



**Carlos Manuel
Peixoto Rocha**

**Estudo dos parâmetros e características
influentes para o desempenho hidráulico das
bombas de óleo**

Study of parameters and influential characteristics for the hydraulic performance of oil pumps



**Carlos Manuel
Peixoto Rocha**

Estudo dos parâmetros e características influentes para o desempenho hidráulico das bombas de óleo

Study of parameters and influential characteristics for the hydraulic performance of oil pumps

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de António Manuel Godinho Completo, Professor Associado com Agregação, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este relatório de estágio teve o apoio dos projetos: “Agenda ILLIANCE” [C644919832-00000035 | Project nº 46], financiado por PRR – Plano de Recuperação e Resiliência no âmbito da “Next Generation EU from the European Union”; Fundação para a Ciência e Tecnologia I.P. (FCT, IP) através dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020.

O júri / The jury

Presidente / President

Prof. Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Mestre Miguel da Silva Oliveira

Assistente Convidado da *Universidade de Aveiro*

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo

Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

Um grande agradecimento a todos os que ajudaram nesta tarefa hercúlia marcante para o resto da vida. Tal como ela, todos os que ajudaram na sua realização, quer em pequena, quer em grande parte, quer diretamente, quer emocionalmente, todos ficarão no meu pensamento. Em destaque quero agradecer aos meus colegas e amigos pelo suporte bem necessário durante os tempos mais cansativos. À minha mãe, pelo apoio incondicional, não só nestes últimos meses, mas na totalidade do meu desenvolvimento educacional e emocional. Ao orientador deste trabalho, Prof. Dr. António Completo pelo aconselhamento e instrução na realização do relatório. E por último, mas definitivamente não menos importante à minha tutora Ana Conceição pela disponibilidade, orientação e apoio, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.

Keywords

oil pump, vane pump, variable displacement, hydraulic performance, assembly, internal seal

Abstract

In this study, motivated by the environmental and economic benefits of developing more efficient systems in the automotive industry, the variable displacement oil pumps manufactured at the Renault Cacia factory are analysed. With the use of available resources, from test benches to analysis software, several parameters of this system were analyzed with the aim of obtaining correlations that allow its future optimization. In terms of methodology, the study was divided into two parts.

In the first, the data recorded by the assembly and test equipment in both assembly lines of the variable displacement oil pumps were analyzed in the Spotfire software in search for the correlations between the parameters of greater interest, namely the insertion parameter of the regulating valve plug, specifically the force and displacement in the insertion, and the pressures recorded in the end-of-line test benches, with the solenoid valve on (EV ON) and off (EV OFF). With this analysis, a positive correlation was identified for the displacement values and a negative correlation for the force values as in relation to the recorded EV OFF pressure values, as well as a strong instability in the EV ON pressure recordings.

In the second part, following a study previously initiated by Renault Cacia, the pump's internal sealing system is modified and, with the planning and carrying out of experiments on the RO6 test bench and the manufacture of test components, it is analysed, with special interest on the effect that a hydraulic sealing system (by oil pressure), as opposed to the sealing by compression of an elastic element, has on the hydraulic performance of the pumps, specifically on the stabilization of low pressures (pressures with the solenoid valve on) downstream of the pump. In this analysis a beneficial influence (less instability) on the EV ON pressure was identified when a hydraulic sealing method is used.

With this study, and based on the conclusions of the analyses, feasibility investigations and cost-benefit analyzes are encouraged, for a possible future implementation of the proposed modifications.

Palavras-chave

bomba de óleo, bomba de palhetas, débito variável, desempenho hidráulico, montagem, vedação interna

Resumo

Neste estudo, motivado pelos benefícios ambientais e económicos do desenvolvimento de sistemas mais eficientes na indústria automóvel, as bombas de óleo de débito variável produzidas na fábrica Renault Cacia são analisadas. Com a utilização dos recursos disponíveis, desde bancos de ensaio até ao software de análise, vários parâmetros deste sistema foram analisados com o objetivo de obter correlações que permitam a sua futura otimização. Em termos de metodologia o estudo foi dividido em duas partes.

Na primeira, os dados registados pelo equipamento de montagem e de ensaio em ambas as linhas de montagem das bombas de óleo de caudal variável foram analisados no software Spotfire na procura de correlações entre os parâmetros com maior interesse, nomeadamente o parâmetro de inserção do tampão da válvula reguladora, especificamente a força e o deslocamento na inserção, e as pressões registadas nos bancos fim de linha, com a eletroválvula ligada (EV ON) e desligada (EV OFF). Com esta análise foi identificada uma correlação positiva para os valores de deslocamento e negativa para os valores de força para com os valores de pressão em modo EV OFF registada, também como uma forte instabilidade nos registos de pressão em modo EV ON.

Na segunda parte, na sequência de um estudo iniciado pela Renault Cacia anteriormente, o sistema de vedação interna da bomba é modificado e, com o planeamento e realização de experiências no banco de ensaios RO6 e fabrico de componentes para ensaio, é analisado, com especial interesse no efeito que um sistema de vedação hidráulica (por pressão de óleo), ao contrário da vedação por compressão de um elemento elástico, tem no desempenho hidráulico das bombas, especificamente na estabilização de baixas pressões (pressões com a eletroválvula ligada) a jusante da bomba. Nesta análise foi principalmente identificada uma influência benéfica (menos instabilidade) na pressão em modo EV ON quando é utilizado um sistema de vedação hidráulica.

Com este estudo, e a partir das conclusões das análises elaboradas, investigações de viabilidade e análises de custo-benefício são fomentadas, para uma possível futura implementação das modificações propostas.

Índice

I	Introdução	3
1	Introdução	5
1.1	Enquadramento	5
1.2	Objetivo	6
1.3	Organização	6
II	Renault	7
2	A Empresa Renault Cacia S.A.	9
2.1	Grupo Renault	9
2.2	Renault Cacia S.A.	9
2.3	Produção e Organização	10
III	Bombas de Óleo	13
3	Bombas de Óleo	15
3.1	Conceitos básicos	15
3.2	Bombas de óleo	16
3.3	Princípios de Funcionamento	17
3.3.1	Bomba de óleo de engrenagens de dentado exterior	17
3.3.2	Bomba de óleo de engrenagens de dentado interior	18
3.3.3	Bomba de óleo de palhetas	19
3.4	Variação de Cilindrada	20
3.5	Diferenciação	24
3.5.1	Regulação de pressão	24
3.5.2	Tipologia	25
3.5.3	Localização e acionamento	26
3.6	Processo industrial	27
IV	Parâmetros de Montagem no Desempenho das Bombas de Óleo	29
4	Parâmetros de montagem no desempenho das bombas de óleo	31
4.1	Bancos fim de linha	31

4.2	Operação em análise	31
4.3	Análises realizadas	33
4.4	Resultados e Análise	34
4.4.1	Pressão com eletroválvula ligada	34
4.4.2	Pressão com eletroválvula desligada	37
4.4.3	Força aplicada no tampão	39
4.4.4	Deslocamento na inserção do tampão	43
4.5	Síntese	48
V	Sistema de Vedação no Desempenho das Bombas de Óleo	49
5	Sistema de vedação no desempenho das bombas de óleo	51
5.1	Banco RO6	51
5.2	Plano de Experiências	52
5.3	Materiais e Ensaios	54
5.3.1	Bomba de óleo	54
5.3.2	Vedantes	54
5.3.3	Anéis	56
5.3.4	Ensaio de Caracterização	57
5.3.5	Ensaio do Caderno de Encargos (CdC) Hidráulico	58
5.4	Resultados	59
5.4.1	Comparação do sistema de vedação (Experiências 1, 2 e 3)	59
5.4.2	Influência do material do vedante (Experiências 3 e 4)	61
5.4.3	Influência da presença de caixas no vedante (Experiências 4 e 5, e 6 e 7)	63
5.4.4	Influência da largura do vedante (Experiências 4 e 6, e 5 e 7)	66
5.5	Síntese	68
VI	Conclusão	71
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	73
6.1	Conclusões	73
6.2	Trabalhos Futuros	74
	Referências	74
A	Anexos Diversos	77
A.1	Características do óleo utilizado	77
A.2	Desenho técnico	78
A.3	Mapa de pressões	79
B	Registos das experiências	81

Lista de Tabelas

3.1	Tabela de comparação dos diferentes tipos de bombas de óleo com acionamento por corrente (7).	20
4.1	Tabela ANOVA para a força na inserção do tampão na linha 1.	41
4.2	Tabela ANOVA para a força na inserção do tampão na linha 2.	42
4.3	Tabela ANOVA para o deslocamento na inserção do tampão na linha 1.	45
4.4	Tabela ANOVA para o deslocamento na inserção do tampão na linha 2.	46
5.1	Plano de experiências.	53
5.2	Comparação das características dos materiais dos vedantes plásticos (21, 22).	55
5.3	Pontos de registo nos ensaios de caracterização.	58
5.4	Valores nominais de pressão para os pontos de ensaio de CdC Hidráulico realizados.	59
5.5	Ensaio CdC das experiências 1, 2 e 3.	61
5.6	Ensaio CdC das experiências 3 e 4.	63
5.7	Ensaio CdC das experiências 4, 5, 6 e 7.	66

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Lista de Figuras

2.1	Instalações Renault Cacia (2).	10
3.1	Galerias e dispositivos do circuito de óleo de um motor de combustão interna (7).	17
3.2	Esquema de funcionamento de uma bomba de engrenagens com dentado exterior (9).	18
3.3	Esquema de funcionamento de uma bomba de engrenagens com dentado interior e separador meia-lua (9).	18
3.4	Esquema de funcionamento de uma bomba trocoidal (9).	19
3.5	Esquema de funcionamento de uma bomba de palhetas. Adaptado de (12).	19
3.6	Esquema de exemplo de variação de cilindrada de uma bomba de palhetas (13).	20
3.7	Visualização 3D de um exemplo de mapa de pressões de óleo no motor, construído segundo o Anexo A.3.	21
3.8	Controlo (a) e comportamento simplificado (b) correspondente à bomba VDOP Euro 6d_full.	23
3.9	Esquemas hidráulicos de regulação direta (cima) e indireta (baixo) (7).	24
3.10	Tipos de deslocamento do anel em bombas de palhetas de débito variável (7).	25
3.11	Diferentes posições possíveis para as bombas de óleo.	26
3.12	Esquema da bomba Euro 6d_full com componentes.	27
4.1	Processo de operação de inserção da válvula reguladora.	32
4.2	Histograma da distribuição da pressão em modo EV ON na linha 1.	35
4.3	Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV ON na linha 1.	35
4.4	Histograma da distribuição da pressão em modo EV ON na linha 2.	36
4.5	Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV ON na linha 2.	36
4.6	Histograma da distribuição da pressão em modo EV OFF na linha 1.	37
4.7	Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV OFF na linha 1.	38
4.8	Histograma da distribuição da pressão em modo EV OFF na linha 2.	38
4.9	Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV OFF na linha 2.	39
4.10	Histograma da distribuição da força de inserção do tampão na linha 1.	40
4.11	Gráfico de barras da evolução da média diária da força de inserção do tampão na linha 1.	40

4.12	Histograma da distribuição da força de inserção do tampão na linha 2. . .	41
4.13	Gráfico de barras da evolução da média diária da força de inserção do tampão na linha 2.	42
4.14	Gráfico de pontos da média da força de inserção do tampão em função da pressão em modo EV OFF na linha 2.	43
4.15	Histograma de distribuição do deslocamento na inserção do tampão na linha 1.	44
4.16	Gráfico de barras da evolução da média diária do deslocamento de inserção do tampão na linha 1.	44
4.17	Histograma de distribuição do deslocamento na inserção do tampão na linha 2.	45
4.18	Gráfico de barras da evolução da média diária do deslocamento de inserção do tampão na linha 2.	46
4.19	Gráficos de pontos da média do deslocamento de inserção do tampão em função da pressão em modo EV ON na linha 2.	47
4.20	Gráfico de pontos da média do deslocamento de inserção do tampão em função da pressão em modo EV OFF na linha 2.	47
5.1	Banco de ensaios RO6.	51
5.2	Esquema (a) e imagem (b) do circuito hidráulico do banco RO6 com a bomba de óleo Euro 6d_full.	52
5.3	Bomba Euro 6d_full utilizada para as experiências.	54
5.4	Perspetivas dos três tipos de vedantes ensaiados.	55
5.5	Modelos 3D dos vedantes fabricados por impressão 3D de plásticos.	56
5.6	Anel com e sem modificação de transporte de óleo (canal).	57
5.7	Modelo (a) e desenho parcial (b) do anel maquinado para análise (retirado do Anexo A.2).	58
5.8	Ensaio de caracterização em modo EV OFF das experiências 1, 2 e 3.	60
5.9	Ensaio de caracterização em modo EV ON das experiências 1,2 e 3.	60
5.10	Ensaio de caracterização em modo EV OFF das experiências 3 e 4.	62
5.11	Ensaio de caracterização em modo EV ON das experiências 3 e 4.	62
5.12	Ensaio de caracterização em modo EV OFF para determinação da influência de caixas no vedante.	64
5.13	Ensaio de caracterização em modo EV ON para determinação da influência de caixas no vedante.	65
5.14	Ensaio de caracterização em modo EV OFF para determinação da influência da largura do vedante.	67
5.15	Ensaio de caracterização em modo EV ON para determinação da influência da largura do vedante.	68
A.1	Tabela da densidade do óleo utilizado.	77
A.2	Tabela da viscosidade cinemática do óleo utilizado.	77
A.3	Desenho técnico para maquinação do anel.	78
A.4	Exemplo de mapa de pressões utilizado pela centralina do motor.	79
B.1	Valores registados da a Experiência 1.	81
B.2	Valores registados da a Experiência 2.	82
B.3	Valores registados da a Experiência 3.	83

B.4	Valores registados da a Experiência 4.	84
B.5	Valores registados da a Experiência 5.	85
B.6	Valores registados da a Experiência 6.	86
B.7	Valores registados da a Experiência 7.	87

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Lista de Abreviaturas e Siglas

3D	- Tridimensional
AGV	- Automated Guided Vehicle (Veículo Autoguiado)
ANOVA	- Analysis of Variance (Análise de Variância)
BOCV	- Bomba de Óleo de Caudal Variável
CAD	- Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CdC	- Cahier des Charges (Caderno de Encargos)
dfBtwn	- Graus de liberdade entre grupos
dfWthn	- Graus de liberdade nos grupos
ECU	- Electronic Control Unit (Unidade de Controlo do Motor)
EV	- Eletroválvula
F-stat	- Estatística "F"
p value	- Valor "p"
PAHT	- High Temperature Polyamide (Poliamida de Alta Temperatura)
S2Btwn	- Soma dos quadrados entre grupos
S2Wthn	- Soma dos quadrados nos grupos
VDOP	- Variable Displacement Oil Pump (Bomba de Óleo de Caudal Variável)

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Parte I

Introdução

Capítulo 1

Introdução

Anteriormente à exposição teórica do estudo, este capítulo surge como introdução a este, indicando a sua necessidade, motivação e organização.

1.1 Enquadramento

Desde a primeira revolução industrial que a ótima e eficiente lubrificação de componentes mecânicos tem sido de grande relevância para a engenharia mecânica. Sem esta, os componentes metálicos sofrem gripagem, i. e., devido ao atrito, calor é gerado ao ponto de dois ou mais componentes ficarem danificados, colocando em risco o correto funcionamento do equipamento.

Nos motores de combustão interna, onde existem diversos componentes metálicos em constante movimento com tolerâncias mínimas, a correta lubrificação é indispensável, sendo utilizadas bombas de óleo para a lubrificação e arrefecimento das partes mais delicadas e indispensáveis para o correto funcionamento do motor, como os pistões. Tendo em conta a correta lubrificação do motor em todos os estados de funcionamento, as bombas de óleo clássicas foram projetadas tendo em conta o ponto mínimo de pressão para lubrificação necessária, existindo perdas de eficiência para rotações médias e altas do motor, dado ao fator proporcionalmente direto do caudal fornecido pelas bombas clássicas relativamente às rotações do motor. Para a resolução deste problema são já utilizadas em motores modernos bombas de óleo de débito variável que resultam num caudal de óleo fornecido com melhor correspondência com as necessidades de pressão de óleo do motor.

Com a disrupção ambiental causada pela emissão de gases de efeito de estufa, ocorreu uma mudança de paradigma na indústria automóvel, entre outras. Desde a eletrificação, até ao desenvolvimento de sistemas de maior eficiência, quer impulsionadas pela regulação às manufaturas, quer pelos benefícios ao consumidor, como menor consumo e maior autonomia, o investimento na investigação e desenvolvimento nesta indústria fomenta a elaboração de estudos que procurem a utilização eficiente da potência fornecida pelo motor. Neste contexto, a identificação dos parâmetros que afetem o desempenho destes sistemas, quer no projeto (como as dimensões dos componentes), quer no fabrico (como as tolerâncias de fabrico), quer na montagem (como o binário de aperto de parafusos), aparenta-se imensamente útil na procura pela máxima eficiência e melhor economia possível.

1.2 Objetivo

Este estudo, desenvolvido no âmbito do estágio curricular a decorrer na fábrica Renault Cacia, tem como objetivo principal, a identificação de parâmetros e características com influência no desempenho hidráulico da bomba de óleo de débito variável manufaturada na fábrica mencionada, com a utilização do banco de testes e restantes recursos presentes e disponibilizados por esta.

Mais especificamente, podem ser identificados como objetivos secundários a determinação da correlação entre parâmetros de montagem das bombas, nomeadamente a força e o deslocamento na inserção do tampão da válvula reguladora, e os valores registados nos bancos de teste fim de linha, também como o impacto dos parâmetros do sistema de vedação interna, como a geometria e a área de contacto do vedante com o corpo da bomba, no desempenho das bombas de óleo de débito variável.

1.3 Organização

O presente relatório de estágio está estruturado de forma a complementar e a apresentar o estudo elaborado ao longo do estágio curricular na fábrica Renault Cacia, primeiramente com uma sucinta introdução a esta, seguida de uma análise do estado da arte, na qual um aprofundamento progressivamente específico é elaborado acerca de bombas de óleo de caudal variável, desde o seu funcionamento, até às diferentes divergências existentes entre diversos modelos.

Subsequentemente, é apresentado o estudo realizado dividido em duas partes: uma análise da influência dos parâmetros de montagens das bombas recorrendo a um programa de análise de bases de dados de grandes dimensões; e uma análise de resultados de diversas experiências elaboradas com o objetivo da determinação da influência de certos parâmetros do sistema de vedação interna das bombas no desempenho hidráulico destas. Para ambos os capítulos os resultados e respetivas análises são antecidos por uma descrição dos elementos em estudo, também como a metodologia, processos e recursos utilizados na sua realização. Adicionalmente, uma síntese é realizada para cada análise, resumindo os resultados e conclusões obtidos destas.

Parte II
Renault

Capítulo 2

A Empresa Renault Cacia S.A.

Como introdução ao local da realização e disponibilização dos recursos necessários para o presente estudo, este capítulo serve como apresentação da fábrica Renault Cacia S.A.

2.1 Grupo Renault

Fundado em França em 1899, por Louis Renault e os seus irmãos, Marcel Renault e Fernand Renault, o Grupo Renault ou, oficialmente, Renault S.A. é uma empresa manufatora de automóveis. Estabelecido em mais de 130 países, o grupo composto pelas marcas Renault, Renault Samsung Motors, Dacia, LADA, Alpine e Mobilize emprega mais de 105 mil colaboradores em 35 países e vendeu 2 milhões de veículos em 2022, apresentando para o mesmo ano uma faturação de 46,4 mil milhões de Euros (1).

2.2 Renault Cacia S.A.

Entre outros 34, a fábrica Renault Cacia S.A., representada na figura 2.1, é um subsidiário do Grupo. Esta instalação, localizada em Cacia, no distrito de Aveiro, ocupa uma superfície total de 397 mil metros quadrados, dos quais 111 mil são cobertos, e, por dezembro de 2022, emprega 1085 colaboradores (2). Atualmente, as instalações operam num regime de 24 horas para um total de 340 dias de trabalho por ano. Aqui são montadas caixas de velocidades e produzidos componentes mecânicos de ferro fundido e alumínio para a indústria automóvel desde 1981, mantendo o objetivo inicial da produção dos mais diversos componentes mecânicos, com destaque para os motores.



Figura 2.1: Instalações Renault Cacia (2).

2.3 Produção e Organização

Especificamente, nesta fábrica são destacados os órgãos estratégicos produzidos: as caixas de velocidades, porque representam a maioria do volume de negócios, as árvores de equilibragem, porque são produzidas exclusivamente na fábrica, e as bombas de óleo, a manufatura das quais representa 80% da produção de bombas de óleo do Grupo. Muitos dos componentes dos órgãos mencionados são fabricados nas instalações, com a utilização de processos como a maquinagem (fresagem, torneamento, talhagem de engrenagens, retificação), soldadura a laser, tratamento térmico-químico, processos alguns dos quais se podem encontrar semi e totalmente automatizados, também como a limpeza, montagem, inspeção, manipulação e transporte das peças, com o uso de braços robóticos e AGVs.

Para além do fabrico, a Renault Cacia dispõe também de meios de investigação e controlo de qualidade, como laboratórios e centros de ensaio, onde os componentes produzidos são estudados e analisados para o seu desenvolvimento e certificação da sua conformidade.

A produção está distribuída em duas naves fabris, uma dedicada à fabricação de componentes para as caixas de velocidades e para a montagem destas, a outra dedicada à fabricação de outros componentes mecânicos para motores.

Adicionalmente, cada nave fabril está dividida em oficinas ou “Ateliers” dedicados a processos e componentes específicos. Na nave fabril das caixas de velocidades existem:

- Atelier 1 Peça Branca (pré-tratamento) — Maquinagem de carretos, coroa, árvore primária e árvore secundária;
- Atelier 1 Peça Negra (pós-tratamento) — Retificação;
- Atelier 2 – Maquinagem de eixos e cárteres;
- Atelier 5 - Montagem de caixas de velocidades.

Enquanto na nave fabril dos componentes mecânicos, onde são fabricadas e ensaiadas as bombas de óleo alvo deste estudo, destacam-se:

- Atelier 3 – Maquinagem e montagem de bombas de óleo e mini-metrologia;
- Atelier 4 – Maquinagem de cones crabot, árvores de equilibragem e apoios da cambota;
- Atelier 6 – Maquinagem da semelle, roda de coroa, BSE, tampa da culassa e eixos de balanceros.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Parte III
Bombas de Óleo

Capítulo 3

Bombas de Óleo

Como suplemento ao estudo realizado, este capítulo visa introduzir progressivamente as bombas de óleo, com subsequente destaque no objeto de estudo: as bombas de óleo de débito variável e os seus sistemas associados. Adicionalmente são representadas algumas das várias distinções, e associados benefícios e limitações, que a bomba analisada apresenta relativamente às restantes bombas de débito variável.

3.1 Conceitos básicos

As bombas hidráulicas têm como função a transformação de energia mecânica em energia hidráulica aplicada a um certo fluido de trabalho, usualmente vapor, água ou óleo. Devido à alta diversidade de fluidos que podem ser utilizados, ao longo dos tempos as bombas hidráulicas têm ficado cada vez mais diversificadas consoante as suas aplicações.

Quanto à metodologia para o fornecimento de energia ao fluido, podem-se distinguir as bombas em dois tipos: bombas volumétricas ou cinéticas (3). Nas bombas volumétricas existe a aplicação de energia a um certo volume isolado do fluido de trabalho, com a utilização de engrenagens (como as bombas de óleo clássicas), de um parafuso, de pistões, de palhetas (como as bombas de débito variável) ou de um diafragma. Ao contrário destas, as bombas cinéticas fornecem energia continuamente ao fluido de trabalho, tipicamente com a utilização de um eixo rotativo e de um elemento dotado de palhetas. Estas distinguem-se das bombas alvo deste estudo (bomba de óleo de débito variável) pelo facto das bombas cinéticas não restringirem um volume específico do fluido.

Outra metodologia para a classificação de bombas hidráulicas é a possibilidade da variação de débito ou cilindrada. Deste método podem-se dividir em bombas de débito constante ou bombas de débito variável. Pela simplicidade do mecanismo, as bombas de débito constante são mais indicadas para aplicações de baixa responsabilidade, correspondendo usualmente também a uma baixa capacidade e eficiência, enquanto para aplicações de alto rendimento as bombas de débito variável são preferíveis devido a uma melhor correspondência com as necessidades de um sistema.

De modo a ter a correta perceção dos efeitos de alguns fatores fundamentais das bombas hidráulicas, é necessária a compreensão das relações entre si. Relembrando a função principal das bombas hidráulicas (geração de energia hidráulica a partir de energia mecânica) são indicados os fatores-chave: o caudal fornecido pela bomba e a potência necessária para tal.

O caudal teórico (Q_t) pode ser calculado pela velocidade de rotação da bomba (n) e pela cilindrada, a qual equivale ao volume teórico debitado por rotação ($V_{rot,t}$), segundo a equação 3.1, (4). O caudal real obtido pela bomba (Q) será menor ao caudal teórico calculado devido ao rendimento hidráulico (η_{hid}), um fator obtido experimentalmente que varia de acordo com ineficiências da bomba como a presença de outros fluidos no fluido de trabalho (como, por exemplo, a presença de bolhas de ar numa bomba de óleo) ou a compressibilidade do fluido.

$$Q = Q_t \times \eta_{hid} = n \times V_{rot,t} \times \eta_{hid} \quad (3.1)$$

Tal como o caudal, a potência da bomba (P) pode ser calculada pela aplicação de um fator experimental resultante de ineficiências da bomba, o rendimento mecânico ou simplesmente rendimento da bomba (η_{mec}), à potência teórica ou potência hidráulica (P_t). Esta pode ser calculada com o caudal teórico da bomba (Q_t) e com a variação da pressão do fluido entre a saída e a entrada da bomba (Δp) segundo a equação 3.2.

$$P = P_t \times \eta_{mec} = Q_t \times \Delta p \times \eta_{mec} \quad (3.2)$$

Outra característica com relevância para o funcionamento das bombas hidráulicas é o seu binário (M) o qual é obtido pela potência e pela velocidade de rotação da bomba:

$$M = \frac{P}{2\pi n} \quad (3.3)$$

3.2 Bombas de óleo

Para a prevenção de gripagem quando existe o contacto entre componentes metálicos em movimento, o óleo é o fluido mais usualmente utilizado. Este arrefece e lubrifica os componentes, criando uma minúscula camada de óleo entre dois componentes que evita o contacto direto entre estes (5).

Nos motores de combustão interna, onde existem componentes metálicos em constante movimento e com tolerâncias mínimas, a correta lubrificação é necessária, sendo utilizadas as bombas de óleo para a circulação de óleo sob pressão para os componentes mais distantes do cárter (reservatório de óleo), como os pistões, a árvore de cames/comando de válvulas e os rolamentos (6). Para esta circulação, diversos elementos são necessários para o tratamento e transporte do óleo para que este cumpra as suas funções, nomeadamente o filtro de óleo, que separa partículas que prejudiquem o carácter lubrificante do óleo, um permutador de calor, o qual arrefece o óleo para a sua função refrigerante e finalmente as galerias de óleo, como as presentes na figura 3.1, cuja geometria determina quanto e com quanta pressão o óleo é fornecido aos elementos consumidores de caudal, determinando também as especificações da bomba de óleo.

Ao longo dos anos, à medida que os motores têm ficado mais potentes e eficientes, as bombas de óleo têm diversificado quanto ao seu princípio de funcionamento, resultando nas bombas de engrenagem com dentado interior, engrenagem com dentado exterior, nas bombas de palhetas, entre outras.

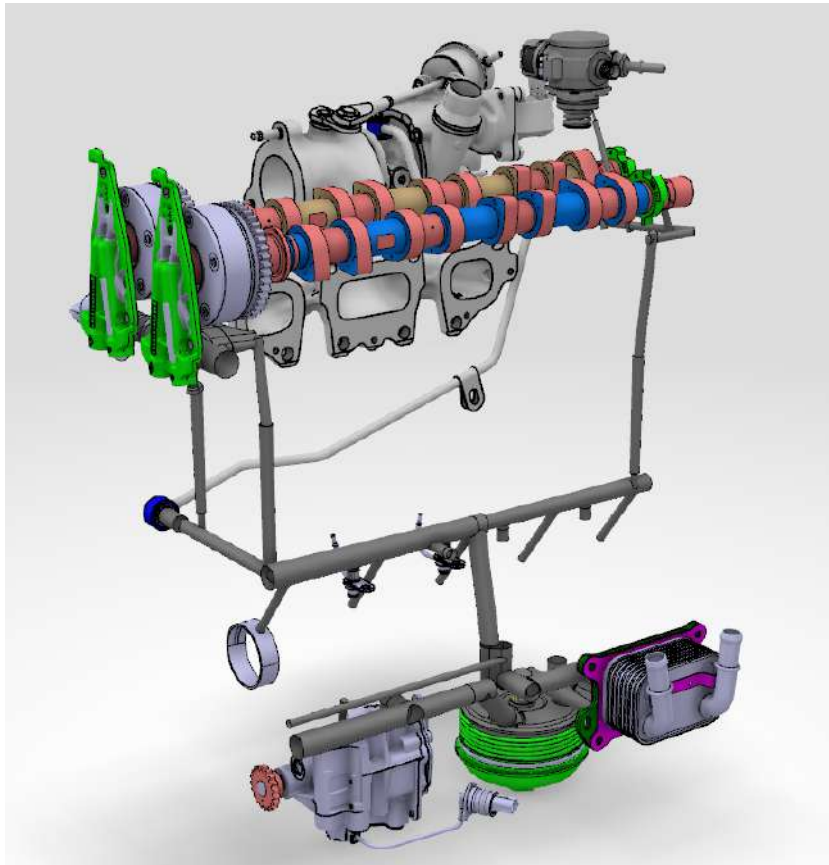


Figura 3.1: Galerias e dispositivos do circuito de óleo de um motor de combustão interna (7).

3.3 Princípios de Funcionamento

Perante uma abundância de tipos de bombas de óleo, são aqui indicados apenas alguns dos tipos de bombas de óleo com maior influência e utilização na história dos motores de combustão interna.

3.3.1 Bomba de óleo de engrenagens de dentado exterior

As bombas de engrenagem de dentado exterior, também designadas por bombas de pinhões ou bombas de óleo clássicas, apresentam uma configuração simples, de baixo custo de fabrico e de manutenção. Nestas, duas engrenagens de igual dimensão, são engrenadas perpendicularmente aos canais de admissão e descarga e, à medida que rodam em sentidos opostos, como esquematizado na figura 3.2, o óleo é “aspirado” pelo canal de admissão e impulsionado pelo canal de descarga (8).

A resultante de um jogo entre altas cargas nos componentes internos, gerando altas temperaturas, e a ocorrência de fugas de óleo devido a folgas maiores é uma bomba de baixa eficiência, que produz mais ruído e obtém pressões de saída relativamente baixas, por volta do 10 e 20 MPa (8).

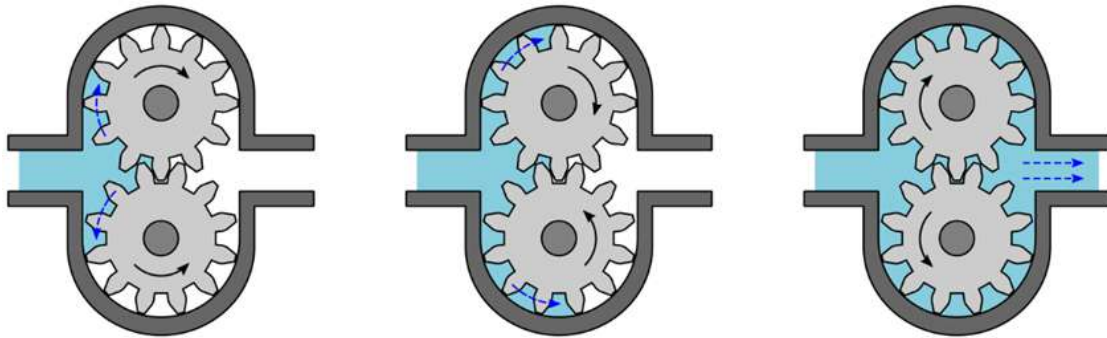


Figura 3.2: Esquema de funcionamento de uma bomba de engrenagens com dentado exterior (9).

3.3.2 Bomba de óleo de engrenagens de dentado interior

O princípio de funcionamento das bombas de engrenagem com dentado interior consiste na rotação de uma engrenagem menor, o pinhão, no interior de uma engrenagem maior com dentado interior e com um número maior de dentes, a coroa. À medida que as engrenagens são acionadas pelo motor, ambas rodam no mesmo sentido e o óleo é impulsionado para o canal de descarga da bomba. Dependendo da configuração da bomba (ao contrário da configuração ilustrada na figura 3.4), de modo a impedir o retorno do óleo na direção oposta, um elemento sólido em formato de meia-lua preenche o espaço onde os dentes não estão engrenados, se tal espaço existir, como representado na figura 3.3.

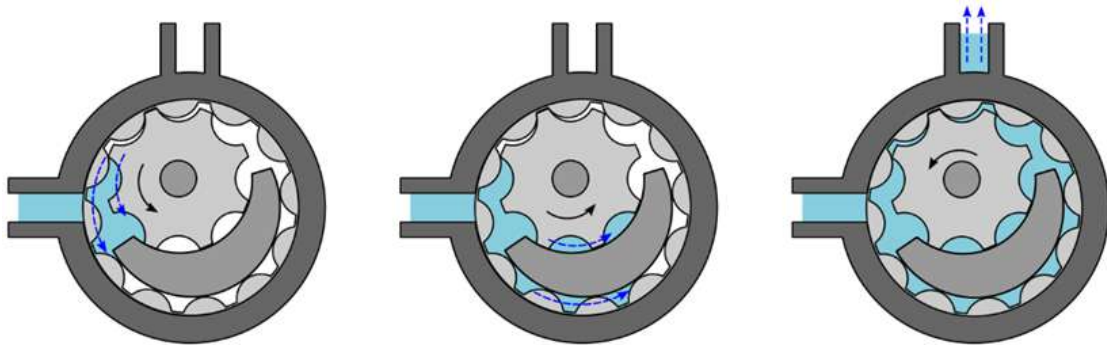


Figura 3.3: Esquema de funcionamento de uma bomba de engrenagens com dentado interior e separador meia-lua (9).

Alguns benefícios relativamente às bombas de óleo de engrenagens de dentado interior, são menores cargas entre os componentes e menor ruído produzido. De acordo com a referência em (8), em certas configurações, este tipo de bombas pode atingir 25 MPa e rotações máximas de 6000 rpm.

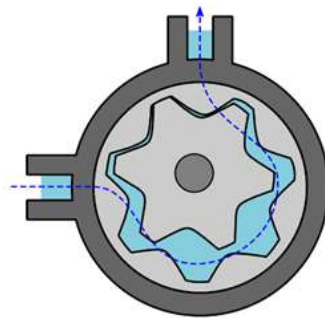


Figura 3.4: Esquema de funcionamento de uma bomba trocoidal (9).

3.3.3 Bomba de óleo de palhetas

Ao contrário das bombas anteriormente mencionadas, as bombas de palhetas não utilizam engrenagens, mas sim um rotor cilíndrico que contém palhetas que dividem o rotor em secções iguais (10). Quando este roda, devido a uma ação centrífuga, as palhetas são movidas até à face interna de um estator, tal como ilustrado na figura 3.5. Devido à geometria do estator e da posição do rotor neste, o volume contido entre as palhetas varia à medida que o rotor roda, resultando num aumento de pressão do óleo antes da sua expulsão pelo canal de descarga e uma diminuição de pressão antes do canal de admissão.

Este tipo de bombas pode atingir pressões máximas de 32MPa e velocidades de 2500 rpm (11).

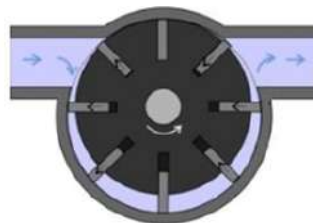


Figura 3.5: Esquema de funcionamento de uma bomba de palhetas. Adaptado de (12).

Devido à projeção das bombas de óleo para o cumprimento das necessidades dos motores em todos os estados de funcionamento, existe uma perda de eficiência das bombas de débito fixo (e subsequente perda de eficiência dos motores) para velocidades de rotação médias e altas, onde a quantidade de óleo fornecida pela bomba é superior à necessária.

Devido à configuração específica das bombas de palhetas, estas podem ser modificadas para a variação de débito ou cilindrada. Com a introdução de um anel exterior às palhetas, o volume debitado por rotação, i. e. a cilindrada, é alterado em função da posição do anel controlada por uma mola, como esquematizado em 3.6, aumentando consideravelmente a eficiência da bomba em todos os regimes de funcionamento. As bombas de palhetas de débito variável não tendem a exceder uma pressão de saída de 10 MPa (8).

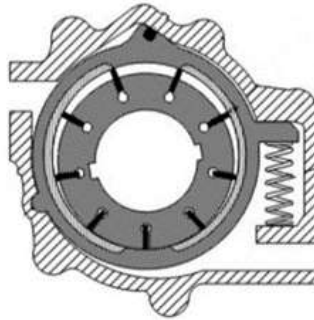


Figura 3.6: Esquema de exemplo de variação de cilindrada de uma bomba de palhetas (13).

De modo a resumir a informação anterior, uma tabela comparativa, tabela 3.1, é elaborada de forma a relacionar os vários tipos de bombas quanto às suas características, nomeadamente as eficiências hidráulica e mecânica, o volume ocupado, a suscetibilidade à cavitação e o custo, com os indicadores “ref”, “+” e “-” referentes a uma característica de referência, a uma qualidade positiva e a uma qualidade negativa, respetivamente.

Tabela 3.1: Tabela de comparação dos diferentes tipos de bombas de óleo com acionamento por corrente (7).

Tipo de bomba	Eficiência hidráulica	Eficiência mecânica	Volume Ocupado	Cavitação	Custo
Eng. Exterior	ref	ref	ref	ref	ref
Eng. Interior	ref	ref	-	ref	ref
Trocoidal	+	-	-	-	+
Palhetas	+	+	ref	-	--

Com esta, é possível deduzir a razão pela adoção inicial das bombas de óleo de engrenagens de dentado exterior de baixo custo e de inferior eficiência pelos fabricantes de automóveis, seguida pela adoção das bombas de palhetas na alteração de paradigma com foco no investimento no aumento da eficiência e redução de emissões.

3.4 Variação de Cilindrada

É na não linearidade das necessidades de caudal e pressão de óleo pelo motor que surge a necessidade da regulação da quantidade de óleo debitado pelas bombas. Sem qualquer regulação, i. e., com um desenvolvimento do débito proporcional com a velocidade de rotação da bomba, uma bomba projetada para fornecer o mínimo de caudal de óleo necessária ao motor durante baixas velocidades de rotação (regime baixo), encontra-se sobre dimensionada nas médias e altas rotações, causando um desperdício de até 70% da potência fornecida à bomba pelo motor e até 3% de consumo de combustível, resultando, como consequência, em emissões não necessárias (14).

Para a limitação da pressão no motor, o método utilizado até agora (pelas bombas denominadas clássicas ou de cilindrada não variável) consiste no desenvolvimento proporcional desta com a velocidade de rotação do motor até um certo ponto, a partir do qual uma válvula é acionada, por ação da pressão de óleo ou na bomba ou num ponto do circuito de óleo no motor (ver capítulo 3.5.1), ejetando o óleo para o cárter ou para a zona de baixa pressão da bomba para a sua recirculação (7). Neste ponto de alta pressão, continua a existir um desenvolvimento da pressão de óleo no motor proporcional com a velocidade de rotação deste, mas com declive significativamente menor relativamente ao desenvolvimento para baixos e médios regimes. Este método continua por desperdiçar a potência consumida pela bomba uma vez que o caudal aumenta continuamente, resultando em óleo que continua a ser debitado, mas apenas não é utilizado pelo motor.

Piorando o desempenho das bombas de óleo de caudal não variável, as necessidades de pressão de óleo nos motores (especificamente nos mais recentes (15)) não apresentam apenas um “patamar” de pressão necessária para altas velocidades, mas dois: um para baixas e médias e um para altas, como exemplificado nas figuras 3.7 e 3.8b, existindo outra região de perda de potência, e subsequente maior emissão de gases de efeito de estufa, desnecessária.

Para resolver este problema seria necessária uma bomba que, com o aumento da velocidade de rotação do motor, debitasse óleo linearmente até a um primeiro ponto de pressão de óleo, com a diminuição da sua cilindrada para a permanência neste patamar, e, no regime de maior necessidade de pressão pelo motor, aumentasse a sua cilindrada de modo a fornecer a alta pressão necessária, voltando novamente a reduzir a sua cilindrada de modo a manter a pressão. É isto o que as bombas de óleo de caudal variável fazem, não só limitando a pressão de óleo no motor à mínima necessária, mas também variando a sua cilindrada para não haver consumo desnecessário de potência fornecida pelo motor.

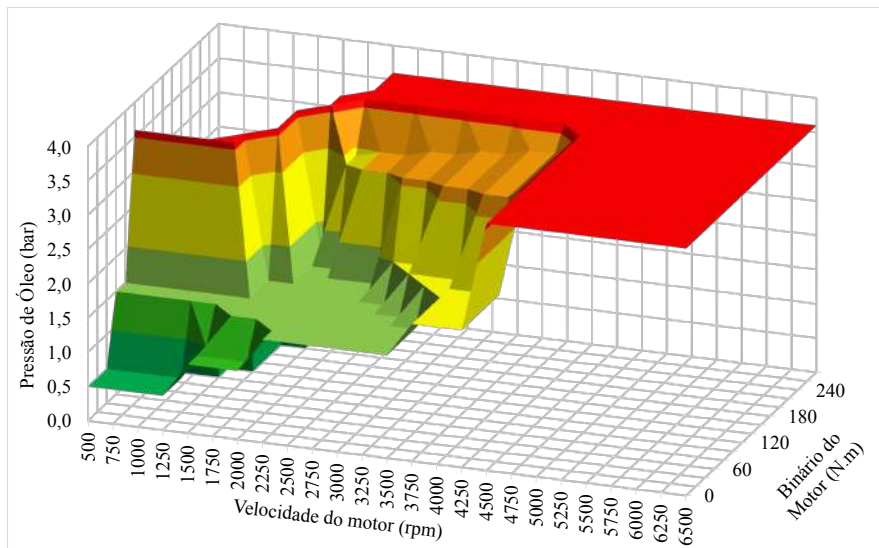


Figura 3.7: Visualização 3D de um exemplo de mapa de pressões de óleo no motor, construído segundo o Anexo A.3.

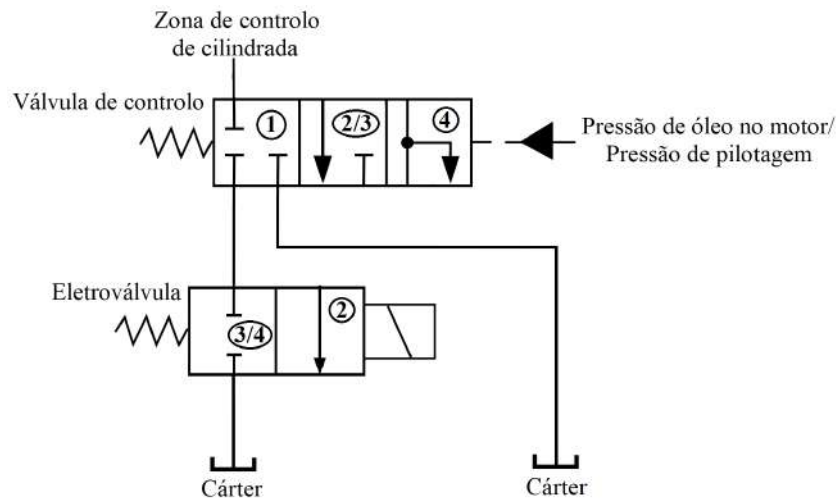
Este feito pode ser realizado com diversas distinções, mas apresentando, em geral, as seguintes características:

- Bomba de palhetas, permitindo que o volume debitado por rotação (cilindrada) seja variável, através do deslize de palhetas ou alhetas confinadas a um anel.
- Um mecanismo de variação de cilindrada, que utiliza a diferença entre a pressão de saída e a pressão numa “zona de controlo” para o efeito (resultando na cilindrada máxima se ambas as pressões igualem e mínima quando a diferença entre pressões é máxima).
- Dois mecanismos distintos de diminuição da pressão na “zona de controlo”, de modo que a bomba diminua a sua cilindrada:
 - Para altas pressões de óleo no motor, uma válvula reguladora que diminua, por ação da pressão de óleo no motor (pressão de pilotagem), a pressão de óleo na zona de controlo, usualmente realizada pela ejeção do óleo presente nesta.
 - Para médias/baixas pressões de óleo no motor, um mecanismo acionado eletricamente que permite a diminuição de pressão na zona de controlo até ao ponto de mínima cilindrada na bomba. Nas bombas analisadas, este mecanismo é uma eletroválvula que permite a centralina do motor (ECU) controlar, conforme a velocidade de rotação e binário do motor e um mapa de pressões, como o representado na figura 3.7, o estado da eletroválvula. O controlo pela centralina é útil em casos de enchimento e de alto esforço do motor, que podem ocorrer mesmo para regimes baixos.

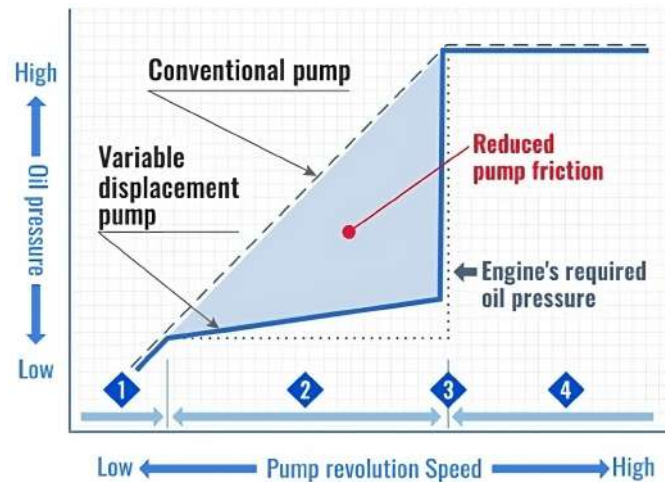
Nota: Ambos os mecanismos podem pertencer à mesma eletroválvula, desde que esta apresente duas saídas de óleo independentes.

Para uma descrição mais concreta do comportamento da bomba ao longo dos regimes do motor é especificado o funcionamento da bomba de óleo em estudo, de identificação VDOP Euro 6d_full. A regulação desta pode ser simplificada por uma válvula direcional de três vias e três posições (3/3) com acionamento mecânico com uma mola e acionamento hidráulico direto por acréscimo de pressão, seguida por uma eletroválvula normalmente fechada, tal como esquematizado na figura 3.8a. Cada posição possível corresponde a um comportamento da bomba distinto, correspondendo com as regiões no gráfico de pressão de óleo por velocidade de rotação da bomba na figura 3.8b e descritas na seguinte lista.

1. Desenvolvimento natural com mínima variação de cilindrada. O estado da EV não é relevante, como não existe pressão de óleo no motor suficiente para a válvula reguladora permitir circulação de óleo da zona de controlo para a EV;
2. A pressão de óleo no motor atinge o ponto no qual a válvula reguladora permite circulação da zona de controlo para a EV. Com a EV aberta/ligada (ON), a pressão na zona de controlo diminui, reduzindo a cilindrada da bomba e mantendo a pressão de óleo no motor relativamente constante;



(a) Esquema hidráulico do controle de cilindrada.



(b) Gráfico pressão de óleo por velocidade de rotação simplificado com os vários estados da bomba (16).

Figura 3.8: Controlo (a) e comportamento simplificado (b) correspondente à bomba VDOP Euro 6d_full.

3. A centralina, segundo um mapa de pressões como o exemplificado na figura 3.7, fecha/desliga (OFF) a EV, aumentando a pressão na zona de controlo e, conseqüentemente, aumentando a cilindrada da bomba. A bomba apresenta comportamento semelhante ao da região 1.;
4. O óleo no motor atinge o ponto de alta pressão de operação, deslocando a válvula reguladora à sua posição extrema, permitindo que o óleo na zona de controlo seja expelido da bomba e reduzindo novamente a cilindrada e mantendo a pressão constante no novo patamar.

Nota: Em caso de avaria na comunicação entre a centralina e a bomba, as necessidades de pressão do motor seriam sempre mantidas, destacando a função da centralina como o aumento da eficiência da bomba, e conseqüentemente do motor.

3.5 Diferenciação

Graças à significante pressão imposta ao desenvolvimento de bombas de óleo mais eficientes, ao longo do processo de desenvolvimento muitas soluções variadas foram desenvolvidas, produzidas, testadas e melhoradas. Mantendo os princípios de funcionamento explorados no capítulo anterior, as bombas de óleo de débito variável podem ainda ser distinguidas em termos de regulação de pressão, tipologia, localização e acionamento, entre outros, cada diversificação aplicando consequências específicas ao seu funcionamento já bastante confinado.

3.5.1 Regulação de pressão

Quanto à metodologia de regulação de pressão de óleo no motor, as bombas podem ser classificadas como de regulação direta ou indireta. A regulação direta é realizada em função da pressão de descarga da bomba de óleo, onde a posição da válvula reguladora ou piloto é determinada pela razão entre a pressão de descarga e a pressão de admissão da bomba de óleo. No caso da regulação indireta, a válvula é acionada segundo a razão da pressão de descarga e da pressão funcional do óleo, nas galerias onde este é distribuído, como distinguido nos esquemas na figura 3.9 (7).

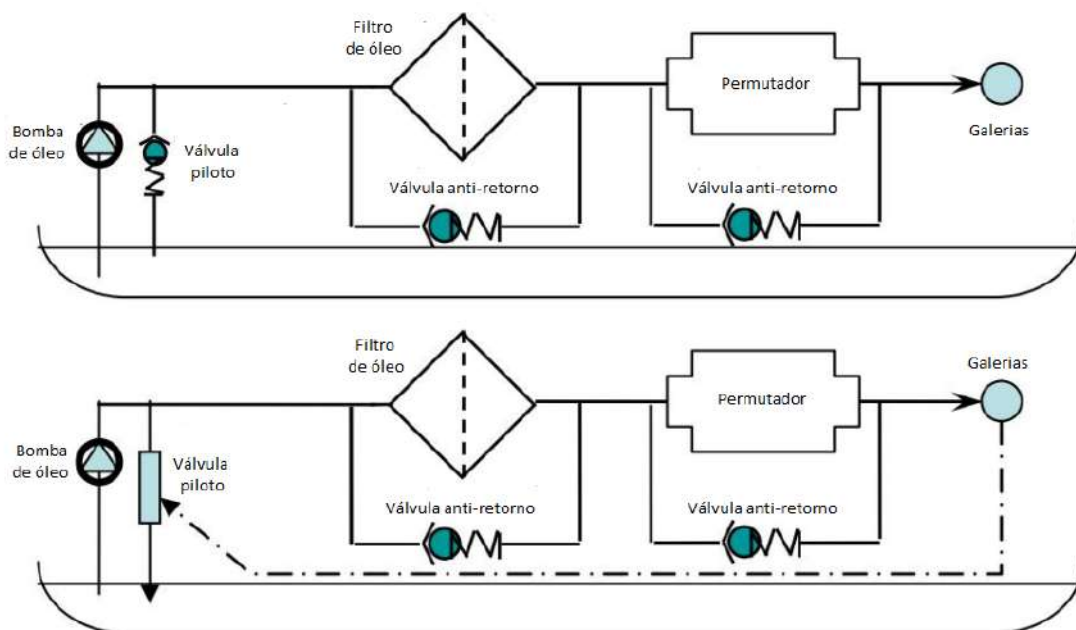
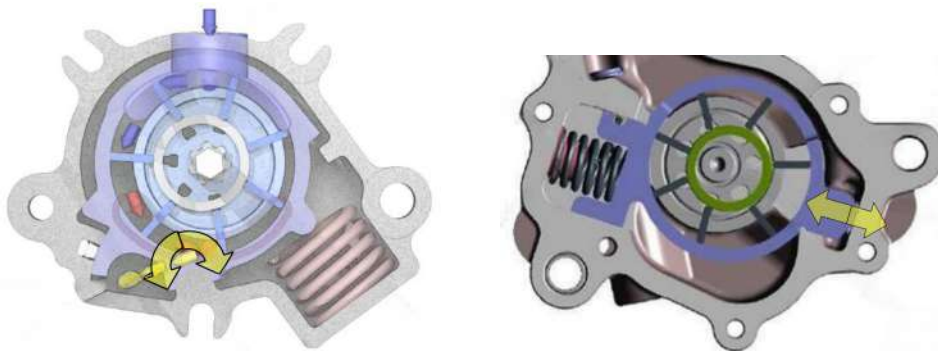


Figura 3.9: Esquemas hidráulicos de regulação direta (cima) e indireta (baixo) (7).

Nas bombas de óleo de caudal fixo a regulação direta consiste na abertura de uma válvula em função da pressão de descarga, correspondendo, neste caso, à pressão de pilotagem. Após o acionamento, uma parte do óleo debitado pode ser recirculado para a admissão da bomba, resultando num menor consumo de potência e risco de cavitação, ou descarregado no cárter (7).

3.5.2 Tipologia

Como indicado anteriormente, a variação de cilindrada das bombas de caudal variável é obtida pela modificação da excentricidade entre o rotor e um anel, correspondendo à máxima cilindrada com a máxima excentricidade e a cilindrada nula (não necessariamente atingida em todas as bombas) quando o rotor se encontra concêntrico com o anel. Quanto a esta variação de cilindrada, é possível distinguir estas bombas em duas categorias: com deslocamento linear, como na figura 3.10b, ou rotacional do anel, na figura 3.10a, sendo o último o caso mais comum (7).



(a) Deslocamento do anel por rotação. (b) Deslocamento do anel por translação.

Figura 3.10: Tipos de deslocamento do anel em bombas de palhetas de débito variável (7).

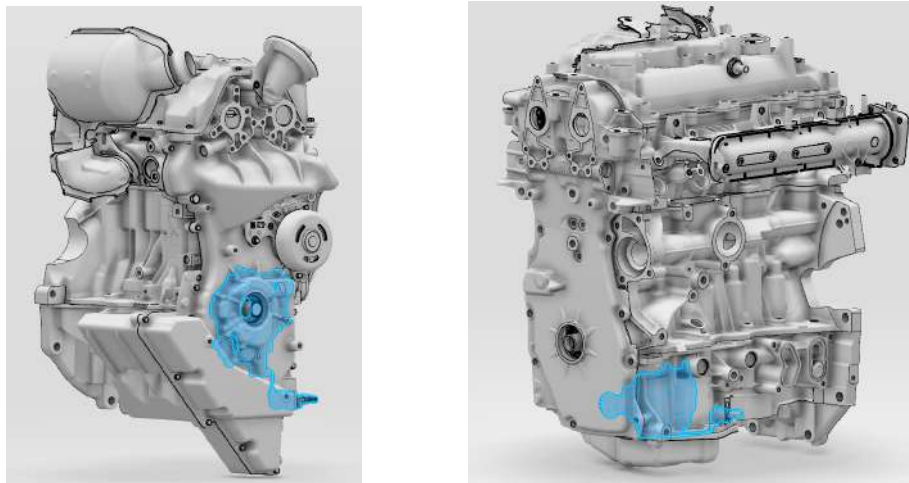
Destinadas, a motores bastante diferentes, cada bomba é otimizada para as necessidades específicas destes, contudo é possível atribuir diversas vantagens e desvantagens a estas tipologias. Quanto à geometria, devido à posição da zona/mola de controlo, a tipologia de movimento linear apresenta uma maior simplicidade nos canais internos de transporte de óleo entre as regiões de dentro e fora do anel, relativamente à tipologia rotacional, resultando em menores fugas internas de óleo. Adicionalmente, devido a restrições de vedação interna, a capacidade máxima das bombas de tipologia rotacional é restringida (7).

Outra vantagem da tipologia de movimento linear do anel é o facto da mola de controlo estar comprimida entre duas superfícies paralelas, ao contrário da tipologia rotacional, onde o desalinhamento de faces causa uma distribuição irregular de forças.

Uma região crítica nestas bombas é a vedação interna entre a zona de controlo e a zona de pressão, um alvo de análise deste estudo em 5. O movimento do anel implica o movimento de um vedante em compressão que separa as duas zonas. Se o deslocamento do vedante não se realizar (“*sticking*”), usualmente devido a alto atrito entre este e o corpo da bomba causado por micropartículas ou ausência de lubrificação, a bomba não diminui de cilindrada, resultando em perdas de eficiência hidráulica. Nas bombas com o deslocamento por rotação do anel, o deslocamento do vedante é maior e a compressão não constante, aumentando a probabilidade de ocorrência do defeito, enquanto na tipologia linear, a deslocação do vedante iguala a deslocação do anel e a compressão é constante (7).

3.5.3 Localização e acionamento

Para além das divergências mencionadas, é acrescentada a localização e conseqüente acionamento das bombas de caudal variável. Nesta característica, as bombas podem ser acionadas diretamente na cambota ou indiretamente, via uma corrente, posicionadas no cárter do motor, distinguidas na figura 3.11. Novamente, cada característica é definida consoante as especificações de cada motor, não existindo uma “opção melhor única”, no entanto, é possível definir as vantagens e desvantagens dos dois posicionamentos.



(a) Acionamento direto, pela cambota. (b) Acionamento indireto, por corrente.

Figura 3.11: Diferentes posições possíveis para as bombas de óleo.

Quanto ao espaço ocupado, as bombas acionadas diretamente apresentam a desvantagem de ocuparem um volume maior devido às grandes dimensões do eixo central, pois, acrescentando ao diâmetro, é necessário o “alojamento” das palhetas e do anel que as confina, resultando na perda de capacidade da bomba em função do volume disponível.

Adicionalmente, em termos de desenvolvimento da bomba, quando acionadas diretamente pela cambota, as bombas são restringidas a uma relação 1:1 com a velocidade de rotação do motor, enquanto, com o acionamento por corrente, é possibilitada a modificação deste rácio, adicionando uma variável de controlo no desenvolvimento de várias versões da bomba, para uma melhor correspondência com as necessidades do motor (7). Consequentemente de um diâmetro maior e de maiores velocidades da bomba, devido à relação 1:1 com a velocidade do motor, as bombas acionadas diretamente apresentam também uma menor eficiência mecânica, devido a perdas por atrito (17).

Finalmente, é observada uma vantagem também na inicialização da bomba. Após algum tempo em repouso, o óleo no motor é drenado para o cárter. Se a bomba estiver localizada neste, a sua autolubrificação é realizada instantaneamente, enquanto com as bombas acionadas diretamente, para além de necessitarem de forte vedação com o exterior, para realizar a sucção do óleo, o risco de danificação relacionada com a ausência da lubrificação aumenta (7).

Com isto, em motores com pouco espaço disponível no cárter, provavelmente ocupado pelo filtro e permutador de óleo, esta opção mostra-se a única possível.

3.6 Processo industrial

A bomba de óleo em estudo apresenta a classificação de VDOP Hxx Euro 6d_full (“Variable Displacement Oil Pump” para motores “H” que cumprem a norma Euro 6d) e incorpora cerca de 20 componentes diferentes. Pode ser adicionalmente classificada segundo as características mencionadas anteriormente, sendo uma bomba de óleo de palhetas, de débito variável, de regulação indireta, de deslocamento linear e de acionamento por corrente.

Na fábrica Renault Cacia, o processo industrial de construção desta bomba é dividido em operações (OPs). Analisando o processo de construção de uma só bomba, este começa com a maquinagem do corpo e da tampa desta. Tendo em conta que não são utilizados vedantes quando estes dois elementos são montados, a maquinagem é uma das operações fundamentais para o desempenho da bomba, dado que a utilização de uma ferramenta com qualquer defeito resulta em partes com maiores rugosidades e, conseqüentemente, mais propensas a fugas de óleo.

Após esta operação as duas peças são lavadas e seguem para as linhas de montagem. Nesta fase, todos os componentes são instalados no corpo da bomba (1), nomeadamente a válvula de segurança (2), a válvula reguladora (3), o filtro de mistura (4), a eletroválvula (5), o estator/anel (6), o vedante (7), o rotor e o veio (prensados separadamente) (8), as palhetas (9), o pinhão de comando, os anéis centrais (10) e a tampa, como esquematizado na figura 3.12

Finalmente, as bombas passam por bancos de teste fim de linha. Aqui é verificado automaticamente se as bombas apresentam fugas ou detritos que impeçam a rotação livre do rotor, também como se apresentam um desempenho conforme, com a mediação da pressão obtida quando estas são acionadas.

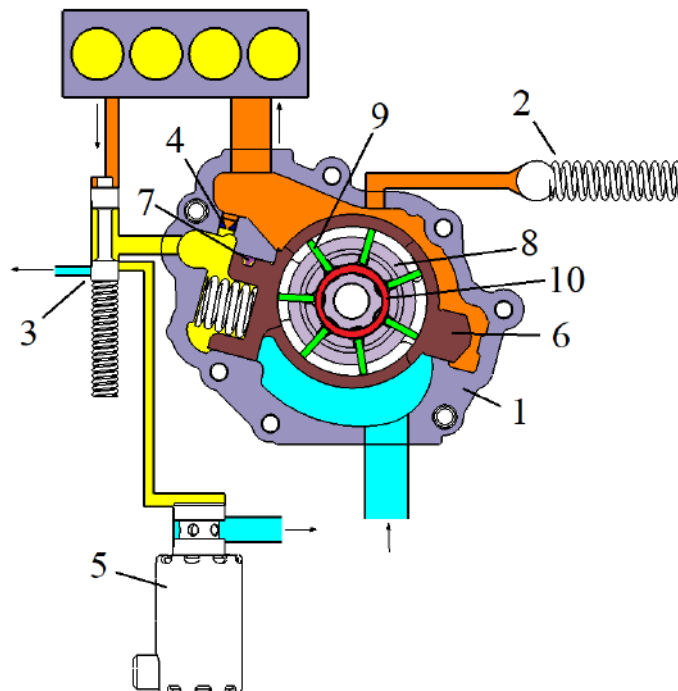


Figura 3.12: Esquema da bomba Euro 6d_full com componentes.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Parte IV

Parâmetros de Montagem no Desempenho das Bombas de Óleo

Capítulo 4

Parâmetros de montagem no desempenho das bombas de óleo

Como primeira análise, esta visa a detecção de correlações entre os parâmetros de montagem, cujos valores são registados pelo equipamento, e os valores de pressão registados nos bancos fim de linha. Com estas, é possibilitada a previsão de desvios nas várias operações de montagem pela análise do comportamento da pressão registada nos bancos de teste, e, desta forma, a atuação precoce na correção do ajuste do equipamento para a prevenção do fabrico de bombas não conformes.

4.1 Bancos fim de linha

Um grande fator da gestão da qualidade das bombas garantida pela Renault Cacia é a verificação da conformidade de todas estas antes do envio para o cliente. Esta tarefa é realizada por quatro bancos fim de linha (dois em cada linha). Nestes, cada bomba é submetida a quatro testes de conformidade: um teste de vácuo (para a detecção de fugas), um teste de rotação livre (para a detecção de não conformidades que aumentem o binário necessário para a rotação da bomba) e dois testes ao desempenho da bomba, um na gama de trabalho na qual a eletroválvula está ligada e outro na gama com a EV desligada.

Com os testes realizados, os valores são guardados automaticamente numa base de dados, resultando para cada bomba um valor de pressão mínima obtida em mbar (teste de vácuo), um valor de binário em N.m (teste de rotação livre), e quatro valores de pressão em bar para cada regime de trabalho correspondentes a diferentes estados de abertura de uma válvula, dos quais são salientados os registos com a identificação “RegVlv1PreStOp” (eletroválvula ligada) e “RegVlv2PreStOp” (eletroválvula desligada), utilizados no passado para a identificação dos valores mínimos e máximos de conformidade, consoante os valores obtidos no banco de ensaios RO6, descrito em 5.1.

4.2 Operação em análise

No complexo processo industrial do fabrico das bombas de óleo, existem centenas de parâmetros que podem ser alterados, desde cotas e parâmetros de maquinagem, até às forças, binários e deslocamentos nas operações de montagem, e até aos diversos parâmetros funcionais e dimensionais dos POEs, componentes não fabricados *in situ*.

De todos estes parâmetros, é destacada a operação que, com base em conhecimento anterior, e, como detalhado no capítulo 3.4, aparenta ter maior influência no desempenho das bombas a introdução da válvula de regulação, pelo impacto direto desta na variação de cilindrada.

Nesta operação de montagem, o equipamento age como prensa, comprimindo o sistema de regulação de cilindrada constituído por um elemento regulador de aço maquinado (B), uma mola de arame de aço temperado em óleo (C), um pino de aço (D) (inseridos na cavidade por um operador nesta ordem, como indicado pela figura 4.1) e, retido num bocal por vácuo, um tampão de aço zincado (E), o qual é posteriormente prensado e crimpado no corpo da bomba (A) pelo mesmo equipamento para a confirmação da estanquidade da cavidade.

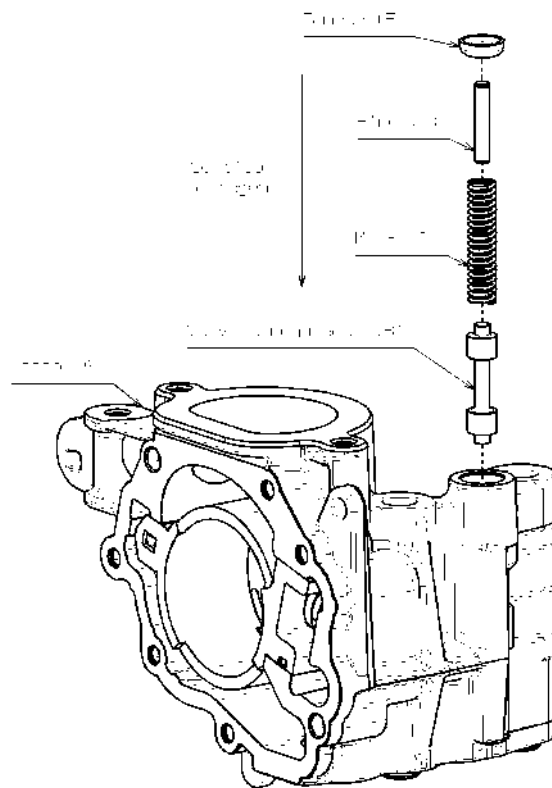


Figura 4.1: Processo de operação de inserção da válvula reguladora.

Este equipamento apresenta alta relevância para os valores registados nos bancos fim de linha mencionados em 4.1, pelo que este é controlado frequentemente. Esta regulação é realizada mecanicamente, com a utilização de anilhas calibradas.

Para cada bomba que passe por esta operação, são guardados dois itens na base de dados, correspondentes aos seguintes parâmetros:

- Valor de força na inserção do tampão em kN (Linha 1 - “PressFreVal”; Linha 2 - “EsfTampao”)
- Valor do deslocamento na inserção do tampão em mm (Linha 1 - “PressLenVal”; Linha 2 - “PosTampão”)

4.3 Análises realizadas

Perante um número de registos na ordem das centenas de milhares, é utilizado o software Spotfire para as análises aos dados de montagem das bombas de óleo. Desenvolvido pela empresa TIBCO Software, este é uma plataforma de análise e visualização de dados que, com especial relevância para este estudo, permite a elaboração automática de análises de variância, ANOVA, e de regressão linear, utilizadas na determinação de correlação entre amostras de dados, simplificando e acelerando o processo de análise.

Para a realização das análises, os dados guardados pelos equipamentos nas bases de dados são recolhidos, sendo realizadas duas análises descritivas a cada parâmetro: uma análise à distribuição de todos os valores, para a identificação do tipo de distribuição, média, desvio padrão e outros dados estatísticos e uma análise à variação da média diária no tempo para a interpretação e deteção de possíveis erros e anomalias antes da realização das análises comparativas; também como duas análises de correlação entre os parâmetros de montagem e as pressões dos bancos fim de linha: um teste “ANOVA”, o qual determina a relevância estatística de uma relação entre amostras, e finalmente uma análise de regressão, pela qual é possível analisar como uma amostra de dados afeta outra.

Análise de frequência

A primeira análise elaborada para cada parâmetro corresponde a uma análise da distribuição dos valores. Esta consiste na elaboração de gráficos de dispersão tipo histograma com os valores registados no eixo das abcissas e o número de ocorrências no eixo das ordenadas. São também identificados os valores correspondentes à média, ao desvio padrão e às “barreiras internas” inferior e superior, a partir das quais os valores são considerados estatisticamente atípicos, também como os valores limites de conformidade estipulados. Adicionalmente, é visualizado uma curva de Gauss ajustada ao formato do histograma, para análise da “normalidade” dos valores obtidos.

Análise temporal

Subsequentemente, para a deteção de possíveis falsas correlações nas análises comparativas, é realizado e interpretado um gráfico de barras do valor médio diário do parâmetro numa escala de tempo. Assim, se for detetada uma elevada divergência relativa deste valor (comparado com as barreiras internas inferior e superiores) as futuras análises perdem confiança nos resultados, pelo que, devido também a divergências na produção, mais provavelmente causa divergência nas correlações. Para a deteção de possíveis dias de baixa produção com valores atípicos, são representadas barras de erro, associadas ao erro padrão, para que estes dias não sejam interpretados igualmente aos outros.

ANOVA

Para uma melhor interpretação de possíveis correlações observadas entre parâmetros, é realizada uma análise ANOVA. Acrónimo para análise de variância (ANalysis Of VAriance), este estudo, realizado automaticamente pelo software utilizado, Spotfire, determina a influência que uma variável independente detém sobre uma variável dependente, através da análise da variância entre as médias.

Esta fornece um valor “p” real entre 0 e 1 que indica se as amostras em análise apresentam influência estatística relevante entre si ou se a influência é aleatória. Quanto menor e mais perto de 0 for “p”, maior influência estatística apresentam as amostras (teoricamente o valor p nunca é 0, sendo apenas aproximado pelo software), sendo um valor p de 0,05 normalmente usado como limiar entre as duas conclusões (18).

Nas análises realizadas, é indicado o valor p, também como os valores usados para o seu cálculo, nomeadamente a estatística F (“F-stat”), a soma dos quadrados e graus de liberdade entre grupos (“S2Btwn” e “dfBtwn”), e a soma dos quadrados e os graus de liberdade nos grupos (“S2Wthn” e “dfWthn”), (19), como citado em (20).

Análise de regressão

Finalmente são realizadas análises de regressão às amostras com uma correlação significativa, determinada pela análise ANOVA executada anteriormente. Estas, indicam como e quão forte é a influência de uma variável independente, neste caso os parâmetros de montagem, sob a variável dependente, os valores de pressões registados nos bancos fim de linha.

Devido à alta imprevisibilidade e quantidade de registos individuais, resultando numa elevada dispersão, neste estudo são elaborados gráficos de pontos da média da variável independente por cada valor da variável dependente, associando barras de erro padrão a cada ponto. Adicionalmente, é representada a reta ajustada ao gráfico, permitindo determinar a correlação entre as amostras (declive da reta), também como o coeficiente de determinação associado, R^2 , o qual corresponde à variância destes valores perante a reta.

4.4 Resultados e Análise

Uma vez definidos os parâmetros de análise, também como as diferentes análises a serem realizadas por parâmetro, os registos são recolhidos das respetivas bases de dados, inseridos no programa Spotfire e unidos, por associação do código individual de cada bomba. Adicionalmente, antes da realização das análises, uma filtração adicional foi realizada, com a eliminação de registos duplicados, vazios e nulos (nos casos em que um registo nulo não é teoricamente congruente como, por exemplo, nas pressões), que surgem de erros do equipamento de montagem e na repetição de operações pelos operadores.

4.4.1 Pressão com eletroválvula ligada

Linha 1

Uma vez realizado o histograma relativo às pressões registada em modo EV ON na linha um, na figura 4.2, correspondente a 277 147 registos nos últimos 6 meses, observa-se que os valores estão distribuídos entre 1,70 e 3,20 bar, correspondentes aos limites de conformidade das bombas, com passos de 0,01 bar. A distribuição assemelha-se a uma distribuição normal enviesada à esquerda, com média de 2,172 bar e desvio padrão de 0,231 bar. Quanto a anomalias estatísticas, as barreiras internas localizam-se a 1,62 e 2,70 bar, o que identifica 3% dos valores como anomalias estatísticas.

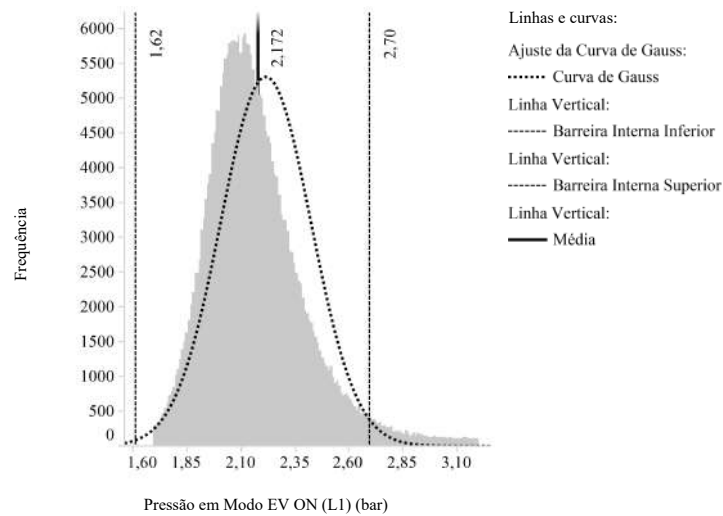


Figura 4.2: Histograma da distribuição da pressão em modo EV ON na linha 1.

O facto da distribuição não estar alinhada com uma distribuição normal indica um problema mencionado em 3.5.2, que surge da não movimentação do anel regulador devido à fricção gerada entre o vedante interno e o corpo da bomba, um problema abordado posteriormente no estudo.

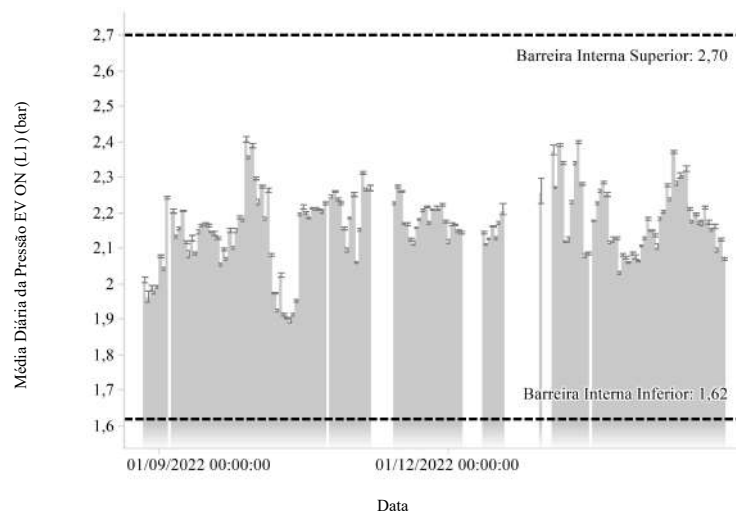


Figura 4.3: Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV ON na linha 1.

Uma vez realizado o gráfico da média diária da pressão, na figura 4.3, é observada alguma variação em relação às barreiras internas, sendo registado uma média mínima de 1,895 bar (334 registos) e uma média máxima de 2,397 bar (2051 registos). Esta variação pode ser atribuída às modificações mecânicas realizadas ao equipamento de montagem, como a inserção de anilhas calibradas para ajuste de valores nos bancos fim de linha.

Linha 2

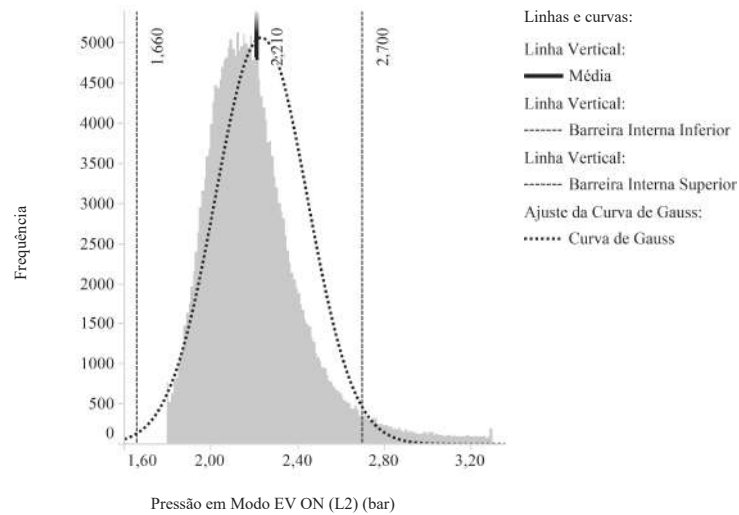


Figura 4.4: Histograma da distribuição da pressão em modo EV ON na linha 2.

Realizado o gráfico de distribuição das pressões registadas em modo EV ON na linha 2, na figura 4.4, correspondente a 235 004, também para os últimos 6 meses, os valores encontram-se distribuídos entre 1,80 e 3,30 bar (limites de conformidade). O histograma assemelha-se novamente, como na linha 1, a uma distribuição normal inclinada para a esquerda, com média de 2,210 bar e desvio padrão de 0,23 bar. As barreiras internas localizam-se a 1,66 e 2,70 bar, apresentando apenas anomalias estatísticas superiores, tal como analisado no mesmo parâmetro na linha 1.

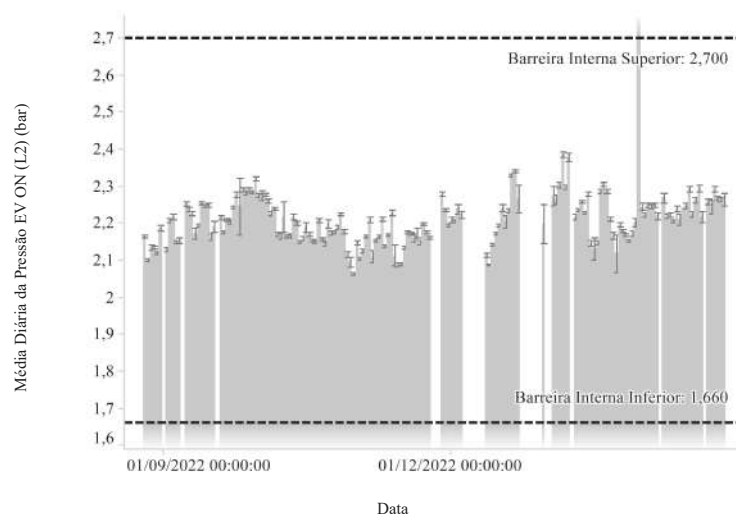


Figura 4.5: Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV ON na linha 2.

Em termos de variação da média diária, representada na figura 4.5, é registado um mínimo da média de 2,062 bar (1611 registos) e um máximo de 2,385 bar (2013 registos), ignorando um dia com apenas 1 registo. Quando comparada com as barreiras internas, observa-se uma variação inferior ao mesmo parâmetro na linha 1, o que é confirmado com a indicação que os ajustes ao equipamento de montagem da linha 2 são realizados mais raramente.

4.4.2 Pressão com eletroválvula desligada

Linha 1

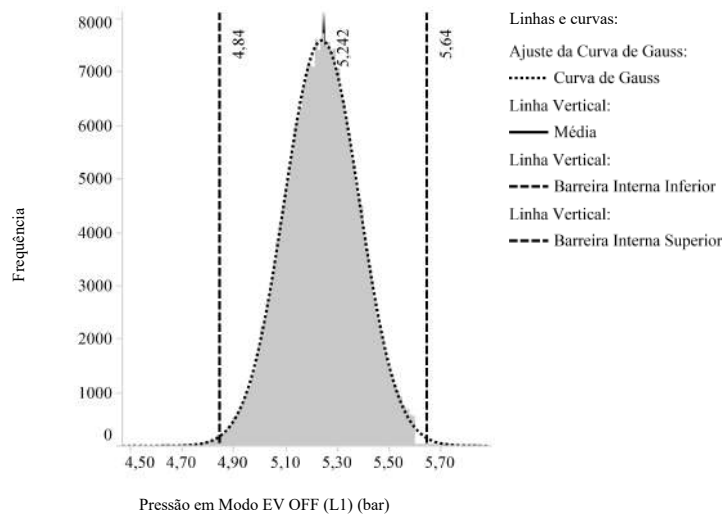


Figura 4.6: Histograma da distribuição da pressão em modo EV OFF na linha 1.

Quanto à distribuição de valores das pressões registada em modo EV OFF na linha 1, representada na figura 4.6, para 277 147 registos efetuados, observa-se que os valores estão amplamente distribuídos desde 2,13 a 6,76 bar, devido ao registo de bombas não conformes. No entanto, o histograma assemelha-se quase perfeitamente a uma distribuição normal delimitada inferiormente aos 4,70 bar e superiormente aos 5,60 bar, valores correspondentes aos limites de conformidade. A amostra apresenta uma média de 5,242 bar, desvio padrão de 0,143 bar e as barreiras internas localizam-se a 4,84 e 5,64 bar.

Uma vez obtido o gráfico da média diária da pressão com a eletroválvula desligada na linha 1, na figura 4.7, é observado um mínimo em 5,013 bar (1304 registos) e um máximo de 5,419 bar (154 registos). Esta variação pode ser novamente atribuída à inserção de anilhas calibradas, não sendo considerada suficiente para afetar as correlações elaboradas posteriormente.

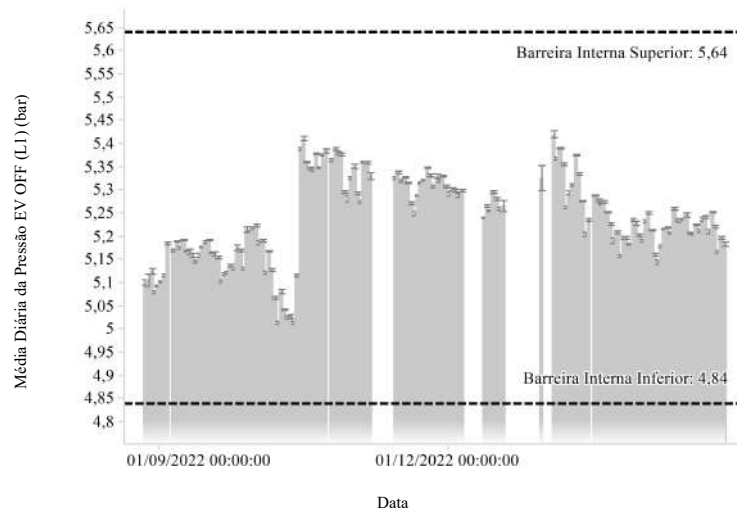


Figura 4.7: Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV OFF na linha 1.

Linha 2

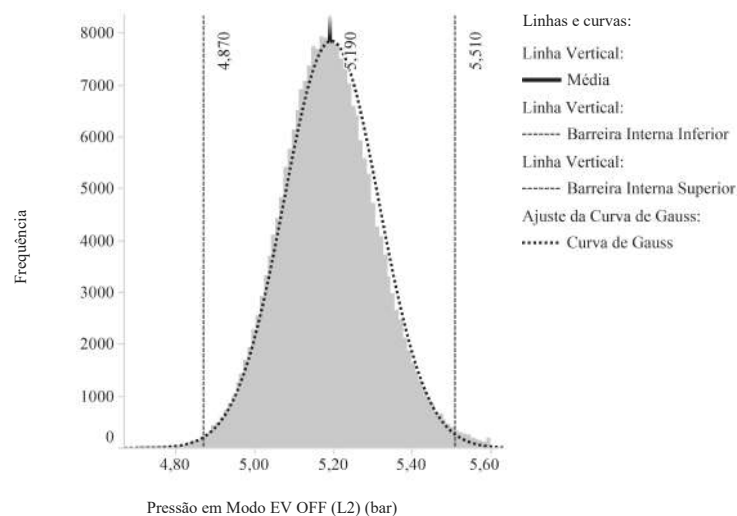


Figura 4.8: Histograma da distribuição da pressão em modo EV OFF na linha 2.

A distribuição das pressões registadas em modo EV OFF na linha dois, na figura 4.8, correspondente a 235 004 registos efetuados nos últimos 6 meses, assemelha-se às da linha 1, com valores compreendidos entre 4,70 e 5,6 bar, correspondentes aos limites de conformidade. Esta apresenta uma média de 5,190 bar, desvio padrão de 0,122 bar e barreiras internas a 4,879 e 5,510 bar.

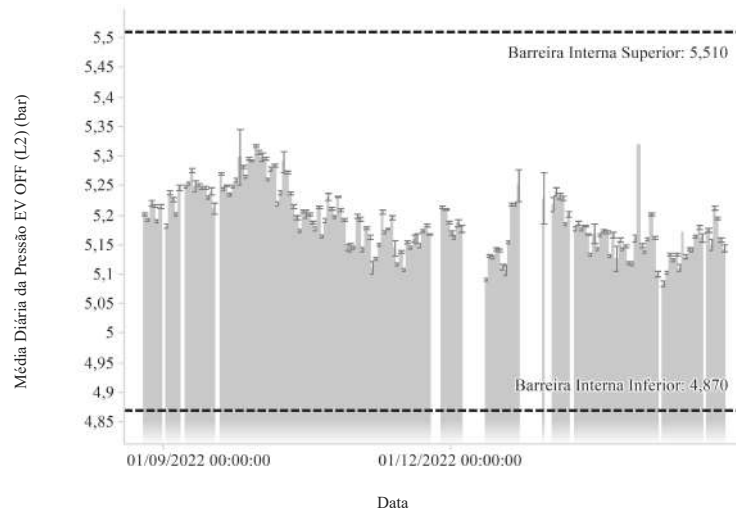


Figura 4.9: Gráfico de barras da evolução da média diária da pressão em modo EV OFF na linha 2.

Finalizando os parâmetros de pressão registada nos bancos fim de linha, é realizado o gráfico da média diária da pressão, na figura 4.9. Neste é observada pouca variação relativamente às barreiras internas, com mínimo da média diária de 5,083 bar (312 registos) e com máximo de 5,317 bar (2527 registos).

Uma vez realizadas as análises descritivas às variáveis dependentes, seguem-se as análises descritivas e de correlação das variáveis independentes, nomeadamente a força e o deslocamento na inserção do tampão.

4.4.3 Força aplicada no tampão

Linha 1

Segundo a metodologia estabelecida anteriormente, aplicada aos valores do esforço realizado na operação de inserção do tampão na linha 1 obtidos nos últimos seis meses, é obtido o gráfico na figura 4.10. Para um total de 277 147 casos os valores estão compreendidos entre 0 e 0,37 kN com registos efetuados em passos de 0,03 kN.

Como expectável, o histograma assemelha-se a uma distribuição normal, “cortada” pelo valor mínimo de 0 kN, com média de 0,093 kN e desvio padrão de 0,060 kN. Adicionalmente, as barreiras internas localizam-se a -0,03 e 0,21 kN, o que indica elevada variação nos dados obtidos, dado que 5% dos valores são considerados anomalias estatísticas (valor relativamente alto).

Para além da alta divergência, o elevado número de registos a 0 kN, valor que, enquanto conforme com o formato da distribuição, é equivoco teoricamente, revela um erro ou no registo de dados, ou na aproximação de casas decimais pelo equipamento.

Quanto à variação temporal, é possível observar na figura 4.11 que este parâmetro (na linha 1) apresenta elevada variação diária, sendo registado no mínimo uma média 0,0085 kN (553 registos) e no máximo uma média de 0,2451 kN (2718 registos).

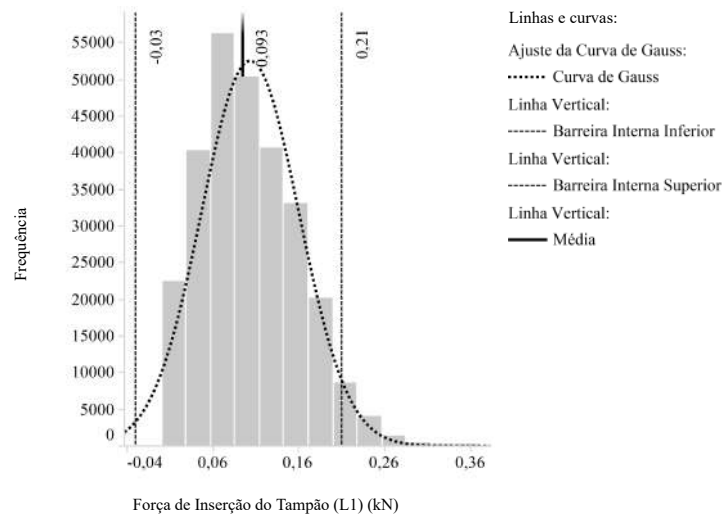


Figura 4.10: Histograma da distribuição da força de inserção do tampão na linha 1.

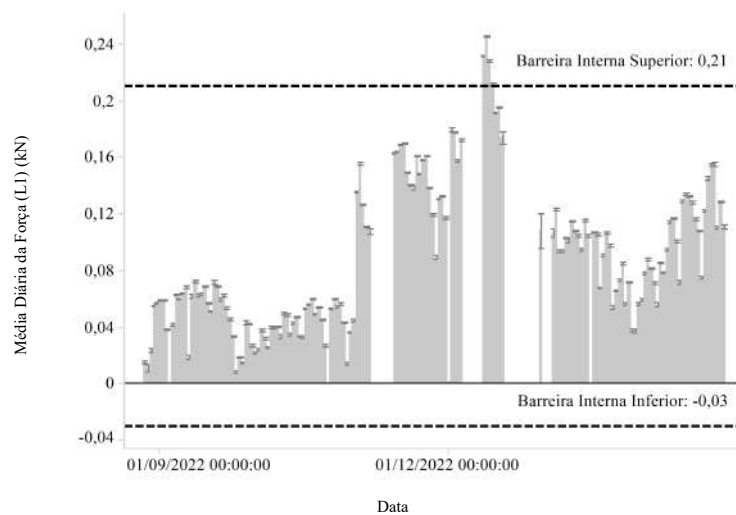


Figura 4.11: Gráfico de barras da evolução da média diária da força de inserção do tampão na linha 1.

Esta alta variação da média pode ser interpretada pela alta frequência de adição e remoção de anilhas calibradas no equipamento de montagem, como indicado no capítulo 4.2. Infelizmente, não é efetuado o registo de tais intervenções, possibilitando a atribuição do fenómeno a erro do equipamento de montagem.

Como indicado anteriormente, é realizada uma análise de relacionamento de dados ANOVA para a determinação da relevância estatística entre os valores registados de força exercida na inserção do tampão e os valores de pressões registadas com a EV ligada e desligada na linha 1. Uma vez realizada, são obtidos os resultados da Tabela 4.1, onde se observa um valor p de 0 para ambas as pressões (aproximação pelo software), indicando alta significância estatística entre as amostras.

Tabela 4.1: Tabela ANOVA para a força na inserção do tampão na linha 1.

Variável dependente	p value	F-stat	S2Btwn	S2Wthn	dfBtwn	dfWthn
Pressão EV ON	~ 0	46,75	24,31	960,20	150	276996
Pressão EV OFF	~ 0	120,85	56,29	928,22	139	277007

Este resultado indica que uma seguinte análise pode ser realizada para a determinação de como e quão as amostras estão relacionadas.

Uma vez obtidos os resultados da análise ANOVA, que sugerem uma elevada correlação entre as amostras, é realizada uma análise de regressão linear, no entanto, e confirmado pela elevada variação da média diária na análise temporal, a reta ajustada ao gráfico obtido varia substancialmente em função do intervalo de tempo da realização dos registos, variando desde correlações positivas a correlações negativas, até a correlações mistas com uma correlação positiva até certo ponto de pressão, e negativa a partir deste.

Com estes resultados o parâmetro de esforço realizado na inserção do tampão, e subsequentes correlações são consideradas inconclusivas, devido à elevada variação temporal destas.

Linha 2

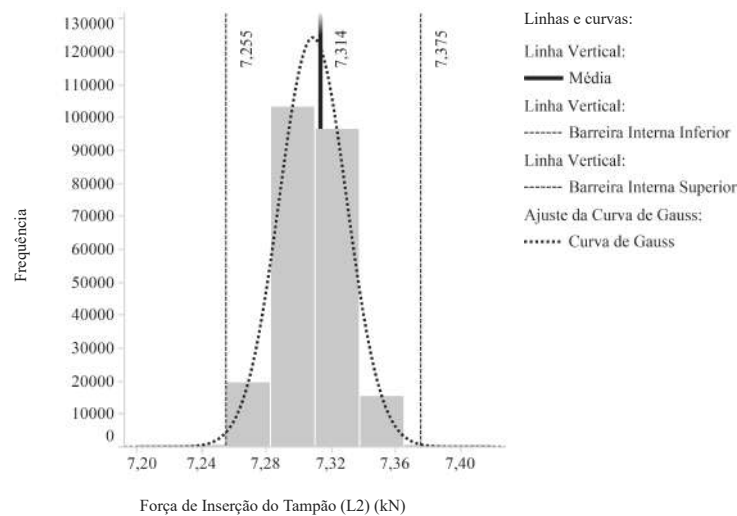


Figura 4.12: Histograma da distribuição da força de inserção do tampão na linha 2.

Utilizando a mesma metodologia para a força aplicada no tampão na linha 2, é obtido o histograma de distribuição da figura 4.12. Neste, com 235 004 registos efetuados nos últimos 6 meses, a força apresenta valores entre 7,20 e 7,42 kN (inclusive), novamente com passos de 0,03 kN. É verificado também o formato do gráfico assemelhado a uma distribuição normal, para uma média de 7,314 kN e um desvio padrão de 0,023 kN.

Aqui, as barreiras internas situam-se a 7,255 e 7,375 kN, identificando nesta linha apenas 0,4% dos valores como anomalias estatísticas, revelando uma maior estabilidade dos registos quando comparado com o mesmo parâmetro na linha 1.

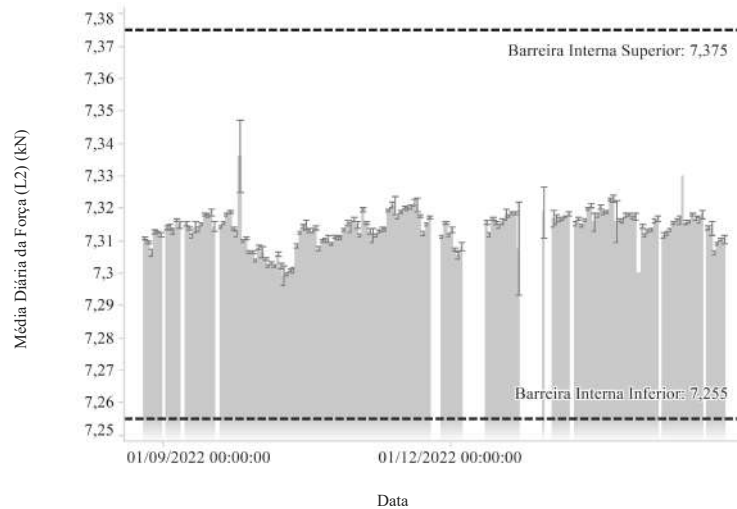


Figura 4.13: Gráfico de barras da evolução da média diária da força de inserção do tampão na linha 2.

Quanto à distribuição da média diária, a força exercida no tampão registada na linha 2 apresenta alguma divergência relativamente às barreiras internas, como observado na figura 4.13, com mínimo de 7,300 kN (2256 registos) e máximo de 7,323 kN (2177 registos). Esta pode ser novamente devida à regulação do equipamento com anilhas calibradas, embora não aparente ter divergência suficiente para causar dúvidas nos resultados das análises comparativas.

Tabela 4.2: Tabela ANOVA para a força na inserção do tampão na linha 2.

Variável dependente	p value	F-stat	S2Btwn	S2Wthn	dfBtwn	dfWthn
Pressão EV ON	2,79e-1	1,06	0,08	121,00	150	234853
Pressão EV OFF	2,86e-79	6,85	0,32	120,77	90	234913

Realizando a análise ANOVA entre os valores de força exercida e pressões registadas nos bancos fim de linha da linha 2, são obtidos os valores na Tabela a 4.2. Nesta observa-se um valor de p de 0,279 para relação entre a força e a pressão registada com a eletroválvula aberta e um valor de 2,86e-79 na relação com a pressão no estado de EV fechada. Com estes resultados é possível concluir que existe alta relevância estatística na relação entre as forças registadas na inserção do tampão na linha 2 e as pressões com a EV desligada, sendo necessária a realização de uma análise de regressão para a determinação de como a pressão é afetada. O mesmo não pode ser dito para a relação com a pressão no modo de EV aberta pelo que esta apresenta um valor p maior que 0,05 não sendo possível refutar que a relação entre as duas amostras é aleatória.

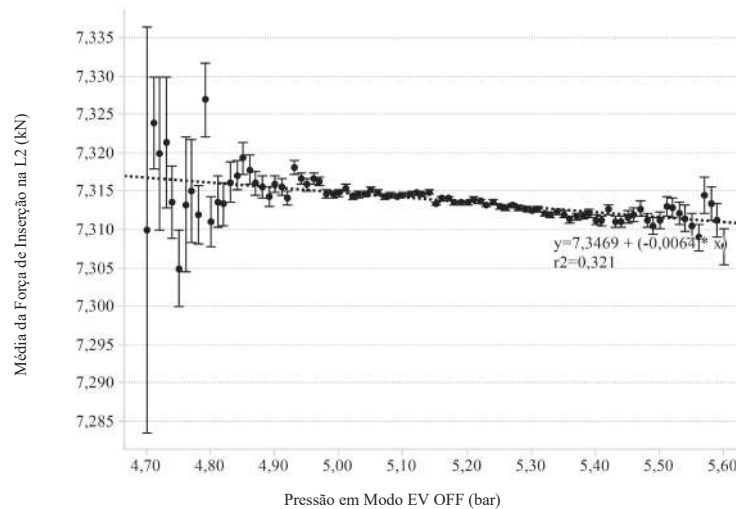


Figura 4.14: Gráfico de pontos da média da força de inserção do tampão em função da pressão em modo EV OFF na linha 2.

Concluindo as análises ao esforço realizado na inserção do tampão na linha 2, é realizada uma análise de regressão linear entre este parâmetro e as pressões obtidas com a EV fechada, resultando no gráfico da figura 4.14. Neste, é possível observar uma ligeira tendência negativa cuja reta ajustada apresenta declive de $-0,0064$ kN/bar, e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,319, para com a média de força aplicada na inserção do tampão.

4.4.4 Deslocamento na inserção do tampão

Linha 1

Realizando uma análise de distribuição aos 277 147 valores registados para o deslocamento na inserção do tampão na linha 1, é observado que estes estão compreendidos entre 169,77 e 169,93 mm, apresentam uma média de 169,841 mm e um desvio padrão de 0,06 mm. Em contraste com os restantes gráficos de distribuição, o histograma obtido, figura 4.15, apresenta uma maior divergência da distribuição normal esperada, podendo indicar uma maior aleatoriedade nos registos, relativamente aos outros parâmetros. Para além de possíveis anomalias na maquinaria/registo, esta distribuição pode ser devida aos estritos limites impostos neste parâmetro combinados com a alta exatidão, mas baixa precisão, na medição de valores que variam apenas 10 micrómetros entre si, dado que neste parâmetro a incerteza de $\pm 0,01$ mm causa uma janela de erro de 12,5% do intervalo de registo (0,16 mm).

Como observado na figura 4.16, existe muito pouca variação na média diária do deslocamento quando este é comparado com as barreiras internas inferior e superior, com uma média diária máxima de 169,845 mm (154 registos) e mínima de 169,838 mm (105 registos), ignorando um dia em que foram realizados apenas 10 registos.

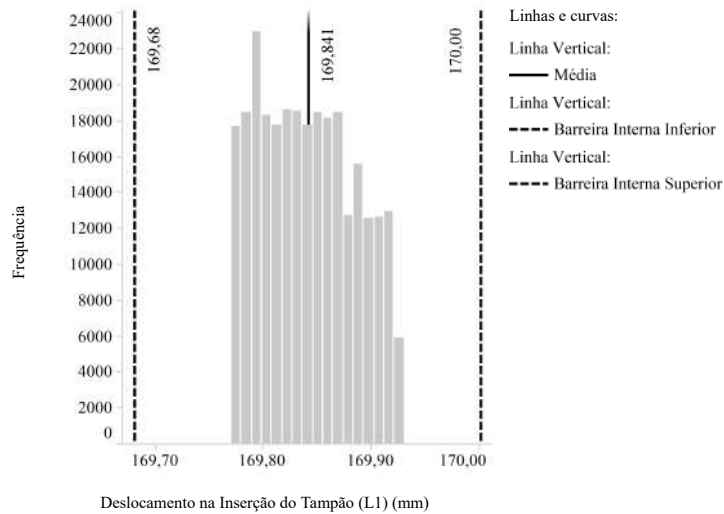


Figura 4.15: Histograma de distribuição do deslocamento na inserção do tampão na linha 1.

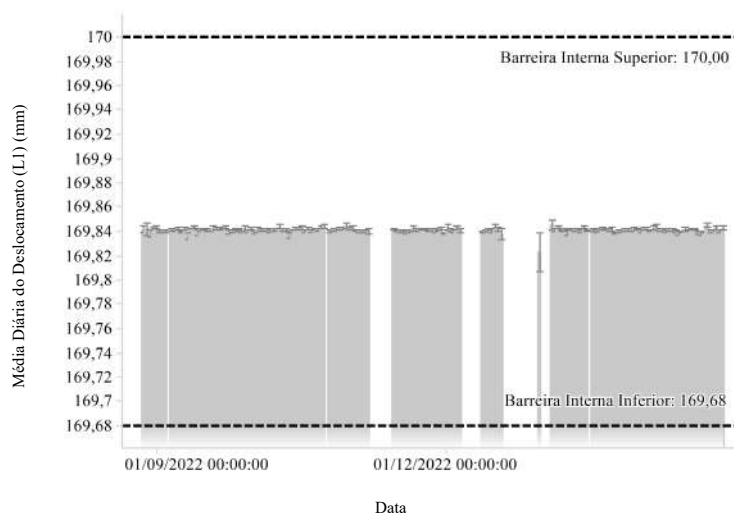


Figura 4.16: Gráfico de barras da evolução da média diária do deslocamento de inserção do tampão na linha 1.

A alta estabilidade da média diária, mesmo para casos com uma quantidade relativamente baixa de registos (nas centenas), pode confirmar a alta aleatoriedade teorizada na análise de distribuição mencionada anteriormente, pelo que o mesmo seria de esperar de um conjunto de dados totalmente ou em grande parte aleatório.

Tal como para os restantes parâmetros, uma análise ANOVA é realizada, os resultados desta estando indicados na Tabela 4.3. Aqui, é indicado um valor p para a relação entre o deslocamento e a pressão em modo EV ON de 0,532 e de 0,393 para a pressão em modo EV OFF, revelando, uma vez que ambos os valores são maiores que 0,05.

Tabela 4.3: Tabela ANOVA para o deslocamento na inserção do tampão na linha 1.

Variável dependente	p value	F-stat	S2Btwn	S2Wthn	dfBtwn	dfWthn
Pressão EV ON	5,32e-1	0,99	0,31	586,60	150	276996
Pressão EV OFF	3,93e-1	1,03	0,30	586,62	139	277007

Devido aos valores de p obtidos, esta correlação considera-se muito fraca, não sendo possível negar que a relação entre elas seja aleatória. Por esta razão uma subsequente análise de regressão não é realizada, pelo que pode induzir em erro quaisquer conclusões obtidas desta.

Com esta última análise realizada, é possível concluir que o parâmetro de deslocamento medido na operação da inserção do tampão na linha 1 é altamente impreciso, possivelmente devido a um intervalo de valores permitidos pequeno demais para a tolerância do equipamento. Uma possível solução seria um alargamento deste intervalo, permitindo uma distribuição normal dos valores e uma análise comparativa destes.

Linha 2

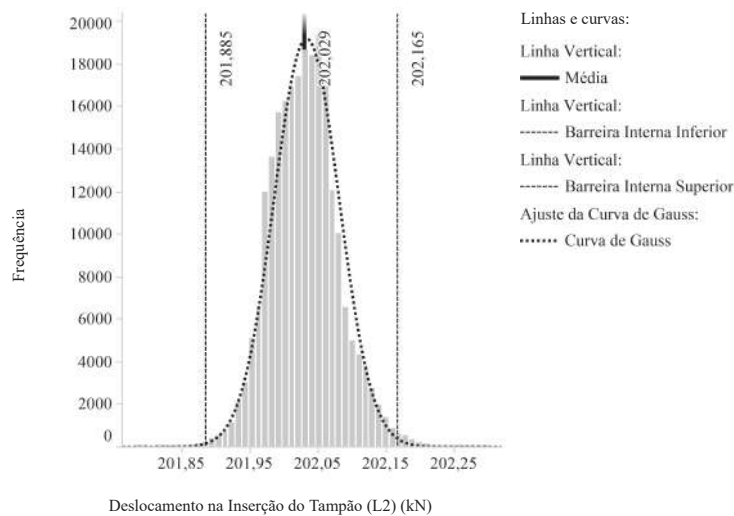


Figura 4.17: Histograma de distribuição do deslocamento na inserção do tampão na linha 2.

Analisando o histograma obtido do deslocamento na inserção do tampão na linha 2, na figura 4.17, observa-se que os 235 004 registos efetuados estão compreendidos entre 201,78 e 202,30 mm e que o gráfico assemelha-se a uma distribuição normal com média em 202,029 e desvio padrão de 0,05 mm. As barreiras internas localizam-se a 201,885 e 202,165 mm, identificando um valor não atípico de 1% de anomalias estatísticas.

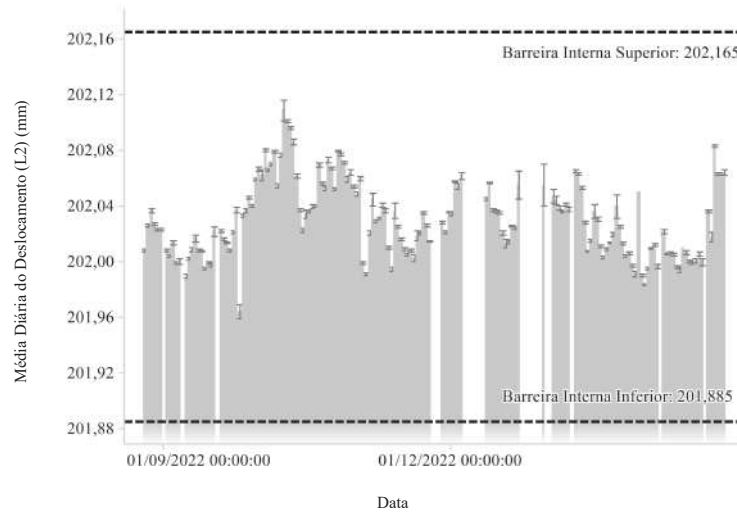


Figura 4.18: Gráfico de barras da evolução da média diária do deslocamento de inserção do tampão na linha 2.

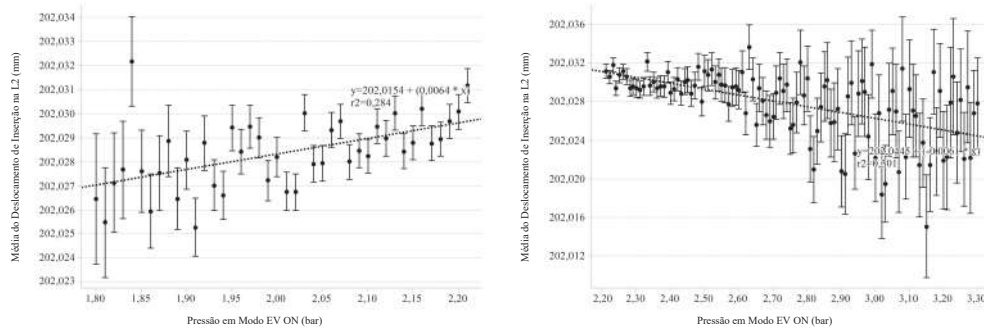
O gráfico de barras obtido para a média diária do deslocamento na inserção do tampão registado na linha 2, na figura 4.18, apresenta alguma dispersão, tal como observado no parâmetro de força de inserção na mesma linha, no capítulo 4.4.3, com máximo de 202,10 mm (2256 registos) e mínimo de 201,98 mm (2344 registos), sendo possível obter uma conclusão semelhante, i. e., que a dispersão observada não gera preocupações sobre os resultados obtidos das seguintes análises.

Tabela 4.4: Tabela ANOVA para o deslocamento na inserção do tampão na linha 2.

Variável dependente	p value	F-stat	S2Btwn	S2Wthn	dfBtwn	dfWthn
Pressão EV ON	3,54e-5	1,53	0,58	596,11	150	234853
Pressão EV OFF	~ 0	24,84	5,63	591,06	90	234913

Antes da identificação da correlação entre os parâmetros, são realizadas as análises ANOVA entre o deslocamento na inserção do tampão e as pressões na linha 2. Desta são obtidos os valores p de $3,54e-5$ entre o deslocamento e a pressão em modo EV ligada e de 0 (valor aproximado) entre o deslocamento e a pressão em modo EV desligada, sendo possível concluir que, entre as três amostras, existem relações com significância estatística (a com a EV desligada mais certamente).

Finalmente realizando as análises de regressão, são obtidos os gráficos na figura 4.19. No gráfico da média do deslocamento em função da pressão com a EV aberta observa-se um fenómeno curioso: para a média inferior da pressão registada (de 0 a 2,21 bar) é observada uma tendência linear positiva, a reta ajustada apresentando um declive de 0,0064 mm/bar e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,284, enquanto a média superior (de 2,21 a 3,30 bar) aparenta uma tendência negativa com declive -0,0061 mm/bar e R^2 0,301.



(a) Gráfico com pressões EV ON de 1,80 a 2,21 bar. (b) Gráfico com pressões EV ON de 2,20 a 3,30 bar.

Figura 4.19: Gráficos de pontos da média do deslocamento de inserção do tampão em função da pressão em modo EV ON na linha 2.

Devido à alta dispersão associada e ao baixo declive das retas ajustadas, não é considerado que o deslocamento na inserção do tampão tenha grande influência nas pressões obtidas em modo EV ON.

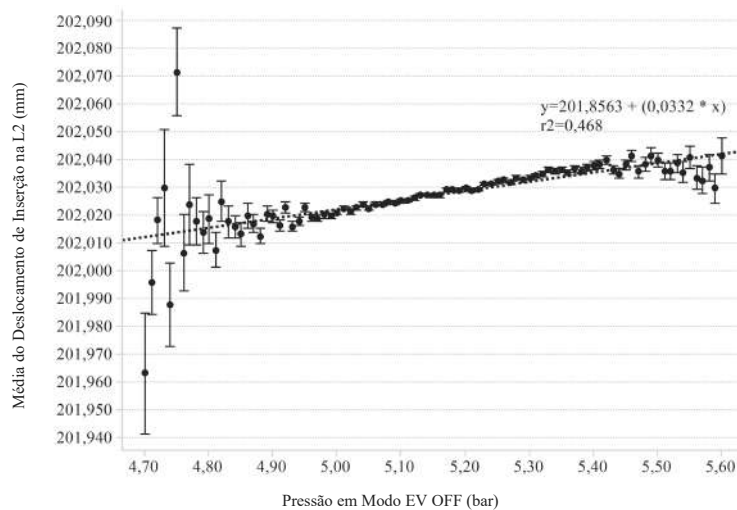


Figura 4.20: Gráfico de pontos da média do deslocamento de inserção do tampão em função da pressão em modo EV OFF na linha 2.

Quanto à pressão com a EV fechada, no gráfico da figura 4.20, é observada uma correlação maior para a qual a reta aproximada apresenta um declive de 0,0332 mm/bar e um R^2 de 0,468 (declive de 0,0379 mm/bar e R^2 de 0,949 se forem descartadas as anomalias estatísticas).

4.5 Síntese

Quanto aos resultados obtidos e já analisados em detalhe anteriormente, são possíveis reiterar e destacar alguns pontos-chave, os quais fundamentam a análise no seguinte capítulo:

- Dos casos analisados são possíveis observar duas relações estatísticas relevantes:
 - Na linha 2, observa-se uma relação entre a média da força de inserção do tampão e a pressão em modo EV OFF correspondente a uma variação de $-0,0064$ kN/bar.
 - Na mesma linha de montagem, a relação entre a média do deslocamento na inserção do tampão e a pressão em modo EV OFF corresponde a uma variação de $0,0332$ mm/bar.
- Na comparação com diversos parâmetros, a pressão registada em modo EV ON observa-se altamente independente e imprevisível, em alguns casos não sendo possível provar que a relação entre amostras não é aleatória e em outros a relação ser aproximadamente nula. Esta discrepância é explicada pela instável movimentação do anel (e conseqüente cilindrada instável) causada pelo alto atrito entre o vedante interno e o corpo da bomba, como indicado no capítulo 3.5.2.
- De modo semelhante, os parâmetros na linha de montagem 1 não apresentam resultados de confiança. Enquanto na força de inserção do tampão as médias diárias dos valores registados são altamente variáveis, alterando os resultados em função do intervalo de tempo selecionado, os valores de deslocamento na mesma operação estão bastante “confinados”, apresentando de certo modo a aparência de uma amostra aleatória. A habilidade de correlação destes parâmetros na linha 2, sugere que tais problemas são intrínsecos ao equipamento (ou alterações a este) e/ou ao registo e gravação de dados, sendo possível sugerir as seguintes soluções:
 - Para com o parâmetro da força é sugerida a realização do registo (preferencialmente digital) de quaisquer ajustes recorrentes a anilhas calibradas, ou à eliminação destes ajustes mecânicos, recorrendo unicamente a alterações na programação do equipamento quando necessário.
 - Relativamente ao parâmetro de deslocamento na inserção do tampão, o aumento do intervalo de valores permitidos pelo equipamento possibilitaria uma avaliação da correlação entre este parâmetro e as pressões registadas no banco fim de linha.

Parte V

Sistema de Vedação no Desempenho das Bombas de Óleo

Capítulo 5

Sistema de vedação no desempenho das bombas de óleo

Com o objetivo da obtenção de uma melhor interpretação e possível resolução à alta dispersão e difícil regulação dos valores de pressões com a eletroválvula ligada obtidas pelos bancos fim de linha, uma série de experiências são planejadas e elaboradas.

Inspiradas em projetos passados realizados pela Renault Cacia, as experiências definidas focam no sistema de vedação interna, em específico no vedante e no sistema de vedação em si (vedação elástica vs hidráulica). Para esta análise não são utilizados os banco fim-de-linha para a obtenção dos valores de pressão, pelo que, para a obtenção de uma descrição mais completa do comportamento das bombas analisadas, será utilizado um banco no centro de ensaios de bombas de óleo denominado RO6.

5.1 Banco RO6



Figura 5.1: Banco de ensaios RO6.

Os ensaios ao desempenho hidráulico das bombas, são realizados num banco de ensaios de bombas de óleo. O banco específico utilizado neste estudo, identificado como RO6 e representado na figura 5.1 e esquematizado na figura 5.2a, permite a medição dos parâmetros caracterizantes da bomba, nomeadamente a velocidade de rotação (até 8000 rpm), o binário (até 50 Nm nos dois sentidos de rotação), o caudal fornecido pela bomba (até 125 l/min), a pressão a jusante (até 10 bar), a pressão na válvula reguladora (pressão de pilotagem), o estado da eletroválvula (ON/aberta ou OFF/fechada) e a temperatura do óleo em diferentes pontos do circuito (de -30°C até 140 °C), que, a partir da classificação do óleo utilizado (SAE 0W-20), permite determinar a sua viscosidade cinemática e densidade, de acordo com o Anexo A.1.

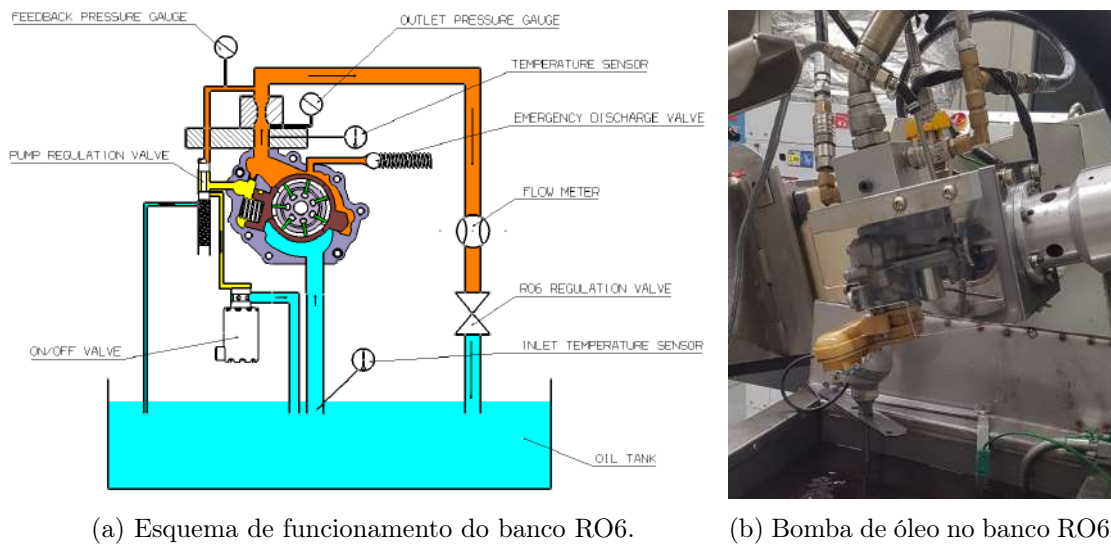


Figura 5.2: Esquema (a) e imagem (b) do circuito hidráulico do banco RO6 com a bomba de óleo Euro 6d_full.

A obtenção de tais valores é executada de acordo com diferentes procedimentos, determinados pelo tipo de medições a serem realizadas. Estes são o ensaio ao tempo de inicialização ou 'amorçage' da bomba, de caracterização do ruído, de caracterização hidráulica e de CdC hidráulico, dos quais o de caracterização hidráulica e de CdC hidráulico foram escolhidos para o estudo, abordados em maior detalhe em 5.3, pelo que estes determinam detalhadamente o comportamento e desempenho da bomba, permitindo uma simples comparação entre experiências.

5.2 Plano de Experiências

Com o objetivo desta segunda parte do estudo em mente, uma série de experiências foram planeadas e elaboradas. Estas, incidem sobre os mecanismos de variação de cilindrada por translação e de vedação interna da bomba, mencionados anteriormente em 3.5.2, e visam estudar a viabilidade da utilização de um diferente mecanismo de vedação interna, especificamente a vedação hidráulica.

Em estudo estão dois componentes em específico: o anel de regulação, ou estator, fabricado por sinterização de pós de ferro, bronze e grafite e um vedante, originalmente composto por um elemento elástico de borracha vulcanizada injetada numa tira retangular de aço mola, representados no esquema da figura 3.12 pelos elementos 6 e 7 respetivamente.

Para atingir o objetivo, teriam obrigatoriamente que se realizar dois ensaios idênticos a duas bombas idênticas (ou utilizando a mesma) apenas variando nas modificações em análise, i. e., a comparação de uma bomba com anel e vedante série e uma bomba com anel e vedante modificados. Tendo em conta que a modificação em análise pode apresentar duas tipologias diferentes que podem afetar significativamente o desempenho da bomba (anel contendo um ou dois canais) são realizados ensaios a estas.

Para além do sistema de vedação em si, surge a oportunidade de analisar também a morfologia do sistema, em específico o impacto de “caixas” retentoras de óleo no vedante (para redução do atrito na deslocação do anel) e o impacto da área da superfície de contacto entre o vedante e o corpo da bomba.

Tabela 5.1: Plano de experiências.

N.º da Experiência	N.º de Canais no Anel	Material do Vedante	Caixas no Vedante	Largura do Vedante (mm)
1	0	Borracha/Aço	Não	3,00
2	1	Grivory	Não	3,45
3	2	Grivory	Não	3,45
4	2	Ultrafuse	Não	3,45
5	2	Ultrafuse	Sim	3,45
6	2	Ultrafuse	Não	4,00
7	2	Ultrafuse	Sim	4,00

Tendo em conta as análises que se pretendem realizar e o material disponível (quer já existente, quer de fabrico possível), um plano de experiências, tabela 5.1, foi elaborado. Este visa minimizar o número de variáveis diferentes em cada comparação de modo a obter resultados influenciados apenas pela variável em análise. Com o plano elaborado, são definidas as diferentes análises pretendidas:

- Sistema de vedação (Número de canais no anel): Exp. 1, 2 e 3
- Material do vedante: Exp. 3 e 4
- Presença de canais de retenção de óleo no vedante: Exp. 4 e 5, e 6 e 7
- Largura do vedante: Exp. 4 e 6, e 5 e 7

5.3 Materiais e Ensaaios

5.3.1 Bomba de óleo

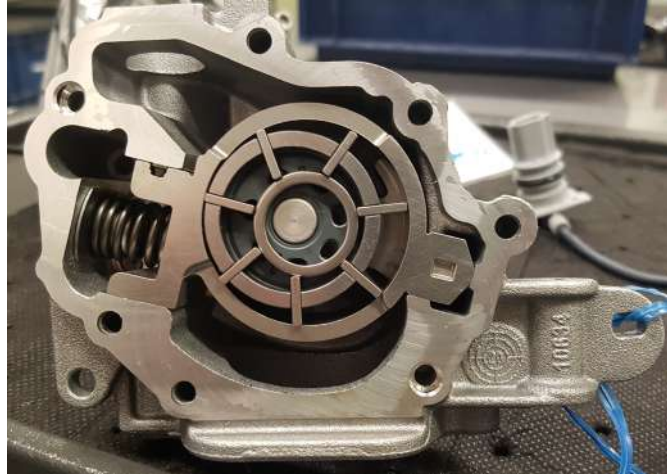


Figura 5.3: Bomba Euro 6d_full utilizada para as experiências.

Com o objetivo da redução do número de variáveis, a mesma bomba, representada na figura 5.3, (e todos os componentes associados com exceção dos elementos em análise) foi utilizada para todas as experiências. Esta foi escolhida de modo aleatório de uma coleção de bombas de óleo de caudal variável Euro 6d_full (analisadas também no capítulo 4) resultantes de ensaios de CdC Hidráulico, destinados à análise regular da conformidade das bombas produzidas.

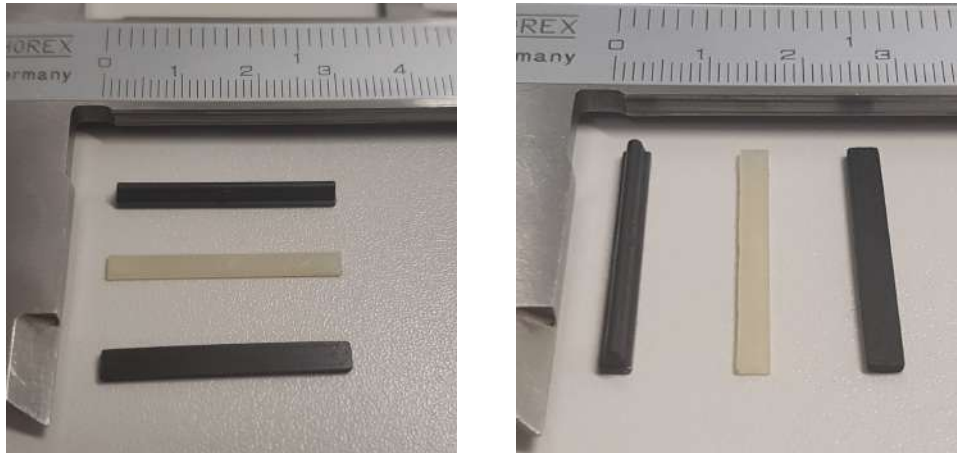
No entanto, a utilização da mesma bomba para um número grande de experiências, para as quais a bomba necessita de ser desmontada e montada repetidamente, não é recomendada devido ao carácter autorroscante dos parafusos de fixação da tampa, resultando na progressiva destruição das roscas no corpo da bomba e subsequente pior aperto e aumento de folgas entre este e a tampa. Este facto não foi considerado um problema neste estudo devido ao número pequeno de experiências a realizar.

5.3.2 Vedantes

Como planeado anteriormente, são necessários seis vedantes diferentes: um vedante série, um vedante protótipo, já existente de estudos anteriores, e quatro vedantes fabricados por impressão 3D de plástico: dois com 3,45 mm de largura (um liso e um com caixas de transporte de óleo) e os outros com 4 mm (também um liso e um com caixas).

O vedante série, representado no topo na figura 5.4a e à esquerda na figura 5.4b, é fabricado por injeção de borracha vulcanizada numa tira de aço mola e assemelha-se a um prisma triangular com 3mm de largura, 28,35 mm de comprimento e 2,8 mm de altura, resultando numa área de superfície de contacto com o corpo da bomba de 85,05 mm².

O vedante protótipo, localizado no meio das figuras 5.4, é fabricado por injeção de um plástico com designação Grivory HTV 5H1 natural, correspondente a uma poliamida 6T de alta temperatura reforçada com fibra de vidro a 50%.



(a) Do topo: vedante série; vedante Gri-vory; vedante por impressão. (b) Da direita: vedante série; vedante Gri-vory; vedante por impressão.

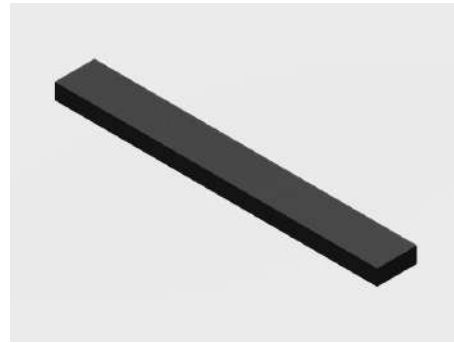
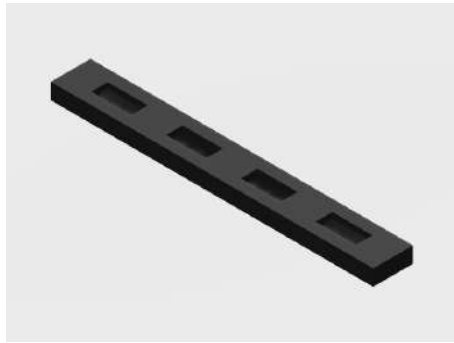
Figura 5.4: Perspectivas dos três tipos de vedantes ensaiados.

Este apresenta uma geometria paralelepípedica com 3,45 mm de largura, 28 mm de comprimento ($96,60 \text{ mm}^2$ de área de contacto) e 1,4mm de altura.

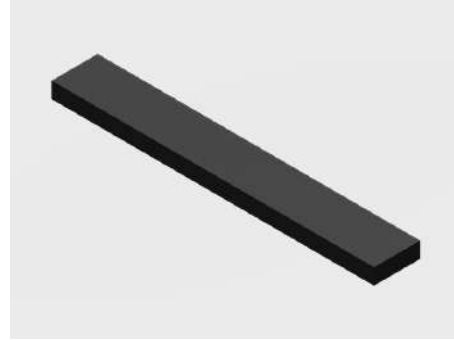
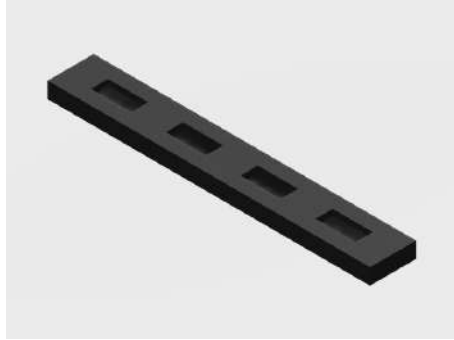
Os restantes vedantes são fabricados por impressão 3D de plástico, especificamente por FFF (fabrico por fusão de filamento), pela disponibilidade e rapidez do processo na fábrica Renault Cacia, utilizando PAHT CF15 Ultrafuse, correspondente a uma poliamida de alta temperatura reforçada com 15 % de fibra de carbono, de possível comparação com o outro plástico utilizado na Tabela 5.2. Os modelos para impressão, representados na figura 5.5, foram desenhados em CATIA e apresentam a forma de um paralelepípedo com 1,4 mm de altura, 28 mm de comprimento e 3,45 ou 4 mm de largura, resultando em $96,6$ ou 112 mm^2 de área de contacto, respetivamente. Adicionalmente, dois dos vedantes foram modelados com quatro caixas dedicadas à retenção de óleo para uma suposta redução do atrito entre o vedante e o corpo da bomba no movimento do anel. Estas cavidades apresentam 1,5 mm de largura, 3,5 mm de comprimento e 0,5 mm de profundidade, correspondendo a um volume de $10,5 \text{ mm}^3$ dedicados à retenção de óleo (por vedante) e 21 mm^2 “perdidos” na área de contacto entre o vedante e o corpo da bomba.

Tabela 5.2: Comparação das características dos materiais dos vedantes plásticos (21, 22).

Propriedade	HTV 5H1	PAHT CF15
Reforço	F. Vidro a 50%	F. Carbono a 15%
Densidade	$1,65 \text{ g/cm}^3$	$1,232 \text{ g/cm}^3$
Temperatura de fusão	325°C	234°C
Temp. de deformação térmica a 1,8 MPa	285°C	92°C
Módulo de Young	18,0 GPa	8,39 GPa
Tensão de rutura	260 MPa	103,2 MPa
Resistência ao impacto Charpy	80 kJ/m^2	$20,6 \text{ kJ/m}^2$



(a) Vedante de largura 3,45 mm com caixas. (b) Vedante de largura 3,45 mm sem caixas.



(c) Vedante de largura 4 mm com caixas. (d) Vedante de largura 4 mm sem caixas.

Figura 5.5: Modelos 3D dos vedantes fabricados por impressão 3D de plásticos.

Após a impressão, todos os vedantes apresentam alta rugosidade e sobre-espessura, pelo que é necessário o pós-processamento dos elementos. Este foi realizado com lixa de papel 400, uma superfície plana, uma lupa e um paquímetro, tendo sido realizado com especial cuidado na obtenção de superfícies com baixa rugosidade, planeza, paralelismo, perpendicularidade e com as dimensões finais como modeladas. Infelizmente, o pós-processamento dos detalhes das caixas para retenção de óleo não foi possível devido às dimensões pequenas, assemelhando-se, no final, a cilindros elípticos com aproximadamente 2 mm de eixo maior, 1 mm de eixo menor e 0,5 mm de profundidade, sendo o volume retido por estas aproximadamente $3,14 \text{ mm}^3$ por vedante e a área de contacto “reduzida” por $6,28 \text{ mm}^2$.

5.3.3 Anéis

Quanto aos anéis, estes são fabricados por sinterização de pós de ferro, bronze e grafite e assemelham-se a cilindros ocos com 28,35 mm de altura (dimensão correspondente ao comprimento dos vedantes) com algumas saliências, das quais se destaca a que retêm o vedante. Para este estudo apenas são necessários quatro modelos diferentes: um anel série, dois anéis protótipos, um com um canal e outro com dois, já existentes de estudos passados, e um anel adicional cujo canal de retenção do vedante apresenta 4 mm de largura.



Figura 5.6: Anel com e sem modificação de transporte de óleo (canal).

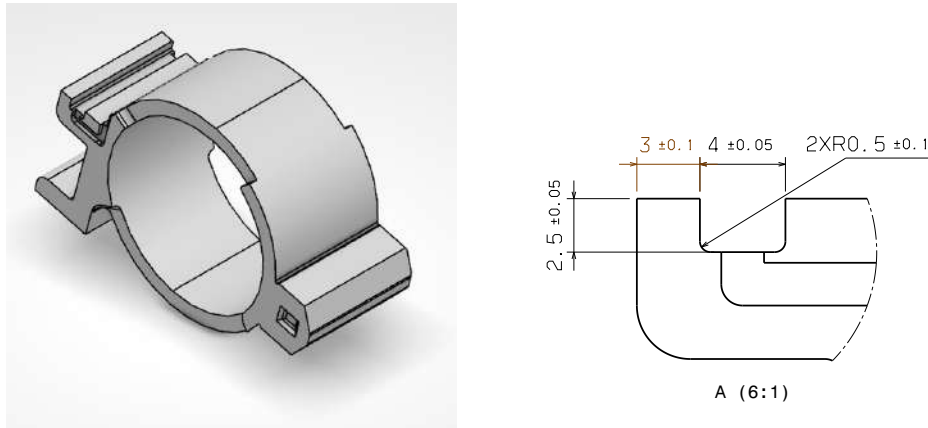
No anel série, na esquerda da figura 5.6, a saliência mencionada não apresenta canais para transporte de óleo (dado que a vedação interna é realizada pela compressão do vedante série) e a cavidade retentora do vedante apresenta um perfil assemelhado a um trapézio isósceles, destacando a dimensão de 3,5 mm para a base deste e 2,5 mm de altura (de destacar que a altura do vedante série é de 2,8 mm, forçando a compressão deste).

Nos anéis protótipos, maquinados para estudos anteriores à realização deste, o(s) canal(ais) para transporte de óleo (para a vedação hidráulica) apresenta(m) um percurso em “J” com cantos de 90° arredondados, desde a cavidade do vedante até a zona de alta pressão de óleo, com um percurso com cerca de 16 mm, tal como observado no vedante à direita na figura 5.6. O perfil deste(s) canal(ais) é retangular com 2 mm de base e 1 mm de profundidade, correspondendo a 2 mm² de área dedicada ao transporte de óleo. A cavidade do vedante também sofreu alterações para a retenção do vedante Grivory, apresentando agora um perfil retangular com 3,5 mm de base e mantendo a altura original. No anel com dois canais, estes estão localizados simetricamente nas faces planas do anel.

Finalmente, o anel modificado especificamente para este estudo apresenta as mesmas características que o anel protótipo com dois canais, mencionado anteriormente, apenas com o aumento da ranhura de alojamento do vedante de 3,5 mm para 4±0,05 mm de largura (correspondente com a largura do vedante). Para esta modificação, executada na oficina central da fábrica Renault Cacia, o modelo CAD do anel original foi modificado em CATIA e o desenho técnico da peça final foi elaborado, representados na figura 5.7.

5.3.4 Ensaios de Caracterização

Dos três tipos de ensaios realizados por experiência, dois deles são ensaios de caracterização: um ensaio de caracterização com a eletroválvula desligada/fechada, e outro com a EV ligada/aberta. Para este estudo, com o objetivo da redução da duração e da quantidade de informação não relevante por ensaio, a temperatura alvo do óleo manteve-se em 80±5 °C para ambos os ensaios, resultando numa viscosidade cinemática de 11,73 mm²/s e densidade de 794,1 g/L, segundo o Anexo A.1.



(a) Modelo do anel modificado em CATIA. (b) Desenho da modificação maquinada.

Figura 5.7: Modelo (a) e desenho parcial (b) do anel maquinado para análise (retirado do Anexo A.2).

Nestes ensaios, a pressão de saída é regulada para diversos pontos em cada regime, indicados na Tabela 5.3, e o caudal obtido é registado automaticamente, correspondendo a 135 pontos no ensaio de caracterização EV OFF e 171 pontos no ensaio EV ON, para os quais o programa detém um tempo de espera de 20 segundos entre registos dedicados à transição e estabilização do sistema. Devido a questões de visualização, apenas 4 regimes (700, 1000, 1500 e 2000 rpm) serão indicados nos gráficos de caracterização, estando os restantes regimes, também como todos os pontos de registo, no apêndice B

Tabela 5.3: Pontos de registo nos ensaios de caracterização.

Regime (rpm)	700	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	6000	
Pressão de saída EV OFF (bar)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	
Pressão de saída EV ON (bar)	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50				
Pressão de saída EV ON (bar)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	
Pressão de saída EV ON (bar)	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50

5.3.5 Ensaios do Caderno de Encargos (CdC) Hidráulico

O terceiro ensaio a realizar em cada experiência corresponde a um ensaio CdC Hidráulico, no qual apenas dois pontos de registo do caderno de encargo (Cahier des Charges) da bomba são analisados, cada um três vezes, para a obtenção da média e para a observação do comportamento da pressão de pilotagem (estável ou instável). Os pontos de medida de pressão (em bar e com $\pm 0,01$ bar de incerteza) foram definidos ambos com o óleo a $80\pm 5^\circ\text{C}$ (e conseqüente viscosidade cinemática de $11,73 \text{ mm}^2/\text{s}$ e densidade de $794,1 \text{ g/L}$): um para o regime de 2500 rpm e caudal de 25 l/min com a EV aberta e o outro 4000 rpm e 46 l/min com a EV fechada, pelo que nestes pontos é verificado um comportamento semelhante em termos de estabilidade aos testes de pressão nos bancos fim de linha, de acordo com estudos realizados anteriormente.

Para comparação com os resultados obtidos, estão indicados na tabela 5.4, os valores nominais e os limites de conformidade neste ensaio.

Tabela 5.4: Valores nominais de pressão para os pontos de ensaio de CdC Hidráulico realizados.

Regime	Limite inferior de conformidade	Valor nominal	Limite superior de conformidade
2500 rpm, 25 l/min, EV ON	1,85 bar	2,10 bar	2,35 bar
4000 rpm, 46 l/min, EV OFF	4,05 bar	4,50 bar	4,95 bar

5.4 Resultados

5.4.1 Comparação do sistema de vedação (Experiências 1, 2 e 3)

Esta primeira análise irá reunir e comparar os resultados obtidos da experiência realizada com a bomba série, da experiência com o vedante protótipo Grivory HTV 5H1 e com o anel com um canal e da experiência com o mesmo vedante e o anel com dois canais. Para além dos diferentes sistemas de vedação (mecânico vs hidráulico), esta análise compara também a presença de um para com dois canais opostos para realizar a vedação hidráulica.

Na comparação com a bomba série, devido à utilização de tantos dois vedantes diferentes como dois anéis diferentes, existem outros parâmetros que distinguem as experiências que podem ter pequenos impactos nos resultados. Estes são: a rugosidade do vedante, o tamanho de folgas, a geometria do vedante, o material do vedante (associada a outros parâmetros como a expansão térmica e resistência a temperatura), entre outros. A eliminação destas divergências é considerada pouco prática, pelo que tal implica o fabrico de novos elementos e controlo de mais variáveis, para resultados que seriam potencialmente imperceptíveis face à instabilidade natural do ensaio.

Ensaio de Caracterização EV OFF

Perante os gráficos obtidos, na figura 5.8, é possível observar uma divergência negativa do comportamento série com a EV desligada (débito inferior) quando no sistema de vedação hidráulica é apenas utilizado um canal, enquanto com dois canais o comportamento assemelha-se ao série (com exceção do caso das 700 rpm). Tal divergência pode ser justificada pelo desequilíbrio de forças a atuarem no vedante ao longo do seu comprimento, potencialmente aumentando a fuga de óleo a alta pressão para a zona de controlo de cilindrada, pelo local oposto ao canal, o que não acontece quando existem dois canais opostos.

Tendo em conta o objetivo da não divergência da caracterização original para a qual a bomba foi projetada, a utilização da vedação hidráulica por um canal é considerada desfavorável, relativamente à vedação hidráulica por dois canais.

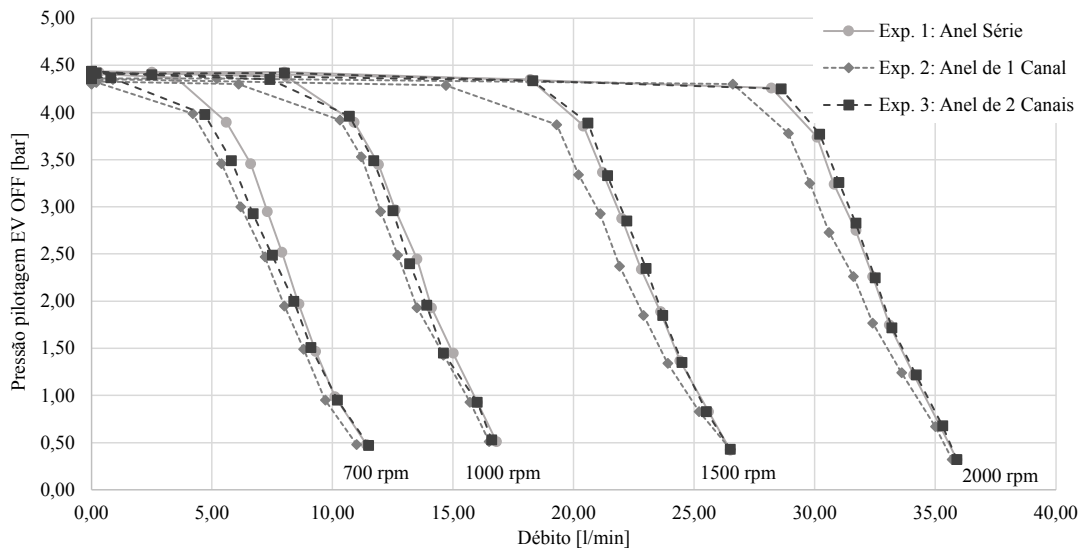


Figura 5.8: Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 1, 2 e 3.

Ensaio de Caracterização EV ON

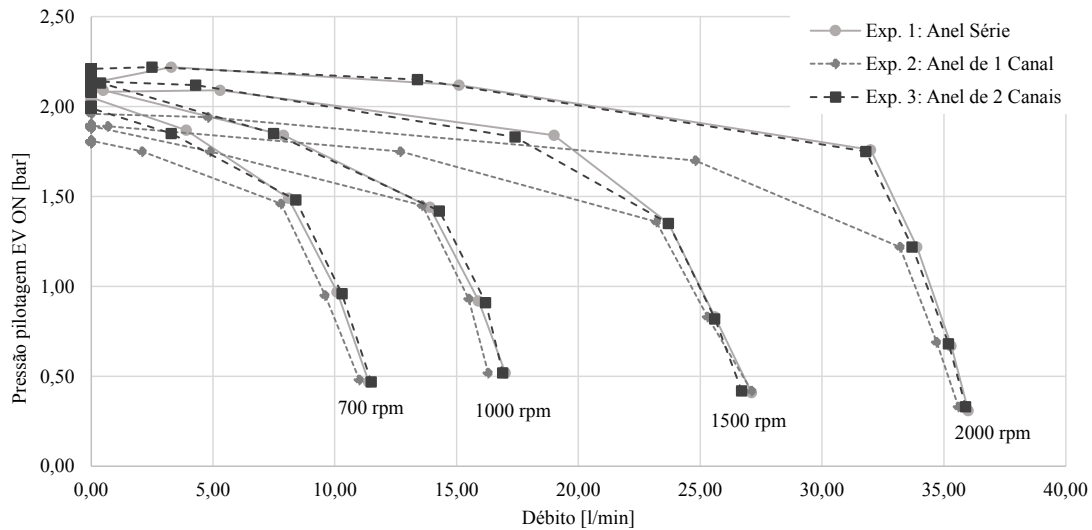


Figura 5.9: Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 1,2 e 3.

Nos ensaios de caracterização com a eletroválvula ligada, presentes na figura 5.9, o comportamento anterior é observado novamente, suportando a justificação proposta, pelo que, com lógica utilizada, o estado da eletroválvula não afetaria presença de uma fuga de óleo pelo vedante.

Tabela 5.5: Ensaio CdC das experiências 1, 2 e 3.

Regime	Ponto de Registo	Exp. 1: Série	Exp. 2: 1 Canal	Exp. 3: 2 Canais
2500 rpm,	P1	1,96	1,78	2,10
25 l/min,	P2	2,00	1,79	2,09
EV ON	P3	1,94	1,82	2,07
Pressão [bar]	Média	1,97	1,80	2,09
4000 rpm,	P1	4,46	4,32	4,46
46 l/min,	P2	4,47	4,35	4,46
EV OFF	P3	4,45	4,38	4,47
Pressão [bar]	Média	4,46	4,35	4,46

Ensaio de CdC Hidráulico

Uma vez realizado o ensaio de CdC Hidráulico, tal como indicado em 5.3.5, aos três casos em questão, é obtido para a bomba série um valor médio de 1,97 bar de pressão em modo EV ON (valor abaixo do nominal), sendo observada elevada instabilidade deste valor na realização do ensaio, confirmando o problema a resolver, e uma média de 4,46 bar para a pressão em modo EV OFF (valor nominal). Para o caso do vedante protótipo e do anel com um canal (experiência 2), é observado um valor médio de 1,80 bar de pressão em modo EV ON, um valor inferior ao valor limite inferior de conformidade, sendo observada menor variação deste, e uma média de 4,35 bar na pressão em modo EV OFF, um valor novamente abaixo do valor nominal. Finalmente, para a experiência com o anel de dois canais, é registada a média de 2,09 bar na pressão EV ON (valor nominal), não sendo observada qualquer instabilidade neste, e média de 4,46 bar na pressão EV OFF. Com este ensaio realizado é possível determinar que com a utilização de um sistema de vedação interna hidráulica com dois canais são obtidos valores mais estáveis e nominais de pressão EV ON do que com as bombas série, enquanto quando é utilizado um anel com apenas um canal, como determinado nos ensaios de caracterização, existe uma deriva da conformidade.

5.4.2 Influência do material do vedante (Experiências 3 e 4)

Esta análise reúne os ensaios realizados aos casos com o vedante fabricado por impressão 3D de plástico (PAHT CF15 Ultrafuse) com largura de 3,45 mm e com o caso do vedante em Grivory HTV 5H1 analisado anteriormente. Esta tem como objetivo a determinação da influência da utilização de vedantes de diferentes materiais e processos de fabrico, i. e., dos parâmetros associados a estes como a rugosidade, densidade, resistência à temperatura, etc.

Ensaio de Caracterização EV OFF

Comparando os dois casos analisados por ensaios de caracterização em modo EV OFF, presentes na figura 5.10, é possível observar uma divergência muito reduzida destes, sem tendência associada, verificando a conformidade do desempenho na utilização de vedantes de dois materiais diferentes.

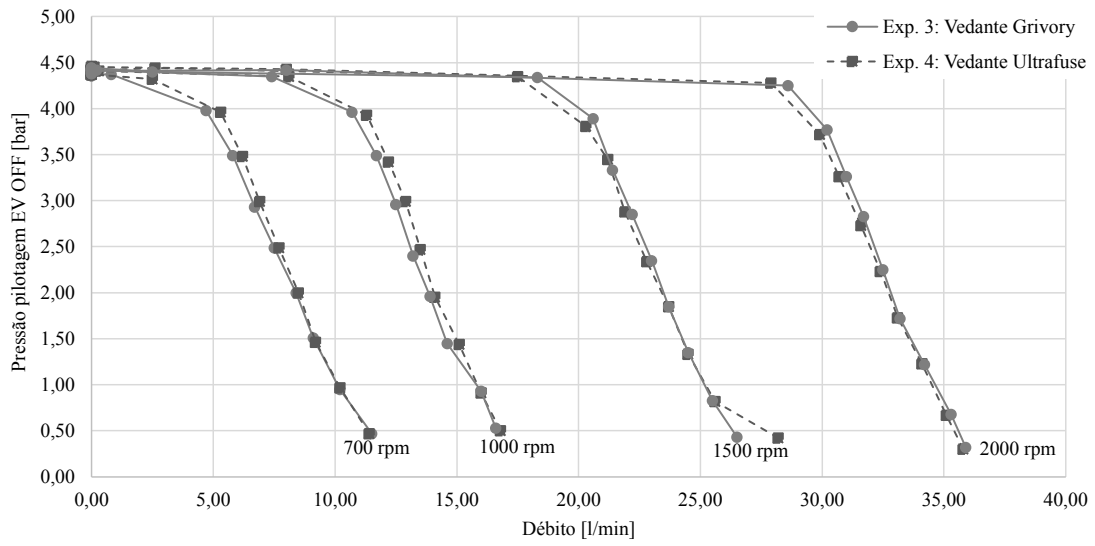


Figura 5.10: Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 3 e 4.

Ensaio de Caracterização EV ON

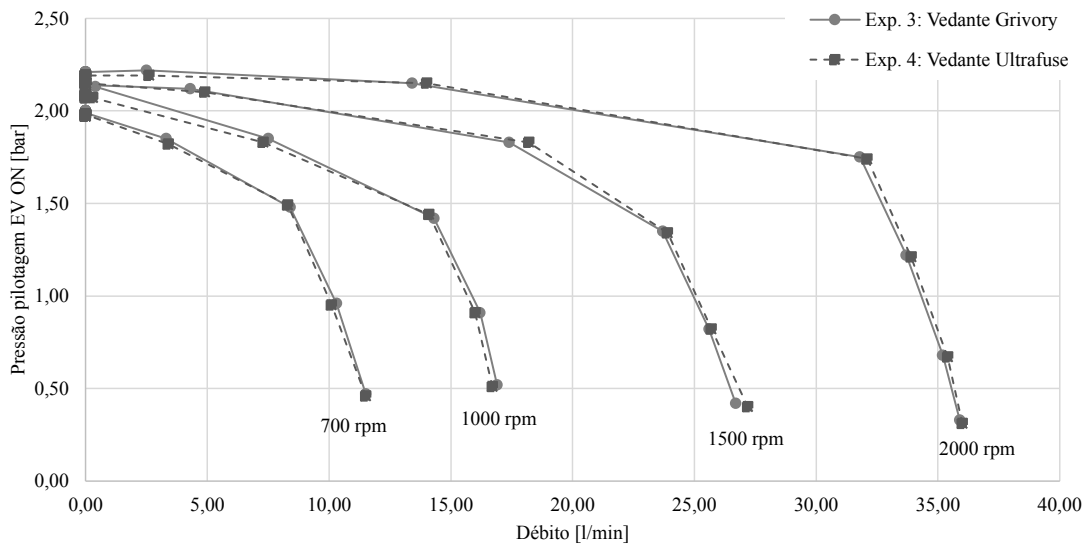


Figura 5.11: Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 3 e 4.

Para os ensaios de caracterização em modo EV ON os resultados observados na figura 5.11 são semelhantes aos anteriores, sendo observada muito pouca divergência de valores entre os casos. Isto possibilita a utilização dos ensaios de caracterização da experiência 4 como a comparação a um ensaio de caracterização de uma bomba com o correto desempenho em futuras análises.

Ensaio de CdC Hidráulico

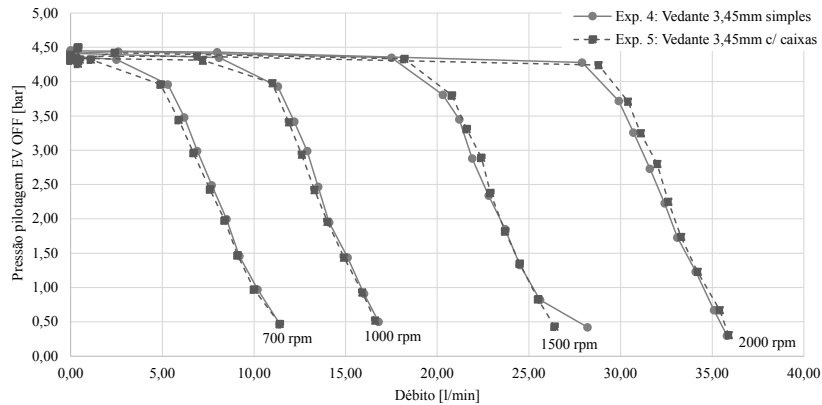
Tabela 5.6: Ensaios CdC das experiências 3 e 4.

Regime	Ponto de Registo	Exp. 3: Grivory	Exp. 4: Ultrafuse
2500 rpm,	P1	2,10	2,08
25 l/min,	P2	2,09	2,08
EV ON	P3	2,07	2,07
Pressão [bar]	Média	2,09	2,08
4000 rpm,	P1	4,46	4,45
46 l/min,	P2	4,46	4,48
EV OFF	P3	4,47	4,42
Pressão [bar]	Média	4,46	4,45

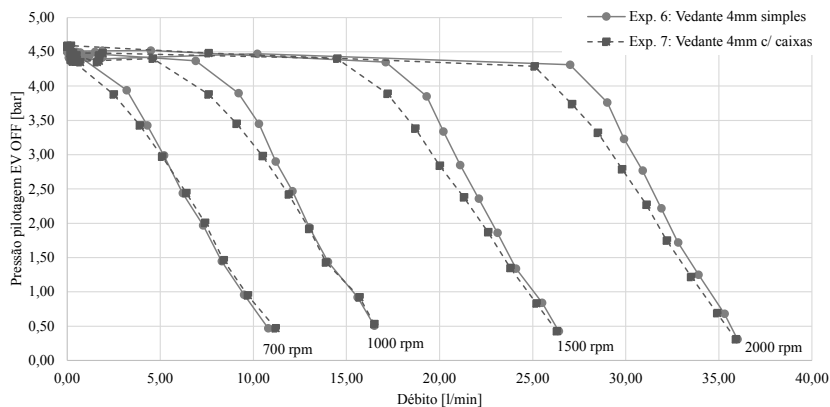
Comparando os ensaios de CdC Hidráulico resultantes desta análise, presentes na tabela 5.6, regista-se uma média de 2,08 bar (valor nominal) para a pressão em modo EV ON para o vedante fabricado por impressão 3D de plástico (Ultrafuse) e uma média de 4,45 bar para a pressão em modo EV OFF, sendo observada uma ligeira instabilidade nesta última medição. Relembrando os valores obtidos na experiência 3 de 2,09 bar de pressão EV ON e 4,46 bar de pressão EV OFF na utilização do vedante fabricado por injeção, é possível concluir que, para todos os efeitos, a utilização de um vedante fabricado por impressão 3D de PAHT CF15 Ultrafuse equivale à utilização de um vedante fabricado por injeção de Grivory HTV 5H1, sendo possível extrapolar que o material e o processo de fabrico do vedante têm pouca influência no desempenho da bomba, desde que as propriedades destes não diverjam demasiado das estudadas nesta análise.

5.4.3 Influência da presença de caixas no vedante (Experiências 4 e 5, e 6 e 7)

Com o objetivo de determinar a influência de caixas de retenção de óleo no vedante foram modelados e fabricados vedantes com estas geometrias. Teoricamente, a presença de óleo nestas caixas facilita o deslocamento do anel, reduzindo a instabilidade observada nos bancos fim de linha na pressão obtida com a EV ligada. Por outro lado, esta lubrificação pode alterar significativamente a diferença de pressão entre a zona de alta pressão e a zona de regulação, a qual determina a cilindrada da bomba, alterando o desempenho característico da bomba.



(a) Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 4 e 5.



(b) Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 6 e 7.

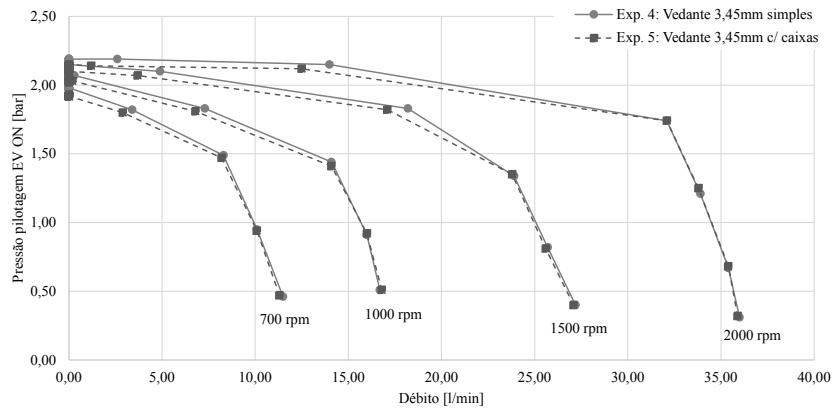
Figura 5.12: Ensaios de caracterização em modo EV OFF para determinação da influência de caixas no vedante.

Ensaio de Caracterização EV OFF

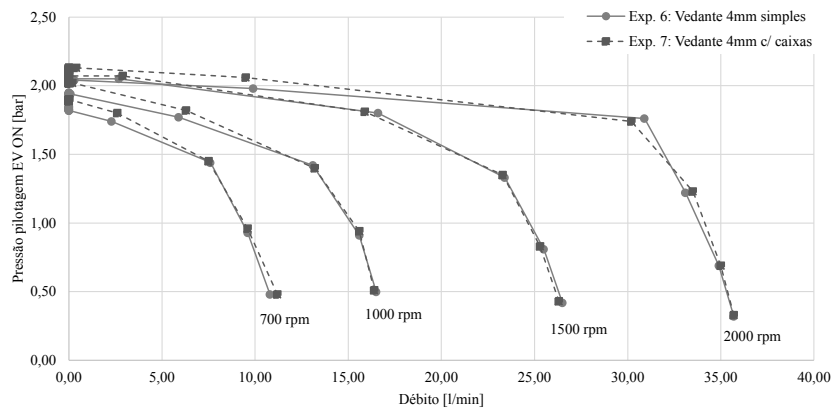
Analisando o gráfico obtido dos ensaios de caracterização EV OFF nos casos dos vedantes de 3,45 mm de largura, presentes na figura 5.12a, é possível observar uma ligeira divergência (cerca de 0,5 l/min) entre o caso do vedante de geometria simples e o vedante com caixas, sem uma real tendência, sendo possível considerar que, para 3,45 mm de largura, não existe uma diferença significativa no desempenho da bomba em EV OFF entre os dois casos.

Quanto aos casos com vedantes de 4 mm de largura, na figura 5.12b, existe uma diferença no desempenho muito maior, com alguns dos pontos de maior pressão a divergirem de 2 l/min. Nestes casos a presença de caixas no vedante causa uma redução significativa do débito fornecido pela bomba, possivelmente justificada por uma maior fuga, e subsequente expulsão, de óleo pelo vedante.

Ensaio de Caracterização EV ON



(a) Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 4 e 5.



(b) Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 6 e 7.

Figura 5.13: Ensaios de caracterização em modo EV ON para determinação da influência de caixas no vedante.

Para os ensaios em modo EV ON aos vedantes de 3,45 mm de largura, na figura 5.13a, os resultados são semelhantes aos anteriores com desempenhos semelhantes, apenas divergindo nas pressões máximas para cada regime, onde o caso com vedante com caixas de retenção de óleo apresenta pressões máximas ligeiramente menores (cerca de 0,5 bar).

Curiosamente, o comportamento nos ensaios aos vedantes de 4 mm de largura, observado na figura 5.13b, é semelhante para pressões mais baixas (comportamentos não divergentes), mas o oposto ao observado anteriormente, no qual o caso do vedante com caixas de retenção de óleo apresenta pressões máximas por regime maiores relativamente ao caso do vedante com geometria simples. Tal comportamento pode ser atribuído à instabilidade natural do banco de ensaios.

Ensaio de CdC Hidráulico

Tabela 5.7: Ensaios CdC das experiências 4, 5, 6 e 7.

Regime	Ponto de Registo	Exp. 4: 3,45mm simples	Exp. 5: 3,45mm c/caixas	Exp. 6: 4mm simples	Exp. 7: 4mm c/caixas
2500 rpm,	P1	2,08	2,02	2,11	2,07
25 l/min,	P2	2,08	2,01	2,13	2,10
EV ON	P3	2,07	2,01	2,12	2,09
Pressão [bar]	Média	2,08	2,01	2,12	2,09
4000 rpm,	P1	4,45	4,45	4,78	4,64
46 l/min,	P2	4,48	4,45	4,80	4,65
EV OFF	P3	4,42	4,43	4,79	4,64
Pressão [bar]	Média	4,45	4,44	4,79	4,64

Focando as divergências entre os vedantes que diferem apenas na presença de caixas para retenção de óleo, nos ensaios CdC efetuados às experiências 4, 5, 6 e 7, com os resultados na Tabela 5.7, é possível observar uma tendência para a diminuição das pressões obtidas, quer com a eletroválvula ligada, quer desligada. Para as pressões medidas com a EV ligada, é registada uma diferença de 0,07 bar nos casos dos vedantes de 3,45 mm de largura e de apenas 0,03 bar para os vedantes de 4 mm, enquanto que para a EV desligada as diferenças de pressão são 0,01 bar e 0,15 bar respetivamente.

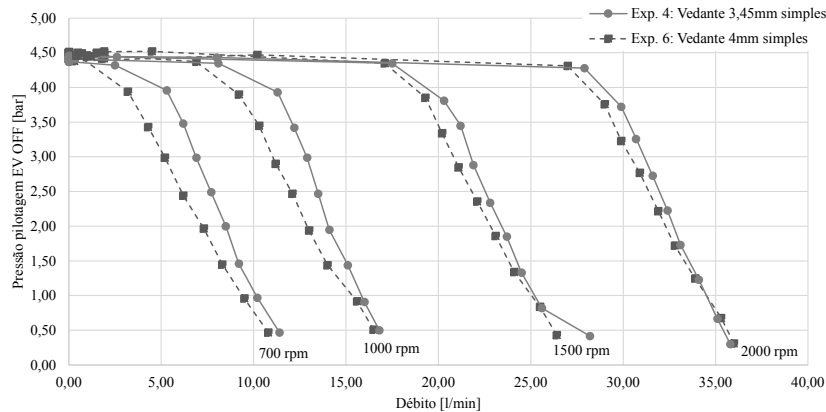
Adicionalmente, em termos de estabilidade, as pressões em modo EV ON mantêm-se estáveis, observando-se apenas ligeira instabilidade nas pressões em modo EV OFF para todos os casos, sem real tendência.

5.4.4 Influência da largura do vedante (Experiências 4 e 6, e 5 e 7)

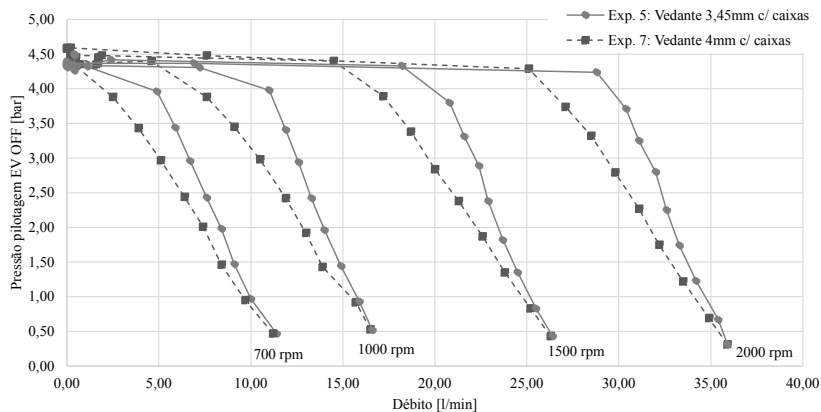
Finalmente, são comparadas as experiências que divergem apenas na largura do vedante. Estas são as experiências 4 e 6, com os casos dos vedantes geometricamente simples fabricados por impressão 3D, e as experiências 5 e 7, com os vedantes com cavidades de retenção de óleo.

Ensaio de Caracterização EV OFF

Comparando todos os ensaios de caracterização em modo EV OFF, na figura 5.14, é imediatamente observada uma tendência: os ensaios com os vedantes de 4 mm apresentam débitos menores relativamente aos casos com vedantes de 3,45 mm. Este resultado é esperado uma vez que, para a mesma pressão, menos força é aplicada numa área maior, permitindo mais passagem de óleo pelo vedante e subsequente menor débito fornecido pela bomba.



(a) Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 4 e 6.



(b) Ensaios de caracterização em modo EV OFF das experiências 5 e 7.

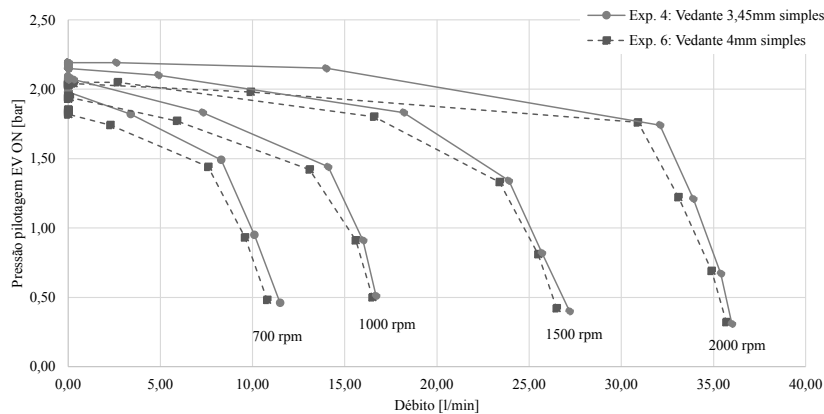
Figura 5.14: Ensaios de caracterização em modo EV OFF para determinação da influência da largura do vedante.

Ensaio de Caracterização EV ON

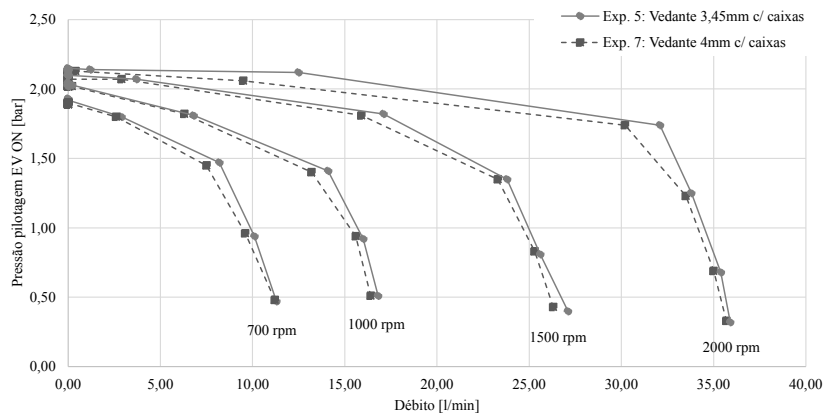
Quanto aos ensaios de caracterização em modo EV ON, na figura 5.15 o mesmo fenômeno observado anteriormente é repetido, onde são obtidos débitos menores nos casos de vedantes com 4 mm, apenas não tão pronunciado devido às pressões menores.

Ensaio de CdC Hidráulico

Finalmente, observando as diferenças entre vedantes com larguras diferentes presentes na Tabela 5.7, é possível concluir que um aumento de largura causa um aumento das pressões em obtidas em ambos os modos, com uma diferença de 0,04 bar entre os vedantes simples e 0,08 bar para os vedantes com caixas de retenção de óleo para o modo EV ON, e uma diferença de 0,34 bar e 0,20 bar para as pressões em modo EV OFF.



(a) Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 4 e 6.



(b) Ensaios de caracterização em modo EV ON das experiências 5 e 7.

Figura 5.15: Ensaios de caracterização em modo EV ON para determinação da influência da largura do vedante.

5.5 Síntese

Uma vez finalizadas as análises, são reiteradas as conclusões referidas anteriormente:

- Um sistema de vedação interna hidráulica com um canal resulta numa assimetria de forças no vedante, resultante em maior folga e, subsequentemente, menores débitos e pressões obtidas.
- Um sistema de vedação interna hidráulica por dois canais produz pressões em modo EV ON maiores e mais estáveis, mantendo as pressões em modo EV OFF e o desempenho da bomba.
- O material e processo de fabrico do vedante têm pouca influência no desempenho da bomba (desde que seja um material adequado para as características do óleo), sendo verificada uma ligeira instabilidade na pressão em modo EV OFF, possivelmente devido a uma maior rugosidade.

-
- A complexidade da geometria no vedante (neste estudo, a presença de cavidades ou caixas de retenção de óleo) pode alterar o desempenho da bomba, verificado nos casos com vedantes de maior largura (4 mm) e pressões mais altas, diminuindo o débito fornecido, diminuindo também as pressões obtidas nos modos EV ON e EV OFF (novamente, mais evidente para vedantes mais largos).
 - Um aumento na largura do vedante altera o desempenho da bomba, com uma diminuição do débito fornecido e resulta em pressões nos modos EV ON e EV OFF maiores.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Parte VI
Conclusão

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

No setor automóvel as constantes pressões climática, social e económicas impulsiona um desenvolvimento de proporções únicas até agora. Adicionalmente, a procura pelo aperfeiçoamento energético, pela eletrificação e pela digitalização, que retratam a quarta revolução industrial, carecem de uma rápida e constante monitorização e modificação dos sistemas existentes, independentemente da proporção dos benefícios associados.

Esta pressão levou ao desenvolvimento das eficientes bombas de óleo de caudal variável que, não representando um patamar máximo na eficiência energética, necessitam também de constante análise e melhoria. Esta, cria a procura de investigações e estudos, como o presente, sobre os diversos subsistemas e inúmeros parâmetros de fabrico que originem investimentos práticos e eficientes nas necessárias modificações.

O presente relatório, dividido em duas partes, é um passo no progresso deste objetivo, não sublinhando apenas a necessidade de resultados concretos, que apelam por investimentos imediatos e precipitados, mas também de resultados não concretos, que acelerem estudos futuros e reduzam o comprimento da lista de melhorias potenciais.

Numa primeira parte, foram analisados os dados dos aparelhos de montagem e dos bancos fim-de-linha das bombas em questão, com o objetivo específico de encontrar uma relação entre estes, a qual potencia o objetivo geral do estudo. Em destaque da análise realizada, é possível correlacionar maiores valores de pressão registada (em modo EV ON) com maiores valores de deslocamento na inserção do tampão da válvula reguladora. Adicionalmente, é a partir da elevada instabilidade de pressão EV ON observada que surge a necessidade de uma análise seguinte: a análise ao sistema de vedação interno que possibilita a elevada eficiência das bombas determinada pela variação da sua cilindrada.

Nesta segunda fase do estudo, uma série de experiências foram planeadas e elaboradas, por meio da fabricação por impressão 3D de plástico e maquinação de componentes existentes, onde o objetivo, mencionado anteriormente, foi atingido com o desenvolvimento de uma solução que, não alterando o comportamento nominal da bomba, estabiliza o parâmetro anteriormente considerado instável, nomeadamente um sistema de vedação interna hidráulico, recorrente à alta pressão de óleo na bomba ao invés da utilização de uma borracha suscetível ao alto atrito na sua movimentação.

6.2 Trabalhos Futuros

É evidente que no percurso da melhoria da eficiência das bombas estudadas, este trabalho apenas representa um pequeno “milestone”. Quanto aos parâmetros analisados, apenas com análises de viabilidade e de custo-benefício estes seriam modificados, mas, neste estudo, são destacados quais destes apresentam uma maior probabilidade de resultarem em modificações benéficas.

Destaca-se também que os parâmetros analisados representam uma proporção minúscula quanto à totalidade de parâmetros cuja análise se pode revelar benéfica, sendo necessários subsequentes estudos para o alcance da “perfeição energética”. Nomeadamente, são possíveis distinguir alguns estudos, que utilizem este como material de “partida”:

- Análise de viabilidade da implementação de um sistema de vedação interna hidráulica nas bombas de óleo, que, sustentada pelas experiências realizadas neste estudo, permitiria uma implementação da modificação estudada.
- Determinação e regulação da eficiência (mecânica e hidráulica) das bombas de óleo de débito variável, que, de forma semelhante ao estudo realizado, permite a identificação de modificações com influência direta e determinável na eficiência das bombas em estudo.
- Modelação e simulação das bombas de óleo de débito variável, que consiste na obtenção de um método menos experimental e dispendioso para a identificação dos parâmetros influentes nas características das bombas.

Referências

- [1] Berlioz S. Earnings report — Full year 2022. [Internet] Renault Group. 2023 [citado em 20 de março de 2023]. Disponível na Internet: https://www.renaultgroup.com/wp-content/uploads/2023/02/rg_2022_fy_results_earnings-report_en.pdf.
- [2] Renault Group. Cacia Plant (Renault). [Internet] Renault Group. 2023 [citado em 20 de março de 2023]. Disponível na Internet: <https://www.renaultgroup.com/en/our-company/locations/aveiro-cacia-plant-2/>.
- [3] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Pump. [Internet] Encyclopedia Britannica. 2023 [citado em 22 de março de 2023]. Disponível na Internet: <https://www.britannica.com/technology/pump>
- [4] Galal Rabie M. Fluid Power Engineering. New York: McGraw-Hill; 2009.
- [5] Lubrita Europe B.V. How The Lubrication System Works In An Engine?. [Internet] Lubrita. [citado em 4 de maio de 2023]. Disponível na Internet: <http://www.lubrita.com/news/78/671/How-The-Lubrication-System-Works-In-An-Engine/>.
- [6] Martins J. Motores de Combustão Interna. 6.^a ed. Quântica Editora; 2020.
- [7] Renault Automobiles. Politique technique — Pompe à huile V3. 2011.
- [8] Debatty JC. Les Pompes Hydrauliques. [Internet] Académie de Nancy-Metz. 2007 jan [citado em 19 de maio de 2023]. Disponível na Internet: http://www4.ac-nancy-metz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/12_parcs-et-jardins/stockage_debatty-jc/h-dossiers-divers/1_technologies_sous-systemes/5_pompes-hydrauliques.pdf.
- [9] saVRee 3D Interactive Media. Gear Pump: What Are Gear Pumps?. [Internet] Gear Pump Explained. 2023 [citado em 5 de abril de 2023]. Disponível na Internet: <https://savree.com/en/encyclopedia/gear-pump>.
- [10] Totten GE. Handbook of Hydraulic Fluid Technology. 2.^a ed. CRC Press; 2011.
- [11] Batista JCS. Conceção de bomba de óleo de caudal ajustável para motores de combustão interna [Master Thesis]. Universidade de Aveiro; 2014.
- [12] Michael Smith Engineers Ltd. Useful information on vane pumps. [Internet] Michael Smith Engineers. 2023 [citado em 2 de abril de 2023]. Disponível na Internet: <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/vane-pumps>.

- [13] Kim B, Lee K, Chung J. Noise and vibration of a variable displacement vane oil pump for passenger car. [Internet] 18th International Congress on Sound and Vibration. Rio de Janeiro, Brasil: International Institute of Acoustics and Vibration; 2011. Disponível na Internet: https://www.researchgate.net/publication/264552273_Noise_and_vibration_of_a_variable_displacement_vane_oil_pump_for_passenger_car.
- [14] Pierburg Pump Technology GmbH. Oil Pumps for Internal Combustion Engines and Transmissions.[Internet] Catalogs Directindustry. 2023 [citado em 27 de maio de 2023]. Disponível na Internet: <https://pdf.directindustry.com/pt/pdf-en/pierburg/oil-pumps-for-internal-combustion-engines-and-transmissions/196461-741492.html>.
- [15] Rclio. Renault Clio — Valves: Adjustment. [Internet] Renault Clio Car Manuals. 2023 [citado em 17 de abril de 2023]. Disponível na Internet: https://www.rclio.com/valves_adjustment-2143.html.
- [16] Yamada Manufacturing Co., Ltd. Variable Displacement Oil Pump. [Internet] Yamada Technical Capabilities. [citado em 28 de março de 2023]. Disponível na Internet: <https://www.yamada-s.co.jp/english/technology/new/oilpump.html>.
- [17] Meira JA, Filho APA, Melo WB, Ribeiro EP. Strategies for Energy Savings with Use of Constant and Variable Oil Pump Systems. [Internet] SAE Brasil 2011 Congress and Exhibit. Estados Unidos: SAE International; 2011. Disponível na Internet: <https://www.melling.com/wp-content/uploads/2017/03/2011-36-0150-Strategies-for-energy-savings-with-use-of-constant-and-variable-oil-pump-systems-2.pdf>.
- [18] Biomedical Statistics. Analysis of variance: Introduction. [Internet] Biomedical Statistics. 2023 [citado em 15 de maio de 2023]. Disponível na Internet: <https://biomedicalstatistics.info/en/multiplegroups/anova.html>.
- [19] Chalmers CP. The Theory of Linear Models and Multivariate Analysis. Journal of the Royal Statistical Society. 1983;146(1).
- [20] TIBCO Software. Data Relationships Anova Algorithm. [Internet] TIBCO Product Documentation. [citado em 15 de maio de 2023]. Disponível na Internet: https://docs.tibco.com/pub/sfire-analyst/latest/doc/html/en-US/TIB_sfire-analyst_UsersGuide/dr/dr_anova_algorithm.htm.
- [21] Woldering S. Technical Data Sheet for Ultrafuse PAHT CF15. [Internet] BASF 3D Printing Solutions GmbH; 2020 jul [citado em 24 de abril de 2023]. Disponível na Internet: https://s.cdnmpro.com/490505258/custom/prod/1_fisa_tehnica_1671.pdf.
- [22] CAMPUS Online Datasheets. Material Datasheet Grivory HTV-5H1 natural. [Internet] CAMPUSplastics. 2023 jun [citado em 24 de abril de 2023]. Disponível na Internet: <https://www.campusplastics.com/material/pdf/179636/GrivoryHTV-5H1natural?sLg=pt>.

Apêndice A

Anexos Diversos

A.1 Características do óleo utilizado

Volumetric mass density	-10°C	g/L	853,0
	0°C	g/L	846,0
	10°C	g/L	839,0
	20°C	g/L	832,1
	30°C	g/L	825,8
	40°C	g/L	819,4
	50°C	g/L	813,2
	60°C	g/L	806,8
	70°C	g/L	800,5
	80°C	g/L	794,1
	90°C	g/L	787,0
	100°C	g/L	781,0
	110°C	g/L	774,0
	120°C	g/L	767,0
	130°C	g/L	760,0
	135°C	g/L	757,0
	140°C	g/L	753,0
145°C	g/L	750,0	
150°C	g/L	747,0	

Figura A.1: Tabela da densidade do óleo utilizado.

Kinematic Viscosity	-10°C	cSt	617,1
	0°C	cSt	297,2
	10°C	cSt	157,6
	20°C	cSt	91,29
	30°C	cSt	56,79
	40°C	cSt	37,75
	50°C	cSt	26,61
	60°C	cSt	19,73
	70°C	cSt	14,98
	80°C	cSt	11,73
	90°C	cSt	9,181
	100°C	cSt	7,591
	110°C	cSt	6,448
	120°C	cSt	5,556
	130°C	cSt	4,811
	135°C	cSt	4,481
	140°C	cSt	4,204
145°C	cSt	3,936	
150°C	cSt	3,681	

Figura A.2: Tabela da viscosidade cinemática do óleo utilizado.

A.2 Desenho técnico

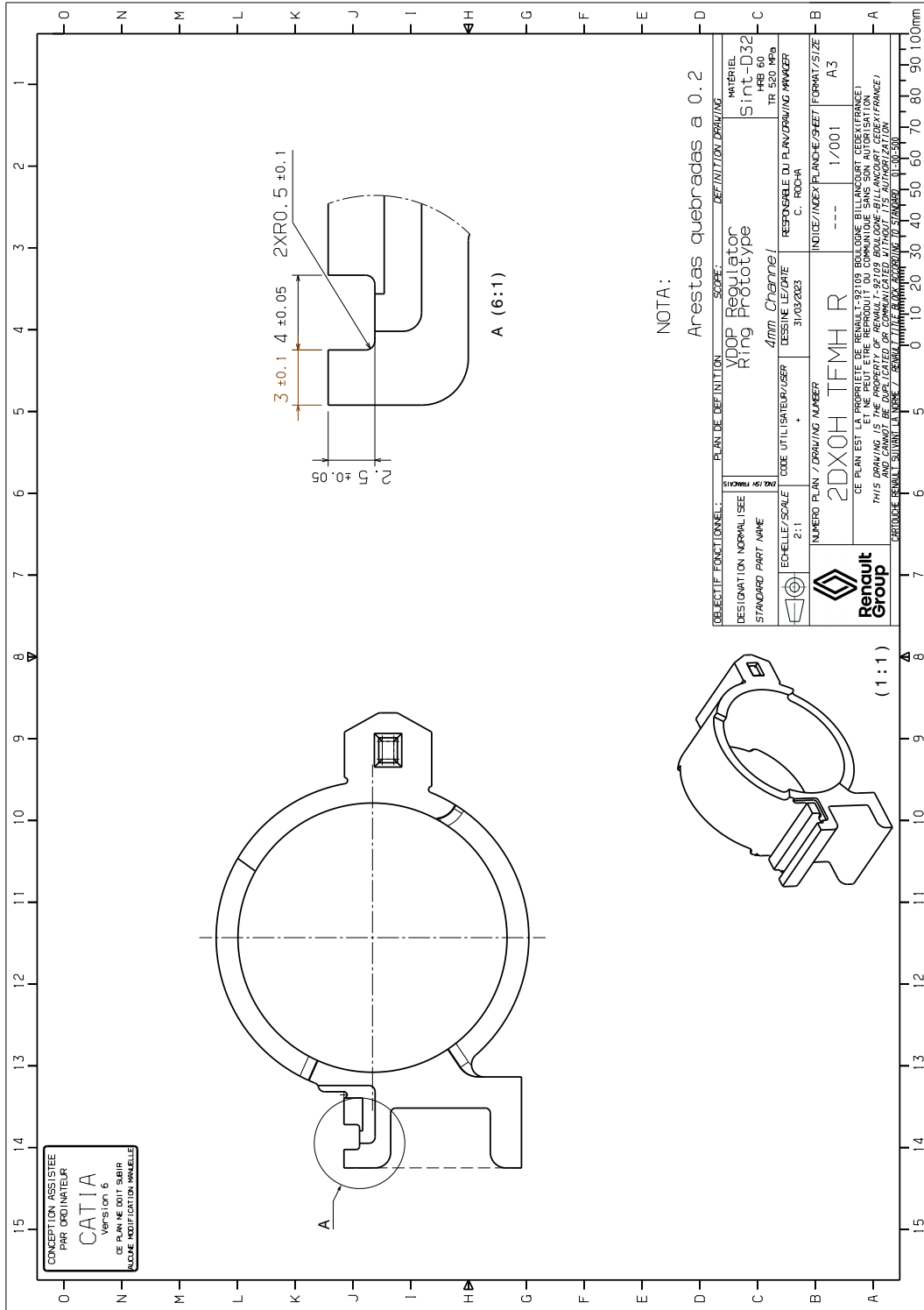


Figura A.3: Desenho técnico para maquinação do anel.

A.3 Mapa de pressões

		Engine speed [rpm]															
		500	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	3750	4000	4250	4500	5000	8000
Engine torque [N.m]	0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.6	3.6	3.6
	20	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.6	3.6	3.6
	40	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.6	3.6	3.6
	60	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.6	3.6	3.7
	80	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	3.6	3.6	3.7
	100	3.6	3.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.3	3.3	3.6	3.6	3.7
	120	x	3.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	3.7
	140	x	x	3.6	1.5	1.5	1.5	1.5	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	3.7
	160	x	x	3.6	1.5	1.5	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	3.8
	180	x	x	x	1.5	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	4.2
	200	x	x	x	3.6	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.6	3.6	4.9
	220	x	x	x	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	x
	240	x	x	x	x	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	x
	260	x	x	x	x	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	x
	280	x	x	x	x	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	x	x
	300	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Figura A.4: Exemplo de mapa de pressões utilizado pela centralina do motor.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Apêndice B

Registos das experiências

Experiência 1					
EV OFF			EV ON		
Regime [rpm]	Debitos [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Debitos [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]
700,00	11,40	0,48	702,00	11,40	0,47
699,00	10,10	0,99	701,00	10,10	0,97
701,00	9,30	1,47	700,00	8,10	1,49
701,00	8,60	1,97	701,00	3,90	1,87
699,00	7,90	2,52	700,00	0,00	2,05
701,00	7,30	2,95	700,00	0,00	2,04
700,00	6,60	3,46	702,00	0,00	2,04
702,00	5,60	3,90	701,00	0,00	2,03
700,00	3,50	4,37	701,00	0,00	2,02
699,00	0,00	4,41	700,00	0,00	2,02
700,00	0,00	4,39	700,00	0,00	2,01
701,00	0,00	4,39	701,00	0,00	2,01
701,00	0,00	4,39	700,00	0,00	2,00
699,00	0,00	4,37	699,00	0,00	2,00
698,00	0,00	4,35	701,00	0,00	2,01
1000,00	16,80	0,51	699,00	0,00	2,00
1000,00	16,00	0,93	702,00	0,00	2,00
1001,00	15,00	1,45	699,00	0,00	2,00
1000,00	14,10	1,93	702,00	0,00	2,00
1000,00	13,50	2,45	1001,00	17,00	0,52
1000,00	12,60	2,97	1000,00	15,90	0,92
1000,00	11,90	3,45	1000,00	13,90	1,44
1001,00	10,90	3,90	1000,00	7,90	1,84
1000,00	8,10	4,38	1000,00	0,50	2,09
1000,00	0,30	4,43	1001,00	0,00	2,09
1001,00	0,00	4,43	1000,00	0,00	2,09
1000,00	0,00	4,42	1000,00	0,00	2,08
1000,00	0,00	4,41	1000,00	0,00	2,09
1001,00	0,00	4,40	1000,00	0,00	2,08
1001,00	0,00	4,40	1000,00	0,00	2,08
1499,00	26,50	0,42	999,00	0,00	2,08
1502,00	25,60	0,83	1000,00	0,00	2,08
1500,00	24,40	1,37	1000,00	0,00	2,09
1500,00	23,60	1,89	1000,00	0,00	2,09
1499,00	22,80	2,34	1000,00	0,00	2,09
1500,00	22,00	2,88	1000,00	0,00	2,09
1501,00	21,20	3,37	1000,00	0,00	2,09
1498,00	20,40	3,86	1000,00	0,00	2,10
1500,00	18,20	4,35	1501,00	27,10	0,41
1500,00	2,50	4,43	1498,00	25,60	0,83
1500,00	0,00	4,44	1499,00	23,70	1,35
1500,00	0,00	4,44	1498,00	19,00	1,84
1500,00	0,00	4,43	1498,00	5,50	2,09
1500,00	0,00	4,43	1500,00	0,00	2,08
1501,00	0,00	4,43	1500,00	0,00	2,08
2000,00	35,90	0,32	1500,00	0,00	2,07
2001,00	35,20	0,67	1499,00	0,00	2,07
2000,00	34,10	1,22	1499,00	0,00	2,07
2001,00	33,10	1,75	1501,00	0,00	2,07
2000,00	32,40	2,26	1500,00	0,00	2,07
1999,00	31,70	2,75	1500,00	0,00	2,07
2001,00	30,80	3,24	1499,00	0,00	2,07
2001,00	30,10	3,74	1500,00	0,00	2,07
2001,00	28,70	4,26	1499,00	0,00	2,07
2001,00	8,00	4,43	1501,00	0,00	2,07
1997,00	0,00	4,43	1500,00	0,00	2,07
1999,00	0,00	4,43	2002,00	36,00	0,31
2001,00	0,00	4,43	1999,00	35,50	0,67
2001,00	0,00	4,43	2000,00	33,90	1,22
2501,00	45,40	0,23	1998,00	32,00	1,76
2500,00	45,20	0,42	2001,00	15,10	2,12
2500,00	44,10	1,05	1998,00	3,30	2,22
2500,00	43,10	1,58	1997,00	0,00	2,13
2500,00	42,20	2,08	1996,00	0,00	2,13
2500,00	41,20	2,63	2001,00	0,00	2,12
2500,00	40,60	3,09	2000,00	0,00	2,12
2499,00	39,90	3,71	2000,00	0,00	2,12
2500,00	38,60	4,11	2000,00	0,00	2,12
2500,00	16,40	4,43	2002,00	0,00	2,12
2499,00	0,40	4,43	2001,00	0,00	2,12
2500,00	0,00	4,43	2001,00	0,00	2,12
2498,00	0,00	4,42	1998,00	0,00	2,13
2499,00	0,00	4,43	1998,00	0,00	2,12
2501,00	0,00	4,43	2001,00	0,00	2,12
2999,00	54,70	0,30	1999,00	0,00	2,11
3001,00	54,70	0,29	2501,00	45,20	0,24
3001,00	54,10	0,71	2501,00	44,80	0,43
3001,00	52,80	1,38	2500,00	44,00	1,04
3001,00	51,80	1,89	2501,00	41,60	1,60
3000,00	51,10	2,42	2500,00	26,00	2,13
3000,00	50,20	2,88	2500,00	11,00	2,30
2999,00	49,40	3,41	2501,00	1,30	2,24
3001,00	48,60	3,93	2500,00	0,00	2,24
3001,00	37,80	4,45	2501,00	0,00	2,23
3000,00	2,40	4,44	2500,00	0,00	2,22
3000,00	0,00	4,43	2500,00	0,00	2,22
3001,00	0,00	4,43	2501,00	0,00	2,22
3000,00	0,00	4,43	2499,00	0,00	2,22
3001,00	0,00	4,43	2499,00	0,00	2,22
4000,00	72,60	0,49	2500,00	0,00	2,22
4000,00	72,60	0,49	2500,00	0,00	2,23
4000,00	72,60	0,50	2500,00	0,00	2,23
4000,00	72,40	0,65	2499,00	0,00	2,23
4000,00	71,50	1,32	2500,00	0,00	2,23
4000,00	70,70	1,87	3000,00	54,00	0,28
4000,00	70,00	2,39	3000,00	54,00	0,29
4000,00	69,00	2,90	3000,00	53,40	0,74
4000,00	68,10	3,46	3000,00	51,80	1,37
4000,00	67,10	3,93	3000,00	50,20	1,92
4000,00	31,50	4,43	3000,00	49,90	2,02
4000,00	0,80	4,45	3000,00	39,10	2,17
4000,00	0,00	4,45	3000,00	15,80	2,40
4000,00	0,00	4,44	2999,00	1,50	2,18
4000,00	0,00	4,44	3001,00	0,00	2,17
5000,00	89,30	0,71	3000,00	0,00	2,14
5002,00	89,30	0,70	3001,00	0,00	2,17
4999,00	89,30	0,71	3000,00	0,00	2,15
4999,00	89,40	0,70	3000,00	0,00	2,16
4999,00	89,40	0,70	3000,00	0,00	2,13
4999,00	88,60	1,20	3000,00	0,00	2,16
4999,00	87,40	1,81	3000,00	0,00	2,14
3000,00	86,70	2,34	3000,00	0,00	2,13
4999,00	85,90	2,83	3000,00	0,00	2,16
4999,00	85,20	3,37	4000,00	72,10	0,48
4999,00	86,00	3,81	4000,00	72,10	0,47
4999,00	83,10	4,40	4000,00	72,10	0,48
5000,00	5,80	4,42	4000,00	71,80	0,68
4999,00	0,10	4,41	4000,00	70,40	1,37
5001,00	0,00	4,39	4000,00	69,70	1,51
6002,00	102,90	0,89	4000,00	69,60	1,61
6001,00	102,90	0,89	4000,00	69,40	1,70
6001,00	102,90	0,89	4000,00	69,10	1,83
6001,00	102,90	0,89	4000,00	68,90	1,94
6001,00	102,90	0,90	4000,00	68,60	2,07
6001,00	102,90	0,89	4000,00	68,40	2,14
6001,00	102,90	0,98	4000,00	68,20	2,24
6001,00	102,60	1,62	4000,00	68,00	2,34
6000,00	102,40	2,12	4000,00	66,40	2,52
6000,00	102,20	3,67	4000,00	6,80	2,67
6001,00	102,00	3,19	4000,00	0,10	2,63
6001,00	101,70	3,66	4000,00	0,00	2,62
6000,00	100,40	4,16	4000,00	0,00	2,62
5998,00	7,10	4,38	5000,00	89,80	0,73
5999,00	0,10	4,38	4999,00	89,80	0,72
			4999,00	89,90	0,73
			4999,00	89,90	0,73
			4999,00	89,90	0,73
			5000,00	89,80	0,74
			4999,00	89,60	0,87
			5000,00	89,40	1,01
			5000,00	89,10	1,12
			4999,00	88,70	1,24
			5000,00	88,70	1,33
			4999,00	88,30	1,46
			5000,00	87,90	1,55
			5000,00	87,50	1,69
			5000,00	87,00	1,81
			4999,00	85,40	2,36
			4999,00	11,90	3,29
			5000,00	0,20	3,22
			5000,00	0,00	3,20
			6000,00	103,40	0,91
			6000,00	103,40	0,92
			6000,00	103,40	0,91
			5999,00	103,40	0,92
			6001,00	103,40	0,92
			6001,00	103,40	0,92
			6001,00	103,40	0,91
			6000,00	103,40	0,91
			5999,00	103,40	0,93
			6001,00	103,40	0,92
			6000,00	103,40	0,92
			6000,00	103,40	0,92
			6001,00	103,40	0,95
			6001,00	100,00	1,73
			6001,00	89,90	2,74
			5999,00	6,70	3,86
			6000,00	0,10	3,73

Figura B.1: Valores registados da a Experiência 1.

Experiência 2					2000,00	5,20	4,36	1497,00	0,00	1,89	2000,00	87,00	4,31	2000,00	0,00	2,38	
EV OFF		EV ON			2001,00	0,00	4,36	1501,00	0,00	1,89	4999,00	86,40	2,82	2000,00	0,00	2,38	
Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	2000,00	0,00	4,36	1500,00	0,00	1,89	5001,00	85,70	3,40	4001,00	72,00	0,48
699,00	11,00	0,48	702,00	11,00	0,48	2001,00	0,00	4,35	2002,00	35,60	0,33	4999,00	35,80	4,33	4000,00	72,00	0,48
699,00	9,70	0,95	699,00	9,60	0,95	2001,00	0,00	4,35	2001,00	34,70	0,69	4999,00	0,70	4,51	4000,00	71,70	0,68
701,00	8,80	1,49	701,00	7,80	1,46	2001,00	0,00	4,35	2000,00	33,20	1,22	4999,00	0,00	4,49	3999,00	70,10	1,39
701,00	8,00	1,95	700,00	2,10	1,75	2498,00	44,90	0,23	2001,00	24,80	1,70	4999,00	0,00	4,47	4000,00	69,50	1,53
700,00	7,20	2,47	701,00	0,00	1,81	2499,00	44,70	0,43	1999,00	4,80	1,94	6000,00	101,70	0,87	4000,00	69,30	1,62
700,00	6,20	3,00	699,00	0,00	1,81	2500,00	43,60	1,07	2000,00	0,00	1,96	6001,00	101,70	0,87	4001,00	69,00	1,72
701,00	5,40	3,46	698,00	0,00	1,80	2501,00	42,50	1,60	2001,00	0,00	1,97	6001,00	101,70	0,89	4000,00	68,70	1,83
698,00	4,20	3,99	696,00	0,00	1,80	2499,00	41,40	2,08	1997,00	0,00	1,97	6002,00	101,70	0,88	4000,00	56,30	1,98
701,00	0,20	4,32	701,00	0,00	1,81	2500,00	40,50	2,61	1999,00	0,00	1,98	6002,00	101,70	0,87	4000,00	5,00	2,90
699,00	0,00	4,32	701,00	0,00	1,81	2499,00	39,60	3,08	2001,00	0,00	1,97	6000,00	101,70	0,88	4000,00	0,70	3,17
701,00	0,00	4,32	702,00	0,00	1,81	2500,00	38,80	3,63	2001,00	0,00	1,97	6001,00	101,70	1,05	4000,00	0,60	3,19
699,00	0,00	4,32	697,00	0,00	1,80	2499,00	37,20	4,17	2001,00	0,00	1,98	6001,00	101,70	1,69	4000,00	0,40	3,32
701,00	0,00	4,32	698,00	0,00	1,80	2501,00	11,50	4,35	2001,00	0,00	1,98	6000,00	101,70	2,20	4000,00	0,40	3,57
698,00	0,00	4,31	700,00	0,00	1,80	2499,00	0,00	4,34	2001,00	0,00	1,98	5999,00	101,50	2,70	4000,00	0,00	3,76
701,00	0,00	4,32	702,00	0,00	1,81	2499,00	0,00	4,35	2001,00	0,00	1,98	5999,00	101,30	3,17	4000,00	0,00	3,73
1001,00	16,50	0,51	702,00	0,00	1,81	2499,00	0,00	4,35	2001,00	0,00	1,98	5999,00	101,00	3,70	4000,00	0,00	3,70
1001,00	15,70	0,99	701,00	0,00	1,81	3000,00	54,10	0,29	2001,00	0,00	1,99	5999,00	99,10	4,24	4000,00	0,00	3,67
1000,00	14,60	1,43	702,00	0,00	1,81	2999,00	54,10	0,29	2502,00	44,90	0,24	6001,00	0,10	4,90	5000,00	89,20	0,71
1000,00	13,50	1,93	698,00	0,00	1,81	3000,00	53,50	0,72	2500,00	44,60	0,46	5000,00	0,00	4,90	5000,00	89,20	0,71
1001,00	12,70	2,49	1000,00	16,30	0,52	3001,00	52,40	1,39	2498,00	43,50	1,04	4999,00	89,20	4,90	5000,00	89,10	0,70
1000,00	12,00	2,95	1001,00	15,50	0,93	3001,00	51,40	1,90	2501,00	41,20	1,60	5000,00	89,00	4,90	5000,00	89,00	0,80
1000,00	11,20	3,53	1000,00	13,60	1,45	3000,00	50,40	2,40	2501,00	14,50	1,95	5000,00	88,80	4,90	5000,00	88,80	0,94
1000,00	10,30	3,92	1000,00	4,90	1,75	3001,00	49,30	3,00	2501,00	0,60	1,87	5001,00	88,50	4,90	4999,00	88,00	1,18
1000,00	6,10	4,30	999,00	0,00	1,89	3001,00	48,40	3,43	2498,00	0,00	1,87	5001,00	87,90	4,90	5000,00	87,90	1,27
1000,00	0,10	4,33	1000,00	0,00	1,88	3001,00	47,50	3,96	2499,00	0,00	1,86	5000,00	87,60	4,90	5000,00	87,60	1,39
999,00	0,00	4,32	1001,00	0,00	1,88	3001,00	24,50	4,37	2501,00	0,00	1,86	5001,00	87,10	4,90	5000,00	87,10	1,52
1000,00	0,00	4,32	1000,00	0,00	1,88	3000,00	0,80	4,32	2500,00	0,00	1,87	4999,00	86,50	4,90	5000,00	86,50	1,63
1000,00	0,00	4,30	1001,00	0,00	1,89	3001,00	0,00	4,34	2500,00	0,00	1,87	4999,00	86,10	4,90	5000,00	86,10	1,99
1000,00	0,00	4,31	1000,00	0,00	1,89	3000,00	0,00	4,34	2499,00	0,00	1,87	4999,00	85,70	4,90	5000,00	85,70	1,93
1498,00	26,50	0,43	1000,00	0,00	1,89	3000,00	0,00	4,34	2501,00	0,00	1,87	4999,00	85,00	4,90	5000,00	85,00	1,93
1501,00	25,20	0,83	1000,00	0,00	1,89	4001,00	71,90	0,48	2500,00	0,00	1,88	4999,00	84,10	4,90	5000,00	84,10	3,90
1500,00	23,90	1,34	1000,00	0,00	1,88	4001,00	71,90	0,49	2501,00	0,00	1,88	4999,00	83,00	4,90	5000,00	83,00	4,18
1500,00	22,90	1,85	1000,00	0,00	1,89	4001,00	72,00	0,48	2500,00	0,00	1,88	4999,00	82,00	4,90	5000,00	82,00	4,16
1499,00	21,90	2,37	1001,00	0,00	1,89	4000,00	71,70	0,68	2499,00	0,00	1,88	4999,00	81,00	4,90	5000,00	81,00	4,16
1500,00	21,10	2,93	1000,00	0,00	1,89	4000,00	70,60	1,36	2501,00	0,00	1,89	4999,00	80,10	4,90	5000,00	80,10	1,99
1499,00	20,20	3,34	1000,00	0,00	1,89	4000,00	70,20	1,90	3000,00	53,90	0,28	4999,00	79,00	4,90	5000,00	79,00	1,93
1500,00	19,30	3,87	1000,00	0,00	1,89	4000,00	69,40	2,42	3001,00	53,90	0,29	6000,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
1499,00	14,70	4,29	1500,00	27,10	0,42	4000,00	68,50	2,93	3001,00	53,30	0,73	5999,00	101,80	0,86	6001,00	101,80	0,86
1499,00	0,90	4,35	1500,00	25,30	0,83	4000,00	67,40	3,48	3000,00	51,50	1,39	6001,00	101,80	0,87	6000,00	101,80	0,88
1499,00	0,00	4,34	1499,00	23,20	1,36	4000,00	66,40	3,95	3000,00	33,90	1,93	6000,00	101,80	0,87	6000,00	101,80	0,88
1499,00	0,00	4,34	1501,00	12,70	1,75	4000,00	16,10	4,33	3001,00	5,90	1,82	5999,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
1501,00	0,00	4,34	1499,00	0,70	1,89	4000,00	0,30	4,31	2999,00	0,10	2,36	6001,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
1498,00	0,00	4,34	1499,00	0,00	1,89	4000,00	0,00	4,31	3000,00	0,00	2,36	6001,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
1499,00	0,00	4,34	1499,00	0,00	1,89	4000,00	0,00	4,31	3001,00	0,00	2,37	5999,00	101,90	0,87	6001,00	101,90	0,87
2001,00	35,70	0,32	1500,00	0,00	1,90	4000,00	0,00	4,31	3000,00	0,00	2,37	6001,00	101,90	0,88	6001,00	101,90	0,88
2000,00	35,00	0,67	1502,00	0,00	1,90	5001,00	89,30	0,72	3001,00	0,00	2,36	5999,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
2000,00	33,60	1,24	1500,00	0,00	1,90	5000,00	89,30	0,71	3000,00	0,00	2,36	6001,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,87
2001,00	32,40	1,77	1501,00	0,00	1,90	5001,00	89,20	0,71	3000,00	0,00	2,36	6001,00	101,80	0,87	6001,00	101,80	0,99
2001,00	31,60	2,26	1500,00	0,00	1,90	4999,00	89,20	0,71	3000,00	0,00	2,37	6000,00	101,60	1,13	6001,00	101,60	1,13
1999,00	30,60	2,73	1501,00	0,00	1,89	4999,00	89,20	0,72	3000,00	0,00	2,37	6001,00	101,60	1,63	6000,00	101,60	1,63
2000,00	29,80	3,25	1499,00	0,00	1,89	5000,00	88,40	1,20	3001,00	0,00	2,38	6000,00	1,60	4,43	6000,00	1,60	4,43
2000,00	28,90	3,78	1501,00	0,00	1,89	5001,00	87,30	1,83	3001,00	0,00	2,38	6001,00	0,10	4,86	6001,00	0,10	4,86
1998,00	26,60	4,30	1498,00	0,00	1,89	---	---	---	---	---	---	6001,00	0,00	4,84	---	---	---

Figura B.2: Valores registados da a Experiência 2.

Experiência 3					
EV OFF			EV ON		
Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]
702,00	11,50	0,47	703,00	11,50	0,47
700,00	10,20	0,95	701,00	10,30	0,96
702,00	9,10	1,51	699,00	8,40	1,48
699,00	8,40	2,00	701,00	3,30	1,85
701,00	7,50	2,49	700,00	0,00	1,99
700,00	6,70	2,93	700,00	0,00	2,00
699,00	5,80	3,49	702,00	0,00	2,00
701,00	4,70	3,98	701,00	0,00	2,00
700,00	0,80	4,37	702,00	0,00	2,00
700,00	0,00	4,37	702,00	0,00	1,99
699,00	0,00	4,37	700,00	0,00	2,00
700,00	0,00	4,36	701,00	0,00	1,99
701,00	0,00	4,37	699,00	0,00	1,99
701,00	0,00	4,36	700,00	0,00	1,99
699,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,99
1000,00	16,60	0,53	698,00	0,00	1,99
1000,00	16,00	0,93	699,00	0,00	2,00
1000,00	14,60	1,45	699,00	0,00	1,99
1000,00	13,90	1,96	700,00	0,00	2,00
1000,00	13,20	2,40	1000,00	16,80	0,52
1000,00	12,50	2,96	1000,00	16,20	0,91
1000,00	11,70	3,49	1000,00	14,30	1,42
1000,00	10,70	3,96	1000,00	7,50	1,85
1000,00	7,40	4,35	1000,00	0,40	2,13
1000,00	0,20	4,42	999,00	0,00	2,13
1000,00	0,00	4,39	1000,00	0,00	2,12
1000,00	0,00	4,38	1000,00	0,00	2,11
1000,00	0,00	4,38	1000,00	0,00	2,11
1000,00	0,00	4,41	1000,00	0,00	2,10
1000,00	0,00	4,42	1000,00	0,00	2,10
1499,00	26,50	0,43	1000,00	0,00	2,10
1501,00	25,50	0,83	1000,00	0,00	2,09
1499,00	24,50	1,35	1000,00	0,00	2,09
1500,00	23,70	1,85	1000,00	0,00	2,09
1501,00	23,00	2,35	1001,00	0,00	2,08
1499,00	22,20	2,85	1000,00	0,00	2,08
1500,00	21,40	3,33	1001,00	0,00	2,08
1500,00	20,60	3,89	1000,00	0,00	2,08
1500,00	18,30	4,34	1499,00	26,70	0,42
1499,00	2,50	4,40	1500,00	25,60	0,82
1501,00	0,00	4,44	1500,00	23,70	1,35
1501,00	0,00	4,43	1500,00	17,40	1,83
1501,00	0,00	4,43	1499,00	4,30	2,12
1500,00	0,00	4,44	1501,00	0,00	2,14
1500,00	0,00	4,43	1500,00	0,00	2,14
2002,00	35,90	0,32	1502,00	0,00	2,14
2001,00	35,30	0,66	1501,00	0,00	2,14
2000,00	34,20	1,22	1500,00	0,00	2,14
1997,00	33,20	1,72	1499,00	0,00	2,14
1998,00	32,50	2,25	1500,00	0,00	2,14
2000,00	31,70	2,83	1499,00	0,00	2,14
2002,00	31,00	3,26	1500,00	0,00	2,14
2000,00	30,20	3,77	1500,00	0,00	2,14
2001,00	28,60	4,25	1500,00	0,00	2,14
2001,00	8,00	4,42	1499,00	0,00	2,14
2001,00	0,00	4,41	1502,00	0,00	2,15
2000,00	0,00	4,41	1501,00	0,00	2,15
2001,00	0,00	4,43	2001,00	35,90	0,33
2001,00	0,00	4,42	2000,00	35,20	0,68
2001,00	0,00	4,42	2001,00	33,70	1,22
2501,00	45,30	0,24	2000,00	31,80	1,75
2500,00	45,00	0,42	2001,00	13,40	2,15
2501,00	44,00	1,05	2000,00	2,50	2,22
2500,00	43,00	1,56	2000,00	0,00	2,21
2499,00	42,10	2,10	2000,00	0,00	2,20
2502,00	41,20	2,62	2000,00	0,00	2,20
2501,00	40,60	3,13	2002,00	0,00	2,21
2500,00	40,00	3,62	2001,00	0,00	2,21
2499,00	38,70	4,13	2001,00	0,00	2,21
2501,00	15,80	4,43	2000,00	0,00	2,21
2500,00	0,40	4,45	2001,00	0,00	2,21
2499,00	0,00	4,44	2001,00	0,00	2,21
2501,00	0,00	4,44	2002,00	0,00	2,21
2500,00	0,00	4,40	2001,00	0,00	2,21
2501,00	0,00	4,46	1999,00	0,00	2,21
3001,00	54,50	0,30	2000,00	0,00	2,21
3000,00	54,50	0,29	2499,00	45,30	0,24
3000,00	53,80	0,73	2500,00	45,00	0,43
3000,00	52,60	1,36	2501,00	44,10	1,05
3000,00	51,60	1,90	2500,00	41,70	1,60
3000,00	50,50	2,43	2501,00	28,00	2,14
3000,00	49,50	2,92	2499,00	13,30	2,33
3000,00	48,70	3,44	2501,00	3,40	2,35
3000,00	47,90	3,94	2500,00	0,00	2,32
3000,00	34,60	4,45	2502,00	0,00	2,31
3000,00	2,00	4,36	2501,00	0,00	2,31
2999,00	0,00	4,35	2500,00	0,00	2,31
3000,00	0,00	4,53	2502,00	0,00	2,31
3000,00	0,00	4,53	2500,00	0,00	2,31
3000,00	0,00	4,36	2501,00	0,00	2,31
4000,00	72,30	0,48	2501,00	0,00	2,31
4000,00	72,30	0,47	2498,00	0,00	2,31
4000,00	72,30	0,48	2501,00	0,00	2,31
4000,00	72,10	0,68	2499,00	0,00	2,30
4001,00	70,90	1,36	2499,00	0,00	2,31
4000,00	70,20	1,91	3000,00	54,30	0,30
4000,00	69,60	2,41	3001,00	54,40	0,30
4000,00	68,70	2,94	3000,00	53,90	0,71
4000,00	67,90	3,48	3000,00	52,10	1,37
4000,00	66,70	3,96	3000,00	50,50	1,91
4000,00	26,00	4,48	3000,00	50,10	2,06
4000,00	0,60	4,40	3000,00	47,90	2,12
4000,00	0,00	4,42	3000,00	26,10	2,38
4000,00	0,00	4,47	3000,00	6,90	2,42
4000,00	0,00	4,48	3000,00	0,20	2,32
4999,00	90,20	0,73	3000,00	0,00	2,32
5000,00	90,20	0,73	3001,00	0,00	2,32
4999,00	90,20	0,73	3000,00	0,00	2,31
4999,00	90,20	0,74	3001,00	0,00	2,32
4999,00	89,70	1,11	3000,00	0,00	2,32
4999,00	88,70	1,75	3000,00	0,00	2,32
4999,00	87,20	2,81	2999,00	0,00	2,32
4999,00	86,80	3,31	4000,00	72,40	0,48
4999,00	86,30	3,78	4000,00	72,40	0,48
5001,00	83,80	4,40	4001,00	72,40	0,47
5000,00	5,70	4,43	4000,00	72,20	0,67
5001,00	0,10	4,46	4000,00	70,20	1,39
4999,00	0,00	4,47	4000,00	69,50	1,53
6002,00	104,00	0,92	4001,00	69,20	1,63
6001,00	104,00	0,93	4001,00	68,90	1,72
6001,00	104,00	0,93	4001,00	68,70	1,84
5999,00	104,00	0,90	4000,00	68,40	1,94
5999,00	104,00	0,92	4001,00	68,20	2,05
6000,00	104,00	0,92	4000,00	68,00	2,14
6000,00	104,10	0,95	4000,00	67,70	2,28
5999,00	103,70	1,57	4000,00	67,40	2,36
5999,00	103,40	2,10	4001,00	66,70	2,49
5999,00	103,10	2,65	4000,00	7,30	2,44
6000,00	102,80	3,11	4000,00	0,10	2,42
6001,00	102,50	3,61	4000,00	0,00	2,41
6000,00	101,10	4,14	4000,00	0,00	2,41
6000,00	7,40	4,41	5002,00	90,30	0,73
5999,00	0,10	4,41	5000,00	90,30	0,72
			5000,00	90,30	0,74
			5001,00	90,30	0,72
			5001,00	90,30	0,72
			5000,00	90,30	0,73
			4999,00	90,10	0,85
			5001,00	89,90	0,99
			5000,00	89,60	1,11
			5001,00	88,80	1,25
			5000,00	88,30	1,35
			4999,00	87,80	1,48
			5000,00	87,50	1,57
			5000,00	87,10	1,71
			4999,00	86,60	1,82
			4999,00	85,10	2,39
			4999,00	17,60	2,97
			4999,00	0,30	3,02
			4999,00	0,00	3,00
			6002,00	104,20	0,92
			6000,00	104,10	0,91
			6000,00	104,20	0,91
			6001,00	104,20	0,91
			6001,00	104,20	0,90
			6001,00	104,20	0,92
			6001,00	104,20	0,91
			5998,00	104,20	0,92
			6001,00	104,20	0,91
			6001,00	104,20	0,92
			6000,00	101,90	1,65
			6001,00	95,30	2,50
			5996,00	22,00	3,54
			6002,00	0,40	3,58

Figura B.3: Valores registados da a Experiência 3.

Experiência 4					1998,00	8,00	4,43	1499,00	0,00	2,15	2001,00	88,20	4,43	3001,00	0,00	2,31	
EV OFF		EV ON			Regime	Dábito	Pressão	Regime	Dábito	Pressão	Regime	Dábito	Pressão	Regime	Dábito	Pressão	
Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]
702,00	11,40	0,47	702,00	11,50	0,46	2000,00	0,10	4,45	1501,00	0,00	2,15	4999,00	88,00	2,77	3001,00	0,00	2,32
701,00	10,20	0,57	701,00	10,10	0,55	2000,00	0,00	4,42	1501,00	0,00	2,15	5000,00	87,40	3,26	4000,00	72,80	0,59
701,00	9,20	1,46	700,00	8,30	1,49	1999,00	0,00	4,42	1500,00	0,00	2,15	4999,00	86,80	3,76	4000,00	72,80	0,38
700,00	8,50	2,00	701,00	3,40	1,82	1998,00	0,00	4,44	2001,00	36,00	0,31	5000,00	84,40	4,39	4000,00	72,70	0,38
700,00	7,70	2,49	698,00	0,00	1,98	2002,00	0,00	4,42	2001,00	35,40	0,67	5000,00	6,20	4,50	4000,00	72,40	0,70
702,00	6,90	2,99	700,00	0,00	1,98	2000,00	0,00	4,43	2000,00	33,90	1,21	4999,00	0,10	4,42	4000,00	70,20	1,39
699,00	6,20	3,48	699,00	0,00	1,98	2500,00	45,40	0,21	2001,00	32,10	1,74	5000,00	0,00	4,40	4000,00	69,80	1,51
700,00	5,30	3,96	701,00	0,00	1,97	2502,00	43,90	1,07	2001,00	2,60	2,19	6001,00	104,00	0,75	4000,00	69,40	1,62
698,00	2,50	4,32	698,00	0,00	1,97	2500,00	42,90	1,57	2000,00	0,00	2,19	6001,00	104,00	0,75	4000,00	68,90	1,82
700,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,97	2501,00	41,90	2,07	2000,00	0,00	2,19	5999,00	104,00	0,75	4000,00	68,70	1,93
699,00	0,00	4,37	700,00	0,00	1,97	2501,00	41,10	2,59	1998,00	0,00	2,19	6001,00	103,90	0,73	4000,00	68,50	2,03
699,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,97	2499,00	40,40	3,06	2001,00	0,00	2,19	6001,00	103,90	0,74	4000,00	68,20	2,15
699,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,97	2502,00	39,70	3,66	2000,00	0,00	2,18	6001,00	103,80	0,88	4000,00	68,00	2,23
702,00	0,00	4,37	700,00	0,00	1,98	2499,00	38,20	4,15	2001,00	0,00	2,19	6000,00	103,40	1,62	4001,00	67,60	2,33
701,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,98	2500,00	15,80	4,42	2001,00	0,00	2,18	6001,00	103,10	2,14	4001,00	67,30	2,46
701,00	0,00	4,37	701,00	0,00	1,98	2502,00	0,40	4,41	2001,00	0,00	2,18	5999,00	102,80	2,63	3998,00	7,10	2,53
1000,00	16,80	0,50	700,00	0,00	1,98	2501,00	0,00	4,44	2001,00	0,00	2,18	5999,00	102,40	3,12	4000,00	0,10	2,51
1000,00	16,00	0,91	701,00	0,00	1,98	2501,00	0,00	4,41	1999,00	0,00	2,17	5999,00	102,00	3,72	4000,00	0,00	2,50
1000,00	15,10	1,44	701,00	0,00	1,98	2501,00	0,00	4,40	1999,00	0,00	2,18	6000,00	7,00	4,42	5000,00	90,80	0,59
1000,00	14,10	1,95	700,00	0,00	1,98	3001,00	54,70	0,24	2002,00	0,00	2,18	6000,00	0,20	4,42	5000,00	90,80	0,59
1000,00	13,50	2,47	1001,00	16,70	0,51	3000,00	54,70	0,24	2501,00	45,40	0,21	5000,00	0,00	4,42	5000,00	90,80	0,59
1000,00	12,90	2,99	1001,00	16,00	0,91	3001,00	53,90	0,75	2502,00	45,00	0,44	4999,00	0,00	4,42	4999,00	90,80	0,58
1001,00	12,20	3,42	1000,00	14,10	1,44	3000,00	52,80	1,37	2500,00	43,90	1,05	4999,00	0,00	4,42	4999,00	90,70	0,73
1000,00	11,30	3,93	1000,00	7,30	1,83	3000,00	51,90	1,90	2500,00	41,50	1,60	4999,00	0,00	4,42	4999,00	90,40	0,88
1000,00	8,10	4,35	1000,00	0,30	2,07	3001,00	51,00	2,42	2500,00	27,30	2,12	4999,00	0,00	4,42	4999,00	90,30	0,99
1001,00	0,30	4,41	1001,00	0,00	2,07	3001,00	50,00	2,93	2502,00	11,70	2,29	4999,00	0,00	4,42	4999,00	90,00	1,10
999,00	0,00	4,41	1001,00	0,00	2,07	3000,00	49,10	3,44	2500,00	1,90	2,28	4999,00	0,00	4,42	4999,00	89,40	1,23
999,00	0,00	4,39	1000,00	0,00	2,07	3001,00	48,50	3,93	2499,00	0,00	2,28	4999,00	0,00	4,42	4999,00	88,70	1,35
1001,00	0,00	4,40	999,00	0,00	2,08	3001,00	40,00	4,44	2501,00	0,00	2,28	5001,00	88,30	1,44	5000,00	87,90	1,57
1001,00	0,00	4,39	1000,00	0,00	2,08	3001,00	3,00	4,47	2501,00	0,00	2,28	5000,00	87,50	1,67	5000,00	87,00	1,80
1000,00	0,00	4,40	1000,00	0,00	2,08	3001,00	0,10	4,36	2500,00	0,00	2,28	4999,00	85,50	2,36	4999,00	15,60	3,11
1000,00	0,00	4,40	1000,00	0,00	2,08	3001,00	0,00	4,54	2499,00	0,00	2,28	5001,00	85,00	2,36	5000,00	15,60	3,11
1499,00	28,20	0,42	1000,00	0,00	2,08	3001,00	0,00	4,40	2501,00	0,00	2,28	5000,00	84,00	2,77	5000,00	15,60	3,11
1501,00	25,60	0,82	1000,00	0,00	2,08	3000,00	0,00	4,41	2498,00	0,00	2,28	4999,00	83,00	3,08	5000,00	15,60	3,11
1499,00	24,50	1,33	1000,00	0,00	2,09	4000,00	72,80	0,38	2499,00	0,00	2,28	5000,00	82,00	3,38	5000,00	15,60	3,11
1499,00	23,70	1,85	999,00	0,00	2,09	4001,00	72,80	0,39	2500,00	0,00	2,28	5000,00	81,00	3,68	5000,00	15,60	3,11
1499,00	22,80	2,34	1000,00	0,00	2,09	4000,00	72,40	0,70	2501,00	0,00	2,28	5000,00	80,00	3,98	5000,00	15,60	3,11
1501,00	21,90	2,88	1001,00	0,00	2,08	4000,00	71,30	1,35	2498,00	0,00	2,28	5000,00	79,00	4,28	5000,00	15,60	3,11
1501,00	21,20	3,45	999,00	0,00	2,08	4000,00	70,60	1,90	3002,00	54,40	0,23	5000,00	78,00	4,58	5000,00	15,60	3,11
1499,00	20,30	3,81	1000,00	0,00	2,08	4000,00	70,10	2,38	3001,00	54,40	0,24	5000,00	77,00	4,88	5000,00	15,60	3,11
1500,00	17,50	4,35	1499,00	27,20	0,40	4001,00	69,20	2,94	3001,00	53,80	0,75	5000,00	76,00	5,18	5000,00	15,60	3,11
1501,00	2,60	4,44	1498,00	25,70	0,82	4000,00	68,40	3,43	3001,00	51,90	1,37	5000,00	75,00	5,48	5000,00	15,60	3,11
1501,00	0,00	4,41	1500,00	23,90	1,34	4000,00	67,50	3,95	3001,00	50,20	1,93	5000,00	74,00	5,78	5000,00	15,60	3,11
1499,00	0,00	4,46	1500,00	18,20	1,83	4000,00	64,10	4,52	3002,00	50,00	2,02	5000,00	73,00	6,08	5000,00	15,60	3,11
1501,00	0,00	4,43	1500,00	4,90	2,10	4000,00	60,00	5,10	3000,00	49,50	2,14	5000,00	72,00	6,38	5000,00	15,60	3,11
1500,00	0,00	4,44	1501,00	0,00	2,15	4000,00	0,10	4,43	3000,00	33,80	2,27	5000,00	71,00	6,68	5000,00	15,60	3,11
1501,00	0,00	4,43	1500,00	0,00	2,15	4000,00	0,00	4,44	3000,00	9,90	2,41	5000,00	70,00	6,98	5000,00	15,60	3,11
2001,00	35,80	0,30	1500,00	0,00	2,15	4000,00	0,00	4,42	3000,00	0,40	2,32	5000,00	69,00	7,28	5000,00	15,60	3,11
2001,00	35,10	0,67	1500,00	0,00	2,15	4999,00	90,80	0,60	3001,00	0,00	2,32	5000,00	68,00	7,58	5000,00	15,60	3,11
2001,00	34,10	1,23	1499,00	0,00	2,15	5001,00	90,80	0,60	3001,00	0,00	2,32	5000,00	67,00	7,88	5000,00	15,60	3,11
1998,00	33,10	1,73	1501,00	0,00	2,15	4999,00	90,80	0,59	3000,00	0,00	2,32	5000,00	66,00	8,18	5000,00	15,60	3,11
2000,00	32,40	2,23	1501,00	0,00	2,15	5001,00	90,80	0,59	2999,00	0,00	2,31	5000,00	65,00	8,48	5000,00	15,60	3,11
2002,00	31,60	2,73	1501,00	0,00	2,15	4999,00	90,80	0,61	3000,00	0,00	2,31	5000,00	64,00	8,78	5000,00	15,60	3,11
2001,00	30,70	3,26	1500,00	0,00	2,15	5001,00	90,00	1,16	3001,00	0,00	2,31	5000,00	63,00	9,08	5000,00	15,60	3,11
2002,00	29,90	3,72	1500,00	0,00	2,15	4999,00	89,20	1,72	3001,00	0,00	2,32	5000,00	62,00	9,38	5000,00	15,60	3,11
2000,00	27,90	4,28	1501,00	0,00	2,15	4999,00	88,40	2,28	3001,00	0,00	2,32	5000,00	61,00	9,68	5000,00	15,60	3,11

Figura B.4: Valores registados da a Experiência 4.

Experiência 5					
EV OFF			EV ON		
Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotaagem [bar]	Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotaagem [bar]
701,00	11,40	0,47	701,00	11,30	0,47
701,00	10,00	0,97	699,00	10,10	0,94
699,00	9,10	1,47	700,00	8,20	1,47
700,00	8,40	1,98	698,00	2,90	1,80
701,00	7,60	2,43	698,00	0,00	1,92
700,00	6,70	2,96	701,00	0,00	1,92
701,00	5,90	3,44	698,00	0,00	1,92
700,00	4,90	3,96	700,00	0,00	1,92
700,00	1,10	4,32	701,00	0,00	1,92
701,00	0,00	4,33	701,00	0,00	1,92
698,00	0,00	4,34	698,00	0,00	1,92
700,00	0,00	4,32	700,00	0,00	1,92
701,00	0,00	4,31	702,00	0,00	1,92
701,00	0,00	4,33	699,00	0,00	1,92
700,00	0,00	4,33	702,00	0,00	1,93
1000,00	16,60	0,52	700,00	0,00	1,92
1000,00	15,90	0,93	699,00	0,00	1,92
1000,00	14,90	1,44	698,00	0,00	1,92
1000,00	14,00	1,95	699,00	0,00	1,93
1000,00	13,30	2,42	1000,00	16,80	0,51
1000,00	12,60	2,94	1000,00	16,00	0,92
1001,00	11,90	3,41	999,00	14,10	1,41
1000,00	11,00	3,98	1000,00	6,80	1,81
998,00	7,20	4,31	1000,00	0,20	2,03
1000,00	0,30	4,34	1000,00	0,00	2,02
1000,00	0,00	4,36	1000,00	0,00	2,03
1000,00	0,00	4,34	1001,00	0,00	2,03
1000,00	0,00	4,36	1000,00	0,00	2,03
1000,00	0,00	4,36	1000,00	0,00	2,02
1001,00	0,00	4,34	999,00	0,00	2,03
1499,00	26,40	0,43	1000,00	0,00	2,03
1500,00	25,50	0,83	1000,00	0,00	2,03
1500,00	24,50	1,35	1000,00	0,00	2,03
1500,00	23,70	1,82	1000,00	0,00	2,03
1501,00	22,90	2,38	1000,00	0,00	2,04
1501,00	22,40	2,89	1000,00	0,00	2,04
1499,00	21,60	3,31	1000,00	0,00	2,04
1499,00	20,80	3,80	1001,00	0,00	2,04
1500,00	18,20	4,33	1499,00	27,10	0,40
1501,00	2,40	4,42	1500,00	25,60	0,81
1499,00	0,50	4,32	1499,00	23,80	1,35
1501,00	0,40	4,26	1499,00	17,10	1,82
1500,00	0,40	4,49	1501,00	3,70	2,07
1499,00	0,40	4,49	1499,00	0,00	2,10
1500,00	0,40	4,50	1501,00	0,00	2,10
2002,00	35,90	0,31	1500,00	0,00	2,10
1998,00	35,40	0,67	1501,00	0,00	2,10
2000,00	34,20	1,23	1499,00	0,00	2,10
1999,00	33,30	1,74	1499,00	0,00	2,10
2001,00	32,60	2,25	1498,00	0,00	2,10
2002,00	32,00	2,80	1499,00	0,00	2,10
2001,00	31,10	3,25	1500,00	0,00	2,10
2001,00	30,40	3,71	1500,00	0,00	2,10
1998,00	28,80	4,24	1500,00	0,00	2,10
1999,00	6,90	4,37	1499,00	0,00	2,10
2001,00	0,00	4,37	1500,00	0,00	2,10
2001,00	0,00	4,37	1500,00	0,00	2,10
2001,00	0,00	4,38	2000,00	35,90	0,32
2001,00	0,00	4,39	2001,00	35,40	0,68
2001,00	0,00	4,38	2001,00	33,80	1,25
2498,00	45,30	0,21	1998,00	32,10	1,74
2501,00	44,90	0,45	2001,00	12,50	2,12
2498,00	43,90	1,06	1999,00	1,20	2,14
2500,00	42,70	1,58	2001,00	0,00	2,15
2500,00	41,70	2,11	1998,00	0,00	2,14
2501,00	40,80	2,63	2001,00	0,00	2,14
2499,00	40,20	3,11	2001,00	0,00	2,14
2502,00	39,40	3,63	2000,00	0,00	2,14
2499,00	38,00	4,12	2002,00	0,00	2,14
2502,00	13,30	4,38	2000,00	0,00	2,14
2501,00	0,30	4,36	1999,00	0,00	2,14
2499,00	0,00	4,43	2001,00	0,00	2,14
2500,00	0,00	4,41	1999,00	0,00	2,13
2501,00	0,00	4,35	2001,00	0,00	2,14
3000,00	54,60	0,24	1998,00	0,00	2,14
3000,00	54,60	0,25	2499,00	45,30	0,22
3000,00	53,80	0,76	2499,00	44,90	0,46
3002,00	52,80	1,38	2500,00	43,90	1,06
3000,00	51,70	1,89	2502,00	41,50	1,61
3001,00	50,80	2,44	2501,00	24,10	2,12
3001,00	49,70	2,98	2498,00	8,30	2,25
3000,00	48,90	3,44	2499,00	0,40	2,24
3000,00	48,10	3,94	2501,00	0,00	2,24
3000,00	28,00	4,42	2500,00	0,00	2,23
3000,00	1,10	4,49	2500,00	0,00	2,23
2999,00	0,00	4,34	2498,00	0,00	2,23
3000,00	0,00	4,48	2501,00	0,00	2,24
3000,00	0,00	4,43	2498,00	0,00	2,23
3000,00	0,00	4,32	2501,00	0,00	2,23
4000,00	72,60	0,38	2500,00	0,00	2,24
4001,00	72,60	0,39	2501,00	0,00	2,23
4000,00	72,60	0,39	2501,00	0,00	2,24
4001,00	72,20	0,71	2501,00	0,00	2,24
4000,00	71,10	1,38	2499,00	0,00	2,24
4000,00	70,50	1,89	3002,00	54,30	0,23
4000,00	69,90	2,39	3001,00	54,40	0,24
4001,00	68,90	2,91	3001,00	53,70	0,76
4000,00	68,10	3,43	3001,00	51,80	1,39
4000,00	67,00	3,96	2999,00	50,30	1,92
4000,00	25,70	4,40	3001,00	49,90	2,05
4000,00	0,60	4,29	3001,00	41,50	2,14
4000,00	0,00	4,56	3001,00	16,00	2,35
4000,00	0,00	4,44	2999,00	1,30	2,26
4000,00	0,00	4,46	2998,00	0,00	2,25
5001,00	90,60	0,59	3001,00	0,00	2,25
4999,00	90,60	0,60	3001,00	0,00	2,26
5000,00	90,70	0,60	3001,00	0,00	2,25
5001,00	90,70	0,60	2998,00	0,00	2,26
4999,00	90,60	0,62	3000,00	0,00	2,25
5000,00	89,90	1,18	3001,00	0,00	2,25
4999,00	89,00	1,73	3001,00	0,00	2,25
5001,00	88,40	2,25	3001,00	0,00	2,25
5000,00	87,70	2,79	3001,00	0,00	2,25
5000,00	87,10	3,33	4000,00	72,70	0,39
5001,00	86,50	3,85	4000,00	72,70	0,39
4999,00	84,00	4,39	4000,00	72,70	0,39
4999,00	5,60	4,49	4000,00	72,30	0,71
4999,00	0,10	4,44	4000,00	70,20	1,39
4999,00	0,00	4,31	4000,00	69,80	1,50
6001,00	104,10	0,77	4000,00	69,60	1,62
5999,00	104,10	0,77	4000,00	69,30	1,73
5998,00	104,20	0,78	4000,00	69,10	1,83
6001,00	104,20	0,79	4000,00	68,80	1,92
6002,00	104,20	0,78	4000,00	68,50	2,05
6002,00	104,20	0,77	4000,00	68,30	2,14
6000,00	104,20	0,87	4000,00	67,90	2,26
6000,00	103,90	1,58	4000,00	67,50	2,36
6002,00	103,70	2,09	4000,00	37,00	2,57
6000,00	103,10	2,59	4000,00	1,10	2,56
6001,00	103,10	3,13	4000,00	0,00	2,54
6001,00	102,70	3,61	4000,00	0,00	2,53
6000,00	101,40	4,20	4000,00	0,00	2,53
6000,00	7,10	4,39	4999,00	90,70	0,60
6000,00	0,10	4,37	4999,00	90,80	0,59
			4999,00	90,80	0,59
			5001,00	90,80	0,60
			4999,00	90,80	0,60
			4999,00	90,60	0,75
			4999,00	90,40	0,88
			4999,00	90,20	1,00
			5000,00	89,80	1,11
			4999,00	89,20	1,22
			4999,00	88,70	1,35
			5000,00	88,30	1,45
			4999,00	87,90	1,57
			5000,00	87,40	1,69
			4999,00	87,00	1,79
			4999,00	85,20	2,38
			4999,00	10,80	3,19
			4999,00	0,20	3,13
			5000,00	0,00	3,11
			6001,00	104,40	0,76
			5997,00	104,40	0,77
			6001,00	104,40	0,77
			5999,00	104,40	0,77
			6001,00	104,40	0,75
			6001,00	104,40	0,76
			6000,00	104,40	0,77
			6000,00	104,40	0,77
			6001,00	104,40	0,76
			6001,00	104,40	0,76
			6000,00	104,40	0,77
			5999,00	104,30	0,77
			6000,00	104,30	0,76
			6000,00	104,30	0,76
			6001,00	104,20	0,94
			6001,00	101,30	1,70
			6001,00	94,40	2,51
			6001,00	9,50	3,49
			6001,00	0,20	3,36

Figura B.5: Valores registados da a Experiência 5.

Experiência 6																													
EV OFF			EV ON																										
Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]	Regime [rpm]	Dábito [l/min]	Pressão Pilotagem [bar]																								
699,00	10,80	0,47	699,00	10,80	0,48	2001,00	10,20	4,47	1499,00	0,00	2,04	2000,00	89,80	4,33	2000,00	0,00	4,43												
698,00	9,50	0,96	701,00	9,60	0,93	2001,00	0,30	4,38	1501,00	0,00	2,03	2002,00	86,10	2,85	2999,00	0,00	2,23												
697,00	8,30	1,45	700,00	7,60	1,44	2001,00	0,10	4,42	1500,00	0,00	2,03	4999,00	85,30	3,34	4002,00	72,40	0,37												
701,00	7,30	1,97	698,00	2,30	1,74	2001,00	0,20	4,41	1998,00	35,70	0,32	4999,00	84,20	3,84	4001,00	72,40	0,37												
702,00	6,20	2,44	700,00	0,00	1,82	2001,00	0,10	4,46	2001,00	34,90	0,69	4999,00	81,20	4,48	4000,00	72,40	0,37												
700,00	5,20	2,99	701,00	0,00	1,84	2001,00	0,10	4,41	1999,00	33,10	1,22	4999,00	6,70	4,28	4001,00	71,90	0,71												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2001,00	0,10	4,41	1999,00	33,10	1,22	4999,00	0,00	4,26	4000,00	69,80	1,39												
699,00	3,20	3,94	701,00	0,00	1,82	2501,00	45,50	0,21	2001,00	30,90	1,76	4999,00	0,00	4,26	4000,00	69,10	1,53												
701,00	0,50	4,46	701,00	0,00	1,83	2500,00	45,10	0,44	2001,00	9,90	1,98	4999,00	0,00	4,26	4000,00	69,10	1,53												
699,00	0,40	4,46	701,00	0,00	1,84	2499,00	43,70	1,04	2002,00	0,30	2,04	6002,00	101,90	0,71	4001,00	68,80	1,64												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2501,00	42,80	1,58	2000,00	0,00	2,03	6001,00	101,90	0,72	4000,00	68,40	1,72												
699,00	3,20	3,94	701,00	0,00	1,82	2500,00	41,70	2,07	2001,00	0,00	2,04	6001,00	101,90	0,73	4001,00	68,20	1,84												
701,00	0,50	4,46	701,00	0,00	1,83	2501,00	40,50	2,64	2000,00	0,00	2,03	6000,00	101,90	0,72	4001,00	67,90	1,97												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2501,00	39,70	3,08	1999,00	0,00	2,03	5999,00	102,00	0,72	4000,00	67,60	2,08												
699,00	3,20	3,94	701,00	0,00	1,82	2500,00	38,90	3,62	2000,00	0,00	2,03	6001,00	101,90	0,73	4000,00	67,30	2,17												
701,00	0,50	4,46	701,00	0,00	1,83	2499,00	37,40	4,14	2001,00	0,00	2,03	5999,00	101,80	1,01	4000,00	66,80	2,28												
699,00	0,40	4,46	701,00	0,00	1,84	2498,00	36,20	4,67	2000,00	0,00	2,03	6002,00	101,50	1,70	3999,00	13,40	2,27												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2499,00	35,00	5,20	2001,00	0,00	2,03	5997,00	101,50	2,18	4000,00	0,10	3,20												
701,00	0,50	4,46	702,00	0,00	1,85	2498,00	33,80	5,73	2000,00	0,00	2,03	6000,00	98,50	2,81	4000,00	0,00	3,18												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2500,00	32,60	6,26	2001,00	0,00	2,03	6001,00	96,70	3,40	4000,00	0,00	3,18												
699,00	3,20	3,94	701,00	0,00	1,82	2501,00	31,40	6,79	2000,00	0,00	2,03	6001,00	95,00	3,93	4000,00	0,00	3,19												
701,00	0,50	4,46	701,00	0,00	1,83	2500,00	30,20	7,32	2001,00	0,00	2,03	5999,00	92,70	4,52	4000,00	0,00	3,19												
699,00	0,40	4,46	701,00	0,00	1,84	2501,00	29,00	7,85	1999,00	0,00	2,03	6000,00	5,40	4,31	4999,00	89,80	0,57												
700,00	4,30	3,43	701,00	0,00	1,84	2500,00	27,80	8,38	2000,00	0,00	2,03	5999,00	0,10	4,28	4999,00	89,80	0,58												
699,00	3,20	3,94	701,00	0,00	1,82	3000,00	54,50	0,24	1999,00	0,00	2,03	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
701,00	0,50	4,46	697,00	0,00	1,85	2998,00	54,50	0,23	2499,00	45,30	0,21	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1001,00	16,50	0,51	701,00	0,00	1,83	3002,00	53,70	0,75	2500,00	44,90	0,46	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
998,00	15,60	0,92	700,00	0,00	1,82	2998,00	52,40	1,37	2501,00	43,60	1,06	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	14,00	1,44	701,00	0,00	1,83	3000,00	51,30	1,89	2500,00	41,00	1,60	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	13,00	1,94	697,00	0,00	1,85	3000,00	50,00	2,41	2496,00	23,30	2,10	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	12,10	2,47	1000,00	16,50	0,50	3001,00	48,80	2,95	2500,00	5,70	2,08	4999,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	11,20	2,90	1000,00	15,60	0,91	3001,00	47,70	3,45	2500,00	0,00	1,99	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	10,30	3,45	1000,00	13,10	1,42	3001,00	46,50	3,95	2500,00	0,00	1,99	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1001,00	9,20	3,90	1001,00	5,90	1,77	3001,00	45,30	4,45	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1001,00	6,90	4,37	998,00	0,10	1,94	3001,00	44,20	4,94	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	1,90	4,46	1000,00	0,00	1,94	3001,00	43,00	5,43	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1001,00	1,90	4,47	999,00	0,00	1,94	3001,00	41,80	5,92	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	1,90	4,50	1000,00	0,00	1,93	3001,00	40,60	6,41	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	1,90	4,42	1000,00	0,00	1,95	3001,00	39,40	6,90	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	1,90	4,52	1001,00	0,00	1,95	3001,00	38,20	7,39	2499,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1000,00	1,80	4,42	1000,00	0,00	1,94	3000,00	37,00	7,88	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1498,00	26,40	0,43	1001,00	0,00	1,93	3000,00	35,80	8,37	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	25,50	0,84	1000,00	0,00	1,94	3000,00	34,60	8,86	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	24,10	1,34	1000,00	0,00	1,94	3000,00	33,40	9,35	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	23,10	1,86	1001,00	0,00	1,93	3000,00	32,20	9,84	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	22,10	2,36	1000,00	0,00	1,93	3000,00	31,00	10,33	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	21,10	2,85	1000,00	0,00	1,94	3000,00	29,80	10,82	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	20,20	3,34	1000,00	0,00	1,94	3000,00	28,60	11,31	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1501,00	19,30	3,85	1000,00	0,00	1,93	3000,00	27,40	11,80	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	17,10	4,35	1500,00	26,50	0,42	3000,00	26,20	12,29	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	4,50	4,52	1499,00	25,50	0,81	3000,00	25,00	12,78	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1502,00	0,00	4,51	1499,00	23,40	1,33	3000,00	23,80	13,27	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	0,00	4,51	1500,00	16,60	1,80	3000,00	22,60	13,76	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	0,00	4,50	1501,00	2,70	2,05	3000,00	21,40	14,25	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1499,00	0,00	4,50	1499,00	0,00	2,05	3000,00	20,20	14,74	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1500,00	0,00	4,50	1501,00	0,00	2,04	3000,00	19,00	15,23	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2002,00	36,00	0,31	1500,00	0,00	2,05	3000,00	17,80	15,72	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2001,00	35,30	0,68	1501,00	0,00	2,05	3000,00	16,60	16,21	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2001,00	33,90	1,25	1500,00	0,00	2,04	3000,00	15,40	16,70	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
1999,00	32,80	1,72	1498,00	0,00	2,04	3000,00	14,20	17,19	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2002,00	31,90	2,22	1501,00	0,00	2,04	3000,00	13,00	17,68	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2001,00	30,90	2,77	1501,00	0,00	2,03	3000,00	11,80	18,17	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2000,00	29,90	3,23	1499,00	0,00	2,03	3000,00	10,60	18,66	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												
2001,00	29,00	3,76	1500,00	0,00	2,04	3000,00	9,40	19,15	2498,00	0,00	1,98	5000,00	0,00	4,28	4999,00	89,80	0,58												

Experiência 7						1997,00	7,60	4,48	1500,00	0,00	2,09	4999,00	89,40	4,33	3000,00	0,00	4,41	
EV OFF			EV ON			1999,00	0,20	4,59	1500,00	0,00	2,09	5002,00	84,80	2,89	3000,00	0,00	2,21	
Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotaagem [bar]	Regime [rpm]	Débito [l/min]	Pressão Pilotaagem [bar]	2002,00	0,00	4,58	2001,00	35,70	0,33	5000,00	78,20	4,61	4001,00	72,40	0,38	
698,00	11,20	0,47	703,00	11,20	0,48	2001,00	0,00	4,58	1998,00	35,00	0,69	4999,00	5,20	4,31	4000,00	71,80	0,72	
700,00	9,70	0,95	701,00	9,60	0,96	2001,00	0,00	4,58	2001,00	33,50	1,23	4999,00	0,00	4,29	4000,00	69,60	1,42	
700,00	8,40	1,46	699,00	7,50	1,45	2498,00	45,50	0,20	2001,00	30,20	1,74	4999,00	0,00	4,29	4000,00	69,10	1,55	
700,00	7,40	2,01	699,00	2,60	1,80	2499,00	45,00	0,45	2001,00	9,50	2,06	6002,00	101,70	0,73	4000,00	68,80	1,65	
699,00	6,40	2,44	701,00	0,00	1,90	2499,00	42,30	1,59	2001,00	0,00	2,13	6001,00	101,70	0,74	4001,00	68,60	1,74	
701,00	5,10	2,97	700,00	0,00	1,89	2499,00	40,90	2,13	2001,00	0,00	2,13	6000,00	101,80	0,73	4000,00	68,20	1,86	
700,00	3,90	3,43	700,00	0,00	1,89	2499,00	39,50	2,64	2001,00	0,00	2,13	6001,00	101,80	0,74	4000,00	67,70	1,95	
699,00	2,50	3,88	701,00	0,00	1,89	2500,00	38,40	3,12	2002,00	0,00	2,12	6000,00	101,80	0,74	4000,00	67,20	2,19	
699,00	0,20	4,39	700,00	0,00	1,89	2502,00	0,30	4,46	2001,00	0,00	2,11	6000,00	101,70	0,99	4000,00	27,10	2,05	
701,00	0,20	4,38	699,00	0,00	1,90	2499,00	37,10	3,68	2000,00	0,00	2,11	5999,00	101,10	1,71	4000,00	0,60	3,19	
701,00	0,30	4,36	699,00	0,00	1,90	2500,00	15,70	4,47	2001,00	0,00	2,11	6001,00	100,10	2,24	3999,00	0,00	3,38	
701,00	0,30	4,37	702,00	0,00	1,89	2502,00	0,00	4,45	1999,00	0,00	2,10	6000,00	99,00	2,80	4001,00	0,00	3,37	
701,00	0,40	4,38	701,00	0,00	1,89	2500,00	0,00	4,51	1999,00	0,00	2,10	6000,00	97,40	3,33	4000,00	0,00	3,37	
700,00	0,50	4,36	700,00	0,00	1,89	2502,00	0,00	4,49	2000,00	0,00	2,11	6001,00	95,40	3,90	4000,00	0,00	3,37	
701,00	0,70	4,35	700,00	0,00	1,89	2500,00	0,00	4,47	2001,00	0,00	2,10	6001,00	92,90	4,50	4002,00	0,00	3,37	
1000,00	16,50	0,53	700,00	0,00	1,90	2501,00	0,00	4,50	1999,00	0,00	2,10	6001,00	5,60	4,39	4999,00	89,90	0,59	
1000,00	15,70	0,92	701,00	0,00	1,90	3002,00	54,60	0,23	2000,00	0,00	2,11	5999,00	0,00	4,33	5000,00	89,90	0,59	
1000,00	13,90	1,43	701,00	0,00	1,90	2998,00	54,50	0,24	2000,00	45,10	0,23	5000,00	0,00		5000,00	89,90	0,59	
1000,00	13,00	1,92	701,00	0,00	1,89	3000,00	53,60	0,76	2501,00	44,70	0,48	5000,00	0,00		5000,00	89,80	0,58	
1000,00	11,90	2,42	1000,00	16,40	0,51	2997,00	52,20	1,38	2501,00	43,50	1,07	5000,00	0,00		5000,00	89,70	0,63	
1001,00	10,50	2,98	1000,00	15,60	0,94	3001,00	50,90	1,90	2501,00	40,80	1,61	5001,00	0,00		5001,00	89,40	0,79	
1000,00	9,10	3,45	1001,00	13,20	1,40	3001,00	49,50	2,43	2499,00	20,10	2,08	4999,00	0,00		4999,00	89,00	0,94	
999,00	7,60	3,88	1001,00	6,30	1,82	3001,00	48,10	2,95	2501,00	4,00	2,12	4999,00	0,00		4999,00	88,60	1,07	
1000,00	4,60	4,40	1000,00	0,20	2,02	2999,00	46,60	3,44	2501,00	0,00	2,10	4999,00	0,00		4999,00	88,10	1,19	
1000,00	0,50	4,36	1000,00	0,00	2,02	2999,00	45,00	3,97	2499,00	0,00	2,10	4999,00	0,00		4999,00	87,60	1,30	
1000,00	0,50	4,45	1000,00	0,00	2,02	3002,00	34,10	4,49	2501,00	0,00	2,09	4999,00	0,00		4999,00	87,30	1,41	
1000,00	1,60	4,35	999,00	0,00	2,02	3000,00	2,20	4,47	2500,00	0,00	2,10	5002,00	86,70	1,52	4999,00	86,30	1,52	
1000,00	1,70	4,41	1000,00	0,00	2,02	2999,00	0,00	4,45	2502,00	0,00	2,09	4999,00	86,30	1,65	5001,00	85,90	1,76	
1001,00	1,70	4,45	1001,00	0,00	2,03	3000,00	0,00	4,48	2500,00	0,00	2,09	4999,00	85,40	1,87	4999,00	85,30	2,32	
1500,00	26,30	0,43	1000,00	0,00	2,02	2999,00	0,00	4,44	2501,00	0,00	2,09	5000,00	1,20	3,57	5000,00	1,20	3,57	
1500,00	25,20	0,83	1000,00	0,00	2,03	3001,00	0,00	4,51	2501,00	0,00	2,09	5002,00	0,00	3,54	4999,00	0,00	3,52	
1502,00	23,80	1,35	1000,00	0,00	2,03	4001,00	72,40	0,37	2500,00	0,00	2,08	5998,00	101,70	0,72	6000,00	101,80	0,73	
1499,00	22,60	1,87	1000,00	0,00	2,02	4000,00	72,40	0,37	2501,00	0,00	2,08	6002,00	101,80	0,72	6001,00	101,70	0,73	
1500,00	21,30	2,38	1000,00	0,00	2,02	4000,00	72,30	0,37	2501,00	0,00	2,07	6002,00	101,80	0,72	6002,00	101,80	0,73	
1499,00	20,00	2,84	1000,00	0,00	2,03	4001,00	71,90	0,71	2501,00	0,00	2,08	6001,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1500,00	18,70	3,38	1001,00	0,00	2,02	4001,00	70,60	1,38	2500,00	0,00	2,07	6001,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1500,00	17,20	3,89	1000,00	0,00	2,02	4000,00	69,60	1,90	3001,00	54,20	0,23	5999,00	101,70	0,72	6001,00	101,80	0,73	
1500,00	14,50	4,40	1499,00	26,30	0,43	4001,00	68,40	2,48	3000,00	54,10	0,24	6002,00	101,70	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1501,00	1,90	4,48	1500,00	25,30	0,83	4000,00	66,60	2,96	3000,00	53,30	0,77	6002,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1501,00	0,30	4,48	1501,00	23,30	1,35	4000,00	65,10	3,52	3000,00	51,20	1,40	5999,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1499,00	0,30	4,48	1500,00	15,90	1,81	4001,00	63,00	4,06	3000,00	49,20	1,93	6000,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1501,00	0,20	4,49	1500,00	2,90	2,07	4000,00	0,70	4,36	3000,00	8,40	2,11	6001,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1500,00	0,20	4,48	1500,00	0,00	2,07	4000,00	0,00	4,48	3000,00	0,20	2,20	6001,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
1500,00	0,20	4,48	1501,00	0,00	2,07	4000,00	0,00	4,40	3000,00	0,00	2,20	6001,00	101,80	0,73	6001,00	101,80	0,73	
2001,00	35,90	0,31	1500,00	0,00	2,07	4000,00	0,00	4,44	3001,00	0,00	2,20	6001,00	101,80	0,72	6001,00	101,80	0,72	
2001,00	34,90	0,69	1501,00	0,00	2,08	4999,00	89,70	0,57	2999,00	0,00	2,20	5999,00	101,70	0,90	6001,00	101,70	0,90	
1999,00	33,50	1,22	1500,00	0,00	2,08	4999,00	89,70	0,57	2999,00	0,00	2,20	6001,00	101,70	0,90	6001,00	101,70	0,90	
2000,00	32,20	1,75	1499,00	0,00	2,07	4999,00	89,80	0,57	2999,00	0,00	2,20	6001,00	101,50	1,07	6001,00	101,50	1,07	
2001,00	31,10	2,27	1500,00	0,00	2,07	5000,00	89,80	0,57	3000,00	0,00	2,20	5997,00	101,20	1,23	6000,00	93,50	2,10	
2000,00	29,80	2,79	1500,00	0,00	2,08	4999,00	89,80	0,58	3000,00	0,00	2,20	5999,00	16,00	3,91	6002,00	0,30	4,07	
2001,00	28,50	3,32	1502,00	0,00	2,08	4999,00	89,70	0,62	3000,00	0,00	2,20	6001,00	0,00	4,05	6001,00	0,00	4,05	
2000,00	27,10	3,74	1499,00	0,00	2,08	5001,00	87,20	1,80	3000,00	0,00	2,20							
2002,00	25,10	4,29	1501,00	0,00	2,08													

Figura B.7: Valores registados da a Experiência 7.