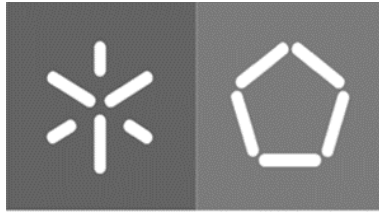




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Francisca Sampaio Serra

Adaptação de um Motor 125cc a 2 Tempos
a Carburador para Injeção e Ignição
Eletrónicas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Francisca Sampaio Serra

Adaptação de um Motor 125cc a 2 Tempos a Carburador para Injeção e Ignição Eletrónicas

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Especialização em Energias e Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Jorge Martins

julho de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão ao meu orientador, o Professor Doutor Jorge Martins, por todo o apoio e disponibilidade que teve durante o decorrer deste projeto, sem o qual a sua conclusão teria sido impossível.

De seguida ao Engenheiro Filipe Marques, sem o qual este projeto não teria sequer existido, com a qual sempre foi possível uma comunicação bastante fácil e com grande abertura, sempre disposto a ajudar nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica, contribuindo com os seus conhecimentos para a evolução do projeto.

À minha família, por todo o apoio dado ao longo dos anos, em especial ao meu irmão, o maior responsável pelo meu sucesso ao longo destes anos e por sempre ter acreditado nas minhas capacidades, sendo o meu maior apoio.

A todos os meus amigos, pelo apoio académico, sem o qual não teria chegado aqui, mas principalmente pelos bons momentos passados ao longo destes 5 anos que sem dúvida ficarão para a memória. Em especial a todos os meus rapazes que me fizeram as noites e à Mariana, Ana e Bárbaras que se revelaram quase irmãs quando foi preciso.

Às minhas amigas Helena Mendes e Helena Pimenta por serem as melhores amigas possíveis e muitas vezes acreditarem mais em mim do que eu própria, sendo um apoio imprescindível nos momentos mais duros.

Finalmente, um agradecimento especial ao Pedro, ao meu namorado e melhor amigo, maior suporte ao longo de todos estes anos, sempre presente nos bons e maus momentos, e sem a qual este percurso não seria tão especial como foi.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Este trabalho visa a adaptação de um motor a 2 tempos a gasolina de 1974 com carburador, para ignição e injeção eletrônicas, que tem como objetivo final a sua aplicação num Kart de competição.

Embora tipicamente os motores a 2 tempos sejam controlados analogicamente, através de carburadores, por exemplo, a utilização de sistemas eletrônicos para este controlo tem vindo a aumentar ao longo dos anos, permitindo um maior controlo e melhor performance destes. A realização deste projeto baseia-se assim neste fator, fazendo sentido procurar um método de adaptação de um motor a 2 tempos de controlo por carburador, para utilizar um sistema de controlo eletrónico, tanto de injeção como de ignição, tencionando assim validar este tipo de aplicações.

Começou-se por realizar um estudo de base teórica sobre os motores a 2 tempos de modo a adquirir uma maior perceção da evolução dos mesmos, o seu impacto e aplicações. Finalizado esse primeiro estudo, seguiu-se uma revisão das características mais importantes nos motores a 2 tempos, fatores que os caracterizam e permitem que o seu funcionamento seja melhorado, sendo exemplos disto, os processos de lavagem e o escape divergente-convergente.

Sendo o motor em estudo um motor de moto (*Suzuki* 125 TS), revelou-se importante averiguar de que forma surgiu a aplicação de motores a 2 tempos em motociclos, as fases que mais caracterizaram este meio de transporte, bem como as construtoras de maior renome.

Tendo como principal objetivo a adaptação deste motor, tornou-se relevante a realização de uma análise teórica sobre a influência que o avanço de ignição e demais variáveis da energia gerada, têm sobre a performance do motor, mais propriamente o trabalho instantâneo gerado.

Seguidamente, iniciou-se a implementação do controlador – MEGASQUIRT II – que exigiu um estudo sobre os diversos componentes elétricos e eletrónicos a utilizar, e os fatores a ter em conta aquando da sua instalação. Em paralelo, e de forma a permitir esta instalação, foram detalhadas todas as intervenções mecânicas que foram necessárias para que o Kart atingisse os objetivos pretendidos.

Concluído o projeto foi possível validar todo o sistema que foi concebido, tanto a nível eletrónico como a nível mecânico. Embora tenham sido encontrados alguns obstáculos neste processo, foram tomadas medidas corretivas que solucionaram a maior parte dos problemas. Terminou-se mencionando que trabalhos deveriam ser feitos futuramente de modo a aprimorar e aprofundar o trabalho realizado.

Palavras-Chave: motor de combustão interna; 2 tempos; injeção direta, ignição e injeção eletrônicas; MEGASQUIRT II.

ABSTRACT

The present project aims for the adaptation of a two-stroke gasoline engine from 1974 employing a carburettor, to electronically controlled fuel ignition and injection, with the goal of being employed in a race Kart.

Although 2-stroke engines are typically controlled through analogic methods such as carburettors, the usage of electronic methods is on the rise throughout the years, allowing for better control and higher performance. This project is based on this factor, making sense to seek a method for the adaptation of a carburettor-controlled engine, to use an electronic control system, both for ignition and injection, seeking to validate this type of applications.

Work started with a theoretical study on 2-stroke engines to acquire a better perception of their evolution, impact and applications. Once this primary study was finished, the most important characteristics of two-stroke engines were revised and characterizing factors that allow for improvement of their performance were studied, such as scavenging processes and divergent-convergent exhaust systems.

Since the engine in study was originally used in a motorbike, the analysis of how these types of engines started to be used in motorbikes was relevant. Adding to this, the main eras that distinguished this mean of transportation were explored, as well as the most vital constructors.

Since the main goal of this project was the adaptation of such engine, a theoretical analysis regarding the impact of ignition timing and several other variables related to energy generated by the engine on the engine's performance, detailing the impact on the instantaneous work generated.

Once this was completed, the implementation of the MEGASQUIRT II controller was began, which demanded the study of the several electrical and electronic components to be used, and relevant factors in its installation. In parallel to that, as to allow for this installation, all the mechanical interventions that were necessary for the Kart to fulfil the proposed goals.

Once the project was completed it became possible to validate the system that was created. Although some obstacles arised during this process, corrective action was taken to fix most of the problems. The report was finished by listing future works to be done in order to better the project.

Key-words: internal combustion engine; two-stroke; direct injection; electronic injection and ignition; MEGASQUIRT II.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xiv
1. Introdução.....	15
1.1 Motivação.....	15
1.2 Objetivos.....	16
2. Estado da Arte.....	17
2.1 Aplicações dos Motores ao longo dos anos.....	17
2.2 Desenvolvimento dos Motores a 2 Tempos.....	21
2.2.1 Injeção Direta.....	21
2.2.2 Motor FAST da <i>PIAGGIO</i>	22
2.2.3 Aplicação de Injeção Direta em Motores a 2 Tempos – <i>ORBITAL</i>	23
2.2.4 Desenvolvimentos por parte de vários Construtores.....	24
2.3 Características dos Motores a 2 Tempos.....	29
2.3.1 Potência Específica.....	29
2.3.2 Motores a 2 Tempos VS 4 Tempos.....	30
2.3.3 Processos de Lavagem.....	30
2.3.4 Escape Divergente-Convergente.....	34
2.3.5 Compressão do Cárter.....	35
2.3.6 Catalisador de Triplo Efeito.....	39
2.3.7 Avaliação da Estequiometria.....	39
2.3.8 Fenómeno “Knock”.....	40
2.4 Aplicação de Motores a 2 tempos em Motociclos.....	41
2.5 Motores a 2 tempos – Atualidade.....	45
2.6 Motor em estudo - <i>Suzuki</i> TS 125.....	47

2.7	Evolução do Kart e Parâmetros de Aplicação no Motor em Estudo	48
2.7.1	Evolução dos Motores utilizados em Karts.....	48
2.7.2	Comparações entre Motores desenhados para Motos e Motores desenhados para Motos 52	
3.	Análise Teórica da Influência do Avanço de Ignição e demais Variáveis da Energia Gerada	53
3.1	Estudo realizado com fornecimento de calor constante.....	54
3.2	Estudo realizado com fornecimento de calor ao longo de 50°, partindo da função de Wiebe 59	
3.3	Estudo realizado com duração de combustão calculada através da fórmula de Wiebe	63
3.4.	Discussão de resultados	64
4.	Projeto de Instalação da MEGASQUIRT II.....	69
4.1	Esquema Elétrico do Sistema.....	70
4.1.1	Sensor de Posição da Cambota.....	76
4.1.2	Sensor TPS.....	77
4.1.3	Controlador de <i>Ralenti</i>	78
4.1.4	Sensor de Temperatura do Ar de Admissão.....	80
5.	Análise do Problema	81
5.1	Motor	81
5.2	Solução de Problemas – Parte Mecânica.....	84
5.2.1	Acelerador.....	84
5.2.2	Filtro	86
5.2.3	Suporte da Bobine	87
5.2.4	Embraiagem.....	88
5.2.5	Disco do Travão.....	90
5.2.6	Colocação da Roda Dentada	91
5.2.7	Instalação da Tubagem para a Bomba de Gasolina e Depósito de Combustível	93
5.2.8	Posicionamento e Fixação do Controlador, Bateria e Caixa de Relés	95
5.2.9	Escape	97
5.2.10	Chapa de proteção da corrente.....	98
6.	Conclusão e Trabalhos Futuros	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do motor a 2 tempos desenvolvido por Dugald Clerk.[2]	17
Figura 2. Motor "JUMO 205" da construtora Junkers. [5].....	18
Figura 3. Funcionamento de um motor com o pistão a controlar a abertura e fecho das janelas. [6] ..	19
Figura 4. Ilustração de um motor outboard. [7]	20
Figura 5. Ilustração de um GOLIATH GP700. [9]	22
Figura 6. Desenho do sistema FAST da Piaggio. [8].....	23
Figura 7. Esquema do motor a 2 tempos desenvolvido pela ORBITAL. [12].....	24
Figura 8. Motor Jaguar XK com 6 cilindros. [14]	24
Figura 9. Exemplo de funcionamento de uma válvula rotativa aquando do momento de injeção de ar e combustível. [16].....	26
Figura 10. À esquerda o motor Genesis da ORBITAL e à direita o veículo TheECOsport. [17]	27
Figura 11. Motor desenvolvido pela Lotus e Jaguar: OMNIVORE. [19].....	27
Figura 12. Válvula de escape desenvolvida pela Lotus no motor OMNIVORE. [20].....	28
Figura 13. Motor Renault POWERFULL a 2 tempos. [21]	29
Figura 14. Representação esquemática do processo de lavagem transversal. [22]	31
Figura 15. Representação esquemática do funcionamento da lavagem unidirecional, com válvulas de escape no topo e janelas de admissão na base. [23].....	32
Figura 16. Lavagem unidirecional: do lado esquerdo com recurso a pistões opostos e do lado direito o método mais utilizado. [24]	33
Figura 17. Ilustração do funcionamento da lavagem em laço. [25]	33
Figura 18. Ilustração do funcionamento da lavagem em laço invertido.[26]	34
Figura 19. Ilustração das duas secções existentes neste modelo de escape: à esquerda a divergente e à direita a convergente. [27]	35
Figura 20. Funcionamento do cárter – crankcase – como compressor. [28]	36
Figura 21. Válvula rotativa ao cárter. [29].....	37
Figura 22. Representação esquemática do uso de lamelas num motor a 2 tempos. [1]	37
Figura 23. Ilustração do sistema YPVS, onde se destaca a azul a válvula referida. [30]	38
Figura 24. Válvula rotativa desenvolvida pelo Engenheiro Jorge Martins em 2016. [20].....	39

Figura 25. Efeito "knock". [34]	41
Figura 26. Moto CR250R da Honda de 1983. [37]	42
Figura 27. Motor Yamaha a 2 tempos de 250cc com YPVS. [39]	43
Figura 28. Modelo da Yamaha RD 350 do ano 1973.[40]	43
Figura 29. Motor Suzuki RM2004 250. [42]	44
Figura 30. Motor KX500 Kawasaki de 1984. [44]	45
Figura 31. Motor KTM com tecnologia TPI: [48]	46
Figura 32. Tecnologia YCC-T desenvolvida pela Yamaha.[50]	47
Figura 33. Motor Suzuki TS 125 utilizado para estudo.	47
Figura 34. Primeiro modelo de Kart construído em 1956. [53]	48
Figura 35. Motor ROTAX 100cc, arrefecido a água. [54]	49
Figura 36. Motor RAV da Vortex. [55]	50
Figura 37. Motor Vortex modelo DST. [32]	51
Figura 38. Motor Screamer III da IAME. [58]	51
Figura 39. Sistema de ignição por magneto. [61]	53
Figura 40. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor.	57
Figura 41. Gráfico com os valores de pressão, volume e trabalho em função do ângulo de posição de cambota para o intervalo de fornecimento de calor com início nos -25° até aos 25°	58
Figura 42. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota para o intervalo de fornecimento de calor com início nos -25° até aos 25°.	59
Figura 43. Gráfico representativo da evolução de f em função do início do Fornecimento de Calor.....	61
Figura 44. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota com início de fornecimento de calor aos -30°.	62
Figura 45. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota para o fornecimento de calor com início aos -23°, partindo da fórmula de Wiebe.	64
Figura 46. Gráfico representativo da pressão em função do volume para cada início de calor, tendo por base o método da função Wiebe (subcapítulo 3.2).	65
Figura 47. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor, tendo por base o método da função de Wiebe (subcapítulo 3.2).	66

Figura 48. Gráfico representativo da pressão em função do volume para cada início de calor, tendo por base o método da fórmula Wiebe $\Delta\theta_{90}$ (subcapítulo 3.3).....	67
Figura 49. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor, tendo por base o método da fórmula Wiebe $\Delta\theta_{90}$ (subcapítulo 3.3).....	68
Figura 50. Fotografia da ECU MEGASQUIRT II.....	69
Figura 51. Diagrama da cablagem externa da MEGASQUIRT II. [63].....	70
Figura 52. Desenho final da cablagem da MEGASQUIRT II utilizada.....	71
Figura 53. Ficha DB 37, fios e respetivas soldas.	72
Figura 54. Fotografia da ficha de segurança utilizada.	73
Figura 55. Fotografia da ficha DB 37 com os fios soldados, seguida de uma ficha macho-fêmea (segurança) com os fios igualmente soldados.	73
Figura 56. Fotografia da caixa de relés, fusíveis e barramentos – numerados de 0 a 4.	74
Figura 57. Processo de instalação da cablagem, estando rodeados a verde alguns dos componentes já soldados.....	74
Figura 58. À esquerda uma ilustração do funcionamento do sistema sensor + roda dentada; à direita um gráfico representativo do comportamento do sensor em função da tensão.[64]	77
Figura 59. Ilustração do funcionamento entre o contacto fixo e deslizante de um potenciômetro. [66]	78
Figura 60. Gráfico demonstrativo da relação tensão/resistência do sensor TPS.	78
Figura 61. Ilustração do que acontece na válvula borboleta quando esta está fechada, na ausência de um circuito auxiliar.	79
Figura 62. Ilustração do efeito face à existência de um circuito alternativo, permitindo assim a passagem de ar necessária ao ralenti do motor.	79
Figura 63. Gráfico ilustrativo da relação entre a tensão e tempo numa válvula solenoide. [67]	80
Figura 64. Gráfico ilustrativo da relação resistência/temperatura num termistor. [68].....	80
Figura 65. Fotografia do Kart e do motor em setembro de 2019.	81
Figura 66. Motor Suzuki em setembro de 2019. A amarelo representado o coletor de admissão, a vermelho o “kicks” e a verde o tubo de escape.	82
Figura 67. Fotografia do coletor de admissão inicial em alumínio, desenvolvido nos laboratórios do DEM.	82
Figura 68. Fotografia do escape montado inicialmente.	83
Figura 69. Fotografia do motor onde se pode observar o disco dentado, circundado a azul, responsável por indicar a posição da cambota.	83

Figura 70. Fotografia do “serra-cabos” inserido no corpo da borboleta.	84
Figura 71. Fotografia com o terminal em forma de u e afinador no corpo da borboleta.	85
Figura 72. Fotografia da cavilha inserida no pedal do acelerador.	85
Figura 73. Fotografia da barra utilizada para fazer o efeito rótula.	86
Figura 74. Fotografia do pedal do acelerador com fim de curso.	86
Figura 75. Fotografia do suporte maquinado para o filtro e posicionamento do sensor de temperatura do ar de admissão.	87
Figura 76. Sinalizado a A o primeiro local da bobine e a B o local final da mesma.	88
Figura 77. Fotografia do suporte desenhado e fabricado para a bobine.	88
Figura 78. Fotografia do estriado da alavanca de velocidades de um motor zundapp inserido na embraiagem do motor, com afinador.	89
Figura 79. Fotografias da manete tipo patilha fixada num dos braços do volante.	89
Figura 80. Fotografias do disco do travão inicial empenado.	90
Figura 81. Fotografia do disco do travão montado no veio e pinça.	90
Figura 82. Fotografia das molas antirruído adicionadas na pinça do travão.	91
Figura 83. Fotografia da roda dentada da cambota com 44 dentes.	91
Figura 84. Fotografia da roda dentada com a falha do dente e o sensor de posição.	92
Figura 85. Fotografia do sensor de posição de cambota localizado na parte superior do motor.	93
Figura 86. Fotografia do filtro de combustível selecionado - MAHLE ORIGINAL.	93
Figura 87. Fotografia do local da bomba de combustível, sendo este por cima da chapa de proteção da base.	94
Figura 88. Fotografias do depósito de gasolina de 5 litros.	94
Figura 89. Fotografia do ponto de massa criado na chapa de proteção da base.	95
Figura 90. Fotografia com a localização do ECU no Kart.	95
Figura 91. Fotografia da caixa de relés e fusíveis, localizada atrás do banco.	96
Figura 92. Fotografia com o local da bateria.	96
Figura 93. Fotografia do escape após a correção do ângulo de curvatura.	97
Figura 94. Fotografia do apoio do escape no suporte da bobine.	97
Figura 95. Fotografia da chapa de proteção da corrente.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores dos parâmetros geométricos obtidos a partir dos valores de entrada.	55
Tabela 2. Correspondência entre os pinos do controlador e ficha de segurança.	75
Tabela 3. Correspondência do número de fusíveis.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS

ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
SI	<i>Spark Ignition</i>
FAST	<i>Fully Atomized Stratified Turbulence</i>
TC	Taxa De Compressão
LTHC	<i>Low Temperature Hot Combustion</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
YPVS	<i>Yamaha Power Valve System</i>
TT	Todo-o-Terreno
TPI	<i>Transfer Port Injection</i>
YCC-T	<i>Yamaha Chip Controlled Throttle</i>
CIK-FIA	<i>Commission Internationale de Karting</i>
PMS	Ponto Morto Superior
AFR	<i>Air Fuel Ratio</i>
PCI	Poder calorífico
EPROM	<i>Erasable Programmable Real-Only Memory</i>
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
IAC	<i>Idle Air Control</i>

1. INTRODUÇÃO

Os Karts são veículos de quatro rodas utilizados usualmente num desporto associado, o Karting. Estes veículos utilizam normalmente motores de ignição comandada (gasolina) que podem ser de dois ou quatro tempos. São exemplos de empresas com notórios motores nos Karts a *Honda*, no caso dos motores a quatro tempos, e a *Rotax* no caso dos motores a dois tempos.

Assim, sendo motores a gasolina, para o seu funcionamento são necessários um sistema de ignição e um sistema de fornecimento de combustível. O sistema de ignição é composto, de uma forma muito simples, por uma bobine, por platinados e por uma vela que juntos irão criar uma faísca de alta tensão na câmara de combustão. Por outro lado, o sistema de fornecimento de combustível fará a injeção de gasolina, que se irá misturar com o ar proveniente da admissão. Esta injeção de gasolina pode ser feita de duas formas, por carburador ou por sistemas de injeção direta. O carburador utiliza um *venturi* para que à medida que o ar passe por ele, proveniente do movimento do motor, sugue uma determinada quantidade de gasolina. Por outro lado, os sistemas de injeção direta fazem uma medição do ar que entra na admissão e injetam, (existem várias formas, mas normalmente diretamente na câmara de combustão ou no coletor de admissão), uma quantidade de gasolina em proporção.

Contrariamente aos motores mais antigos, utiliza-se atualmente um controlador eletrónico para que seja possível otimizar todos os sistemas dos mesmos. A principal função deste controlador passa por fazer a gestão de todos os sistemas do motor, mais propriamente dos tempos de injeção e momentos de ignição. Para isso, este controlador utiliza os dados lidos nos sensores presentes no motor, como valores de carga e velocidade do motor. O controlador tem em sua memória informação para cada um destes conjuntos de valores, e comanda, através de uma cablagem, atuadores que irão alterar o comportamento do motor.

Associado ao controlador existe um esquema elétrico geral do Kart que trata da ligação entre o controlador propriamente dito e o motor, através de cabos elétricos.

1.1 Motivação

Com o objetivo de existir um maior controlo e uma melhor performance, o recurso à eletrónica nos motores de combustão interna, tem vindo a aumentar. A evolução tecnológica, mais propriamente na eletrónica digital, tem contribuído para diversas adaptações a motores mais antigos, bem como para melhorias constantes nos mais recentes. Através da utilização de, por exemplo, um ECU (*Electronic*

Control Unit), é possível fazer uma melhor gestão de combustível, aumentar a potência do motor, e garantir outras condições de funcionamento, que nos sistemas mais primórdios seria impossível.

1.2 Objetivos

Assim sendo, como objetivo final pretende-se implementar os sistemas de ignição e injeção eletrônicas no motor a 2 tempos *Suzuki* 125 TS e melhorar toda a estrutura e mecânica do Kart, de modo que este, com o motor já inserido, possa assumir-se como um Kart de competição. Esta implementação tem sobretudo como finalidade a otimização deste motor, garantindo-lhe maior potência, fiabilidade, menores consumos de combustível e conseqüentemente menores emissões de poluentes.

Posto isto, como objetivos para esta dissertação tem-se:

- Análise do funcionamento de um motor a 2 tempos a carburador, de forma a identificar o que é necessário substituir;
- Análise da evolução dos motores a 2 tempos, tanto a nível mecânico como eletrónico;
- Análise teórica da variação e evolução do integral do trabalho face a manipulações sobre o avanço de ignição;
- Desenho de um diagrama de ligações eletrónicas e eléctricas entre a ECU e o motor;
- Implementação da ECU, bem como a sua cablagem;
- Implementação dos componentes eléctricos e electrónicos;
- Melhorias e adaptações na parte mecânica do Kart;
- Criar condições de ligação entre a parte mecânica e eléctrica do Kart;
- Testes.

2. ESTADO DA ARTE

Em meados da década de 70 do século XIX, Nikolaus Otto tinha em sua posse a patente referente aos motores de 4 tempos de compressão prévia. No entanto, tendo sido publicados anteriormente vários estudos que propunham a compressão prévia, esta patente foi descontinuada.

A existência desta patente impossibilitava outros construtores de produzir motores a 4 tempos, o que os levou a partir do conceito de motor a 2 tempos com compressão prévia e desenvolvê-lo. Vários foram os nomes associados a este processo, tais como Dugald Clerk (Escócia), James Robson (Inglaterra) e Karl Benz (Alemanha). [1] Na Figura 1 pode observar-se uma ilustração do motor a 2 tempos desenvolvido por Clerk.

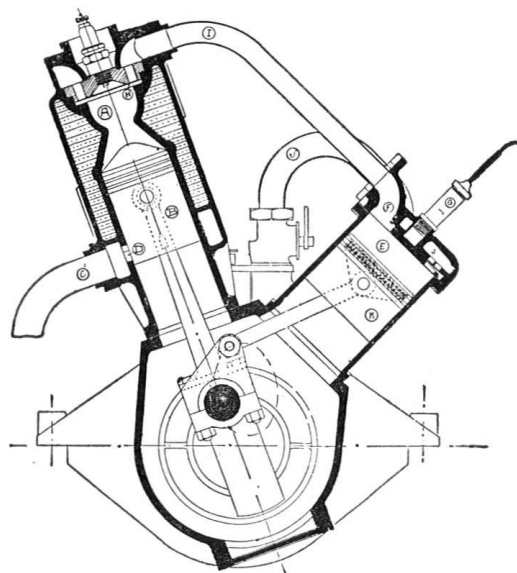


Figura 1. Ilustração do motor a 2 tempos desenvolvido por Dugald Clerk.[2]

2.1 Aplicações dos Motores ao longo dos anos

Uma das aplicações destes motores primitivos, por estranho que pareça, foi em veículos de grande porte, tais como aviões ou navios. [1] [3] Isto deveu-se à grande eficiência e rendimento que este tipo de motores apresentava quando comparados aos motores a 4 tempos. O funcionamento baseava-se na utilização de motores Diesel com pistões opostos, capazes de produzir potências extremamente elevadas, funcionando a velocidades bastante baixas, resultado de um tamanho bastante grande e um imenso comprimento dos cilindros. [1]

Em oposição a isto, a segunda área de aplicação foi em situações necessitadas de motores de pequeno porte, por exemplo em motorizadas (subcapítulo 2.4), corta-relvas, entre outros, dada a capacidade de produzir estes motores com baixo custo, com peso e dimensões reduzidas, tirando também proveito da grande potência. [1]

Direcionando o foco para os motores de aviões, a aplicação do conceito 2 Tempos Diesel já vem desde os anos 30. No final desta década, a *Junkers* desenvolveu um motor de pistões opostos muito bem-sucedido, denominado “JUMO 205” (Figura 2). [3] Este motor era constituído por 12 cilindros e 2 cambotas (estando então dividido em 6 cilindros na parte superior e os restantes na parte inferior), sistema de injeção direta e uma velocidade de 2000 rpm. [4]

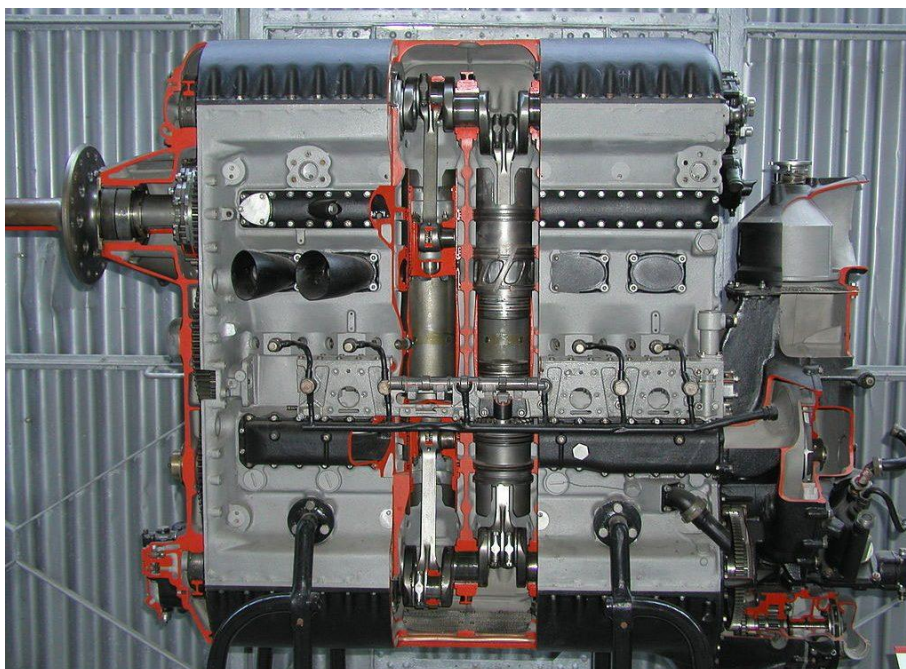


Figura 2. Motor “JUMO 205” da construtora Junkers. [5]

No caso dos aviões, o consumo de combustível é muito importante visto que este pode representar até 50% do seu peso. Posto isto, o motor “JUMO” foi um motor reconhecido devido à sua economia de combustível. Este motor Diesel conseguia esta eficiência principalmente devido ao seu ciclo a 2 tempos, levando a que as perdas por atrito ao longo do ciclo fossem reduzidas para metade quando comparado com um motor a 4 Tempos com o mesmo desenho de cambota, pistão e cárter. [3] Neste motor não existem válvulas de admissão nem de escape (Figura 3), sendo substituídas por janelas que são controladas pelo movimento do pistão e a lubrificação é feita segundo o princípio de cárter seco, através de uma bomba de pressão e uma outra de recolha, que aspiram o óleo do cárter inferior e forçam-no, através do sistema de arrefecimento, para o interior do depósito de óleo. [6]

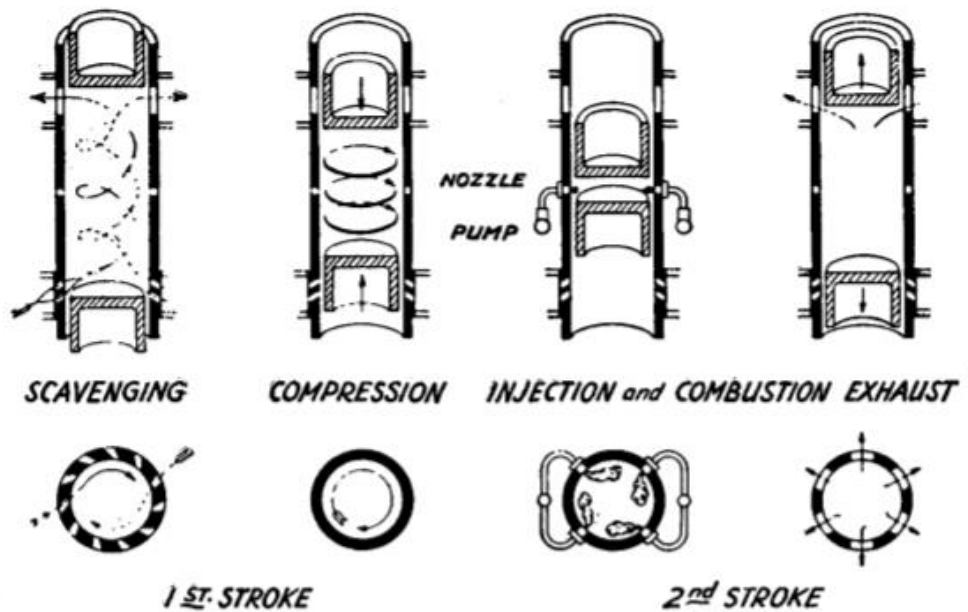


Figura 3. Funcionamento de um motor com o pistão a controlar a abertura e fecho das janelas. [6]

O “JUMO 205”, bem como outros motores Diesel, permite uma maior compressão comparado aos motores SI (*Spark Ignition*), que estão limitados pelo efeito “knock”. Para além disso, a gasolina com elevado índice de octano utilizada em aviação pode não estar sempre disponível, sendo que um motor Diesel pode queimar uma grande variedade de combustíveis e existe um menor risco de incêndio ou explosão, garantindo uma maior fiabilidade durante o voo, dada a ausência de problemas no controlo da mistura. Todas estas características fizeram do motor “JUMO 205” dos únicos motores Diesel a 2 tempos aplicados em aviões a ser produzido em série. [3]

Embora a potência específica produzida pelos aviões seja elevada, é tipicamente inferior quando comparada com a potência média de motores de automóveis atualmente comercializados. Tal acontece dada a grande necessidade de fiabilidade destes sistemas, o que faz com que sejam projetados de modo a melhorar a fiabilidade. Um dos fatores a ter em conta para tal é o funcionamento a baixas velocidades, o que por consequência diminui a potência. Para além disso, na maior parte das vezes a cambota do motor encontra-se diretamente conectada à hélice, o que é outro fator que condiciona a velocidade de funcionamento, estando estas obrigatoriamente relacionadas. [1]

Relativamente aos barcos, há uma grande distinção entre os motores utilizados em grandes embarcações, como os navios, e pequenos barcos. No caso dos navios, sendo estes motores de tamanhos extremamente grandes, é bastante importante que o rendimento dos mesmos seja o mais alto

possível, para tal são então utilizados motores a 2 tempos Diesel com elevado número de cilindros, com velocidades de funcionamento extremamente baixas, conseguindo um rendimento acima dos 50%. [1]

Quanto às pequenas embarcações, até há bem pouco tempo, eram também utilizados motores a 2 tempos denominados por motores fora de bordo (*outboard*). Apesar de existirem modelos com injeção, grande parte destes motores ainda utilizam carburadores, uma vez que assim não necessitam de bateria e o espaço que ocupam é menor em comparação com um sistema de injeção. Nestes motores os pistões trabalham na horizontal, ao contrário do mais normal em que estão na vertical [7]. Tendo isto em conta, todos os outros componentes irão alterar a sua posição, ou seja, a cambota e o veio de transmissão passam assim a estar na vertical. São assim uma solução compacta, com uma massa mais reduzida e um custo menor comparativamente a um motor equivalente a quatro tempos com funcionamento na horizontal. No entanto, tendo em consideração as questões ambientais levantadas recentemente, e sendo estes motores bastante poluentes, ocorreu a sua proibição num elevado número de locais. [1] Na Figura 4 encontra-se uma ilustração de um motor fora de bordo onde é possível visualizar os seus componentes.

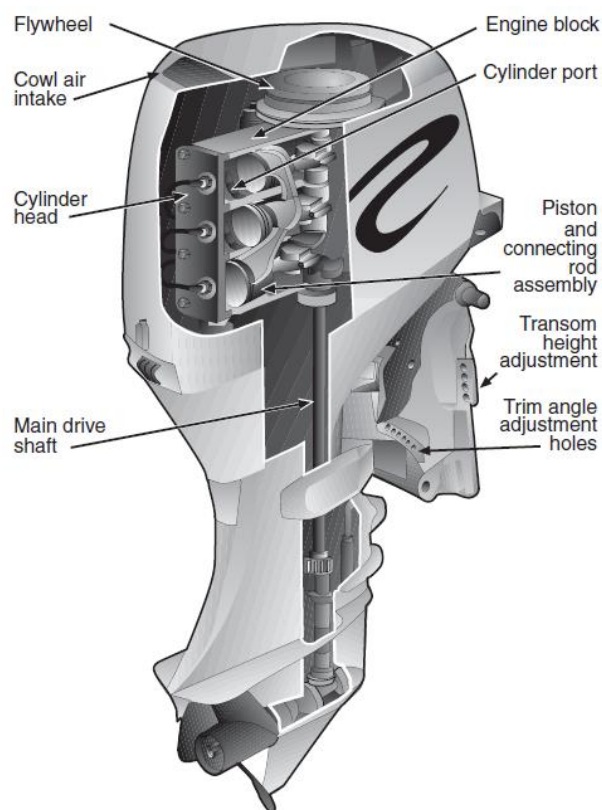


Figura 4. Ilustração de um motor outboard. [7]

2.2 Desenvolvimento dos Motores a 2 Tempos

Mais tarde, nas décadas 80 e 90 do século XX, o desenvolvimento dos motores a 2 tempos centrava-se na sua aplicação em motos e na tentativa de uso em carros. A maioria dos motores existentes até à data utilizavam carburadores, sendo que a sua aplicação em automóveis gerou a necessidade de introduzir o sistema de injeção direta, visto que este permite eliminar as perdas de combustível pela janela de escape (controlo da combustão), e a redução do consumo de combustível e emissão de poluentes. [1]

2.2.1 Injeção Direta

A injeção direta foi inventada pelos irmãos Niépce, sendo esta assistida por ar comprimido. [1] Como consequência da utilização deste tipo de sistemas em aviões durante a Segunda Guerra Mundial, o interesse da sua aplicação em carros foi aumentando. Assim, a *Mercedes-Benz* conseguiu aumentar 14% da potência num motor de automóvel e reduzir o consumo de combustível. Tanto esta empresa como a Bosch apostaram em desenvolver este sistema. Esta evolução levou a que alguns construtores, face à crise pós-guerra que se vivia, criassem os apelidados “*bubble cars*”, que eram veículos pequenos, dotados de motores a 2 tempos, semelhantes aos das motos, tendo ocorrido aqui umas das primeiras aplicações do sistema de injeção direta em motores a 2 tempos, nomeadamente nos carros de 1951 das marcas *Goliath* e *Gutbrod*. [8] [1] Era uma solução barata e sem grande complexidade.

A título de curiosidade, pode ser observada na Figura 5, uma ilustração do *GOLIATH GP700*, um dos mais famosos “*bubble cars*”.

No entanto, o desenvolvimento destes modelos revelou-se bastante dispendioso e ruidoso no caso de ser adotado em motores a 4 tempos, bem como em veículos de uso recorrente. Estes fatores não invalidaram o seu uso em carros desportivos ou de competição, o que prova a sua capacidade e possibilidade de obter boas prestações de funcionamento. [1]



Figura 5. Ilustração de um GOLIATH GP700. [9]

2.2.2 Motor FAST da PIAGGIO

A *PIAGGIO* foi a primeira construtora a conseguir desenvolver um sistema de injeção direta em motores a 2 tempos que foi produzido e comercializado em massa, aplicado especificamente em motores de motorizadas de pequena capacidade. Este sistema denominado de FAST (*Fully Atomized Stratified Turbulence*), apresentava-se como sendo completamente mecânico e necessitando de auxílio por parte de um sistema de bomba externa de ar comprimido, conectada à cambota através de uma correia dentada, de modo a conseguir manter a capacidade de vaporização completa do combustível. [8]

O FAST (Figura 6), tendo como um dos requisitos a não utilização de componentes eletrônicos, utilizou para o controlo da injeção uma válvula de tulipa controlada por um mecanismo de mola, que apenas permitia a abertura quando atingida uma determinada pressão, sendo a mistura ar/combustível injetada diretamente na câmara de combustão através da cabeça do cilindro. [10]

Este sistema permitiu dar resposta a alguns dos problemas mais frequentes nos motores a 2 tempos, sendo estes a fiabilidade, eficiência e emissões.[8] Para além desta companhia, outras tentaram também a inovação deste sistema, como é o caso da *ORBITAL* apresentado de seguida, que não só desenvolveu a parte relativa ao sistema de injeção como os restantes componentes do motor.

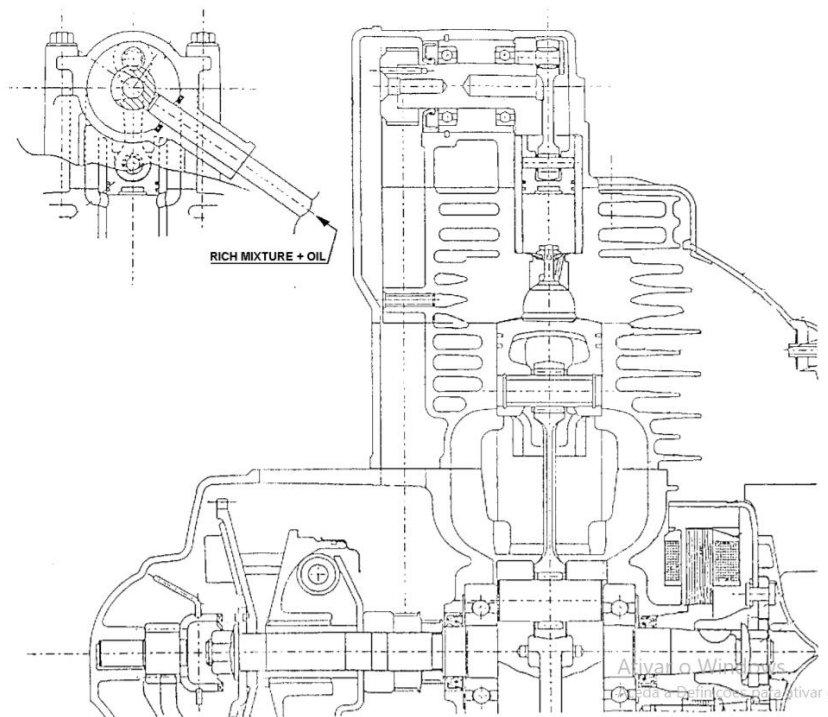


Figura 6. Desenho do sistema FAST da Piaggio. [8]

2.2.3 Aplicação de Injeção Direta em Motores a 2 Tempos – *ORBITAL*

A injeção direta em motores a 2 tempos caracteriza-se pela inserção do combustível na câmara de combustão durante o processo de compressão, ou seja, após o fecho da janela de escape. Foi a empresa *ORBITAL* (Australiana), que desenvolveu este sistema para aplicação em motores a 2 tempos, caracterizado por um funcionamento a altas pressões, assistido por ar comprimido o que promovia a rapidez do processo de vaporização do combustível. Sendo a injeção feita no interior da câmara de combustão, os injetores teriam ainda de suportar as elevadas temperaturas do processo de combustão. [1]

Este construtor baseou-se num motor fora de bordo de 3 cilindros da *Suzuki* [11], em que modificou a injeção para direta e pneumática. Assim, melhorou o consumo de combustível, baixou as emissões, vibrações e aumentou o rendimento do motor. Na Figura 7 é possível observar um esquema do motor a 2 tempos desenvolvido pela *ORBITAL*.

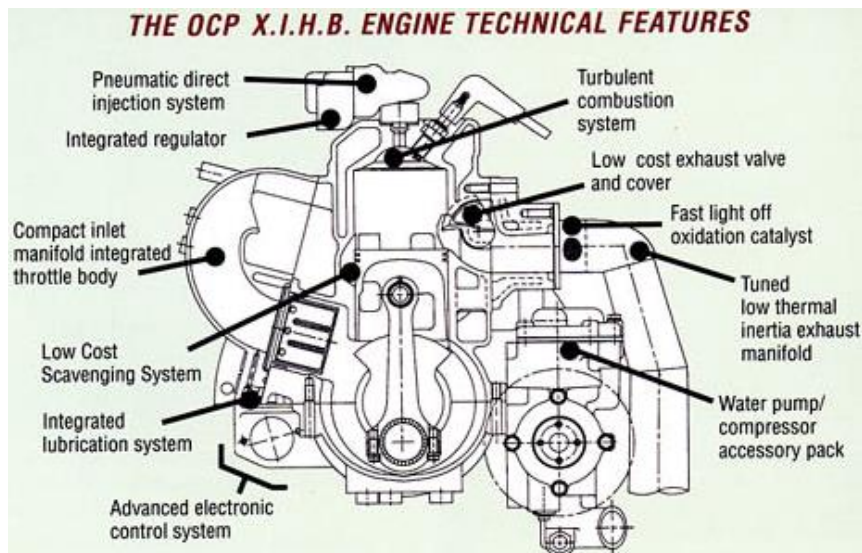


Figura 7. Esquema do motor a 2 tempos desenvolvido pela ORBITAL. [12]

2.2.4 Desenvolvimentos por parte de vários Construtores

Inspirada pelos progressos conseguidos pela *ORBITAL*, a *Jaguar* procurou também aplicar esta tecnologia aos seus veículos. Como tal, e tendo como inspiração o motor anteriormente ilustrado, esta empresa desenvolveu um motor de 6 cilindros em linha munido de um turbocompressor (Figura 8). Não tendo sido uma tecnologia bem-sucedida face aos resultados esperados, serviu como veículo de desenvolvimento para os motores desenvolvidos posteriormente por este construtor. [13]

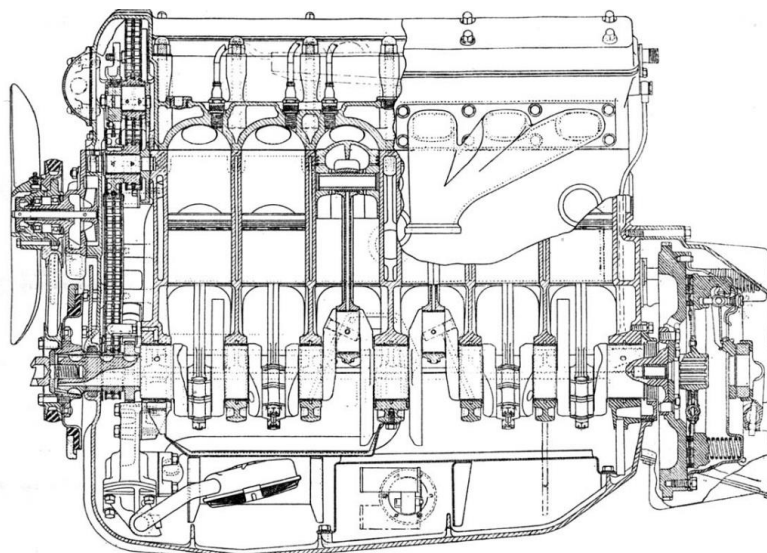


Figura 8. Motor Jaguar XK com 6 cilindros. [14]

Em paralelo com a *ORBITAL*, outros construtores optaram também por desenvolver motores a 2 tempos, como foi o caso da *Lotus* e da *Toyota*. No entanto, estes preferiram recorrer ao método de lubrificação convencional e sem janelas, de modo a aproximar o nível de ruído, vibrações e longevidade ao modelo de 4 tempos. Tal aconteceu porque os principais problemas de longevidade dos motores a 2 tempos, provêm dos seus rolamentos e principalmente dos cilindros com janelas que geram um desgaste prematuro dos segmentos e dos pistões. [1]

Tipicamente, em motores dotados de cárter de óleo, existe um conjunto de chumaceiras hidrodinâmicas planas que, quando conjugadas com um sistema de lubrificação sob pressão, levam a um coeficiente de atrito bastante baixo e carga de potencial muito elevada, enorme durabilidade, ruído baixo e um preço bastante reduzido. [1]

No caso dos tradicionais motores a 2 tempos em que o cárter é utilizado como bomba para a lavagem, não existe a possibilidade da lubrificação ser feita por pressão de óleo, tornando-se impossível utilizar este tipo de chumaceiras, sendo utilizados rolamentos entre a biela e a cambota, fator que afeta diretamente o nível de ruído e a durabilidade. [1]

No caso da *Toyota*, o modelo desenvolvido consistiu num motor a 2 tempos composto por 6 cilindros, com recurso a injeção direta, mas utilizando uma árvore de cames dupla com 4 válvulas por cilindro. [15] Este sistema era dotado de um compressor que forçava ar pressurizado a entrar pelas válvulas de admissão, expulsando assim os gases resultantes da combustão. Não sendo este motor mais leve ou mais simples que um motor a 4 tempos equivalente, este permite um funcionamento mais suave. Para que se perceba, um motor a 2 tempos com 6 cilindros apresenta o mesmo número de explosões do que um motor a 4 tempos com 12 cilindros. Para além disso, é capaz de produzir maior potência e binário a rpm mais baixas no geral. [15]

Quando feita uma análise ao motor da *Lotus*, percebe-se que este era o que menos se assemelhava aos desenvolvidos na mesma altura. Assim, a única particularidade que partilhava com os outros motores era o uso de injeção direta. Este construtor acreditava que um motor a 2 tempos convencional, em que a lavagem é feita com o auxílio do efeito do movimento do pistão através de janelas nos cilindros e da utilização de rolamentos nas bielas, não conseguia garantir longevidade aceitável. [16]

A *Lotus* considerou que toda a estrutura abaixo da culassa de um motor a 4 tempos apresentava um grande leque de vantagens, tais como a longevidade e a possibilidade de utilizar jatos de óleo para lubrificação e arrefecimento dos pistões, tornando-se um ponto de partida para a construção do seu motor a 2 tempos. Este novo conceito implicava o uso de uma bomba de lavagem externa (compressor,

por exemplo), que embora tornasse o produto final mais caro, permitia variadas soluções de lavagem. [16]

A *Lotus*, que inicialmente se apoiava na lavagem por laço invertido, optou por estudar a aplicação da lavagem do tipo unidirecional (explicada mais à frente), por acreditar que este era método mais eficiente no que toca à exaustão dos gases e à reduzida probabilidade de encontro de gases frescos e gases queimados. [16] Para otimizar este funcionamento, ainda durante a década de 90, começaram a ser desenvolvidas as válvulas rotativas (Figura 9) [16].

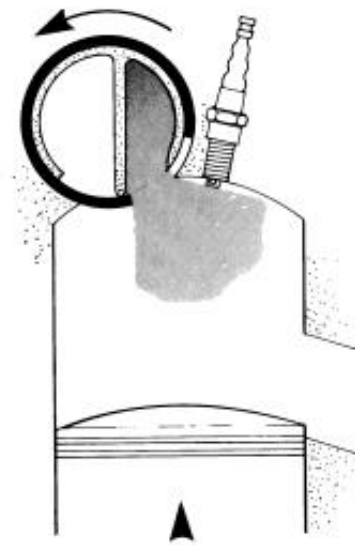


Figura 9. Exemplo de funcionamento de uma válvula rotativa aquando do momento de injeção de ar e combustível. [16]

Como consequência desta complexidade no desenvolvimento dos motores a 2 tempos, a simplicidade que tanto os caracterizava deixou de existir. A complexidade imperava, com sistemas de injeção necessitados de ar comprimido para aperfeiçoar a mistura (auxílio de compressores exteriores), com válvulas na culassa para garantir que existia óleo no cárter e ainda casquilhos hidrodinâmicos. Tudo isto fazia acumular desvantagens, tendo sido as maiores a redução da velocidade de rotação para metade da dos motores a 4 tempos, uma vez que a árvore de cames roda à mesma velocidade da cambota, e a dificuldade de controlo da lavagem dada a utilização das válvulas. [1]

A ideia que os carros com motores a 2 tempos se iam perpetuar acabou por não ser sustentada, e só existiu um modelo do veículo a ser vendido na Austrália. Apesar disso, todo este estudo e desenvolvimento resultaram em avanços e melhorias dos motores a 4 tempos, estes sim aplicados em carros até aos dias de hoje. Na Figura 10, à esquerda pode-se ver o motor *Genesis* fabricado pela *ORBITAL*, que foi aplicado no carro *TheECOsport*, veículo comercializado na Austrália. [17]



Figura 10. À esquerda o motor Genesis da ORBITAL e à direita o veículo TheECOsport. [17]

Já nos anos 2000, paralelamente a este desenvolvimento a *Lotus* e a *Jaguar* dedicaram-se a um conceito diferente, ao qual chamaram OMNIVORE. Este conceito consistia essencialmente na variação da taxa de compressão (TC) com injeção direta, variação do fluxo de gases de escape e ar de admissão (Fig. 1.7). Assim, a variação da TC maximiza a eficiência termodinâmica, a válvula de escape permite uma variação da quantidade de gases que sai, a injeção direta faz com que o combustível injetado a altas pressões seja mais evaporado e assim completamente queimado. Isto faz com que haja uma redução na emissão de hidrocarbonetos. Assim para uma carga mínima a TC será máxima com valores que rondam os 40:1, enquanto quando a TC é mínima estes valores andam pelos 8:1. [18] Na Figura 11 encontra-se uma modelação do motor OMNIVORE.

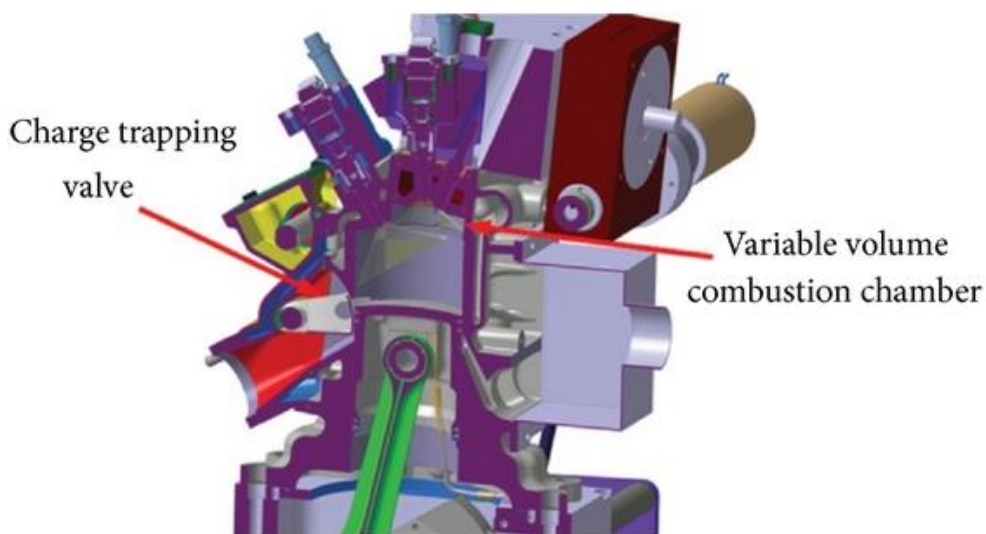


Figura 11. Motor desenvolvido pela Lotus e Jaguar: OMNIVORE. [19]

Aquando do desenvolvimento do OMNIVORE (motor a 2 Tempos), foi concebida uma válvula de escape oscilante que controla a abertura e fecho da janela de escape (Figura 12), sendo cada rotação da cambota correspondente a um ciclo do movimento desta válvula. A abertura e fecho do escape são controlados pelo movimento ascendente e descendente, respetivamente. Tanto o movimento oscilatório como o ângulo de oscilação podem ser controlados independentemente, o que permite afinar os momentos de abertura e fecho da válvula. [20]

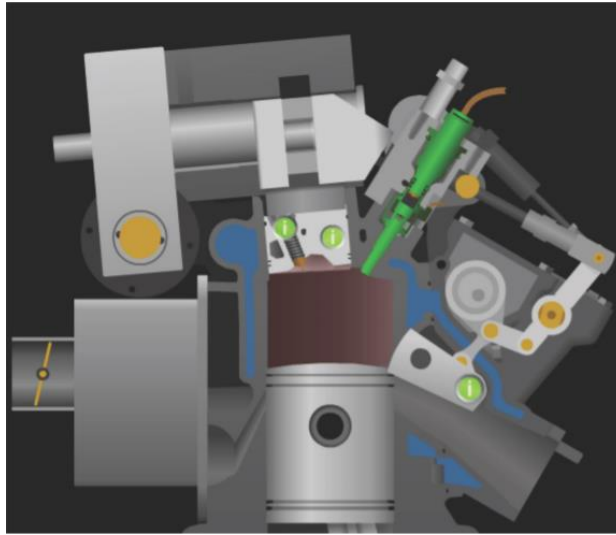


Figura 12. Válvula de escape desenvolvida pela Lotus no motor OMNIVORE. [20]

Mais recentemente, em 2014, a *Renault* anunciou o desenvolvimento do motor a 2 tempos *POWERFUL* Diesel (Figura 13). Após anos de estudo e desenvolvimento à volta dos motores 4 tempos, este anúncio foi uma surpresa pelo facto do *POWERFUL* ser a 2 tempos, de 2 cilindros, a ignição por compressão e a combustão homogénea a baixa temperatura (LTHC).

O seu protótipo apresenta uma cilindrada de 730cc e uma tecnologia que recorre a um compressor exterior para sobrealimentação quando o motor funciona a baixas rotações, e um turbo-compressor composto por uma turbina, que retira energia dos gases de escape e a fornece à admissão, comprimindo-os, quando o motor trabalha a elevadas rotações. [21] Em relação à injeção, esta é feita a elevadas pressões e fornecida pelo um sistema *common-rail* de última geração. O aumento de eficiência proveniente da utilização de um ciclo a 2 tempos apresenta ainda outros benefícios: um motor mais compacto, com uma massa cerca de 40 kg menor (metade do volume dada a utilização de apenas 2 cilindros), fazendo com que este seja ótimo para utilização em veículos de pequeno porte. [21] Pouco mais se sabe sobre este motor, visto que este continua a ser desenvolvido até aos dias de hoje.

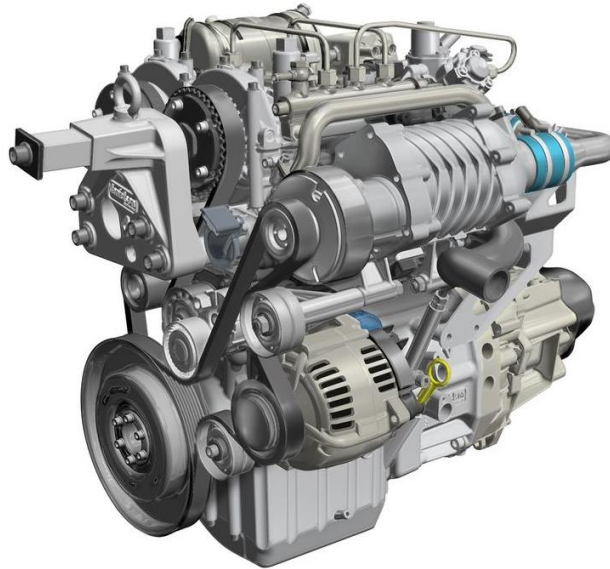


Figura 13. Motor Renault POWERFULL a 2 tempos. [21]

2.3 Características dos Motores a 2 Tempos

São vários os fatores a ter em conta quando o objetivo é classificar um motor a 2 tempos, desde o tipo de lavagem, geometria das janelas, modelo de escape e muitos outros. Posto isto, ao longo deste capítulo são referidos vários parâmetros a ter em conta, bem como comparações da utilização de certos componentes, tratando-te de um motor a 2 Tempos o de um motor a 4 Tempos, e o que isso implica.

2.3.1 Potência Específica

Partindo para um estudo teórico dos motores em geral, uma das variáveis mais relevantes é a potência. No entanto, apenas o valor da potência não permite fazer uma avaliação totalmente correta do desempenho de um motor. Sendo a potência uma variável dependente de especificações do motor, tais como o número de cilindros, tempos do motor e da cilindrada, é necessário efetuar a sua avaliação mediante a sua potência específica, que engloba todas estas variáveis. [1]

Esta potência específica pode ser calculada através da equação que se segue [1]:

$$\dot{W}_a = pme \frac{v_{med}}{T} nA_p \quad (1)$$

Desta equação resulta a potência específica (\dot{W}_a), em função da pressão média efetiva (pme), (definida como o trabalho efetuado por unidade de volume varrido do motor), da velocidade média do

pistão (v_{med}), o número de tempos do motor (T), o número de cilindros (n) e, por último, a área projetada de um pistão (A_p). [1]

2.3.2 Motores a 2 Tempos VS 4 Tempos

Considerando apenas esta última variável, pode verificar-se que, para dois motores com todas as mesmas características exceto o número de tempos do motor, o motor a 2 tempos terá obrigatoriamente de tirar o dobro da potência específica quando comparado a um motor a 4 tempos. Assim assume-se que a potência específica é inversamente proporcional ao número de tempos de um motor, tendo o motor a 2 tempos, teoricamente, capacidade para ser mais potente que um a 4 tempos com a mesma cilindrada.

A justificação para este fenómeno provém do facto de que num motor a 2 tempos, o processo de expansão ocorre a cada volta da cambota, enquanto num motor a 4 tempos esta acontece apenas a cada duas voltas da cambota.

O facto de ocorrer uma explosão a cada volta da cambota, relaciona-se diretamente com o funcionamento de um motor a 2 tempos, nomeadamente com o facto de não existir segregação entre as diferentes fases do ciclo do motor, ou seja, tanto a combustão como a expansão e o escape ocorrem simultaneamente. Isto faz com que este tipo de motores apresente mais dificuldades a nível de controlo do seu funcionamento, principalmente no que toca ao processo de lavagem.

2.3.3 Processos de Lavagem

Neste processo, o funcionamento ideal faria com que os gases queimados e os gases frescos nunca se misturassem e pudessem ser segregados, no entanto isto raramente se consegue, acontecendo por vezes tanto os gases frescos saírem pelo escape, como os queimados ficarem retidos no interior do cilindro, o que pode gerar consumos mais elevados, emissão de gases poluentes e ainda combustões lentas e incompletas. Considera-se assim o aprimoramento do processo de lavagem como dos fatores mais importantes quando se tem como objetivo alcançar uma excelente eficiência de funcionamento. [1]

Uma das formas de classificar os motores a 2 tempos pode ser então o seu processo de lavagem, existindo 3 tipos consideráveis:

- Lavagem transversal;
- Lavagem unidirecional;
- Lavagem em laço.

Lavagem Transversal

Relativamente à lavagem transversal (Figura 14), este processo serviu como base para o desenvolvimento dos restantes, visto que foi o primeiro a ser desenvolvido e a se estabelecer como norma no desenvolvimento destes motores, tendo posteriormente deixado de ser empregue. De uma forma resumida, o seu funcionamento caracteriza-se por existirem janelas de admissão e escape colocadas frente a frente em lados opostos do cilindro. Em conjunto com isto, o pistão possui um defletor na sua face superior que, quando este atinge o ponto de abertura das janelas, faz com que os gases frescos sejam direcionados para o topo do cilindro evitando assim a saída direta pela janela de escape, e fazendo a sua disposição correta para o processo de combustão. Este movimento é também responsável por forçar os gases queimados a serem expelidos.

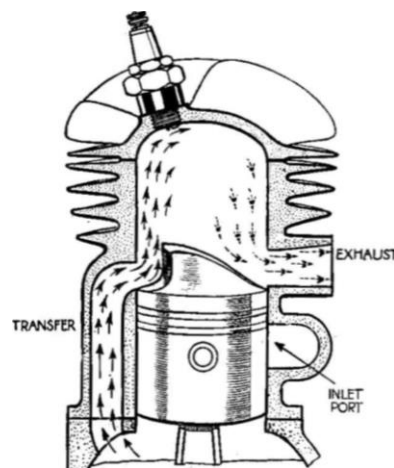


Figura 14. Representação esquemática do processo de lavagem transversal. [22]

Lavagem Unidirecional

No caso da lavagem unidirecional, esta revela-se como a lavagem mais eficiente, sendo tipicamente aplicada em motores Diesel de grande dimensão. Contrariamente aos outros tipos de lavagem, em que a entrada e saída dos gases são feitas aproximadamente na mesma posição do pistão, na lavagem unidirecional a entrada e saída destes ocorre em localizações diferentes do cilindro. [1]

Normalmente existem janelas de admissão à volta de toda a base do cilindro e válvulas de tulipa no seu topo onde ocorre o escape (Figura 15). Da mesma maneira, a direção do fluxo dos gases pode ser invertida, ou seja, a admissão ser feita pelo topo e o escape pelas janelas situadas na parte inferior. [1]

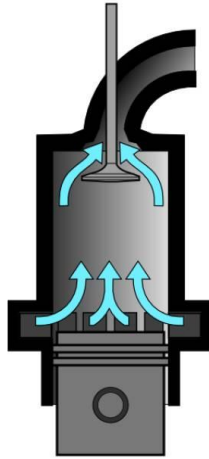


Figura 15. Representação esquemática do funcionamento da lavagem unidirecional, com válvulas de escape no topo e janelas de admissão na base. [23]

Este tipo de lavagem consegue ser mais eficiente que os demais, nomeadamente em cilindros mais altos e estreitos, pois consegue-se que quase não ocorra mistura dos gases queimados e frescos possibilitando uma remoção quase perfeita. Tipicamente as condutas e janelas de admissão apresentam-se inclinadas o que garante que os gases se desloquem rotacionalmente, aumentando assim a turbulência e melhorando a lavagem. Esta lavagem é desempenhada utilizando compressores exteriores ao motor. [1]

Para além dos dois métodos de funcionamento deste tipo de lavagem enunciados anteriormente, existe um terceiro aplicado a motores de pistões opostos. Este sistema elimina a existência de válvulas, substituídas unicamente por janelas radiais nas duas bases do cilindro, sendo um dos pistões responsável por comandar a janela de admissão e o outro a janela de escape, estando o último avançado em relação ao responsável pela admissão. [1] Ao visualizar a Figura 16 é possível compreender as diferenças de funcionamento deste método e do anterior mencionado.

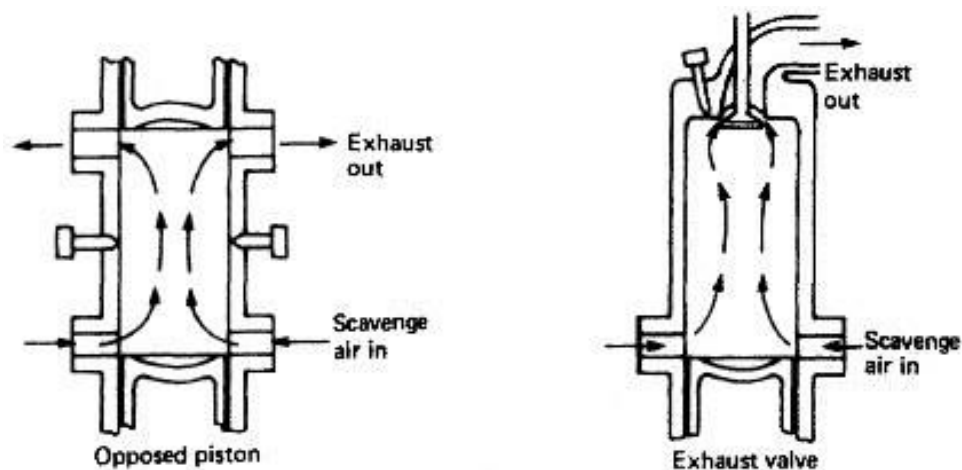


Figura 16. Lavagem unidirecional: do lado esquerdo com recurso a pistões opostos e do lado direito o método mais utilizado. [24]

Lavagem em Laço

Por fim, como referido previamente existe a lavagem em laço. Esta é a mais utilizada em motores a 2 tempos a gasolina - principalmente quando aplicados em motos - e revela-se mais eficiente do que a lavagem transversal.

Os motores que possuem este tipo de lavagem são munidos de várias janelas de admissão distribuídas radialmente, estando algumas na direção oposta à janela de escape, e daí denominar-se de “laço”. [1] Na Figura 17 é possível visualizar a orientação do fluxo aquando da lavagem em laço.

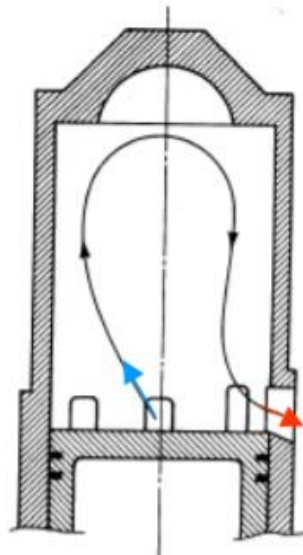


Figura 17. Ilustração do funcionamento da lavagem em laço. [25]

Como já foi referido, nos anos 90 eram vários os construtores a desenvolver variados desenhos de motores a 2 tempos. Deste estudo e posterior desenvolvimento, de modo a garantir uma maior

longevidade dos segmentos e pistões nos cilindros, surgiu a lavagem de laço invertido. Para garantir essa longevidade e empregar este método de lavagem, era necessário eliminar as janelas e substituí-las por válvulas tipo 4 tempos alocadas na culassa, e excluir a compressão de cárter utilizando compressores externos. Foi aqui que a simplicidade e baixo custo dos motores a 2 tempos começou a ficar comprometida. [1]

Estes motores tinham na sua constituição duas válvulas de admissão e duas válvulas de escape. Para dar início à lavagem, primeiramente abriam-se as válvulas de escape e só depois as de admissão, daí adotar o nome de lavagem em laço invertido (Figura 18). As válvulas de escape fechavam-se antes das de admissão, o que possibilitava a sobrealimentação do motor. Estes motores acabaram por nunca ser comercializados, pois apesar de apresentarem um elevado binário, tinham um potência demasiado baixa, estando a velocidade máxima limitada às 4000 rpm. [1]

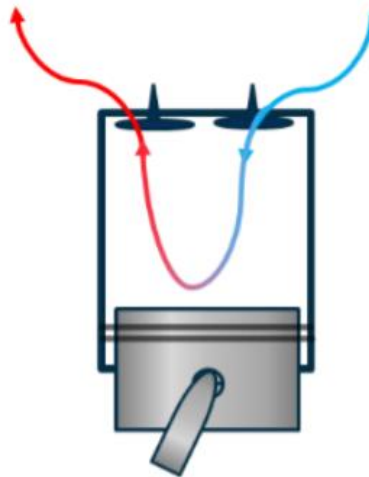


Figura 18. Ilustração do funcionamento da lavagem em laço invertido.[26]

2.3.4 Escape Divergente-Convergente

Existem várias eficiências de lavagem e um dos factores que as influencia diretamente é o modelo/desenho do escape. Um dos marcos na evolução dos motores a 2 tempos foi a criação de um escape divergente-convergente, que tal como o próprio nome indica, é constituído por um segmento divergente e outro convergente que se encontram ligados através de tubos cilíndricos. [1] Na Figura 19 encontram-se ilustradas estas duas secções, primeiramente a divergente e depois a convergente.

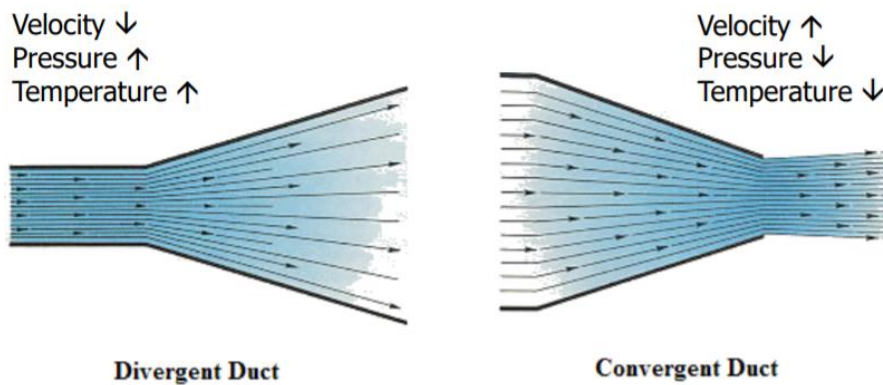


Figura 19. Ilustração das duas secções existentes neste modelo de escape: à esquerda a divergente e à direita a convergente. [27]

Como é possível visualizar na Figura 19, quando se dá o aumento da secção divergente, ocorre um abaixamento progressivo de pressão, que é estendido ao cilindro. Isto permite que os gases sejam expelidos do cilindro com maior facilidade. Por outro lado, quando os gases passam pela a secção convergente dá-se um aumento de pressão que é transmitido à janela de escape aquando do seu fecho. [1]

Quando esta sobre-pressão é sentida na janela de escape, os gases frescos que estavam a sair invertem o sentido do seu fluxo, juntando-se àqueles que já se encontravam no cilindro. Assim evita-se a perda de gases que sairiam não queimados e é originada uma sobrealimentação. [1]

Este desenho faz com que, num pequeno intervalo de velocidades, exista um enchimento exímio o que leva a que o motor apresente um elevado binário. Assim, tipicamente os construtores desenham os escapes para que este ponto de enchimento ocorra perto da velocidade máxima do motor e assim elevando o valor da potência máxima. De modo contrário, quando o escape não se encontra atuado o binário será bastante mais baixo, o que cria um alto contraste entre estes dois modos de funcionamento. [1]

2.3.5 Compressão do Cárter

Grande parte dos motores com lavagem transversal e em laço utiliza o próprio cárter como compressor, de forma a não recorrer a compressores exteriores e reduzir a complexidade e custos associados. Esta opção leva a que, a original função do cárter seja eliminada e surjam desvantagens tais como [1]:

- nenhum dos convencionais sistemas de lubrificação é aplicável;
- têm se ser implementados rolamentos entre os vários componentes;

- a lubrificação é conseguida por óleo perdido (óleo usado que é queimado ou sai pelo escape), o que aumenta a emissão de poluentes;
- entres outras.

Normalmente, esse óleo é adicionado/misturado à gasolina numa proporção de mais ou menos 2%. No entanto, antigamente o normal seria ir-se até aos 5% e como resultado surgiam muitos cheiros, fumo e uma rápida deterioração das velas. Na Figura 20 é possível visualizar o funcionamento do cárter como compressor.

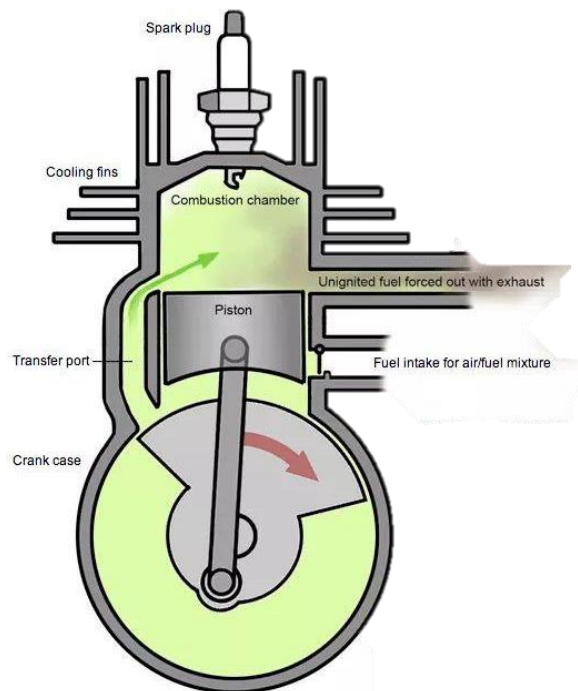


Figura 20. Funcionamento do cárter – crankcase – como compressor. [28]

Um dos grandes problemas associados a motores que utilizam o cárter como compressor, é o retorno da mistura ao carburador. Tal acontece pois, a janela tanto fecha como abre à mesma distância de PMI (Ponto Morto Inferior). Para mitigar este efeito, pode usar-se um válvula rotativa ao cárter (Figura 21). [1]

Assim, quando se trata de motores de pequena dimensão, a válvula rotativa faz parte da cambota, sendo esta oca com um orifício fazendo a ligação do carburador ao cárter. No que toca a motores de maiores dimensões, esta válvula apresenta-se como um disco provido de uma secção cortada, controlando assim a abertura e fecho do cárter. Este disco faz com que, tanto a abertura como o fecho do cárter ocorram antes da abertura e fecho da janela da admissão, respetivamente. [1]

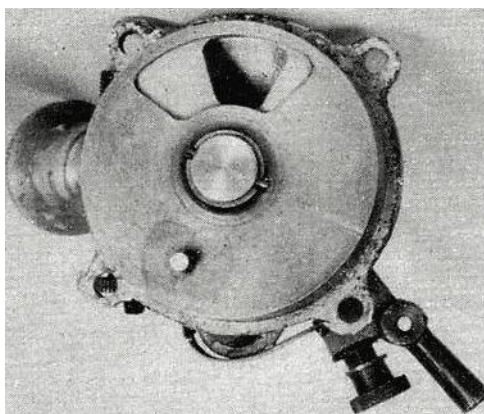


Figura 21. Válvula rotativa ao cárter. [29]

Outra solução para evitar o retorno da mistura ao carburador, passa pela utilização de válvula de lamelas. O seu funcionamento, baseia-se na existência de uma diferença de pressões entre o carburador e o cárter, abrindo apenas quando este diferencial for negativo, anulando assim a passagem de mistura para o carburador. Este sistema permite que a mistura entre no cilindro a qualquer ângulo de abertura, sendo a única desvantagem a introdução de uma perda de carga. Para além disto, esta válvula adapta-se autonomamente, abrindo durante mais ou menos tempo mediante a velocidade do motor. [1] Na Figura 22 encontra-se uma representação esquemática do funcionamento de válvula de lamelas quando aplicado num motor a 2 tempos.

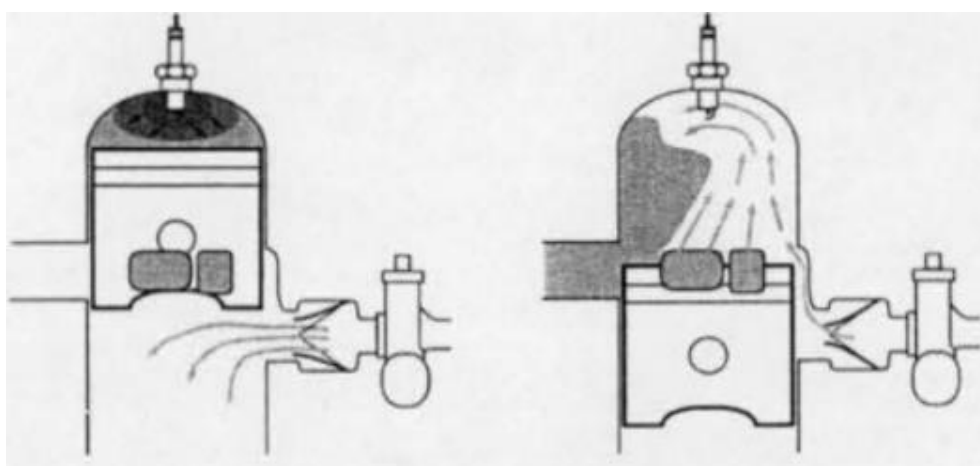


Figura 22. Representação esquemática do uso de lamelas num motor a 2 tempos. [1]

À semelhança da admissão, também o escape é dotado de abertura e fecho da janela à mesma distância de PMI, tendo sido desenvolvidos sistemas de modo a controlar o momento desta abertura e fecho. [1]

Como já foi referido anteriormente, a *Lotus* desenvolveu uma válvula de escape oscilante, sendo possível observar a sua representação gráfica na Figura 12. Atualmente, a maior parte dos construtores utiliza uma válvula de escape desenvolvida a partir da inventada pela *Yamaha* denominada YPVS (*Yamaha Power Valve System*), que consiste numa válvula rotativa responsável por fazer a abertura e fecho da janela de escape. Esta permanece estática ao longo dos ciclos do pistão, variando apenas a sua inclinação, que por sua vez é responsável por determinar a posição de abertura e fecho do topo da janela (Figura 23). [1]

A velocidades mais baixas, a válvula encontra-se numa posição mais fechada, fazendo com que a janela abra e feche numa posição mais abaixo, proporcionando um menor consumo e maior binário, enquanto que a altas velocidades, a válvula sobe, fazendo com que a janela de escape se encontre aberta durante mais tempo, aumentando a potência. [1]

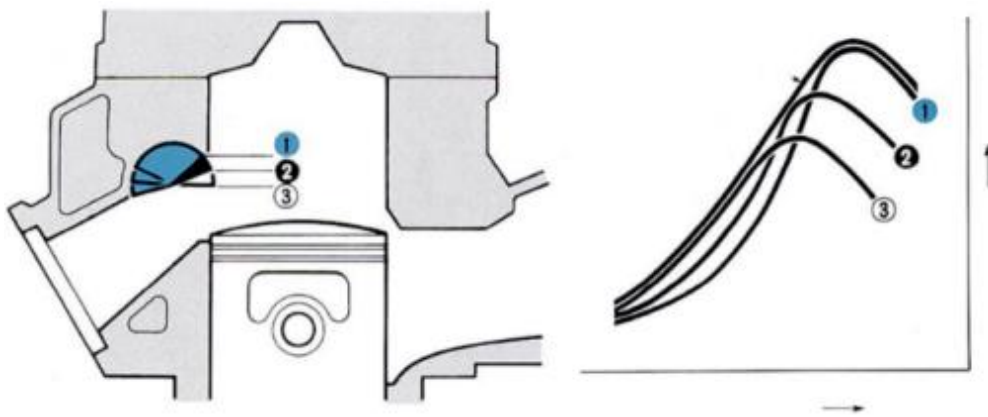


Figura 23. Ilustração do sistema YPVS, onde se destaca a azul a válvula referida. [30]

Apesar da válvula do tipo YPVS poder alterar a sua posição, esta mantém-se estática ao longo do ciclo do pistão. Foi idealizada em 2016 pelo Engenheiro Jorge Martins um sistema em que uma válvula rotativa semelhante à anterior (Figura 24) , gira à frequência do motor, permitindo alterar a posição de abertura e fecho da janela de escape durante cada rotação do motor. Isto permitirá a sobre-expansão no motor ou que a janela de escape fecha antes da de admissão, o que permite uma sobre-alimentação. [1]

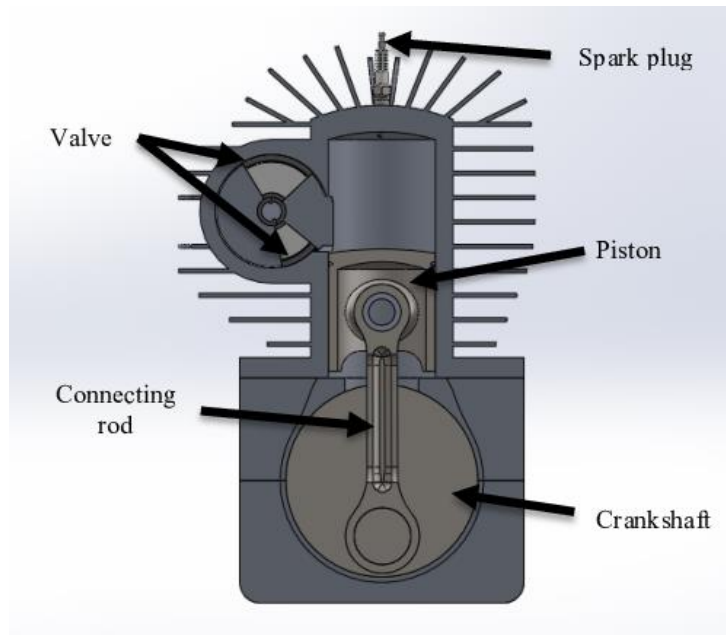


Figura 24. Válvula rotativa desenvolvida pelo Engenheiro Jorge Martins em 2016. [20]

2.3.6 Catalisador de Triplo Efeito

O controlo e os crescentes limites impostos em relação às emissões de poluentes, ditaram o fim do desenvolvimento de motores a 2 tempos. No caso dos motores a 4 tempos, estes utilizam um catalisador de triplo efeito alocado no escape, que consegue eliminar até 98% dos poluentes desde que a mistura seja estequiométrica.[1]

Este processo seria impraticável no que toca aos motores a 2 tempos, uma vez que existiria sempre mistura fresca a sair pelo escape, sem nunca ter passado pelo processo de combustão. Assim, “os gases queimados são “lavados” por ar puro, os gases de escape ficam diluídos, o que impossibilita a redução dos níveis de NOx nos catalisadores de triplo efeito” [31]. Resumidamente, a utilização deste tipo de catalisador, em motores a 2 tempos, não é possível devido às eficiências de lavagem.

2.3.7 Avaliação da Estequiometria

A estequiometria, em motores dotados de injeção direta, é impossível de ser medida através dos gases de escape, dado que, aquando do momento de admissão, existe sempre uma certa quantidade de ar sem combustível que passa para o escape. Isto faz com que não exista um rácio constante da mistura (ar+combustível), que permita esta medição. [1]

Assim sendo, através dos gases de escape não é possível verificar a qualidade da mistura e o consequente funcionamento do motor. Neste caso, quando se refere à estequiometria, será sempre relativamente à mistura e não aos gases de escape.

No caso dos motores a 2 tempos com carburador, o instrumento de análise mais frequente, para verificar o seu funcionamento, é a análise da vela de ignição. De uma forma sucinta, para este exame deve-se atentar em três cores: branco, cinza e negro. Quando a vela tem uma cor mais próxima do esbranquiçado, quer dizer que o combustível está em falta e portanto a mistura é pobre, ou até mesmo indicar a fraca qualidade do combustível. [32] No caso da sua cor ser mais acizentada, significa uma mistura ideal. Por último, se a cor da vela for negra, a mistura em causa está muito rica. No entanto, a cor das velas poderá ser afetada, não só pela mistura, como pela qualidade do combustível, tal como já foi dito, problemas associados ao filtro e da percentagem de óleo. [32], [33]

Quando ao invés de se utilizar carburador, se usa injeção, esta análise a partir da vela torna-se bastante mais complicada, levando a que seja constante o exercício de retirar a vela, observá-la, limpá-la e voltar a colocá-la, sendo esta análise feita em diferentes condições de funcionamento.

A utilização de uma sonda lambda, embora bastante mais difícil, é possível quando o motor é dotado de carburador. Neste caso, a mistura que passa para o escape possui sempre uma dada quantidade de combustível o que permite a utilização deste método de medição.

Esta sonda está impregnada de elementos catalíticos que promovem a oxidação, sendo capaz de queimar uma parte da mistura ainda não queimada proveniente dos gases de escape. Quando este fenómeno é bem executado, conseguem por vezes obter-se bons resultados.

A partir desta ferramenta de medição é possível conhecer se a mistura é rica ou pobre. No primeiro caso, uma vez que existe muito pouco oxigénio nos gases de escape, a diferença entre a concentração deste nos gases interiores e exteriores será notória, o que gera uma tensão entre os elétrodos. No caso contrário, dado que o teor de oxigénio nos gases de escape é mais elevado, deixa de existir esta diferença de potencial e consequentemente a tensão elétrica é praticamente inexistente. [1]

2.3.8 Fenómeno “Knock”

Apesar de nos motores a 2 tempos não ser muito recorrente, podem surgir alguns problemas associados ao “knock”. De sublinhar que “knock” e detonação não são o mesmo acontecimento, apesar das suas consequências serem semelhantes.[1] Muito resumidamente, o efeito “knock” é “uma forma de auto-ignição de uma parte da mistura após a ignição, na qual as condições de temperatura são superiores às da ignição espontânea do combustível” (Figura 25). [1]

A evolução da prestação dos motores comparativamente aos sistemas tradicionais é incontestável, no entanto, o alcance dos sistemas ideais levou ao estudo e consequente desenvolvimento de sistemas capazes de garantir a não ocorrência, ou quase, de “knock”.

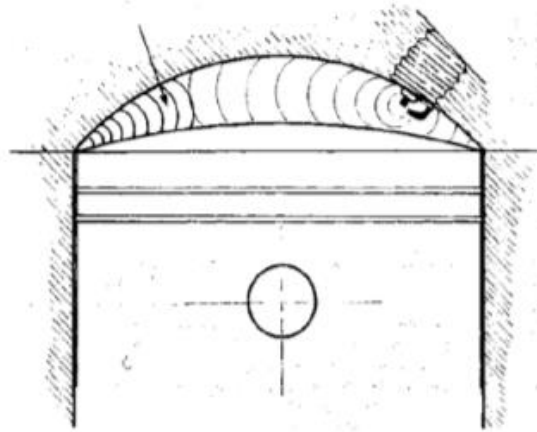


Figura 25. Efeito "knock". [34]

Para que se consiga colocar um motor a funcionar com o rendimento máximo, é necessário escolher uma elevada taxa de compressão e um ótimo avanço de ignição (o maior possível), sem que chegue a ocorrer o efeito “knock”. Assim, o avanço de ignição estará ajustado para o máximo binário para aquelas condições de funcionamento, ou seja, para aqueles rpm, para uma determinada abertura do carburador, no caso de ser este o sistema adotado, entre outros. Já na situação do sistema ter incorporado um controlador e um sensor de “knock”, caso ocorram situações como elevada temperatura do ar, formação de depósitos na câmara, etc. que levem ao aparecimento de “knock”, a ECU (Engine Control Unit) automaticamente reduz o avanço de ignição para um posição de segurança, ou seja, de modo a que este deixe de existir. [1]

2.4 Aplicação de Motores a 2 tempos em Motociclos

De todas as aplicações onde este tipo de motores se inseriu, a mais proeminente de todas foi em motociclos, quer de uso quotidiano como em competição. Isto aconteceu devido à simplicidade destes motores: ausência de sistema de distribuição, válvulas e árvore de cames, culassa mais pequena, entre outras coisas, que em conjunto asseguravam uma potência mais elevada para a mesma cilindrada e menores dimensões (eliminação do sistema de distribuição), quando comparados a outros motores.

Na década de 70 as marcas “continentais” sofreram uma ultrapassagem por parte das quatro grandes construtoras japonesas: *Suzuki, Honda, Kawasaki e Yamaha*. Após a Segunda Guerra Mundial,

a maior parte das infraestruturas do Japão tinham desaparecido, o que impulsionou o desenvolvimento de um veículo que fosse rápido e barato, ou seja, as motos. Foram vários os modelos produzidos por estas empresas, sendo ainda hoje conhecidos pela sua potência, ruído e perigo associado. De seguida fala-se do motor a 2 tempos mais conhecido e “aplaudido” de cada uma destas construtoras nos anos 70 e 80, que consequentemente inspiraram outras marcas mundiais. [35]

Começando pela *Honda*, uma das motos mais revolucionárias foi a CR250R, direcionada para competição em motocross. Este modelo foi introduzido com um motor a 2 tempos, a carburador, com 250cc e uma caixa de 5 velocidades, superando todos os outros modelos desenvolvidos até à data. A admissão neste motor era feita através do uso de válvula de lamelas. [36] Na Figura 26, encontra-se uma imagem da moto CR250R da *Honda* do ano 1983, visto que estas motos continuaram a ser desenvolvidas até aos anos 2000.



Figura 26. Moto CR250R da Honda de 1983. [37]

Uma das melhores motorizadas a 2 tempos, fabricada até os dias de hoje, é a YZ250 da *Yamaha*, que começou a ser desenvolvida e produzida em 1974. O seu modelo inicial era arrefecido a ar, de 250cc, monocilíndrico com admissão por válvula de lamelas. Durante vários anos, muitos pilotos ganharam competições de motocross utilizando este motor da *Yamaha*. Atualmente (Figura 27), este motor é arrefecido a água e possui uma válvula flexível com o sistema YPVS e uma caixa de 5 velocidades, mantendo-se monocilíndrico e o seu volume de 250cc. [38]



Figura 27. Motor Yamaha a 2 tempos de 250cc com YPVS. [39]

Surgiu também entre os anos de 1970 e 1980 o motor RD da *Yamaha* a 2 tempos, que ia desde os 90cc até aos 350cc, para aplicação em motos de pista e estrada. Assim, a *Yamaha* RD 350, reconhecida como a “viúva negra”, tinha arrefecimento a ar, caixa de 6 velocidades, a sua admissão era feita por lamelas e ficou conhecida pela seu elevado binário e velocidade de 7,500 rpm. Na Figura 28 pode observar-se uma *Yamaha* RD 350 do ano 1973. [40]



Figura 28. Modelo da Yamaha RD 350 do ano 1973.[40]

Em 1975, a *Suzuki* introduziu a série RM (*Racing Model*), para competição em motocross, existindo motores com volumes desde os 50 aos 400cc. O modelo mais conhecido é o RM 250, que começou a ser desenvolvido em 1976, monocilíndrico, arrefecido a ar, com admissão por válvula de lamelas, com velocidades até 6500 rpm, reconhecido pela sua fiabilidade. No entanto, o modelo RM 250 da *Suzuki* com maior sucesso de vendas e inúmeras críticas pelos amantes do desperto foi o do ano 2004 (Figura 29), com um aumento da potência e binário. Este mantinha o volume de 250cc e a válvula de lamelas, mas agora com caixa de 5 velocidades, arrefecido a água, sem carburador e com velocidade até os 8000 rpm. [41]



Figura 29. Motor Suzuki RM2004 250. [42]

No caso da *Kawasaki*, durante a década de 70, esta desenvolveu vários modelos de motos a 2 tempos, mas que apesar de serem fiáveis e terem uma potência significativa, não tiveram o mesmo impacto que as outras três grandes construtoras referidas anteriormente. Assim, mais tarde, já em 1983, lançou o modelo KX500, esse sim um sucesso. Esta moto tinha um motor de 500cc monocilíndrico, com velocidades até as 6000 rpm, arrefecido a ar, com válvula de lamelas e uma caixa com 5 velocidades. [43] Na Figura 30 pode observar-se o motor KX500 de 1984.



Figura 30. Motor KX500Kawasaki de 1984. [44]

Estas motos, durante os anos 70 e 80, dominaram as corridas de pista e TT (todo-o-terreno), eram rápidas, leves e barulhentas. [45] As competições de motos distinguiam-se exatamente pela cilindrada de cada motor (2 tempos), havendo categorias 50cc, 80cc, 125cc, e por aí além até os 750cc.

2.5 Motores a 2 tempos – Atualidade

Com o passar do tempo, com cada vez mais desenvolvimento e estudos envolvidos, os motores a 2 tempos sofreram melhorias e inovações.

A *KTM*, por exemplo, dispõe atualmente de vários modelos de motos com enduro como finalidade, em que descrevem o seu produto como tendo um motor que “dispõe de tecnologia revolucionária TPI (*Transfer Port Injection*), fornecendo uma potência inigualável em toda a gama de rotações, quaisquer que sejam as condições”, associado a menores consumos e muito mais baixos níveis de poluentes. [46] Utilizando esta tecnologia (Figura 31), o combustível, com recurso a 2 injetores, é injetado nas janelas de transferência contra a direção do fluxo de ar, o que garante uma mistura ideal e uma combustão mais eficiente. O óleo é fornecido ao motor através do coletor de admissão e não de um carburador, o que faz com que a lubrificação dos componentes esteja garantida sem ser necessário comprometer a mistura, ou seja, o óleo ser injetado aquando do combustível. [47]

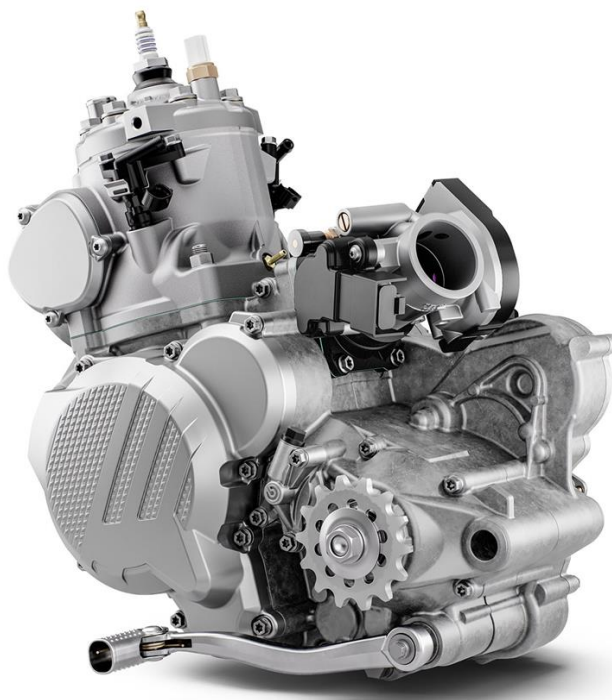


Figura 31. Motor KTM com tecnologia TPI. [48]

Com o avanço tecnológico, surgem formas de reduzir e controlar as emissões deste tipo de motores, mas são poucos os fabricantes a querer investir neste modelo de motos. A *KTM*, antes de optar pela tecnologia TPI, em 2012, empregou um sistema de injeção direta, com 2 injetores laterais que injetavam diretamente na câmara de combustão, o que se assumia bastante simples. No entanto, quando a construtora estava prestes a aplicar este sistema nas suas motos e iniciar a produção das mesmas, perceberam que no caso destas terem volumes acima de 250cc, o pistão sobreaquecia o que afetava diretamente a fiabilidade destes motores. [47]

No caso da *Yamaha* as únicas motos a 2 tempos que fabrica, desde 2019, são para competição e somente alguns modelos para exportação. Têm uma construção simples, leve, uma manutenção pouco exigente e uma elevada fiabilidade. [49] Esta construtora desenvolveu em 2006 uma tecnologia de injeção de combustível denominada YCC-T (*Yamaha Chip Controlled Throttle*), tendo este mecanismo como objetivo controlar o volume de ar aspirado por um motor de alta rotação, e com isto controlar a mistura ar-combustível. [50] A *Yamaha* acredita que este sistema otimiza a relação entre a velocidade do motor, o fluxo de ar de admissão, bem como o binário, fornecendo assim uma potência ideal para um motor com elevadas rpm. A YCC-T (Figura 32) é controlada eletronicamente, estando então o motor dotado de uma ECU, que controla de forma precisa a abertura da válvula borboleta (acelerador) e o momento em que a YCC-T deverá atuar.

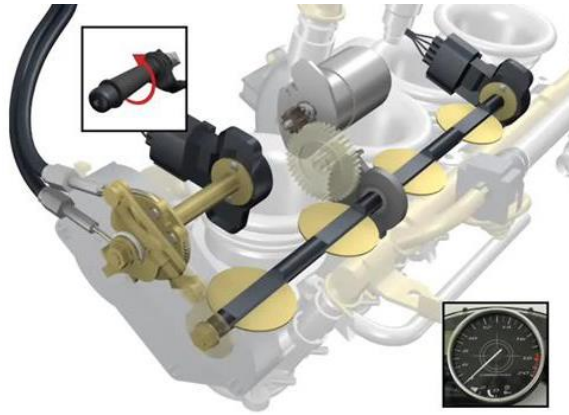


Figura 32. Tecnologia YCC-T desenvolvida pela Yamaha.[50]

Esta tecnologia foi primeiramente aplicada numa moto de competição – YZF-R1 -, chegando a competir em MotoGP, e depois otimizada para o motor do modelo R6, também em 2006. [50]

2.6 Motor em estudo - *Suzuki* TS 125

Focando agora a atenção no motor em estudo (Figura 33), retirado de uma moto *Suzuki* TS 125, este é um motor a 2 tempos de 1974, arrefecido a ar, provido de carburador, monocilíndrico e uma velocidade de rotação máxima de 7000 rpm. Este modelo foi introduzido no mercado mundial nos anos 70. Como o nome indica, possuía uma cilindrada de 125cc, tinha 13 cv (cavalos), 5 velocidades e um tubo de escape com elevado desempenho. [51]



Figura 33. Motor Suzuki TS 125 utilizado para estudo.

Este motor possui um sistema “autolube” (lubrificação automática), constituído por uma bomba de óleo que doseia o óleo e injeta a quantidade necessária tanto no cilindro como na cambota, o que reduz o consumo de óleo e conseqüentemente as emissões provenientes do escape. [52] Sendo o fornecimento de combustível assegurado por carburador e estando o depósito acima deste, o fornecimento de combustível é feito por gravidade.

2.7 Evolução do Kart e Parâmetros de Aplicação no Motor em Estudo

O primeiro Kart foi criado em 1956 nos Estados Unidos da América, na Califórnia, por Art Ingels e Lou Borelli, com um chassis construído a partir de tubos e com um motor proveniente de uma máquina de cortar a relva (Figura 34). Depois de ter sido introduzido numa competição em Pomona, despertou interesse em mais pessoas, como Duffy Luvingstone e Roy Desbrow, que também construíram os seus modelos. [53]



Figura 34. Primeiro modelo de Kart construído em 1956. [53]

2.7.1 Evolução dos Motores utilizados em Karts

Já nos anos 70, o fundador da *Moto Parilla*, ouvia falar que a modalidade de Karting estava em enorme expansão nos EUA. Assim, começou a introduzir este desporto na Europa, começando por desenvolver um motor específico de 125cc com válvula rotativa, e apesar deste ter sido fabricado, nunca chegou a ser produzido em massa. [53]

A Fórmula K de Karting era composta com motores a 2 tempos de 100cc bastante simples, sem caixa de velocidades, arrefecidos a ar e com utilização de válvula de lamelas. No início dos anos 80, a

CIK-FIA (*Commission Internationale de Karting*), decidiu aumentar a cilindrada da categoria superior de Karting, de 100cc para 135cc. Esta capacidade foi mantida até ao final da década, mas sem grandes avanços nem grande aprovação, dada a falta de construtores interessados, o que ditou o seu fim. Um marco importante durante esta década, foi o lançamento de um novo Campeonato Mundial de Fórmula E em 1983, com Karts de 250cc e caixa de velocidades, capazes de atingir uma velocidade máxima de 240 km/h. A Fórmula C, que existe ainda hoje, é integrada por motores de 125cc com caixa de velocidades. [53]

Em 2000 começaram a ser introduzidos, em praticamente todas as categorias de 100cc, os motores arrefecidos a água. Na Figura 35, pode observar-se o motor da ROTAX – *The Hezemans* -, conhecida construtora de motores para Kart, sendo dos primeiros motores arrefecidos a água, utilizados neste desporto. [53]



Figura 35. Motor ROTAX 100cc, arrefecido a água. [54]

O fim dos motores 100cc foi exatamente no ano 2007, quando surgiram os chamados motores KF, desenvolvidos por cerca de 10 construtores. Esta substituição era urgente, dada a pouca fiabilidade, os custos elevados e o impacto ambiental negativo associados aos motores de 100cc. De lembrar que estes motores não tinham embraiagem, para se dar o arranque, o Kart tinha de ser empurrado durante vários metros. A única coisa que os KF mantinham dos seus antecessores era serem a 2 tempos, tendo os construtores inserido vários elementos novos, tais como, eixo de equilíbrio, embraiagem, motor de arranque, bomba de água, válvula de escape, entre outros. [53]

De 125cc, estes motores seguiam a filosofia de “*Touch and Go*”, o que significava terem um arranque elétrico e uma embraiagem e ignição limitadas pelas rpm.[55] Estes revelaram-se bastante fiáveis, de fácil manutenção e uma redução significativa de ruído. Na Figura 36 é possível visualizar o motor RAV da *Vortex*, (reconhecida construtora de motores para Karts), com admissão por lamelas, que se insere no modelo de motores KF e foi construído em 2007.



Figura 36. Motor RAV da Vortex. [55]

Recentemente, em 2016, surgiram os motores OK, também de 125cc, que vieram substituir os KF. Esta versão retirou da sua constituição a embraiagem, a bateria, o motor de arranque e toda a parte elétrica associada, trazendo de volta a simplicidade. Os motores mais utilizados foram desde início os *Vortex*, de 125cc, com admissão por lamelas, que surgiram então neste ano, sendo reconhecidos pela velocidade máxima de 16 000 rpm e um peso de 145kg. [53] Para tal, o cárter teve de ser redesenhado, tal como a cambota, biela, entre outros. O que mais afetou a qualidade deste motor (modelo DST), foi o novo desenho de cárter, bastante mais compacto e resistente. [56] Ainda hoje são dos motores mais utilizados em competição de Karting. É possível ver na Figura 37 o motor em causa.

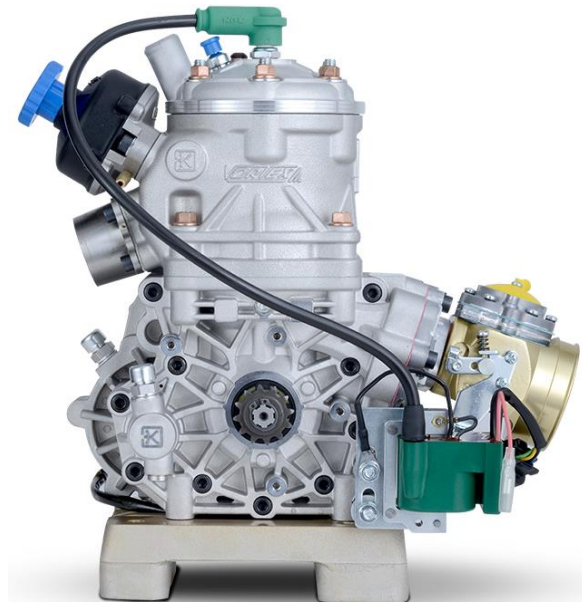


Figura 37. Motor Vortex modelo DST. [32]

Por fim existem ainda a categorias de Kart com velocidades, em que os motores utilizados surgiram em 1998 e denominam-se KZ. Estes são de 125cc, constituídos com um carburador, arrefecidos a água e com uma caixa de 6 velocidades. [57] Na Figura 38 encontra-se o motor *SCREAMER III* do tipo KZ, desenvolvido em 2019 pela construtora *IAME*.



Figura 38. Motor Screamer III da IAME. [58]

Lembrando agora que um dos objetivos da presente dissertação, é a utilização do motor *Suzuki* TS 125 num Kart, é importante realçar os aspetos a ter em conta, visto tratar-se de um motor de moto e geralmente um Kart ter motores próprios.

2.7.2 Comparações entre Motores desenhados para Motos e Motores desenhados para Motos

Num Kart, o depósito encontra-se praticamente ao nível do chão e o motor um pouco mais elevado. Assim sendo, no caso de se usar carburador, a gasolina não consegue chegar ao motor por gravidade, sendo necessário recorrer a carburadores com sucção e alternância de pressão do cárter, por onde a gasolina será fornecida e posteriormente sugada. A cuba é o local do carburador onde se encontra a gasolina que tem um conjunto de boias e uma válvula de agulha que mantêm o seu nível correto. É muito importante este controlo a nível de competição, pois se o nível de gasolina foi elevado, existirá um consumo em demasia e pouca velocidade em pista, e se o nível for demasiado baixo podem surgir os chamados “poços” durante ou na saída das curvas ou até originar o sobreaquecimento do motor e este gripar. [34]

Imagine-se uma moto a curvar, situação em que está inclinada. No entanto, a aceleração associada ao motor está sempre perpendicular e vertical ao eixo e por isso não existem acelerações horizontais neste contexto. Até mesmo quando a moto está em “cavalo” (roda da frente levantada), o carburador continua a funcionar, porque foi desenhado tendo em conta todas as situações a que a motorizada poderá estar sujeita.

Nos Karts, relativamente às acelerações laterais, o mesmo já não acontece, pois, a gasolina que está na cuba eleva-se lateralmente, a boia sobe e fecha o fornecimento de combustível, levando a que nas curvas o carburador fique sem gasolina. Desta forma, o desenho da cuba e do conjunto das boias de um carburador para Kart, tem de ser desenvolvido de uma outra forma, de maneira que este seja viável em qualquer condição de pista.

3. ANÁLISE TEÓRICA DA INFLUÊNCIA DO AVANÇO DE IGNIÇÃO E DEMAIS VARIÁVEIS DA ENERGIA GERADA

O sistema de ignição tem como propósito inflamar a mistura de ar-combustível através da faísca fornecida pela vela. [59] Assim, originalmente o sistema utilizado no motor a dois tempos estudado era um sistema de ignição por magneto (Figura 39).

Este tipo de sistema é constituído por um platinado, que funciona como interruptor, e um condensador, que tem como função criar um pico de tensão. [60] Esta tensão será conduzida à bobina que irá criar uma outra tensão bastante elevada que por sua vez será conduzida até à vela, dando-se uma faísca no interior da câmara de combustão.



Figura 39. Sistema de ignição por magneto. [61]

Nos dias de hoje é mais usual a utilização de um sistema de ignição digital. Este sistema elimina alguns componentes do anterior como o platinado e o condensador. Com isto, introduzem-se novos componentes como o ECU, um sensor de posição, um disco dentado e uma bateria. [62]

O funcionamento deste sistema passa inicialmente pela leitura do sensor de posição sobre o disco dentado, sendo que este disco tem a falta de um dente que corresponderá ao PMS (Ponto Morto Superior). Assim, a informação da leitura do sensor é enviada para o controlador que vai calcular o avanço da ignição necessário e à *posteriori* enviar o sinal à bobina que, como referido anteriormente, fará com que a vela produza a faísca.

A faísca dará início à combustão, que quanto mais perto acontecer do PMS, maior binário, potência e rendimento irá gerar. A combustão irá iniciar-se no ponto onde a faísca é largada, sendo este instante bastante influente no controlo da continuação deste fenómeno. Assim, a ignição da mistura deve ser

calculada de modo que o valor máximo de pressão seja obtido instantes após o PMS, o que leva a que a faísca tenha de ocorrer alguns instantes antes, sendo esta pequena diferença denominada de avanço de ignição. [1]

O controlo e cálculo do avanço de ignição são dos fatores mais importantes a ter em conta, quando se tem como objetivo uma combustão ideal. Tal acontece, pois o aumento do avanço de ignição fará com que o trabalho gerado sobre o pistão no seu movimento ascendente aumente, mas também fará com que o trabalho gerado pelo pistão a partir do movimento descendente aumente ainda mais, o que compensa e resulta num processo de combustão mais vantajoso.[1]

Posto isto, revelou-se interessante um estudo teórico sobre o avanço de ignição, dado que este dependerá de diversas variáveis e será um dos fatores mais importantes para o correto funcionamento do motor em estudo.

Assim, o presente capítulo apresenta-se dividido em três estudos feitos para diferentes condições de funcionamento: fornecimento de calor constante, fornecimento de calor variável ao longo de 50° calculado através da função de Wiebe e fornecimento de calor variável (função de Wiebe) com duração calculada através da função Wiebe 90.

3.1 Estudo realizado com fornecimento de calor constante

Para a realização deste estudo foi necessário realizar um levantamento de vários dados inerentes ao motor, bem como, alguns cálculos que foram necessários à sua realização. Assim, considerou-se:

- Um ciclo compreendendo compressão e expansão completas;
- Volume de cilindrada (V_v) de 125cc;
- Taxa de compressão (ϵ) de 10:1;
- Relação Ar/Combustível (AFR) de 14,5;
- Velocidade de rotação de 3000 rpm;
- Diâmetro (D) do pistão igual ao seu curso (C);
- Comprimento da biela (L) duas vezes o valor de C.

Partindo destas condicionantes, foi possível descobrir o valor dos seguintes parâmetros geométricos:

Tabela 1. Valores dos parâmetros geométricos obtidos a partir dos valores de entrada.

Diâmetro do cilindro (D) [cm]	5,42
Curso do pistão (C) [cm]	5,42
Comprimento da biela (L) [cm]	10,84
Raio da cambota (R) [cm]	2,71
Relação comprimento da biela-raio da cambota (R_{BC})	3,70
Volume da câmara de combustão (V_{cc}) [cm ³]	13,89
Tempo de Rotação [s]	0,02

Sendo o processo de combustão que ocorre no interior do motor extremamente complexo, e tendo esta análise como propósito uma simplificação do processo em si, partiu-se do pressuposto que a análise começou com o pistão em PMI, com o cilindro e a câmara de combustão cheia de ar e combustível (mistura estequiométrica) e gases já queimados, às condições atmosféricas. Iniciou-se o processo de compressão, que neste caso se considerou adiabático, terminando quando o pistão atinge o PMS. Durante este processo de compressão, dá-se a faísca na vela, com um certo avanço relativamente ao PMS, o que dá início à combustão. Tratando-se de uma compressão adiabática, é expectável um aumento da pressão e temperatura sentidas no cilindro.

Neste modelo simplificado, considerou-se a combustão unicamente como fornecimento de calor. Através do poder calorífico (PCI) da gasolina, foi possível obter a quantidade de calor fornecida (Q) ao sistema ao longo de um ciclo. Para isto, conhecida a massa de ar e gasolina existente, que entra no cilindro a cada rotação e relacionando este valor com o AFR e o PCI, obtém-se uma quantidade de calor fornecido de aproximadamente 499 Joule (J).

Conhecida a quantidade de calor total gerada pela gasolina, considerou-se que esta era fornecida durante um intervalo de 50°, de uma forma constante. Quer isto dizer que a quantidade total de calor é dividida por estes 50° e em cada grau o calor fornecido é equivalente, sendo neste caso de 10 J. Este valor irá corresponder a uma variação de temperatura (ΔT) provocada pelo processo de combustão, que pode ser calculado relacionando a massa e a capacidade calorífica específica constante do ar, permitindo determinar que ocorre um aumento de temperatura, a cada grau, de 60,4 K, durante a duração do fornecimento de calor.

Como resultado da movimentação normal do pistão, irá ocorrer uma alteração de volume do ar no cilindro, que fará com que a temperatura varie (assumindo uma variação adiabática). Este processo ocorre em todos os momentos de trabalho do motor, sendo inato ao seu funcionamento. Assim,

conhecendo o deslocamento linear do pistão ao longo dos ângulos pode determinar-se a variação de volume e por consequência o seu efeito na temperatura do sistema. Esta variação irá notar-se ao longo da subida e da descida do pistão, sendo que no movimento ascendente do mesmo irá ocorrer um aumento dessa variação, ao invés do movimento descendente em que ocorre uma diminuição. Sendo este um sistema adiabático, este fenómeno apoia-se na equação 2. Conhecendo a variação de volume ao longo de todo o ciclo, e também a temperatura no instante inicial, torna-se possível, partindo desta equação, conhecer o valor da temperatura resultante da variação do volume.

$$TV^{\gamma-1} = \text{constante} \quad (2)$$

Posto isto, partindo do pressuposto que no início da compressão o ar dentro do pistão se encontra à temperatura e pressão ambiente (298,15 K e 1atm), e relacionando as duas variações de temperatura referidas anteriormente é possível calcular a que temperatura (T_f), se encontra a mistura em cada um dos ângulos de um ciclo do pistão.

Assim sendo, conhecida a temperatura nos diferentes graus da cambota, é possível obter o valor da pressão em Pascal sentida nesse mesmo grau ($p(^{\circ})$), partindo da seguinte equação:

$$p(^{\circ}) = \frac{m_{ar} * R * T_f(^{\circ})}{M_{ar} * V * 10^{-6}} \quad (3)$$

Com,

m_{ar} : massa do ar; [g]

R : constante dos gases ideais;

M_{ar} : massa molar do ar; [g/mol]

V : volume ($V_{cc}+V_v$); [cm³]

$T_f(^{\circ})$: temperatura sentida no grau para o qual se pretende descobrir a pressão. [K]

Combinando a pressão calculada com o valor da variação do volume que é conhecido pode então calcular-se o trabalho instantâneo produzido a cada grau, da seguinte forma:

$$W = p(^{\circ}) * \Delta V(^{\circ}) * 10^{-5} \quad (4)$$

Por último, pode obter-se o valor do integral do trabalho ($\int W$), que irá permitir fazer uma análise correta da evolução do processo de combustão. Para efeitos de análise, o valor do trabalho num determinado ângulo não é o mais importante, mas sim a evolução desse valor, para que se consiga interpretar a evolução do trabalho ao longo da compressão e da expansão. Imagine-se esta situação num gráfico: o importante não será um valor/ponto isolado na linha do trabalho, mas sim toda a área que esta sobrepõe, que quanto maior for melhor. Podem existir gráficos com um ponto muito alto, mas os restantes extremamente baixos, daí não ser o mais correto considerar-se apenas valores pontuais.

Todos os valores anteriormente referidos foram calculados, considerando 12 cenários de estudo, fazendo variar o grau em que se dá o início de fornecimento de calor (-35°, -32°, -30°, -27°, -25°, -23°, -20°, -10°, -5°, 1°, 2° e 5°), de forma a conseguir-se perceber, dentro destes, em que situação o integral do trabalho assumia um valor mais elevado.

Assim, neste modelo, quando se considera que o calor começa a ser fornecido nos -25° de cambota até aos 25°, o integral do trabalho toma o valor de 2139,21 J, sendo este o melhor resultado dentro de todos os estudados, como comprovado pelo gráfico apresentado na Figura 40.

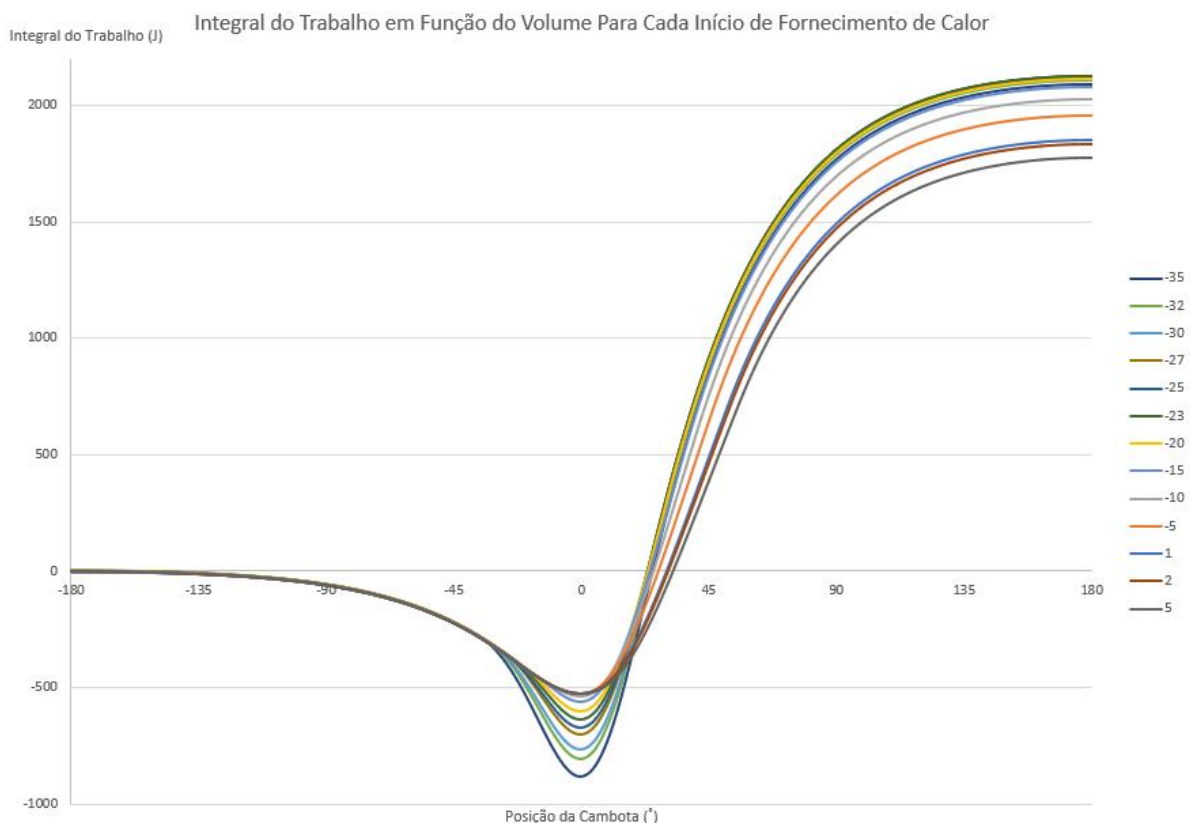


Figura 40. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor.

Na Figura 41 é possível observar um gráfico onde estão apresentados os valores da pressão, volume e trabalho em função do ângulo de posição da cambota quando considerado o intervalo de fornecimento de calor referido anteriormente. Deste modo, entende-se que o algoritmo a ser trabalhado está a funcionar corretamente, pois a linha correspondente ao volume comporta-se da forma esperada, ou seja, o volume nunca assume o valor 0, dado o volume da câmara de combustão, e é simétrico no que toca a valores ascendentes e descendentes.

Relativamente à pressão, esta aumenta ligeiramente na fase inicial da compressão, sofrendo uma subida abrupta face ao início do fornecimento de calor, atingindo um valor máximo e voltando a efetuar uma descida sem nunca atingir o valor inicial, o que denota a natureza teórica deste algoritmo. No que toca à linha do trabalho instantâneo, esta apresenta um comportamento bastante idêntico à da pressão, podendo verificar-se que durante os movimentos ascendente e descendente do pistão, esta toma valores negativos e positivos, respetivamente.

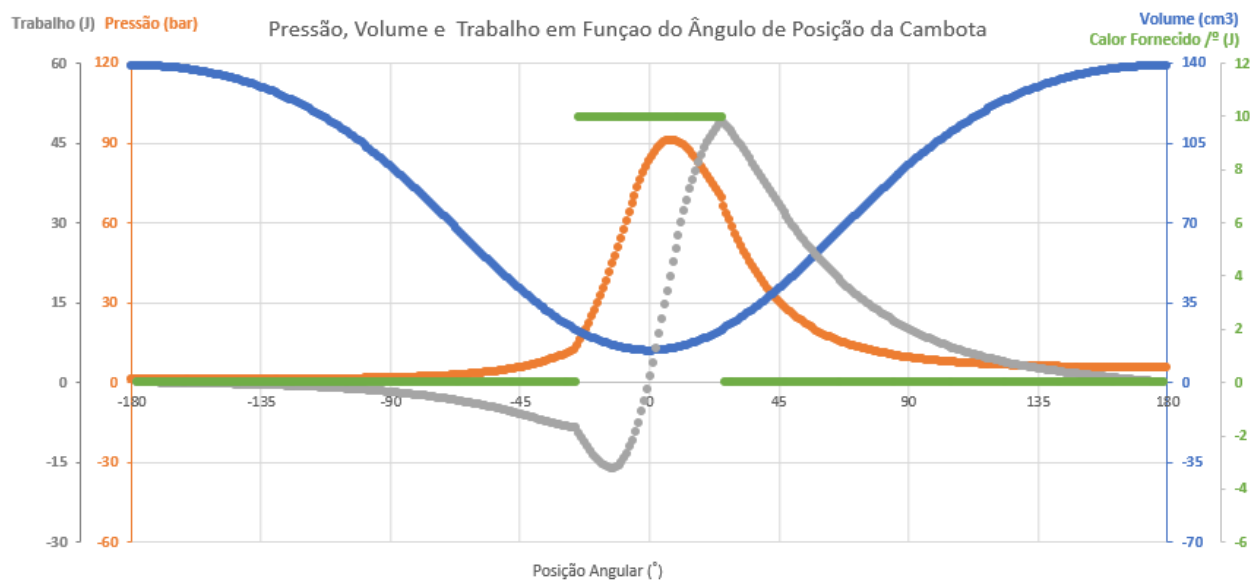


Figura 41. Gráfico com os valores de pressão, volume e trabalho em função do ângulo de posição de cambota para o intervalo de fornecimento de calor com início nos -25° até aos 25° .

Na Figura 42 encontra-se o gráfico demonstrativo do trabalho instantâneo e o respetivo integral em função da posição da cambota para esse mesmo intervalo de fornecimento de calor. Como referido anteriormente o integral do trabalho é representativo da evolução do valor do trabalho instantâneo, podendo isto ser observado no gráfico. Como se pode aferir, aquando do movimento ascendente do

pistão este integral começa a baixar, no entanto, uma vez iniciado o fornecimento de calor, este valor começa a subir aumentando sempre até ao final da expansão.

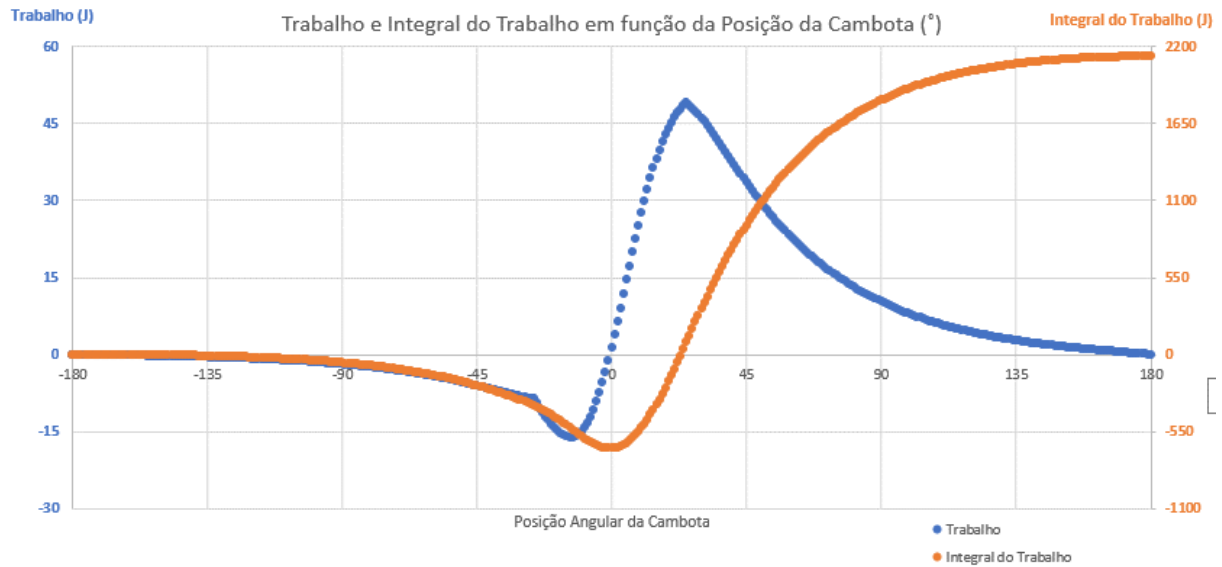


Figura 42. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota para o intervalo de fornecimento de calor com início nos -25° até aos 25° .

3.2 Estudo realizado com fornecimento de calor ao longo de 50° , partindo da função de Wiebe

Apesar de ter sido realizado um estudo com fornecimento de calor constante ao longo de 50° , sendo a quantidade de calor por grau sempre a mesma, este cenário nunca acontece. Normalmente o fornecimento de calor inicia-se com uma combustão bastante pequena, que de seguida aumenta gradualmente, mantém-se num certo período de tempo e depois volta a decrescer até ser igual a 0. Assim, surgiu o estudo com base na função de Wiebe [1]:

$$f = 1 - \exp \left[-a \left(\frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta} \right)^n \right] \quad (5)$$

Com,

f – fração de massa que ardeu (calor fornecido) entre θ_0 e θ ;

θ - ângulo da cambota ($^\circ$);

θ_0 - ângulo do início da libertação do calor (°);

$\Delta\theta$ – duração da libertação do calor (°);

a - fator de eficiência;

n – fator de forma.

A partir desta função, é possível conhecer em cada ângulo, após a ignição, qual a percentagem de mistura já queimada e por consequência, a quantidade de calor libertada, em função do ângulo de cambota, a partir da quantidade de energia total disponível para fornecer durante um ciclo.

Assim, também para este modelo, foi considerada uma duração de libertação de calor ($\Delta\theta$) de 50°. Partindo desta premissa foram estudados diferentes cenários, sendo necessário obter o valor de outras variáveis:

- Cálculo de a (fator de eficiência)[1]:

$$a = -\ln(1 - \eta_{combustão}) \quad (6)$$

Em que, $\eta_{combustão}$ (rendimento da combustão), assumiu um valor de 99,99%, que resultou num valor de a aproximadamente de 9,21. O valor do fator de eficiência trata-se de um parâmetro constante para este estudo, seja qual for o cenário estudado dentro deste modelo.

- Cálculo de n (fator de forma)[1]:

$$n = 3,46 \left(\frac{1}{\sqrt{v_p}} \right)^{0,45} \left(1 + \sqrt{\theta_{ig}} \right)^{0,35} (1 - 1,28x) \quad (7)$$

Com,

v_p – velocidade média do pistão (m/s);

θ_{ig} – ângulo a que se dá a ignição (° antes de PMS)

x – fração mássica de diluição;

No cálculo de n , como foi descrito anteriormente, é necessário ter em conta o ângulo a que se dá a ignição (θ_{ig}), ou seja, o ponto de ignição. Posto isto, imagine-se que o ângulo de fornecimento de calor é aos -15°, isto quer dizer que o número de graus antes de PMS são 15 e assim θ_{ig} toma este mesmo valor. No caso do valor da fração mássica de diluição, sendo esta o quociente entre os gases queimados que ficam no cilindro e os gases totais do cilindro, considerou-se que esta variável assumia

o valor de 0,1. [1] É importante sublinhar, que em condições reais, os gases que permanecem na câmara de combustão, encontram-se a uma temperatura muito superior à dos gases frescos, o que resultará num valor de x inferior a 0,1. No entanto, tratando-se de um estudo teórico, este fator não foi considerado.

Para se conhecer o valor do calor fornecido em cada grau da cambota, inicialmente tem de se calcular o valor de f (fração de massa que arde entre o ângulo da cambota em questão e o ângulo do início de libertação de calor). Na Figura 43 é possível observar a evolução da função de Wiebe tendo em conta os diferentes inícios de fornecimento de calor.

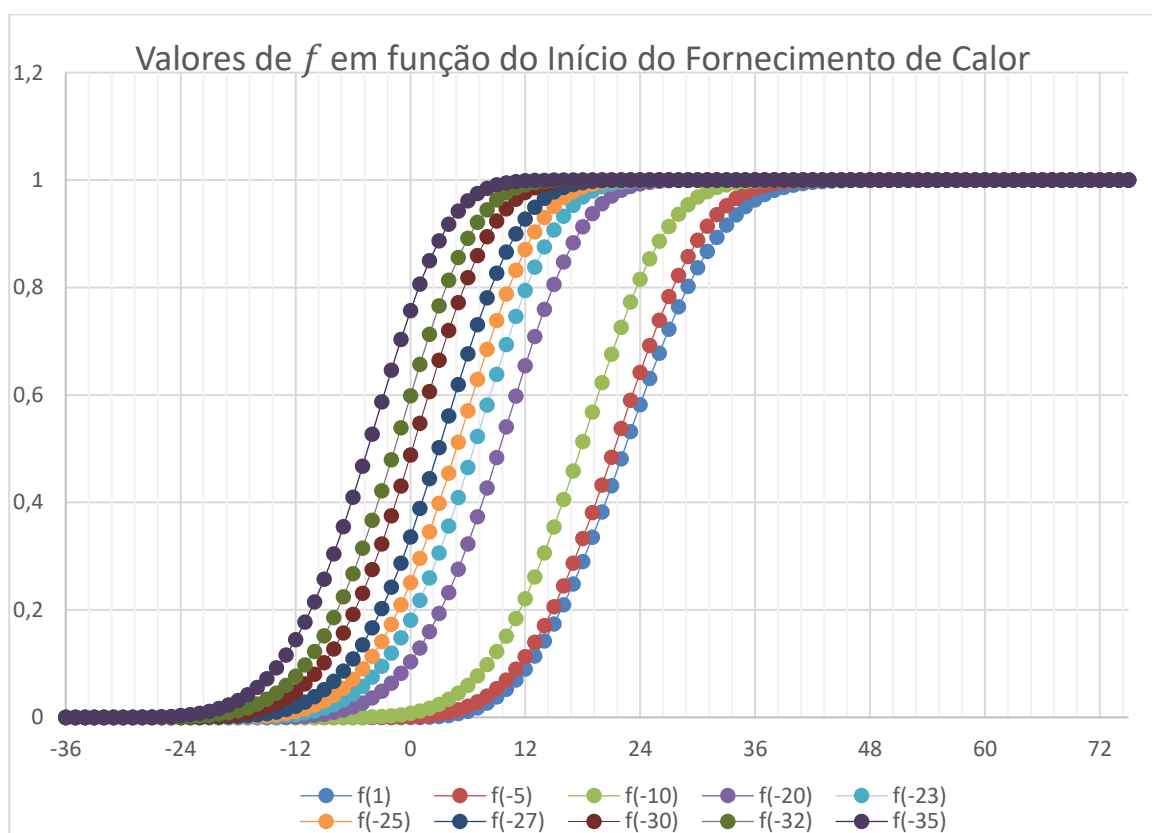


Figura 43. Gráfico representativo da evolução de f em função do início do Fornecimento de Calor.

Sendo a função de Wiebe incremental (vai de um valor mínimo para um valor máximo), o valor de f vai aumentando sempre um pouco de ângulo para ângulo, sendo o valor apresentado no último ângulo, referente a toda a energia, em forma de calor, que foi fornecida durante um ciclo. Mas para se conhecer o calor fornecido individualmente em cada grau, tem de calcular-se o incremento de f de um ângulo para o outro. Por exemplo, para o ângulo 35 da cambota, o valor de f vai corresponder a todo o calor libertado até esse ponto e para se saber o calor libertado unicamente nos 35°, tem de se subtrair o valor

de f corresponde aos 34° , ou seja, todo o calor libertado anteriormente, e assim sabe-se apenas a quantidade de calor libertada no ângulo 35 .

As restantes variáveis necessárias para obter o valor o integral do trabalho neste modelo foram calculadas da mesma forma das previamente apresentadas no capítulo 3.1. Assim, como se pode observar na Figura 44 e posteriormente na Figura 47 com mais detalhe, dentro deste modelo de estudo, o valor mais alto do integral do trabalho, comparando os diversos cenários de início de fornecimento de calor, é quando este começa a ser fornecido aos -30° de cambota, ou seja, com o ponto de ignição (θ_{ig}) 30 graus antes do PMS, sendo este de $2171,87$ J. Este valor é um pouco mais alto do que o obtido no capítulo anterior, que tem por base outro modelo de estudo.

Na Figura 42 encontra-se o gráfico demonstrativo do trabalho instantâneo e o respetivo integral em função da posição da cambota para esse mesmo intervalo de fornecimento de calor. Comparativamente ao gráfico da Figura 42, o gráfico abaixo representado é muito idêntico, sendo a única diferença a subida do trabalho ser mais acentuada verticalmente.

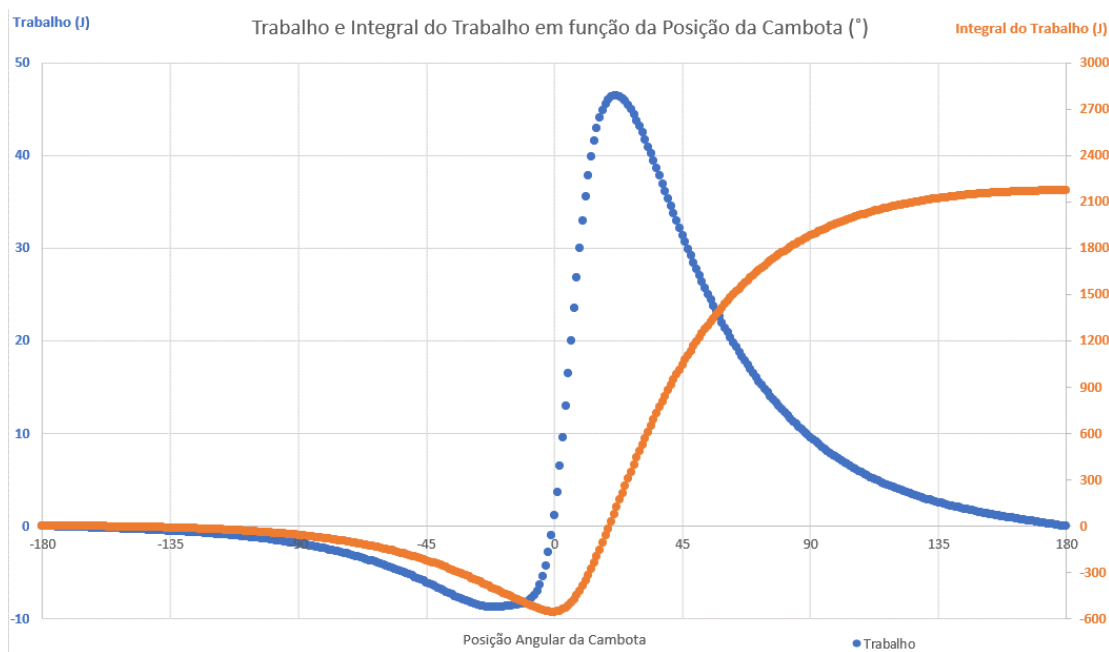


Figura 44. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota com início de fornecimento de calor aos -30° .

3.3 Estudo realizado com duração de combustão calculada através da fórmula de Wiebe

No último modelo de estudo, a duração da combustão foi determinada partindo da fórmula de Wiebe (equação 9). O fator de eficiência (α), a fração mássica (x), o fator de forma (n) e a velocidade média do pistão (v_p) assumiram os mesmos valores determinados previamente no subcapítulo 3.2. Posto isto, foi necessário realizar o cálculo das seguintes variáveis:

- Cálculo de ρ_{ig} (massa volúmica da mistura no ponto de ignição)[1]:

$$\rho_{ig} (^{\circ}) = \frac{m_{mistura}}{V(^{\circ}) * 10^{-6}} \quad [kg/m^3] \quad (8)$$

Com,

$m_{mistura}$ – massa da mistura (massa de ar + massa de combustível); [g]

V – volume (volume de cilindrada + volume da câmara de combustão). [cm³]

- Cálculo de $\Delta\theta_{90}$ (duração da combustão para uma fração mássica queimada a 90%)[1]:

$$\Delta\theta_{90} = 178 \left(\frac{1}{\rho_{ig}}\right)^{0,34} \left(1 - \frac{1,164}{\sqrt{v_p}}\right) \left(\frac{1}{1-2,06x^{0,77}}\right)^{0,85} \quad [^{\circ}] \quad (9)$$

Uma vez que o valor de ρ_{ig} altera consoante o momento angular em que se dá o início de fornecimento de calor, também o $\Delta\theta_{90}$ assume diferentes valores.

Calculadas todas as variáveis para os diferentes intervalos em estudo, verificou-se que a combustão tem maior duração quando o fornecimento de calor se inicia aos -1° da cambota. No entanto, o resultado mais elevado do integral do trabalho, dentro de todos os intervalos em estudo, dá-se quando se inicia a libertação de calor aos -23°, sendo 2181,98 J. Neste cenário o fornecimento de calor tem uma duração ($\Delta\theta_{90}$) de aproximadamente 38°.

Na Figura 45 encontra-se o gráfico do trabalho e integral do trabalho em função da posição de cambota quando o fornecimento de calor se inicia aos -23° e o cálculo da duração da combustão tem por base a fórmula de Wiebe. Pode-se observar que, comparados com os gráficos apresentados nos subcapítulos anteriores, tanto o trabalho instantâneo como o seu integral sofrem uma primeira descida muito mais ligeira.

Quando comparada com uma duração de combustão fixa de 50°, como foram os casos anteriores, pode observar-se que as grandes variações no que toca ao trabalho ocorrem num período menor, quando comparadas com os métodos anteriores, o que está refletido no gráfico.

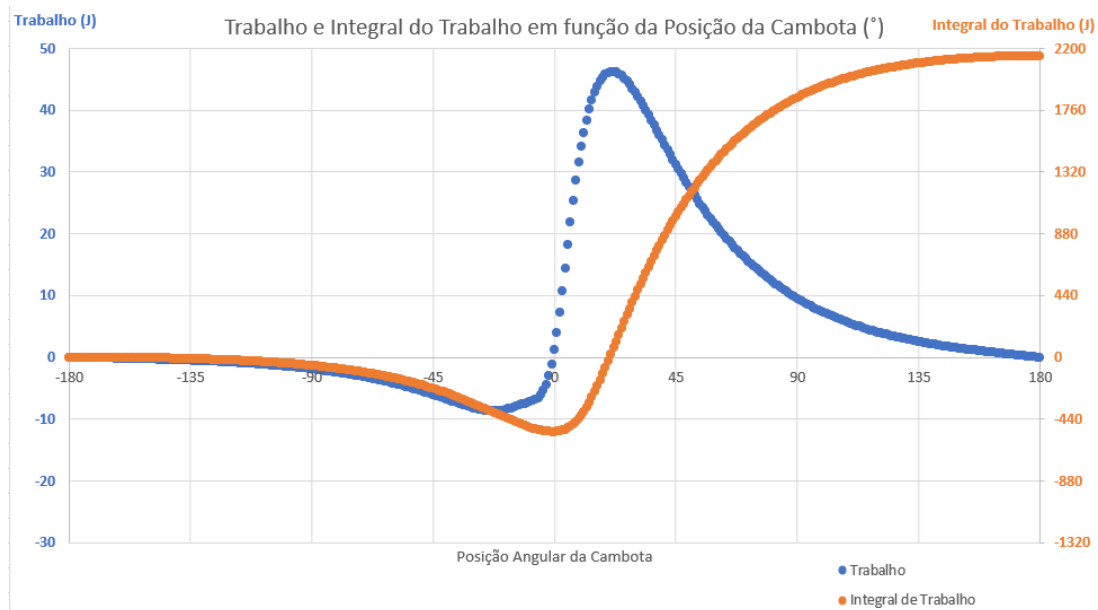


Figura 45. Gráfico com os valores do trabalho instantâneo e respetivo integral em função do ângulo de posição de cambota para o fornecimento de calor com início aos -23°, partindo da fórmula de Wiebe.

3.4. Discussão de resultados

A realização deste estudo permitiu perceber de uma forma mais aprofundada o impacto que o avanço de ignição tem no processo de combustão e conseqüentemente no trabalho gerado. Para além disso, foi possível estudar vários métodos de cálculo encontrar o valor desse trabalho.

O primeiro modelo, em que o fornecimento de calor é constante ao longo de 50°, com a mesma quantidade de calor fornecida para cada grau de cambota, serviu apenas para mostrar e validar o funcionamento deste método analítico. Tendo as variáveis em estudo o comportamento expectável analiticamente, pode aplicar-se outros modelos de estudo.

Na Figura 46 podem observar-se, traçadas em função do volume, as linhas de pressão para os vários inícios de fornecimento de calor em estudo, com base no método estudado no subcapítulo 3.2.

Começando por analisar estas curvas, a primeira coisa a evidenciar-se é que todas as linhas sobem da mesma maneira, até que se inicia o fornecimento de calor. Neste momento, quanto maior o número de graus antes de PMS, mais drasticamente a pressão irá subir, e por consequência mais cedo irá ocorrer o ponto de pressão máxima. Da mesma forma, a descida de pressão sentida será mais

drástica para um maior avanço de ignição. Continuando a analisar esta descida, pode concluir-se que, mais perto do final do ciclo, as pressões serão mais elevadas para avanços de ignição menores.

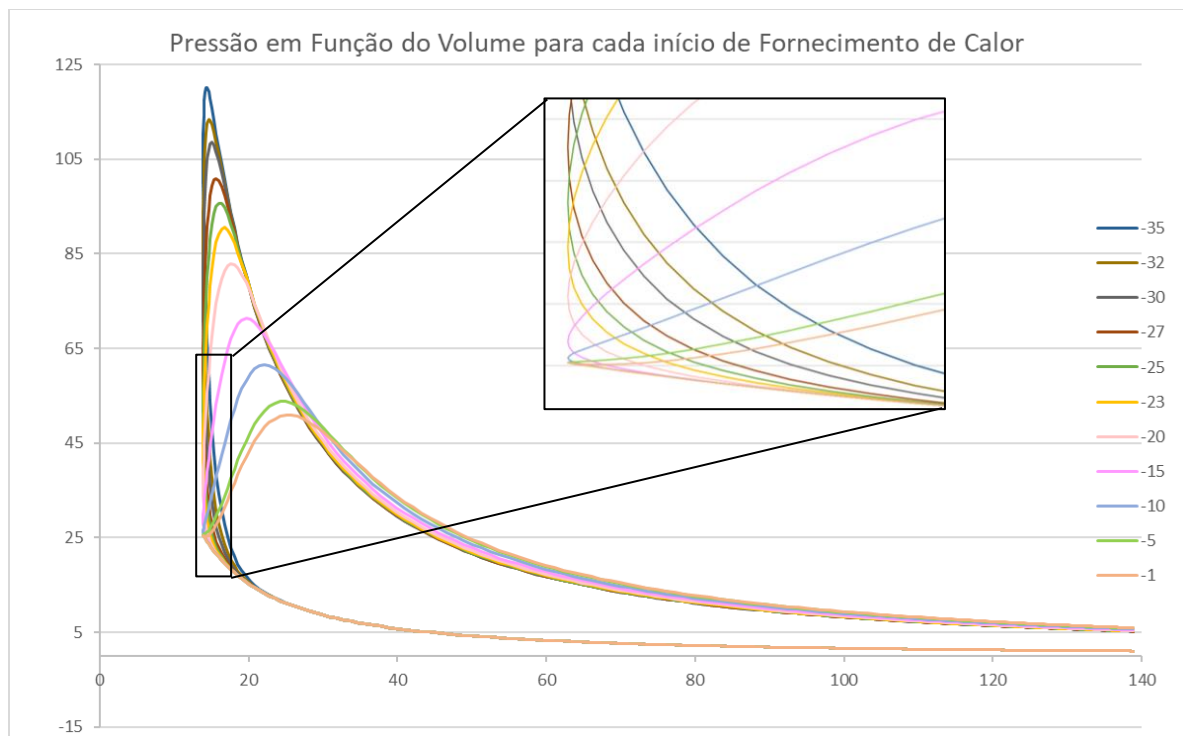


Figura 46. Gráfico representativo da pressão em função do volume para cada início de calor, tendo por base o método da função Wiebe (subcapítulo 3.2).

Na Figura 47 encontra-se o gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de fornecimento de calor, com base no método da função de Wiebe (subcapítulo 3.2). Assim, é possível verificar, que tal como foi referido anteriormente, o integral máximo de trabalho ocorre quando o início de fornecimento de calor se dá aos -30° , por uma diferença mínima em comparação com o início aos -32° , daí as linhas praticamente se sobreporem.

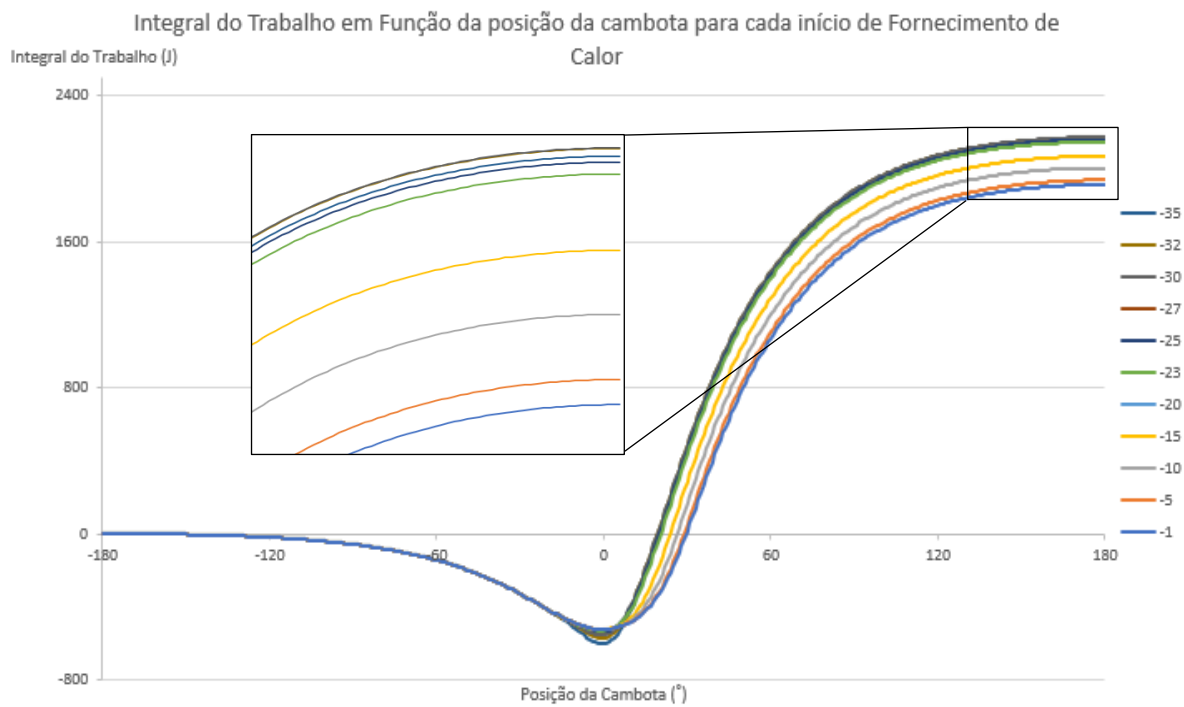


Figura 47. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor, tendo por base o método da função de Wiebe (subcapítulo 3.2).

Também na Figura 48 podem observar-se, traçadas em função do volume, as linhas de pressão para os vários inícios de fornecimento de calor em estudo, mas neste caso, com base no método Wiebe 90 estudado no subcapítulo 3.3.

Comparando com as linhas apresentadas anteriormente (Figura 46), pode ver-se que estas apresentam diferenças no que toca ao seu declive e distribuição. Quanto às pressões máximas sentidas, pode verificar-se que estas são bastante maiores que as anteriores, sendo isto o resultado da ocorrência de combustões mais curtas, como exposto anteriormente.

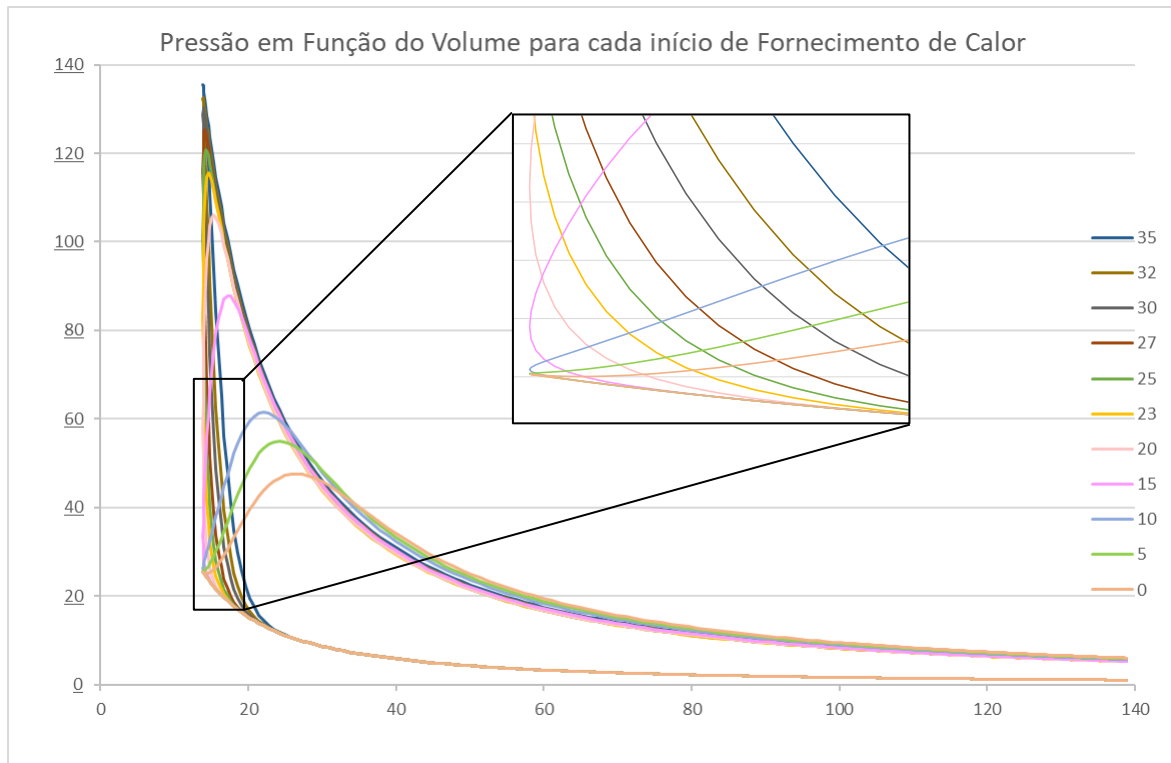


Figura 48. Gráfico representativo da pressão em função do volume para cada início de calor, tendo por base o método da fórmula Wiebe $\Delta\theta_{90}$ (subcapítulo 3.3).

Na Figura 49 encontra-se o gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de fornecimento de calor, com base no método da fórmula Wiebe $\Delta\theta_{90}$ (subcapítulo 3.3). Deste modo, é possível verificar, que tal como foi referido anteriormente, o integral máximo de trabalho ocorre quando o início de fornecimento de calor se dá aos -23° .

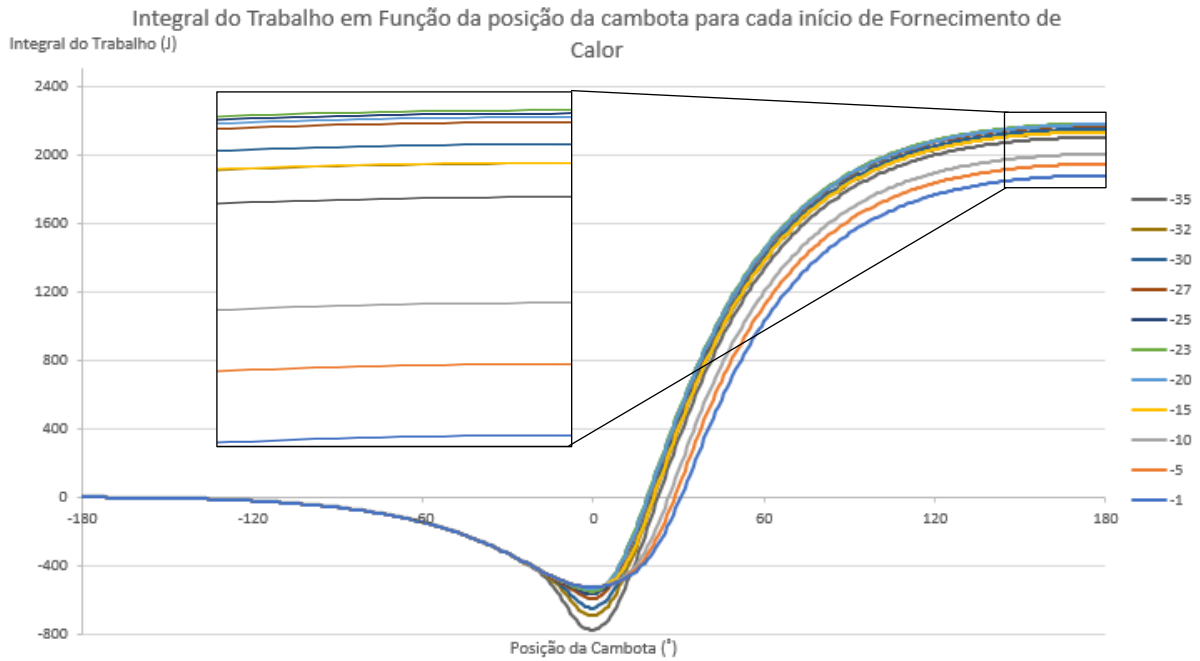


Figura 49. Gráfico representativo do integral do trabalho em função da posição da cambota para cada início de calor, tendo por base o método da fórmula Wiebe $\Delta\theta_{90}$ (subcapítulo 3.3).

Pode-se então retirar deste estudo, que um maior avanço de ignição irá corresponder a uma maior pressão máxima sentida, no entanto, através dos cálculos realizados anteriormente sabe-se que isto não se aplica quando a variável é o trabalho instantâneo. Verifica-se que uma maior pressão não implica um maior trabalho, isto porque estas pressões altas, que ocorrem durante a subida do pistão, não ocorrem no intervalo indicado para maximizar o trabalho.

. Pode-se também concluir que quanto mais cedo se dá a ignição, menores valores do integral do trabalho são atingidos numa fase inicial do ciclo, no entanto são tipicamente alcançados valores mais altos numa fase posterior, após o PMS.

4. PROJETO DE INSTALAÇÃO DA MEGASQUIRT II

De modo a controlar os sistemas de injeção, ignição e outros sistemas do automóvel, utiliza-se uma ECU, ou seja, um controlador eletrônico, que é capaz de processar os dados obtidos nos sensores e atuadores existentes no motor. Conhecidos estes dados, a ECU fica responsável por comandar integralmente o funcionamento e gestão do motor. [1] Assim, é possível otimizar os vários sistemas e garantir um melhor desempenho do motor, através de mapas multidimensionais em *chips* tipo *EPROM* (*Erasable Programmable Real-Only Memory*), capazes de guardar informação mesmo sem acesso a energia. [60]

Posto isto, o controlador vai receber dados de componentes, tais como, sensor de posição da borboleta, sensor de temperatura do ar de admissão, entre outros. Por outro lado, vai comandar outros componentes como relés, bobine, bomba de combustível, etc.

No caso da presente dissertação, o controlador escolhido foi a MEGASQUIRT II, podendo observar-se esta na Figura 50.



Figura 50. Fotografia da ECU MEGASQUIRT II.

4.1 Esquema Elétrico do Sistema

Numa fase inicial, foi preciso estudar o diagrama de cablagem externa presente no Manual da MEGASQUIRT II [63], de modo a entender a que correspondia cada pino da saída DB 37 da ECU. Assim, iniciou-se o estudo através da Figura 51.

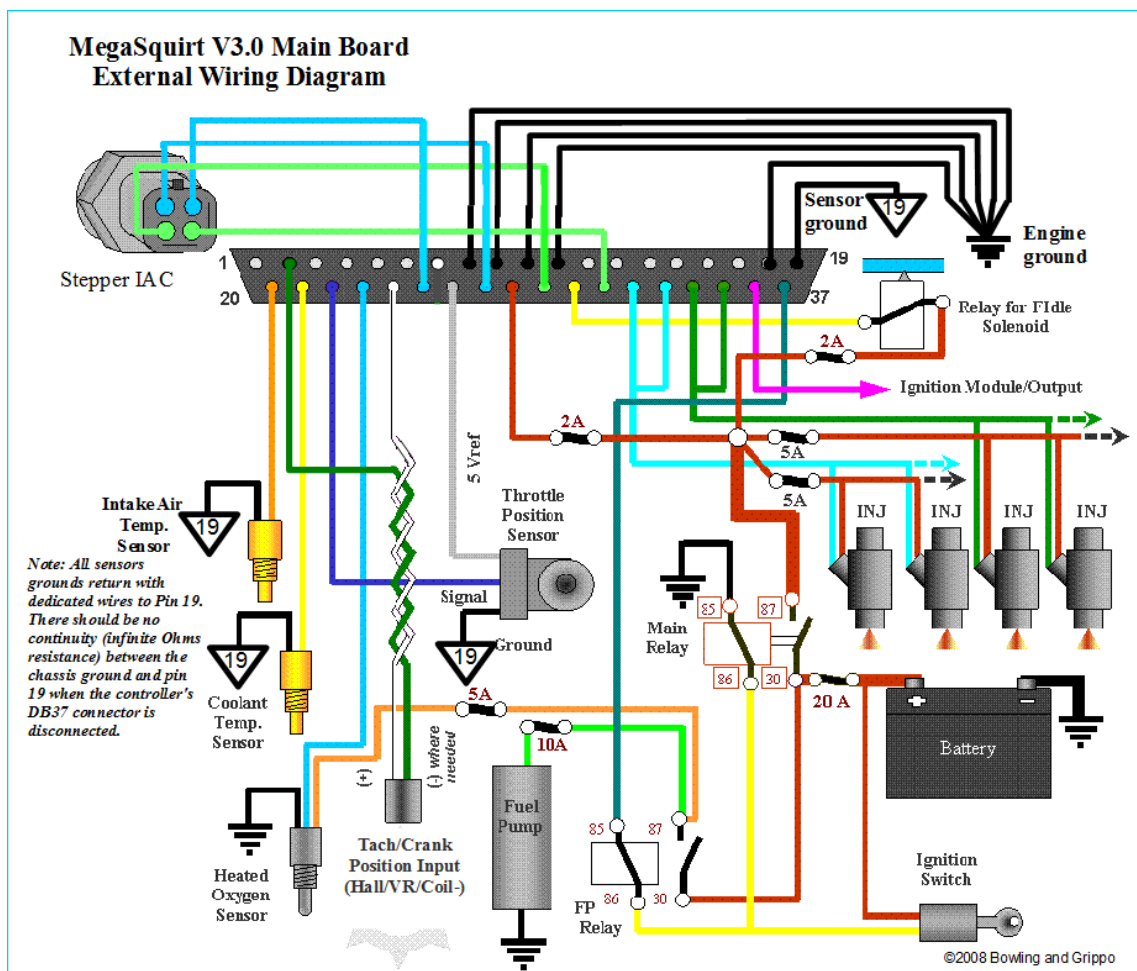


Figura 51. Diagrama da cablagem externa da MEGASQUIRT II. [63]

Partindo desta figura, foi possível entender que a ligação é feita através de uma ficha DB 37. No entanto, neste projeto, muitos dos componentes representados não foram utilizados e por isso, era necessário ter em conta que nem todos os pinos seriam conectados, e perceber quais deles eram realmente necessários. Assim, foi possível chegar ao desenho da cablagem pretendida, estando esse presente na Figura 52.

Relativamente às entradas, tem-se dois sensores de temperatura (um do ar de admissão e outro do motor), um sensor de posição da borboleta e um sensor de posição da cambota. Por outro lado, nas saídas tem-se a bobine, o relé 2, um injetor e o controlador de ralenti. Uma outra entrada normalmente utilizada é a sonda lambda, que mede a concentração de oxigénio no escape. No entanto, neste caso não se pode aplicar, uma vez que existe ar ou mistura que sai pela janela de escape sem ser queimada. Como o motor é a 2 tempos, a mistura ar-combustível leva também óleo para lubrificar o interior do motor (rolamentos da cambota, biela e o cilindro). Este óleo acaba por sair pelo escape e caso existisse uma sonda lambda, provavelmente iria queimá-la.

Existem outros componentes, como a bomba de combustível, o relé de contacto (relé 1), o interruptor de ignição, o botão de emergência e a bateria, que não estão diretamente ligados ao controlador.

Assim, tendo em conta as informações presentes na Figura 52, procedeu-se à soldadura dos fios dos componentes nos pinos, utilizando um ferro de soldar e estanho. É possível ver o início deste processo na Figura 53.



Figura 53. Ficha DB 37, fios e respetivas soldas.

Concluída esta fase, foi colocada manga retrátil em todas as soldas, de modo a evitar possíveis contactos entre os diversos fios e causar curtos-circuitos.

Por uma questão de simplicidade optou-se por colocar uma ficha do tipo macho-fêmea (Figura 54) de 36 pinos divididos em 4 linhas (identificadas com as letras A, B, C e D) e 9 colunas (numeradas de 1-9). A função desta ficha é fazer o corte de todas as ligações entre o controlador e a restante instalação elétrica, no caso de alguma anomalia repentina ou substituição do controlador.

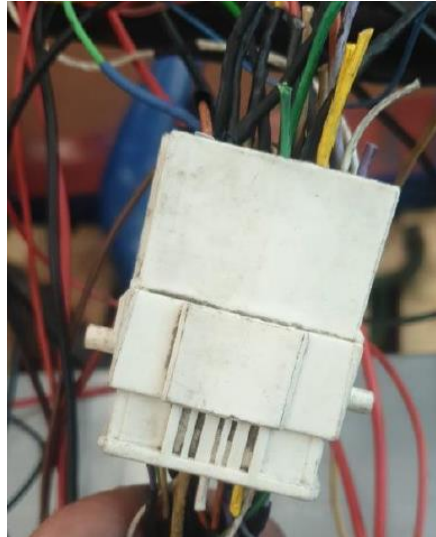


Figura 54. Fotografia da ficha de segurança utilizada.

Para tal, todos os fios tiveram de ser também soldados a esta ficha e posteriormente protegidos com manga retrátil. De realçar que as cores dos fios soldados na ficha DB 37, permanecem as mesmas dos outros soldados à ficha de segurança, de modo a facilitar e ser mais prático caso haja necessidade de interpretação. Esta instalação pode ser observada na Figura 55.



Figura 55. Fotografia da ficha DB 37 com os fios soldados, seguida de uma ficha macho-fêmea (segurança) com os fios igualmente soldados.

Existem também cinco barramentos, estando identificados numericamente (de 0 a 4), na caixa onde se encontram, e na Figura 56 para efeitos de interpretação.



Figura 56. Fotografia da caixa de relés, fusíveis e barramentos – numerados de 0 a 4.

Finalizada a ligação dos fios desde a ficha de segurança à caixa de relés, fusíveis e barramentos, foi feita a ligação destes fios aos seus respetivos componentes. Na Figura 57, pode observar-se, ainda que numa fase muito primordial, alguns dos fios já soldados ao seu componente, rodeados a verde.

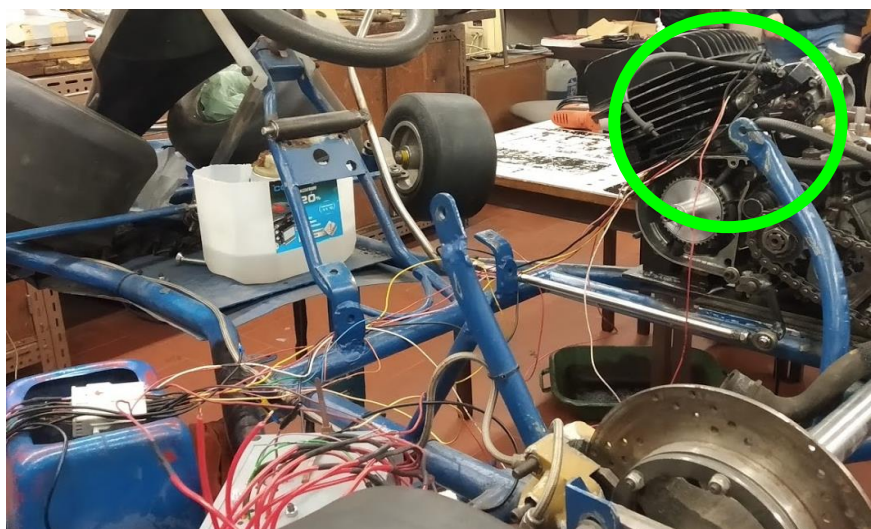


Figura 57. Processo de instalação da cablagem, estando rodeados a verde alguns dos componentes já soldados.

De seguida, apresenta-se a Tabela 2, onde se encontra a descrição explícita de cada pino do controlador, bem como onde se encontra conectado. Para simplificar, os pinos do controlador estão identificados numericamente (de 1 a 37) e os pinos da ficha de segurança com letra e número (A1 a A9, B1 a B9, C1 a C9 e D1 a D9), tal como na Figura 52.

Tabela 2. Correspondência entre os pinos do controlador e ficha de segurança.

Pino do ECU	Pino da ficha de segurança	Componente a controlar
2	D2	Pólo positivo do sensor de posição da cambota
8	-	Massa da bateria
9	-	Massa da bateria
10	-	Massa da bateria
11	-	Massa da bateria
18	-	Massa da bateria
19	B1	Massa criada pelo controlador para ligar sensores (barramento 4)
20	D1	Sensor de temperatura do ar de admissão
21	D5	Sensor de temperatura do motor
22	D3	Sinal do sensor da posição da borboleta
24	D4	Pólo negativo do sensor da cambota
26	D6	Alimentação (5V) do sensor da borboleta
28	D8	Alimentação do controlador (liga ao barramento 0)
30	C7	Massa do controlador de ralenti
32	B9	Pólo negativo do injetor
36	B6	Sinal da bobine
37	B2	Bobine relé 2

É importante referir a razão pela qual o sensor da cambota possui dois fios entrelaçados entre si. Isto acontece devido a um campo magnético criado pelos fios externos das ligações que iria interferir nos valores, erradamente, enviados para o controlador.

Relativamente aos fusíveis, estes são dispositivos de segurança que protegem os circuitos elétricos contra danos que possam ser causadas através de uma sobrecarga de corrente elétrica. Posto isto, é possível observar na Tabela 3, a correspondência de cada um dos fusíveis.

Tabela 3. Correspondência do número de fusíveis.

Fusível	Correspondência
1	Proteção do controlador
2	Proteção do controlador de ralenti
3	Proteção do injetor
4	Proteção da bobine
5	Proteção da bomba de combustível
6	Proteção de todo o circuito elétrico

4.1.1 Sensor de Posição da Cambota

O sensor de posição de cambota utilizado é um sensor do tipo ABS (passivo indutivo), que como já foi possível visualizar encontra-se posicionado imediatamente abaixo da roda de impulsos – conectada ao eixo de transmissão. O pino do polo está ligado permanentemente a 1 íman, cujo efeito se estende à roda dentada.

A rotação da roda de impulso e a mudança resultante do espaço entre os dentes originam uma mudança de fluxo magnético, criando um campo magnético variável que induz uma tensão alternada quantificável na bobine. A frequência e amplitude desse tensão alternada estão relacionadas com a velocidade da roda dentada ferromagnética. Sendo este sensor passivo indutivo, não requer uma fonte de alimentação separada da unidade de controle. [64]

O sinal que o sensor dá em *volts*, indicando uma diferença de tensão. Na Figura 58 pode-se ver como funciona o sistema sensor e roda dentada e ainda o comportamento do sensor em função da tensão e do tempo (em ms), representado em gráfico. [64]

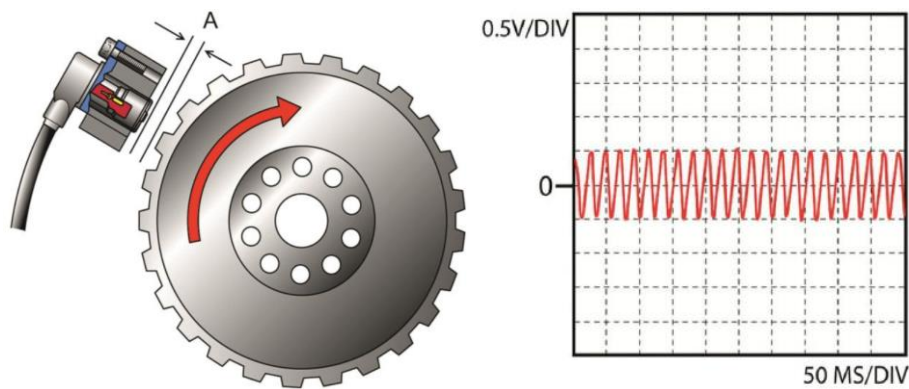


Figura 58. À esquerda uma ilustração do funcionamento do sistema sensor + roda dentada; à direita um gráfico representativo do comportamento do sensor em função da tensão.[64]

4.1.2 Sensor TPS

O sensor TPS (*Throttle Position Sensor*), é utilizado para monitorizar a posição da borboleta. O seu método de funcionamento assume-se como o de um potenciômetro, uma vez que fornece uma resistência variável, dependendo da posição da válvula borboleta.

Este sensor, deteta a posição/abertura da borboleta e envia essa informação à MEGASQUIRT II, que fornece uma corrente de saída ajustada a esse “valor”, ou seja, a posição do acelerador e consecutivamente da borboleta, controlam o fluxo de ar a entrar no motor. No caso da saída (*output*) fornecida pelo sensor TPS, que é transmitida ao ECU, esta define a quantidade de combustível a ser injetado no motor. [65]

Um potenciômetro é um componente eletrónico passivo, que funciona variando a posição de um contacto deslizante através de uma resistência. Toda a tensão de entrada é aplicada ao longo de todo o resistor, sendo a tensão de saída a diferença (queda), entre o contacto fixo e o deslizante (Figura 59). Este componente tem os dois terminais de fonte de entrada fixados na extremidade do resistor, e para ajustar a tensão de saída, o contacto deslizante é movido ao longo do resistor no lado da saída. [66]

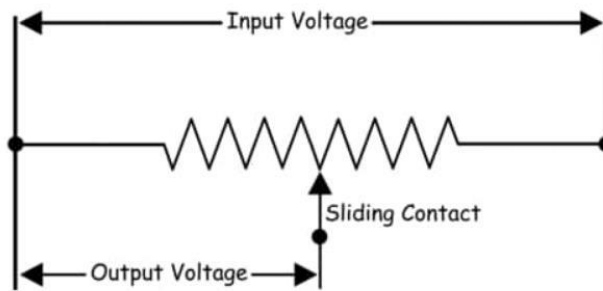


Figura 59. Ilustração do funcionamento entre o contacto fixo e deslizante de um potenciômetro. [66]

Concluindo, a centralina emite um sinal elétrico com uma tensão de 5V, que é recebido pelo potenciômetro nos terminais de entrada. Através da regulação do potenciômetro (que depende da posição da borboleta), este sinal será emitido pelo sensor TPS, com uma tensão diferente visto que a sua resistência está a ser alterada. Na Figura 60, através do gráfico, consegue-se visualizar a relação da tensão e resistência no funcionamento do sensor TPS.

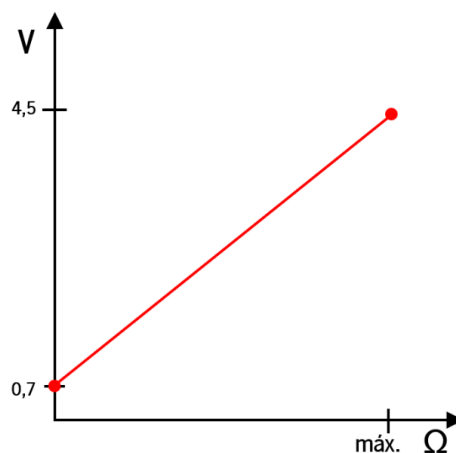


Figura 60. Gráfico demonstrativo da relação tensão/resistência do sensor TPS.

4.1.3 Controlador de *Ralenti*

O controlador de *ralenti* utilizado, tem como base de funcionamento uma válvula solenoide. Um solenoide é basicamente uma bobine de fio usada como eletroímã, que cria um campo magnético a partir da corrente elétrica e usa esse campo para criar um movimento linear. Ou seja, o campo magnético de um solenoide ativado tem polos positivos e negativos, que atrairão ou repelirão materiais sensíveis aos ímãs, o que faz com que um êmbolo se mova para trás ou para a frente. [67]

Na Figura 61, sendo uma mera ilustração, é possível verificar que quando a válvula borboleta está fechada, o ar que poderá passar, não será suficiente para dar continuidade ao funcionamento do motor, ainda que o veículo esteja parado.

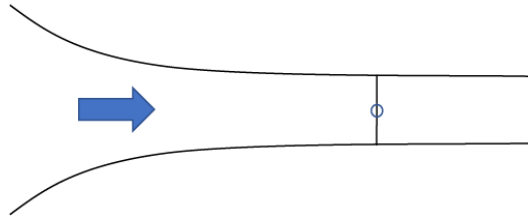


Figura 61. Ilustração do que acontece na válvula borboleta quando esta está fechada, na ausência de um circuito auxiliar.

Já no caso da Figura 62, existe um circuito alternativo ao dito principal, em que a sua abertura e fecho é examinada pelo controlador de *ralenti*. Junto a este circuito prevê-se que ocorra a injeção de combustível, e posto isto, a quantidade de ar que passa por este circuito permita o *ralenti* do motor.

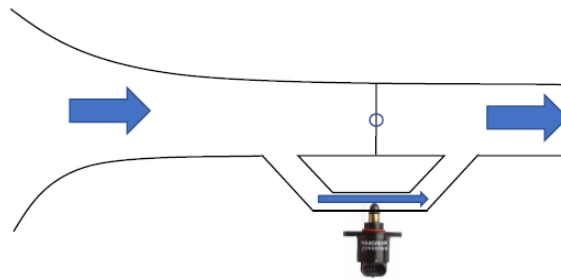


Figura 62. Ilustração do efeito face à existência de um circuito alternativo, permitindo assim a passagem de ar necessária ao ralenti do motor.

Testando o controlador através de um voltímetro, foi possível verificar que quando o sensor reconhece uma tensão de 5V recua, deixando assim o circuito aberto. Esta informação partirá da centralina. Este sensor é constituído por dois fios, sendo que um estará ligado à centralina, e outro ao relé principal, o que garante uma alimentação de 12V.

Na Figura 63, é possível analisar um gráfico respetivo ao funcionamento da válvula solenoide. Assim, a vermelho está representado o sinal que a centralina emite, ou seja, aberto ou fechado, já a verde está representada a corrente que resulta desse sinal, que é transmitida ao solenoide. Este gráfico ilustra a relação entre V (corrente) e s (tempo). [67]

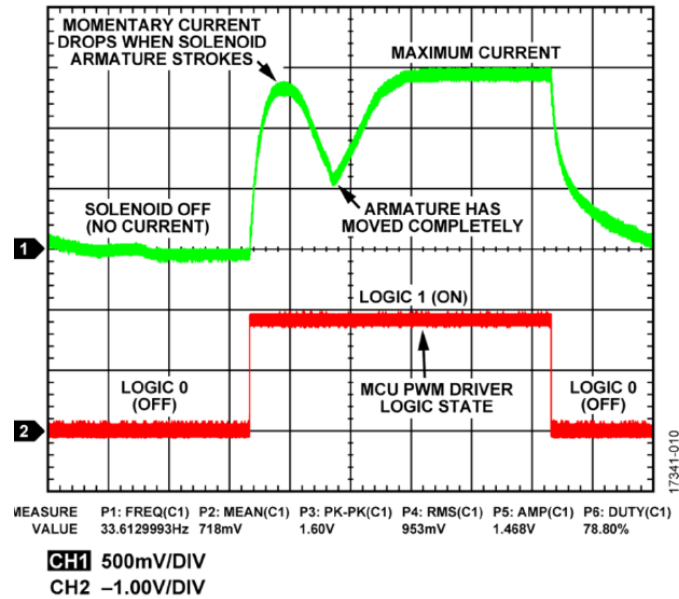


Figura 63. Gráfico ilustrativo da relação entre a tensão e tempo numa válvula solenoide. [67]

4.1.4 Sensor de Temperatura do Ar de Admissão

O sensor de temperatura do ar de admissão é um termistor (Figura 64), que monitoriza a temperatura do ar que entra no motor. Este é um valor necessário ser conhecido de forma a estimar a densidade do ar e ser possível obter a mistura estequiométrica de ar/combustível. Quanto mais frio se encontrar o ar, mais denso este é, e torna necessária uma maior quantidade de combustível para manter a estequiometria. Assim, o ECU altera o AFR modificando a duração e quantidade dos pulsos do injetor. Como é possível observar na Figura 64 a resistência elétrica do termistor altera em resposta às mudanças de temperatura. [68]

A centralina (ECU), tem como valor de referência os 5V, e de seguida analisa o sinal de chegada, também em tensão, e partindo deste valor calcula a temperatura do ar.

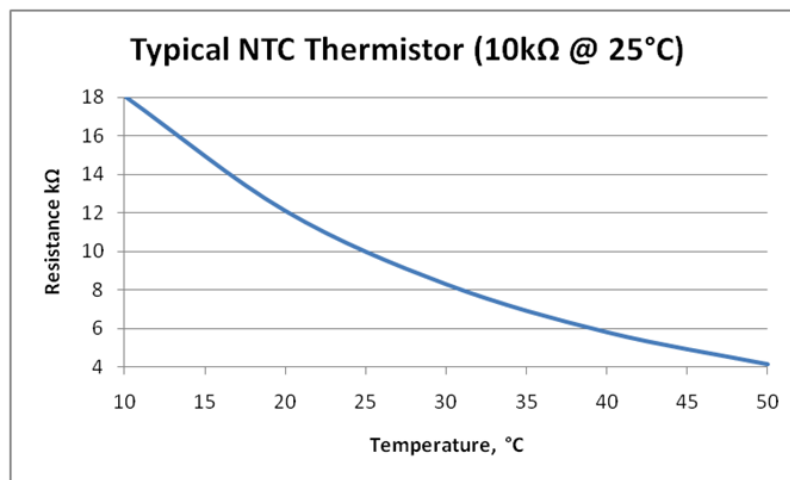


Figura 64. Gráfico ilustrativo da relação resistência/temperatura num termistor. [68]

5. ANÁLISE DO PROBLEMA

No presente capítulo, encontra-se explicado como se encontrava o motor *Suzuki* no início desta dissertação, bem como as alterações que foram realizadas, a nível mecânico.

5.1 Motor

No início de setembro de 2019, quando se iniciou o desenvolvimento desta dissertação, o motor *Suzuki*, TS 125 (subcapítulo 2.6), encontrava-se montado ao *chassis* do Kart (Figura 65), apesar de não existirem qualquer tipo de ligações, tanto mecânicas como eletrónicas.



Figura 65. Fotografia do Kart e do motor em setembro de 2019.

Como se pode observar na Figura 66, este motor era constituído por um coletor de admissão simples em alumínio, tendo sido desenhado e desenvolvido por outros estudantes nos Laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM). Como qualquer outro motor de moto, tinha presente o “kicks” que auxiliava a ignição do motor, e ainda um tubo de escape divergente-convergente.



Figura 66. Motor Suzuki em setembro de 2019. A amarelo representado o coletor de admissão, a vermelho o "kicks" e a verde o tubo de escape.

Este motor não era ligado há muitos anos, e por isso várias situações tiveram de ser repensadas, uma vez que o propósito deste projeto é que este motor, alocado ao Kart, funcione com ignição e injeção eletrônicas.

Assim sendo, e começando pelo coletor de admissão, este era bastante simples e de dimensões reduzidas. Tinha o assento para o injetor e a borboleta de admissão, mas a sua área não permitia a colocação de outros componentes necessários, como por exemplo a válvula IAC (*Idle Air Control*). É possível observar o coletor em questão na Figura 67.



Figura 67. Fotografia do coletor de admissão inicial em alumínio, desenvolvido nos laboratórios do DEM.

O tubo de escape, como é possível observar na Figura 68, apesar de ser divergente-convergente, a legislação em vigor não permite que nenhuma parte do Kart exceda o *chassis*, o que invalidou o uso desta geometria.



Figura 68. Fotografia do escape montado inicialmente.

Para além dos três componentes referidos, encontrava-se também no motor um disco dentado com 36 dentes, como se pode ver na Figura 69, circundado a azul. Este disco teve que se substituído uma vez que a parte ferromagnética se encontrava partida, o que podia interferir na correta leitura dos dentes por parte do sensor de posição de cambota.



Figura 69. Fotografia do motor onde se pode observar o disco dentado, circundado a azul, responsável por indicar a posição da cambota.

5.2 Solução de Problemas – Parte Mecânica

Para que exista comunicação entre o piloto e o seu motor, são necessárias ligações mecânicas entre os dois. Como já foi mencionado, nenhuma destas ligações estava feita e, portanto, foi preciso instalar os elementos necessários para a sua correta instalação e funcionamento. Dentro destas ligações tem-se, por exemplo, o pedal do acelerador que irá movimentar a borboleta, a embraiagem, responsável por separar a ligação entre o motor e a caixa de velocidades, etc.

Existe também a necessidade de criar comunicação entre o motor e o ECU, sendo para tal necessário instalar sensores, que tal como os restantes constituintes, precisam de suportes físicos.

5.2.1 Acelerador

No corpo do coletor de admissão existe a borboleta de admissão, que tem que ser ligada mecanicamente ao pedal do acelerador, de modo a existir comunicação entre eles. Para a realização desta ligação, optou-se por utilizar um cabo de aço entrelaçado com 1,5 mm de diâmetro e 1 600 mm de comprimento, introduzido numa bainha. Como se pode verificar na Figura 70, colocou-se um “serra-cabos”, do lado da borboleta, e terminal em forma de \cup (Figura 71), de forma a evitar que o cabo subisse demasiado ao sair do corpo da borboleta. Para além disso foi também adicionado um afinador no corpo da borboleta de maneira a ser possível ajustar a folga entre o cabo de aço e bainha, como se pode ver na Figura 71.



Figura 70. Fotografia do “serra-cabos” inserido no corpo da borboleta.



Figura 71. Fotografia com o terminal em forma de u e afinador no corpo da borboleta.

Já no lado do pedal, adicionou-se uma cavilha (Figura 72) com um diâmetro exterior de 6 mm que posteriormente foi maquinada na sua extremidade para um diâmetro de 4 mm, tendo sido feita também uma rosca M4, de modo a permitir o movimento de rotação.

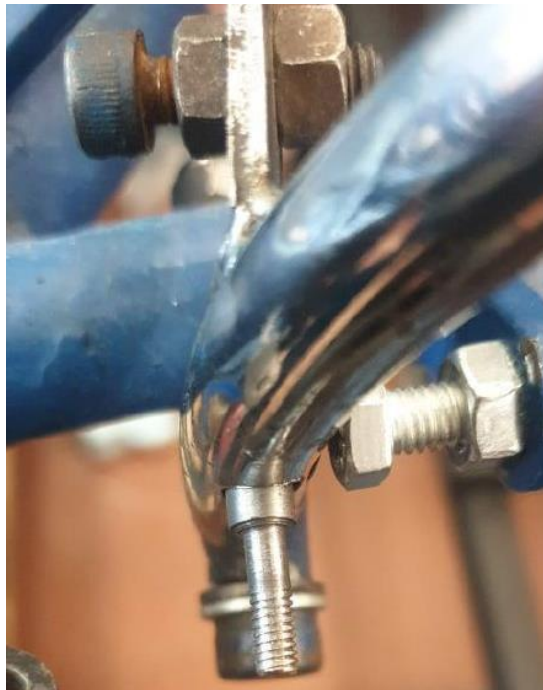


Figura 72. Fotografia da cavilha inserida no pedal do acelerador.

Depois usou-se uma barra de 5 mm (Figura 73) para fazer um efeito rótula, de forma a que o cabo ficasse sempre alinhado, independentemente da posição do pedal. Posto isto, fixou-se a bainha no *chassis* do Kart, afinando o limite máximo e mínimo do pedal.

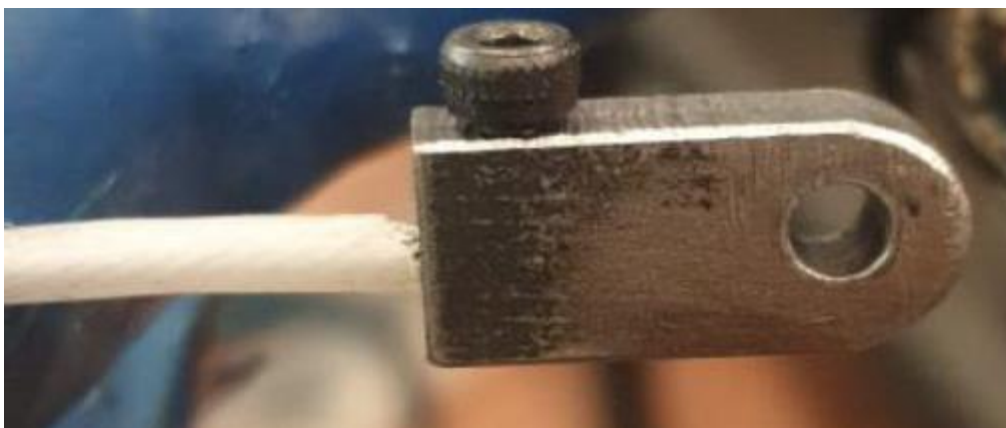


Figura 73. Fotografia da barra utilizada para fazer o efeito rótula.

Utilizou-se também um batente para travar o movimento do pedal quando a borboleta estiver completamente aberta, para que a borboleta não seja forçada no final do seu curso (Figura 74).



Figura 74. Fotografia do pedal do acelerador com fim de curso.

5.2.2 Filtro

Dois dos problemas iniciais era a inexistência de um filtro à entrada da admissão, e encontrar um suporte físico para o sensor de temperatura do ar da admissão. Como solução para estes problemas optou-se por desenvolver um suporte (do filtro) para resolver estas duas questões. Para tal, foi maquinado em cone um tarugo de *nylon* com diâmetro externo de 110 mm numa extremidade, um furo interno de

40 mm e com 55 mm de diâmetro exterior na extremidade oposta. Assim, esta peça servirá de suporte para o filtro e para o sensor de temperatura do ar de admissão. É possível observar essa peça na Figura 75.



Figura 75. Fotografia do suporte maquinado para o filtro e posicionamento do sensor de temperatura do ar de admissão.

5.2.3 Suporte da Bobine

Em relação à bobine, numa fase inicial, decidiu-se que esta ficaria alocada na parte superior do motor (Figura 76– A), mas depois, ponderando, percebeu-se que este local possivelmente iria levar à sua danificação devido ao aquecimento do motor. Seria também necessário isolar a bobine da restante instalação elétrica, por questões de segurança. Posto isto, a localização da bobine passou a ser a indicada na Figura 76– B, tendo sido desenhado e posteriormente fabricado um suporte para a mesma, a partir de uma chapa de aço comercial com 3 mm (Figura 58).

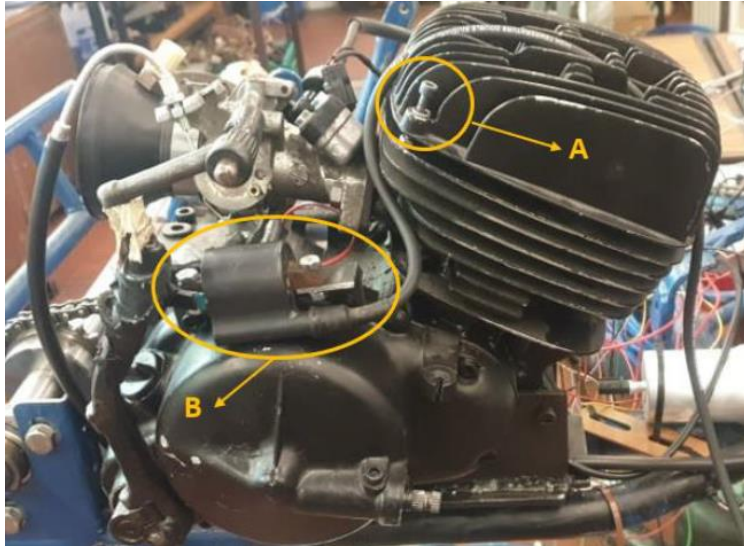


Figura 76. Sinalizado a A o primeiro local da bobine e a B o local final da mesma.



Figura 77. Fotografia do suporte desenhado e fabricado para a bobine.

5.2.4 Embraiagem

No caso da embraiagem, não existia na constituição do motor nenhuma peça para engrenar o veio da embraiagem que se encontra na tampa esquerda do motor. Foram realizadas várias pesquisas e por fim encontrou-se um estriado igual ao do veio da caixa, sendo este de uma alavanca de velocidade de um motor *zundapp*. De seguida, cortou-se a peça à medida, furou-se e colocou-se um suporte para o cabo e ainda foi feito um afinador de um parafuso M8. É possível observar o estriado e o afinador na Figura 78.



Figura 78. Fotografia do estriado da alavanca de velocidades de um motor zundapp inserido na embraiagem do motor, com afinador.

Para o volante, desenvolveu-se uma manete tipo patilha, de modo a facilitar o acesso à embraiagem por parte do condutor. A maneta foi fixada na parte de trás do volante, num dos seus braços (Figura 79), juntamente com uma bainha e um cabo de aço com 1,5 mm de diâmetro, o que resultou na sua conexão com o motor.



Figura 79. Fotografias da manete tipo patilha fixada num dos braços do volante.

5.2.5 Disco do Travão

Na Figura 61, é possível observar o disco do travão inicial, que mais tarde, através da ajuda de um torno mecânico, percebeu-se que estava empenado, e como tal foi necessário resolver este problema.



Figura 80. Fotografias do disco do travão inicial empenado.

Como é possível ver na figura anterior, a espessura do disco era muito pequena, o que não permitia a sua retificação. Assim sendo, optou-se por fazer um disco de travão novo, partindo do aproveitamento de um disco de uma *Renault Laguna*. Primeiramente maquinou-se o disco, de seguida soldou-se um centro e por fim colocou-se um varão retificado com aperto soldado, de forma a garantir a sua não excentricidade. Deste modo, retificou-se o seu interior para 30 mm, fez-se um escatel e voltou-se a retificar todo o disco, diminuindo a o seu diâmetro e espessura. É possível analisar este disco na Figura 62.



Figura 81. Fotografia do disco do travão montado no veio e pinça.

Adicionaram-se também molas antirruído (Fig. 25), responsáveis por recuar os calços, para que estes não estejam em contacto contínuo com o disco e assim não produzir ruído por fricção.



Figura 82. Fotografia das molas antirruído adicionadas na pinça do travão.

5.2.6 Colocação da Roda Dentada

Como já foi mencionado no subcapítulo 4.1, a roda dentada da cambota não estava nas condições a ser utilizada. Posto isto, foram estudadas e realizadas soluções para tal.

A primeira solução a que se chegou foi recorrer a uma roda dentada ferromagnética com 44 dentes, de um *cardan* de um *Renault Clio* e posteriormente, partindo de um tarugo de alumínio, desenhar-se e maquinar-se um pinhão em que a roda dentada era ligada por aperto. Foi cortado um dente e achado o dente correspondente ao PMS, como se pode observar na Figura 83. No entanto, não foi possível utilizar esta roda dentada, pelo simples facto do *software* da ECU não aceitar este número de dentes (44).



Figura 83. Fotografia da roda dentada da cambota com 44 dentes.

Assim, decidiu-se com auxílio dos laboratórios do DEM, maquinar-se uma peça nova, partindo de um tarugo de ferro magnético, sendo a parte cônica (veio), que conecta à cambota em alumínio. Esta nova peça tem 36 dentes e o veio cônico é roscado, de maneira a ligar à roda dentada, também ela roscada e ainda dois pernos, para que quando apertados não seja possível uma rodar sobre a outra.

Posteriormente, verificaram-se as distâncias entre os dentes e as cotas de cada um deles. Sendo necessário remover um dente desta roda, para efeitos de leitura por parte do sensor de posição de cambota, optou-se por retirar o dente mais defeituoso e retificar os restantes, de modo a que o sensor tenha uma leitura mais precisa e sem interferências. Para remover o dente recorreu-se a uma fresadora e fresou-se de modo a manter a restante geometria da roda. Na Figura 84 é possível visualizar a roda dentada montada, a zona onde há falha de dente e o sensor de posição da cambota.



Figura 84. Fotografia da roda dentada com a falha do dente e o sensor de posição.

Uma vez colocada a roda dentada na cambota, alinhou-se pelo sensor de posição da cambota, colocou-se o motor em PMS, rodou-se a roda dentada com o dente removido até 90° após o sensor e fixou-se com o auxílio dos dois pernos.

Relativamente ao apoio do sensor de posição da cambota, inicialmente tinha-se ponderado colocar na parte superior do motor, como se pode ver na Figura 85. No entanto, neste local a leitura não iria ser a mais correta, dada a grande distância à roda dentada, sendo este local do sensor pouco seguro perante todos os outros componentes do motor e o próprio motor.

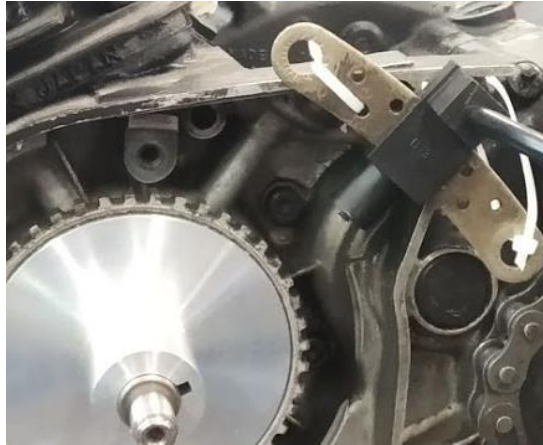


Figura 85. Fotografia do sensor de posição de cambota localizado na parte superior do motor.

Para ser possível o sensor de posição de cambota estar localizado no sítio onde se observa na Figura 84, foi necessário, primeiramente, retirar toda a parte metálica à volta do sensor e tornar a parte de borracha toda redonda, e de seguida, fazer um furo no motor com o mesmo diâmetro do sensor de posição, de modo e este entrar por aperto.

5.2.7 Instalação da Tubagem para a Bomba de Gasolina e Depósito de Combustível

De forma a criar a ligação entre o depósito de combustível e a bomba de combustível, foi necessário recorrer a um tubo flexível para gasolina. Para além disto, entre a bomba e o depósito existe um filtro de combustível (Figura 86), que como o nome indica evita que as impurezas presentes no combustível passem na bomba e posteriormente entrem no motor, tem uma válvula de retorno para o combustível, caso este tenha de voltar para o depósito e regula a pressão máxima, sendo esta 3 bar.



Figura 86. Fotografia do filtro de combustível selecionado - MAHLE ORIGINAL.

A bomba de combustível encontra-se por cima da chapa de proteção da base (Figura 87), estando presa ao *chassis* por abraçadeiras. Todas as tubagens entre a bomba e o filtro estão apertadas por abraçadeiras metálicas de aperto, de modo a garantir que em nenhum momento sai combustível.

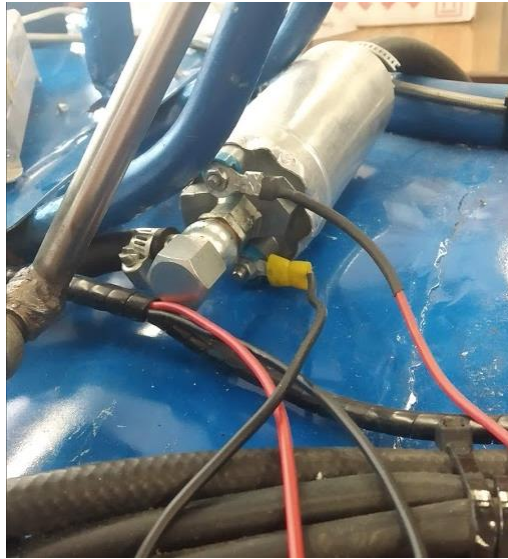


Figura 87. Fotografia do local da bomba de combustível, sendo este por cima da chapa de proteção da base.

No caso do depósito de combustível (Figura 88), este era um bidão de 5 litros que foi adaptado para esta situação, tendo sido feitos dois furos para que pudessem entrar o tubo metálico que recolhe o combustível e o tubo metálico de retorno. Estes tubos metálicos serão ligados às tubagens de gasolina previamente instaladas. Nos furos encontram-se dois vedantes feitos através de um material isolador à base de cortiça, que garante que entre o furo do depósito e o tubo não sai nenhuma gasolina.



Figura 88. Fotografias do depósito de gasolina de 5 litros.

5.2.8 Posicionamento e Fixação do Controlador, Bateria e Caixa de Relés

Foi necessário forrar-se todo o *chassis* do Kart utilizando uma chapa de aço comercial com 1,5 mm de espessura, com o intuito de proteger alguns componentes tais como o controlador, a bateria e a caixa de relés e fusíveis. Esta chapa foi também útil para criar certos pontos de massa necessários (Figura 89).



Figura 89. Fotografia do ponto de massa criado na chapa de proteção da base.

Relativamente à fixação e posicionamento dos componentes no Kart, o ECU está fixo em 4 pontos, sendo dois destes na blindagem de proteção e os restantes num suporte criado no *chassis*, encontrando-se então a ECU imediatamente à frente do banco do condutor, como é possível observar na Figura 90.



Figura 90. Fotografia com a localização do ECU no Kart.

A caixa de relés e fusíveis encontra-se atrás do banco, fixa através de três apoios de borracha, como se pode ver na Figura 91.



Figura 91. Fotografia da caixa de relés e fusíveis, localizada atrás do banco.

Por fim, a bateria ficou disposta na blindagem à esquerda (do condutor), do banco e fixada com abraçadeiras que impedem o seu movimento (Figura 92).



Figura 92. Fotografia com o local da bateria.

5.2.9 Escape

Como foi previamente mencionado, a geometria inicial do escape não era a ideal e por isso foi feita uma alteração ao mesmo. Para tal foram utilizados dois tubos com 22 mm de diâmetro exterior cada. Dado que foi necessário curvar estes tubos em 90°, foi imperativo que os tubos fossem reforçados. Utilizou-se uma máquina de curvar hidráulica, e com recurso a uma suta, acertou-se o ângulo de curvatura (Figura 93).



Figura 93. Fotografia do escape após a correção do ângulo de curvatura.

Para além disto, foi feito um apoio no suporte da bobine, para que assim passasse a existir um novo apoio para o escape. Tal é possível ser observado na Figura 94.



Figura 94. Fotografia do apoio do escape no suporte da bobine.

5.2.10 Chapa de proteção da corrente

Com o intuito de proteger, o condutor na eventualidade da corrente partir e posteriormente saltar, criou-se uma proteção em chapa, de modo a que se tal acontecer, esta nunca siga no sentido do condutor. Como se pode ver na Figura 95, esta encontra-se fixa em 3 pontos, dois deles no *chassis* e o outro no motor.



Figura 95. Fotografia da chapa de proteção da corrente.

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Após a realização deste trabalho, a maior parte dos objetivos iniciais foram cumpridos, sendo possível retirar várias conclusões.

Relativamente à análise teórica da influência do avanço de ignição, foram realizados 3 estudos com características diferentes. No primeiro, o calor de combustão foi fornecido de maneira igualmente distribuída ao longo de 50° de rotação da cambota. Para o segundo estudo, a distribuição do calor foi calculada através do método de Wiebe, mantendo o período de 50° de rotação da cambota. Por último, utilizou-se a fórmula de Wiebe $\Delta\theta_{90}$.

A partir do primeiro estudo, embora este não reflita condições reais de funcionamento de um processo de combustão, foi possível validar o método empregado, correspondendo a evolução de todas as variáveis ao expectável.

Assim sendo, partiu-se para a análise dos resultados obtidos com a utilização dos restantes métodos. Estes dados foram analisados tanto individualmente, como comparados para os dois métodos, tendo sido definidos os ângulos de ignição ideais para cada um destes. Concluiu-se também que, quanto mais cedo se iniciar o processo de combustão, mais acentuada a subida de pressão será no início deste processo, não correspondendo isto a uma maior pressão na parte posterior do ciclo. Concluiu-se também que para o método de Wiebe $\Delta\theta_{90}$ as pressões sentidas são bastante mais altas. Ficou-se a saber também que o facto de ser sentida uma pressão maior ao longo do ciclo de combustão não implica que o valor do trabalho seja igualmente maior.

Inicialmente foi feito um levantamento das condições do motor, do *chassis*, bem como todas as partes mecânicas existentes (travões e disco de travão, por exemplo). Realizado este levantamento percebeu-se de imediato que era necessário adquirir um novo coletor de admissão, visto que o que se encontrava montado não tinha área suficiente para alocar todos os outros componentes.

Adquirido este coletor, a roda dentada ferromagnética responsável (juntamente com o sensor de posição de cambota), por indicar em que posição se encontra o pistão, também teve de ser substituída uma vez que a sua parte dentada se encontrava partida. Foram estudadas várias hipóteses, tendo-se optado pela maquinagem de uma nova peça - veio cónico que liga à cambota juntamente com a roda dentada ferromagnética – nos laboratórios do DEM.

De seguida, decidiu-se que o controlador a utilizar seria a MEGASQUIRT II. Assim, foi importante consultar o manual desta centralina, de forma a entender o seu princípio de funcionamento. Concluiu-se que teria de se seguir a cablagem sugerida pelo manual para a instalação da ECU e dos restantes

componentes elétricos e eletrônicos, tendo sido então elaborado um diagrama de instalação adaptado para este projeto.

Numa tentativa de diminuir o número de cablagem no circuito, soldou-se as três massas dos sensores num único, chegando assim apenas um fio ao barramento 4. Sugeriu-se também o aumento da secção do fio da massa da bateria, soldar os cinco condutores, soldar o terminal da massa do *kart* e o terminal da bateria no mesmo cabo, evitando assim possíveis maus contactos.

Instalada a MEGASQUIRT II e os restantes componentes, iniciou-se o processo de melhoria dos elementos mecânicos e das ligações necessárias.

Uma delas foi o pedal do acelerador, reparou-se que seria necessário adicionar um fim de curso, pois era possível continuar a movimentar o pedal mesmo quando a borboleta estava completamente aberta. Sem o fim de curso iria-se estar a forçar e possivelmente a quebrar a borboleta.

Alterou-se a posição da bobina pois havia a possibilidade de esta interferir com o restante circuito elétrico e, para isso, foi necessário criar um novo suporte para a mesma.

Concluiu-se também que o sensor de temperatura do ar da admissão teria de ficar junto ao filtro da admissão. Nesta linha de pensamento foi feito um furo no suporte do filtro para que se pudesse fixar este sensor de forma segura.

Adaptou-se uma alavanca de velocidades de um motor *zundapp* à embraiagem, já que se verificou que o estriado era igual ao da caixa de velocidades do motor. Na extremidade oposta, no volante, reparou-se que a manete criada teria de ser alterada devido à excessiva força que fazia. Para isto, reduziu-se a distância entre o “serra-cabos” que fixava o cabo e o eixo, e aumentou-se a distância contrária.

Em relação à chapa de proteção da base, esta foi aplicada para que os componentes fiquem, em primeiro lugar, protegidos contra eventuais contactos com objetos provenientes do chão e em segundo lugar para reduzir a probabilidade de os componentes elétricos contactarem com humidade.

Reparou-se também que a caixa de relés precisava de estar fixa com apoios de borracha para cortar as vibrações do motor aos relés e fusíveis. Caso este tipo de apoio não tivesse sido implementado haveria a possibilidade dos relés ou dos fusíveis se desconetarem da sua ficha/suporte.

No entanto, numa fase final de testes sobre o funcionamento do controlador e todo o sistema elétrico, ligaram-se todos os componentes e cabos elétricos, exatamente da forma descrita no diagrama da Figura 52, e percebeu-se que não existia faísca na vela.

De forma a entender o que estava a acontecer, verificou-se o cabo de alta tensão, de seguida a impedância das bobines primárias e secundárias e a condutividade dos fios desde a MEGASQUIRT II até à bobine, e verificou-se que todos estes componentes estavam a funcionar da forma esperada. De

seguida, o circuito foi testado com bobines de impedâncias maiores, o que não solucionou o problema, continuando a vela sem faísca.

Assim, percebeu-se que o problema tinha de partir do controlador, pelo que este foi aberto e confirmou-se que algumas saídas estavam queimadas e, de seguida foram substituídos alguns transistores. Verificou-se também que a saída para a bobina estava ligada diretamente à *EPROM*. Como esta não consegue aguentar tamanha amperagem foi necessário arranjar uma bobina com parte de comando integrada e confirmou-se assim que a saída de sinal para a bobina estava queimada.

Testou-se então com uma outra *EPROM* e foi possível obter faísca na vela. Acontece que esta *EPROM* tinha um *firmware* diferente do da MEGASQUIRT II, o que impediu a comunicação com a mesma. Finalmente confirmou-se que o problema estaria na *EPROM* e não em outro qualquer componente.

Apesar de algumas adversidades, foi possível provar a viabilidade deste projeto, sendo o balanço final positivo, obtendo o resultado prático, na sua maior parte, esperado. Ou seja, os sistemas de ignição e injeção eletrónicos encontram-se operacionais e foram instalados de forma bem-sucedida, não existindo problemas relacionados com as ligações eletrónicas e mecânicas entre o motor e o controlador.

Como trabalhos futuros, sugere-se a aquisição de uma nova MEGASQUIRT II, com a finalidade de solucionar o problema da ausência de faísca na vela e seguidamente, após a sua instalação, colocar o motor num freio hidráulico e otimizar as diversas variáveis de funcionamento, de modo a extrair a maior potência possível deste motor, aliada à maior fiabilidade. Por último, encontrando-se o motor preparado para iniciar as suas funções, poderá ser feito um teste do Kart em pista, de forma a verificar problemas que possam não ser possíveis de reconhecer em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Martins, *Motores de Combustão Interna*. Engebook, 2016.
- [2] “Sir Dugald Clerk, 1854 - 1932,” *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, Dec-1933.
- [3] G. Cantore, E. Mattarelli, and C. A. Rinaldini, “A new design concept for 2-Stroke aircraft Diesel engines,” *Energy Procedia*, vol. 45, pp. 739–748, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.079.
- [4] “Deutsches Museum: Aircraft Engine Opposed Piston Engine JUMO 205, 1932.” [Online]. Available: <https://www.deutsches-museum.de/en/collections/machines/power-engines/combustion-engines/diesel-engines/vehicle-and-small-diesel-engines/aircraft-engine-opposed-piston-engine-jumo-205-1932/>. [Accessed: 19-May-2021].
- [5] “JUNKERS JUMO 205 – ENGINE.” [Online]. Available: <https://www.op-engine-news.com/2016/09/29/fringilla-etiam-proin-sollicitudin-diam-faucibus/>. [Accessed: 19-May-2021].
- [6] Junkers, “The Junkers Jumo 205 Diesel Engine.” [Online]. Available: <http://www.enginehistory.org/Piston/Diesels/CH4.pdf>. [Accessed: 19-May-2021].
- [7] C. de Arrais, “Manutenção de Motores de Popa - Motores 2 e 4 Tempos - Definições - Clube do Arrais Amador.” [Online]. Available: <https://www.clubedoarrais.com/manutencao-de-motores-de-popa-motores-2-e-4-tempos-definicoes/>. [Accessed: 13-Apr-2021].
- [8] M. Nuti and R. Pardini, “Twenty years of piaggio direct injection research to mass produced solution for small 2T SI engines,” *SAE Tech. Pap.*, no. 724, 1998, doi: 10.4271/980760.
- [9] “Goliath GP700 - Wikipedia.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Goliath_GP700. [Accessed: 26-Jul-2021].
- [10] M. Nuti, R. Pardini, and D. Caponi, “FAST Injection System: PIAGIO Solutions for ULEV 2T SI Engines,” *SAE Tech. Pap. Ser.*, 1997.
- [11] C. Classic, “Engine History: The Sarich Orbital Engine – Sometimes A Dead End Can Lead Somewhere. | Curbside Classic.” [Online]. Available: <https://www.curbsideclassic.com/automotive-histories/engine-history-the-sarich-orbital-engine-sometimes-a-dead-end-can-lead-somewhere/>. [Accessed: 08-Apr-2021].
- [12] M. of A. A. and Sciences, “Orbital engine technology - Australia Innovates - Powerhouse Museum.” [Online]. Available:

- http://archive.maas.museum/australia_innovates/index32a3.html?behaviour=view_article&S. [Accessed: 08-Apr-2021].
- [13] “Stroke of Fortune – Driven To Write.” [Online]. Available: <https://driventowrite.com/2018/03/02/what-happened-to-orbital-two-stroke-engine-analysis/>. [Accessed: 04-May-2021].
- [14] W. M. Heynes, “The Jaguar Engine.” [Online]. Available: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/PIME_AUTO_1952_000_020_02?journalCode=pada. [Accessed: 05-May-2021].
- [15] Lawrence M. Fisher, “Technology; Rehabilitating the Image of the Two-Stroke Engine - The New York Times,” 1990. [Online]. Available: <https://www.nytimes.com/1990/07/08/business/technology-rehabilitating-the-image-of-the-two-stroke-engine.html>. [Accessed: 08-Apr-2021].
- [16] D. W. Blundell and M. H. Sandford, “TWO stroke engines-the lotus approach,” *SAE Tech. Pap.*, 1992, doi: 10.4271/920779.
- [17] D. Shawcross, C. Pumphrey, and D. Arnall, “A five-million kilometre, 100-vehicle fleet trial, of an air-assist direct fuel injected, automotive 2-stroke engine,” *SAE Tech. Pap.*, no. 724, 2000, doi: 10.4271/2000-01-0898.
- [18] “Lotus, QUB and Jaguar to Develop Variable Compression Ratio, 2-Stroke OMNIVORE Research Engine - Green Car Congress.” [Online]. Available: <https://www.greencarcongress.com/2008/08/lotus-qub-and-j.html>. [Accessed: 04-May-2021].
- [19] “Lotus OMNIVORE two-stroke engine [16]. | Download Scientific Diagram.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Lotus-OMNIVORE-two-stroke-engine-16_fig5_258398444. [Accessed: 04-May-2021].
- [20] J. Martins, C. Pereira, and F. P. Brito, “A New Rotary Valve for 2-Stroke Engines Enabling Over-Expansion,” *SAE Tech. Pap.*, 2016, doi: 10.4271/2016-01-1054.
- [21] “Renault & partners show research prototypes: 2-cyl. 2-stroke diesel, 48V mild-hybrid diesel, delivery EV - Green Car Congress.” [Online]. Available: <https://www.greencarcongress.com/2014/12/20141213-renault.html>. [Accessed: 10-May-2021].
- [22] Wikiwand, “Scavenging (engine) - Wikiwand.” [Online]. Available: [https://www.wikiwand.com/en/Scavenging_\(engine\)](https://www.wikiwand.com/en/Scavenging_(engine)). [Accessed: 14-Apr-2021].

- [23] “Scavenging, engine - exhaust systems .. Info | About | Wh.” [Online]. Available: <https://amp.en.google-info.org/7998108/1/scavenging-engine.html>. [Accessed: 27-Apr-2021].
- [24] “How to avoid scavenge fires - Internal combustion engine procedure.” [Online]. Available: <http://www.machineryspaces.com/scavage-fire.html>. [Accessed: 27-Apr-2021].
- [25] F. 2 Learn, “Two-Cicle Engine.” [Online]. Available: <https://www.fun2learn.org/wp-content/uploads/2019/03/3.12-TWO-STROKE-ENGINES.pdf>. [Accessed: 29-Apr-2021].
- [26] U. of Bath, “2-Stroke Engine Options for Automotive Use: A Fundamental Comparison of Different Potential Scavenging Arrangements for Medium-Duty Truck Applications,” 2019, doi: 10.4271/2019-01-0071.
- [27] “AE301 Aerodynamics I.” [Online]. Available: http://mercury.pr.erau.edu/~hayasd87/SH_AE301/notes/AE301_Notes_A-3.pdf. [Accessed: 29-Apr-2021].
- [28] “Two-stroke engines: parts, cycles, working principles and applications.” [Online]. Available: <https://oto.donga.edu.vn/chi-tiet-bai-viet/two-stroke-engines-parts-cycles-working-principles-and-applications-18755>. [Accessed: 02-May-2021].
- [29] “Model Petrol Engines (by ETW).” [Online]. Available: <http://www.modelengineneeds.org/etw/2s/index.html>. [Accessed: 31-May-2021].
- [30] “Yamaha Power Valve System (YPVS).” [Online]. Available: <https://www.yamahapart.com/yamahapowervalvesystemypvs>. [Accessed: 31-May-2021].
- [31] J. Martins, “Redução no Consumo dos Motores de Combustão Interna de Veículos,” 2000.
- [32] “O que a cor das velas de ignição significa?” [Online]. Available: <https://pt.med-auto.com/reparo-automotivo/o-que-a-cor-das-velas-de-ignicao-significa.html>. [Accessed: 30-Apr-2021].
- [33] CEPRA, “Velas de ignição.” [Online]. Available: <https://posvenda.pt/wp-content/uploads/2018/01/Revista-Pós-Venda-28-Velas-de-ignição-Parte-II.pdf>. [Accessed: 30-Apr-2021].
- [34] G. Ferreira and G. Duarte, “Estudo e otimização de motores a dois tempos Rotax,” FEUP, 2018.
- [35] “The Battle of the Japanese Bike Giants - Carole Nash.” [Online]. Available: <https://www.carolenash.com/news/bike-news/detail/battle-japanese-bike-giants>. [Accessed: 30-May-2021].

- [36] "LIFE AND TIMES OF THE HONDA CR250R | Dirt Bike Magazine." [Online]. Available: <https://dirtbikemagazine.com/life-and-times-of-the-honda-cr250r/>. [Accessed: 30-May-2021].
- [37] "1983 Honda CR250R | Bike-urious." [Online]. Available: <https://www.bike-urious.com/1983-honda-cr250r/>. [Accessed: 30-May-2021].
- [38] "Yamaha YZ250." [Online]. Available: <https://www.yamaha-motor.eu/pt/pt/products/offroad-motorcycles/competition/2021-yz250/techspecs/>.
- [39] "Classic Steel 127: 1993 YZ125 - PulpMX." [Online]. Available: <http://pulpmx.com/2018/01/10/classic-steel-127-1993-yz125/>. [Accessed: 26-Jul-2021].
- [40] "O veneno da viúva-negra | RD 350." [Online]. Available: <https://ricardord350.wordpress.com/o-veneno-da-viuva-negra/>. [Accessed: 05-Jul-2021].
- [41] "Suzuki Cycles." [Online]. Available: <http://www.suzukicycles.org/RM-RMX-series/index.html?RM250-RMX250.shtml~isoraami>. [Accessed: 27-May-2021].
- [42] "Terça-feira: Testamos o Suzuki RM2004 de 250 | Revista Motocross Action." [Online]. Available: <https://motocrossactionmag.com/pt/doi-tempos-terça-feira-testamos-o-suzuki-rm2004-de-250/>. [Accessed: 31-May-2021].
- [43] "KX500 Engine Specifications." [Online]. Available: <https://itstillruns.com/kx500-engine-specifications-7656481.html>. [Accessed: 31-May-2021].
- [44] "1984 Kawasaki KX500 Rare Vintage KX 500 - full engine rebuild!" [Online]. Available: <http://suprememotos.com/kawasaki/128924-1984-kawasaki-kx500-rare-vintage-kx-500-full-engine-rebuild.html>. [Accessed: 31-May-2021].
- [45] "The rise and fall of the two-stroke » British Motorcyclists Federation - The BMF is the UK's largest motorcycle membership organisation and we aim to promote and protect motorcycling." [Online]. Available: <https://www.bmf.co.uk/news/show/the-rise-and-fall-of-the-two-stroke>. [Accessed: 06-May-2021].
- [46] "Enduro." [Online]. Available: <https://www.ktm.com/en-us/models/enduro.html>. [Accessed: 07-May-2021].
- [47] "KTM's Two-Stroke EFI: How it Evolved - Transmoto." [Online]. Available: <https://transmoto.com.au/ktms-two-stroke-efi-how-it-evolved/>. [Accessed: 27-May-2021].
- [48] "As novas KTM EXC TPi 2020 a 2 Tempos ao pormenor | Motomais." [Online]. Available: <https://motomais.motosport.com.pt/noticias/as-novas-ktm-exc-tpi-2020-a-2-tempos-ao-pormenor/>. [Accessed: 26-Jul-2021].

- [49] “2stroke / 4stroke - Motorcycle | Yamaha Motor Co., Ltd.” [Online]. Available: <https://global.yamaha-motor.com/business/mc/mc-tech/standard-technology/2st4st.html>. [Accessed: 06-May-2021].
- [50] “Yamaha YCCT.” [Online]. Available: <https://www.yamahapart.com/yamahaycct>. [Accessed: 27-May-2021].
- [51] “SuzukiCycles.” [Online]. Available: <https://www.suzukicycles.org/TS-TC-series/index.ht>. [Accessed: 04-May-2021].
- [52] “Our Stories : 09 Development of Autolube, a Breakthrough for 2-Stroke Engines - History | YAMAHA MOTOR CO., LTD.” [Online]. Available: <https://global.yamaha-motor.com/stories/history/stories/0009.html>. [Accessed: 07-May-2021].
- [53] “FIA Karting - History.” [Online]. Available: <https://www.fiakarting.com/history/1956>. [Accessed: 10-May-2021].
- [54] “File:Rotax100WaterCooled1.jpeg - Kart Wiki.” [Online]. Available: <https://www.kartwiki.com/index.php/File:Rotax100WaterCooled1.jpeg>. [Accessed: 10-May-2021].
- [55] “VORTEX ENGINES.” [Online]. Available: http://www.vortex-engines.com/palmares_anniversario_en.php. [Accessed: 20-May-2021].
- [56] “VORTEX ENGINES.” [Online]. Available: http://www.vortex-engines.com/motori-racing-dst_en.php. [Accessed: 10-May-2021].
- [57] “The CIK-FIA Categories | Federation Internationale de l’Automobile.” [Online]. Available: https://www.fia.com/news/cik-fia-categories?fbclid=IwAR2q26DN_g17ih9LUBp8lhJleaS5YiSE1Y5Uo8EnHNdn6Vx8VQOpQf5xEj0. [Accessed: 20-May-2021].
- [58] “SCREAMER III – KZ/KZ2 – IAME Karting | Official Engines.” [Online]. Available: <https://iameengines.com/product/screamer-iii-kz-kz2/>. [Accessed: 20-May-2021].
- [59] “Ignition system | engineering | Britannica.” [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/ignition-system>. [Accessed: 03-Jun-2021].
- [60] “Magneto Ignition System: Definition, Parts, Working Principle, Advantages, Disadvantages, Application [Notes & PDF].” [Online]. Available: <https://themechanicalengineering.com/magneto-ignition-system/>. [Accessed: 03-Jun-2021].
- [61] “Suzuki TS125 1971 1972 (R) (J) USA (E03) Alternatives: Aftermarket and Non OE products

- for the TS125 1971 1972 (R) (J) USA (E03).” [Online]. Available: https://www.cmsnl.com/suzuki-ts125-1971-1972-r-j-usa-e03_model16290/alternatives/#.YGby_jD9PY ELPROCUS. (2013). Obtido de Throttle Position Sensor – Working Principle and Applications. [Accessed: 03-Jun-2021].
- [62] “Electronic Ignition System: Definition, Parts or Construction, Working Principle, Advantages, Disadvantages, Application [Notes & PDF].” [Online]. Available: <https://themechanicalengineering.com/electronic-ignition-system/>. [Accessed: 03-Jun-2021].
- [63] “Wiring and Sensors.” [Online]. Available: <http://www.megamanual.com/v22manual/mwire.htm>. [Accessed: 14-Jul-2021].
- [64] “Check and change ABS and wheel speed sensors | HELLA.” [Online]. Available: <https://www.hella.com/techworld/uk/Technical/Sensors-&actuators/Check-change-ABS-sensor-4074/#>. [Accessed: 15-Jul-2021].
- [65] “Universal TPS sensor.” [Online]. Available: <https://www.kperformance.be/Universal-TPS>. [Accessed: 23-Mar-2021].
- [66] “Potentiometer: Definition, Types, And Working Principle.” [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/potentiometer/>. [Accessed: 18-Jul-2021].
- [67] “CN0415 Circuit Note | Analog Devices.” [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/design-center/reference-designs/circuits-from-the-lab/cn0415.html#rd-description>. [Accessed: 18-Jul-2021].
- [68] “NTC e PTC - Electrical e-Library.com.” [Online]. Available: <https://www.electricalibrary.com/2017/08/14/ntc-e-ptc/>. [Accessed: 18-Jul-2021].