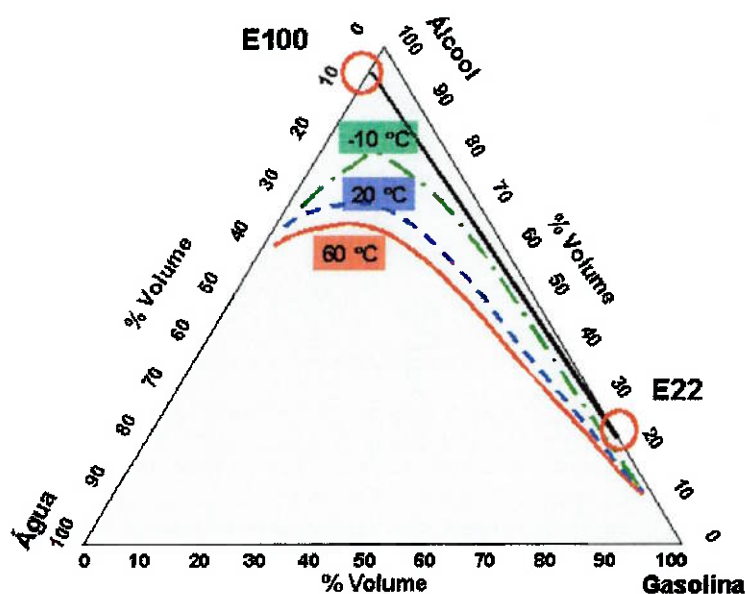


Figura 6: Diagrama Ternário de Gibbs [18]

4 EMISSÕES

4.1 Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno causado pelo acúmulo de gases e nuvens na atmosfera que provocam o aquecimento da superfície da Terra, pelo bloqueio de parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Determinados gases, como o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e ozônio protegem a atmosfera de receber todo o calor do sol. Aproximadamente, 51% da radiação que atinge o planeta é refletida de volta e os 49% restantes ficam retidos na Terra [02, 23, 26], sendo que o excesso de poluição pode provocar uma maior capacidade da atmosfera em reter o calor na superfície provocando uma elevação da temperatura no planeta.

“Os prejuízos da poluição atmosférica podem vir em longo prazo. Estudos desenvolvidos na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, entre 1977 e 1993, mostraram que a alta concentração de poluentes, principalmente nos grandes centros urbanos, pode reduzir em um ano e meio a expectativa de vida dos habitantes. As consequências do efeito estufa, tais como: inversão térmica, aumento do nível do mar, alteração no suprimento de água doce, chuvas em grandes quantidades e o super aquecimento da Terra podem ser desastrosas” [23].

Desta forma, o álcool combustível é uma opção para contribuir com a redução do efeito estufa e conseqüentemente com a diminuição da poluição atmosférica nas grandes cidades. A principal vantagem do combustível alternativo é a obtenção a partir da cana-de-açúcar que ajuda a reduzir o gás carbônico presente na atmosfera, através da fotossíntese nos canaviais [02, 23].

O uso de energia que caracteriza a economia moderna é uma das principais causas da emissão antrópica do CO₂ na atmosfera. Para reduzir a emissão de gases poluentes sem prejudicar o desenvolvimento econômico, a principal estratégia seria substituir os combustíveis fósseis por outras fontes não emissoras (ou renováveis) como a hidráulica, a solar e a própria biomassa [26].

A emissão de CO₂ energético do Brasil é das mais baixas do mundo em relação à população, sobretudo quando comparada com a produção econômica. Esta posição, no entanto, está mudando e as emissões vêm crescendo nos últimos anos, com tendência a acelerar no futuro. Esta tendência pode ser alterada e, até mesmo revertida com ações de conservação de energia ou através da introdução gradativa de tecnologias que substituam a aplicação de combustíveis fósseis em grande escala [57].

Com efeito, existe um grande potencial de economia de energia no Brasil junto aos consumidores finais, seja empregando tecnologias mais eficientes nos veículos, motores, etc., seja indiretamente, com ações como a melhoria dos transportes. Além disso, há um potencial importante de redução de desperdícios junto aos supridores de energia, nos processos de transformação da energia primária nas formas mais utilizadas pelos consumidores.

Sendo inevitável o uso de combustíveis fósseis, sua utilização eficiente e a redução de desperdícios são provavelmente a forma mais atraente de reduzir as emissões de CO₂. A atratividade é reforçada pelo fato de que, para manter e aumentar a utilização de fontes de biomassa não emissoras que substituem combustíveis, o Brasil dependerá, em parte, da melhoria na sua eficiência de transformação.

As emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis por setor da economia demonstram que 40% são emitidos através do setor de transporte (Apêndice B) [57].

Com a preocupação do efeito estufa dos gases, surge a preocupação do impacto de cada veículo no aquecimento global. Uma das coisas mais importantes que a população pode fazer para reduzir os efeitos da poluição e o aquecimento global é a conscientização e a aquisição de veículos com possíveis melhorias com relação à economia de combustível.

Atualmente é divulgado que a formação de gases do efeito estufa na atmosfera esteja elevando a temperatura e mudando o clima da Terra. No transporte veicular, especificamente a combustão de combustíveis fósseis em nossos veículos, é a maior fonte de gases do efeito estufa gerada pelo ser humano. Quanto mais combustível o veículo queima, é nítido o aumento no efeito estufa através do gás emitido. É

possível reduzir estas emissões através de programas incentivados pelo Governo que reduzam a emissão de gases poluentes na atmosfera.

4.2 Lei de Emissões

Para os motores de combustão interna, o termo emissão de poluentes é utilizado para identificar os produtos gerados pela combustão que são considerados nocivos para o homem e o meio ambiente.

Segundo Bruneti [35], a reação de combustão completa e estequiométrica produz CO_2 , H_2O e N_2 ; cuja composição pode ser obtida em volume ou em massa da própria equação da reação.

Para a reação de combustão incompleta, os produtos citados constituem cerca de 98% dos gases de escape; sendo 1% formado de O_2 , H_2 e gases inertes e aproximadamente 1% de gases nocivos [48].

Na composição dos gases nocivos, temos: 0,85% de CO ; 0,08% de NO_x ; 0,05% de HC . A emissão de particulados sólidos (0,005%) é muito baixa, e praticamente negligenciada em motores de combustão interna para o ciclo Otto [48].

A relação de proporção desses gases de escape depende do combustível utilizado, do regime de funcionamento do motor que é influenciado pelas características de dirigibilidade do condutor e da qualidade da mistura.

Os principais produtos dessa combustão são:

✓ **Monóxido de Carbono (CO):**

O monóxido de carbono forma-se principalmente durante a combustão do combustível com insuficiência de oxigênio. Certa quantidade de monóxido de carbono pode ser formada pela interrupção da reação junto às paredes da câmara de combustão ou pelo resultado da dissociação do CO_2 em altas temperaturas [69].

Com o excesso de ar, a concentração de monóxido de carbono na exaustão é

dependente de uma distribuição não homogênea da mistura e nas flutuações da composição da mistura entre os quatro ciclos de funcionamento do motor.

✓ **Óxidos de Nitrogênio (NO_x):**

Compõem-se basicamente de NO na proporção de 90% e de NO₂. O óxido de nitrogênio na atmosfera oxida-se para o NO₂ em reações fotoquímicas envolvendo hidrocarbonetos [01, 35].

O óxido de nitrogênio forma-se durante a combustão pela reação do oxigênio. A temperatura de pico na câmara de combustão e a duração de seu efeito têm uma influência decisiva na concentração de emissão do NO_x [01].

✓ **Hidrocarbonetos (HC):**

Os hidrocarbonetos formam-se pela decomposição parcial do combustível durante a combustão e próximo às paredes da câmara de combustão, onde a temperatura não é suficiente para completar a reação. Isto acontece também em regiões da câmara onde a mistura é excessivamente rica ou pobre [01].

Uma parte dos hidrocarbonetos passa através das paredes entre o pistão e o cilindro e é reaproveitado pela ventilação positiva do carter, que devolve os hidrocarbonetos para a combustão de um novo ciclo na câmara de combustão [01, 35].

✓ **Aldeídos:**

No motor Otto a álcool, quando as temperaturas de combustão são relativamente baixas, principalmente no período de aquecimento ocorre a formação de aldeídos [35].

Atualmente, a somatória dos gases produzida numa grande concentração urbana eleva a emissão de gases poluentes a níveis preocupantes [60].

A regulagem automática da mistura é realizada em função da necessidade de reduzir

as porcentagens de CO, NO_x e HC presentes nos gases de escapamento. O controle destes compostos é realizado pelo gerenciamento eletrônico do sistema de injeção e seus limites de emissão são regulamentados pelo Governo Brasileiro.

As leis de emissão de poluentes são estabelecidas em fases de implementação e redução de seus níveis de emissão e atualmente temos a Fase III (US83) em exercício no Brasil [31, 55], conforme ilustrado na Figura 7.

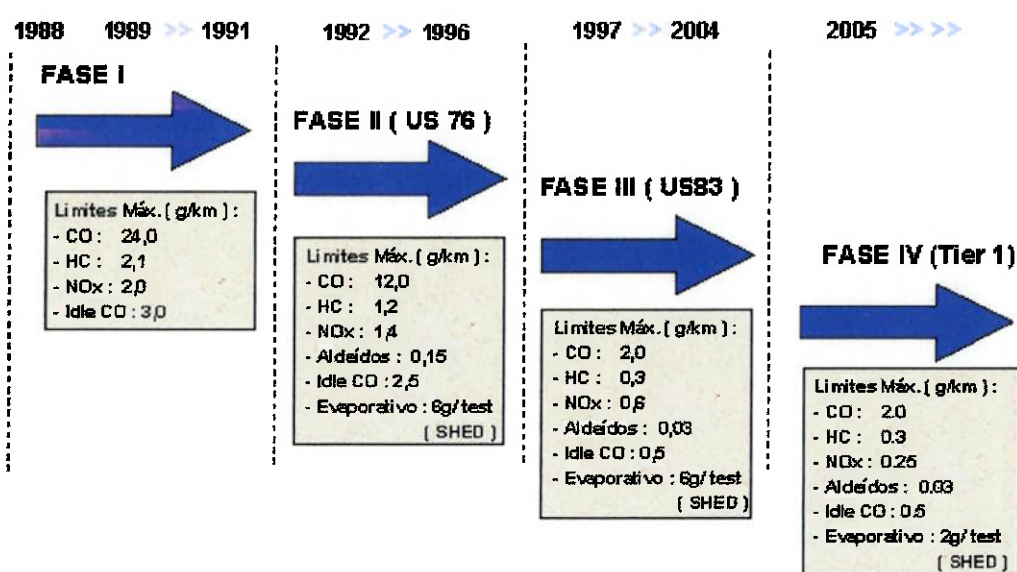


Figura 7 - Limite de poluentes na lei de emissões [55]

Para o início de desenvolvimento de veículos multi combustível, uma comissão envolvendo representantes do Governo Brasileiro e da indústria automobilística devem reunir-se para estabelecer os parâmetros e limites de emissões para um veículo híbrido.

4.3 Relação Estequiométrica Ar/Combustível

A combustão do motor requer uma específica relação de ar/combustível para uma boa operação do sistema.

Para o correto controle das operações do motor e de emissões, um dos parâmetros

mais importantes é a relação estequiométrica ar/combustível $(A/F)_{ESTQ}$.

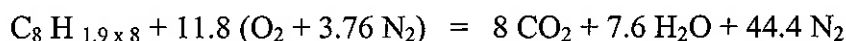
O consumo específico de combustível depende principalmente da relação ar-combustível. Teoricamente, para uma combustão total e conseqüentemente um consumo mínimo é desejável um excesso de ar, mas por razões de inflamabilidade e de um tempo limitado para a combustão, isto não é possível.

Desde que as relações de hidrocarbonetos sejam muito similares, as variações de composição de sua mistura não alteram a relação final de combustível significativamente.

Entretanto, o álcool e os orgânicos oxigenados tem diferenças significativas para os valores de $(A/F)_{ESTQ}$. A relação estequiométrica para o álcool é de 9,0 e para a gasolina é de 14,7. Através da adição de álcool na gasolina, ocorre uma redução significativa dos requisitos de ar para a ingestão do motor e promove uma redução de CO pela adição de oxigenados na gasolina [35].

Dependendo do tipo de formulação do combustível, temos uma relação estequiométrica de ar/combustível diferenciada, como pode ser verificado nas equações abaixo:

✓ **Combustível E0 – H/C =1.9 [61]**



$$(A/F)_{ESTQ} - \frac{11.8 \times (32 + 3.76 \times 28)}{(8 \times 12 + 1.9 \times 8 \times 1)}$$

$$(A/F)_{ESTQ} - 14.6$$

✓ **Combustível E100 – Álcool Hidratado (5% de água em volume) [61]**



$$(A/F)_{ESTQ} - \frac{3 \times (32 + 3.76 \times 28)}{(2 \times 12 + 6 \times 1 + 16 + 3.2)}$$

$$(A/F)_{ESTQ} - 8.37$$

Pequenas variações deste parâmetro produzem grandes distorções nas emissões de HC, CO e NO_x . Para determinar estas variações, tem-se como referência a relação estequiométrica ar/combustível. Na medida em que o valor da relação ar/combustível (A/F) se aproxima de 1, a presença de CO e de HC diminui. Enquanto que os picos de NO_x estão concentrados próximos a mistura estequiométrica, conforme demonstrado na Figura 8 [01, 35].

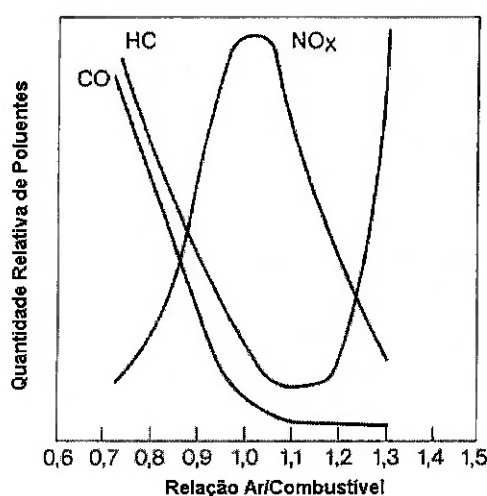


Figura 8 - Relação ar/combustível versus poluentes [01]

Para os parâmetros de potência e consumo de combustível a relação ar/combustível também afeta as curvas de desempenho, conforme ilustrado na Figura 9:

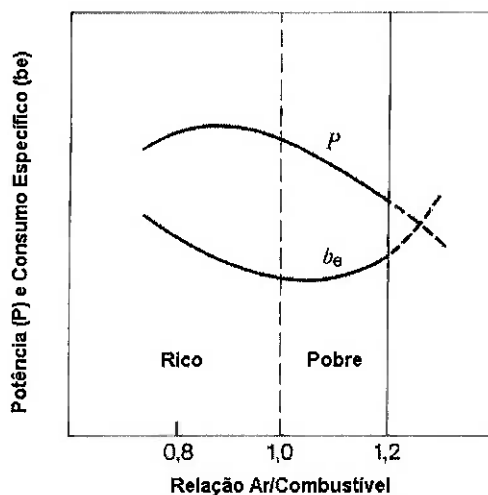


Figura 9 - Relação ar/combustível versus potência e consumo específico [01]

Detalhando as regiões entre $A/F = 0,8$ e $A/F = 1,3$ para as figuras 8 e 9, temos:

$(A/F = 1)$: é a quantidade utilizada de ar igual à teórica de ar requerida;

$(A/F < 1)$: é uma região de mistura rica, onde os motores de combustão interna desenvolvem sua melhor Potência com deficiência de ar entre 5 a 15% com variações entre $0,85 < A/F < 0,95$;

$(A/F > 1)$: é uma região de mistura pobre, com a redução de Potência e máxima economia de combustível acontece com excesso de ar em torno de 20% e apresentando variações de $1,05 < A/F < 1,3$;

$(A/F > 1,3)$: região onde pode não ocorrer a ignição, cujo fenômeno é conhecido como “misfiring” [01, 35, 48].

De acordo com as análises, a maior vantagem do álcool é a sua tolerância a queima de misturas pobres, abaixo de $(A/F) = 1,35$; enquanto que o limite para a gasolina está próximo a 1,10 [48].

Esta característica, a qual corresponde aos limites de dirigibilidade* do veículo, permite à utilização de misturas pobres e conseqüentemente, o resultado é uma redução considerável de emissões para ambos os motores movidos a álcool ou gasolina.

✓ O conceito da utilização de oxigenados na gasolina.

A adição de oxigenados na gasolina é desejável com o intuito de reduzir a emissão de CO do veículo, sem nenhuma alteração no motor básico [68].

A variação de (A/F) para o álcool até a gasolina é possível devido ao sistema “closed loop” aplicado em sistemas de injeção, porém é necessário desenvolver melhorias na válvula injetora para atender uma variação no fluxo de injeção ampla.

Entretanto, diferenças na velocidade de chama, tolerância do excesso de ar e as tendências de pré-ignição determinam (A/F) distintos e requisitos de avanço de ignição para a otimização do motor, para cada tipo de combustível e de suas misturas [68].

4.4 Conversor Catalítico

O controle da mistura, do tipo fechado “closed loop”, é ativado pelo sensor de oxigênio ou sonda lambda que controla o teor de oxigênio presente nos gases de descarga, antes do conversor catalítico [15].

Os teores detectados pelo sensor de oxigênio enviam um sinal ao módulo de controle eletrônico para a correção contínua da mistura, mantendo-se constante e adequada a razão ar/combustível.

Deste modo, obtém-se um controle das emissões nocivas na descarga e que é completado no conversor catalítico.

O conversor catalítico tem o objetivo de eliminar os três gases poluidores existentes no gás de escapamento (HC - hidrocarbonetos, leves não queimados, CO - monóxido de carbono e NO_x - óxidos de nitrogênio), conforme ilustrado na Figura 10 [01, 35].

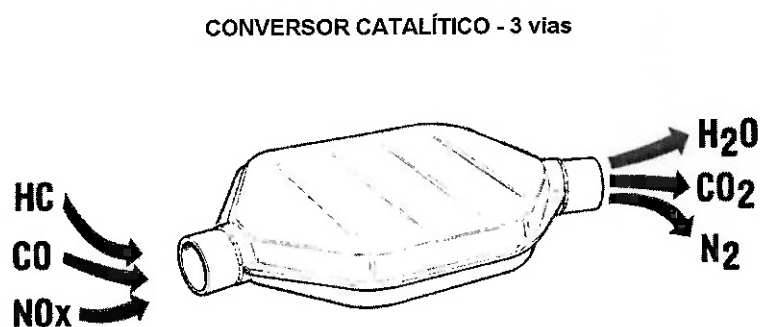


Figura 10 - Emissão dos gases de escape [01]

* Dirigibilidade: o veículo deve possuir a capacidade de efetuar a transição do estado estacionário para a mobilidade. A partir da movimentação inicial, deve ser capaz de ultrapassar obstáculos, podendo ascender gradientes de aceleração quando solicitado pelo usuário [01].

Os gases emitidos pelo motor são:

- | | | |
|---|----------------------|------------------|
| ✓ | Hidrocarbonetos | HC |
| ✓ | Monóxido de Carbono | CO |
| ✓ | Oxigênio | O ₂ |
| ✓ | Nitrogênio | N ₂ |
| ✓ | Vapor de Água | H ₂ O |
| ✓ | Óxidos de Nitrogênio | NO _x |
| ✓ | Hidrogênio | H ₂ |
| ✓ | Dióxido de Enxofre | SO ₂ |

No interior do conversor processam-se dois tipos de reações químicas [25]:

- ✓ Oxidação do CO e dos HC, convertidos em dióxido de carbono e água.
- ✓ Redução dos NO_x, convertidos em nitrogênio.

As causas que comprometem a rápida e de forma irreversível o funcionamento do conversor são [25]:

- ✓ Presença de chumbo tetraetila no combustível, que reduz a eficiência do conversor a praticamente inutiliza-lo do sistema.
- ✓ Presença de gasolina não queimada durante o ciclo no conversor.

A conversão necessita de um pré-aquecimento antes que a função seja efetiva. Após a partida do veículo, uma pequena conversão de gases é realizada. Quando a temperatura do conversor catalítico atinge temperaturas entre 250°C a 300°C, a faixa de conversão química aumenta rapidamente, que é conhecido como “light off” [25].

O “light off” é o tempo ou a temperatura requerida para atingir 50% de eficiência da conversão dos gases provenientes do motor do veículo [25].

5 TECNOLOGIA MULTI COMBUSTÍVEL

Os veículos dotados com o sistema multi combustível podem funcionar com gasolina, mistura gasolina/álcool e somente álcool hidratado. Este sistema proporcionará uma atualização tecnológica para o uso do álcool hidratado; acomodará as flutuações do mercado; facilitará a importação e exportação da tecnologia e facilitará o comércio de emissões de carbono previsto no Protocolo de Kyoto.

Como um dos grandes benefícios, podemos ressaltar que através do uso do combustível álcool, temos a redução na emissão de CO, HC, NO_x e CO₂.

No Brasil, o projeto do sistema multi combustível está sendo desenvolvido pela indústria automobilística com suporte de fornecedores para sistemas de gerenciamento do motor. Porém como em qualquer motor, este sistema requer um tempo de calibração, testes de durabilidade do motor e homologação no veículo devido ao sistema multi combustível. Esses trabalhos dependem das montadoras e das características do motor.

Atualmente, a parte técnica está sendo trabalhada e a questão de regulamentação política (IPI) foi estabelecida conforme descrito no Capítulo 2.

Como desafio, temos a política econômica de combustíveis, que deve manter o preço dos combustíveis alternativos em patamares estáveis, evitando flutuações que podem aparecer devido ao mercado especulativo.

O sistema de gerenciamento eletrônico do motor pode funcionar através da introdução de um sensor na linha de combustível, que detecta a porcentagem de álcool contida na gasolina e, em função desta mistura, o sistema realiza a adequação automática dos parâmetros de alimentação (pulso de injeção) e combustão (avanço de ignição). Como resultado, tem-se um veículo com o sistema multi combustível trabalhando em qualquer faixa de possíveis misturas entre o álcool e a gasolina, sem comprometer o adequado funcionamento do motor.

A auto-suficiência do sistema é garantida por dois tipos de correção. Uma é instantânea e mantém o motor funcionando sempre nas condições ideais,

proporcionando uma marcha lenta estável e uma relação ar/combustível ideal. A segunda, chamada adaptação ou auto-aprendizado, ocorre quando a correção instantânea sai do valor médio por um período de tempo prolongado em função das variações que o motor pode apresentar durante a sua vida útil. O módulo eletrônico de controle para diagnose instalado no veículo identifica as eventuais falhas do sistema e providencia uma alternativa própria para evitar que o veículo pare. Um sinal luminoso instalado no painel de instrumentos alerta o motorista quando há necessidade de procurar uma assistência técnica autorizada. Na maior parte dos casos, o motorista não observa qualquer mudança no funcionamento do veículo, devido ao sistema adotar uma configuração básica que evita a parada ou o mau funcionamento do veículo até a sua correção em uma concessionária autorizada [54].

Para as verificações de diagnose do motor realizado pelo sistema de gerenciamento eletrônico podemos citar: os testes de inúmeros sensores, tais como: sensor de posição da borboleta do corpo de aceleração, sensor de pressão absoluta do coletor de admissão, sensor de temperatura do ar de admissão, módulo de controle eletrônico, sensor de detonação, teste elétrico das válvulas injetoras de combustível, teste da válvula de purga do canister, teste do sensor de álcool, sensor de oxigênio e outros.

5.1 Motor Básico

O valor de potência e de torque disponível no motor é diferente dependendo da proporção de álcool dentro da mistura combustível como pode ser verificado na Figura 11 para potência e a Figura 12 para torque em um motor 2.0 litros – 8 válvulas, com aplicações de gasolina e álcool hidratado [18].

Segundo Castro [18], as análises realizadas em motores pela Bosch demonstram a tendência de ganho de torque e consumo específico na elevação das taxas de compressão. Particularmente para as misturas E64 (mistura contendo 64% de álcool e 36% de gasolina), onde se alcança torque superior a 180 Nm com motor de taxa 12:1, com consumo específico menor que o mínimo verificado na mesma região de altos torques no motor de taxa 9,2:1

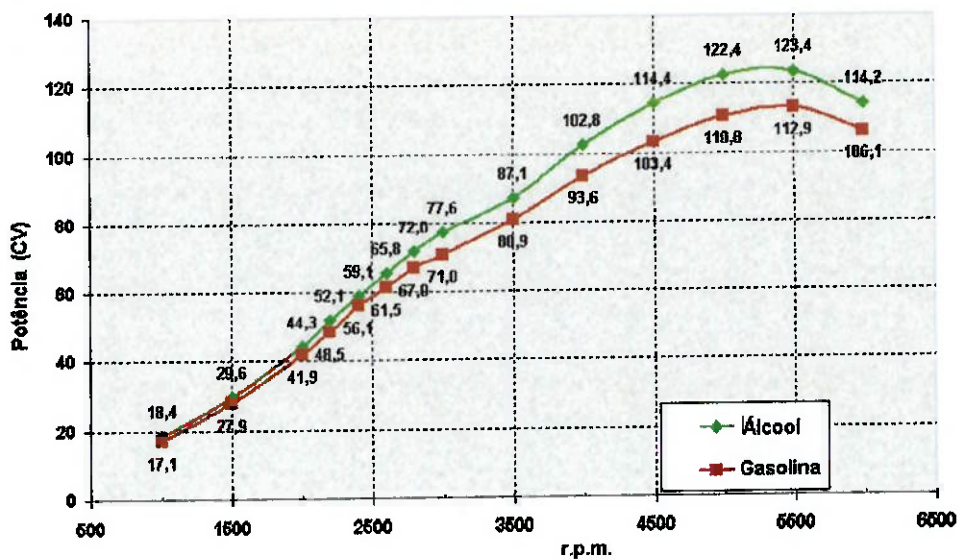


Figura 11 - Gráfico comparativo de potência [18]

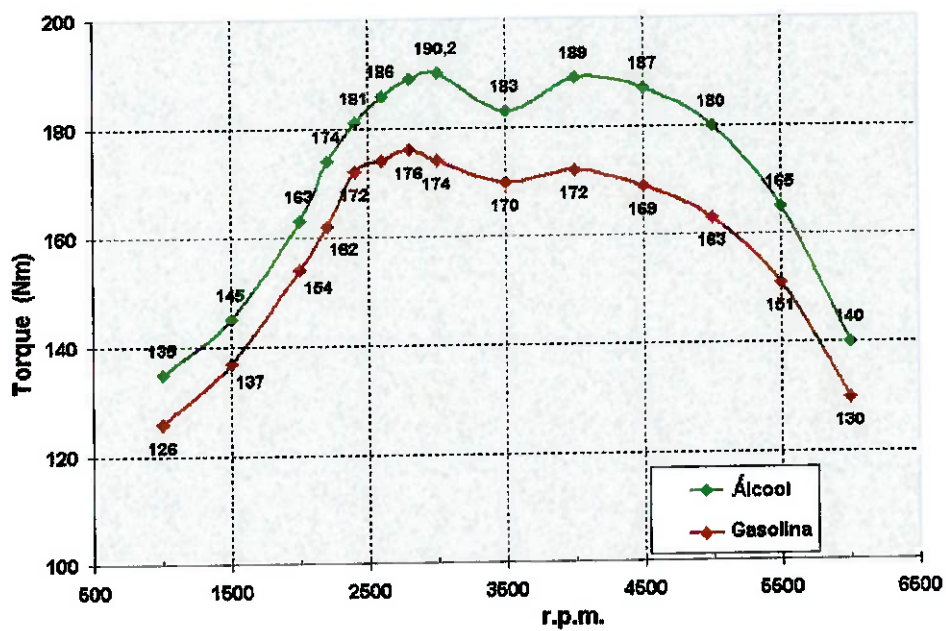


Figura 12 - Gráfico comparativo de torque [18]

5.1.1 Taxa de Compressão

Para o desenvolvimento de um sistema multi combustível com o intuito de evitar perdas nas características de torque e potência do motor a utilização de uma alta taxa de compressão é a solução mais recomendada.

A resistência à detonação para o combustível álcool é o fator chave para compensar a capacidade de baixa energia do combustível álcool. Esta vantagem para a utilização de relações de compressão em torno de 12:1 ou maiores dependendo da otimização do motor álcool. Entretanto, neste caso o mapa de avanço para a ignição necessita ser altamente retardado (muito distante do avanço otimizado) devido à utilização dupla com o combustível gasolina [16].

Para viabilizar a aplicação de um motor de taxa de compressão 12:1 em motores movidos a gasolina, alguns ajustes devem ser efetuados para a correta operação do motor.

É possível que um motor de combustão interna atuando em ciclo Otto seja adequado através de uma razão de compressão limitada, onde o seu desempenho com relação à potência, consumo específico, detonação e emissão de gases poluentes seja considerado otimizado e satisfatório. Em se tratando de ciclos de pressão limitada o controle das pressões é efetuado pela injeção controlada de combustível durante o processo de combustão, diferentemente do que ocorre no motor de ciclo Otto, cuja alimentação é feita antes do fechamento da válvula de admissão [37].

Estas alterações não devem gerar diferenças significativas nas emissões de HC e CO, no que diz respeito às fontes de formação desses compostos. Entretanto com relação à formação de NO_x devido à combustão ocorrer em novo ciclo termodinâmico, as pressões e temperaturas atingidas na combustão e no curso de expansão deverão ser menores que as do ciclo original, sendo previsto uma redução nas emissões de NO_x para a atmosfera em virtude das temperaturas na câmara de combustão serem menores. Ou seja, é possível obter-se o mesmo rendimento térmico em motores de ignição com centelha com razões de compressão diferentes. Isso ocorre, porque pode-se operar no ciclo Otto para razões de compressão menores e no ciclo de pressão limitada para razões de compressões maiores [37].

Problemas de desgaste prematuros do motor e detonação não ocorrem porque os níveis de pressão e temperatura do ciclo Otto para o ciclo de pressão limitada diminuem [37].

5.1.2 Sistema de Ignição

O ângulo de avanço de ignição é distinto para cada mistura. O “software” realiza com base no fator de álcool operações de cálculo para adaptar os fatores pertinentes a ignição da melhor forma possível para cada mistura.

Para permitir a utilização de diferentes parâmetros entre as diversas características de misturas de combustíveis, a amplitude de aquecimento da vela de ignição precisa estar habilitada para prevenir uma pré-ignição quando ocorrer à presença de álcool e possuir uma baixa tendência para carbonização na presença de gasolina.

Devido à gasolina apresentar uma alta tendência para detonação em motores com alta taxa de compressão, específicos parâmetros para o sistema de controle de detonação devem ser trabalhados para evitar avarias no conjunto motor. Caso os procedimentos corretos não sejam empregados, severos danos podem ser gerados em partes internas do motor. A viabilidade do sistema depende essencialmente das estratégias empregadas no gerenciamento dos efeitos da detonação, através de um sensor localizado no bloco do motor [18].

5.1.3 Vela de Ignição

O motor em funcionamento gera na câmara de combustão uma grande quantidade de calor que é dissipada através do sistema de refrigeração e em parte pelas velas de ignição. Para as velas de ignição, a Figura 13 ilustra a dissipação de calor no seu interior.

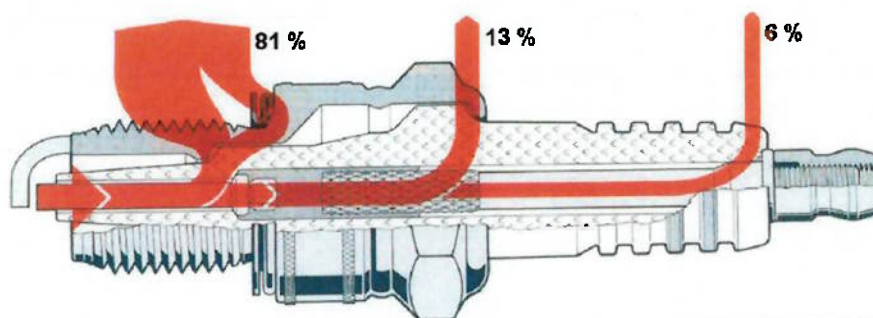


Figura 13 - Dissipação de calor no interior da vela de ignição [48]

A temperatura de trabalho da vela de ignição durante o funcionamento do motor é um fator determinante para o seu comportamento. A temperatura ideal fica entre 500°C a 850°C. As temperaturas inferiores a 500°C provocam a carbonização da ponta, com possíveis falhas na combustão e acima de 850°C podem provocar a pré-ignição [48, 74].

A capacidade de absorver ou dissipar o calor é denominada como “grau térmico”. Como existem vários tipos de motores com maior ou menor carga térmica são necessários vários tipos de velas com maior ou menor capacidade de absorção ou dissipação de calor. Desta maneira, temos dois tipos de vela denominadas fria ou quente, conforme ilustrado na Figura 14.

- ✓ Tipo Quente: é a vela de ignição que trabalha quente, o suficiente para queimar depósitos de carvão, quando o veículo está em baixa velocidade. Possui um longo percurso de dissipação de calor, o que permite manter alta a temperatura no ponto do isolador [74].
- ✓ Tipo Frio: é a vela de ignição que trabalha fria, possuindo um percurso mais curto, permitindo a rápida dissipação de calor. É adequada aos regimes de alta solicitação do motor [74].

Para os veículos convencionais movidos a gasolina temos a aplicação de velas de ignição do tipo quente e para os movidos a álcool a do tipo fria.

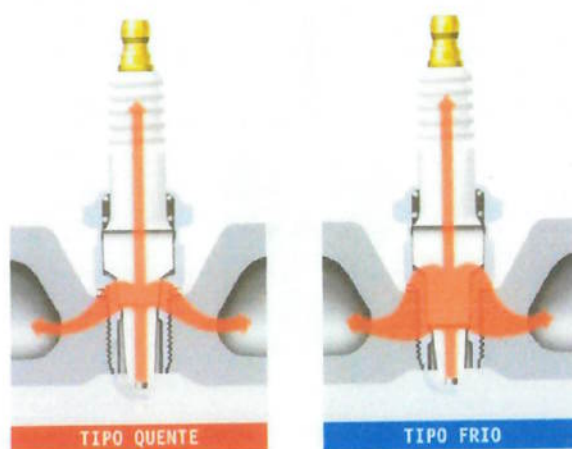


Figura 14 - Comparativo entre velas de ignição tipo quente versus tipo fria [74]

Como princípio de desenvolvimento para os veículos movidos a multi combustível, o tipo de vela inicialmente empregada será idêntica a utilizada nos veículos movidos a álcool e que possuem um grau térmico alto.

Entretanto uma pesquisa detalhada deve ser realizada em dinamômetro para encontrar o ponto de equilíbrio entre as soluções utilizadas atualmente para a gasolina (tipo quente) e o álcool (tipo fria), com o intuito de aplicar uma solução intermediária para o multi combustível.

A determinação da vela de ignição ideal para cada tipo de motor é feita com o uso da vela termométrica, baseada em um termopar que é inserido no ponto do eletrodo central. Desta forma, é possível determinar a temperatura de uma vela em diferentes regimes de trabalho do motor.

A vela de ignição requer para a inflamação da faísca um mínimo de 20 MJ de energia [35]. Para produzir a faísca normalmente aplica-se um pulso de alta tensão negativo ao eletrodo central. Este pulso aumenta em função do tempo, até atingir o potencial necessário para disparar a faísca.

Este potencial depende da densidade da mistura existente na câmara, da temperatura do eletrodo central da vela, do estado do eletrodo central e da polaridade da tensão aplicada.

O instante em que se deve ser disparada a faísca varia em função de vários

parâmetros. A eficiência máxima do motor é obtida para ângulos de faísca que variam em função da rotação e da carga do motor, uma vez fixada a relação ar/combustível para todo campo de operação do motor. Na eventualidade de modificações na relação ar/combustível, o avanço da ignição também precisa ser alterado, a fim de compensar as variações que ocorrem no retardamento da combustão.

Nem sempre é possível utilizar para máxima eficiência, devido a limitações causadas pela detonação. É usual deixar uma margem de segurança nos regimes de carga alta, atrasando-se a faísca aquém do ponto de maior eficiência, a fim de assegurar que não ocorra a detonação ou a utilização de um sensor de detonação pode evitar este problema.

Outra função que se incorpora ao sistema eletrônico de ignição é o retardamento do instante da faísca durante o aquecimento do motor. Desta forma, obtém-se uma elevação na temperatura dos gases de escapamento, e conseqüentemente uma redução no tempo de aquecimento do catalisador [22].

5.1.4 Câmara de Combustão

No projeto de uma câmara de combustão deve-se procurar obter resultados que permitam o uso de altas relações de compressão, sem que ocorram detonações mediante o uso de combustíveis normais e sem que o aumento de pressão ocasione ruído excessivo. Uma câmara bem projetada permite o uso de misturas pobres, o que favorece o rendimento térmico do motor, e deve prover o grau de turbulência necessária para uma combustão suficientemente rápida. Sua forma geométrica também influi na velocidade de propagação, especialmente na sua variação em função do ângulo do virabrequim [22].

Sabe-se que as relações de compressão mais elevadas melhoram o rendimento indicado, mas esta melhora vai-se tornando progressivamente menor, e em torno de 20:1 o incremento é pequeno [16, 22].

Por outro lado, um aumento da relação de compressão aumenta a pressão máxima

atingida no cilindro, para uma mesma pressão média indicada. Além do acréscimo de perda que ocorre para determinado motor, é necessário ser considerado o acréscimo em áreas de mancais, dimensões de biela, virabrequim e outros componentes, a fim de se obter a mesma vida útil independentemente da pressão máxima de combustão utilizada. A relação de compressão que permite a melhor eficiência à plena carga situa-se em torno de 13:1, dependendo naturalmente do projeto básico do motor como número de cilindros, número de mancais, etc. Em cargas parciais, relações de 15/16 fornecem valores otimizados [16, 22, 37].

A câmara de combustão, para o bom funcionamento dos motores Otto, sem detonação, deve obedecer três regras básicas [20]:

- ✓ Gerar turbulências adequadas a uma combustão rápida e eficiente. As turbulências excessivas podem provocar perda de calor pelo aumento do fluxo com as paredes. A turbulência pode ser entendida como a superposição de dois efeitos: o “swirl” que é rotação da mistura provocada na entrada e o “squish” que é a rotação provocada pelo esmagamento da mistura durante a compressão.
- ✓ Localização centrada da vela de ignição. Esta característica reduz o caminho percorrido pela chama, com conseqüente redução de tempo, não permitindo que em algum ponto se atinja a temperatura de auto-ignição.
- ✓ Relação volume/superfície grande no início do trajeto da chama e pequeno no final do percurso.

Quando a câmara possui um volume inicial de combustão pequeno, ocorre um retardo na propagação da chama. Na região final (grande volume da mistura) é aquecido pelo avanço da chama, sem a oportunidade de troca de calor com as paredes, já que a condutividade do gás é baixa. Existe a tendência deste volume aquecer e atingir temperaturas de auto-ignição antes de ocorrer a chama normal. Na câmara com a vela centrada ocorre uma rápida propagação de chama, pois as reações ocorrem numa frente ampla com pouca parede para o resfriamento. A região terminal tem um volume pequeno, com bastante contato com as paredes, o que torna menos provável atingir-se a temperatura de auto-ignição [30].

5.2 Linha de Combustível

5.2.1 Bomba de Combustível

A bomba de combustível elétrica deve ser modificada para o aumento de vazão e garantir uma resistência à corrosão do álcool, devido a presença de água na composição do álcool etílico hidratado.

Atualmente, as bombas de combustível aplicadas em motores de ciclo Otto são elétricas e podem estar localizadas na linha de combustível, conforme a Figura 15 ou localizadas no interior do tanque de combustível.

Devido a sua localização (bombas de combustível – “in tank”), os conectores de ligação da bomba elétrica ao chicote da carroceria devem ser injetados com a carcaça da bomba de combustível para a aplicação do álcool [01, 48]. Quando o combustível utilizado é a gasolina não existe a necessidade desta proteção dos conectores.

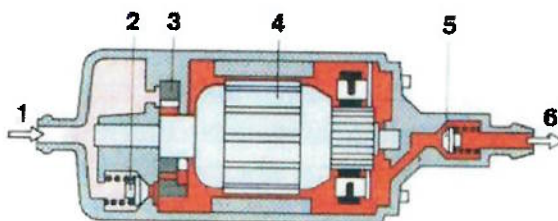


Figura 15 - Interior de uma bomba de combustível – tipo “in line” [48]

Sendo que os números da Figura 15 representam:

1. Entrada do combustível.
2. Regulador de pressão.
3. Turbina.
4. Bobina.
5. Válvula de segurança.
6. Saída de combustível.

5.2.2 Galeria de Combustível

A galeria de combustível deve possuir parâmetros técnicos que garantem o seu bom desempenho, sendo o material utilizado o aço inox ou um composto de material plástico com adição de fibra vidro [01, 33], para suportar a agressividade do álcool.

A pressão constante característica do sistema é garantida pelo regulador de pressão. Este componente pode estar agregado a galeria de combustível, no caso de sistemas com retorno de combustível para o tanque, conforme ilustrado na Figura 16, ou pode estar acoplado ao conjunto bomba de combustível. Neste caso, o regulador estaria localizado no interior do tanque de combustível e dentro do módulo da bomba de combustível.

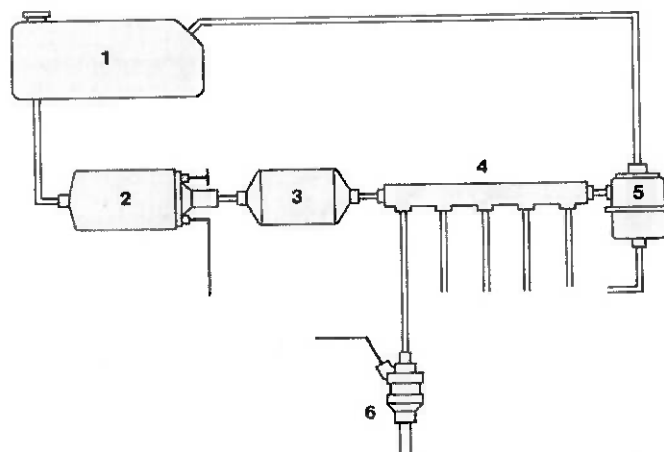


Figura 16 - Esquema de um sistema de alimentação [48]

Sendo que os números da Figura 16 representam:

1. Tanque de combustível.
2. Bomba de combustível.
3. Filtro de combustível.
4. Galeria de combustível.
5. Regulador de pressão.
6. Válvula injetora.

5.2.3 Filtro de Combustível

A qualidade do filtro de combustível e a substituição do elemento nas revisões estabelecidas pelo fabricante do veículo são determinantes para a vida dos componentes do sistema de alimentação de combustível.

A eficiência do filtro de combustível está relacionada com a porosidade, peso e tipo de fibra do elemento de papel utilizado na aplicação álcool ou gasolina.

A manutenção do elemento filtrante deve ser realizada em períodos pré-estabelecidos pelo fabricante do veículo, sendo que a periodicidade da substituição deve constar do manual do proprietário.

A substituição do filtro depende também do tipo de combustível, sendo que para os veículos movidos a gasolina a substituição deve ocorrer com 30.000 km e no caso do álcool em intervalos de 15.000 km [43].

Para os veículos movidos a multi combustível, um período de substituição do elemento filtrante deve ser determinado através de avaliações de durabilidade do fabricante e do conhecimento das características de cada combustível, para evitar comprometimentos no sistema de alimentação do veículo.

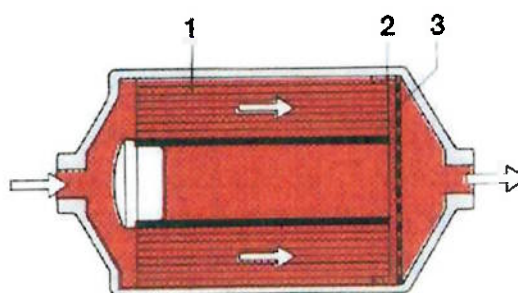


Figura 17 - Interior de um Filtro de Combustível [48]

Sendo que os números da Figura 17 representam:

1. Filtro de papel.
2. Filtro.
3. Placa de apoio.

5.3 Sistema de Gerenciamento Eletrônico do Motor

De acordo com o tipo de mistura de combustível, o “software” para o sistema de gerenciamento do motor é desenvolvido para o reconhecimento de diferentes funções, como por exemplo: funções de ignição/injeção; controle da marcha lenta; controle de detonação e regulação da mistura “closed loop”.

As Funções básicas para o sistema de injeção [69] de combustível são:

- ✓ Injeção normal, proporcional ao volume de ar.
- ✓ Mistura rica na partida.
- ✓ Mistura rica quando o motor está frio.
- ✓ Mistura rica em plena carga.
- ✓ Corte de combustível no freio motor.
- ✓ Compensação da variação da tensão da bateria.
- ✓ Enriquecimento durante a aceleração.

Os sistemas digitais de injeção se caracterizam pelo emprego de um microprocessador. A transformação dos sinais analógicos, produzidos pela maioria dos sensores atualmente em uso, é feita em circuitos integrados. Os dados sobre as necessidades de mistura, instantes de ignição, ângulo de “dwell” para energizar sistemas de ignição, etc. são armazenados em memórias. O uso do microprocessador integra a injeção eletrônica com a ignição mapeada eletronicamente.

A maioria das memórias destina-se a ignição, uma vez que a injeção não tem muita necessidade de dados armazenados, pois se conhecendo o fluxo de massa que é admitido por cada cilindro, basta multiplicá-lo pela relação combustível/ar apropriada e constante, para conhecer a massa que deve ser injetada, a fim de obter-se a mistura estequiométrica. Emprega-se de forma crescente o desenvolvimento de softwares para a injeção eletrônica, como por exemplo, a quantificação do empobrecimento transitório da mistura durante a desaceleração, para evitar um desvio $A/F = 1$, em consequência da necessidade de reduzir os acúmulos de

combustível presentes nas proximidades das válvulas de admissão, ou para o enriquecimento transitório, na condição inversa, tudo realizado em tempo real e com base em equações que regem fenômenos físicos.

Os softwares são utilizados para monitorar o fluxo de ar e dos vapores de combustível, provenientes do canister de carvão ativo (no caso de motores movidos à gasolina), em função de carga e rotação, compensando ao mesmo tempo, o efeito sobre a mistura causado pela utilização destes vapores, programas mapeados para a recirculação de gases de escapamento, visando a redução da formação de NO_x , programas para a regulagem da marcha lenta, cujo consumo de combustível varia com a temperatura do óleo, programas para o aquecimento de catalisadores, através de atraso do instante de ignição e/ou de outros recursos, programas para a proteção de catalisadores e de tubulações de escapamento contra temperaturas excessivas, para a regulagem e a limitação da velocidade do veículo, para o amortecimento de vibrações no sistema de acionamento do veículo, para a otimização da escolha da marcha de câmbio e outros sob a denominação geral de “gerenciamento do motor”.

Como o álcool é uma substância pura, com temperatura de ebulição fixa e o valor do calor latente de vaporização diferente da gasolina, uma análise distinta precisa ser realizada para as situações de partida, pós-partida, fase de aquecimento e enriquecimento nas acelerações [69].

Através do sinal do sensor de presença de álcool, correções são feitas no tempo de injeção e conseqüentemente sobre a quantidade de combustível injetado na câmara de combustão, com o objetivo de obter uma mistura estequiométrica. Com base numa curva deste sinal em função da porcentagem de álcool, determina-se um fator que servirá para a aplicação diferenciada para cada mistura de combustível. Desta forma a interpolação de todos os parâmetros envolvidos pode ser de diversos tipos para toda a gama de misturas possíveis [18].

5.3.1 Válvula Injetora:

As estratégias para gestão da injeção têm o objetivo de fornecer ao motor a quantidade de combustível no instante desejado em função das condições de funcionamento do motor.

O impulso de fim de injeção ou de fase para o fornecimento é contido em um mapa memorizado no módulo de controle eletrônico do motor e da pressão no coletor de admissão. Sendo a elaboração que o módulo de controle eletrônico executa para controlar a abertura sequencial e em fase das válvulas injetoras, para uma duração necessária em formar a mistura ar/combustível a mais próxima possível ao índice estequiométrico. Uma das dificuldades com veículos movidos a multi combustível é o desenvolvimento de uma válvula injetora adequada ao sistema de gerenciamento eletrônico e que atenda aos parâmetros de misturas das variações encontradas desde a gasolina até o álcool hidratado [36].

Esta válvula deve ser resistente as características químicas do álcool, utilizando materiais resistentes à corrosão e necessariamente modificado para adequar o fluxo de combustível durante as operações com o álcool hidratado. Ao mesmo tempo deve-se garantir boas características de marcha lenta quando utilizado a gasolina, significando que pequenas quantidades de injeção neste instante precisam ser processadas corretamente.

Quando a mistura tende a apresentar as características do carburante álcool é necessário determinar o quanto de combustível adicional deve ser injetado na câmara de combustão. A equação descrita abaixo (como exemplo de aplicação E85) é utilizada para determinar esta quantidade adicional no sistema original, sendo que **A.F.R.** representa "additional fuel required" [36]:

$$\text{A.F.R.} = \text{HV (g)} / \text{HV (E85)}$$

$$\text{A.F.R.} = (42.8 \text{ MJ/kg}) / (29.7 \text{ MJ/kg})$$

$$\text{A.F.R.} = 1.44 \text{ [35]}$$

Ou seja, neste caso é necessário um adicional de 44% para o E85 quando comparado ao sistema de gasolina tradicional. Deste modo, é necessário o desenvolvimento de válvulas injetoras para atender a esta nova amplitude de vazão.

O compromisso é atender a uma linearidade da curva de trabalho para regiões de pouco volume injetado no caso da gasolina. Caso esta observação não seja notada, haverá falhas no regime de marcha lenta e consequente comportamento inadequado do motor. Em contra-partida para atender a utilização do álcool hidratado, em regimes de carga alta, a válvula deve ter um ciclo harmônico de abertura e fechamento, evitando a abertura permanente da válvula injetora, o que prejudicaria a formação correta da mistura [18].

5.3.2 Reconhecimento do Tipo de Combustível

Um importante componente do sistema multi combustível é o sensor de presença de álcool, que determina o conteúdo deste combustível na mistura e que deve estar localizado na linha de combustível entre o tanque e a galeria de alimentação ao motor, conforme ilustrado na Figura 18.

O desenvolvimento de um sensor adequado é um ponto essencial na produção de veículos movidos a multi combustível.

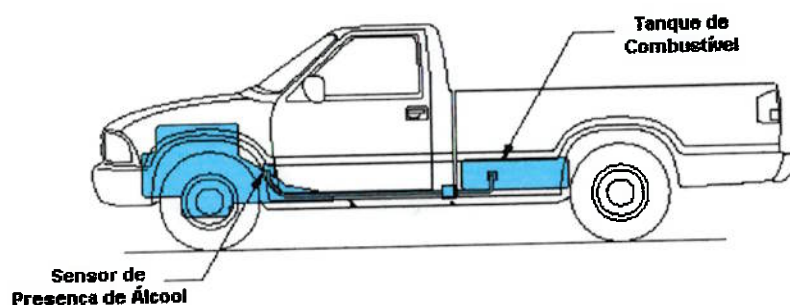


Figura 18 - Posicionamento de um sensor de álcool na carroceria [28]

Um esquema representando o processo de controle pode ser verificado na Figura 19. O módulo de controle eletrônico recebe um sinal do sensor, como suplemento de informações para os parâmetros registrados do motor e enviados também pelo sensor de oxigênio. Baseado nestas informações, a unidade de controle determina e otimiza o tempo de ignição e a quantidade de injeção requerida naquele instante [29, 38].

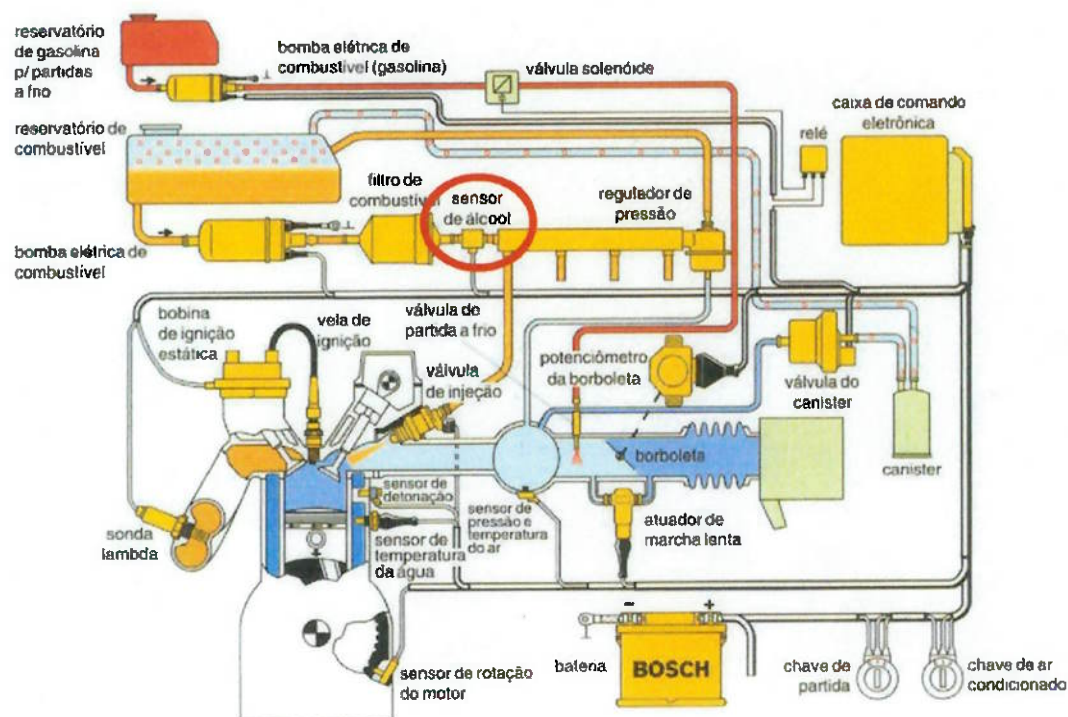


Figura 19 - Esquema de gerenciamento eletrônico com sensor de álcool [29]

Existem duas alternativas para determinar a porcentagem de álcool dentro da mistura de combustível:

- ✓ Sensor de presença de álcool (resistivo, refrativo ou capacitivo).
- ✓ Sensor de oxigênio (sonda lambda).

Para o sensor de presença de álcool, a medição da quantidade de álcool existente na mistura pode ser executada através de três princípios físicos [39]:

- ✓ Medição da resistência elétrica.
- ✓ Medição ótica do índice de refração.
- ✓ Medição da constante dielétrica.

Os princípios expostos são caracterizados por vantagens e desvantagens agregadas aos seus conceitos diferenciados.

A medição da resistência elétrica é facilmente desconsiderada devido a sua pouca adequação quando exposta a água, o qual provoca significantes distorções no resultado das medições [39, 47].

No método ótico, os raios são projetados de uma fonte de luz dentro de um tubo, com os raios sendo refletidos pela parede de vidro. Como a mistura gasolina-álcool escoar pelo tubo de vidro, a reflexão dos raios varia de acordo com o conteúdo de álcool da mistura. Esta luz refletida é quantificada pelo detector que é sensível a luz e um sinal de corrente contínua é produzido. Este sensor produz medições lineares com relação entre o conteúdo de álcool e o sinal de saída. Uma desvantagem é que o sinal demonstra uma substancial variação para temperaturas entre -20°C e $+20^{\circ}\text{C}$ [39].

Este sensor também é capaz de reconhecer a diferença entre metanol e álcool. Entretanto, é possível ocorrer variações quando o sensor é utilizado para o conteúdo de metanol, por ser pigmentado em relação ao metanol puro. A coloração resulta em uma medição distorcida na variação aproximada de 15% [38].

A melhor opção para a medição do conteúdo de álcool é o sensor capacitivo. Este sensor foi desenvolvido pelo Instituto do Prof. Pischinger em Aachen, Alemanha, e o fornecedor de eletrônica embarcada para veículos, a Siemens, iniciou a sua produção em série em 1992 [39].

O princípio dielétrico tem várias vantagens sobre outras tecnologias mencionadas. O sensor capacitivo é menos sensível a impurezas e apresenta um design mais robusto a variações físicas e químicas, assegurando uma boa precisão de leitura aos dados de entrada. Além de não ser sensível aos hidrocarbonetos aromáticos [63].

✓ Conclusão:

Através do emprego de um sensor de álcool obtém-se uma eficiência maior para a correção dos parâmetros do sistema, além de permitir estabelecer funções de segurança a uma possível falha deste sensor. Tem-se como alternativa para solucionar o problema, a utilização do sistema “closed loop”, que atua continuamente

e de forma independente do sensor. Apesar do custo adicional do sensor de reconhecimento capacitivo ou não, a viabilidade e confiabilidade deste sistema são um diferencial quando avaliada a dirigibilidade do veículo [18].

5.3.3 Sensor de Oxigênio (Sonda Lambda)

A função do sensor de oxigênio é informar ao sistema de controle da mistura ar/combustível onde pode ocorrer a falta ou excesso de combustível. Porém este recurso atende apenas a pequenas variações em torno da relação estequiométrica [12].

Este sensor consiste de um elemento de zircônia (ZrO_2) ou titânia ($Ti O_2$) revestido interna e externamente com uma camada porosa de platina. O revestimento possibilita que o elemento atue como eletrodos, sendo que pela região externa existe a passagem dos gases de escape e na região interna tem-se o chamado ar de referência [12].

O sistema usa a voltagem do sensor de oxigênio para corrigir a quantidade de injeção de combustível necessária de acordo com a porcentagem de álcool na gasolina. Desta forma, o sistema de injeção opera neste momento com mapas de fatores para misturas e com mapas de ângulos de avanço da ignição específicos para esta condição.

A vulnerabilidade do sistema pode ser detectada em dois pontos [25]:

- ✓ A necessidade de aquecimento da sonda até que esta opere normalmente e durante esta fase o sistema não pode reconhecer uma variação no combustível.
- ✓ Durante esta fase, o sistema não pode reconhecer qualquer alteração dentro da composição da mistura de combustíveis, ocorrendo primeiro a queimas e depois a correção.

Devido a esta deficiência na partida a frio do veículo, a sonda lambda para utilização em sistemas multi combustível será do tipo aquecida, pois o “light off” e o tempo de resposta são superiores ao do sensor convencional.

Na figura 20 são mostrados o posicionamento do sensor de oxigênio (sonda lambda) e o sistema de gerenciamento eletrônico de um motor com sistema de injeção multiponto.

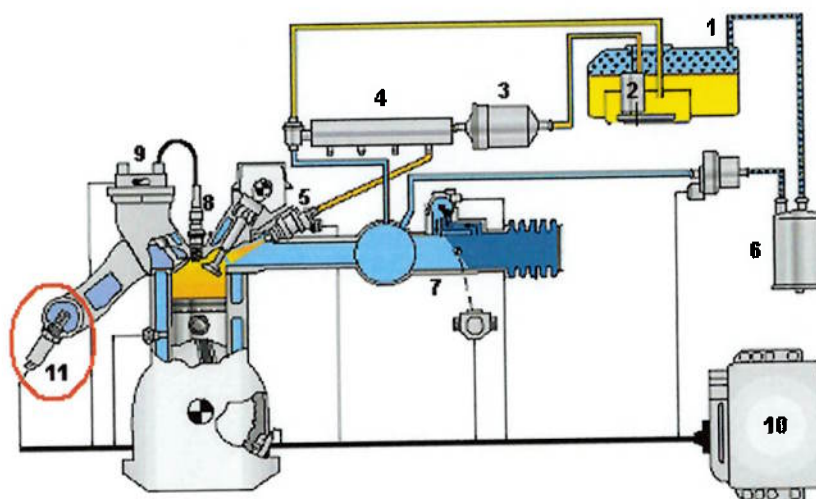


Figura 20 - Posicionamento do sensor de oxigênio no sistema de gerenciamento [29]

Sendo que os números da Figura 20 representam:

1. Tanque de combustível.
2. Bomba de combustível.
3. Filtro de combustível.
4. Galeria de combustível.
5. Válvula injetora.
6. Canister.
7. Válvula de aceleração.
8. Vela de ignição.
9. Bobina de ignição.
10. Módulo de controle eletrônico.
11. Sensor de oxigênio.

5.3.4 Sistema de Partida a Frio

Nestas condições se verifica um natural empobrecimento da mistura, por razões desfavoráveis à homogeneização da mistura do ar e do combustível nebulizado à baixa temperatura, uma reduzida evaporação e forte condensação nas paredes internas do coletor de admissão, associado à maior viscosidade do óleo lubrificante que em baixas temperaturas aumenta a resistência ao deslizamento dos componentes mecânicos do motor básico.

O módulo de controle eletrônico do motor reconhece esta situação e corrige o tempo de injeção, com base no sinal da temperatura do fluido de arrefecimento.

A temperaturas baixas, a válvula injetora permanece mais tempo aberta, favorecendo uma razão ar/combustível baixa (mistura rica).

Quanto mais volátil o combustível, mais fácil a partida. Verifica-se experimentalmente que uma boa relação de ar para vapor de combustível de 13:1 oferece bons resultados na partida [30]. A temperatura ambiente será necessária uma mistura extremamente rica para se conseguir esta relação, que é obtida através da redução de entrada de ar e consequente pressão.

Após a partida, deve ocorrer o aquecimento do sistema para obtenção de um adequado funcionamento do motor. O tempo de duração deste ciclo depende de alguns fatores:

- ✓ Volatilidade do combustível.
- ✓ Relação combustível/ar da mistura.
- ✓ Calor fornecido à mistura pelos dutos do coletor de admissão.
- ✓ Distribuição da mistura pelos dutos de admissão.
- ✓ Velocidade da mistura nos dutos.
- ✓ Fluxo de ar externo.
- ✓ Temperatura do bloco.
- ✓ Mecanismo de controle da marcha lenta.

Através da Figura 21 é possível identificar o reservatório de partida a frio no interior do compartimento do motor de um veículo Corsa 1.0L.

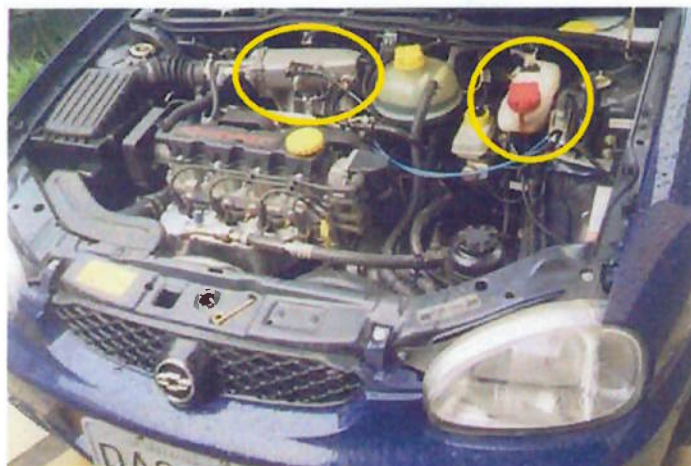


Figura 21 - Posicionamento do reservatório de partida a frio

Na Figura 22, temos o detalhe da fixação do reservatório de partida a frio ao painel interno e as suas ligações ao solenóide de partida; que é responsável pelo funcionamento da bomba elétrica do reservatório, injetando a quantidade necessária de combustível no coletor de admissão.

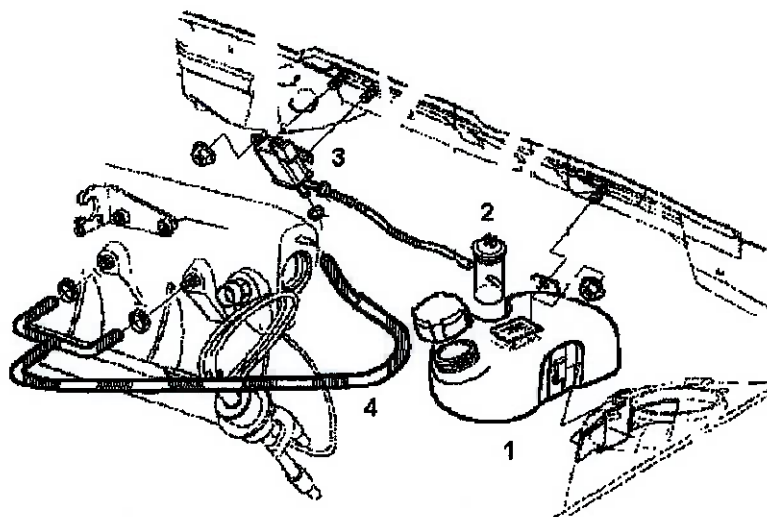


Figura 22 - Detalhe dos componentes do sistema de partida a frio [26]

Sendo que os números da Figura 22 representam:

1. Reservatório de gasolina;
2. Bomba elétrica;
3. Solenóide de partida a frio e
4. Mangueira de alimentação ao coletor de admissão.

6 ESTUDO DE CASO

Através do estudo de caso e com o emprego de uma matriz de decisão, é possível estabelecer parâmetros para ajudar na escolha da melhor configuração de um motor que seja viável técnica e economicamente para equipar um veículo movido a multi combustível. Neste caso devemos segregar a escolha em duas linhas mestras de tomada de decisões:

- ✓ Tamanho do motor.
- ✓ Tipo de sensor para detectar a presença de álcool.

Os itens estabelecidos como objetos da pesquisa foram determinados devido à importância destes tópicos quanto à decisão final para utilização de um sistema multi combustível, e conforme foi explanado no Capítulo 5 que identifica a fonte de tecnologia para este sistema de alimentação de combustível.

Uma pesquisa entre os engenheiros da FIAT/GM Powertrain foi realizada para o levantamento de parâmetros e a técnica utilizada para determinar o processo final de seleção foi a Técnica Ponderacional.

De acordo com Massarani [45], ponderar significa considerar ou pesar, sendo esta técnica fundamentada na estipulação de critérios de avaliação e na atribuição de pesos relativos para estes critérios. A princípio é necessário isolar os parâmetros de maior influência e estabelecer a sua importância relativa (pesos atribuídos ou calculados), de modo a estabelecer critérios segundo os quais serão julgadas as soluções propostas.

Inicialmente um formulário foi gerado para identificar quais os parâmetros deviam constar numa matriz de decisão (Anexo A). Com os parâmetros definidos, um segundo formulário foi preenchido pelos engenheiros (Anexo B), solicitando dos participantes da pesquisa enumerar os parâmetros de acordo com o seu entendimento pessoal do grau de importância daquele item para a tomada de decisão.

O item de maior importância foi considerado de grau 1 e o de menor importância foi determinado com o grau 8.

Com estas informações, um gráfico de barras foi construído. O peso de cada parâmetro foi estabelecido pela semelhança de resultados entre os itens do gráfico de barra.

A subdivisão dos parâmetros e as suas respectivas notas não foram foco da pesquisa inicial realizada com o auxílio dos engenheiros da montadora.

6.1 Seleção da Alternativa.

6.1.1 Tamanho do Motor

Uma das características mais importantes para determinar uma aplicação é a escolha do motor que será empregado para equipar um determinado veículo ou plataforma.

Atualmente existem duas famílias de motores que podem ser empregadas em uma determinada plataforma de veículo em aplicações para a General Motors do Brasil.

Estas famílias de motores são diferenciadas pela distância entre centros de diâmetro dos cilindros [28], sendo conhecidas como:

- ✓ A Família I, que compreende os motores 1.0L, 1.4L, 1.6L e 1.8L, sendo configurados em 8 válvulas, sendo que os motores 1.0L são utilizados nas configurações gasolina e álcool [28].
- ✓ A Família II, que compreende os motores 1.8L, 2.0L, 2.2L e 2.4L, sendo configurados em 8 válvulas e no caso do 2.2L também em 16 válvulas, sendo que o motor 1.8L é aplicado apenas para o motor álcool [28].

Com o intuito de determinar o melhor compromisso de motorização para um sistema multi combustível foi realizada uma pesquisa interna a FIAT/GM Powertrain em São Caetano do Sul.

Para o item “tamanho do motor” foram solicitadas idéias sobre o que deve ser relevante na escolha de uma família de motores para equipar um sistema multi

combustível. A pesquisa foi realizada com pessoas relacionadas à área de motores dentro da FIAT/GM Powertrain, entretanto trabalhando em seções de atuação diferenciadas desde o planejamento do produto até o desenvolvimento final do componente. O objetivo foi diversificar a opinião e entender a importância, através de pesos, que cada indivíduo atribui a um determinado parâmetro e no final do processo conseguir julgar qual seria a melhor forma de ponderar os itens estabelecidos.

As áreas de atuação dos profissionais envolvidos na pesquisa são:

- ✓ Planejamento do Produto: seção responsável pelo início de programas para desenvolvimento de produtos e definição do conteúdo tecnológico de um motor/transmissão. Tem a função de estabelecer os gastos de engenharia, tempo de desenvolvimento e coordenar as áreas envolvidas com o objetivo de produzir o conjunto motor/transmissão desejado conforme a solicitação de quesitos técnicos e datas de implementação do cliente final (Montadora).
- ✓ Laboratório de Dinamômetro: seção responsável pelo levantamento de curvas de potência e torque em bancada, desenvolvimento de calibração básica para equipar os primeiros veículos protótipos, além do desenvolvimento de novos componentes do motor, segundo solicitações da engenharia do produto.
- ✓ Engenharia de Melhoria Contínua: seção responsável pelo acompanhamento do produto atual que está sendo vendido pela Montadora no campo, tendo como função primordial a redução de possíveis índices de falha que estejam ocorrendo devido a problemas relacionados ao design do produto.
- ✓ Engenharia do Produto: seção responsável pelo desenvolvimento de novos motores na corporação, sendo subdividida em três áreas de atuação para componentes integrantes do conjunto motor/transmissão: motor básico, sistema de gerenciamento do motor e transmissões.

Um formulário foi gerado para determinar qual a opinião das pessoas e o quanto esta opinião é convergente ou não através dos engenheiros que possuem objetivos específicos durante as fases de desenvolvimento do produto, porém que devem convergir para um objetivo final que atenda os requisitos da montadora de veículos.

No formulário foram dados exemplos de parâmetros considerados importantes e solicitado que outros itens relevantes fossem incluídos na decisão para a escolha de um sistema multi combustível, sendo no final extraídos os seguintes parâmetros da pesquisa inicial:

- ✓ Consumo de combustível.
- ✓ Investimento.
- ✓ Mercado consumidor.
- ✓ Potência.
- ✓ Preço final ao consumidor.
- ✓ Taxas (exemplo: IPI).
- ✓ Torque.
- ✓ Versatilidade.

A durabilidade e a manutenção do motor não foram consideradas devido à confiabilidade do produto estar intrínseca ao desenvolvimento dos motores originais (aplicações gasolina ou álcool).

Os graus de importância estabelecidos para determinar o critério de melhor escolha de um tamanho de motor podiam variar do grau 1, que seria considerado como o de maior importância para a especificação de um novo tamanho de motor até o grau 8, que seria considerado o de menor importância, segundo os critérios individuais estabelecidos por cada engenheiro entrevistado.

A partir das opiniões individuais, um diagrama de barras foi elaborado, conforme ilustrado na Figura 23.

A linha verde representa a tendência de escolha do principal parâmetro para a determinação do tamanho do motor, que para este grupo pesquisado seria o preço final até o de menor importância que seriam as taxas governamentais.

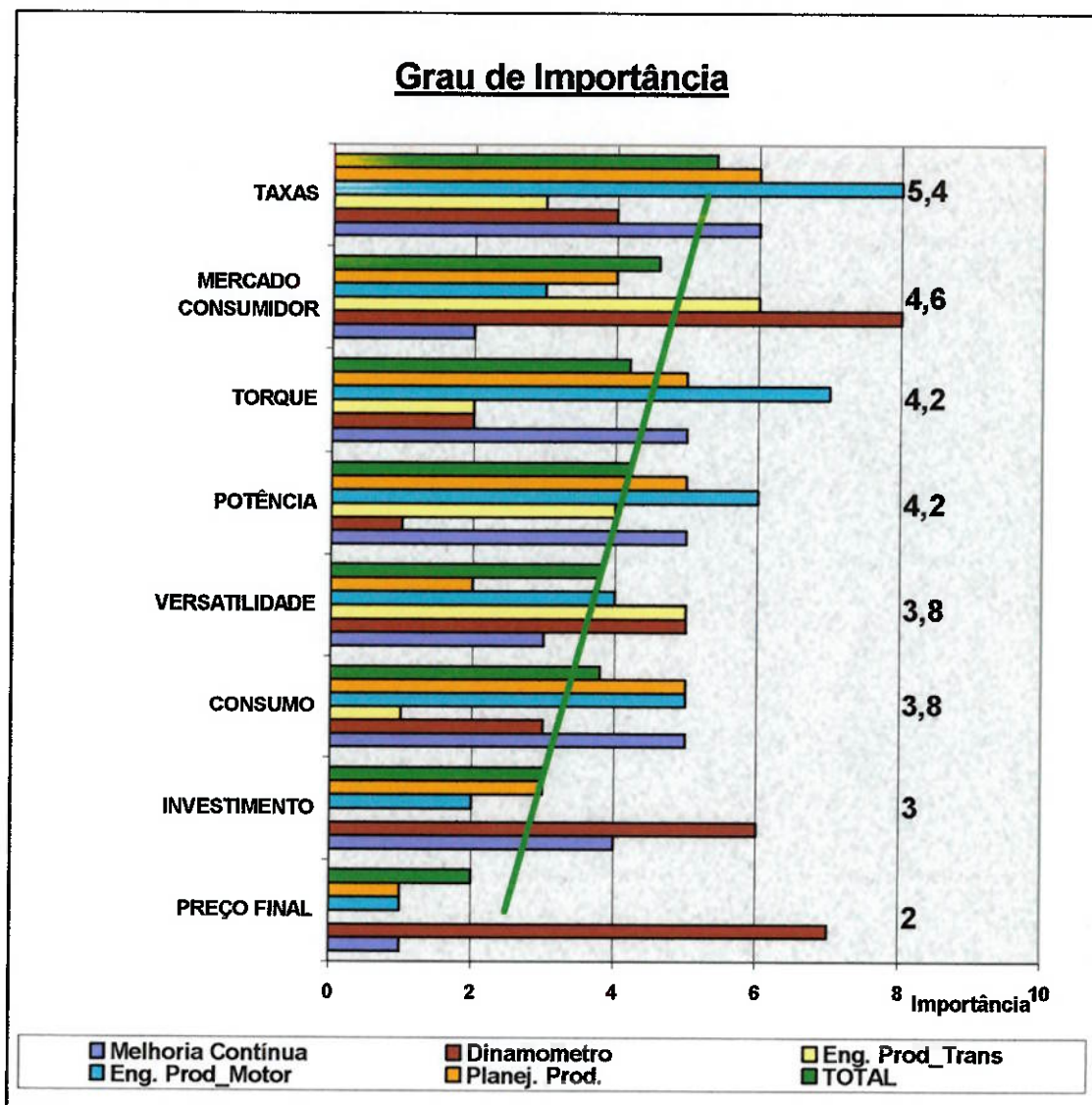


Figura 23 - Gráfico de Barras: Parâmetros versus Grau de Importância

É conhecido que as taxas governamentais são de importância substancial para a determinação na escolha da compra de um veículo pelo consumidor, pois afeta o preço final do produto adquirido.

Porém nesta situação, vale ressaltar que a taxa foi praticamente desconsiderada devido ao público entrevistado não ter influência sobre a determinação dos impostos

praticados. Caso a pesquisa englobasse também pessoas de Contatos Técnicos e Relações Governamentais, poderia este quesito apresentar uma outra forma de entendimento, devido a opinião destas pessoas.

Através da pesquisa realizada e pela distribuição dos dados obtidos é possível agrupar os parâmetros em três grupos segmentados.

Esta segmentação foi originada devido a proximidade dos números obtidos durante a pesquisa e calculados através de sua média no gráfico de barras. Os números estão identificados em verde na Figura 23.

Os grupos foram estabelecidos da seguinte forma:

1º Grupo:

- ✓ Preço final ao consumidor.
- ✓ Investimento.

2º Grupo:

- ✓ Consumo de combustível.
- ✓ Versatilidade.
- ✓ Potência.
- ✓ Torque.

3º Grupo:

- ✓ Mercado consumidor.
- ✓ Taxas governamentais.

Determinação dos Pesos:

Dado o objetivo proposto de identificar a melhor solução técnica-econômica, os pesos atribuídos foram:

- ✓ **Peso 3** para o Grupo 1.
- ✓ **Peso 2** para o Grupo 2.
- ✓ **Peso 1** para o Grupo 3.

Para cada parâmetro estabelecido, foram originados sub itens para determinação de notas que podiam variar de 6 a 10.

Os sub itens de cada parâmetro e suas respectivas notas foram estabelecidos da seguinte forma:

✓ **Parâmetro: Preço Consumidor**

Os veículos movidos com esta tecnologia devem inicialmente possuir um preço agregado de US\$ 200,00 [51] que pode ser menor dependendo da produção estipulada para o veículo e das soluções técnicas empregadas para o sistema de gerenciamento do motor. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetros do preço final

Parâmetro	PESO	NOTA
PREÇO	3	---
Até US\$ 200	---	10
Acima de US\$ 200	---	8

✓ **Parâmetro: Investimento**

Para este quesito, temos três faixas de investimento que podem ser consideradas como de pequeno, médio e alto investimento.

As divisões em unidades monetárias são estabelecidas basicamente pelo tempo de retorno do investimento atrelado ao tempo de desenvolvimento do novo componente [70]. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 12

Tabela 12 – Parâmetros de investimento

Parâmetro	PESO	NOTA
INVESTIMENTO	3	---
Até \$ 100.000	---	10
De \$ 100.000 a \$ 500.000	---	8
Acima de \$ 500.000	---	6

✓ **Parâmetro: Consumo de Combustível:**

O critério foi estabelecido conforme pesquisas de mercado realizadas com o consumidor final, onde é possível identificar qual é a percepção do cliente quanto ao consumo de combustível. Através desta pesquisa, é possível identificar três faixas de consumidor.

O cliente satisfeito é aquele cuja média de consumo está em torno de 10km/l, o cliente muito satisfeito é aquele cujo veículo tem uma média de até 12km/l e o cliente entusiasmado é aquele que consegue uma média superior a 12 km/l, excedendo a expectativa do cliente.

A diferença é que o cliente entusiasmado, além de estar satisfeito com a marca adquirida também realiza um marketing voluntário do veículo [56]. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 13

Tabela 13 – Parâmetros de consumo de combustível.

Parâmetro	PESO	NOTA
CONSUMO	2	---
Até 10 km/l	---	6
Até 12 km/l	---	8
Acima de 12 km/l	---	10

✓ **Parâmetro: Versatilidade**

A indústria automobilística tem como um dos seus objetivos a comunização de componentes com a intenção de reduzir custos e tempo de desenvolvimento, reduzir estoques, etc, e a versatilidade permite comunizar esforços de engenharia em uma aplicação e caso necessário realizar pequenos ajustes para a aplicação em outras plataformas. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros de versatilidade.

Parâmetro	PESO	NOTA
VERSATILIDADE	2	---
Aplicação em Uma Plataforma	---	8
Aplicação em Duas ou Mais Plataformas	---	10

✓ **Parâmetro: Potência**

O critério estabelecido foi determinado segundo os catálogos de motores [19] que identifica uma razão aproximada de 6 % de melhorias para motores movidos a álcool quando comparados a mesma cilindrada específica dos motores movidos à gasolina. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros da potência.

Parâmetro	PESO	NOTA
POTÊNCIA	2	---
Até 6 % de acréscimo	---	8
Acima de 6 % de acréscimo	---	10

✓ **Parâmetro: Torque**

O critério estabelecido foi determinado segundo os catálogos de motores [19] que identifica uma razão de 6 % de melhorias para motores movidos a álcool quando comparados a mesma cilindrada específica dos motores movidos à gasolina. As notas foram estabelecidas conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 –Parâmetros de torque.

Parâmetro	PESO	NOTA
TORQUE	2	---
Até 6 % de acréscimo	---	8
Acima de 6 % de acréscimo	---	10

✓ **Parâmetro: Mercado Consumidor**

Com a aplicação desenvolvida e a versatilidade do motor escolhido é possível ampliar o leque de marketing atendendo todos os nichos disponíveis no mercado automobilístico. As notas foram estabelecidas conforme mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 –Parâmetros do Mercado Consumidor.

Parâmetro	PESO	NOTA
MERCADO	1	---
Somente Passageiro	---	6
Passageiro e Pick Up		8
Passageiro, Pick Up e Frotistas	---	10

✓ **Parâmetro: Taxas governamentais**

Este é um aspecto importante que deve ser revisto com o Governo Federal devido à mistura álcool/gasolina estar presente no sistema de multi combustível e uma nova política para a indústria automobilística deve ser determinada para estabelecer os parâmetros desta tecnologia. As notas foram estabelecidas conforme mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 –Parâmetros de taxas governamentais

Parâmetro	PESO	NOTA
TAXAS	1	---
De 9 a 10% para veículos populares	---	10
Acima de 10% para as demais cilindradas	---	8

Através da determinação dos principais parâmetros, de seus pesos estabelecidos e das notas atribuídas para os seus sub itens, pode-se construir a Tabela 19 para determinar qual a melhor aplicação de um sistema de multi combustível segundo o tamanho do motor.

Tabela 19 – Determinação do tamanho do motor através da técnica ponderacional

MOTOR	<u>PESO</u>	<u>FAMÍLIA I</u>	<u>FAMÍLIA II</u>
PREÇO CONSUMIDOR Até US\$ 200 (10) Acima de US\$ 200 (8)	3	10	10
INVESTIMENTO Até \$ 100000 (10) De \$ 100.000 a \$500.000 (8) Acima de \$ 500.000 (6)	3	8	6
CONSUMO Até 10 km/l (6) De 10,1 a 12,0 km/l (8) Acima de 12,1 km/l (10)	2	8	6
VERSATILIDADE Aplicação até 2 Plataformas (8) Aplicação em + 2 Plataformas (10)	2	8	10
POTÊNCIA Até 6 % acréscimo (8) Acima 6 % acréscimo (10)	2	8	8
TORQUE Até 6 % acréscimo (8) Acima 6 % acréscimo (10)	2	8	8
MERCADO CONSUMIDOR Somente Passageiro (6) Passageiro / Frotista (8) Passageiro / Frotista e Pick Up (10)	1	8	10
TAXAS (IPI) 9 a 10% (10) Acima de 10% (8)	1	10	8
RESULTADO		136	130

Para o resultado, temos a fórmula:

$$= [3 \times (\text{Preço Final} + \text{Investimento})] + [2 \times (\text{Consumo} + \text{Versatilidade} + \text{Potência} + \text{Torque})] + [\text{Mercado Consumidor} + \text{Taxas}] =$$

$$= [A] + [B] + [C]$$

RESULTADOS:

Tabela 20 – Resultados para o tamanho do motor

TIPO	SOMA (A+B+C)	TOTAL
FAMÍLIA I	54 + 64 + 18	136
FAMÍLIA II	48 + 64 + 18	130

Devido à proximidade dos resultados pode-se concluir que a utilização de ambos é estrategicamente correta para um sistema de multi combustível, pois as vantagens encontradas na Família I e Família II são semelhantes, conforme a Tabela 20.

A decisão final deve ser investigada e direcionada pelo Departamento de Marketing que deve realizar uma pesquisa focada na tendência do consumidor que visa a utilização de veículos de passeio até 1000 cilindradas; acima de 1000 cilindradas ou a expectativa de atingir um público rural onde a aplicação de Utilitários (Pick Ups) tem um forte apelo de marketing.

6.1.2 Sensor para detectar a presença de álcool

As modificações empregadas para adequar um motor atual para a configuração multi combustível têm uma grande sinergia com o motor movido a álcool, portanto a maioria dos componentes para gerenciamento do motor possui o seu início de desenvolvimento nesta aplicação.

Porém o sensor de presença de álcool é um item que deve ser adicionado ao sistema e não tem referência nos motores atuais. Este sensor possui um desenvolvimento

próprio para detectar a presença de álcool através de características físicas da mistura.

Por ser um componente novo, que não pode ser adaptado ou modificado, a sua escolha deve englobar aspectos de desenvolvimento, vantagens e desvantagens.

Para o item “escolha do sensor” foram solicitadas idéias sobre o que deve ser relevante na escolha de um sensor para detectar a presença de álcool na mistura.

A pesquisa foi realizada com pessoas relacionadas à área de motores dentro da FIAT/GM Powertrain, que trabalham nas seções de planejamento do produto e de desenvolvimento de componentes elétricos.

As áreas de atuação dos profissionais envolvidos na pesquisa são:

- ✓ Planejamento do Produto: descrita no item 6.1.1.
- ✓ Engenharia do Produto – Elétrica do Motor: ênfase no desenvolvimento de componentes elétrico/eletrônicos para aplicação no motor. Exemplo: sensores e módulo eletrônico.

Um formulário inicial foi gerado com o objetivo de determinar quais são os principais parâmetros estabelecidos pelo grupo de engenheiros envolvidos na pesquisa, conforme verificado no item 6.1.1 (Anexo C). No formulário foram dados exemplos de parâmetros considerados importantes e solicitado que outros itens relevantes fossem incluídos na decisão de escolha de um sistema multi combustível, sendo no final computados os seguintes itens para a pesquisa:

- ✓ Custo do componente.
- ✓ Investimento.
- ✓ Tempo de calibração.
- ✓ Tempo de desenvolvimento.
- ✓ Versatilidade (Vantagens / Desvantagens).

Determinação dos Pesos:

Neste estudo de caso, todos os itens acima mencionados são relevantes, portanto o grau de importância deve ser considerado igual para todos os quesitos identificados:

- ✓ **Peso 1** para TODOS os parâmetros considerados no estudo de caso.

Para cada parâmetro estabelecido, foram originados sub itens para determinação de notas que podem variar de 6 a 10.

✓ **Parâmetro: Custo Componente**

Os veículos movidos com esta tecnologia devem inicialmente possuir um preço agregado de US\$ 200,00 [51] que pode ser menor dependendo da produção estipulada para o veículo e das soluções técnicas empregadas para o sistema de gerenciamento do motor. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 21.

Tabela 21 – Parâmetro do preço final.

Parâmetro	PESO	NOTA
CUSTO	1	---
Até US\$ 200	---	10
Acima de US\$ 200	---	8

✓ **Parâmetro: Investimento**

As divisões em unidades monetárias são estabelecidas basicamente pelo tempo de retorno do investimento atrelado ao tempo de desenvolvimento do novo componente [70]. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros de investimento.

Parâmetro	PESO	NOTA
INVESTIMENTO	1	---
Até \$ 100.000	---	10
De \$ 100.000 a \$ 500.000	---	8
Acima de \$ 500.000	---	6

✓ **Parâmetro: Tempo de Calibração do Veículo**

O critério de três faixas foi estabelecido devido a necessidade de calibração do veículo no Campo de Provas da General Motors. Esta calibração pode ser considerada simples exigindo um tempo de desenvolvimento em torno de 6 meses, uma calibração utilizando requisitos já conhecidos que podem ter uma duração de até 12 meses e uma calibração nova que pode ser finalizada em até 18 meses [54, 61]. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 23.

Tabela 23 – Parâmetros de tempo de calibração.

Parâmetro	PESO	NOTA
CALIBRAÇÃO	1	---
Até 6 meses	---	10
De 6 a 12 meses	---	8
De 12 a 18 meses	---	6

✓ **Parâmetro: Tempo de Desenvolvimento**

O critério de três faixas foi estabelecido devido a necessidade de desenvolvimento ser específica para cada componente em questão, pois para os sensores que detectam a presença de álcool seria considerado como um novo componente para a aplicação em motores automotivos [28]. Para o sensor de oxigênio seria um componente já conhecido pela Engenharia de Produto que deveria ser pouco modificado para adequar a nova exigência do mercado. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 24.

Tabela 24 – Parâmetros para o tempo de desenvolvimento.

Parâmetro	PESO	NOTA
DESENVOLVIMENTO	1	---
Até 6 meses	---	10
De 6 a 12 meses	---	8
De 12 a 18 meses	---	6

✓ **Parâmetro: Versatilidade**

A versatilidade do sensor de presença de álcool está relacionada a três características: 1. a sua localização no veículo, que pode ser em qualquer local da carroceria ou restrita a uma determinada posição; 2. a sua capacidade de absorver possíveis desvios do sistema e continuar funcionando adequadamente, segundo os critérios estabelecidos pela engenharia de aplicação do produto e 3. o tempo de resposta para o módulo de controle eletrônico com o intuito de modificar os parâmetros de injeção e avanço de ignição. As notas foram estabelecidas conforme a Tabela 25.

Tabela 25 – Parâmetros de versatilidade.

Parâmetro	PESO	NOTA
VERSATILIDADE	1	---
Localização Aberta	---	10
Limitação de Posiciona/o	---	8
Não sensível	---	10
Sensível à presença de água, corantes.	---	0
Resposta Rápida	---	10
Resposta Lenta	---	8

Através da determinação dos principais parâmetros, de seus pesos estabelecidos e das notas atribuídas para os seus sub itens, pode-se construir a Tabela 26 para determinar qual o melhor tipo de sensor para detectar a presença do álcool.

Na Tabela 26, o PESO foi desconsiderado devido o fator de importância ser idêntico a todos os parâmetros.

Tabela 26 –Determinação do sensor de álcool através da técnica ponderacional.

	<u>RESISTIVO</u>	<u>REFLEXIVO</u>	<u>CAPACITIVO</u>	<u>SENSOR OXIGÊNIO</u>
CUSTO Até US\$ 200 (10) Acima de US\$ 200 (8)	8	8	8	10
INVESTIMENTO Até \$ 100.000 (10) \$100.000 a \$500.000 (8) Acima de \$ 500.000 (6)	8	8	8	8
CALIBRAÇÃO 3 a 6 meses (10) 6 a 12 meses (8) 12 a 18 meses (6)	6	6	10	8
TEMPO DESENVOLVIMENTO Até 6 meses (10) De 6 a 12 meses (8) Acima de 12 meses (6)	10	10	10	10
VERSATILIDADE				
Localização Aberta (10) Limitação Posiciona/o(8)	8	8	8	8
. Não sensível (10) . Sensível água/corante(0)	0	0	10	10
. Resposta Rápida (10) . Resposta Lenta (8)	10	10	10	10
RESULTADO	50	50	64	64

Para obter o resultado, temos a fórmula:

$$[(\text{Custo} + \text{Investi/o.} + \text{Tempo Calibração} + \text{Tempo Desenvolvi/o} + \text{Versatili//e.})]$$

RESULTADOS:

Tabela 27 – Resultados para o Sensor de Álcool.

TIPO	SOMA	TOTAL
RESISTIVO	8 + 10 + 6 + 8 + 8 + 0 + 10	50
REFLEXIVO	8 + 10 + 6 + 8 + 8 + 0 + 10	50
CAPACITIVO	8 + 10 + 10 + 8 + 8 + 10 + 10	64
SENSOR OXIGÊNIO	8 + 10 + 8 + 10 + 8 + 10 + 10	64

Quando comparamos os resultados é possível descartar inicialmente os sensores resistivo e reflexivo, que apresentam uma pontuação inferior aos demais, conforme verificado na Tabela 27.

Para o sensor capacitivo e o sensor de oxigênio, os índices são semelhantes e um detalhamento técnico deve ser realizado para identificar qual seria a melhor solução para a aplicação em sistemas multi combustível.

Pelo estudo realizado, pode-se concluir que ambos tem condições de serem utilizados; as restrições técnicas e econômicas é que irão influenciar na decisão final para aplicação de um determinado sensor ao sistema multi combustível.

Um dos fatores que devem ser avaliados, no caso da aplicação de sensores para detecção de presença de álcool quando comparados ao sensor de oxigênio é a lógica de diagnose do sistema quando ocorrer a falha de um dos sensores avaliados (álcool ou oxigênio).

Quando temos o sensor de presença de álcool localizado na linha de combustível, o sistema de diagnose do motor trabalha com informações provenientes deste sensor, entretanto se ocorrer uma falha, o módulo de gerenciamento eletrônico pode migrar para uma rotina de emergência e os dados de entrada seriam provenientes do sensor de oxigênio. Desta forma, uma remota falha no sensor de presença de álcool seria

compensada pela resposta do sensor de oxigênio, o que possibilita uma dirigibilidade idêntica para o consumidor até a correção do problema em uma assistência técnica autorizada pelo fabricante do veículo.

No caso da aplicação do sensor de oxigênio, o plano de reconhecimento da mistura de combustível seria realizado pelo sensor de detonação, o qual realizaria o ajuste do avanço e mistura através de dados pré-determinados pela calibração original do veículo. Desta forma, a dirigibilidade não seria sensível ao consumidor, e não impediria a finalização de um trajeto original programado pelo consumidor.

6.2 Projeto de Componentes para o Sistema Multi Combustível

Para a utilização de um sistema multi combustível, o motor aplicado atualmente em veículos movidos a álcool pode ser utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento do novo sistema. Com este intuito, alguns componentes do sistema atual devem ser reavaliados. Para facilitar a explicação, devemos considerar o conjunto motor subdividido em três áreas:

- ✓ Motor básico: que compreende os componentes mecânicos do motor, tais como bloco, cabeçote, cárter.
- ✓ Sistema de alimentação: que compreende os componentes em contato com combustível.
- ✓ Sistema de gerenciamento eletrônico: que compreende o sistema de indução de ar, os sensores elétricos/eletrônicos e o módulo de controle do motor.
- ✓ Sistema de calibração: que envolve os ajustes necessários dos parâmetros do motor para se obter uma dirigibilidade adequada ao uso do consumidor final, dependendo do combustível a ser aplicado.

Através da subdivisão dos componentes do motor é possível listar os itens que devem ser modificados inicialmente para atender o sistema multi combustível.

- ✓ Substituição do pistão ou do cabeçote para o aumento da taxa de compressão.
- ✓ Otimização da vela de ignição.
- ✓ Bomba de combustível resistente à corrosão e componentes elétricos isolados.
- ✓ Escolha de um filtro de combustível adequado à aplicação álcool.
- ✓ Componentes da linha de combustível: substituição de alguns materiais metálicos ou utilização de revestimentos para proteção (aço inox ou P.A. 6.6 com 30% fibra de vidro) [10].
- ✓ Válvula injetora com maior fluxo de combustível.
- ✓ Instalação de um controle remoto para a partida a frio.
- ✓ Sensor para detectar a presença de álcool na mistura do tanque de combustível (sensor específico ou sensor de oxigênio).
- ✓ Recalibração dos avanços de ignição e injeção.

É importante destacar que durante o desenvolvimento de um novo projeto é possível que durante a fase de validação dos componentes e do próprio sistema ocorra modificações visando à adequação dos parâmetros inicialmente estabelecidos. Desta forma, estes ou outros parâmetros podem ser alterados durante esta fase, sendo que a princípio não tinham sido considerados no estudo.

6.3 Vantagens de um Sistema Multi Combustível para a Montadora

Dentre as várias vantagens que podem ser obtidas através da utilização de um sistema multi combustível podemos destacar:

- ✓ Liberação de componentes pela engenharia do produto.
- ✓ “Lay Out” na fábrica de montagem de motores.

Todos os componentes mencionados anteriormente são liberados pela engenharia do produto para aplicações exclusivas e no caso das aplicações em uso atualmente e

dependendo do componente temos duas ou três liberações para atender os mercados consumidores de motores movidos a gasolina, álcool e exportação, além de suas características peculiares que originam novas peças exclusivas para uma determinada aplicação, podendo proliferar ainda mais o portfólio original.

Com a entrada do sistema multi combustível é possível ocorrer uma comunização de componentes, reduzindo as liberações de peças e conseqüentemente diminuindo o espaço físico utilizado para o estoque ou a montagem dos componentes na linha de montagem do fornecedor e na linha final de produção do motor.

6.4 Implementação: Dificuldades Técnicas

Através do Capítulo 5, a tecnologia para um sistema multi combustível foi ilustrada e deve ser melhor explorada devido ao aparecimento de algumas dificuldades técnicas que podem ocorrer durante o desenvolvimento do projeto.

Com o intuito de minimizar estas dificuldades técnicas devemos pensar em possíveis soluções para os futuros problemas, que sejam viáveis, técnica e economicamente.

Dentre os inúmeros tópicos que podem ser identificados como diferenças entre as aplicações da gasolina e do álcool hidratado, temos alguns itens que devem ser destacados, tais como:

✓ Relação Estequiométrica Ar/Combustível

Para o desenvolvimento do motor, tem-se que a massa de ar requerida para um motor movido a gasolina é diferente da massa de ar necessária para um veículo movido a álcool hidratado, fazendo com que esta relação seja específica para cada motor analisado.

No caso do sistema multi combustível, esta relação que era fixa nas aplicações individuais torna-se uma variável que deve ser melhor explorada. Desta forma, as válvulas injetoras devem ser projetadas para suprir uma banda de vazão mais ampla com o objetivo de atender a gama de variação dos dois combustíveis.

✓ Taxa de Compressão

Para um aproveitamento ideal do potencial do motor, este deveria trabalhar com uma faixa de taxa de compressão variando de 9:1 para a gasolina e de 12:1 para o álcool hidratado. Atualmente este estudo é tecnicamente viável, porém não é desenvolvido no mercado automobilístico brasileiro.

Desta forma, deve-se estabelecer uma taxa de compressão única para os combustíveis, e através do controle da pressão de combustão é viável a aplicação da gasolina em taxas 12:1. Entretanto, existe a necessidade de monitorar o sistema através de controle de detonação ativo para otimizar o uso do álcool hidratado e da gasolina. O controle da detonação altera o avanço de ignição para proteger o motor.

✓ Consumo de Combustível

Os veículos movidos a álcool hidratado apresentam uma menor autonomia, conforme verificado no Capítulo 2, o que gera a necessidade de tanques de combustível com uma maior capacidade de armazenamento. Este é um item que deve ser trabalhado com o departamento de marketing e da engenharia de chassis da montadora de veículos, pois a autonomia de um veículo pode ser um fator de decisão para a aquisição de um veículo novo e que impacta também na sensibilidade do cliente para com o consumo de combustível.

✓ Curva de Destilação

A curva de destilação do combustível impacta na partida do motor e na dirigibilidade a frio do veículo.

Como pode ser observado na Figura 24, a gasolina apresenta uma progressão constante da porcentagem de destilação com a temperatura. No caso do álcool hidratado, temos um patamar de destilação constante, pois o etanol é uma substância pura [69].

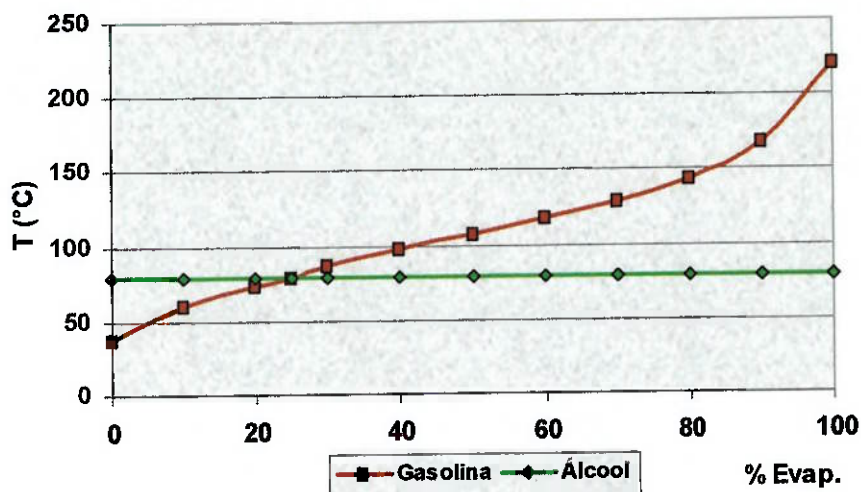


Figura 24 - Curva de destilação dos combustíveis [73]

Desta forma, a partida e a dirigibilidade a frio em determinadas temperaturas tornam-se problemáticas quanto maior o teor de álcool hidratado na mistura álcool/gasolina [53, 69].

Para o mercado consumidor norte americano a solução encontrada foi a distribuição interna de combustível com a adoção de uma porcentagem fixa de 15% de gasolina ao álcool, conhecida como E85 [40].

Desta forma, duas políticas de combustíveis poderiam ser adotadas no mercado consumidor brasileiro:

- ✓ Utilização do combustível local, disponível atualmente nos postos de abastecimento e a aplicação de um sistema de partida a frio com a utilização de um reservatório remoto de gasolina.
- ✓ Utilização de um combustível com a fração de álcool e gasolina conhecidos (E85) e que poderia evitar a aplicação de um sistema remoto de partida a frio [11].

A viabilidade para introdução do combustível (E85) no mercado consumidor brasileiro está diretamente relacionada com a viabilidade econômica de um programa de Governo Federal, pois o álcool utilizado nesta aplicação seria na forma anidra,

com um valor de processo de produção superior ao álcool hidratado. Deve-se considerar também a complexidade na distribuição, com a disponibilidade de uma bomba específica para este tipo de combustível nos postos de abastecimento.

Pode-se concluir que a utilização da tecnologia de partida a frio assistida (com o auxílio de uma injeção indireta de gasolina no coletor de admissão) ainda é a melhor solução para a partida de um veículo cujo teor de álcool no tanque de combustível seja elevado.

7 CONCLUSÃO

Pelo exposto no transcorrer dos Capítulos, pode-se concluir que a utilização de um sistema multi combustível é viável a partir de inúmeras modificações técnicas nos motores empregados atualmente na indústria automobilística.

Os pontos chaves para a determinação de um projeto configurado para este novo sistema são a escolha do tamanho do motor a ser empregado na aplicação e qual o tipo de sensor que será utilizado para o reconhecimento das misturas.

Através do estudo de caso, foi possível detectar que para o item tamanho do motor, tanto a Família I como a Família II atendem os pré-requisitos para aplicação do multi combustível.

Após a identificação das necessidades básicas para o sistema multi combustível, um motor conceito deve ser avaliado em dinamômetro, com o intuito de certificar que o tamanho de motor escolhido atende aos requisitos de performance e durabilidade solicitados pela montadora de veículos para a aplicação em ambos os combustíveis.

O tamanho do motor está relacionado também com a estratégia da montadora de veículos em futuros lançamentos e das perspectivas de mercado.

Atualmente, os motores de 1.0L são utilizados para aplicações dos chamados veículos populares, sendo responsáveis por 70% das vendas nacionais. As modificações na taxa sobre produtos industrializados (IPI) podem reverter este cenário.

O segundo parâmetro é o sensor de presença de álcool, que é importante para determinar a estratégia de “software” e “hardware” do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

Este reconhecimento pode ser realizado através de um sensor específico que deve ser agregado ao sistema de gerenciamento eletrônico ou pelo sensor de oxigênio já existente no motor.

Os sensores apresentam vantagens e desvantagens na sua aplicação, porém é importante ressaltar que um dos compromissos da engenharia do produto é

As novas taxas de IPI que passaram a vigorar a partir de Agosto de 2002 podem influenciar na estratégia interna das montadoras, pois a diminuição de impostos incidentes sobre o motor 2.0L e a criação de uma terceira faixa de IPI válida para o multi combustível podem reverter o atual cenário do mercado automobilístico brasileiro.

Com relação ao meio ambiente, o uso de energia que caracteriza a economia moderna é uma das principais causas da emissão antrópica do CO₂ na atmosfera. Para reduzir a emissão de gases poluentes sem prejudicar o desenvolvimento econômico, a principal estratégia seria substituir os combustíveis fósseis por outras fontes não emissoras ou renováveis como a biomassa.

Após a análise do sistema multi combustível, pode-se ressaltar algumas considerações que devem ser analisadas em futuros trabalhos relacionados a este tópico discutido, tais como:

- ✓ Novas tecnologias para possibilitar uma taxa variável de combustível.

Com a possibilidade da aplicação de misturas de carburantes nos motores atuais, a indústria automobilística deve desenvolver possibilidades de atuação de uma taxa de compressão variável. Um conceito para esta aplicação seria a utilização de um eixo girabrequim móvel para compensar as diferentes taxas de compressão.

- ✓ Calibração do multi combustível com mapas de correção para avanço de ignição específicos para atender desde a gasolina, as mesclas da mistura até o álcool hidratado, além do compromisso de evitar a pré-ignição e a detonação do motor.

Os primeiros motores desenvolvidos para a utilização de um sistema multi combustível possuíam quatro mapas básicos de calibração. Atualmente, com a aplicação da tecnologia de “torque based” para a calibração de novos motores pode-se obter apenas um mapa de calibração com variações de mistura para extrair o melhor torque do motor disponível naquele momento.

- ✓ As Leis de emissões de poluentes devem ser revistas para a homologação de um veículo multi combustível.

Um trabalho entre o Governo Federal e a indústria automobilística deve ser realizado no sentido de estabelecer os parâmetros que devem ser certificados na homologação de um sistema multi combustível e qual os limites de poluentes devem ser adotados com a mistura dos combustíveis conhecidos. Vale ressaltar que para as aplicações atuais de gasolina ou álcool, não existem diferenças para os limites de emissão de poluentes.

- ✓ Como se comporta os gases poluentes no sistema multi combustível.

Os fornecedores do sistema de gerenciamento eletrônico estão desenvolvendo componentes para a aplicação multi combustível e o controle de emissões deve ser avaliado para evitar um aumento substancial de algum poluente devido a enorme variação de misturas que podem ocorrer no veículo. Como início de estudos, tem-se que:

Monóxido de Carbono (CO): com exceção às misturas pobres, os resultados indicam uma redução nas emissões de CO devido à adição de álcool na mistura. Sendo que, a concentração de CO continua diminuindo conforme a relação de oxigenados aumenta na mistura [3, 11].

Hidrocarbonetos (HC): deve ocorrer a queda dos níveis de hidrocarbonetos devido a adição de álcool na mistura [9]

Óxido de Nitrogênio (NO_x): as emissões de NO_x devem ser elevadas, porém um controle deste parâmetro deve ser estudado para evitar desvios acima dos permitidos pela lei de emissões [3, 11, 49].

- ✓ Aplicação de novos conceitos para a partida a frio de veículos movido a álcool.

Com os incentivos governamentais sobre as taxas de IPI, a indústria automobilística

pode reiniciar trabalhos visando novas tecnologias na injeção do combustível álcool hidratado.

Para o sistema de partida a frio, a solução tradicional é a utilização de um reservatório de gasolina com uma bomba elétrica que injeta o combustível no pleno do coletor de admissão.

Este sistema pode ser melhorado, pois como o motor a álcool foi praticamente esquecido durante a década de 90, a tecnologia incorporada ao motor gasolina não foi de certa forma repassada para estes motores, e com o advento de incentivos concedidos pelo Governo Federal, pode recomeçar o desenvolvimento de novas tecnologias focadas na aplicação de álcool hidratado.

Uma das idéias a serem estudadas seria a eliminação do reservatório de partida a frio ou a injeção direta de álcool na câmara de combustão.

- ✓ Como se comporta o sistema evaporativo, sendo que atualmente o veículo movido a álcool hidratado não possui o canister e a válvula de purga.

O sistema evaporativo é utilizado nos motores movidos à gasolina para reduzir a emissão de vapores de gasolina para a atmosfera.

O sistema evaporativo deve ser considerado para atender as leis de emissões atuais e as que estarão em vigor a partir de Janeiro de 2005 (Tier 1), conforme ilustrado na Figura 7.

Dependendo do acordo estabelecido sobre as leis de emissão de poluentes para o multi combustível, um trabalho no sistema evaporativo deve ser realizado para adequar o veículo às novas condições ambientais.

8 ANEXOS

ANEXO A - Formulário para Determinação dos Parâmetros – “Tamanho do motor”

Nome: _____

Departamento: _____

Data: _____

Esta pesquisa tem como objetivo determinar quais são os parâmetros que devem ser utilizados para a escolha do tamanho de um motor a ser empregado no desenvolvimento de um veículo movido a multi combustível.

Atualmente, a General Motors do Brasil possui duas famílias de motores distintas.

Na sua opinião pessoal, quais seriam os parâmetros que devem ser estudados para adequar o sistema multi combustível a uma das famílias de motores já aplicadas em plataformas da General Motors.

Como exemplos, podemos destacar: Consumo de combustível, Potência, etc....

ANEXO B - Formulário para Determinação do Grau de Importância.

Nome: _____

Departamento: _____

Data: _____

Através da pesquisa sobre parâmetros para determinação do tamanho do motor, podemos enumerar oito características consideradas importantes pelo entrevistado.

Neste questionário, o objetivo é determinar o grau de importância para cada parâmetro obtido anteriormente. As lacunas abaixo devem ser preenchidas respeitando-se a seguinte orientação:

Grau de Importância: 1 – o mais importante parâmetro na sua opinião pessoal para determinação do tamanho do motor.

Grau de Importância: 8 – o menos importante parâmetro na sua opinião pessoal para determinação do tamanho do motor.

- Consumo de Combustível.
- Investimento
- Mercado Consumidor
- Potência.
- Preço ao Consumidor.
- Taxas.
- Torque.
- Versatilidade.

ANEXO C - Formulário para Determinação dos Parâmetros – “Sensor para detecção da presença de álcool”

Nome: _____

Departamento: _____

Data: _____

Esta pesquisa tem como objetivo determinar quais são os parâmetros que devem ser utilizados para a escolha do sensor para detecção da presença de álcool a ser empregado no desenvolvimento de um veículo movido a multi combustível.

A aplicação pode ser realizada através de um sensor específico ou de um sensor de oxigênio.

Na sua opinião pessoal, quais seriam os parâmetros que devem ser estudados para determinar a aplicação de um sensor em plataformas da General Motors.

Como exemplos, podemos destacar: Tempo de desenvolvimento, Custo, etc....

9 BIBLIOGRAFIA

[01] ADLER, Ulrich et al. **Automotive handbook**. 4.ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1996.

[02] ÁLCOOL: combustível pode ser a solução para o efeito estufa. Disponível em: www.mecanicaonline.com.br/2002/abril/engenharia> Acesso em: 24 junho 2002.

[03] AL-FARAYEDHI, A.; AL-DAWOOD, A.M.; GANDHIDASAN, P. Effects of blending crude ethanol with unleaded gasoline on exhaust emissions of SI engine. In: INTERNATIONAL FALL FUELS AND LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION, Baltimore, Maryland, 2000. **Papers**. New York: SAE, 2000. (SAE PAPER , 2857)

[04] ALTERNATIVE Fuels Data Center. Disponível em: www.afdc.doe.gov/altfuel/ethanol.html>. Acesso em: 20 outubro 2001.

[05] A NEW vehicle evaluation project. Disponível em: http://www.ott.doe.gov/otu/field_ops/nve>. Acesso em: 14 julho 2002.

[06] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Veículos rodoviários automotores leves: medição do consumo de combustível – NBR7024**. Rio de Janeiro, 1989.

[07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Veículos rodoviários: código de ensaio de motores – potência líquida efetiva – NBR ISO 1585**. Rio de Janeiro, 1996.

[08] AUBIN, K.; SMITH, H. Evaluation of tailpipe emissions and cold start performance of E85 vehicle from the 2000 ethanol challenge, In: WORLD CONGRESS, Detroit, Michigan, 2001. **Papers**. New York: SAE, 2001. (SAE PAPER, 0678)

[09] AUTOMOBILE pollution control in Brazil. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/td0670.pdf>>. Acesso em 18 dezembro 2001.

- [10] BANDOPADHAYAY, P.C. et al. Demonstration of a flexible fuel car. In: INTERNATIONAL PACIFIC CONFERENCE ON AUTOMOTIVE ENGINEERING., 4., Melbourne, Australia, 1987. **Proceedings**. Australasia: SAE, 1987. (SAE PAPER, 871164)
- [11] BENSON, J. D. et al. Emissions with E85 and gasolines in flexible/variable fuel vehicles. In: FUE AND LUBRICANTS MEETING AND EXPOSITION, Toronto, Ontario, 1995. **Papers**. New York: SAE, 1995. (SAE PAPER, 2508)
- [12] BINDER, J. New generation of automotive sensors to fulfill the requirements of fuel economy and emission control. **Sensors and Actuators: physical**, v.31, n.1-3, p.60-67, Pt. A., mar. 1992.
- [13] BIOFUELS at a glance. Disponível em :
<http://www.eren.doe.gov/state_energy/technology_factsheet.cfm?techid=8>.
Acesso em: 10 outubro 2001.
- [14] BORTOLOZZO, G.; ALARCÓN, O.Q.; MEHS, A.T. Miscibilidade de álcool etílico, gasolina e água. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 1993. v. 2., p. 136-143.
- [15] BRESENHAM, D.; REISEL, J. The effect of high ethanol blends on emissions from small utility engines. In: SMALL ENGINE TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXPOSITION, Wisconsin, 1999. **Proceedings**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1999. (SAE PAPER, 3345 ou JSAE 38100)
- [16] CARIS, D.F.; NELSON, E.E. A new look at high compression engines. In: SAE SUMMER MEETING, Atlantic City, 1958. **Papers**. New York: SAE, 1958. (SAE PAPER, 590015)
- [17] CARRO do futuro com bicomcombustível pode garantir demanda de álcool. Disponível em <www.webcana.com.br/JornalCana-ed_89-Alternativas.htm>.
Acesso em: de 28 setembro 2001.

[18] CASTRO, A.C.; KOSTER, C.H.; FRANIECK, E.K. Flexible ethanol otto engine managemet system. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 3., São Paulo, 1994. **Anais**. São Paulo : SAE Brasil, 1994. (SAE PAPER, 2400)

[19] CATÁLOGO de Motores. Disponível em: <www.abinq.com.br>. Acesso em: 17 maio 2002.

[20] CLEAN alternative fuels: ethanol. Disponível em:
<<http://www.epa.gov/otaq/consumer/fuels>>. Acesso em: 13 julho 2002.

[21] CONGRESSO aprova aumento de adição de álcool na gasolina. Disponível em:
< <http://www.secco.com.br/clipbr1.htm>>. Acesso em: 13 maio 2002.

[22] DOMSCHKE, A.G. **Desenvolvimentos tecnológicos para atualização de motores automotivos no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2001. 2v. (Apostila AEA)

[23] EFFECTS of fuel ethanol use on fuel-cycle energy and greenhouse gas emissions. Disponível em: <www.transportation.anl.gov/ttrdc/>. Acesso em: 12 novembro 2001.

[24] EMISSIONS and fuel consumption. Disponível em:
<<http://www.fisita.com/exhibit/emissions>>. Acesso em: 20 outubro 2001.

[25] ENGINE management system. Disponível em:
<<http://www.delphiauto.com/automotive/engine>>. Acesso em: 10 novembro 2001.

[26] ENVIRONMENTAL & health benefits. Disponível em:
<<http://www.ci.seattle.wa.us/cleancities>>. Acesso em: 10 outubro 2001.

[27] ENVIRONMENTAL protection. Disponível em:
<www.epa.gov/oar/oaqps/cleanair.html>. Acesso em: 10 outubro 2001.

[28] ESPECIFICAÇÕES técnicas do veículo. Disponível em: <www.socrates.com>
Acesso em: 23 junho 2002.

[29] ESQUEMA de um sistema flex fuel. Disponível em:

<[http://www.bosch.com.br/br/autopecas_n/produtos/k3 motronic flex.htm](http://www.bosch.com.br/br/autopecas_n/produtos/k3_motronic_flex.htm)>.

Acesso em: 10 novembro 2001 e 19 julho 2002.

[30] FANICK, E.R.; WHITNEY, K.A.; BAILEY, B.K. Particulate characterization using five fuels. In: INTERNATIONAL SPRING FUELS AND LUBRICANTS MEETING, Dearborn, Michigan, 1996. **Papers**. New York: SAE. 1996. (SAE PAPER, 1089)

[31] FEIJÓ, E. **Porcentagem da mistura de álcool na gasolina** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <alexander.gasparotto@gm.com> em 10 fevereiro 2002.

[32] FREITES, C.M.; MELLO, J.M.C. Riscos tecnológicos : um estudo sob os riscos da introdução da mistura 60% etanol – 33% metanol – 7% gasolina no Brasil. **Interciência**, v.19, n.1, p.14-19, jan-fev. 1994.

[33] FUEL consumption and taxes reduction. Disponível em:

<<http://www.fueleconomy.gov>>. Acesso em: 12 novembro 2001.

[34] GABELLE, PA ;KNAPP, K.T. **Journal of The Air & Waste Management Association**,v. 43, n.6, p.851-858, jun. 1993.

[35] GARCIA, O.; BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. s.l. : Faculdade de Engenharia Industrial, 1992. (Apostila)

[36] GIBSON, J. et al. The University of Windsor-St. Clair College E85 Silverado. In: SAE 2001 WORLD CONGRESS, Detroit, Michigan, 2001. **Paper**. New York: SAE, 2001. (SAE PAPER, 0680)

[37] GUTIERREZ, H. Obtenção de mesma eficiência térmica em motores de ignição por centelha com diferentes razões de compressão. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, São Paulo, 1992 . **Trabalhos apresentados e publicados**. São Paulo: Sae Brasil, 1992. (SAE PAPER, 921523)

- [38] HOFMANN, T. et al. Comparison of a conventional with an advanced micromachined flexible-fuel sensor. **Sensors and Actuators : physical**, v.61, n.1-3, Pt. A, p. 319-322, jun. 1997.
- [39] HUTTEBRAUCKER, D. The flexible fuel concept by Mercedes Benz. In: MOBILITY TECHNOLOGY CONFERENCES AND EXHIBIT, São Paulo, 1992. **Proceedings**. São Paulo: SAE, 1992. (SAE PAPER, 921456)
- [40] JUNYUE, C. Studies on methanol or ethanol and gasoline thermal blending fuel system. In: INTERNATIONAL CONGRESS & EXPOSITION, Michigan, 1988. **Proceedings**. New York.: SAE., 1988. (SAE PAPER, 0041)
- [41] KARAOSMANOGLU, F.; AKSOY, H.A. Alcohol fuel research in Turkey. **Energy Sources**, v.20, n. 10, p. 955-960, dez. 1998.
- [42] LUGAR, R.G.; WOOLEY, R.J. The New petroleum. **Foreign Affair**, p. 88-102, jan.-fev. 1999.
- [43] MANUAL do Proprietário. Veículos corsa e astra – marca Chevrolet. s.n.t.
- [44] MARTINELLI Jr., L.C. **Motores de Combustão Interna**: conceitos básicos. s.l. : UNIJUÍ/Engenharia Mecânica, s.d. (Apostila)
- [45] MASSARANI, M.; MATTOS, F.C. **Engenharia do Valor**. São Paulo: Universidade de São Paulo, s.d. (Apostila)
- [46] MAXTON, G.P. Global car forecasts to 2005 : the outlook for world car sales. Disponível em: <<http://www.just-car.com>> Acesso em: 12 dezembro 2001.
- [47] MEITZLER, A.; SALOKA, G.S. Two alternative, dielectric-effect, flexible-fuel sensors. In: INTERNATIONAL CONGRESS & EXPOSITION, Detroit, Michigan, 1992. **Papers**. New York: SAE, 1992. (SAE PAPER, 0699)
- [48] MEYER, F. et al. **Automotive electric/electronic systems**. Stutgard: R. Bosche, 1988. 347p.

- [49] MOONEY, J.J.; HANSEL, J.G.; BURNS, K.R. Three-Way Conversion Catalysts on vehicles fueled ethanol-gasoline mixtures. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION, Detroit, Michigan, 1979. **Papers**. New York: SAE, 1979. (SAE PAPER 0428)
- [50] NASTARI, P.M. Nos EUA, Bush, ambientalistas e líderes do congresso apóiam o álcool. Exclusiva, março, 2002. Disponível em: <www.webcana.com.br>
- [51] NOGUEIRA, L.A.H. Assegurando o mercado para o álcool energético. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 nov. 2001. Caderno Economia.
- [52] NYLUND, Nils-Olof; AAKKO, P. Characterization of new fuel qualities. In: INTERNATIONAL SPRING FUELS & LUBRICANTS & EXPOSITION, Paris, 2000. **Papers**. New York: s.ed. 2000. (SAE PAPER, 2009)
- [53] ODA, K. et al. Effect of gasoline composition on engine performance. INTERNATIONAL CONGRESS & EXPOSITION Detroit, Michigan, 1993. **Papers**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1993. (SAE PAPER, 0375)
- [54] OLIVEIRA Jr., S.B. Sistema flexível para combustível. Trabalho apresentado a FIAT/GM Powertrain, São Paulo, 2002. Não publicado.
- [55] PEREIRA, H.B. O uso do álcool como combustível. Trabalho apresentado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2000. NãoPublicado.
- [56] PESQUISA de mercado. Disponível em: <www.iga.org.br>. Acesso em: 23 setembro 2001.
- [57] POOLE, A.D.; HOLLANDA, J.B.; TOLMASQUIM, M.T. Conservação de energia e emissões de gases do efeito estufa no Brasil. s.l. : Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1998.
- [58] PREÇO de Combustíveis – Gasolina e Álcool. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2002 e 20 julho 2002.

[59] PRODUÇÃO de Veículos e Vendas Internas – Gasolina e Álcool. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br>>. Acesso em: 12 maio 2002 e 20 julho 2002.

[60] QUALIDADE do Ar, poluição e saúde. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.htm>. Acesso em: 12 dezembro 2001.

[61] QUELHAS, S. New oportunities : new technologies. Trabalho apresentado a FIAT/GM Powertrain, São Paulo, 2002. Não Publicado.

[62] SCHEINMAN, M.N. The automotive industry in Latin América: México, Brazil and Argentina: forecasts to 2005. Disponível em: <<http://www.just-car.com>>. Acesso em: 12 dezembro 2001.

[63] SIEDENTOP, M. Flexible fuel vehicles : environmental aspects and technical solutions. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON TRANSPORTATION ELECTRONICS, Dearborn, Michigan, 1992. **Papers**. New York: SAE., 1992. (SAE PAPER, C020)

[64] SILVA, C. IPI de carros popular e médio é reduzido. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 1 ago. 2002. Economia, Caderno B, p. 7.

[65] SILVA, N. R.; SODRÉ, J.R. Using additive to improve cold start in ethanol-fuelled vehicles. In: WORLD CONGRESS, Detroit, Michigan, 2000. **Papers**. New York: SAE, 2000. (SAE PAPER, 1217)

[66] STODART, A. et al. Fuel system development to Improve Cold start performance of a flexible fuel vehicle. In: INTERNATIONAL FUELS & LUBRICANTS MEETING & EXPOSITION, San Francisco, California, 1998. **Papers**. New York: SAE, 1998. (SAE PAPER, 2532)

[67] SUZUKI, H.; OGAWA, K. Development of an optical fuel composition sensor. In: INTERNATIONAL CONGRESS & EXPOSITION, Detroit, Michigan, 1991. **Papers**. New York : SAE, 1991. (SAE PAPER, 0498)

[68] SWARCZ, A. et al. Alcohol Crisis in Brazil: The Search for Alternatives. In: IX INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL FUELS, Florence, 1991.

Proceedings.

[69] TAYLOR, C.F. **Análise dos Motores de Combustão Interna**, v.2, São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1995

[70] TEAR Down : investimento. Disponível em: <www.socrates.com>. Acesso em: 27 junho 2002.

[71] VAN WYLEN, G.J.; SONTAGG, R.E.; BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

[72] VARGA, L. Alta do óleo anima planos de carro 'misto'. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 19 maio 2002. Dinheiro, Caderno B, p.9.

[73] VASCONCELLOS, Gilberto Felisberto. **Biomassa: a eterna energia do futuro**. São Paulo: Editora Senac, 2002.

[74] VELAS de ignição. Disponível em:
<<http://www.ngkntk.com.br/velas/default.html>>. Acesso em: 22 julho 2002.

[75] WINEBRAKKE, J.J.; DEATON, M.L. A Comparative analysis of deterioration for in-use alternative fuel vehicles. **Journal of The Air & Waste Management Association**, v.47, n.12, p.1291-1296, dez. 1997.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Impactos do Álcool na Economia Brasileira

Dados indicam que o motor a álcool é 30% mais potente e a vida útil deste chega a ser cinco vezes maior que um motor movido a gasolina. Além do lado técnico, economicamente o álcool já proporcionou, somente com o seu consumo doméstico no Brasil, uma redução de 200 mil barris por dia no consumo de gasolina equivalente, o que representa uma economia anual de divisas da ordem de 2 bilhões de dólares.

Com uma frota de 2,5 milhões de automóveis a álcool, o Brasil deveria ter revertido a sua política macroeconômica para esta aplicação, uma vez que poderia importar menos e conseqüentemente economizar em divisas com o aumento da frota a álcool.

Em 1978, o Brasil contava com uma frota de veículos movidos a álcool, de mais de 50 mil veículos, cujo total em 1982 já atingia 2 milhões e no auge, em 1985, próximo de 5 milhões [59].

Em fevereiro de 2002, foram vendidos 2.889 carros a álcool, ante 2.518 em janeiro, segundo pesquisa da ANFAVEA. O número não é expressivo (3,1% da frota), se comparado às vendas da década de 80, quando o carro a álcool representou até 96% do total, em 1985. Mas revela um salto significativo em relação aos anos 90 - em maio de 98, foram vendidas apenas quatro [59].

A retomada, gradativa, começou apenas em agosto de 1999, com a comercialização de 1.370 automóveis. A marca alcançada em fevereiro só foi superada pela de dezembro último, com a venda de 4.215 veículos (3,9% da frota). Em 1999, foram produzidos 10.944 carros a álcool; 10.459, em 2000 e 18.335 em 2001 [59].

No ano passado, as importações brasileiras alcançaram US\$ 55,82 bilhões e os gastos apenas com petróleo, óleos de petróleo ou de minerais betuminosos; US\$ 6,98 bilhões ou 11 % do total. O petróleo é o produto que mais pesa nas compras externas do Brasil [46].

O álcool combustível representou para o Brasil em 2001, a economia de US\$ 2

bilhões em divisas, com a substituição de 10.156 milhões de litros, ou 175.012 barris por dia, de gasolina equivalente. Nos anos 80, essa economia chegou a 220 mil barris de petróleo diários [62].

A exportação de álcool voltou a ter expressão a partir de 1998, quando foram embarcados 118 milhões de litros. Em 1999, as compras no exterior alcançaram 407,2 milhões; 227,25 milhões, em 2000, e 400 milhões em 2001 [62].

A União da Agroindústria Canavieira estima para o ano de 2002, uma exportação de pelo menos 600 milhões. A entidade, que congrega empresários do setor no Estado de São Paulo, também negocia a venda de álcool combustível para os Estados Unidos. A partir de janeiro de 2003, a legislação americana determina que o teor de oxigênio no peso do combustível seja de 2%. Para que este percentual seja atingido, deve ocorrer a adição de 6,5% a 7% de álcool na gasolina, o que implica na necessidade de 2,2 bilhões de litros de álcool por ano [72].

APÊNDICE B – Emissões Energéticas – Atualidades e Tendências

B1 Uso da Energia, Perdas e Eficiência

A energia primária (renováveis e não renováveis) sofre transformações e se apresenta de diversas formas (kWh, BTU, Joule) que podem ser medidas com uma mesma unidade, denominada tep* [57].

As formas de energia encontradas na natureza são chamadas de energia primária e estão divididas em [57]:

- ✓ Formas não renováveis compostas, sobretudo de carvão, petróleo e gás natural; cuja utilização emite CO₂.
- ✓ Formas renováveis que são manifestações diretas ou indiretas da energia que chega do sol, cuja utilização não emite CO₂; como quedas d'água, ventos, marés, biomassas **, etc.

A energia primária é de pequena utilidade para as sociedades modernas. Para serem utilizadas, na prática, é necessário ser transformada em formas que se apresentam aos consumidores como produtos fáceis de medir, transportar e estocar e devem estar disponíveis quando e onde se fizerem necessárias. Exemplos destas formas são a eletricidade, os álcoois, a gasolina, etc. Por serem obtidas a partir de uma transformação, estas formas são chamadas de energia secundária.

O setor de transportes é o maior consumidor direto de combustíveis fósseis, apesar da expressiva participação do álcool da biomassa.

* (tep - tonelada equivalente de petróleo, sendo 1 tep = 10,8 Gcal = 45,2 GJ) [57].

** A queima da biomassa emite CO₂, mas isto é contrabalançado pela fixação do CO₂ durante a fase de crescimento das plantas, quando há uma exploração sustentável [57].

B2 EMISSÕES DE CO₂

Com relação a emissões energéticas de CO₂ é importante destacar que o setor de transportes representa 49% do total de emissões e de sua importância para uma estratégia de redução de emissões de gases do efeito estufa (Tabela 28) [57].

Tabela 28 - Contribuição de emissões de CO₂ por ramo de atividade [57]

SETOR	(%)
Agropecuário	6
Industrial	34
Comercial	1
Público	1
Transportes	<u>49</u>
Residencial	8
Consumo Energético	100

B3 SETOR CANAVIERO

Embora a cana-de-açúcar tenha o equivalente a 23 milhões tep da energia primária, o álcool derivado representa apenas 7 milhões no uso final energético. A razão histórica da baixa eficiência na transformação é que o Pro-Álcool visou exclusivamente à substituição da gasolina no lugar de desenvolvimento integral do potencial energético. As destilarias foram impedidas de desenvolver a vocação de gerar eletricidade, pois a energia da cana que é convertida em álcool representa 1/3 da energia total disponível. Os 2/3 restantes estão sob a forma de biomassa que, com a tecnologia atual, poderiam produzir da ordem de 20 TWh [57].

Do ponto de vista da emissão, o fator mais importante do desenvolvimento deste potencial seria dar a sustentação econômica a longo prazo para manter o programa do álcool.