



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Tiago Filipe Pereira Ferraz

**Caracterização à fadiga de vedantes em  
TPE**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor António Sérgio Pouzada

Engenheira Andreia Costa

## DECLARAÇÃO

Nome: Tiago Filipe Pereira Ferraz

Endereço eletrónico: tiagoferraz2011@hotmail.com Telefone: 916010030

Cartão do Cidadão: 13854029

Título da dissertação: Caracterização à fadiga de vedantes em TPE

Orientadores:

Professor Doutor António Sérgio Pouzada

Engenheira Andreia Costa

Ano de conclusão: 2017

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, 24 / 11 / 2017

Assinatura: *Tiago Filipe Pereira Ferraz*

## AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação só foi possível graças à ajuda e apoio de pessoas muito importantes que vou passar a enunciar como forma de agradecimento:

Em primeiro lugar queria agradecer ao Prof. António Pouzada pela oportunidade que me deu de encerrar este capítulo do meu mestrado numa grande empresa como é a OLI – Sistemas Sanitários S.A, e por todo o conhecimento que me transmitiu.

Em segundo lugar, mas não menos importante, queria agradecer à Eng. Andreia Costa por ter-se revelado sempre uma boa ajuda e boa companhia ao longo destes meses, foi uma grande mais valia na minha integração na empresa.

Também queria deixar o meu agradecimento à direção da empresa pois sempre me receberam bem e disponibilizaram todas as ferramentas que precisei para a conclusão deste trabalho.

Um agradecimento também ao José Luís e ao João Teles, pois foram uma importante ajuda em fases distintas do trabalho, e em geral a todos aqueles que me ajudaram sempre que precisei.

Não podia deixar de agradecer a todos os colegas e amigos que sempre me acompanharam ao longo destes anos de Universidade, em especial ao grupo Dzeta.

Por fim agradecer aos meus pais, em especial à minha mãe pois apoiou-me sempre incansavelmente em todas as fases desta jornada.

A todos vós o meu sincero Obrigado!



## RESUMO

Nos autoclismos para sanitários desenvolvidos e produzidos na empresa OLI - Sistemas Sanitários, S.A. usam-se componentes elastoméricos que têm sido produzidos em borrachas vulcanizadas. Nos últimos anos a empresa tem vindo a substituir estes materiais por termoplásticos elastoméricos. Neste programa de trabalhos, para além da identificação dos componentes a substituir, pretende-se verificar a aplicabilidade dos termoplásticos elastoméricos em peças que estão sujeitas à fadiga em flexão durante um período de tempo. Assim: a) foi feita a revisão do estado da arte do comportamento à fadiga de elastómeros termoplásticos; b) foi desenvolvido um equipamento para a avaliação do comportamento à fadiga de vedantes circulares planos injetados num elastómero termoplástico (TPE), em ambiente com temperatura controlada; c) foi analisado o processo de envelhecimento do TPE em contacto com a água em função da temperatura. Como resultado final do programa foram obtidas as curvas de fadiga do elastómero termoplástico usado em vedantes circulares planos, e estabelecidos os períodos críticos do envelhecimento do TPE através da evolução da dureza.



## **ABSTRACT**

In the toilet cisterns developed and produced in the company OLI - Sanitary Systems, S.A elastomeric components that have been made from vulcanized rubbers are now being used. In recent years the company has been replacing these materials for elastomers thermoplastics. In this work program, in addition to identifying the components to be replaced, it is intended to verify the applicability of elastomeric thermoplastics in parts that are subject to fatigue in bending over a period of time.

This work includes: a) a review of the state of the art of fatigue behavior of thermoplastic elastomers was carried out; b) the development of equipment to evaluate the fatigue behavior of flat circular seals injected in a thermoplastic elastomer (TPE) in temperature controlled conditions; c) the analysis of the aging process of TPE in contact with water as a function of temperature. As a final result of the program, the fatigue curves of the thermoplastic elastomer used in flat circular seals were obtained and the critical periods of TPE aging were determined by analysing the evolution of the hardness.





# Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas .....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução .....	19
1.1 Empresa.....	19
1.2 Enquadramento.....	20
1.3 Objetivos .....	21
2. Estado da arte .....	23
2.1 Elastómeros termoplásticos.....	23
2.1.1 Propriedades Mecânicas.....	24
2.2 Vedantes elastoméricos e aplicações.....	26
2.3 Fadiga .....	27
2.3.1 Caracterização do comportamento à fadiga .....	27
2.3.2 Relação Dureza/Módulo de Young.....	29
2.4 Envelhecimento forçado de materiais elastoméricos .....	31
2.4.1 Princípios de degradação .....	31
2.4.2 Envelhecimento e tempo de vida .....	32
2.4.3 Como prever propriedades a longo prazo? .....	32
2.5 Contexto do trabalho .....	33
3. Equipamento .....	35
3.1 Especificações .....	36
3.2 Ciclo de funcionamento .....	37
3.3 Estrutura e design .....	38
4. Experimental .....	39
4.1 Matéria-prima.....	39
4.2 Moldação por injeção .....	39

4.2.1	Molde .....	39
4.2.2	Injeção .....	40
4.3	Ensaio de tração .....	41
4.3.1	Procedimento Experimental .....	42
4.4	Ensaio de fadiga .....	43
4.4.1	Plano de controlo .....	43
4.4.2	Procedimento experimental .....	44
4.4.3	Condições de ensaio .....	44
4.5	Controlo das durezas .....	46
4.6	Ensaio de Tração .....	47
4.6.1	Curva Tensão/Deformação .....	47
4.6.2	Módulo de elasticidade .....	48
4.6.3	Extrapolação do Módulo Secante .....	49
4.7	Tensão máxima dos vedantes em serviço .....	50
4.8	Ensaio de fadiga .....	52
4.8.1	Desempenho dos vedantes .....	52
4.8.2	Evolução da dureza .....	54
4.8.3	Variação da dureza ao longo do tempo .....	55
	Conclusão .....	57
	Referências .....	61
	Anexo I – Desenho técnico .....	63
	Anexo II – Ficha técnica dos materiais .....	65
	Anexo III – Caderno de encargos .....	67
	Anexo IV – Equipamento .....	73
	Anexo V – Plano de controlo .....	77
	Anexo VI – Relação Módulo/Temperatura .....	79
	Anexo VII – Controlo diário .....	81
	Anexo VIII – Curvas tensão vs deformação .....	85
	Anexo IX – Controlo das durezas .....	89





# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- MERCADOS ALVO .....	20
FIGURA 2- CLASSIFICAÇÃO DOS ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS (TPE) .....	23
FIGURA 3- COMPARAÇÃO DA GAMA DE DUREZA DOS TPE COM A DOS PLÁSTICOS E COM A BORRACHA CONVENCIONAL .....	24
FIGURA 4- CURVA TENSÃO/DEFORMAÇÃO DE UM SBS (SHANKS & KONG, 2012). .....	25
FIGURA 5- CURVAS DE MÓDULO DE ARMAZENAMENTO E PERDA DE UM SBS (SHANKS & KONG, 2012). .....	25
FIGURA 6- CURVA DE VARIAÇÃO DE TENSÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO EM SOLICITAÇÕES DE FADIGA .....	28
FIGURA 7- AMOSTRA EM ESTUDO, DIÁBOLO. ....	28
FIGURA 8- COMPARAÇÃO DO MÓDULO DE YOUNG COM A DUREZA SHORE A .....	30
FIGURA 9- CONJUNTO VÁLVULA.....	35
FIGURA 10- ESQUIÇO INICIAL DO DISPOSITIVO .....	37
FIGURA 11- CICLO DE FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO DE TESTES .....	37
FIGURA 12- EQUIPAMENTO DE ENSAIO .....	38
FIGURA 13- A) MOLDE ANTES DA MAQUINAÇÃO; B) MOLDE APÓS MAQUINAÇÃO.....	40
FIGURA 14- VEDANTE INJETADO EM MONPRENE CP10130 .....	41
FIGURA 15- DIMENSÃO NORMALIZADA PARA PROVETES TIPO 2.....	41
FIGURA 16- GRÁFICO TENSÃO/DEFORMAÇÃO (PROPRIEDADES E ENSAIOS, CLARA CRAMEZ,2006) .....	42
FIGURA 17- ÁRVORE DE DECISÃO PARA O PLANO DE CONTROLO .....	43
FIGURA 18- DESENHO 3D E 2D DA VÁLVULA ATLAS .....	44
FIGURA 19- DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE CICLO .....	45
FIGURA 20- DURÓMETRO SHORE A, INDENTER35º .....	46
FIGURA 21- CURVA TENSÃO/DEFORMAÇÃO À TEMPERATURA AMBIENTE (23ºC) .....	47
FIGURA 22- VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE POR PROVETE À TEMPERATURA AMBIENTE (23ºC).....	48
FIGURA 23- MÓDULO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA VÁRIOS SARLINK.....	49
FIGURA 24- EVOLUÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA O MONPRENE CP10130.....	50
FIGURA 25- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS CARGAS APLICADAS NO VEDANTE.....	51
FIGURA 26- EVOLUÇÃO DO Nº CICLOS VS TEMPO.....	52
FIGURA 27- CONTROLO DO NÚMERO DE CICLOS POR MATERIAL .....	53
FIGURA 28- VEDANTE EM TPE APÓS 200 MIL CICLOS .....	53
FIGURA 29- VARIAÇÃO DA DUREZA EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	54
FIGURA 30- VARIAÇÃO PERCENTUAL DAS DUREZAS AO LONGO DO TEMPO .....	55
FIGURA 31- EQUIPAMENTO- VISTA DE FRENTE .....	73
FIGURA 32- CLOSE-UP DE VÁRIOS PONTOS DA ESTRUTURA .....	74
FIGURA 33 – SISTEMA DE BOMBEAMENTO.....	74



# LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CONDIÇÕES DE INJEÇÃO.....	40
TABELA 2- CONDIÇÕES DE ENSAIO .....	45





## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

DMA – Análise mecânica dinâmica

EPDM- Poli(Etileno-Propileno-Dieno)

OLI – OLI – Sistemas Sanitários, S.A.

PP – Polipropileno

S-N – Curvas tensão vs. número de ciclos

TPE – Elastómero termoplástico

TPE-A – Elastómero termoplástico com base em poliamida

TPE-E – Elastómero termoplástico com base em copoliéster

TPE-O – Elastómero termoplástico com base em poliolefina

TPE-S – Elastómero termoplástico com base em poliestireno

TPE-U – Elastómero termoplástico com base em poliuretano

TPE-V – Elastómero termoplástico vulcanizado

SEBS – Copolímero de blocos de etileno/ butileno – estireno

WLF – Equação de Williams–Landel–Ferry



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Empresa

A empresa OLI-Sistemas Sanitários, S.A. foi fundada, em Aveiro, em 1 de Março de 1954, como uma pequena empresa familiar com a designação Oliveira & Irmão. Ao longo do percurso, passou por áreas distintas de negócio até chegar, nos anos 80, à criação de uma unidade de produção de autoclismos. Em pouco mais de dez anos, o crescimento foi sustentado e exponencial, com cerca de 2600 colaboradores e presente em quatro setores de atividade (aquecimento; fundição em alumínio; metalização em plásticos e redes de esgotos e águas), de tal forma que levou, em 1993, à integração no Grupo Fondital, Itália. Assim se deu a criação da OLI Itália para aumentar a sua presença nos mercados italiano e europeu. Ao longo dos mais de 60 anos de história, muitas têm sido as distinções e os prémios recebidos pela OLI, que demonstram o seu compromisso com a exigência e respeito pelo utilizador dos seus produtos. A OLI é a empresa portuguesa com maior número de patentes e está na vanguarda do investimento em Investigação, Desenvolvimento e Inovação.

Com 80 por cento da sua produção a ser direcionada para o mercado da exportação, a OLI tem presença global assegurada em mais de 70 países em todo o mundo. Assente numa política bem estruturada em Investigação, Desenvolvimento e Inovação, os seus produtos são reconhecidos e certificados pelas normas mundiais mais exigentes.

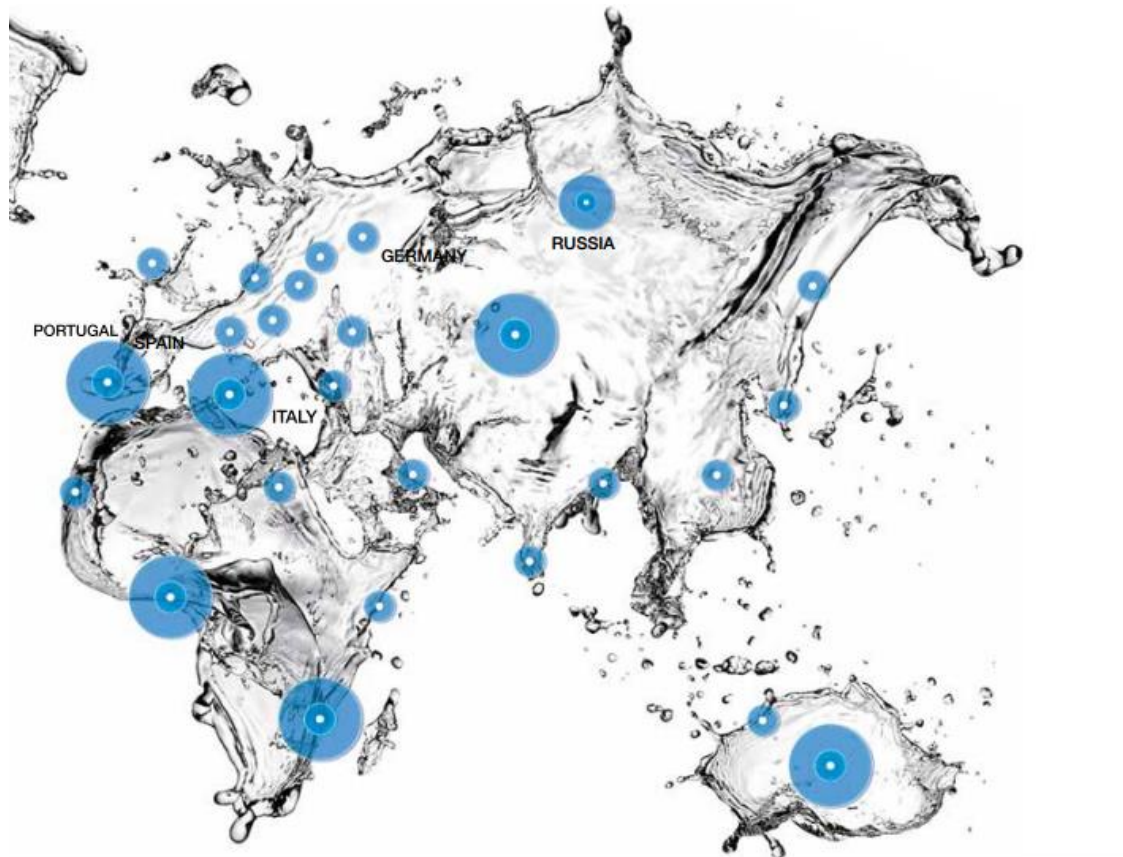


Figura 1- Mercados alvo

## 1.2 Enquadramento

Nos autoclismos para sanitários desenvolvidos e produzidos na OLI usam-se componentes elastoméricos habitualmente produzidos em borrachas vulcanizadas que a empresa tem vindo a substituir por soluções em termoplásticos elastoméricos.

Hoje na maioria dos produtos de vedação são usados materiais elastoméricos, vulgo borrachas, designadamente em O-rings, juntas, vedantes, etc. A indústria dos autoclismos sanitários tem uma elevada utilização deste tipo de materiais, dada a elevada complexidade dos mecanismos utilizados e a necessidade de evitar fugas de água entre peças adjacentes. As peças em borrachas vulcanizadas são hoje adquiridas fora, o que torna o custo mais elevados devido à especificidade de certos vedantes que não são produtos *standard*.

Os polímeros são uma classe importante de materiais de engenharia, cujas propriedades se baseiam na disposição e tipo dos monómeros que os constituem. Os polímeros são muito utilizados como materiais de engenharia devido à sua alta versatilidade, baixa densidade, baixo custo e boas propriedades mecânicas. Em geral, os polímeros são classificados em três grupos principais - termoplásticos (repetidamente amolecem quando aquecidos e depois solidificam quando arrefecem), termoendurecíveis (o endurecimento torna-se irreversível uma vez aquecido o material) e elastômeros (polímeros que podem deformar até várias vezes o seu comprimento inicial e retornar ao seu original quando a carga aplicada é retirada) (Khan, Baig, Hamid, & Zhang, 2010). Os termoplásticos são os polímeros maioritariamente usados pela OLI.

Atualmente existe uma tendência crescente para o uso de plásticos em componentes mecânicos, mas as equipas de projeto não conseguem encontrar tão facilmente dados para prever o desempenho em fadiga de plásticos, como acontece no caso dos metais.

A fadiga é definida como o dano apresentado numa peça estrutural associado à propagação gradual de fissuras provocadas por variações cíclicas de tensão, que se traduzem no fenómeno da diminuição de resistência mecânica em consequência da repetição muito frequente de ações, denominadas cargas cíclicas. As curvas de Wohler (S-N) são o método convencional de descrever o comportamento dos materiais em situações de fadiga.

### **1.3 Objetivos**

Os objetivos do trabalho descrito nesta dissertação consistem na substituição de vedantes em silicone (numa aplicação específica do vedante utilizado na válvula Atlas), atualmente produzidos externamente, por elastômeros termoplásticos (TPE) que possam ser produzidos por moldação por injeção. Desta forma será possível fabricar “in house” estas peças, com vantagens económicas e de logística para a empresa.

Para avaliar a possibilidade de substituição é necessário desenvolver um equipamento específico para reproduzir o desempenho do vedante em serviço, aplicando o mesmo tipo de cargas cíclicas que possibilitem avaliar o seu comportamento à fadiga de uma forma mais acelerada através da utilização do princípio da sobreposição tempo-temperatura provocando uma oxidação mais rápida do material. Esta degradação será

monitorizada através da evolução da dureza dos vedantes ao longo do tempo. O critério de desempenho funcional será a observação da estanqueidade.

## 2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será elucidada toda a matéria já existente relativamente ao estado da arte de vários temas que possam de alguma forma enquadrar-se com o trabalho a realizar.

### 2.1 Elastómeros termoplásticos

A mistura de polímeros é uma técnica antiga, mas eficaz para obter um conjunto de propriedades melhores que as propriedades individuais dos componentes da mistura. É muito mais fácil do que sintetizar um novo polímero (Mondal, 1985).

Uma das invenções mais importantes no campo dos materiais poliméricos, em 1950, são as borrachas termoplásticas normalmente designadas como elastómeros termoplásticos (TPE). Um TPE é um material com propriedades e funcionalidades semelhantes à borracha vulcanizada, mas que pode ser processado como um polímero termoplástico (ÍNALER, 2007).

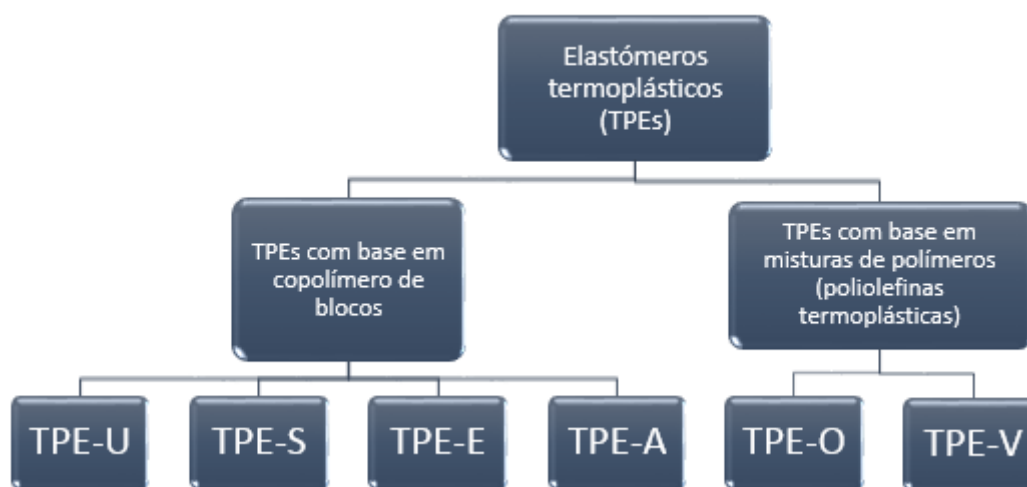


Figura 2- Classificação dos elastómeros termoplásticos (TPE)

Os elastómeros termoplásticos estão divididos entre dois grupos, como é possível ver através da Figura 2. Os TPE com estrutura à base de copolímero de blocos mais concretamente baseados em poliuretano (TPE-U), em estireno (TPE-S), em copoliéster (TPE-E), e em poliamida (TPE-A), e os TPE com base poliolefinas que podem ser classificados em poliolefinas termoplásticas elastoméricas (TPE-O) (ASTM D 5593), e

elastómeros termoplásticos vulcanizados (TPE-V) que possuem uma fase de borracha vulcanizada e uma fase termoplástica (ASTM D 5046).

A maior parte dos TPE tem uma reduzida dureza, menos de 90 Shore A, e são aceites como verdadeiras borrachas. Os mais duros, com dureza superior a 90 Shore A ou 38 Shore D

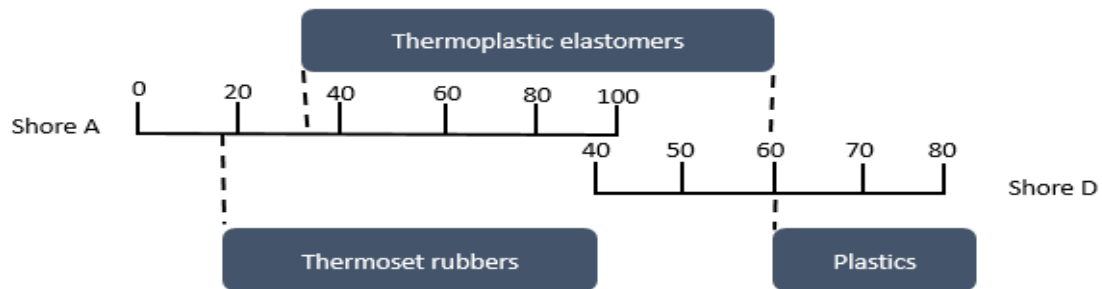


Figura 3- Comparação da gama de dureza dos TPE com a dos plásticos e com a borracha convencional

Os termoplásticos vulcanizados (TPV) pertencem a uma classe de materiais que contêm uma quantidade relativamente alta de ligações cruzadas bem dispersas na matriz termoplástica. O termoplástico apresenta sempre uma viscosidade menor do que a da borracha reticulada. Consequentemente, os TPV juntam as propriedades típicas das borrachas e a processabilidade de um termoplástico (Magioli, Sirqueira, & Soares, 2010). Em geral, quanto menor o tamanho das partículas da borracha melhores serão as propriedades mecânicas do TPV (Naskar, Gohs, Wagenknecht, & Heinrich, 2009).

### 2.1.1 Propriedades Mecânicas

Quando testados à tração, os TPE comportam-se como elastómeros até ao seu limite de elasticidade. A curva tensão/deformação de um TPE-S mais especificamente um SBS (estireno-butadieno-estireno) está representada na Figura 4 (Shanks & Kong, 2012).



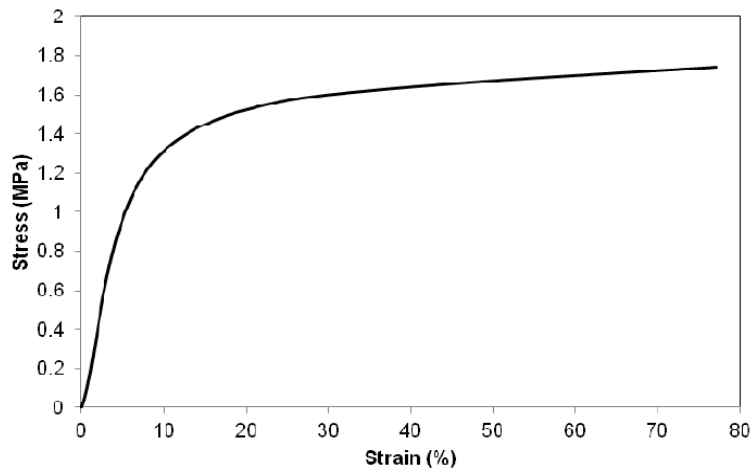


Figura 4- Curva tensão/deformação de um SBS (Shanks & Kong, 2012).

A análise mecânica dinâmica (DMA), onde a tração uniaxial e as propriedades microscópicas foram utilizadas para observar propriedades e transições a partir de temperaturas mais baixas até à transição vítrea da fase elastomérica.

Duas transições distintas foram detetadas às baixas temperaturas onde estas foram avaliadas, uma transição de termoplástico elastomérico para dúctil e uma transição de termoplástico a frágil. Uma curva DMA típica de SBS é mostrada na Figura 5 (Shanks & Kong, 2012).

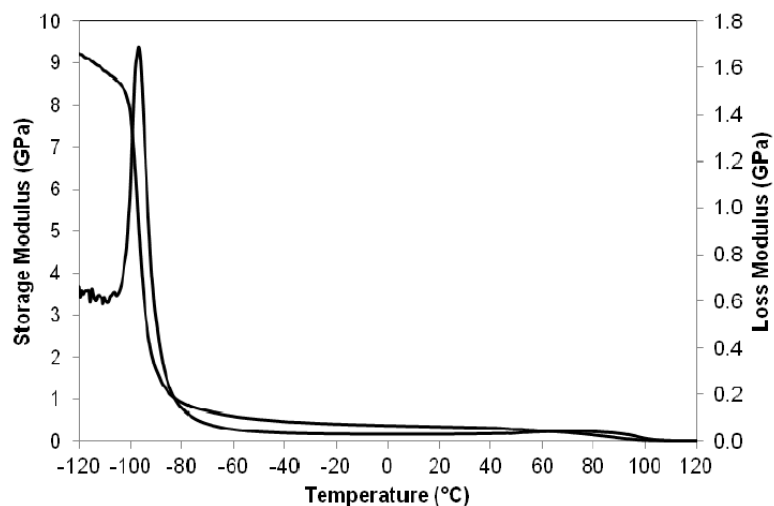


Figura 5- Curvas de módulo de armazenamento e perda de um SBS (Shanks & Kong, 2012).

A relaxação das tensões é um processo que pode ser utilizado como um método físico para determinar a estrutura dominante dos TPE estudando o comportamento de deformação dependente do tempo do copolímero de blocos segmentado (Shanks & Kong, 2012)

## 2.2 Vedantes elastoméricos e aplicações

Ao longo dos anos, a produção de elastómeros aproximou-se da borracha natural que é produzida a partir do látex da *Hevea Brasiliensis* e é usada em múltiplas misturas de borracha. Ao criar estas misturas, as propriedades específicas são atingidas com a ajuda de aditivos tais como cargas ou plastificantes. A evolução da produção de elastómeros cria uma infinidade de possibilidades para estes materiais que podem ser projetados, fabricados e disponibilizados no mercado.

Os vedantes devem manter a sua elasticidade, resistindo a fatores externos tais como temperaturas ambiente, humidade, líquidos, bem como a radiação ultravioleta e o ozono que provocam a degradação. Devem ser compatíveis com materiais de ligação e superfícies adjacentes, isto é, devem ser adequados para ligação e não contaminar os componentes adjacentes por migração. O efeito das condições ambientais, como por exemplo, ferrugem, pólen, calcário e outros contaminantes não devem afetar a função de vedação. As principais características requeridas nos vedantes são: impermeabilidade, resistência aos UV, resistência à compressão, alta durabilidade, resistência a altas e a baixas temperaturas, estabilidade dimensional, e fácil instalação.

O EPDM poli(Etileno-Propileno-Dieno) está entre os elastómeros mais frequentemente utilizado para vedantes de juntas sanitárias. Este material oferece uma excelente resistência química, juntamente com boas propriedades térmicas e preço atraente o que o torna num elastómero comum e versátil sendo também utilizado em produtos farmacêuticos, cuidados pessoais e aplicações alimentares. O maior inconveniente do EPDM é a suscetibilidade aos produtos à base de óleo; esse tipo de produtos provoca inchamento e esta deformação pode comprometer a função do vedante (An Overview of Sanitary Gasket Elastomer Materials, 2014).

Os TPV com base em EPDM e PP possuem propriedades muito boas, designadamente, *compression set*, estabilidade térmica e resistência aos raios ultravioleta, bem como resistência ao envelhecimento e recuperação elástica. Ao mesmo tempo, é compatível com todas as tintas convencionais e tintas acrílicas, caso exista a necessidade estética para um acabamento final.

Alguns exemplos de aplicações de TPE mais concretos:

- Sector automóvel: vedantes de para-brisas (SEBS), fio/cabo (SEBS, TPE-U), fibra reforçada para acabamentos de superfície de toque suave para interior (TPE-O);
- Dispositivos médicos: seringas (TPE-V), tubos (TPE-O), embalagens (TPE-U);
- Eletrónica: fio/cabo (SEBS), tampões de ouvidos (TPE-V), telemóveis (TPE-V);
- Setor do desporto: artigos desportivos (TPE-U), solas de sapatilhas (SBS), brinquedos (SEBS), adesivos (SIS);
- Construção: Juntas de vedação (SEBS) (Shanks & Kong, 2012)

## 2.3 Fadiga

A falha de um material sob a ação de uma carga flutuante, designa-se por fadiga (Crawford, 1998). A fadiga ocorre devido a tensões que variam com o tempo e que provocam deformações plásticas cíclicas localizadas nos pontos mais críticos.

Também se define tensão-limite de fadiga como a tensão abaixo da qual o material suporta um número infinito de ciclos sem romper.

A resistência à falha por fadiga durante a vida útil de um componente é uma consideração importante, pois muitas estruturas estão sujeitas a cargas ou deflexões cíclicas. O acumular do dano provocado pela fadiga que conduz à falha final é afetado por diversos fatores sendo então necessário testar o componente, seja em laboratório, seja no campo, para comprovar que este é fiável (Rosa, 2002).

### 2.3.1 Caracterização do comportamento à fadiga

Tipicamente existem dois métodos que permitem descrever o comportamento à fadiga de um material. Um dos métodos baseia-se na amplitude de tensão (curvas S-N), o outro baseia-se na amplitude de tensão local (curva  $\epsilon$ -N).

Luo et al. (Luo R. C., 2003,) (Luo R. W., 2004) estudaram a resistência à fadiga de apoios anti vibração de borracha utilizadas num sistema de suspensão de um comboio com o auxílio de uma análise de elementos finitos para obter a curva de tensão.

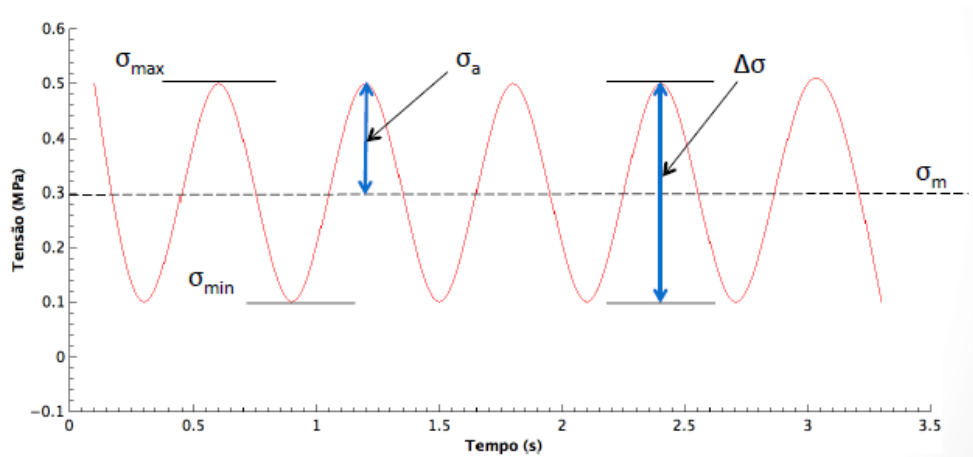


Figura 6- Curva de variação de tensão em função do tempo em solicitações de fadiga

Holzweber e Major (Holzweber & Major, 2014) realizaram também um estudo utilizando uma aproximação semelhante à anterior (Luo R. C., 2003,) (Luo R. W., 2004). Na sua pesquisa, as curvas de Wöhler (S-N) com deformações locais foram criadas sob carga de tração controlada por deslocamento usando uma amostra de diábolo (Figura 7) com uma secção transversal reduzida.



Figura 7- Amostra em estudo, diábolo.

Todos os testes de fadiga foram realizados utilizando um sistema de testes hidráulico localizado no Instituto de Polímeros e Produtos de Engenharia de Johannes Kepler University, Linz. Durante cada teste, a histerese e os valores de carga máxima e mínima,  $F_{max} / F_{min}$ , foram registados continuamente. O critério de falha foi a fratura total da amostra.

### 2.3.2 Relação Dureza/Módulo de Young

Em materiais com comportamento elastomérico uma das principais propriedades a ter em conta é a dureza pois é fácil de determinar e correlacionável com outras propriedades fundamentais no desempenho da peça. Neste caso dos vedantes poderá estar relacionada com a fadiga pois o aumento da dureza pode conduzir à falha por perda da estanqueidade.

É esperado que com o aumento das temperaturas e uso de ambientes que potenciem um envelhecimento rápido, à medida que o número de ciclos aumenta se provoque uma perda de propriedades mecânicas. A dureza está relacionada com uma dessas propriedades, o módulo de Young, com o qual é correlacionável. De seguida vão ser revistas algumas das correlações e a forma de obtenção das mesmas com base na dureza medida com um durómetro.

Os testes de dureza com durómetros são testes fáceis e práticos regularmente utilizados na indústria.

Outro meio de obtenção do módulo de Young geralmente usado:

- Análise Mecânica Dinâmica (DMA) (Larson, 2016).

Embora não haja relação teórica direta entre as escalas de dureza e o módulo de Young, existem fórmulas matemáticas empiricamente derivadas que são úteis para a conversão entre elas (Patton, 2017).

A relação/correlação mais conhecida entre os valores do durómetro e módulo de Young foi estabelecida em 1958 (Gent, 1958):

$$E = \frac{0.0981(56 + 7.62336S)}{0.137505(254 - 2.54S)}$$

Onde, E = Módulo de Young em MPa e S= ASTM D2240 (valor para a dureza medido através de um durómetro para dureza tipo A.)

Esta equação é considerada como uma aproximação inicial do módulo de Young de dureza A numa escala de 20 a 80 pontos.

Outra equação para relacionar com o módulo de Young foi escrita por Ruess sendo definida como (Larson, 2016):

Shore-A to Young's Modulus (in MPa):

$$\log_{10} E = 0.0235S - 0.6403$$

Shore-D to Young's Modulus (in MPa):

$$\log_{10} E = 0.0235(S + 50) - 0.6403$$

Estas correlações enunciadas foram criadas de forma empírica e sofrem de um problema comum, dispersão significativa em qualquer conjunto de dados com os quais tenham trabalhado, por isso devem ser apenas utilizadas para uma análise mais superficial ou de controlo.

Mas mesmo com a dispersão, existem tendências claras. Os dados derivados da secante apresentam uma curva excepcionalmente semelhante à curva, enquanto a dos dados DMA é transferida para um módulo mais alto em comparação.

Comparando os dados da secante com as equações de Gent e Ruess mostra corretamente uma boa correlação, com a equação de Ruess talvez ajustada um pouco melhor, como se pode ver na Figura 8.

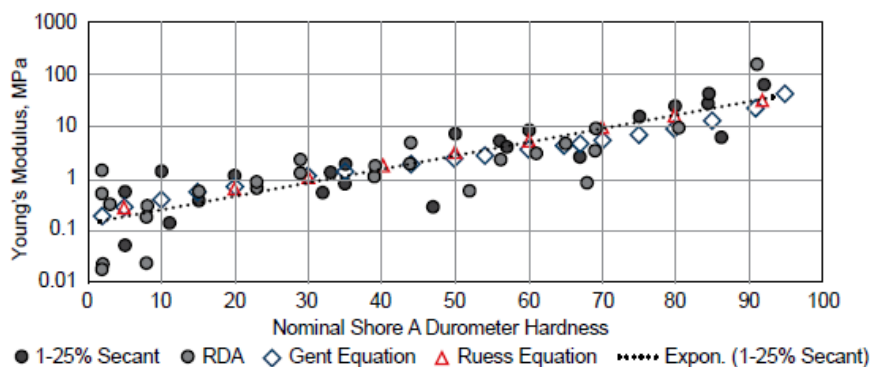


Figura 8- Comparação do módulo de Young com a dureza Shore A

Contudo existem algumas limitações nesta técnica causada por diversos fatores como:

- A carga cíclica dá lugar ao efeito Mullins, onde as respostas à curva tensão/deformação são afetadas pela carga máxima anterior. Tais mudanças são muitas vezes recuperáveis em baixas tensões, mas podem-se tornar permanentes em deformações mais altas;

- A fadiga do material ao longo do tempo podem induzir defeitos como que reduzem drasticamente a carga necessária para causar falha;

- As exposições a temperaturas elevadas, e especialmente quando acopladas com tensões de compressão, muitas vezes podem levar a reticulação adicional, o que pode aumentar os valores de módulo e dureza;

- A exposição a líquidos e óleos solúveis pode causar plasticização, o que reduz o módulo e a dureza. Tais mudanças podem ser temporárias ou permanentes, dependendo da volatilidade do contaminante.

Apesar das limitações relatadas esta técnica definida por Gent (Gent, 1958) pode ser bastante útil para estabelecer a relação entre a perda de propriedades mecânicas (neste caso o módulo de elasticidade) com o número de ciclos de forma a prever a vida útil do componente.

## **2.4 Envelhecimento forçado de materiais elastoméricos**

De forma a poder estudar o comportamento dos vedantes em situações críticas, pretende-se de alguma forma localizar (e posteriormente analisar) ensaios que tenham tentado simular/recrutar uma situação de envelhecimento no material, fazendo com que este de alguma forma perca algumas das suas propriedades.

### **2.4.1 Princípios de degradação**

Os elastómeros são processados acima da sua temperatura de amolecimento. As condições tais como elevada temperatura, presença de oxigénio e taxa de corte substancial podem causar reações químicas, o que por sua vez causa o início da degradação. A decomposição térmica é um processo químico no qual o material sólido gera fragmentos voláteis que podem queimar acima do material sólido. Os elastómeros podem ceder termicamente por um processo oxidativo ou pela ação do calor. Na presença de oxidantes, o processo de decomposição é acelerado (Hihara, Adler, & Latanision, 2013).

Os mecanismos gerais de degradação que devem ser considerados incluem alterações microestruturais e de composição, deformação acumulada ao longo do tempo e dano resultante, ataque ambiental e por fim aceleração da degradação devido a exposição a temperaturas elevadas (Sciences & Board, 1996).

#### 2.4.2 Envelhecimento e tempo de vida

Para elastómeros que são utilizados em aplicações envolvendo longos períodos de vida, muitas vezes é necessário começar por realizar e modelar ensaios de envelhecimento acelerado a temperaturas superiores à temperatura ambiente e, em seguida, extrapolar os resultados de modo a fazer previsões ao longo da vida à temperatura de utilização. (Clough, 1997)

Chaffin et al. (Chaffin, Wilson, Himes, & Dawson, 2013) fizeram experiências com PDMS para caracterizar a sua resistência à abrasão e fadiga quando submetidos a uma exposição à água a temperaturas elevadas. O método experimental consistiu em imergir as amostras em água com pH controlado. Posteriormente avaliaram a resistência à fadiga sujeitando o material a ciclos de carga em banho de água desionizada a 37°C e deslocamento de 2 Hz. Concluíram então que existiu uma diminuição na massa molecular. Como resultado o aumento da temperatura simula o tempo de exposição prolongado a 37°C. Constatou-se também que a taxa de desgaste e a taxa de propagação de fratura devido à fadiga aumentaram como consequência do decréscimo da massa molecular.

Também Deng et al. (Deng, Yu, & Ho, 1994) estudaram os efeitos do envelhecimento do poliuretano elastomérico em três ambientes diferentes (25 e 85°C em contacto com o ar e 85°C em contacto com água) verificando que as amostras submetidas a envelhecimento temperatura elevada afetavam as suas propriedades mecânicas, tais como diminuição do declive inicial da curva tensão-deformação, tensão de rotura e alongamento à rotura.

#### 2.4.3 Como prever propriedades a longo prazo?

Atualmente é um desafio conseguir prever as propriedades de um determinado produto a longo prazo, saber como é que ele se irá comportar à medida que vai envelhecendo. Existem vários testes de curta duração que em períodos de tempo mais curtos conseguem extrapolar como irá ser o seu comportamento daqui a uns anos e qual será o seu tempo de vida útil.



O método para este tipo de previsões consiste na realização de testes de envelhecimento a várias temperaturas e em que se determinam periodicamente propriedades mecânicas ou elétricas para avaliar os efeitos dessa exposição na retenção da propriedade em questão. Ao longo do tempo, a oxidação, que se presume ser o mecanismo associado ao envelhecimento, causa um declínio nessas propriedades. Quando as propriedades diminuïrem por uma percentagem pré-definida em relação aos valores para um conjunto de amostras não expostas, a falha é considerada como tendo ocorrido (Sepe, 2015). Bender e Campomizzi em 2001 observaram que essa percentagem seria por volta dos 50% (Bender & Campomizzi, 2001). Vários destes estudos seguem a norma ISSO 11346 onde através do uso equação de Arrhenius ou da equação do WLF se obtêm essas extrapolações como na investigação de Pinho na OLI (Pinho, 2016).

O modelo de Arrhenius (Sepe, 2015) e (Hihara, Adler, & Latanision, 2013), descreve uma relação exponencial entre a temperatura e a taxa em que as propriedades diminuem, e estabelece um fator de aceleração derivado da inclinação da linha que relaciona esses parâmetros.

Equação de Arrhenius:

$$\log a_{T/T_0} = \frac{E_a}{2.303R} \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

$a_{T/T_0}$  é o fator de deslocamento;

$E_a$  é a energia molar de ativação (J/mol), passível de ser determinada experimentalmente;

T é a temperatura mais elevada;

$T_0$  é a temperatura de referência.

Geralmente, este fator de aceleração é considerado como 2 para uma mudança de temperatura de 10°C, isso leva à regra geralmente utilizada de que elevar a temperatura de um ambiente de aplicação em 10°C reduza a metade a vida útil de um material e reduzindo a temperatura pelo mesmo incremento irá dobrar a vida útil.

## 2.5 Contexto do trabalho

Como se referiu, existem vários métodos normalizados que permitem caracterizar a fadiga resultante de cargas cíclicas, onde através de ensaios em que uma força é aplicada num determinado tipo de provete varia com uma certa frequência e se obtêm uma curva do tipo S-N.

Muitas das vezes este tipo de testes não tem em conta diversos fatores, como a geometria do provete e tudo o que isso acarreta a nível de orientações moleculares e consequentemente propriedades mecânicas, nem o ambiente em que o objeto estará inserido.

Assim, é necessária a construção de um dispositivo próprio que permita analisar o efeito das cargas cíclicas no próprio vedante

Este equipamento deverá permitir o ensaio de vedantes em serviço, a várias temperaturas e com vários fluidos. A dureza dos vedantes deverá ser avaliada periodicamente e os dados tratados de forma a prever o mecanismo de envelhecimento dos materiais usados nos vedantes. A estanqueidade deve ser verificada diariamente.

### 3. EQUIPAMENTO

Para se analisar o comportamento dos vedantes à fadiga em serviço, neste caso específico submerso em água foi projetado e construído um equipamento protótipo que satisfizesse as especificações do propósito do ensaio.

Para este tipo de ensaio que se pretende criar, o conjunto válvula (Figura 9) funcionará como se estivesse montado dentro de um autoclismo só que em condições mais críticas a nível de temperatura da água (temperaturas mais altas) e tempos cíclicos mais críticos onde se pretende eliminar qualquer tipo de tempos mortos aumentando as velocidades de enchimento dos tanques e diminuindo os tempos de repouso mantendo assim solicitações constantes de forma a tentar oxidar o material para que se possam avaliar esses mesmos efeitos no comportamento dos vedantes.



*Figura 9- Conjunto válvula*

### 3.1 Especificações

É necessário estabelecer todas as especificações, quer dimensionais quer funcionais para a conceção do equipamento. Com base nelas, foi realizado o dimensionamento mecânico e posteriormente elaborado um caderno de encargos onde constam as principais especificações.

#### Estrutura

Duas cubas para colocação dos conjuntos válvula com vedante a ensaiar;

A estrutura para colocação dos outros componentes;

Vidro temperado (devido às temperaturas) na zona frontal para possibilitar visualização;

Reservatório termostático para recirculação do fluido de autoclismo a usar;

Motobomba para enchimento das cubas;

Atuador pneumático para a descarga das válvulas de nível nas cubas (estão interligadas para enchimento simultâneo) que desliga a motobomba;

Tampa superior vedada para não existirem perdas de calor (chapa);

Pneumático de ativação do equipamento;

Tubagens de circulação do fluido de autoclismo;

Secção na base do reservatório que seja removível (que funcione como um postigo) para que se possam utilizar diâmetros diferentes dos vedantes (62mm e 85mm).

#### Sistema de controlo

Sensor de nível para cada reservatório que permita ajustar facilmente a quantidade de água;

Controlador de temperatura do líquido de descarga, temperatura mínima de 5° e máxima de 50 ° C (tolerância de + ou -5 graus aceitável);

Contador de ciclos;

Quadro de comando;

Os requisitos e descrição completa do equipamento em anexo no respetivo caderno de encargos elaborado para a aquisição do equipamento (

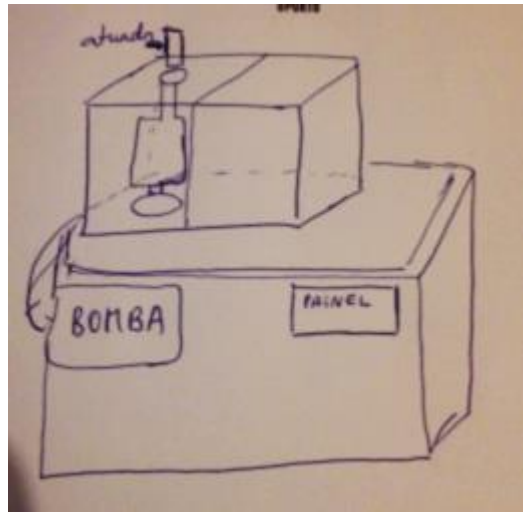


Figura 10- Esquizo inicial do dispositivo

### 3.2 Ciclo de funcionamento

O ciclo de funcionamento do equipamento é definido pelo controlador e compreende as seguintes fases:

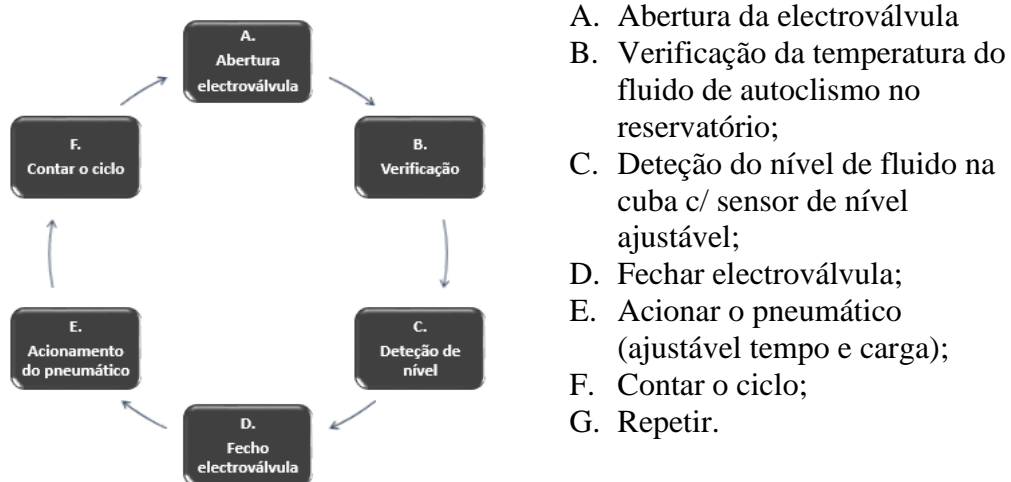


Figura 11- Ciclo de funcionamento do dispositivo de testes

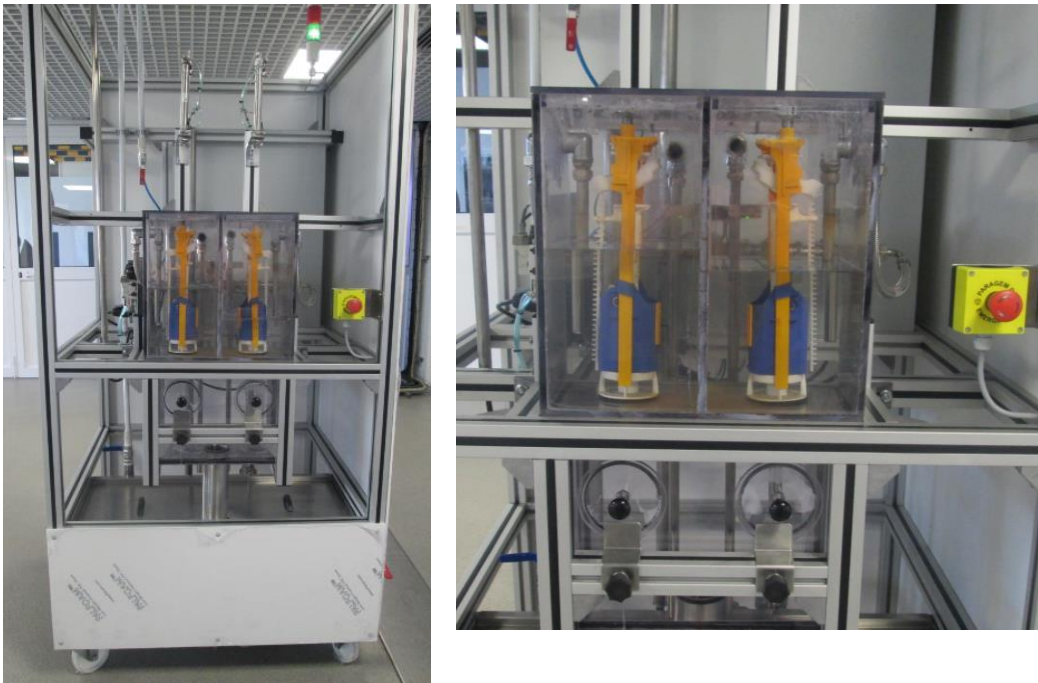
Sucintamente o processo inicia-se com o enchimento das cubas até a altura definida pelo sensor de nível. Este sensor deteta o nível e faz com que a electroválvula feche.

Depois é feita a descarga por acionamento do pneumático, saindo a água para a tina de armazenamento; e o ciclo é registado no contador.

### 3.3 Estrutura e design

O equipamento é constituído por duas cubas que estão assentes numa estrutura metálica. Na base existe uma tina gigante que recebe a água proveniente das cubas de ensaio. O quadro elétrico e respetivo painel de controlo do equipamento situa-se na parte traseira da estrutura.

Esta solução permite testar simultaneamente dois conjuntos válvula com as mesmas condições de ensaio.



*Figura 12- Equipamento de ensaio*

## **4. EXPERIMENTAL**

Neste capítulo descrevem-se as fases experimentais do trabalho desde a injeção dos vedantes até à sua análise mecânica.

### **4.1 Matéria-prima**

O material utilizado foi um TPE-E, SEBS, que é elastómero termoplástico com base em copolímero de blocos de estireno - etileno/ butileno - estireno de grade comercial Monprene CP10130.

Esta matéria-prima tem um custo de 3,83 €/kg para entregas de paletes de 1000 kg.

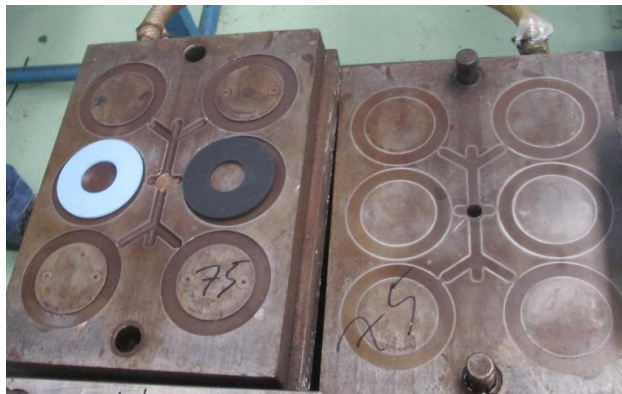
Genericamente este material tem dureza reduzida, cerca de 31 Shore A (Shore A, 1 s) e apresenta-se como sendo uma boa alternativa para produtos feitos em borracha. A ficha técnica encontra-se no Anexo II – Ficha técnica dos materiais.

### **4.2 Moldação por injeção**

Para a injeção dos vedantes foi reutilizado o molde nº 75 da empresa. Apenas foi necessário maquinar as placas da cavidade e da bucha, sendo essa intervenção feita realizada na Moldaveiro. A injeção dos vedantes foi realizada nas instalações da OLI.

#### **4.2.1 Molde**

O molde reutilizado foi adaptado como molde protótipo para se poderem estudar materiais e diferentes condições de processamento para este tipo vedantes em TPE.



a)



b)

Figura 13- a) Molde antes da maquinação; b) Molde após maquinação

Este molde possuía seis cavidades com a mesma impressão, posicionadas em forma de espinha de peixe e sem sistema de extração.

Para este estudo irá funcionar apenas com duas impressões diferentes em funcionamento para a injeção dos vedantes. Como se trata de um molde protótipo não foi previsto nenhum tipo de extração, sendo a ejeção das moldações feita manualmente quando o molde abre. É um molde de canais frios e o enchimento das peças é feito através de um único ponto de injeção.

#### 4.2.2 Injeção

Para a injeção das peças foi utilizada uma injetora MIR, de 30 toneladas de força de fecho.

A janela de processamento encontrada que satisfizesse as pretensões técnicas necessárias foi a seguinte:

Tabela 1- Condições de injeção

Perfil de Temperaturas (°C)				Tempo (s)		Temperatura do molde (°C)	Contra pressão (bar)
Bico	Zona1	Zona2	Zona3	Injeção	Arrefecimento		
205	210	200	170	2,5	25	40	3



A peça apresenta um bom acabamento superficial como é visível na Figura 14, não apresentando rebarbas, que é um aspeto crítico a ter em conta para uma vedação adequada.



Figura 14- Vedante injetado em Monprene CP10130

### 4.3 Ensaios de tração

Foram ensaiados 6 provetes à tração para se obter a curva tensão/deformação e posteriormente determinar o módulo de elasticidade do material e extrapolá-lo para temperaturas superiores. Os provetes utilizados são normalizados do tipo 2 de acordo com a norma ISO 37:2011 e com as seguintes dimensões:

Dimensões	Tipo 2
A	75
B	$12,5 \pm 1$
C	$25 \pm 1$
D	$4 \pm 0,1$
E	$8 \pm 0,5$
F	$12,5 \pm 1$

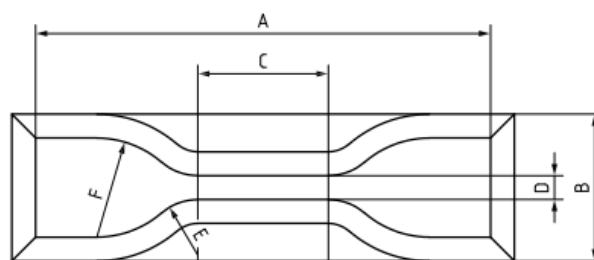


Figura 15- Dimensão normalizada para provetes tipo 2

Este ensaio foi realizado à temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ ) numa máquina de ensaio Zwick Z005.

A velocidade de deslocação do travessão é de 500mm/min.

#### 4.3.1 Procedimento Experimental

##### Obtenção das curvas:

- i. Com auxílio de um paquímetro mede-se a espessura, em 3 pontos, dos provetes a caracterizar;
- ii. Coloca-se o provete na máquina de tração preso nas amarras ajustando a distância entre elas se necessário;
- iii. Ajustam-se os parâmetros no computador relativos à área da secção transversal e da velocidade do teste iniciando-se o ensaio;
- iv. O teste inicia, o provete é estirado até uma deformação estipulada, obtendo-se assim a curva tensão/deformação;
- v. No fim, retira-se o provete da máquina e repetem-se novamente as etapas anteriores para os provetes restantes.

##### Tratamento das curvas:

O declive da reta (ver Figura 16, reta número 1) corresponde ao domínio elástico, e determina-se através da razão entre a tensão e a deformação; designa-se por módulo de elasticidade (também conhecido por módulo de Young). Em materiais onde é difícil identificar a zona linear da curva tensão/deformação é mais comum calcular-se o módulo secante, este módulo corresponde ao declive da reta (identificada na Figura 16 com o número 2) traçada entre a origem e um ponto de deformação pré-selecionado.

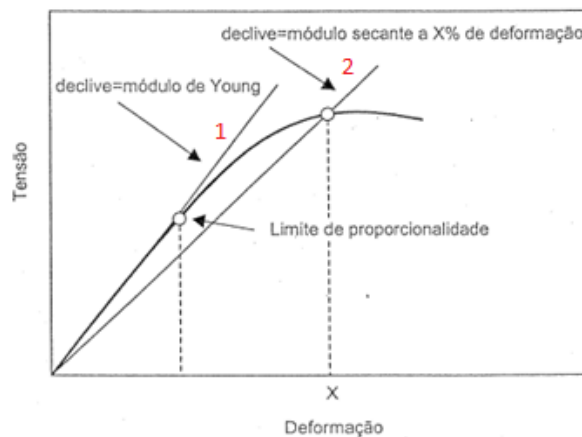


Figura 16- Gráfico Tensão/Deformação (Propriedades e Ensaio, Clara Cramez, 2006)

## 4.4 Ensaios de fadiga

O comportamento dos vedantes submetidos à fadiga foi avaliado com o dispositivo descrito na secção 3. Este dispositivo permite recriar os esforços mecânicos e ataques químicos a que o vedante irá estar sujeito em serviço, bem como detetar o número de ciclos até à falha em diversos tipos de ambientes (diferentes concentrações de calcário, temperaturas da água, etc.).

### 4.4.1 Plano de controlo

O número de ciclos durante os quais os vedantes conseguem atuar de forma eficaz foi determinada usando um plano de controlo que permitisse controlar diariamente o número de ciclos efetuados na peça. Os parâmetros de controlo usados foram os seguintes:

- i. O controlo do número de ciclos é realizado de forma bi-diária, ou seja, é realizado um controlo ao início do dia (entre as 8-10h) e outro ao fim do dia (entre as 15-17h);
- ii. Para o efeito deste estudo serão apenas registados o número de ciclos e verificação da conformidade do ensaio;
- iii. Em cada controlo observar um número mínimo de 3 ciclos para verificar a integridade do ciclo;

O plano de controlo completo está apresentado no Anexo V – Plano de controlo.

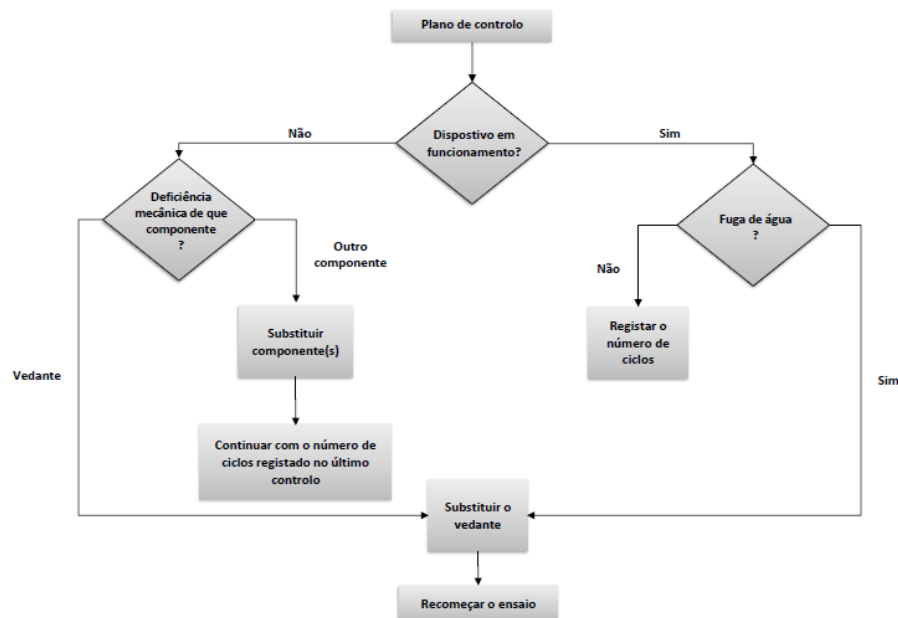


Figura 17- Árvore de decisão para o plano de controlo

#### 4.4.2 Procedimento experimental

O equipamento tem duas estações de ensaio que funcionam simultaneamente. Foram montados dois conjuntos válvula Atlas (Figura 18) onde apenas se varia o material do vedante, um em silicone e o outro em TPE (Monprene CP10130). Assim se poderá estabelecer uma comparação quanto ao desempenho dos dois vedantes à fadiga.

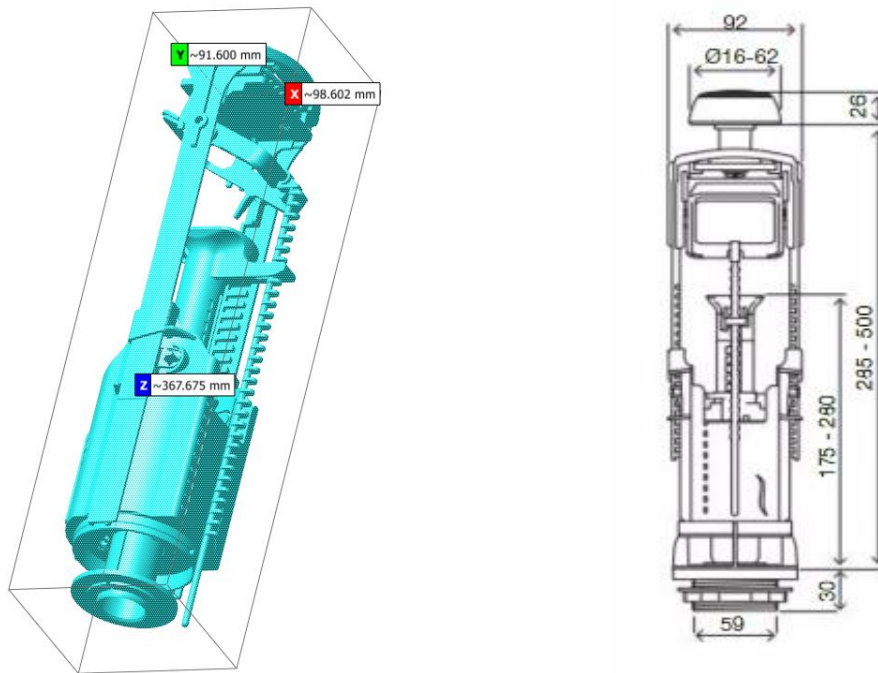


Figura 18- Desenho 3D e 2D da válvula Atlas

#### 4.4.3 Condições de ensaio

Para este ensaio pretendeu-se que fosse o mais rápido possível de modo a que se pudesse fazer um grande número de ciclos num curto espaço de tempo disponível para a realização desta dissertação e também que se exigisse mais a nível mecânico dos vedantes. Deste modo, foi definida uma frequência de enchimento que possibilitasse um grande caudal no momento do enchimento e foram reduzidos (definidos como zero) alguns tempos mortos, como o tempo de repouso e o tempo entre ciclos.

A altura da água nas cubas foi a mesma utilizada nos autoclismos numa descarga completa através do posicionamento do sensor à mesma altura (345mm) do tubo ladrão.

Definiram-se as condições ótimas de ensaio que são as indicadas na Tabela 2:

Tabela 2- Condições de ensaio

Volume de enchimento (l)	Frequência enchimento (Hz)	Tempo (s)				
		Enchimento	Repouso	Descarga	Entre ciclos	Ciclo
13,8	30	14	0	3	0	18

A água utilizada neste ensaio foi água da rede pública e a temperatura da foi definida para 40°C de forma a aumentar a oxidação do material.

Com esta configuração é possível realizar uma média de 4800 ciclos/dia em condições normais. O tempo de ciclo está definido da seguinte forma:



Figura 19- Distribuição do tempo de ciclo

Como se representa no gráfico da Figura 19 a fase mais longa é a de enchimento com cerca de 82% o equivalente a 14 s dentro de um tempo total de 18 s.

## 4.5 Controlo das durezas

De forma a estudar a evolução da dureza em função do tempo/número de ciclos, foram medidas as durezas iniciais de cada vedante e posteriormente a partir das 600 h de utilização até ao fim do ensaio. Estas medições são feitas com a ajuda de um durómetro calibrado para leitura de durezas na gama de durezas Shore A. Foi utilizado um valor médio obtido a partir de 3 medições.



*Figura 20- Durómetro Shore A, indenter35°*

## RESULTADOS

### 4.6 Ensaios de Tração

Foi estudada a influência da temperatura no módulo de elasticidade com ensaios de tração à temperatura ambiente. Posteriormente determinou-se o fator de redução registrado em materiais idênticos do mesmo produtor em função das temperaturas.

#### 4.6.1 Curva Tensão/Deformação

Os ensaios de tração realizados com provetes em TPE Monprene CP10130 têm um padrão típico como o da curva tensão/deformação na Figura 21.

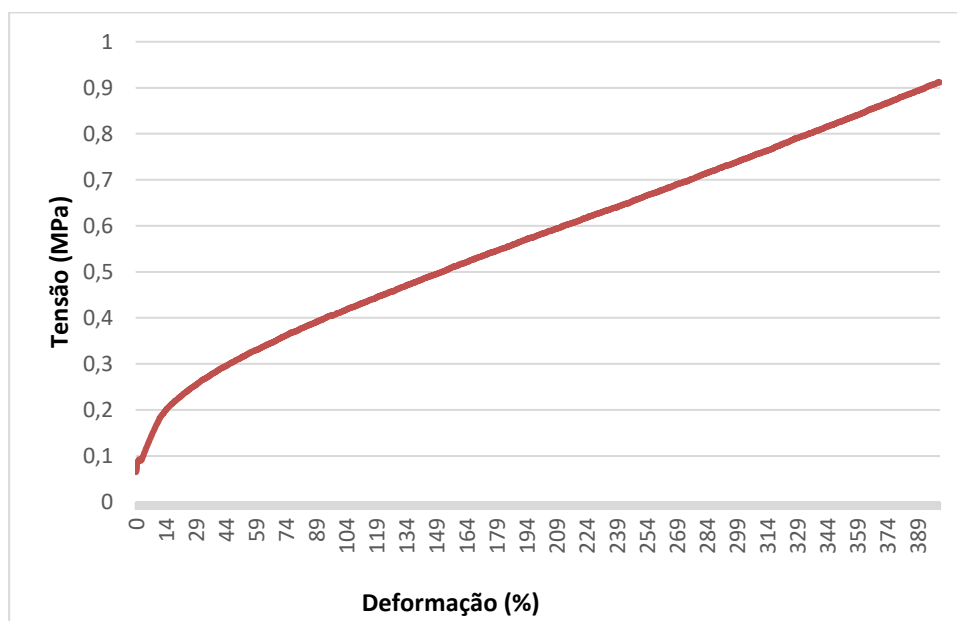


Figura 21- Curva tensão/deformação à temperatura ambiente (23°C)

Neste ensaio não foi possível provocar a rotura dos provetes, pois estes estiravam sempre até ao comprimento máximo entre amarras. Assim o ensaio foi realizado até a deformação atingir os 400%. A velocidade de ensaio utilizada, 500 mm/min, é a normalmente utilizada neste tipo de materiais elastoméricos. O ensaio foi realizado a uma temperatura controlada de 23°C.

Foi possível verificar através deste ensaio que este material apresenta uma deformação do tipo elástica pois, quando a carga é retirada, o provete retorna à sua forma inicial mesmo quando estirado até ao alongamento máximo permitido pelo equipamento.

#### 4.6.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade a 23°C foi calculado através do módulo secante, a uma deformação de 100%, sendo então obtido o módulo de elasticidade a 100%, de acordo com a seguinte equação:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Em que:

**E**- Módulo secante;

**$\sigma$**  – Tensão aplicada

**$\varepsilon$**  - Deformação elástica longitudinal

A análise estatística dos resultados do módulo de elasticidade dos seis provetes ensaiados, com um máximo de 0,6 MPa e um mínimo de 0,3 MPa, dá como valor médio 0,49 MPa e com desvio padrão de 11,75%

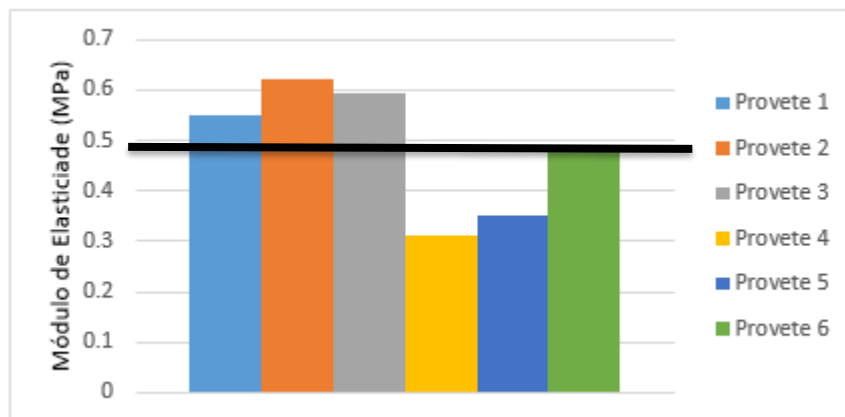


Figura 22- Variação do módulo de elasticidade por provete à temperatura ambiente (23°C)

Como se pode verificar na Figura 22 o valor do módulo secante teve algumas variações de provete para provete, em que o máximo obtido rondou os 0,6 MPa ao passo que o mínimo andou pelos 0,3 MPa. Em média o módulo de elasticidade à temperatura ambiente apresentou um valor de 0,49 MPa com um erro associado de 11,75%. O módulo



de elasticidade médio obtido experimentalmente assemelha-se ao módulo facultado na ficha técnica do fornecedor, 0,48 MPa (Anexo II – Ficha técnica dos materiais)

#### 4.6.3 Extrapolação do Módulo Secante

A previsão do comportamento dos vedantes às temperaturas desejadas para os ensaios de fadiga, neste caso temperatura máxima de 50°C, é feita por extrapolação do módulo obtido nos ensaios de tração à temperatura ambiente de 23°C para a temperatura de 50°C.

Esta extrapolação foi feita assumindo que este material se comporta como os materiais Sarlink do produtor Teknor Apex (ver Anexo VI – Relação Módulo/Temperatura). As versões do Sarlink que se assemelham bastante a nível de propriedades com o Monprene CP10130 tornando-se assim esta extrapolação uma boa forma de prever as alterações no módulo de elasticidade com o aumento da temperatura.

Para se estabelecer uma relação entre o módulo à temperatura de 25°C e a 50°C foi usada a informação do módulo a estas mesmas temperaturas de acordo com a Figura 23.

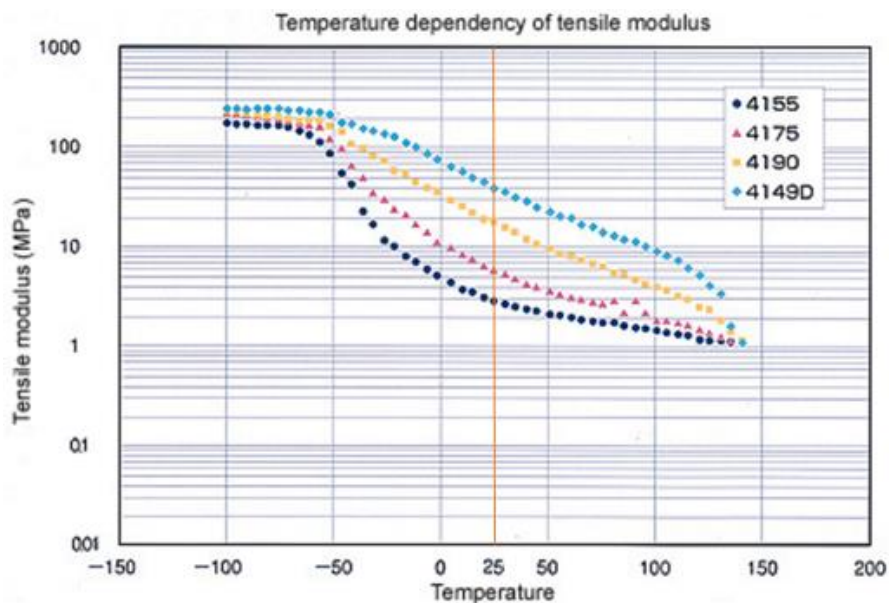


Figura 23- Módulo em função da temperatura para vários Sarlink

Para o Sarlink 4155 (representado a azul escuro), foram definidos os pontos (Temp;Modulus) P<sub>1</sub> (25;3) que corresponde ao ponto a 25°C e P<sub>2</sub> (50;2) corresponde ao ponto a 50°C.

Assim o fator de redução do módulo para esta variação de temperatura é

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{2}{3} = 0,6667$$

Este fator pode ser usado com alguma aproximação para prever o módulo a 50°C do material Monprene CP10130 que tem propriedades de base semelhantes ao Sarlink 4155-

De acordo com o fator de redução obtido anteriormente foi realizada para o material Monprene CP10130 a seguinte extrapolação:

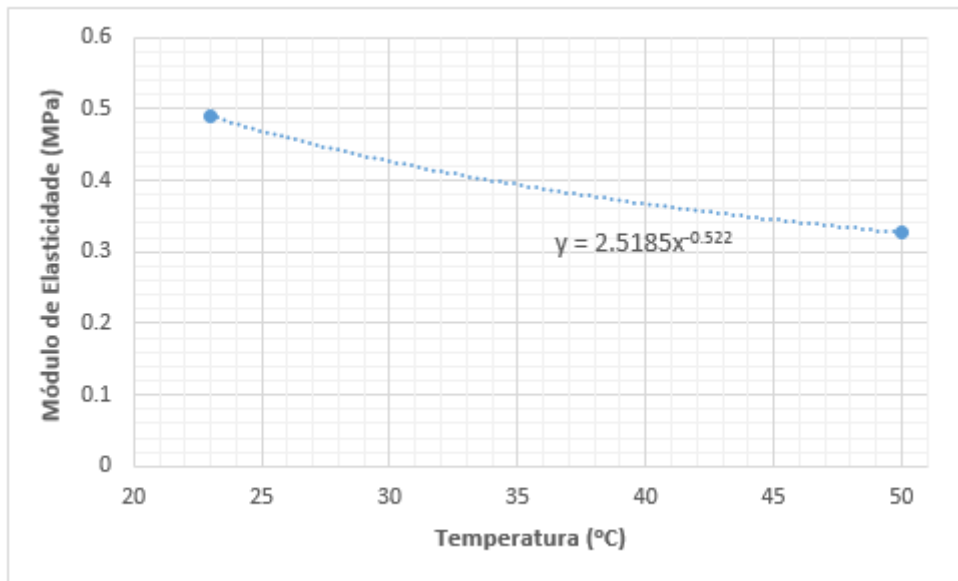


Figura 24- Evolução do módulo de elasticidade em função da temperatura para o Monprene CP10130

Através da extrapolação, tal como esperado, foi possível verificar que o módulo secante a 50°C iria ser mais baixo que à temperatura ambiente de 23°C, obtendo-se um módulo de 0,33 MPa a 50°C. Logo é expectável que com o aumento da temperatura o material possa começar a ceder devido à redução do módulo de elasticidade.

#### 4.7 Tensão máxima dos vedantes em serviço

No caso específico do vedante este está submetido a uma carga uniformemente distribuída correspondente à altura de 345 mm de líquido.

A tensão a que o vedante está submetido é máxima, quando se atinge a maior pressão de água no tanque. Este momento está definido na fase em que o tanque se

encontra com uma altura de água de 345mm (altura definida pela altura do tubo ladrão) correspondente a um volume de 13,8 litros.

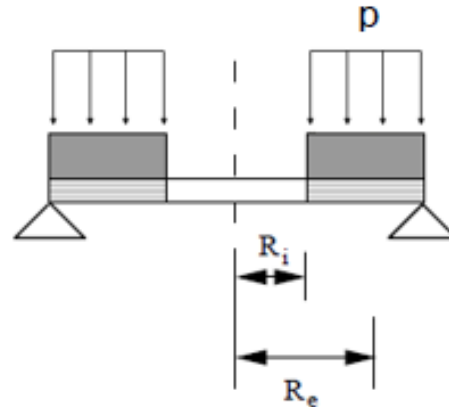
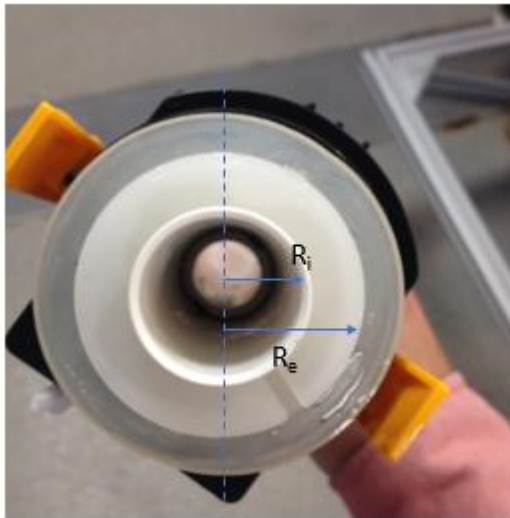


Figura 25- Representação esquemática das cargas aplicadas no vedante

Foi calculado o valor da pressão que a água exerce no vedante através da seguinte equação:

$$P = \rho g h$$

Onde:

$P$ - é a pressão em um ponto específico ou a diferença entre a pressão inicial e final do sistema;

$\rho$ - é a massa volúmica do líquido;

$g$ - é a aceleração gravitacional;

$h$ - é a profundidade do ponto dentro do líquido.

Através da densidade específica da água a 40°C (992,2 kg/m<sup>3</sup>) e da altura da água nas cubas, obteve-se o valor da pressão sobre os vedantes de 3,358 kPa.

## 4.8 Ensaios de fadiga

### 4.8.1 Desempenho dos vedantes

Foram ensaiados os vedantes segundo as condições definidas na secção 4.4 desta dissertação. Este ensaio foi realizado nos vedantes de ambos os materiais, TPE e silicone. No tanque nº 1 do dispositivo foi ensaiado o vedante em silicone e no tanque nº2 o TPE.

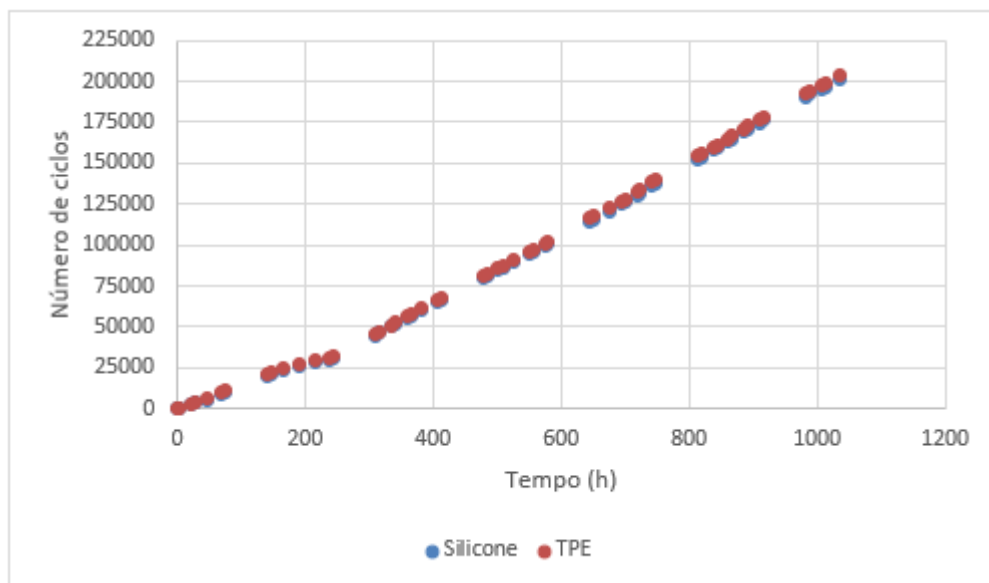
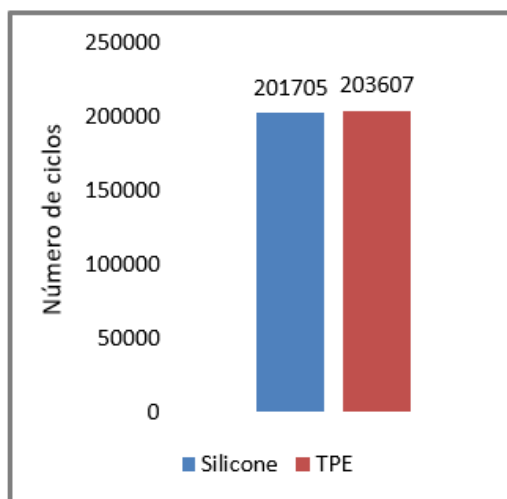


Figura 26- Evolução do nº ciclos vs tempo

O ensaio teve a duração de 1036,5 horas, que correspondeu ao tempo necessário para que o número ciclos ultrapassasse a barreira normalizada dos 200 000 ciclos (requisito necessário para aprovação deste tipo de produtos, EN14055).



*Figura 27- Controlo do número de ciclos por material*

Durante as 1036,5 h de ensaio, o vedante foi submetido a uma carga cíclica intensa pois todos os tempos estavam apertados ao máximo para que o tempo do ensaio fosse o mais curto possível. Neste período de tempo foi registado um número de 201 705 ciclos para o vedante em Silicone e 203 607 para o vedante em TPE.

A estanqueidade dos tanques foi observada em ambos os materiais, sendo assim assegurado o cumprimento do efeito de vedação. O ensaio foi controlado diariamente de acordo com o anexo (Anexo VII – Controlo diário).



*Figura 28- Vedante em TPE após 200 mil ciclos*

Visualmente, como se pode verificar na Figura 28, o vedante em TPE após ter ultrapassado os 200 mil ciclos não sofreu deformações visíveis, continuando a funcionar bem à temperatura de serviço de 40°C.

#### 4.8.2 Evolução da dureza

Neste ensaio, a dureza foi monitorizada antes da montagem dos vedantes no respetivo conjunto válvula, e posteriormente ao longo do ensaio.

Os materiais dos vedantes têm dureza bastante baixa, abaixo dos 40 Shore A. No caso específico do vedante em TPE apresenta uma dureza inicial mais alta, 35,1 Shore A, comparativamente com a do silicone, 31,57 Shore A.

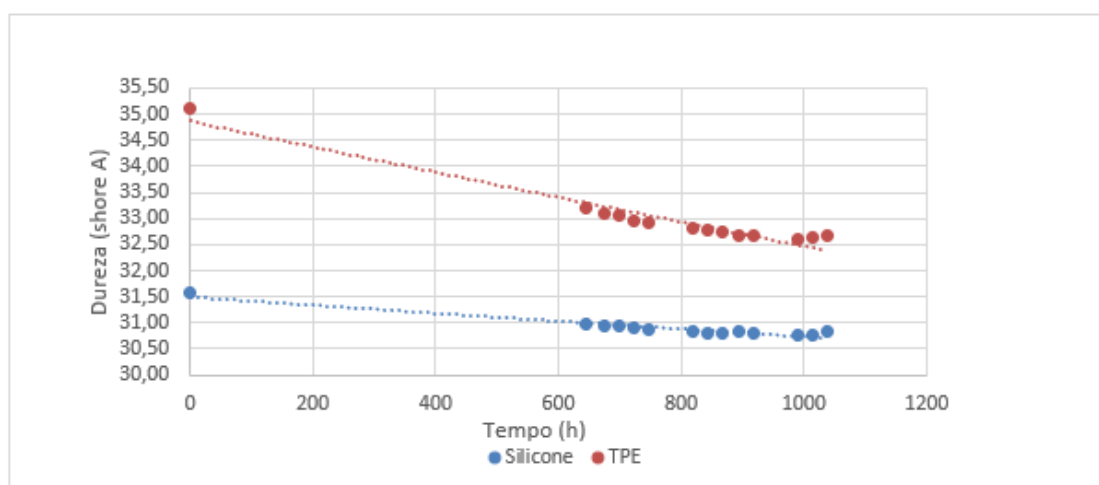


Figura 29- Variação da dureza em função do tempo

Ao longo do tempo, as durezas (controlo completo em Anexo IX – Controlo das durezas) foram baixando devido ao efeito da temperatura, que em média rondou o 42,71°C. Esta situação confirmou o que já tinha sido obtido através da extrapolação do módulo secante para estas temperaturas, pois apesar da dureza e módulo não estarem proporcionalmente interligadas é possível correlacioná-las em determinadas situações.

O valor mínimo de dureza registado foi de 30,77 Shore às 988 h de ensaio para o vedante em silicone, enquanto que o vedante em TPE também no mesmo de tempo ensaio registou 32,6 Shore A de dureza mínima.

### 4.8.3 Variação da dureza ao longo do tempo

Como era previsto que a variação da dureza não se manifestasse inicialmente de uma forma muito acentuada o 2º controlo só foi efetuado após 600h do início do ensaio, e após isso com regularidade diária.

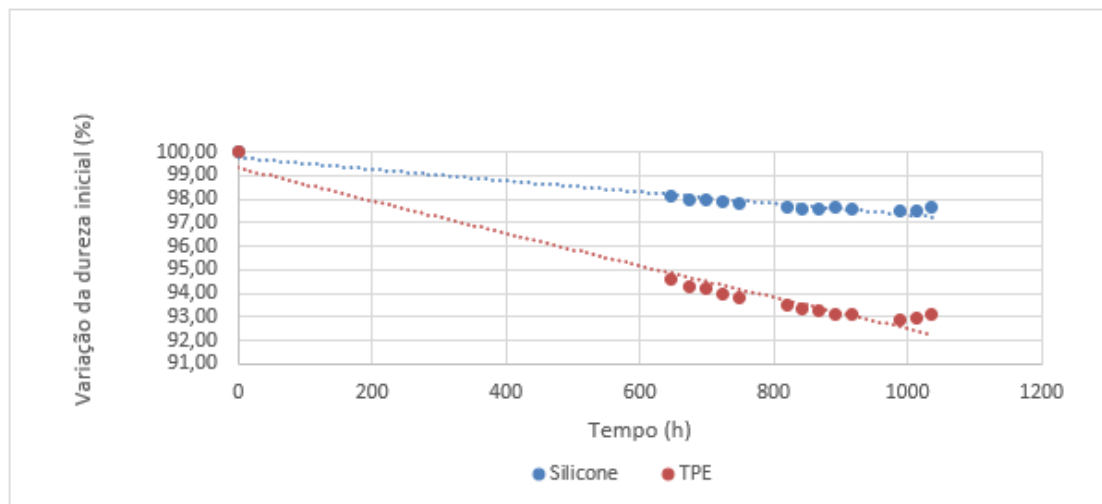


Figura 30- Variação percentual das durezas ao longo do tempo

Em geral a dureza de ambos os materiais exibe um comportamento parecido. A dureza baixa até a um limite e depois observa-se uma inversão na tendência. A perda de dureza é mais acentuada no caso do vedante em TPE.

Imediatamente antes das 1000 h de ensaio, que correspondem a cerca 195 000 ciclos, o comportamento inverteu-se e deixou de se observar um decréscimo das durezas em ambos os materiais, levando a crer que, após este momento, não iria existir grande variação até o vedante ceder por completo e deixar de vedar.

O tempo de ensaio correspondente entre as 900 e as 1000 h, é considerado o tempo crítico do ensaio, pois é onde a tendência se inverte, logo será neste tempo onde a oxidação originada pela temperatura da água em contacto com os vedantes é máxima. Pode-se então definir o tempo crítico para os dois materiais neste intervalo de valores.

O vedante em silicone exibe um comportamento melhor à fadiga comparativamente com o TPE pois a sua dureza sofre uma redução menor ao longo do tempo, 2,53% contra 6,92% do TPE.

Apesar do valor parecer muito maior quando se comparam os dois, a variação das durezas é inferior a 10%,





## CONCLUSÃO

O objetivo da presente dissertação foi estudar o comportamento dos termoplásticos elastoméricos em fadiga, aplicados a vedantes utilizados em produtos sanitários. Foi estudada a possibilidade de substituição de um vedante em silicone (adquirido externamente pela empresa) por um produzido num material termoplástico elastomérico, que pudesse ser processado por injeção nas instalações da OLI- Sistemas Sanitários S.A.

Foi projetado e construído um equipamento para estudar o comportamento dos vedantes à fadiga nas condições muito específicas desta aplicação. Os resultados obtidos no procedimento experimental poderão ser reproduzidos em outras condições, quer de ambiente de serviço quer de outros materiais. Este equipamento protótipo pode ser visto como uma mais-valia para a decisão de introdução de outros materiais no sistema produtivo da empresa.

A matéria-prima Monprene CP10130, SEBS, TPE, foi a alternativa estudada para os vedantes em silicone normalmente utilizados. Para efeitos comparativos, foi também estudado o silicone original.

Nos ensaios de injeção foi possível obter peças com bom acabamento que permite assegurar a principal função do componente, que é a vedação.

Ambos os vedantes resistiram às sucessivas cargas cíclicas em flexão, nas condições reais de serviço, com pressão de água sobre o vedante de 3,358 kPa. Foram efetuados mais de 200 000 ciclos em cerca de 1000 h de ensaio, a temperatura de 42,7°C.

A estanqueidade foi observada em ambos os casos, mesmo tratando-se de um ensaio mais severo em termos de frequência e de temperatura.

O material Monprene CP10130 é um material que tem boa resistência à temperatura, embora inferior ao do silicone.

Concluiu-se que uma variação de dureza do material em serviço na ordem dos 8% é aceitável para este tipo de função. Através da análise dos dados obtidos pode-se concluir que nestas condições de ensaio o período crítico encontra-se entre as 900 e as 1000 h.

Assim, concluiu-se que o TPE tem um desempenho inferior ao silicone, mas é uma solução viável para se aplicar nesta geometria específica de vedantes com função de vedação.



## **5. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se, como continuação do trabalho efetuado:

- 1) Estudos com outro tipo de ambientes mais agressivos, a nível de composição química da água, que possam degradar mais rapidamente o material;
- 2) Utilização de outras temperaturas para se obterem resultados que permitam extrapolações mais exatas;
- 3) Analisar mais detalhadamente a variação da dureza com o funcionamento cíclico e as situações de rotura;
- 4) Utilizar este equipamento, para analisar outros componentes plásticos da válvula submetidos a água com temperaturas controladas.

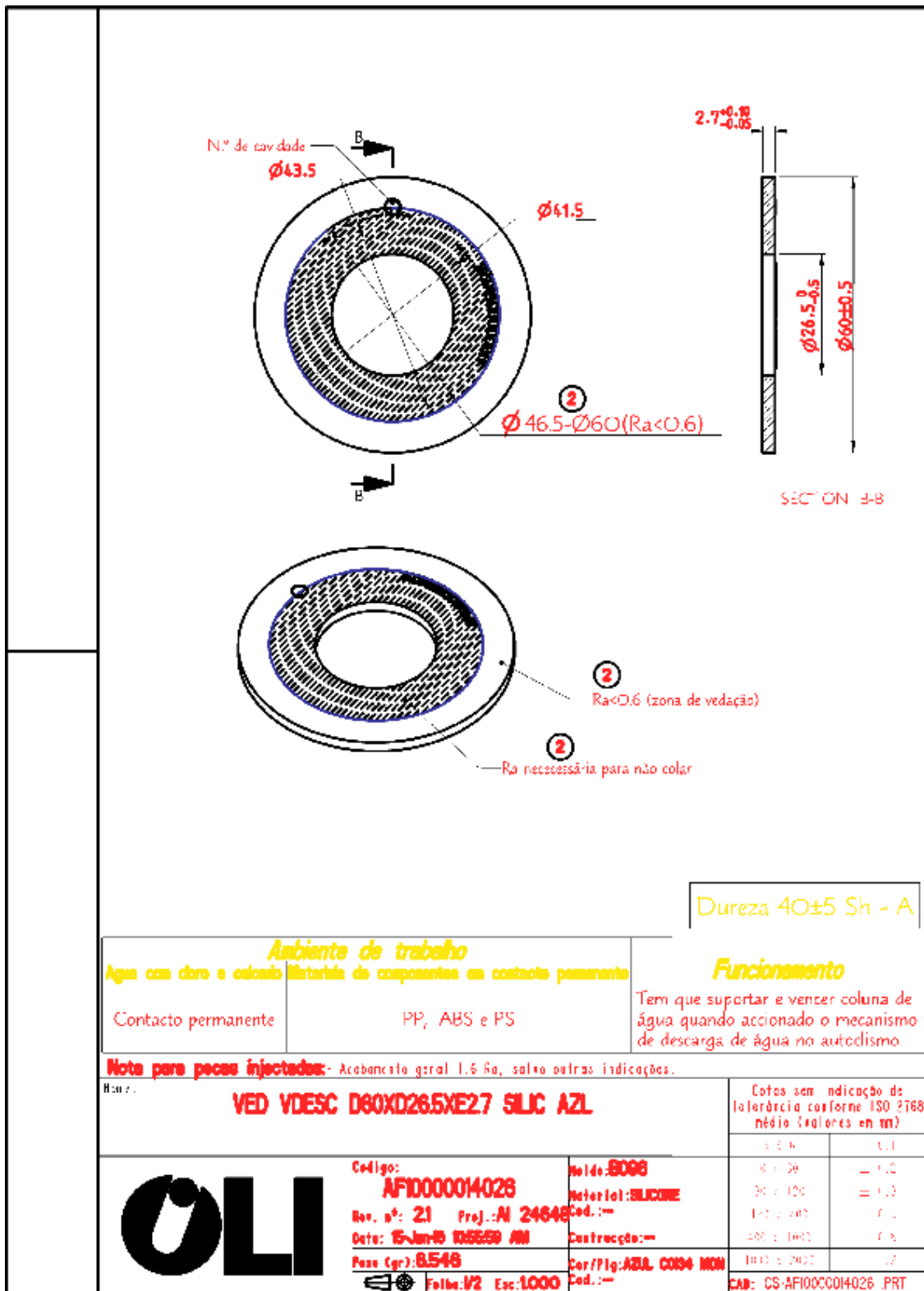


## REFERÊNCIAS

- An Overview of Sanitary Gasket Elastomer Materials*. (2014, Julho 16). Retrieved from hollandaptblog.com: <https://hollandaptblog.com/2014/07/16/an-overview-of-sanitary-gasket-elastomer-materials/>
- Bender, H., & Campomizzi, E. (2001). Improving the heat resistance of hydrogenated nitrile rubber compounds. *Kautsch. Gummi Kunststoffe*.
- Chaffin, K., Wilson, C., Himes, A., & Dawson, J. (2013). Abrasion and fatigue resistance of PDMS containing multiblock polyurethanes after accelerated water exposure at elevated temperature. *Biomaterials*.
- Clough, K. T. (1997). Prediction of Elastomer Lifetimes from Accelerated Thermal-Aging Experiments . *ELASTOMER- SERVICE LIFE PREDICTION SYMPOSIUM '97* .
- Crawford, R. J. (1998). *Plastics Engineering, Third Edition*, 188-189.
- Deng, Y., Yu, T., & Ho, C. (1994). Effect of aging under strain on physical properties of Polyester-Urethane. *Polymer Journal*, 26, 1368-1376.
- Gent, A. (1958). On the relation between indentation hardness and Young's modulus. *Institution of Rubber Industry*, 31, 46–57.
- Hihara, L., Adler, R., & Latanision, R. (2013). *Environmental Degradation of Advanced and Traditional Engineering Materials*.
- Holzweber, J., & Major, Z. (2014). CHARACTERIZATION OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF TPU'S. *XIIIth Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics*.
- INALER, E. (2007). *ACCELERATED AGING OF ELASTOMERS IN AQUEOUS MEDIA*. MASTER THESIS, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY .
- Khan, A. S., Baig, M., Hamid, S., & Zhang, H. (2010). Thermo-mechanical large deformation responses of HNBR: Experimental results.
- Larson, K. (2016). *Can You Estimate Modulus From Durometer Hardness for Silicones*. (Dow Corning Corporation) Retrieved 06 05, 2017, from [www.dowcorning.com: http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/11-3716-01\\_durometer-hardness-for-silicones.pdf](http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/11-3716-01_durometer-hardness-for-silicones.pdf)
- Luo, R. C. (2003,). Fatigue design of rubber springs used in rail vehicle suspensions. In *Journal of Rail and Rapid Transit* (Vol. 217, pp. 237–240).

- Luo, R. W. (2004). An approach to evaluate the service life of rubber springs used in rail vehicle suspensions. In *Journal of Rail and Rapid Transit*. (Vol. 218, pp. 173-177).
- Magioli, M., Sirqueira, A., & Soares, B. (2010). The effect of dynamic vulcanization on the mechanical, dynamic mechanical and fatigue properties of TPV based on polypropylene and ground tire rubber. *Polymer Testing*, 840-848.
- Mondal, M. (1985). *Polypropylene and Natural Rubber based Thermoplastic Vulcanizates by Electron Induced Reactive Processing*. Kolkata, India.
- Naskar, K., Gohs, U., Wagenknecht, U., & Heinrich, G. (2009). PP-EPDM thermoplastic vulcanisates (TPVs) by electron induced reactive processing. *Express Polym. Lett*, 677-683.
- Patton, D. (2017, 04 25). *How to Convert a Durometer to Young's Modulus*. (Sciencing) Retrieved 05 2017, 05, from sciencing.com: <http://sciencing.com/convert-durometer-youngs-modulus-7941189.html>
- Pinho, H. (2016). *Avaliação da deformação residual à compressão de componentes termoplásticos elastoméricos*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Rosa, E. d. (2002). MECÂNICA DA FRATURA E FADIGA. In *ANÁLISE DE RESISTENCIA MECANICA* (pp. 42,241).
- Sciences, D. o., & Board, N. M. (1996). Accelerated Aging of Materials and Structures: The Effects of LongTerm. In *The National Academies Press*.
- Sepe, M. (2015). The Challenge of Predicting LongTerm Behavior of Polymers Based On Accelerated Test. *Prospector*.
- Shanks, R., & Kong, I. (2012). Thermoplastic Elastomers. In A. El-Sonbati, *Applied Science* (pp. 149-151). In Tech.

# ANEXO I – DESENHO TÉCNICO







# ANEXO II – FICHA TÉCNICA DOS MATERIAIS

## Monprene® CP-10130 (PRELIMINARY DATA)

Thermoplastic Elastomer  
Teknor Apex Company

**PROSPECTOR®**

www.ulprospector.com

### Technical Data

#### Product Description

Monprene CP-10130 is a general purpose thermoplastic elastomer designed for a variety of consumer product applications requiring a soft, rubber-like feel. Monprene CP-10130 is a low hardness, low density, lubricated grade suitable for injection molding.

#### General

Material Status	• Experimental: Active
Search for UL Yellow Card	• Teknor Apex Company • Monprene®
Availability	• Africa & Middle East • Europe • Latin America • North America
Features	• Good Adhesion • Good Colorability • Good Processability • Low Density • Low Flow • Low Hardness • Low Specific Gravity • Lubricated • Slip • Without Fillers
Uses	• Consumer Applications • Handles • Kitchenware • Knobs • Rubber Replacement • Soft Touch Applications
RoHS Compliance	• RoHS Compliant
Appearance	• Natural Color • Translucent
Forms	• Pellets
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity	0.888 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (200°C/5.0 kg)	1.5 g/10 min	ASTM D1238
Elastomers	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Stress - Across Flow (100% Strain)	0.480 MPa	ISO 37
Tensile Stress - Across Flow (Break)	4.20 MPa	ISO 37
Tensile Elongation - Across Flow (Break)	860 %	ISO 37
Tear Strength <sup>2</sup>		ISO 34-1
Across Flow	6.2 kN/m	
Flow	12 kN/m	
Compression Set		ISO 815
23°C, 22 hr	13 %	
70°C, 22 hr <sup>3</sup>	20 %	
Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
Shore Hardness		ISO 868
Shore A, 1 sec, Injection Molded	31	
Shore A, 5 sec, Injection Molded	29	
Fill Analysis	Nominal Value Unit	Test Method
Apparent Viscosity (200°C, 206 sec <sup>-1</sup> )	204 Pa·s	ASTM D3835

#### Legal Statement

The information and recommendations contained in this bulletin are, to the best of our knowledge, accurate and reliable but no guarantee of their accuracy is made. All products are sold upon condition that purchasers shall make their own tests to determine the suitability of such products for their particular purposes and uses and purchaser assumes all risks and liability for the results of use of the products, including use in accordance with seller's recommendations. Nothing in this bulletin constitutes permission or a recommendation to practice or use any invention covered by any patent owned by this company or others. There is no warranty of merchantability and there are no other warranties for the products described. For detailed Product Stewardship information, please contact us. Any product of Teknor Apex, including product names, shall not be used or tested in medical or food contact applications without the prior written acknowledgement of Teknor Apex as to the intended use. Please note that some products may not be available in one or more countries.

Injection	Nominal Value Unit
Rear Temperature	160 to 177 °C
Middle Temperature	182 to 204 °C
Front Temperature	182 to 216 °C

1 of 3



UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2017. All Rights Reserved.  
UL Prospector | 800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ulprospector.com

Form No. TDS-293159-en  
Document Created: Friday, March 3, 2017  
Added to Prospector: June 2016  
Last Updated: 3/1/2017

The information presented on this datasheet was acquired by UL Prospector from the producer of the material. UL Prospector makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, UL Prospector assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

**Monprene® CP-10130 (PRELIMINARY DATA)**  
Thermoplastic Elastomer  
Teknor Apex Company

**PROSPECTOR®**  
www.ulprospector.com

Injection	Nominal Value Unit
Nozzle Temperature	182 to 227 °C
Processing (Melt) Temp	182 to 227 °C
Mold Temperature	27 to 49 °C
Injection Rate	Moderate-Fast
Back Pressure	0.172 to 0.689 MPa
Screw Speed	50 to 100 rpm
Cushion	3.81 to 12.7 mm

**Injection Notes**

Drying is not necessary. However, if moisture is a problem, dry the pellets for 2 to 4 hours at 150°F (65°C).

**Notes**

- <sup>1</sup> Typical properties: these are not to be construed as specifications.
- <sup>2</sup> Method Ba, Angle (Unnicked)
- <sup>3</sup> Type A



# ANEXO III – CADERNO DE ENCARGOS



## CADERNO DE ENCARGOS PARA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Designação Interna:	Nº Interno:
Responsável:	
<b>Contactos</b>	
Telefone:	
Fax:	
E-mail:	
Morada:	

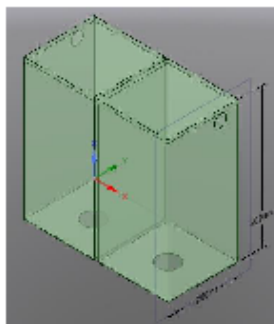
### DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

De forma a estudar o comportamento dos vedantes submetidos à fadiga é necessário a conceção de um dispositivo próprio. Este teria que permitir recriar os esforços mecânicos e ataques químicos para os quais o vedante iria estar sujeito quando se encontra acoplado ao mecanismo do autoclismo, bem como detetar para diferentes níveis de água o número de ciclos até à falha para diversos tipos de ambientes (diferentes concentrações de calcário e temperaturas da água).

### Pontos-chave a reter

- o O equipamento tem duas estações de ensaio que funcionam simultaneamente;
- o Os vedantes são ensaiados após montagem em dois conjuntos válvula que são instalados no equipamento;
- o Guiamento lateral eficaz de modo a que não exista vibração no movimento;
- o 2 a 3 segundos tempo de estabilização após descarga;
- o A proporção de água para a fina que irá servir de tanque aos reservatórios de testes deve ter pelo menos 3 vezes o volume de água necessário a encher um dos tanques;
- o Avaliar a possibilidade de aplicação de um misturador para o caso de utilização de águas calcárias de forma a manter a homogeneização da mistura.
- o Nível de carga controlado pelo utilizador (peso).

### Especificações técnicas



- A estrutura para colocação dos outros componentes;
- Duas cubas para colocação dos conjuntos válvula com vedante a ensaiar;
- Vidro temperado (devido às temperaturas) na zona frontal para possibilitar visualização;
- Sensor de nível para cada reservatório que permita ajustar facilmente a quantidade de água;
- Reservatório termostático para recirculação do fluido de autoclismo a usar;

Nº de referências:

- Motobomba para enchimento das cubas;
- Atuador pneumático para a descarga das válvulas de nível nas cubas (estão interligadas para enchimento simultâneo) que desliga a motobomba;
- Controlador de temperatura do líquido de descarga, temperatura mínima de 5º e máxima de 50 º C (tolerância de + ou -5 graus aceitável);
- Contador de ciclos;
- Tampa superior vedada para não existirem perdas de calor (chapa);
- Pneumático de ativação do equipamento;
- Tubagens de circulação do fluido de autoclismo;
- Quadro de comando;
- Secção na base do reservatório que seja removível (que funcione tipo um postigo) para que se possa utilizar diâmetros diferentes tendo em conta a pilete a utilizar (para a atlas 62mm, para a toto 85mm).

**Ciclo:**

- A. Abertura da electroválvula
- B. Verificação da temperatura do fluido de autoclismo no reservatório;
- C. Detecção do nível de fluido na cuba c/ sensor de nível ajustável;
- D. Fechar electroválvula;
- E. Acionar o pneumático (ajustável tempo e carga);
- F. Contar o ciclo;
- G. Repetir.

**Comandos:**

- Iniciar e Parar;
- Subir e descer;
- Zerar número de ciclos;
- Definir temperatura;
- Definir tempo de estabilização.

**Dimensionamento:**

- Cada cuba deve ter as seguintes dimensões:

	x(mm)	200
<b>Cuba</b>	y(mm)	200
	z(mm)	400
<b>Volume (L)</b>		16



- A tina para abastecimento das cubas deve ter as seguintes dimensões mínimas para que o seu volume tenha por volta de 50 litros.

<b>Tina</b>	x(mm)	500
	y(mm)	200
	z(mm)	500

- Posições da base com diferentes diâmetros: um de 62mm outro de 85mm.
- Um furo na lateral parte superior para entrada de água.

Desenho ilustrativo das cubas em [anexo](#) nas últimas páginas do documento.

Interfaces a considerar			
Contador ciclos	Motobomba	Leitura de dados (computador)	
Sensor de temperatura	Atuador válvulas de descarga	Regulador de temperatura	

Considerações Gerais para Componentes	
Componentes Pneumáticos	
Componentes Hidráulicos	
Autômatos	
Consolas de Diálogo	
Sensores / Detectores	
A utilização de outras marcas está sujeita a acordo com a Oliveira & Irmão	
Obrigatório o uso de unidade de tratamento de ar com válvula de corte na entrada do equipamento e a utilização de válvula de arranque progressivo.	
Devem ficar reservados 10 % de entradas e saídas livres no autômato	
Deve ficar reservado 30 % de espaço livre no armário eléctrico.	
Todos os condutores eléctricos, pneumáticos ou hidráulicos devem estar identificados conforme o esquema.	

Interface com o Operador

Segurança:
O equipamento deve seguir a normativa máquinas e marcação CE

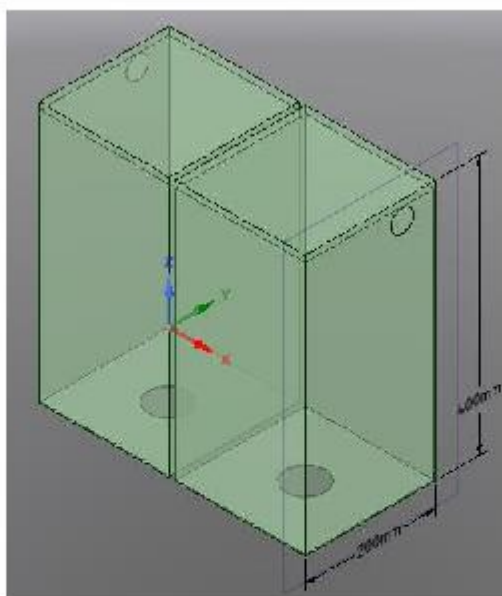
Confidencialidade dos Dados
Todos os dados e/ou materiais fornecidos pela Oliveira & Irmão devem ser mantidos sob estrita confidencialidade e com o compromisso de não transmissão em caso algum.

Recepção do Equipamento	
A recepção do equipamento será considerada quando realizados os pontos abaixo detalhados:	
Instalação:	Agendada e acompanhada pela Oliveira & Irmão
Testes iniciais:	Todos os modelos deverão ser testados e aprovados
Formação:	Deve ser considerada formação específica para os quadros técnicos (manutenção e engenharia) e para os operadores utilizadores do equipamento.
Manual do equipamento:	O manual da máquina deve ser entregue em formato digital, em duplicado, com os seguintes itens considerados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquema pneumático</li> <li>• Esquema eléctrico</li> <li>• Esquema hidráulico</li> <li>• Programa autômato em ladder</li> <li>• Programa autômato (segundo a marca de autômato aplicada)</li> <li>• Programa HMI (segundo a marca aplicada)</li> <li>• Plano de manutenção preventiva</li> <li>• Lista de peças de desgaste/substituição</li> <li>• Desenhos de conjunto e de definição dos componentes mecânicos</li> <li>• Declaração de conformidade</li> <li>• Manual de Instruções do equipamento</li> </ul>

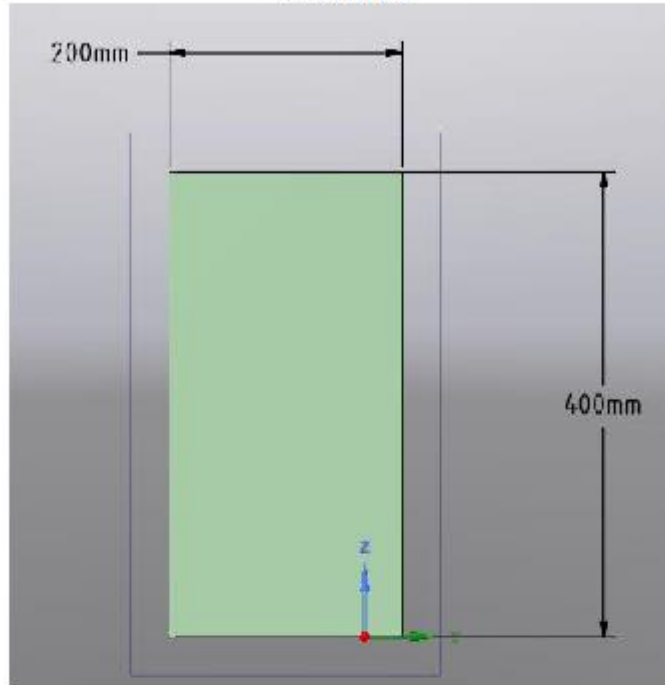
Implantação:

Anexo:

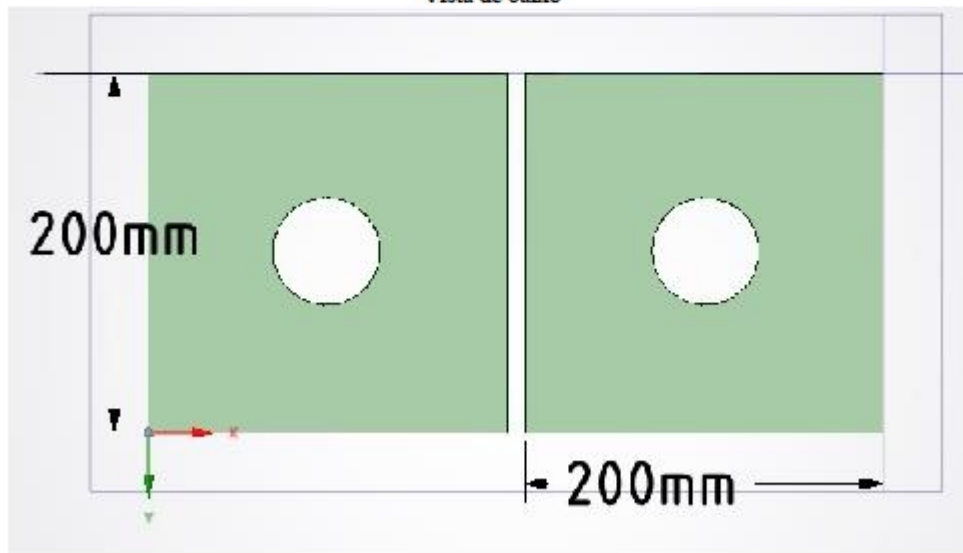
Vista isométrica



Vista de lado



Vista de baixo







## ANEXO IV – EQUIPAMENTO

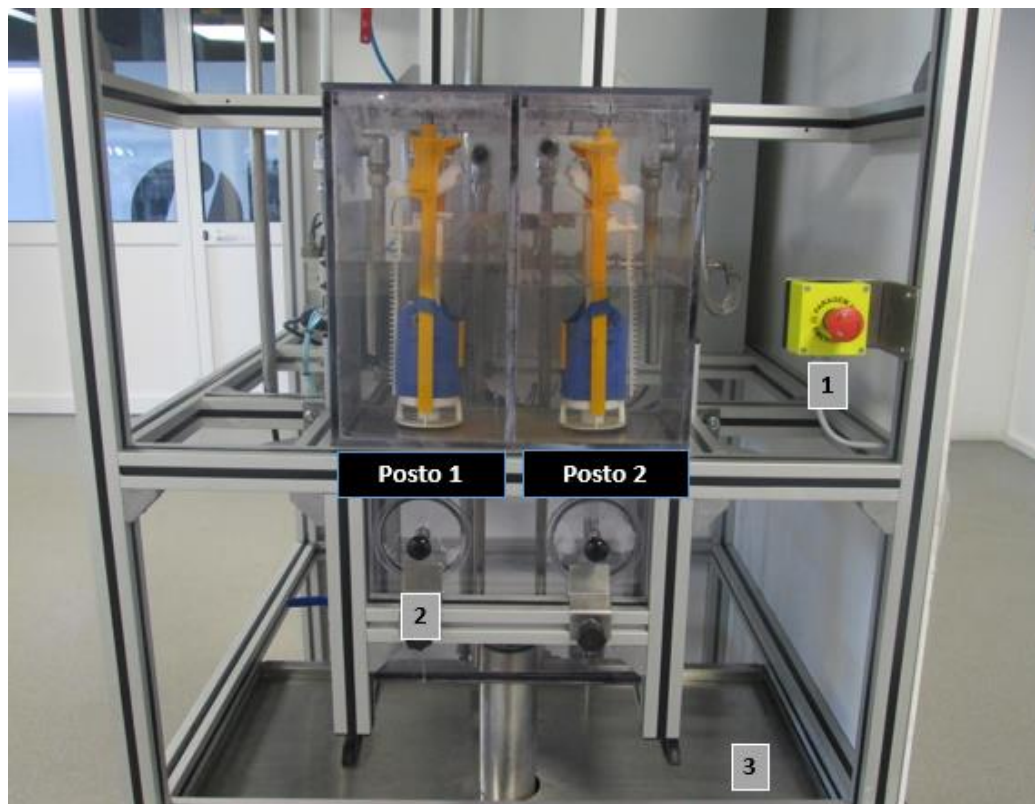


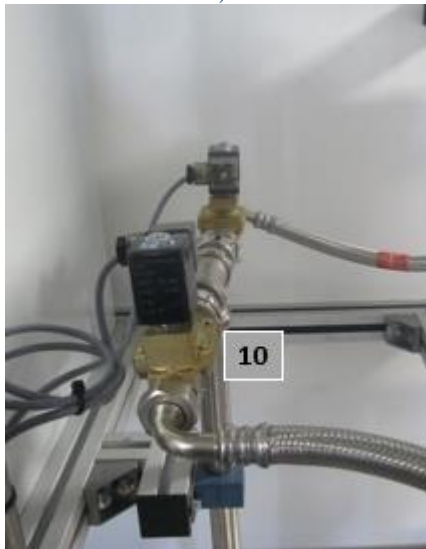
Figura 31- Equipamento- vista de frente



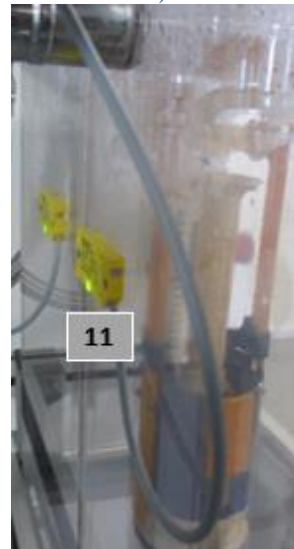
a)



b)



c)



d)

Figura 32- Close-up de vários pontos da estrutura

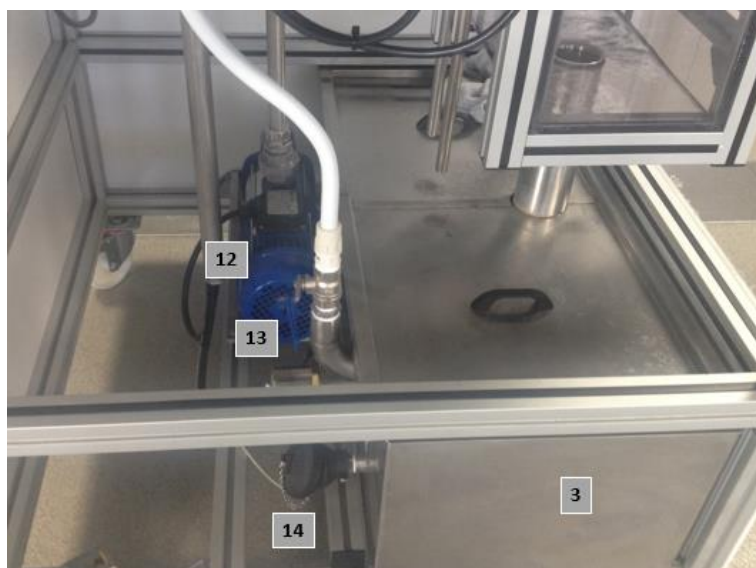


Figura 33 – Sistema de bombeamento



Figura 34- Quadro elétrico

Na Figura 31, Figura 32, Figura 33 e Figura 34 estão enunciados com numeração de 1 até 16 os seguintes pontos correspondentes:

- 1- Botão de paragem de emergência;
- 2- Abertura para acesso ao vedante;
- 3- Tina de reservatório;
- 4- Atuadores;
- 5- Torneira entrada de ar;
- 6- Pirlampo de sinalização;
- 7- Alimentação;
- 8- Sistema de ar comprimido;
- 9- Sistema de ar comprimido;
- 10- Electroválvulas;
- 11- Sensores de nível;
- 12- Bomba;
- 13- Torneira entrada de água;
- 14- Sonda de temperatura;
- 15- Quadro elétrico;
- 16- Painel Controlo.



## ANEXO V – PLANO DE CONTROLO

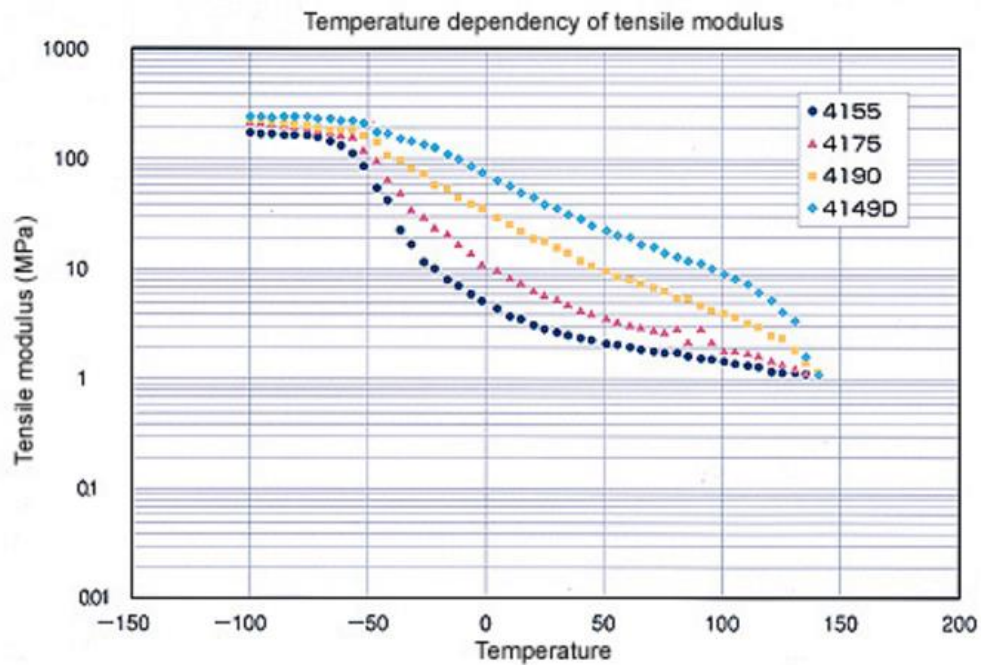
De forma a avaliar o número de ciclos a que os vedantes conseguem atuar de forma eficaz foi necessária a elaboração de um plano de controlo que permitisse controlar diariamente o número ciclos conformes efetuados na peça em estudo.

- 1) O controlo do número de ciclos é realizado de forma bi-diária, ou seja, é realizado um controlo ao início do dia (entre as 8-10h) e outro ao fim do dia (entre as 15-17h);
- 2) Para efeito serão apenas registados o número de ciclos, a temperatura e verificação da conformidade do ensaio;
- 3) Em cada controlo visualizar um número mínimo de 3 ciclos para verificar a integridade do ciclo;
- 4) Em cada controlo deve ser verificada a estanquicidade do vedante através da visualização das paredes da tina de contenção da água, verificando se existem fugas ou não;
- 5) Em caso de fuga, parar o ensaio, proceder à troca do vedante e reiniciar/zerar o contador;
- 6) Verificar a temperatura do fluido a cada controlo, de forma a garantir que o processo é constante;
- 7) Controlar a integridade de todos os componentes envolventes no mecanismo, verificar se existe o funcionamento correto, ou se algum dos componentes se encontra danificado.
- 8) Em caso de paragem devido a quebra ou deficiência de algum equipamento à exceção dos vedantes deve-se proceder à troca do componente em causa e continuar com o número de ciclos registado no último controlo.
- 9) Os vedantes devem ser testados a um número mínimo de ciclos de forma a cumprirem as especificações da empresa, 200 mil ciclos, até se considerarem conformes.
- 10) De forma a tornar mais prático o controlo dos ensaios, foi desenvolvida uma árvore de decisão simplificada quanto ao funcionamento do dispositivo para que seja mais perceptível o modo de atuação, ver Figura 17 .



## ANEXO VI – RELAÇÃO MÓDULO/TEMPERATURA

### Temperature dependency of tensile modulus



<http://www.toyobo-global.com/seihin/xj/enpla/sarlink/ondo.htm>

20-05-2017





## ANEXO VII – CONTROLO DIÁRIO

Condição	Tanque	Data	Hora	Temp (°C)	Nº de ciclos
1	1	22/08/2017	11:30	42,50	0
1	2	22/08/2017	11:30		0
1	1	22/08/2017	14:00	43,60	342
1	2	22/08/2017	14:00		385
1	1	23/08/2017	10:00	42,30	2261
1	2	23/08/2017	10:00		2541
1	1	23/08/2017	17:00	43,35	933
1	2	23/08/2017	17:00		1036
1	1	24/08/2017	9:30	42,44	2240
1	2	24/08/2017	9:30		2573
1	1	25/08/2017	9:00	41,75	3441
1	2	25/08/2017	9:00		3622
1	1	25/08/2017	15:30	43,75	975
1	2	25/08/2017	15:30		994
1	1	28/08/2017	9:00	42,80	9736
1	2	28/08/2017	9:00		10045
1	1	28/08/2017	15:00	43,40	869
1	2	28/08/2017	15:00		907
1	1	29/08/2017	10:00	44,12	2750
1	2	29/08/2017	10:00		2822
1	1	30/08/2017	10:00	43,70	2667
1	2	30/08/2017	10:00		2669
1	1	31/08/2017	10:00	42,36	2250
1	2	31/08/2017	10:00		2249
1	1	01/09/2017	10:00	41,35	1256
1	2	01/09/2017	10:00		1282
1	1	01/09/2017	15:00	39,12	996
1	2	01/09/2017	15:00		978
1	1	04/09/2017	09:30	44,46	14286
1	2	04/09/2017	09:30		13993
1	1	04/09/2017	16:00	44,68	1417
1	2	04/09/2017	16:00		1384
1	1	05/09/2017	09:30	44,42	3677
1	2	05/09/2017	09:30		3586
1	1	05/09/2017	17:00	43,90	1708
1	2	05/09/2017	17:00		1657
1	1	06/09/2017	10:00	40,00	3657
1	2	06/09/2017	10:00		3594
1	1	06/09/2017	17:00	44,00	1220
1	2	06/09/2017	17:00		1222
1	1	07/09/2017	10:00	43,00	3758
1	2	07/09/2017	10:00		3758
1	1	08/09/2017	10:00	42,79	5029
1	2	08/09/2017	10:00		5029
1	1	08/09/2017	16:00	43,28	1260
1	2	08/09/2017	16:00		1260
1	1	11/09/2017	09:00	43,46	13110
1	2	11/09/2017	09:00		13623

1	1	11/09/2017	16:00		1378
1	2	11/09/2017	16:00	42,00	1378
1	1	12/09/2017	09:00		3528
1	2	12/09/2017	09:00	43,28	3508
1	1	12/09/2017	16:00		1337
1	2	12/09/2017	16:00	43,76	1306
1	1	13/09/2017	09:30		3657
1	2	13/09/2017	09:30	43,32	3601
1	1	14/09/2017	09:00		5007
1	2	14/09/2017	09:00	43,24	4902
1	1	14/09/2017	15:00		1185
1	2	14/09/2017	15:00	42,76	1260
1	1	15/09/2017	10:00		3984
1	2	15/09/2017	10:00	41,89	4023
1	1	15/09/2017	15:00		932
1	2	15/09/2017	15:00	41,93	939
1	1	18/09/2017	09:00		13784
1	2	18/09/2017	09:00	41,42	14825
1	1	18/09/2017	15:30		1377
1	2	18/09/2017	15:30	42,15	1366
1	1	19/09/2017	14:30		5045
1	2	19/09/2017	14:30	42,70	4490
1	1	20/09/2017	10:00		4257
1	2	20/09/2017	10:00	42,58	4184
1	1	20/09/2017	15:00		1225
1	2	20/09/2017	15:00	42,24	1200
1	1	21/09/2017	10:00		4001
1	2	21/09/2017	10:00	42,33	4022
1	1	21/09/2017	14:30		1510
1	2	21/09/2017	14:30	42,34	1504
1	1	22/09/2017	10:00		4794
1	2	22/09/2017	10:00	41,36	4773
1	1	22/09/2017	15:00		1194
1	2	22/09/2017	15:00	42,66	1262
1	1	25/09/2017	09:00		14756
1	2	25/09/2017	09:00	43,21	14544
1	1	25/09/2017	15:00		1256
1	2	25/09/2017	15:00	42,26	1240
1	1	26/09/2017	09:30		4120
1	2	26/09/2017	09:30	42,10	4024
1	1	26/09/2017	14:30		1305
1	2	26/09/2017	14:30	42,54	1299
1	1	27/09/2017	09:00		4160
1	2	27/09/2017	09:00	41,68	4222
1	1	27/09/2017	14:00		1310
1	2	27/09/2017	14:00	42,78	1323
1	1	28/09/2017	09:00		4200
1	2	28/09/2017	09:00	43,20	4502
1	1	28/09/2017	16:00		1780
1	2	28/09/2017	16:00	42,45	1645

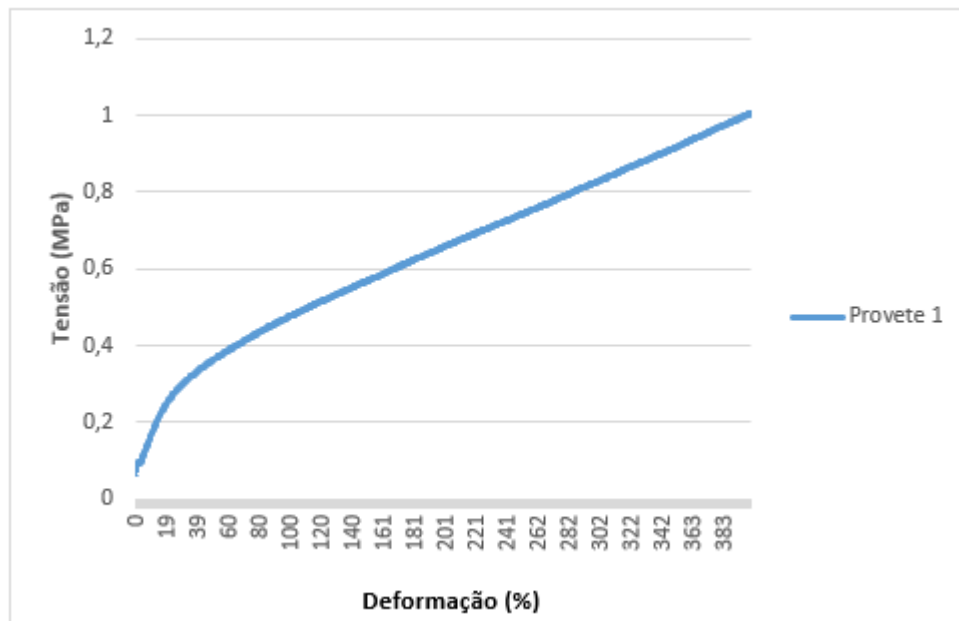
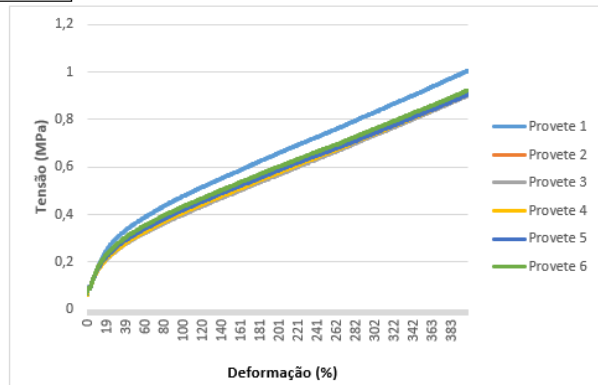
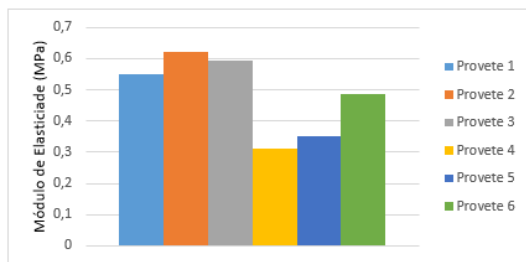
1	1	29/09/2017	09:00	42,70	3805
1	2	29/09/2017	09:00		3987
1	1	29/09/2017	16:00	42,51	1638
1	2	29/09/2017	16:00		1617
1	1	02/10/2017	09:00	42,30	14327
1	2	02/10/2017	09:00		14284
1	1	02/10/2017	16:00	43,10	1650
1	2	02/10/2017	16:00		1639
1	1	03/10/2017	10:00	42,34	3425
1	2	03/10/2017	10:00		3507
1	1	03/10/2017	16:00	42,89	1190
1	2	03/10/2017	16:00		1215
1	1	04/10/2017	16:00	43,10	4750
1	2	04/10/2017	16:00		4807

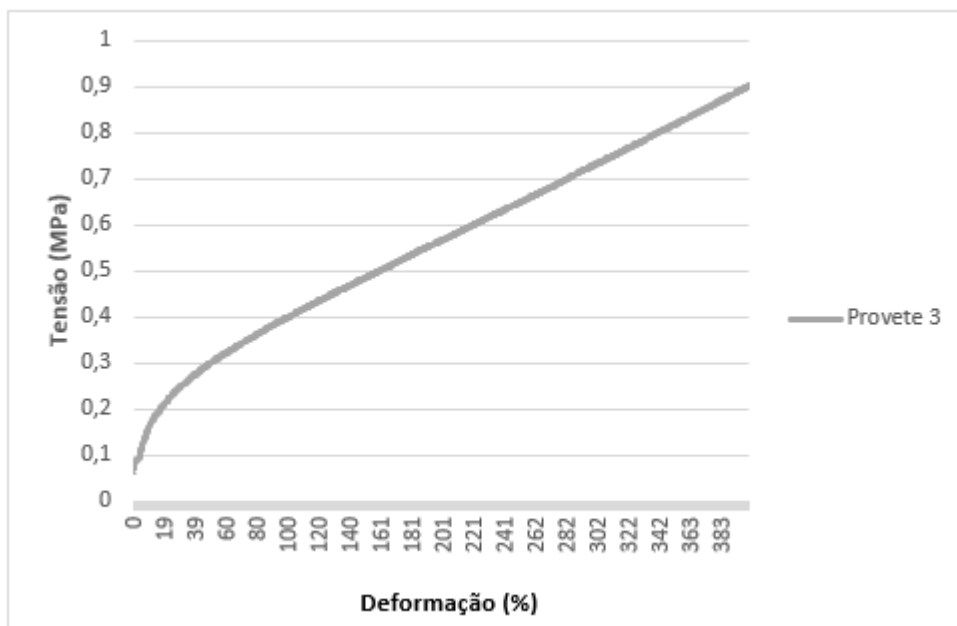
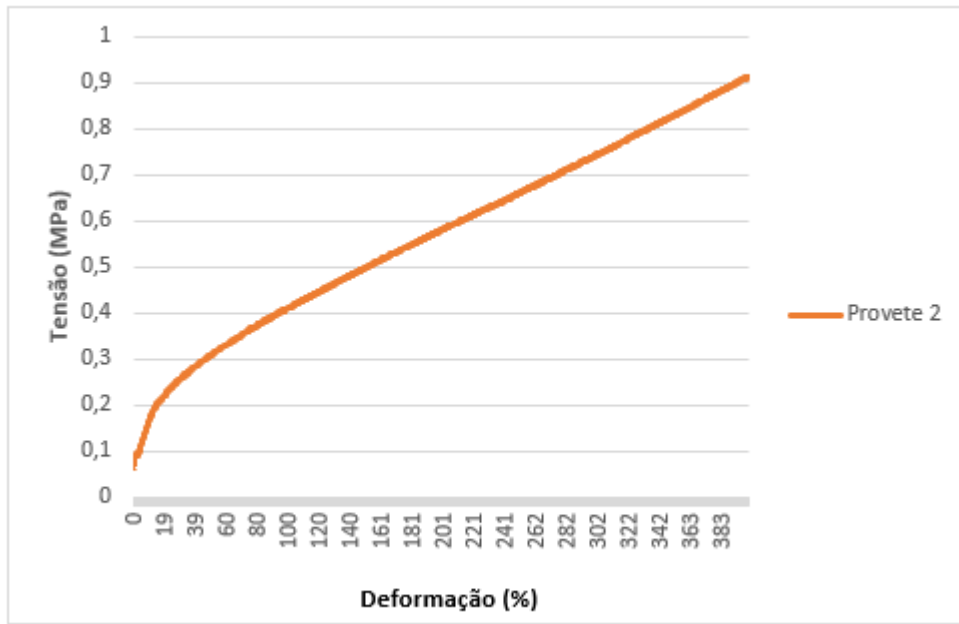


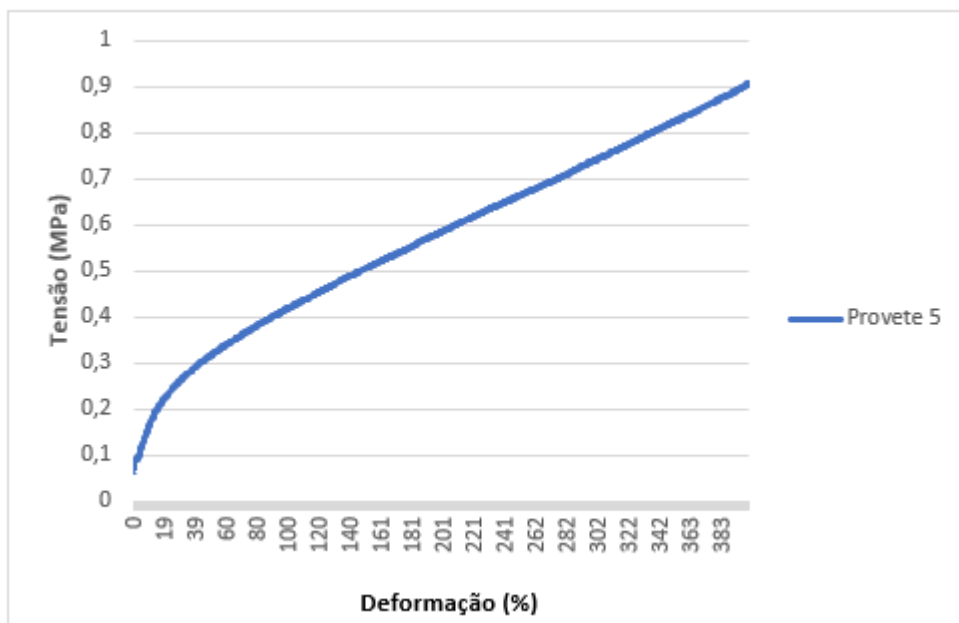
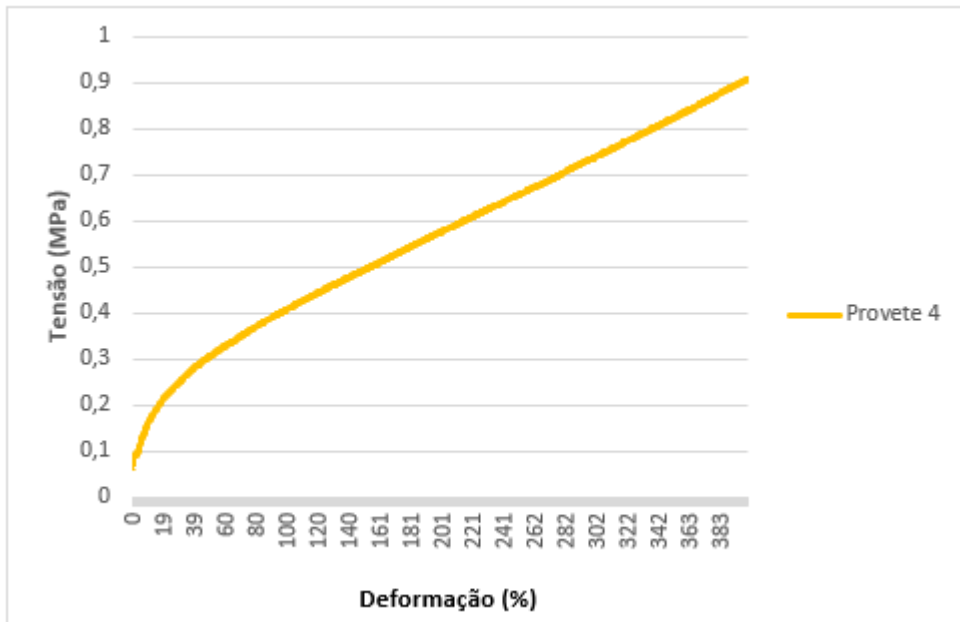
# ANEXO VIII – CURVAS TENSÃO VS DEFORMAÇÃO

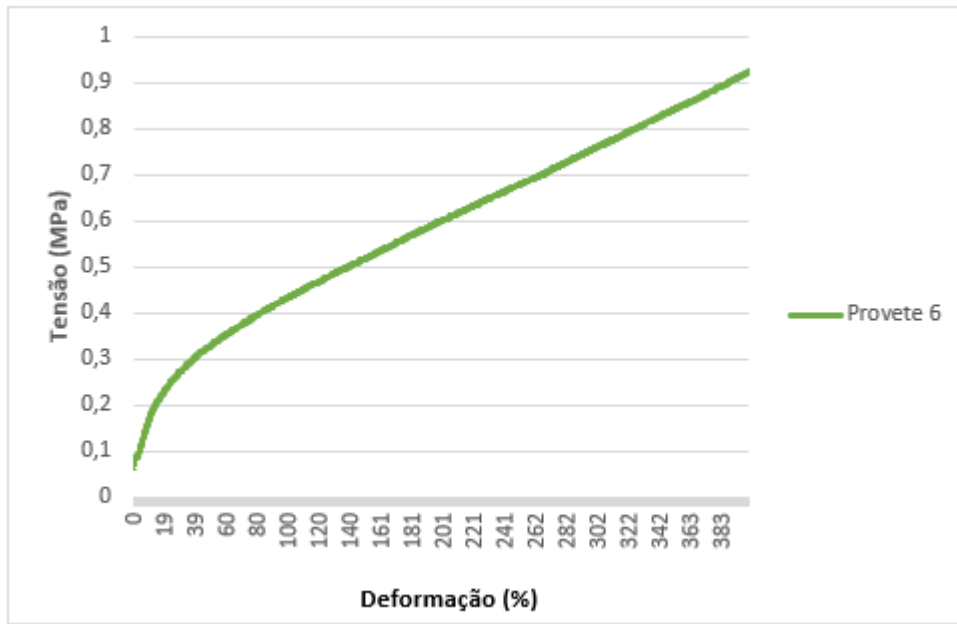
23°C	Provete	E-Modulus (MPa)
	1	0,550474
	2	0,622267
	3	0,594852
	4	0,312012
	5	0,351935
	6	0,487428

Média	Desvio
0,486495	11,75%











## ANEXO IX – CONTROLO DAS DUREZAS

Tempo (h)	Dureza (shore A)					
	Silicone	Média	Desvio	TPE	Média	Desvio
0	31,4	31,57	0,17	35,2	35,10	0,22
	31,8			34,8		
	31,5			35,3		
645,5	30,8	30,97	0,17	32,2	33,20	0,73
	31,2			33,5		
	30,9			33,9		
675	30,7	30,93	0,17	32,1	33,10	0,75
	31,1			33,3		
	31			33,9		
699,5	31,2	30,93	0,21	33,4	33,07	0,34
	30,7			32,6		
	30,9			33,2		
723	30,7	30,90	0,14	32,8	32,97	0,12
	31			33		
	31			33,1		
747,5	30,7	30,87	0,12	32,7	32,93	0,21
	30,9			33,2		
	31			32,9		
819,5	30,6	30,83	0,21	32,6	32,83	0,17
	31,1			32,9		
	30,8			33		
843	30,9	30,80	0,14	32,4	32,77	0,29
	30,6			33,1		
	30,9			32,8		
866,5	30,7	30,80	0,14	33	32,73	0,21
	30,7			32,5		
	31			32,7		
892,5	30,7	30,83	0,12	32,6	32,67	0,17
	30,8			32,5		
	31			32,9		
916,5	30,6	30,80	0,16	32,8	32,67	0,19
	31			32,8		
	30,8			32,4		
988,5	31,1	30,77	0,25	32,9	32,60	0,22
	30,7			32,5		
	30,5			32,4		
1012,5	30,8	30,77	0,21	32,7	32,63	0,17
	30,5			32,4		
	31			32,8		
1036,5	31,2	30,83	0,26	32,9	32,67	0,17
	30,7			32,5		
	30,6			32,6		

Tempo (h)	Número de Ciclos		Dureza (shore A)		Variação da dureza (%)	
	Silicone	TPE	Silicone	TPE	Silicone	TPE
0	0	0	31,57	35,10	100,00	100,00
645,5	114630	116951	30,97	33,20	98,10	94,59
675,0	121052	122807	30,93	33,10	97,97	94,30
699,5	126534	128191	30,93	33,07	97,97	94,22
723,0	132045	133717	30,90	32,97	97,88	93,93
747,5	138033	139752	30,87	32,93	97,78	93,82
819,5	154045	155536	30,83	32,83	97,66	93,53
843,0	159470	160859	30,8	32,77	97,56	93,36
866,5	164940	166404	30,8	32,73	97,56	93,25
892,5	170920	172551	30,83	32,67	97,66	93,08
916,5	176363	178155	30,8	32,67	97,56	93,08
988,5	192340	194078	30,77	32,6	97,47	92,88
1012,5	196955	198800	30,77	32,63	97,47	92,96
1036,5	201705	203607	30,83	32,67	97,656	93,08

Dureza (shore A)

Variação da dureza inicial (%)