



**XVI**  
VICOSA-ES

SEMINÁRIO ESPÍRITO SANTENSE DE  
**MANUTENÇÃO**

31 DE MAIO A 03 DE JUNHO DE 2005

**MANUTENÇÃO: CONTRIBUINDO PARA O  
CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL DO ESPÍRITO SANTO**



**abraman**  
associação brasileira de manutenção  
REGIONAL-ES

# COMPARATIVOS ENTRE FOLHAS PARA FABRICAÇÃO DE JUNTAS DE VEDAÇÃO NAS DISTINTAS FORMAS EXISTENTES DE PTFE, SUAS VANTAGENS, CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇAS.

José Antonio Almeida <sup>(1)</sup>

José Carlos C. Veiga <sup>(2)</sup>

## Resumo:

Para manter uma boa vedação, os materiais de juntas devem ter estabilidade dimensional e resistência à temperatura, à pressão e ao fluido a ser vedado. Os materiais convencionais de juntas de PTFE possuem uma resistência química excepcional, mas carecem de estabilidade dimensional. Sob pressão e temperatura, os materiais convencionais de PTFE apresentam fluência e escoam. Após um curto período em serviço, as juntas feitas de PTFE puro, são incapazes de manter o torque em consequência ao fato de perderem espessura devido ao relaxamento por fluência. O re-aperto, com frequência, é necessário para manter a junção isenta de vazamentos. Várias alternativas são usadas para reduzir esse problema. Nesse trabalho, várias folhas de juntas de PTFE disponíveis no mercado são comparadas. Testes como o de ciclo térmico, retenção de torque, relaxamento por fluência e compressibilidade foram realizados e os resultados foram analisados. A partir dos resultados, é mostrado que as "Folhas Aditivadas de PTFE Reestruturado" exibem o melhor equilíbrio das propriedades desejadas e melhor selabilidade.

<sup>(1)</sup> Doutor em Têxteis, Engenharia de Desenvolvimento de Produto do Grupo Tedit

<sup>(2)</sup> Pres. Comitê Juntas de Vedação da Fluid Sealing Association, Diretor Técnico Grupo Tedit

## 1. Introdução

As juntas de PTFE são usadas em aplicações onde é necessária uma elevada resistência química. O PTFE possui propriedades físicas distintas para atender às necessidades de cada aplicação. Como em qualquer material para a vedação de fluidos, existe uma superposição. Vários materiais podem ser usados de maneira bem sucedida em uma mesma aplicação. Nesse trabalho, vários tipos de juntas de PTFE disponíveis no mercado são comparados. Testes os quais incluíram ciclo temperatura, retenção de torque, relaxamento por fluência e compressibilidade foram realizados e os seus resultados foram analisados.

## 2. Folhas de PTFE Moldadas

As folhas de PTFE Moldadas foram os primeiros produtos introduzidos no mercado. Fabricadas a partir de resinas de PTFE virgens ou reprocessadas, sem aditivos, as quais são primeiramente moldadas, então comprimidas e sinterizadas. Como ocorre com qualquer produto plástico, o PTFE exibe uma característica de fluência quando é submetido a uma força de compressão. Essa característica é muito negativa para o desempenho da junta, uma vez que ela exige um re-aperto freqüente com o objetivo de evitar ou de reduzir vazamentos. O comportamento de fluência (escoamento) é aumentado drasticamente com um aumento na temperatura. As principais vantagens do PTFE moldado são o baixo custo e a ampla disponibilidade no mercado, quando não havia opções mais nobres.

## 3. Folha de PTFE Usinada

O PTFE Usinado (sPTFE - *Skived PTFE*) é fabricado a partir de resinas de PTFE virgens ou reprocessadas sem aditivos ou cargas, pela usinagem (por decaagem) de um tarugo de PTFE sinterizado. Esse processo foi desenvolvido para superar as deficiências de fabricação do Processo Moldado. Contudo, os seus produtos possuem os mesmos problemas de comportamento de fluência. Exibido na Figura 1 (com uma ampliação de 100 vezes).

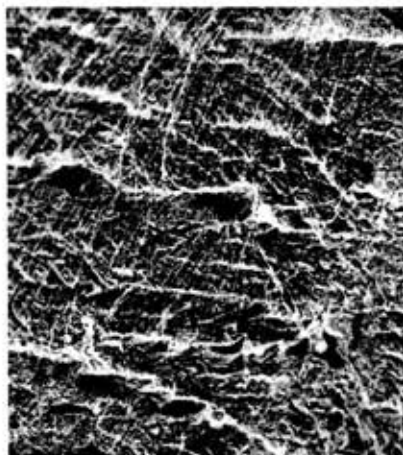


Figura 1

#### 4. Folha de PTFE Moldado ou Usinado, com Carga

A fim de reduzir o comportamento de fluência de materiais em folhas de PTFE Moldados ou Usinados, enchimentos (cargas) minerais são adicionados. Contudo, devido ao processo de fabricação (moldagem ou usinagem) essa redução não é suficiente para produzir uma vedação efetiva a longo prazo. A Figura 2 exibe a microestrutura de uma folha de PTFE Usinado com Carga com uma ampliação de 100 vezes. São visíveis as partículas de carga de sílica na matriz de PTFE.

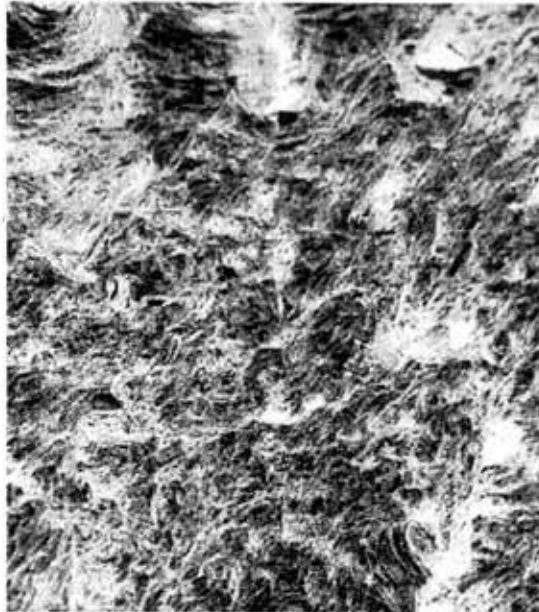


Figura 2

#### 5. PTFE Expandido ( Quimflex)

Antes de sinterizar, uma expansão a quente do PTFE confere a este a habilidade de superar a fluência. Podem ser obtidos produtos de juntas expandidos unidirecionalmente (fios ou fitas) ou bidirecionalmente (folhas). A Figura 3 exibe uma estrutura de PTFE unidirecional e a Figura 4 exibe uma estrutura orientada bidirecional. O PTFE Expandido (ePTFE - *Expanded PTFE*) possui alta resistência química e exibe uma compressibilidade muito elevada, ideal para o uso com flanges frágeis ou com revestimento de vidro. A maioria dos produtos de PTFE Expandido existentes no mercado não possui carga. Uma desvantagem está no manuseio e na instalação de juntas de grandes dimensões, ou a instalação em locais onde não é possível separar os flanges. Elas são usadas freqüentemente como um substituto para as folhas de PTFE aditivadas e reestruturadas com Micro-Esferas Ocas de Vidro (Figura 5), com a vantagem de apresentarem uma maior resistência química já que as Micro-Esferas de Vidro são atacadas por Soda Cáustica. No caso onde as juntas são instaladas em uma tubulação longa com vários flanges em série, podem ocorrer problemas na instalação devido à espessura reduzida da junta após o assentamento. O comprimento total da tubulação pode não ser suficiente para compensar.

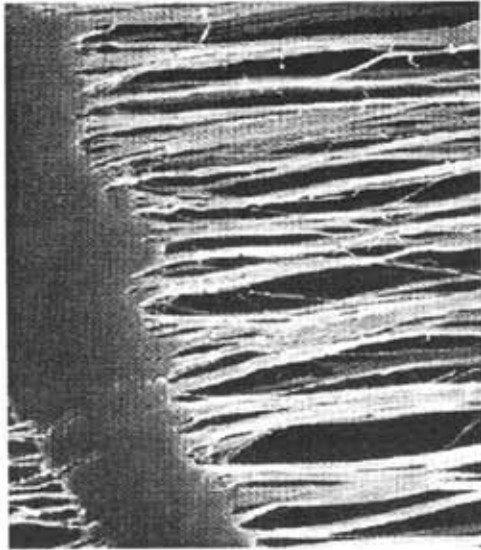


Figura 3

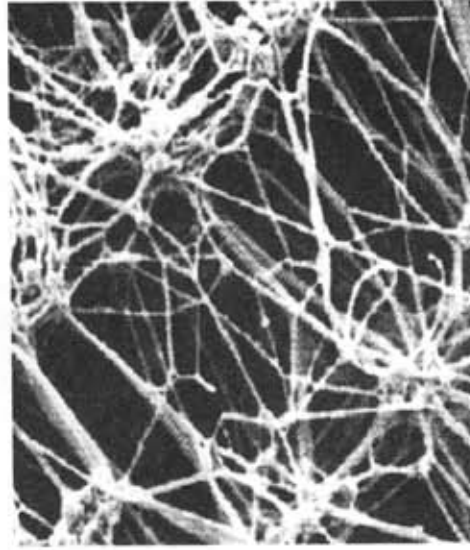


Figura 4

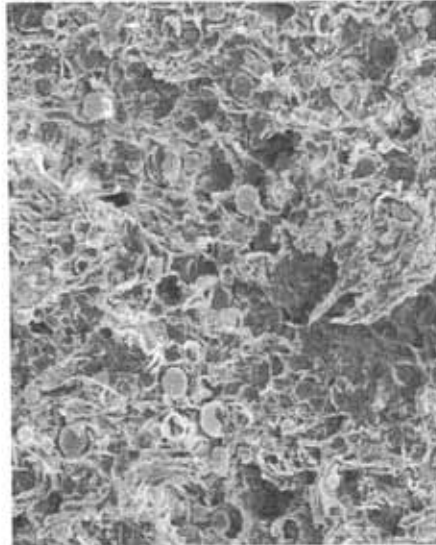


Figura 5

## 6. Folha de PTFE Aditivado e Reestruturado

Para reduzir a fluência, um novo processo de fabricação foi desenvolvido para produzir folhas de PTFE. O material é submetido a um processo de laminação antes da sinterização, criando uma estrutura altamente fibrilada. O escoamento, tanto à temperatura ambiente como a temperaturas elevadas, é reduzido substancialmente. Para atender às necessidades do serviço químico, vários aditivos minerais ou artificiais são usados, tais como a Barita, Sílica Mineral e Sintética, Sulfato de Bário ou Micro-Esferas Ocas de Vidro. Cada enchimento possui um serviço de aplicação específico, mas pode haver superposição em muitas dessas aplicações. Esse processo é conhecido como rPTFE. A Figura 5 mostra rPTFE aditivado com micro-esferas ocas de vidro, com uma ampliação de 100 vezes. As micro-esferas podem ser

vistas claramente inseridas na matriz de PTFE fibrilada. A Figura 6 mostra um rPTFE aditivado com Barita com uma ampliação de 100 vezes, e a Figura 7 mostra o mesmo produto, porém com uma ampliação de 500 vezes. A Figura 8 mostra um grão de Sílica inserido na estrutura fibrilada de PTFE com uma ampliação de 100 vezes.

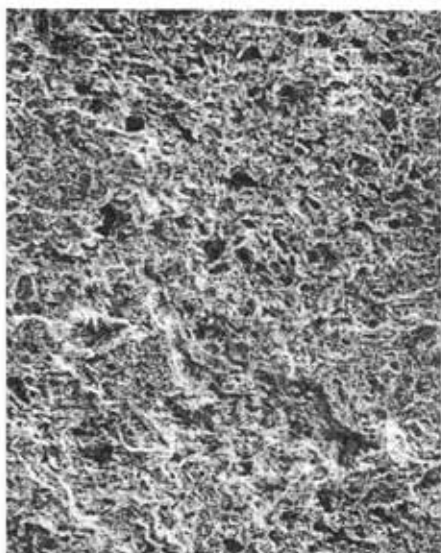


Figura 06

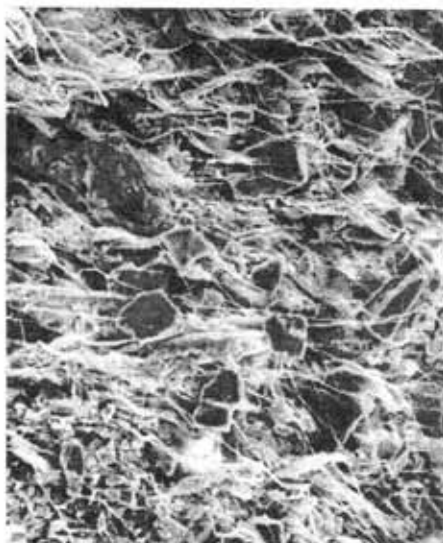


Figura 07

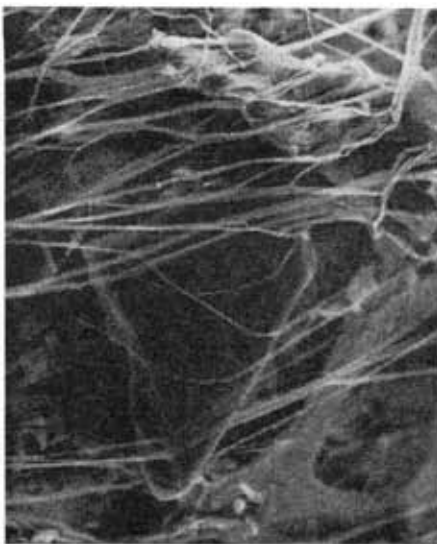


Figura 08

## 7. Testes Realizados

Vários testes foram realizados para avaliar as propriedades de cada um dos materiais. Os materiais testados são identificados ao longo deste trabalho conforme indicado a seguir:

- Primeiro dígito: P indica uma folha de PTFE
- Segundo dígito: tipo da folha
  - R - PTFE reestruturado com aditivo
  - F – usinado e com carga
  - V – virgem e usinado
- Terceiro dígito: tipo do enchimento.
  - B: barita
  - S: sílica
  - G: micro-esferas ocas de vidro
  - F: fibra de vidro
- Quarto e quinto dígitos: fabricante

Exemplos:

PRB11 – folha reestruturada com barita, fabricante 11.

PFV19 – folha reforçada com micro-esferas de vidro, fabricante 19.

### 7.1. Ciclagem Térmica

Todos os testes de ciclagem térmica foram conduzidos usando flanges padrão ASME B16.5. Após a instalação da junta, inicia-se o aquecimento. Quando a temperatura atinge 250°C (482°F), o sistema é pressurizado com Nitrogênio. Após a estabilização da temperatura, o aquecimento é desligado até que a temperatura atinja 28°C (82,4°F), quando ele é novamente ligado. Esse ciclo é repetido 3 vezes. A queda de pressão é monitorada e registrada. As Figuras 9 e 10 mostram a comparação entre sPTFE e rPTFE preenchidos com esferas ocas de vidro. Devido ao maior relaxamento por fluência, a junta de sPTFE perdeu aproximadamente 63% da pressão inicial de N<sub>2</sub>. Por outro lado, a junta de rPTFE perdeu menos do que 1%. A Figura 10 mostra a redução no aperto da junta do material usinado (PGV) em comparação com o rPTFE (PRG1). Essa redução é a causa da maior taxa de vazamento para o produto PVG.

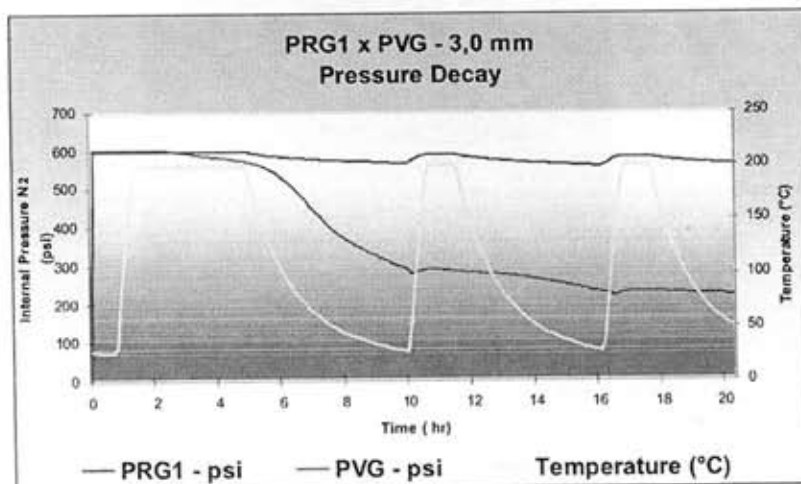


Figura 09

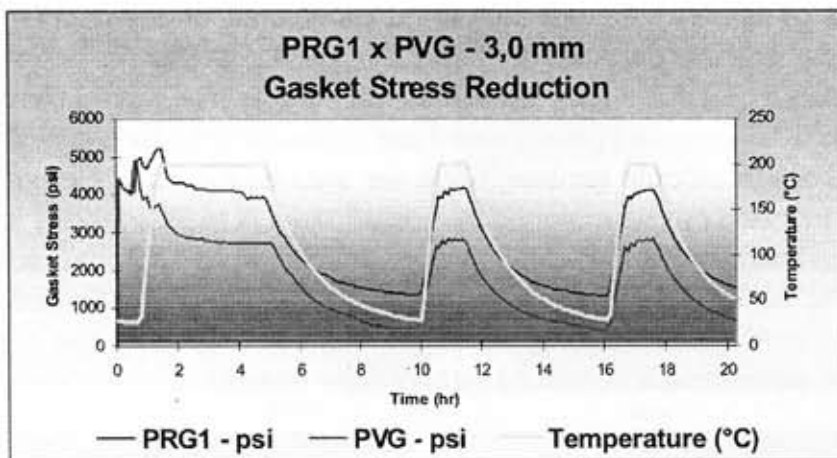


Figura 10

## 7.2. Deformação sob Pressão

Diferentes de juntas são comprimidos entre duas placas lisas pré-aquecidas durante um minuto. A Figura 11 mostra fotografias das juntas após o teste. A temperatura é de 260°C (500°F) e a pressão na junta é de 10 MPa (1500 psi). A junta de PTFE usinado se deforma perdendo sua estabilidade dimensional. Esse teste muito simples mostra, claramente, a maior resistência à fluência (ou escoamento) do rPTFE em comparação ao sPTFE

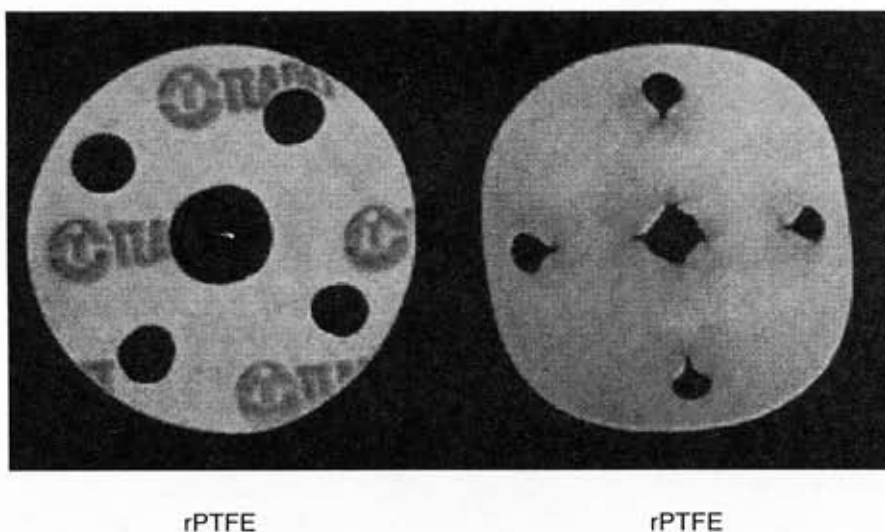


Figura 11

## 7.3. Aperto a Quente

Esse teste é conduzido usando o procedimento DIN 28090-2. O aparelho de testes está mostrado na Figura 43. Para produtos de PTFE, o módulo de compressão à temperatura ambiente (eksw) e à temperatura elevada (ewsw/t) não devem exceder 20% e 50% respectivamente. Um teste a quente é conduzido a 150°C (302°F) durante 16 horas. As Figuras 12 a 15 mostram o comportamento à temperatura ambiente e as Figuras 16 a 19 a quente. A



Figura 20 mostra os valores médios à temperatura ambiente, enquanto a Figura 21 mostra à quente. Os produtos aditivados com micro-esferas ocas de vidro exibem maior compressibilidade do que os demais. Esse material está projetado para flanges frágeis onde essa característica é necessária para garantir um assentamento correto no flange. A estrutura menos densa desse produto também pode ser vista na Figura 5. Comparando o sPTFE com o rPTFE: o primeiro possui maior compressibilidade. A 150°C (302°F), a fluência para o sPTFE é de aproximadamente 50%, esse valor é muito elevado comparado com os resultados para o rPTFE. Esse teste confirma as conclusões do teste de Ciclagem Térmica que foi descrito anteriormente nesse trabalho. Também pode ser observado que o aditivo de Sílica oferece a melhor resistência à fluência à temperatura mais alta.

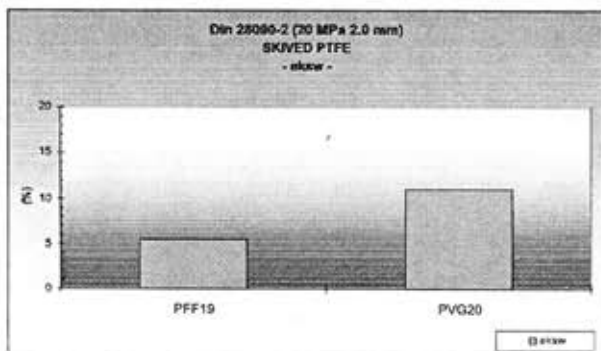


Figura 12

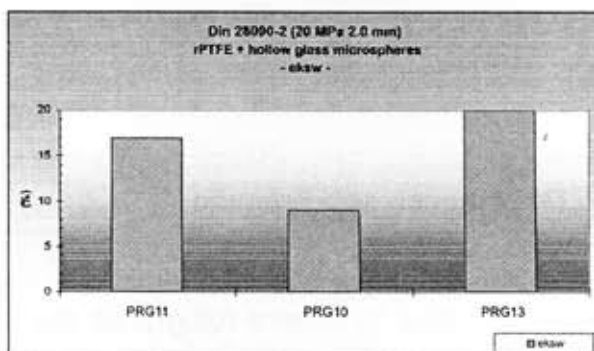


Figura 13

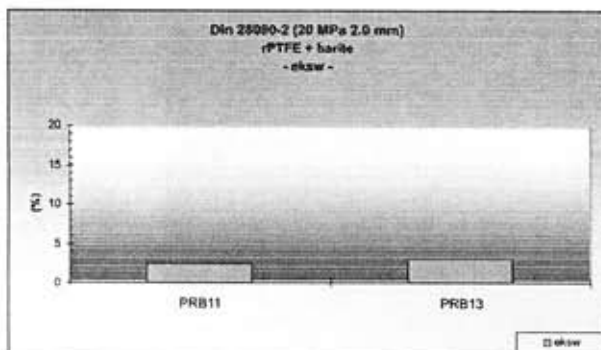


Figura 14

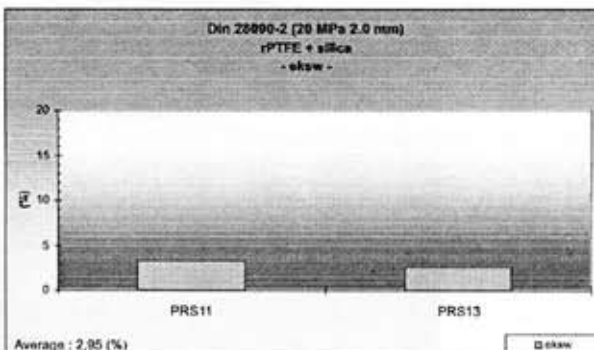


Figura 15

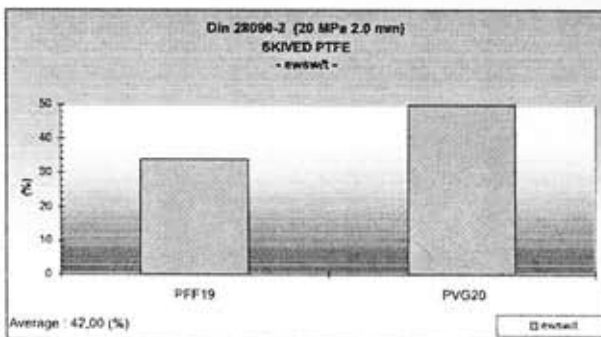


Figura 16

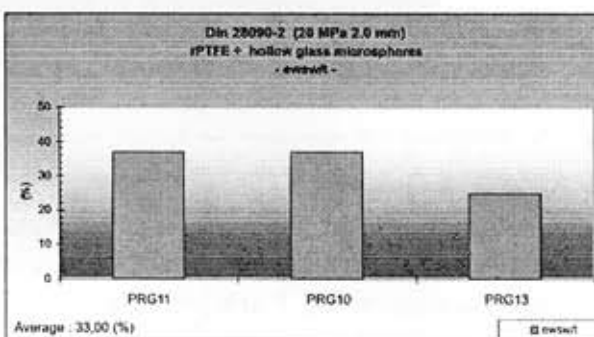


Figura 17

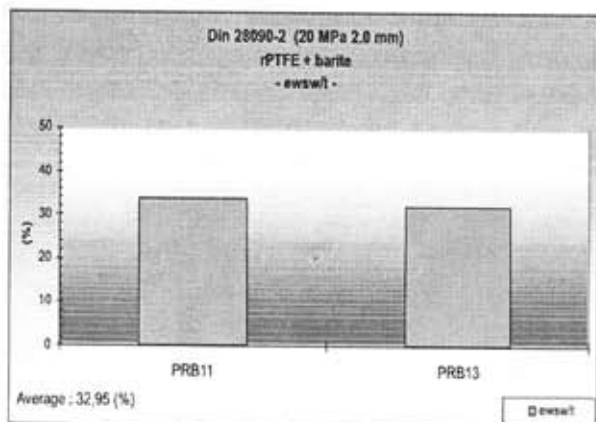


Figura 18

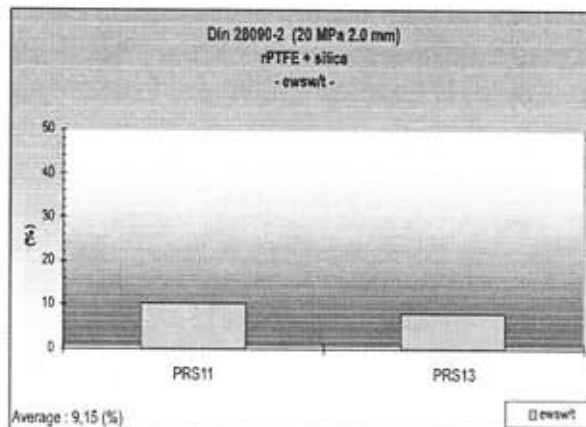


Figura 19

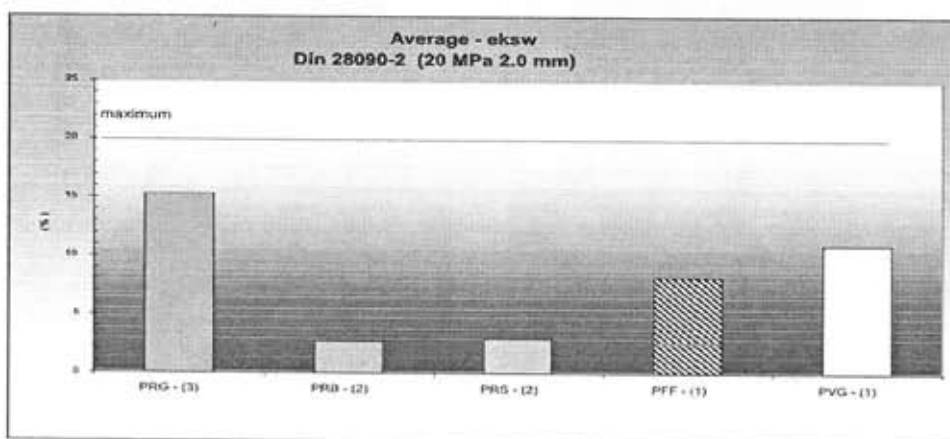


Figura 20

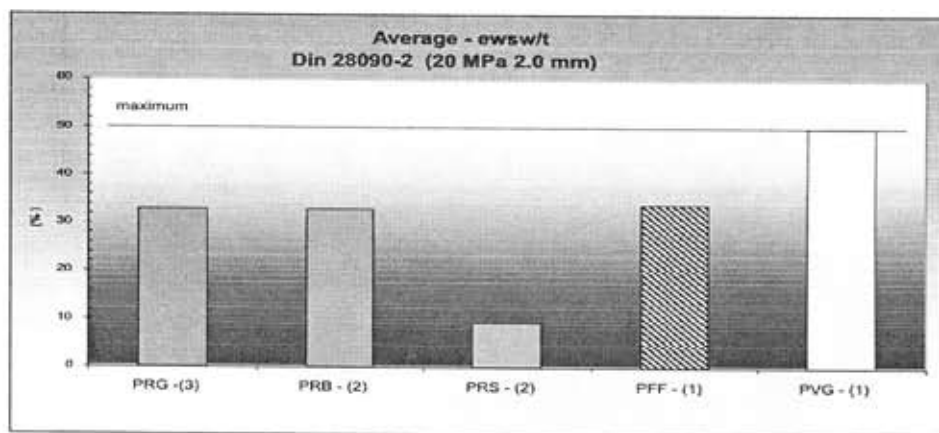


Figura 21

#### 7.4. Relaxamento sob Elevada Pressão

Esse teste segue o procedimento DIN 52913. O aparelho de testes está mostrado na Figura 44. O material de teste é instalado com um torque de 50 MPa (7251 psi) e a temperatura é elevada para 150°C (302°F). Após 16 horas, a pressão remanescente na junta é medida. As

Figuras 22 a 25 mostram os resultados para o rPTFE. A Figura 26 mostra a comparação dos valores médios para o sPTFE e o rPTFE. Pode ser observado que os diversos produtos à base de rPTFE possuem um comportamento semelhante para cada tipo de aditivo, e eles exibem perda de aperto significativamente menor do que os produtos à base de sPTFE.

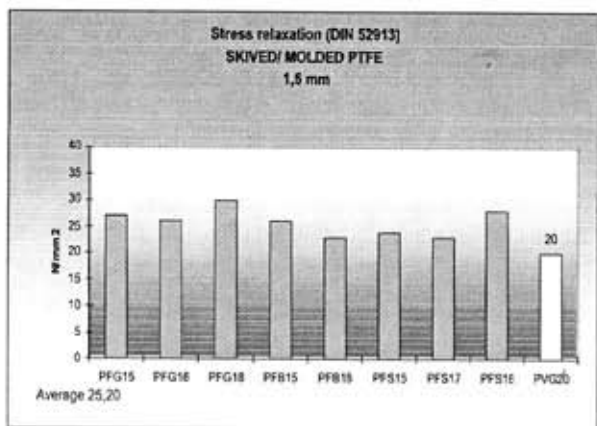


Figura 22

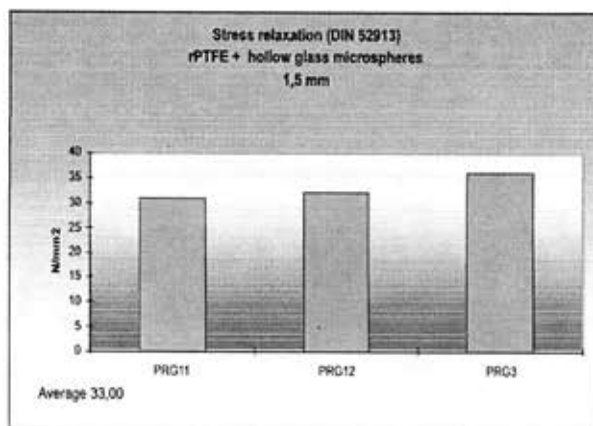


Figura 23

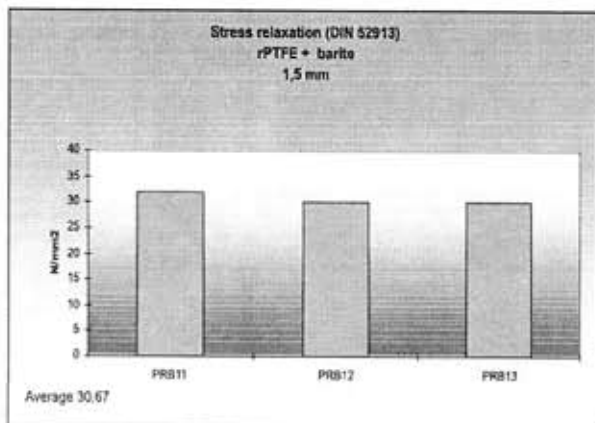


Figura 24

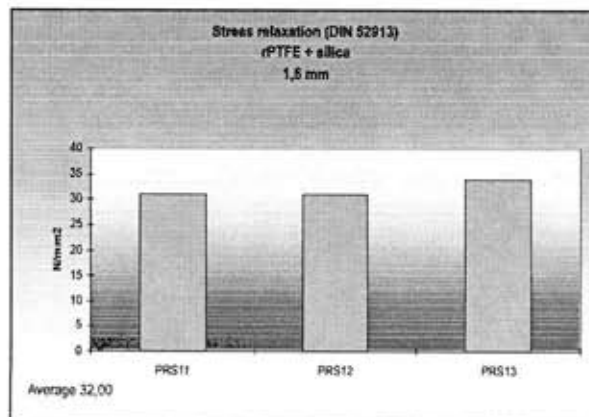


Figura 25

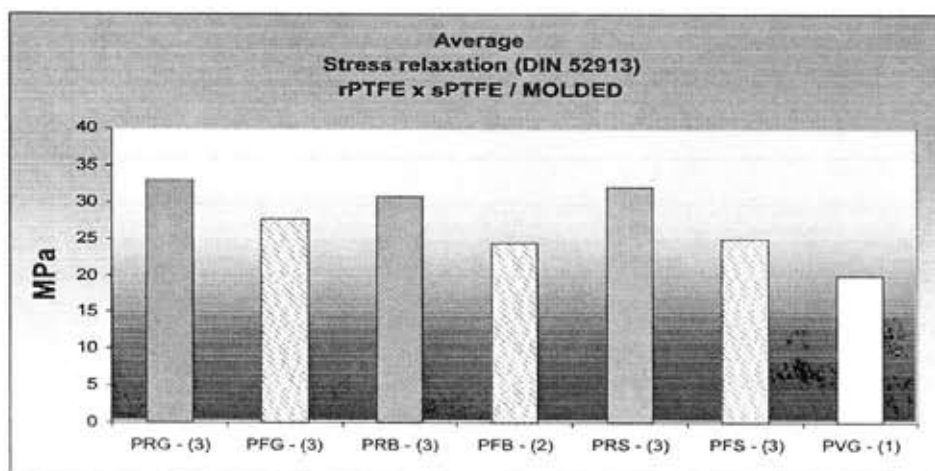


Figura 26

## 7.5. Selabilidade ASTM

Usando o procedimento ASTM F37 B, a amostra de testes é esmagada com 7 MPa (1000 psi) e testada com iso-octano a 0,7 bar (9,8 psi). O aparelho de testes está mostrado na Figura 46. Os resultados estão mostrados nas Figuras 27 a 31. Independente do enchimento, os produtos à base de rPTFE possuem uma maior selabilidade do que os de sPTFE. O rPTFE aditivado com Barita exibiu os melhores resultados.

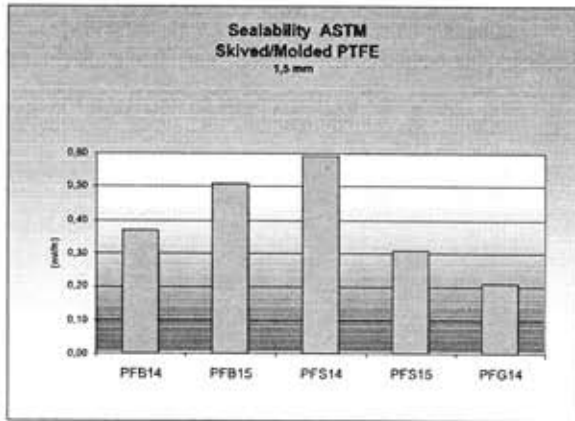


Figura 27

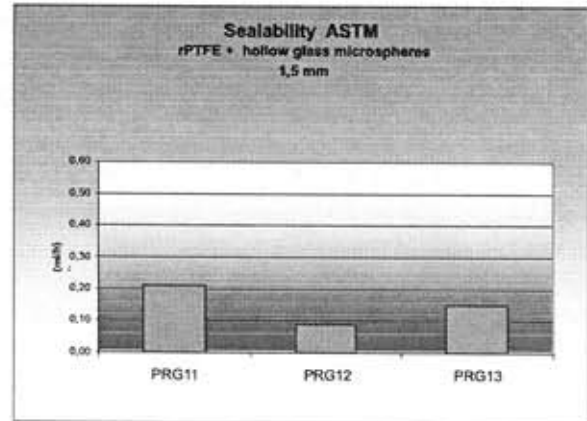


Figura 28

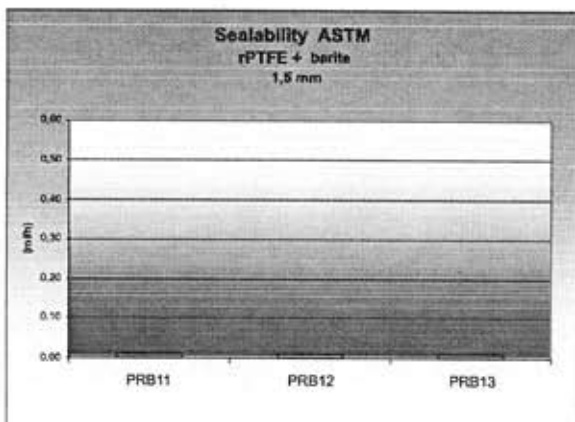


Figura 29

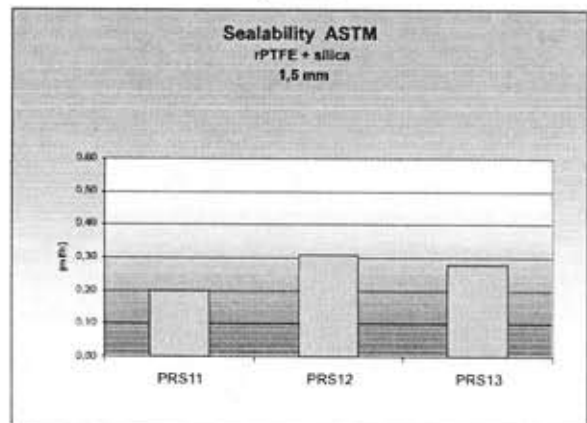


Figura 30

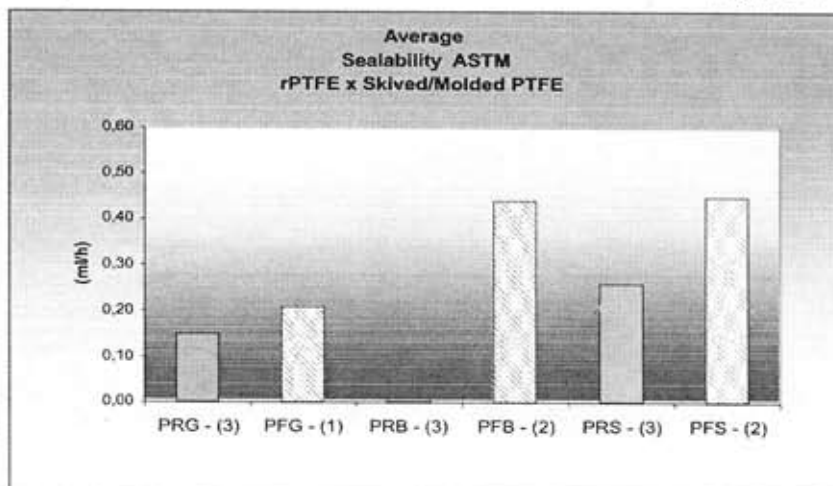


Figura 31

## 7.6. Compressibilidade e Recuperação

Esse teste segue o procedimento ASTM F36. A compressibilidade consiste na redução de espessura quando uma pressão de esmagamento de 14,5 MPa (5000 psi) é aplicada sobre o material. A recuperação consiste em quanto ele recupera a espessura quando a carga é removida. Ambas são expressas como uma porcentagem da espessura inicial. As Figuras 32 a 37 mostram os resultados dos testes. Os gráficos mostram que os materiais podem ser classificados como sendo de alta ou de baixa compressibilidade. Se o aditivo são microesferas ocas de vidro, não importa se o PTFE é usinado ou reestruturado, a compressibilidade e a recuperação da junta são elevadas. Para outros aditivos, a compressibilidade é menor e a recuperação é elevada, se consideradas como uma porcentagem. Contudo, se analisadas como um valor absoluto, elas são muito baixas. Considerando os valores médios, tanto o SPTFE como o rPTFE possuem um comportamento semelhante.

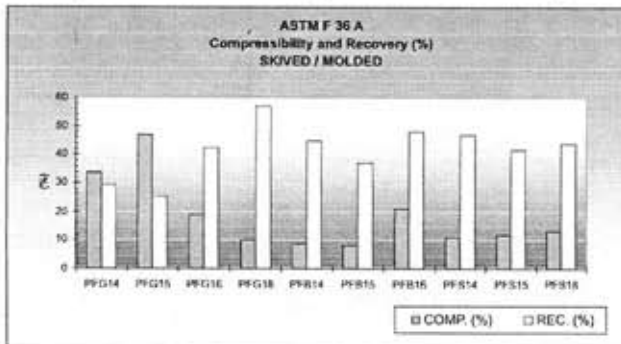


Figura 32

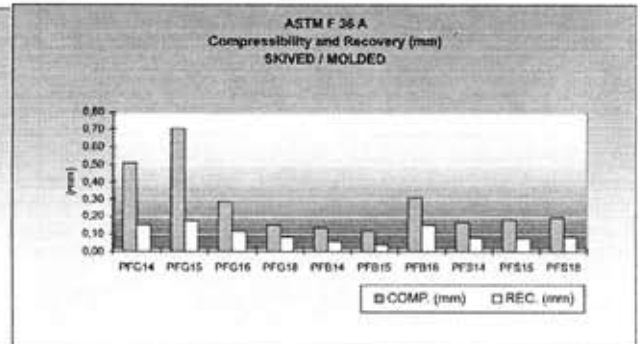


Figura 33

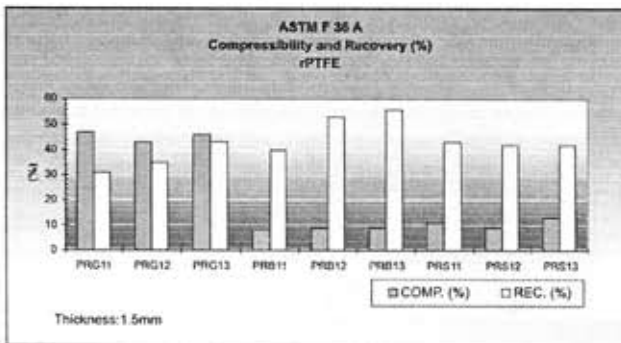


Figura 34

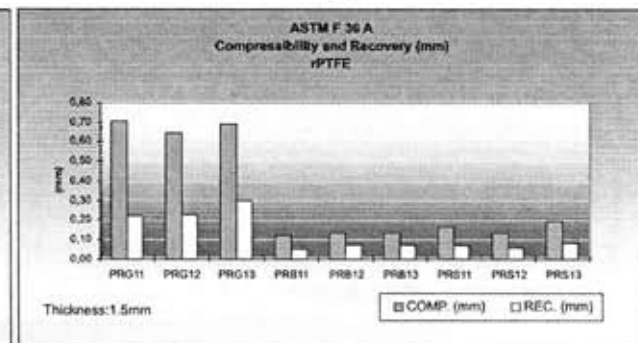


Figura 35

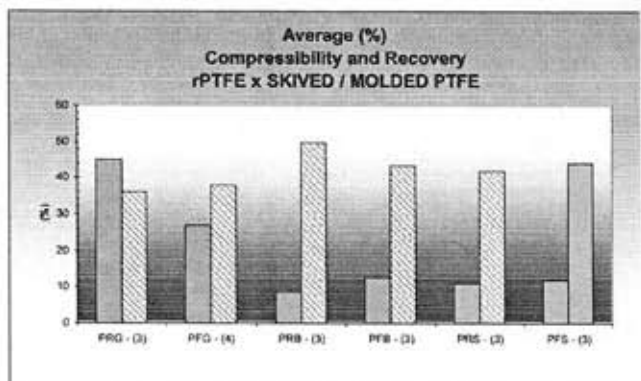


Figura 36

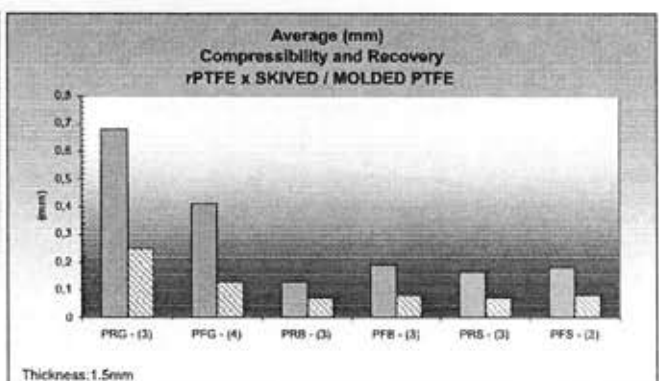


Figura 37

## 7.7. Selabilidade DIN

Esse teste segue o procedimento DIN 3535 parte 4. Essa norma é usada para qualificar Juntas para o uso em válvulas, acessórios e tubulações de gás. A uma pressão de 32 MPa (4641 psi) é aplicada de esmagamento na junta e a taxa de vazamento é medida com Nitrogênio a 40 bar (580 psi). Para se qualificar para essa aplicação, a taxa de vazamento deve ser inferior a 0,1mg/sec.m. O aparelho de testes está mostrado na Figura 45. Todos os produtos à base de rPTFE exibem uma taxa de vazamento que os qualifica para esse serviço. Por outro lado, os produtos usinados/moldados podem não se qualificar, como está mostrada nas Figuras 38 a 42.

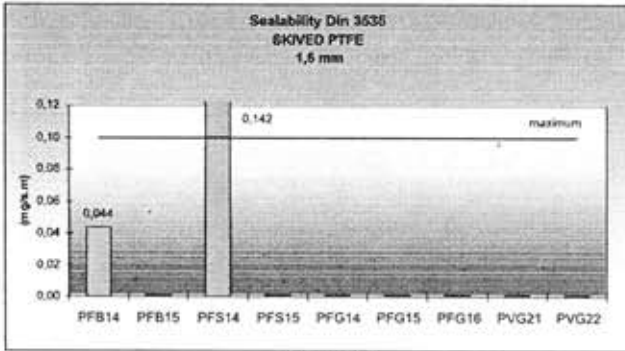


Figura 38

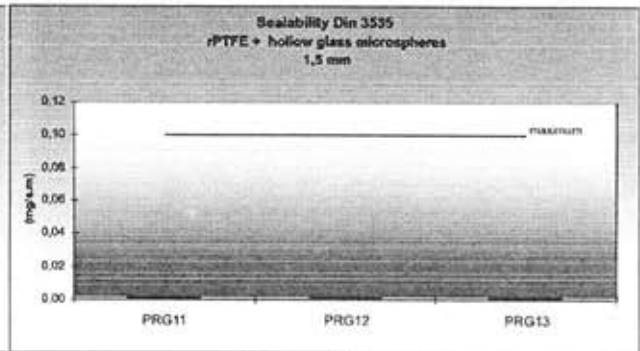


Figura 39

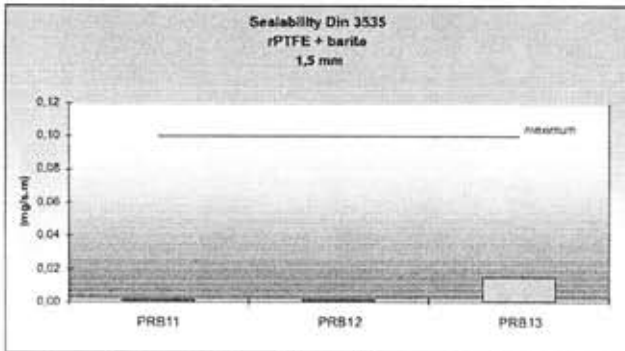


Figura 40

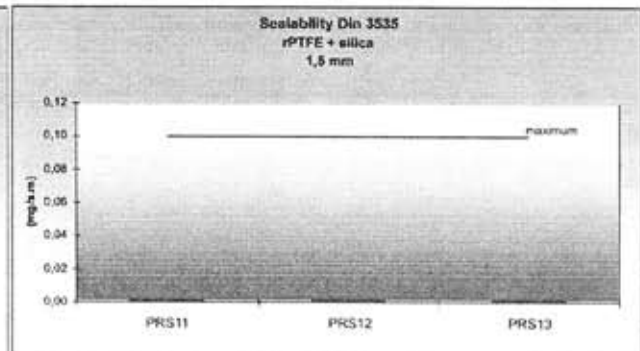


Figura 41

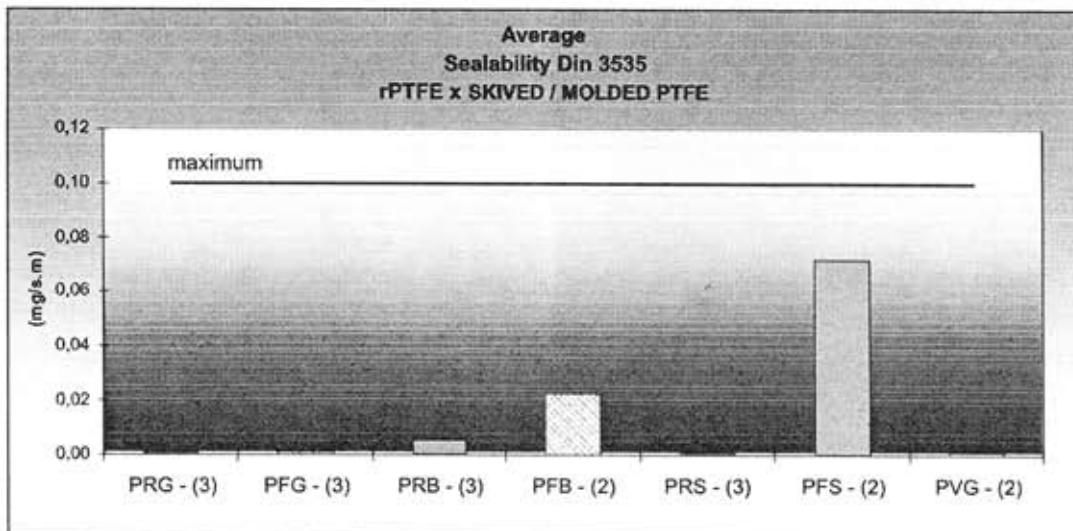
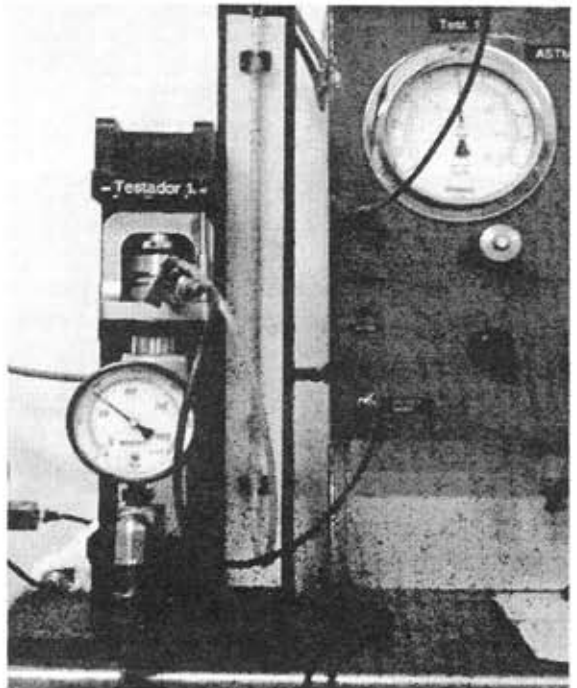
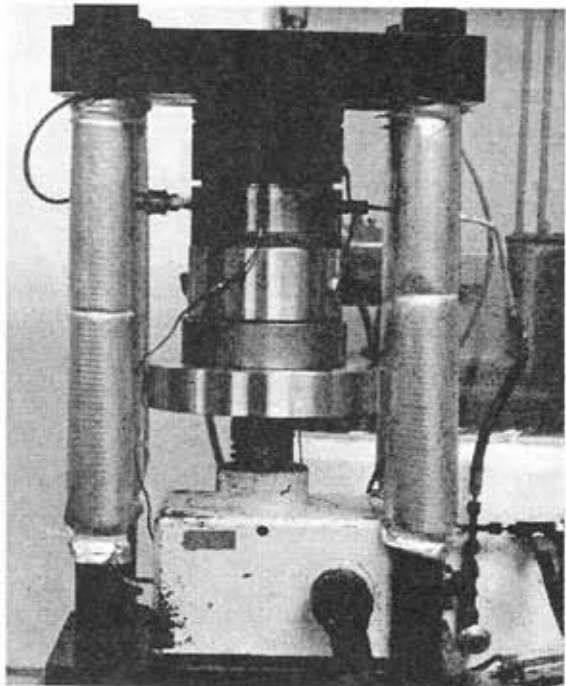
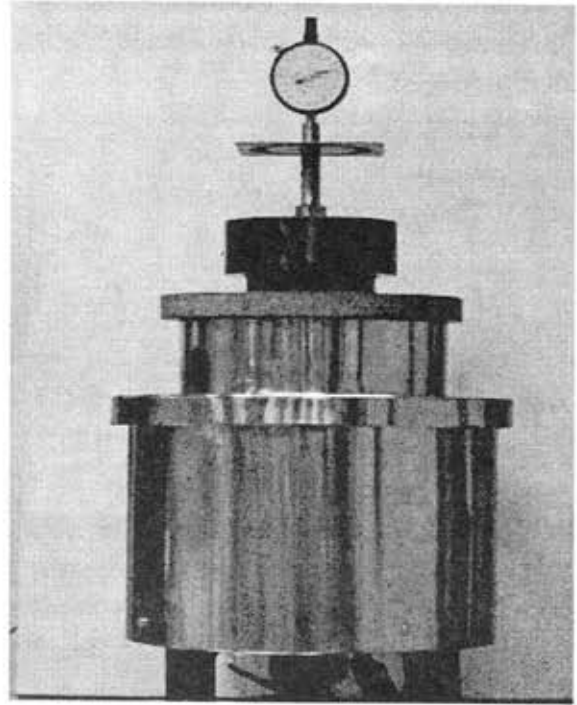
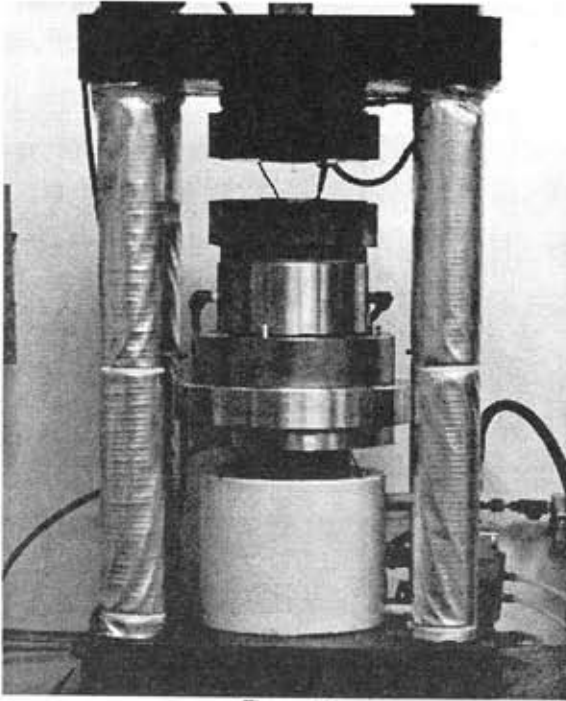
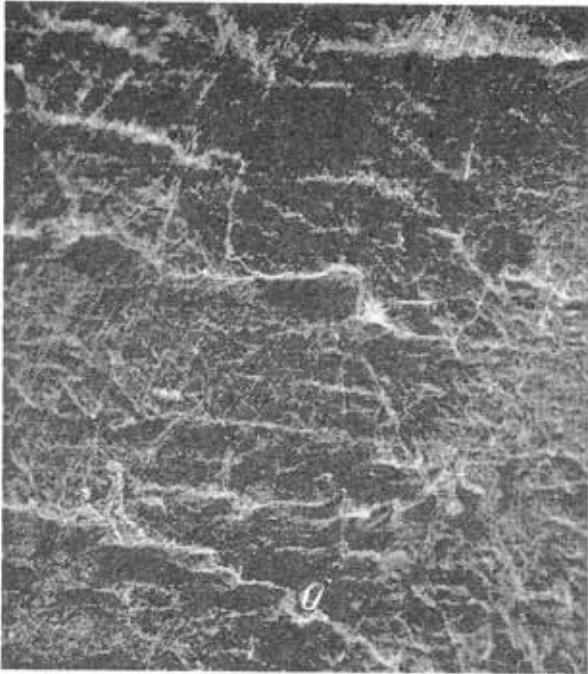


Figura 42

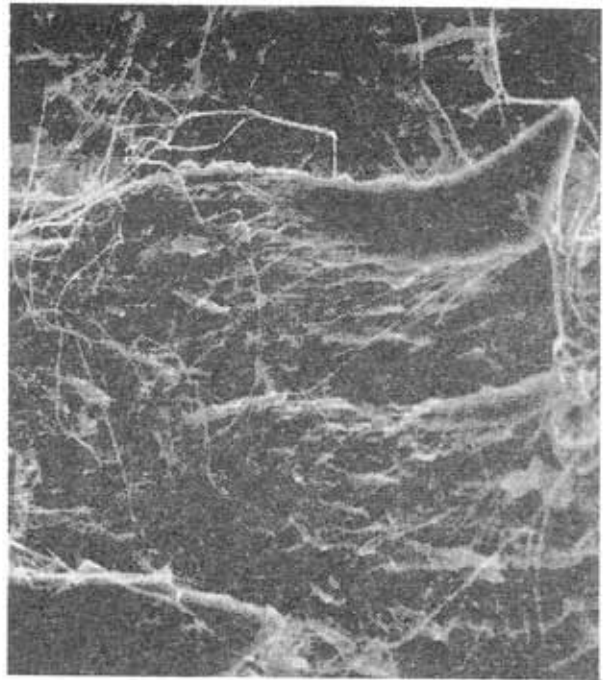
## 8. Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM - *Scanning Electron Microscope*)

Para examinar a morfologia por meio da análise de SEM, as amostras foram fraturadas e revestidas com ouro. As Figuras 47 a 51 exibem duas morfologias diferentes; O PTFE Usinado Virgem ou com carga exibe fibrilas finas (Figuras 47 e 48), enquanto o PTFE Reestruturado (Figuras 49 a 51) exibem fibrilas maiores, além das fibrilas mais finas. Essa diferença na morfologia explica as melhores propriedades mecânicas das folhas de rPTFE.





100 X



500 X

Figura 47 – Skived PTFE (sPTFE)



100 X



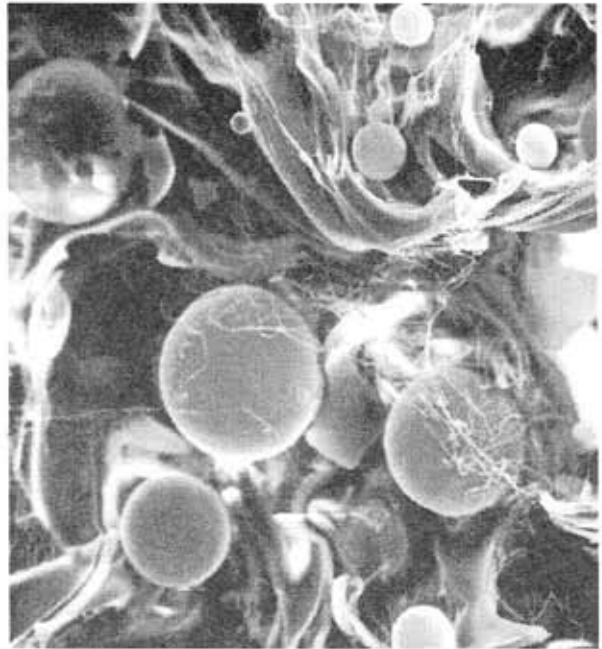
500 X

Figura 48 – Skived/Filled PTFE



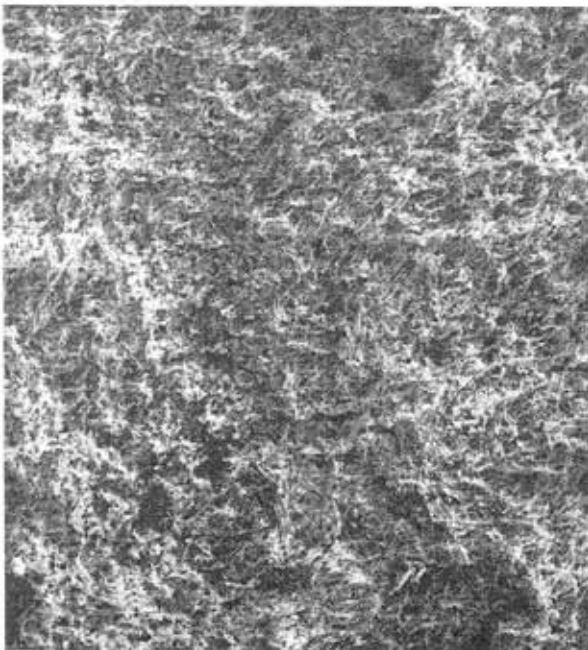


100 X



500 X

Figura 49 – rPTFE filled with Hollow Glass Micro-Spheres

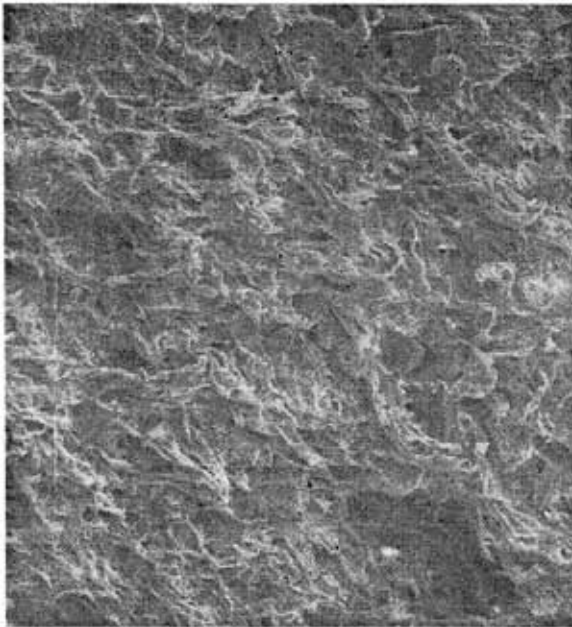


100 X

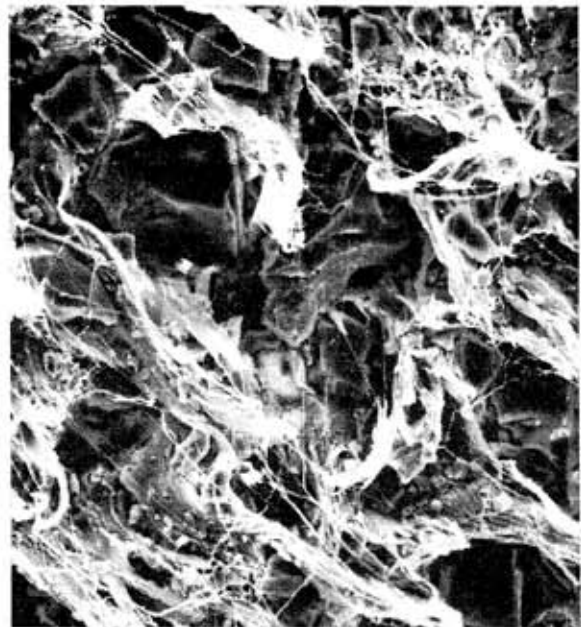


500 X

Figura 50 – rPTFE filled with Barite



100 X



500 X

Figura 51 - rPTFE filled with Silica

## 9. Conclusões

As fibrilações da matriz de PTFE durante os processos de fabricação, juntamente com os aditivos, aumentam as propriedades mecânicas, especialmente a temperaturas mais elevadas, superando a propriedade mais indesejável das juntas à base de PTFE, que é o relaxamento por fluência em temperaturas elevadas.

Foi mostrado que diferentes enchimentos atendem às demandas da aplicação, tais como alta compressibilidade para flanges frágeis ou elevada resistência mecânica para pressões mais altas.

Os resultados dos testes descritos ao longo de todo esse trabalho mostram claramente o melhor desempenho das folhas de juntas de PTFE aditivado e reestruturado com para a manutenção de uma boa vedação quando comparados tanto com produtos usinados com carga e sem carga.