

**BORRACHAS**

**DE**

**SILICONE**

**CARACTERÍSTICAS**

**COMPOSTOS**

**APLICAÇÕES**

## **COMENTÁRIOS**

Como pudemos identificar através pesquisas bibliográficas, desde sua primeira patente de aplicação, por volta de 1944, a Borracha de Silicone é reconhecida como especialidade, nas famílias dos elastômeros, principalmente por sua origem inorgânica, o que lhe confere singularidade de aplicações em altas e baixas temperaturas, e propriedades dielétricas.

Os dois primeiros produtores de Borracha de Silicone, foram a “General Electric” “GE” e “Dow Corning”, seguidos mais tarde por outros renomados fabricantes de, materiais poliméricos, como a Bayer, Rhodia e Wacker, que hoje atendem quase toda demanda mundial deste tipo de borracha.

As exigências da engenharia de aplicações, principalmente nos campos da eletricidade, automotiva e aeroespacial, conduziram ao incremento das pesquisas de novas características dos elastômeros de Silicone bem como de seus compostos e sistemas de cura, onde, atualmente são oferecidos ao mercado uma larga gama de tipos, não somente os Vinil Silicones, como também, Fenil Silicones e Flúor Silicones, que podem ser curados por peróxidos orgânicos ou variações de cura por platina, ainda, podem ser encontrados sistemas bi-componente, RTVs, elastômeros de silicone em estado líquido, para revestimento de tecidos, entre outros.

Também, face às necessidades especiais de aplicação e manufatura, aditivos específicos podem ser incorporados aos compostos, algumas vezes para estabilizar curativos, eliminando pós-cura, ou para incrementar propriedades específicas do artefato, ou ainda, facilitar processabilidade.

A ciência dos materiais elastoméricos reserva espaço singular às Borrachas de Silicone, e o universo de informações sobre este tipo de material é vasto, porém, de certa forma disperso ao processador / transformador e usuários de artefatos com este material, assim, muito longe de tentar esgotar o assunto, e nem mesmo a ousadia de reunir todas as informações, porém, buscando mostrar uma minúscula porta de dados com objetividade e facilidade de consulta é que juntamos, nas páginas seguintes, informações elementares que, pelo menos, tendem a ascender uma luz, ou despontar um cuidado maior na escolha / indicação de Borrachas de Silicone, pelo transformador e ou usuário de artefatos com este material.

## ÍNDICE

- Comentários,
- Índice dos Tópicos,
- Introdução,
- Química Estrutural da Borracha de Silicone,
- Figura 1; Esquema Estrutural da Cadeia Polimérica da N.R.,
- Figura 2; Esquema Estrutural da Cadeia Polimérica da Borracha de Silicone,
- Borracha de Silicone, Classificação ASTM-D-1418,
- Figura 3; Estrutura Polimérica do Dimetil Siloxano “MQ”,
- Figura 4; Estrutura Polimérica do Metil-Fenil-Siloxano “PVMQ”,
- Figura 5, Estrutura Polimérica do Metil-Vinil-Siloxano “VMQ”,
- Figura 6, Estrutura Polimérica do Flúor Silicone “FVMQ”,
- Borracha de Silicone Fenílico “PVMQ”
- Borracha de Silicone Vinílico “VMQ”,
- Borracha de Silicone Fluorado “FVMQ”,
- Comparação de Propr. entre as Famílias de Borracha de Silicone,
- “Tabela 06”; Comparação de Propriedades,
- Síntese de Produção de Borracha de Silicone,
- Esquema da Síntese de Produção da Borracha de Silicone,
- Compostos com Borracha de Silicone,
- Cargas,
- Efeito Reforçante de Carga nos Compostos, “Tabela 07”,
- Influência da Quantidade de Carga, “Tabela 08”,
- Auxiliares de Processamento,
- Tratam. da Superf. da Sílica Pirog. e Interação com o Pol. de Silicone “Fig 7”,
- Incorporação de Cargas em Borracha de Silicone,
- Cura (Vulcanização) de Compostos de Silicone,
- Esquema do Mecanismo de Cura de Polím. de Silicone por Peróxidos, “Fig. 8”,
- Outros Ingredientes para Compostos com Borracha de Silicone,
- Ingredientes para Compostos de Borracha de Silicone, “Tabela 09 e 12”,
- Processamento de Compostos com Borracha de Silicone,
- Métodos e Processos de Conformação de Artefatos com Borracha de Silicone,
- Moldagem por Compressão,

- Moldagem por Transferência,
- Moldagem por Injeção,
- Extrusão de Compostos com Borracha de Silicone,
- Métodos mais Comuns de Vulcaniz. de Perfil de Silicone Extrusado,
- Vulcanização em Túnel Contínuo,
- Vulcanização em Túnel de Vapor (Catenária),
- Vulcanização em Autoclave,
- Calandragem de Compostos de Silicone,
- Pós-Cura dos Artefatos em Borracha de Silicone,
- Caract., Prop. e Algumas Inf. Importantes sobre Artefatos com B. de Silicone,
- Resistência a Altas Temperaturas,
- Resistência a Baixas Temperaturas,
- Resistência à Deformação por Compressão,
- Características Elétricas da Borracha de Silicone,
- Resistência Química da Borracha de Silicone,
- Outras Características Relevantes da Borracha de Silicone,
- Propriedades Mecânicas Gerais “Tabela 10”,
- Algumas Aplicações de Artefatos Fabricados com Borracha de Silicone,
- “Tabela 1” – Silicones Fenílicos – Propriedades,
- “Tabela 2” – Peróxidos para Cura de Borracha de Silicone,
- “Tabela 3” – Silicones Vinílicos Dow Corning, Caract. e Propriedades,
- “Tabela 3” – Continuação - Silicones Vinílicos Bayer/GE,
- “Tabela 3” – Silicones Vinílicos G.E,
- “Tabela 4” – Características e Indicação de Uso dos Silicones Vinílicos,
- “Tabela 5” – Fluorsilicones,
- “Tabela 11” – Borracha de Silicone Contratipos,
- “Tabela 12” – Aditivos Especiais para Compostos com Borracha de Silicone,
- “Tabela 13” - Formulações de Referência,
- “Tabela 14” – Algumas Propr. da Borracha de Silicone Ref. “Tabela 13”,
- Bibliografia/ Comentários,

## **INTRODUÇÃO**

Borrachas de Silicone são especialidades de elastômeros sintéticos que proporcionam um excelente balanço entre propriedades químicas, mecânicas e resistência a ampla gama de temperatura, características estas muito requeridas em diversas aplicações industriais e automotivas.

Os primeiros desenvolvimentos que se tem notícia, das Borrachas de Silicone remonta a década de 1940.

As Borrachas de Silicone apresentam singular performance em artefatos submetidos a altas e baixas temperaturas mantendo excepcional estabilidade, ainda oferece ótima flexibilidade, boa resistência química e a intempéries, excelentes propriedades de isolamento elétrico e superior força de vedação em anéis e retentores.

Borrachas de Silicone, devido sua pureza e características químicas, oferece excepcional biocompatibilidade o que permite seu emprego em muitos artefatos médicos e farmacêuticos, alimentos, entre outros.

Comparados com outros tipos de elastômeros orgânicos, as Borrachas de Silicone apresentam grande facilidade de processamento o que resulta em alta produtividade e custo moderado, do artefato final.

A seguir serão apresentados de maneira bem sumarizada porém, consistentes diversas informações de grande importância sobre as Borrachas de Silicone, como:- famílias, estrutura química, processamento, formulação, compostos, sistemas de cura, propriedades mecânicas, etc.

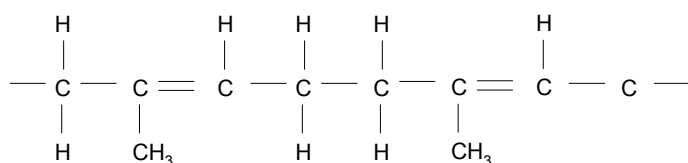
## **QUÍMICA ESTRUTURAL DA BORRACHA DE SILICONE**

Considerando-se a variedade de famílias e tipos de elastômeros especiais existentes à disposição das indústrias transformadoras, as Borrachas de Silicone reservam certa distinção, pois é originária de materiais inorgânicos, como a areia de praia.

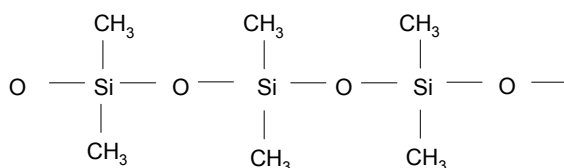
Basicamente sua estrutura química consiste de Silício e Oxigênio (Si - O), elementos que formam sua cadeia polimérica. Esta formação estrutural

das Borrachas de Silicone é que responde pelas propriedades de excelente resistência a larga faixa de temperaturas, bem como as de resistir à oxidação e a degradação pelo ozônio.

Basicamente estas são as principais diferenças características das Borrachas de Silicone, (ou polisiloxanos) comparadas com os elastômeros hidrocarbônicos, (polímeros orgânicos). Ver ilustração abaixo Figura 1 e 2.



**Fig. 1** - Esquema estrutural da cadeia polimérica da borracha natural (polímero



**Fig. 2** - Esquema estrutural da cadeia polimérica da Borracha de Silicone (Dimetil

Esta ligação silício-oxigênio é idêntica às estruturas encontradas em materiais altamente estáveis como o quartzo, o vidro e a areia, o que dá a excelente performance de resistência a altas e baixas temperaturas, à degradação por oxigênio, ozônio, intemperismo, efeito corona e irradiações.

Vale lembrar que muitos polímeros orgânicos (hidrocarbônicos) contêm em suas estruturas poliméricas primárias insaturações, (duplas ligações), e estas são sensíveis à oxidação e ao ataque de oxigênio. Se observarmos a cadeia estrutural da Borracha de Silicone, verificaremos a inexistência de insaturações, resultando em um polímero resistente a tais condições ambientais.

A estrutura molecular da Borracha de Silicone pode ser quimicamente modificada para melhorar ainda mais certas características, muitas vezes requeridas por aplicações específicas de uso dos artefatos. Diversos grupos

orgânicos poderão ser inseridos ao longo da cadeia polimérica da Borracha de Silicone, como; grupos Metil, Vinil, Fenil e Trifluorpropil, são comuns, o que resulta em significantes melhorias em algumas propriedades, exigidas dos artefatos finais.

A inclusão de grupos Vinil (aproximadamente 1 molécula por 100, na cadeia estrutural da Borracha de Silicone) proporciona grande melhoria na eficiência de reticulação (crosslink) com peróxidos orgânicos, o que resulta em melhor qualidade de Deformação Permanente à Compressão (menor (D.P.C.) e resistência a óleos aquecidos.

Borrachas Dimetil Silicone oferecem aos artefatos finais, ótimas propriedades de manter a flexibilidade a baixas temperaturas até - 60 ° C, porém, com a substituição parcial dos grupos Metil por grupos Fenil, os resultados de resistência a baixas temperaturas passam agora para próximo de - 100° C. Esta categoria de Borrachas de Silicone (Fenil-Silicone) são normalmente indicada para peças aeroespacial, onde a performance em baixa temperatura e de primordial importância.

A inclusão de Trifluorpropil à cadeia estrutural da Borracha de Silicone promove certo aumento da polaridade iônica na molécula o que resulta em melhoria na resistência química a combustíveis e produtos derivados de Petróleo, assim temos a Borracha Flúor Silicone.

A Borracha Flúor Silicone reúne as excelentes propriedades de resistência a altas e baixas temperaturas com ótima performance de uso em contato com derivados de Petróleo e outros fluidos apolares.

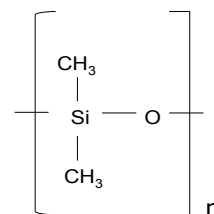
**BORRACHAS DE SILICONE CLASSIFICAÇÃO CONFORME ASTM**

**D-1418**

**FIGURAS 3; 4; 5; 6**

—————> *Silicones Metílicos: - Dimetil Siloxano ..... MQ*

*Estrutura Polimérica*



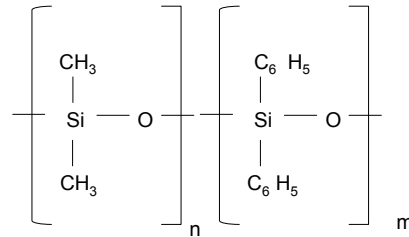
**Fig. 3**

Aplicação:- Artefatos de uso geral, artigos esponjados, etc...

→ *Metil – Fenil – Siloxano.....PVMQ*

*Estrutura Polimérica*

**FIG. 4**

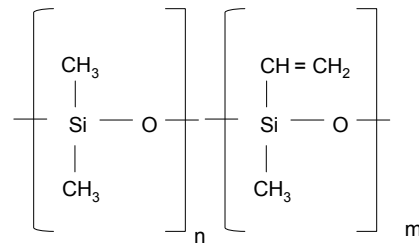


Aplicação: - Artefatos para uso em extrema baixa temperatura

→ *Metil – Vinil – Siloxano. .... VMQ*

*Estrutura Polimérica*

**FIG. 5**

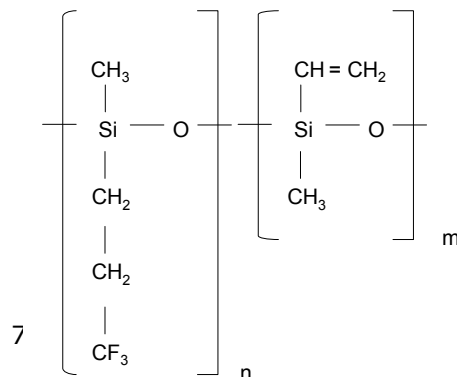


Aplicação: Artefatos que necessitam de baixa Deformação Permanente à Compressão (este tipo é o mais comum no mercado).

→ *Flúor Silicone.....FVMQ*

*Estrutura Polimérica*

**FIG. 6**





Aplicação:- Artefatos resistentes a solventes hidrocarbonetos derivados de Petróleo

## **RESUMINDO TEMOS**

### **BORRACHAS DE SILICONES FENÍLICOS “PVMQ”**

Então, da estrutura básica do Dimetil Siloxano, modificando-se à proporção de 5% a 10% dos radicais Metila por radicais Fenila obtem-se os Metil Fenil Siloxanos, seja, as Borrachas de Silicone Fenílicos.

Os Silicones Fenílicos oferecem artefatos com excelentes propriedades de resistência a baixas temperaturas, mantendo-se flexíveis até próximo a – 100° C.

A cura (vulcanização) desta família de Borrachas de Silicone é promovida por Peróxidos Orgânicos, as melhores propriedades mecânicas são conseguidas após os artefatos serem submetidos à pós-cura, normalmente durante 4 horas a 200° C.

Borrachas de Silicone “PVMQ” podem ser conformadas em artefatos pelos diversos métodos tradicionais de indústrias de borracha, como: - moldagem por compressão, transferência, injeção, extrusão e calandragem. A “Tabela 01” apresenta alguns grades e características de cura deste tipo de silicone.

### **BORRACHAS DE SILICONE VINÍLICOS “VMQ”**

Com a modificação de até 1% de radicais Metila por radicais Vinila, obtém-se as Borrachas Metil-Vinil-Siloxano “VMQ”.

Artefatos produzidos com Borrachas “VMQ”, apresentam excelentes propriedades de baixa Deformação Permanente à Compressão, pois, os radicais Vinila proporcionam elevado estado de cura pela excelente eficiência

da interação entre a Borracha “VMQ” e os Peróxidos Orgânicos. Vale lembrar que alguns tipos de Borrachas de Silicone “VMQ” demandam pós-cura, para oferecer o máximo de qualidade técnica em seus artefatos. A “Tabela 02” apresenta alguns tipos de Peróxidos Orgânicos normalmente usados para promover a cura (vulcanização) das Borrachas de Silicone.

Borrachas de Silicone “VMQ”, são as mais largamente usadas pelas indústrias de artefatos em geral. Podemos, com “VMQ” fabricar artigos pelos vários métodos de moldagem, usados pelas indústrias de artefatos de borracha.

A “Tabela 03”, mostra alguns tipos mais comuns e propriedades técnicas conseguidas com Borrachas de Silicone “VMQ” e a “Tabela 04” apresenta algumas características e indicações de uso do “VMQ”.

### **BORRACHAS DE SILICONE FLUORADOS “FVMQ”**

Com a modificação de até 50% dos radicais Metila por Trifluorpropil, na estrutura das Borrachas de Silicone, obtêm-se os Flúor Silicones “FVMQ”.

As Borrachas de Silicone Fluorados “FVMQ” são mais resistentes a solventes não-polares, tipo hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos. Os Flúor Silicones são normalmente empregados na fabricação de artefatos como: anéis o’rings, gaxetas, diafragmas e outras peças que tenham contato com óleos e combustíveis derivados de petróleo, geralmente em altas ou baixas temperaturas (-50° C a 240° C).

Artigos produzidos a base de “FVMQ” não devem ser usados em contato com solventes polares do tipo álcoois, cetonas ou ésteres, pois, degradam-se. Nestas aplicações são mais indicados os “VMQ”.

A cura (vulcanização) das Borrachas de Silicone “FVMQ” também é conseguida através de Peróxidos Orgânicos, como os mostrados na “Tabela 02”. A “Tabela 05” apresenta alguns tipos de “FVMQ”.

**COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES ENTRE AS FAMÍLIAS DE  
BORRACHA DE SILICONE.**

**TABELA 06**

| <b><u>PROPRIEDADES</u></b> | <b><u>MQ</u></b> | <b><u>VMQ</u></b> | <b><u>PVMQ</u></b> | <b><u>FVMQ</u></b> |
|----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Alto Alongamento           | >                | <                 | =                  | <                  |
| Alta Tensão Ruptura        | >                | <                 | =                  | <                  |
| Altos Módulos              | <                | >                 | =                  | =                  |
| Alta Resiliência           | =                | >                 | <                  | <                  |
| Baixa Def. Perm. Comp.     | <                | >                 | <                  | =                  |
| Resist. a Óleo             | <                | >                 | <                  | >                  |
| Estabilid. Térmica         | =                | =                 | >                  | <                  |
| Resistência Reversão       | <                | >                 | <                  | <                  |
| Flexib. a Baixas Temp.     | =                | =                 | >                  | <                  |
| Resist. A Irradiação       | =                | =                 | >                  | =                  |
| Resist. a Combustíveis     | <                | =                 | <                  | >                  |
| Transparência              | =                | =                 | >                  | <                  |
| Veloc. Cura Rápida         | <                | >                 | =                  | <                  |

**Legenda:- > superior; < inferior; = moderada**

As propriedades apresentadas acima são para famílias individuais de cada categoria. A blenda com silicões de família com características superiores tendem a melhorar algumas propriedades desejadas.

**SÍNTESE DA PRODUÇÃO DE BORRACHAS DE SILICONE**

Basicamente os silicões, tantos os de estado físico líquidos, como os RTVs ou as borrachas, são originados pelos mesmos métodos e mesma matéria prima, diferenciando somente a viscosidade ou grau de polimerização.

Todo processo inicia com a redução da sílica (areia) para um silício elementar que é submetido a reação química com cloreto de metila a uma temperatura de 300°C na presença de um catalisador a base de cobre, resultando então a formação de silano-metilclorado que é fracionado, destilado

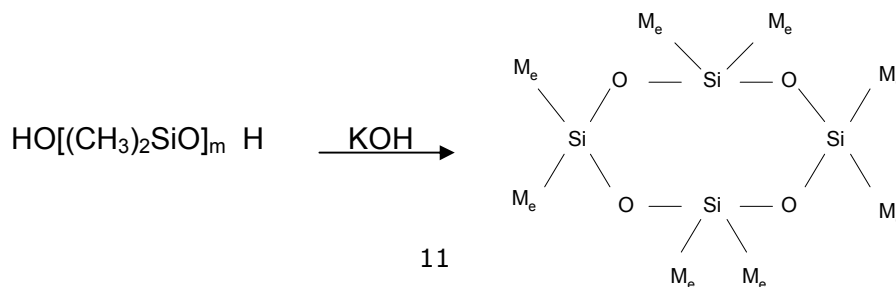
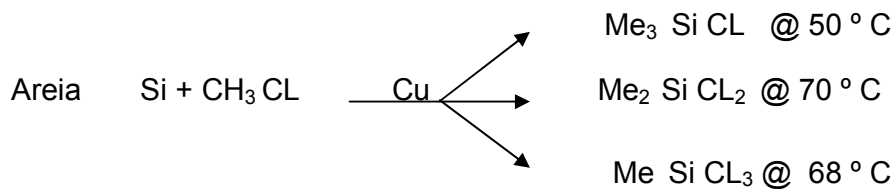
e separado dentro da classificação mono, di o tri contraparte de cloro funcional no clorosilano. Vale ressaltar que os elementos dicloro são os mais importantes para formação de longas cadeias lineares, desde que sua bifuncionalidade permita tal crescimento molecular, quimicamente em duas dimensões. Formações de espécies elementares tricloro produzem ligações estruturais tridimensionais sendo importante para materiais base rígidos, não elásticos.

Depois da destilação, os dimetil dicloro silanos, são hidrolizados para formação de silanóis que rapidamente se condensam em siloxanos cíclicos e siloxanos de baixo peso molecular, mais tarde são submetidos a reação com soda cáustica para produzir também os siloxanos cíclicos, principalmente o dimetil tetrâmero ou D<sub>4</sub>, que é a base de toda borracha dimetil siloxano, sendo que nesta fase mostra-se como um líquido claro de baixa viscosidade.

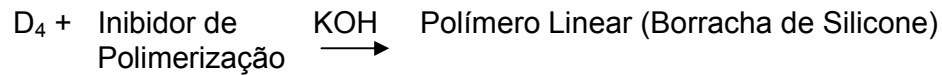
Na polimerização, abrindo o anel do cíclico tetrâmero D<sub>4</sub> por materiais químicos básicos extremamente fortes, resulta em um polímero linear cujo peso molecular (viscosidade) é controlada pela adição de siloxanos monofuncionais, que tem a função de interromper o crescimento das cadeias poliméricas.

Abaixo é apresentado esquematicamente a síntese discorrida.

**ESQUEMA DA SÍNTESE DE PRODUÇÃO DA BORRACHA DE SILICONE.**



## Dimetil Tetrâmero Cíclico D<sub>4</sub>



### **COMPOSTOS COM BORRACHA DE SILICONE**

O polímero de Silicone puro oferece pobres propriedades mecânicas aos artefatos vulcanizados.

Para se conseguir alguma melhora nas propriedades mecânicas de artefatos técnicos com compostos em Borrachas de Silicone, muitas vezes solicitadas em peças de engenharia, é necessário a adição de ingredientes de reforço como cargas de partículas bastante pequenas e alta área superficial, ainda que esta carga apresente boa compatibilidade química com o polímero de Silicone.

Também, algumas vezes, para facilitar o processamento, aditivos como auxiliares de processo são requeridos, isto melhora a incorporação das cargas e a desmoldagem dos artefatos vulcanizados.

Em casos de artefatos especiais onde é importante um incremento na estabilidade térmica a altas temperaturas, aditivos específicos de base Terras Raras são normalmente incorporados ao composto.

Por fim, o agente de cura adicionado aos compostos com Borracha de Silicone são os Peróxidos Orgânicos, como já comentado anteriormente.

### **CARGAS**

Como carga de característica reforçante, para compostos de Silicone, a mais comumente usada é a sílica pirogênica, que é produzida através da pirólise do tetracloreto de silicone, na presença de hidrogênio e oxigênio. A sílica pirogênica apresenta partículas extremamente finas e de formato esférico tendo área superficial acima de 325 m<sup>2</sup>/g.

As partículas da sílica pirogênica são amorfas, porém, fundidas umas às outras, formando cachos (estruturas), que são unidas ao polímero de silicone por meio da interação química com o Si-O da cadeia polimérica o que resulta em poder reforçante de grande importância nas propriedades mecânicas dos artefatos vulcanizados finais.

A sílica precipitada é produzida por meio da acidificação e precipitação do silicato de sódio. Esta também pode ser usada como carga reforçante em compostos de Borracha de Silicone, mas normalmente oferece o resultado das propriedades mecânicas muito inferiores, se comparado com as sílicas pirogênicas, ainda, as sílicas precipitadas, devido a, sais residuais, subproduto do processo de manufatura, tende a empobrecer as propriedades elétricas dos artefatos vulcanizados.

De qualquer maneira, compostos com Borracha de Silicone contendo sílica precipitada apresentam muito bons resultados de baixa deformação permanente, alta resiliência e custo reduzido em comparação aos compostos contendo sílica pirogênica. Devido a sílica precipitada absorver água em sua superfície, algum esponjamento poderá ocorrer durante a vulcanização das peças, principalmente se não houver pressão durante a conformação do artefato.

O poder reforçante das cargas no polímero de Silicone pode ser facilmente verificado pelo aumento na dureza do artefato vulcanizado. Na “Tabela 07” é mostrado o incremento da dureza para diversos tipos de carga normalmente usadas em compostos de Borracha de Silicone.

**TABELA 07**

**EFEITO REFORÇANTE DE CARGAS E COMPOSTOS DE SILICONE**

| <b>Tipo de Carga</b> | <b>Poder Reforçante</b> | <b>Peso Específico</b> | <b>Diâmetro da Partícula (milimicrom.)</b> | <b>Área Superficial m<sup>2</sup>/g</b> | <b>Qtde. de carga em PHR para aumento de 1 Shore A</b> |
|----------------------|-------------------------|------------------------|--|---|--|
| Sílica               | Alto                    | 2,20                   | De 17 a 10                                 | De 200 a                                | 1 a 1,5  |

|                         |       |             |                 |       |           |
|-------------------------|-------|-------------|-----------------|-------|-----------|
| Pirogênica              |       |             |                 | 325   | 0,5 a 1,0 |
| Sílica Precipitada      | Alto  | 2,00        | 22              | 160   | 1 a 1,5   |
| Terra Diatomácea        | Média | 2,15 a 2,30 | 3000            | 5     | 2,0       |
| Quartzo Moído           | Baixo | 2,65        | De 5000 a 30000 | ----- | 3,0 a 5,0 |
| Óxido de Ferro Vermelho | Baixo | 4,95        | 1000            | ----- | -----     |
| Dióxido de Titâneo      | Médio | 3,90        | 300             | 9     | -----     |

Como podemos observar pela “Tabela 07” acima, o poder reforçante está fortemente relacionado com o tamanho de área superficial, da carga.

Carga sem poder reforçante como a terra diatomácea, normalmente é adicionada no composto de Borracha de Silicone para melhorar a resistência a óleos e graxas, do artefato vulcanizado.

O uso de quartzo moído, com tamanho de partículas 400 a 635 mesh algumas vezes são usados em compostos de Borracha de Silicone com a finalidade de reduzir custo do produto final, porém, também oferece redução na contração e melhora a condutividade térmica da peça.

Outras cargas como óxido de ferro vermelho e o dióxido de titânio também normalmente são usados em compostos de Borracha de Silicone como estabilizador térmico em artefatos aplicados em altas temperaturas, ainda, a alumina hidratada melhora a resistividade elétrica e resistência a inflamabilidade; o negro de fumo de finas partículas, funciona como elemento condutivo.

A “Tabela 08”, apresenta algumas comparações entre diversas proporções de carga tipo sílica pirogênica nas propriedades de um composto em Borracha de Silicone vulcanizado por 10 minutos a 177° C e pós-curado por 1 hora a 200°C.

**TABELA 08**

**INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE CARGA**

|                          |                       |                       |                       |                       |                       |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b><u>Formulação</u></b> | <b><u>Comp. A</u></b> | <b><u>Comp. B</u></b> | <b><u>Comp. C</u></b> | <b><u>Comp. D</u></b> | <b><u>Comp. E</u></b> |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

|   |         |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| VMQ 35 (Sh.A)   | 100 PHR | 100 PHR | 100 PHR | 100 PHR | 100 PHR |
| Sílica Pirogênica   | 0       | 25      | 50      | 100     | 150     |
| Peróxido DBPH-50  | 0,8     | 0,8     | 0,8     | 0,8     | 0,8     |
| <b><i>Propriedades após Vulcanizado 10' a 177°C e Pós Curado 1 hora a 200°C</i></b> |         |         |         |         |         |
| Dureza Shore A34  | 34      | 38      | 42      | 56      | 66      |
| Tensão Ruptura<br>MPa   | 5,0     | 5,1     | 6,6     | 7,5     | 9,3     |
| Alongamento %   | 780     | 750     | 690     | 500     | 210     |
| Resist. Rasgo N/mm  | 18      | 17      | 17      | 18      | 14      |
| D.P.C. %  | 35      | 37      | 37      | 38      | 42      |
| Peso Específico   | 1,10    | 1,25    | 1,37    | 1,55    | 1,69    |
| <b><i>Propriedades Após Envelhecimento Térmico 70 horas a 225° C</i></b>            |         |         |         |         |         |
| Varição Dureza<br>(Sh.A)  | + 2     | + 4     | + 4     | + 5     | + 9     |
| Varição T. Ruptura<br>%   | -16     | -12     | - 6     | - 4     | - 4     |
| Varição Along. %  | - 30    | - 30    | - 28    | - 45    | - 30    |

### **AUXILIARES DE PROCESSAMENTO**

Auxiliares de processamento para compostos em Borracha de Silicone, também conhecidos como agentes amaciantes, são silicones reativos em estado líquido que modifica quimicamente a superfície das partículas da sílica pirogênica o que melhora a incorporação no polímero de Silicone. Como a maioria destes auxiliares de processo são líquidos, eles podem ser adicionados às sílicas pirogênicas (cargas) formando assim uma carga pré-tratada para, depois ser adicionado ao polímero. De qualquer maneira, muitos processadores também adicionam a carga (sílica pirogênica) ao polímero, simultaneamente com o auxiliar de processamento, no ato da mistura do composto. A “Figura 7” , apresenta, para um melhor entendimento, a interação química do tratamento da sílica pirogênica.





**Nota:** Uma breve explicação do tratamento da sílica pirogênica como mostrado na “Figura 7”.

A “Figura 7”, mostra esquematicamente a interação do polímero líquido de silicone no tratamento da partícula da sílica pirogênica. Como podemos observar, o grupo hidroxil pendente ( HO ) na superfície da partícula da sílica forma uma ligação secundária com o oxigênio ( O ) da cadeia polimérica do Silicone, a isso chamamos de ligação hidrogênica, que aumenta com o passar do tempo.

Um composto de Borracha de Silicone, não vulcanizado, contendo sílica pirogênica não tratada, tenderá a enrigecer com o envelhecimento.

Então, os auxiliares de processo, usados no tratamento da sílica pirogênica, reagem com os grupos hidroxil pendentes e, por meio disto reduz, (durante o processamento de mistura) o nível de interação polímero carga, melhorando a processabilidade e aumentando o tempo de vida do composto não vulcanizado em estoque. Isto é mostrado na “Figura 7c” onde os grupos Hidroxil são substituídos por grupos alcoxí não reativos “R”.

Estes auxiliares de processamento normalmente são fluídos de silicone com grupos hidroxil interrompidos ou ingredientes químicos que se hidrolizam durante o processamento no composto reduzindo grupos hidroxil reativos que interage com a superfície da sílica.

Para melhorar ainda mais a processabilidade, aumenta-se ligeiramente os teores do auxiliar de processamento, que tem um efeito funcional como agente extensor das cargas, isto também melhora as propriedades físicas finais do artefato vulcanizado e realça a transparência, porém, o uso em excesso dos auxiliares de processo podem comprometer os resultados de deformação permanente à compressão, e resistência a altas temperaturas.

## **INCORPORAÇÃO DE CARGAS EM BORRACHA DE SILICONE**

Devido às características típicas do polímero de Silicone, uma perfeita incorporação de cargas, mesmo as tratadas com os auxiliares de processamento já mencionados, é bastante dificultosa, em máquinas e

condições convencionais das indústrias transformadoras de borracha. O nível de cisalhamento e pressões para uma boa dispersão de um composto de Silicone são muito distintos, daqueles empregados em borrachas hidrocarbônicas convencionais..

Em máquinas e processos convencionais, demanda-se mais que o dobro do tempo para produção de compostos para artefatos com boa qualidade final.

Assim, um bom artifício comumente usado pelas indústrias processadoras de borrachas convencionais, quando necessita produzir artefatos em Borrachas de Silicone, é o de adquirir compostos já misturados dos composteiros já credenciados pelas grandes companhias fabricantes dos polímeros de Silicone (Rhodia, GE, Dow Corning, Wacker, etc...).

### **CURA (VULCANIZAÇÃO) DE COMPOSTOS DE SILICONE**

Os agentes de cura mais comumente usados em compostos com Borracha de Silicone, são os Peróxidos Orgânicos, que quando aquecido a certas faixas de temperatura se decompõem formando radicais livres que reagem com os grupos orgânicos pendentes da cadeia molecular do Silicone subtraindo dois átomos de hidrogênio formando ligações carbono-carbono (C-C) em duas cadeias diferentes ( ou na mesma cadeia ) o que é denominado crosslink, (cura ou vulcanização).

Os resultados de crosslink no composto de Silicone, bem como a quantidade de crosslink e sua distribuição espacial na massa polimérica, têm influência significativa nas propriedades físicas do artefato final vulcanizado.

O tempo de cura está relacionado com a velocidade de decomposição do Peróxido. A velocidade de decomposição do Peróxido, é em função do aumento da temperatura de vulcanização e propagação desta através da espessura da parede do artefato.

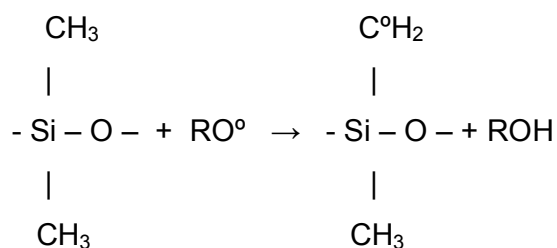
A atuação do Peróxido na reação de cura dos compostos de Silicone é mostrada no esquema da “Figura 8”, abaixo.

**FIGURA 8**  
**ESQUEMA DO MECANISMO DE CURA DE POLÍMEROS DE**  
**SILICONE POR PERÓXIDOS**

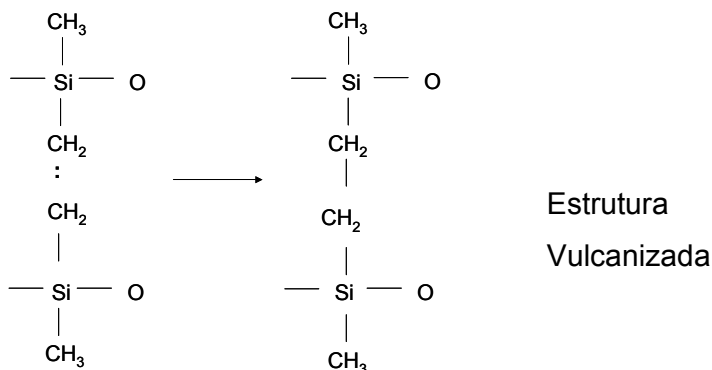
**a) Para Polímeros Dimetil Siloxano**

**1ª Fase:** Peróxido Decomposição      **ROOR + calor = 2RO°**

**2ª Fase:** Reação Silicone / Peróxido



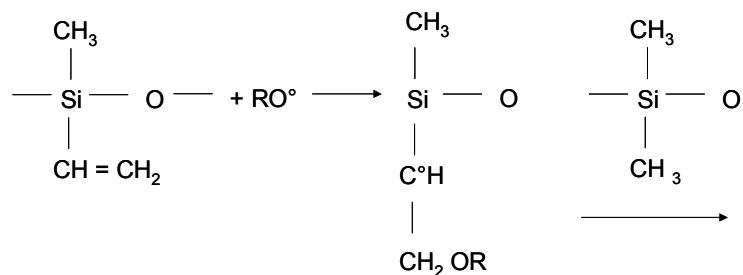
**3ª Fase:** Crosslink



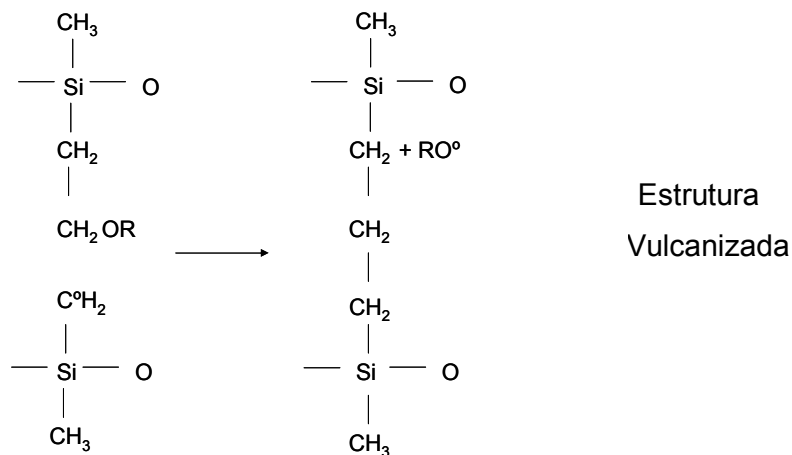
**b) Para Polímeros Metil Vinil Siloxano**

**1º Fase:-** Peróxido Decomposição      **ROOR + calor = 2RO°**

**2º Fase:-** Reação Peróxido / Silicone



### 3º Fase:- Crosslink



Como vemos no esquema “Figura 8”, ambos os grupos laterais vinil e metil, da estrutura polimérica das Borrachas de Silicone apresentam alta reação com o Peróxido e são responsáveis pela importância da densidade de cura no artefato vulcanizado.

Todos os Peróxidos Orgânicos usados como agentes de cura de Borrachas de Silicones estão contidos dentro de duas amplas categorias, de acordo com sua facilidade de formar ligações cruzadas (crosslinks) com os grupos vinílicos ou metílicos.

Os dialkil peróxidos, como o Peróxido de Dicumila atuam sobre grupos vinílicos específicos, enquanto que os diacil peróxidos, como o Peróxido de Benzoila atuam também em outros grupos CH.

Normalmente encontra-se no mercado Peróxidos altamente ativo (90 a 98%) em estado físico líquido ou pré-disperso em forma de pó ou pasta estando 40 a 50% ativo. Peróxidos em pó ou pasta são mais recomendados para compostos de Borracha de Silicone, pois, oferece maior segurança no manuseio e são de mais fácil dispersão. A “Tabela 02” apresenta diversos tipos de Peróxidos e informações adicionais para uso em compostos com Borracha de Silicone.

**Nota:-** Não trataremos neste texto e cura por agentes metálicos, como cura por platina, principalmente pelo alto custo deste sistema de cura e também devido a ser pouco usado nas indústrias transformadoras de borracha. Aos interessados neste sistema de cura sugerimos troca de informações técnicas com os fabricantes de Silicone.

### **OUTROS INGREDIENTES PARA COMPOSTOS COM BORRACHA DE SILICONE**

Como já vimos, os principais ingredientes de um composto de Borracha de Silicone são; o polímero de Silicone, cargas reforçantes, auxiliares de processos específicos e o agente de cura, porém, ainda outros aditivos podem ser incorporados ao composto, quando se deseja intensificar alguma propriedade técnica em particular como maior resistência ao envelhecimento por calor, resistência a óleo, retardar a propagação de chama, maior endurecimento ou amaciamento do composto e desmoldante interno. Os fabricantes de compostos com Borracha de Silicone, podem oferecer estes aditivos já dispersos no composto, ou tais ingredientes podem ser adquiridos diretamente dos produtores de polímero de Silicone, e adicionado segundo necessidade particular. Vale lembrar, que alguns destes aditivos podem causar problemas em certos tipos de polímeros de Silicone, assim, recomendamos sempre consultar o departamento técnico dos produtores de Silicone.

A “Tabela 09” apresenta os principais ingredientes para compostos em Borracha de Silicone.

**TABELA 09**  
**INGREDIENTES PARA COMPOSTOS COM BORRACHA DE SILICONE**

| <b><u>INGREDIENTE</u></b> | <b><u>CARACTERÍSTICA FUNCIONAL</u></b> | <b><u>QTDE. PHR</u></b> |
|---------------------------|--|-------------------------|
| Polímero Silicone         | Material Base                          | 100                     |
| Carga Reforçante          | Propriedade Mecânica                   | 0 a 80                  |
| Carga Inerte              | Redução custo Resistência à Óleo       | 0 a 50                  |

|                       |  |                                |
|-----------------------|--|--------------------------------|
| Auxiliar de Processo  | Processabilidade e Estabiliz. Shelf Life     | Depende qtde. Carga Reforçante |
| Peróxido Orgânico     | Agente de Cura                               | Ver Tabela 02                  |
| Óxidos Metálicos      | Resistência a Óleo e a Reversão              | 0 a 10                         |
| Óxido e Ferro         | Pigmento e Estabilidade p/ Altas Temp.       | 0 a 10                         |
| Dióxido de Titânio    | Branqueador e Estabilizador para Altas Temp. | 0 a 7                          |
| Retardante Chama      | Resistência a inflamabilidade                | 2 a 10                         |
| Aditivo Endurecimento | Aumenta Consistência do Composto e Dureza    | 0,5 a 1,5                      |
| Amaciante             | Amaciamento do Composto                      | 1 a 10                         |
| Adit. Altas Temperat. | Resistência à Altas Temperaturas             | 0 a 0,8                        |
| Desmoldante Int.      | Facilitar Desmoldagem do Artif.              | 0 a 1                          |

### **PROCESSAMENTO DE COMPOSTOS COM BORRACHAS DE SILICONE**

Compostos com Borracha de Silicone podem ser misturados em Banbury ou misturador aberto convencional de borracha, desde que o equipamento usado ofereça um grau de cisalhamento constante ao polímero para uma boa incorporação e dispersão dos ingredientes da composição.

Tanto no Banbury quanto no misturador aberto, o processo de mistura inicia-se colocando primeiramente o polímero de Silicone para mastigação, seguido dos ingredientes líquidos, que devem ser perfeitamente incorporados ao polímero, depois adiciona-se as cargas reforçantes ou inertes.

Após a total incorporação das cargas, adiciona-se o restante dos ingredientes de composição, deixando para última fase a adição dos agentes de cura (peróxidos).

Todos os ingredientes deverão ser perfeitamente misturados e homogeneizados para obter-se um composto de boa qualidade.

Algumas vezes, quando é necessário misturar de um composto, onde o polímero de Silicone apresenta baixa viscosidade, para se obter um grau de cisalhamento adequado, no início do processamento de mistura, acrescenta-se parte da carga ao polímero.

A incorporação das cargas reforçantes no composto de Silicone, principalmente as que apresentam grande área superficial, normalmente necessita de tempos maiores de processamento, para conseguir-se uma mistura satisfatória.

A incorporação ao composto, de cargas pré-tratadas (como já comentado anteriormente) geralmente provoca certo aquecimento dos materiais, durante mistura, isto resulta em condição favorável, pois, facilita a homogeneização, elimina resíduos voláteis e estabiliza as características do composto, porém, poderá ocorrer de o composto grudar sobre os rolos do misturador aberto.

**Se todo o composto com Borracha de Silicone for processado em Misturador Aberto, o uso de máquinas com relação de fricção de 1:1,2 a 1:1,4 proporciona um grau de plastificação melhor ao polímero e maior rapidez de mastigação, incorporação e dispersão dos ingredientes.**

Como orientação para processamento de mistura em Misturador Aberto, segue-se:

**a-) Verificar se a máquina está perfeitamente limpa e com sistema de refrigeração aberto.**

**b-) Abrir a distância entre rolos ( nip ) em 3 a 5 mm..**

**c-) Colocar o polímero de Silicone para mastigação entre os rolos do misturador e processar até que ocorra a plastificação, seja, quando formar uma banda em torno de um dos rolos (normalmente o que gira mais rápido).**

**d-) Adicionar os ingredientes líquidos, lentamente, sobre o polímero de Silicone plastificado, até total incorporação.**

**e-) Adicionar a carga (reforçante ou inerte) ao composto, lentamente observando a incorporação e perfeita homogeneização de todo volume. (Espaçar os rolos do misturador, se necessário).**

**f-) Recortar em largas tiras, a massa e cruzar sobre os rolos do misturador para intensificar a homogeneização.**

**g-) Adicionar demais aditivos (menos os agentes de cura), homogeneizando-os perfeitamente (usar o artifício descrito no item f-). Pigmentos Corantes, melhor que sejam em masterbatches, pré-dispersos em Borracha de Silicone.**

**h-) Adicionar o agente de cura, incorporando e homogeneizando perfeitamente (usar o artifício descrito no item f-).**



*i-*) Recortar a massa composta em tiras com largura de aproximadamente 10 cm e espessura aprox. 0,8 cm., e enviar para os processos de conformação subseqüentes.

## **MÉTODOS E PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO DE ARTEFATOS COM BORRACHA DE SILICONE**

**Compostos com Borracha de Silicone podem ser fabricados ou conformados pelos diversos métodos convencionais de indústrias transformadoras de borracha, seja: moldagem por compressão, moldagem por transferência, injeção, extrusão e calandragem.**

**Comparando-se a outros elastômeros, os compostos base Borracha de Silicone são relativamente fáceis de promover a conformação e vulcanização (cura), porém, alguns compostos após vulcanizados necessitam de pós-cura.**

**Pós-cura são normalmente indicadas em determinados tipos de peças, principalmente automotivas onde ocorrem rápidos ciclos de produção ou em artefatos onde o nível de cheiro deve ser mínimo.**

**Abaixo discorreremos de forma sumária, alguns dos métodos de conformação dos compostos com Borracha de Silicone.**

### **MOLDAGEM POR COMPRESSÃO**

**Moldagem por compressão é o método de produção de artefatos em Borracha de Silicone, mais largamente usado em indústrias transformadoras de borracha.**

**Como normalmente empregado para outros compostos elastoméricos, também para o Silicone o método consiste em preparar certo volume do composto, preferencialmente pré-formado, alimenta-se a cavidade do molde, coloca-se a tampa ou parte superior do molde, monta-se este em uma prensa, prensando e submetendo-o à temperatura de vulcanização, deixando durante certo tempo pré-estabelecido, logo após, abre-se a prensa e o molde desmoldando-se a peça então conformada e vulcanizada. Caso o artefato necessite de pós-cura, deverá ser colocado em estufa com aquecimento e ar circulante, por período de tempo e temperatura pré-determinada.**

### **MOLDAGEM POR TRANSFERÊNCIA**

**O método de moldagem por transferência consiste em alimentar com o composto cru, um compartimento do molde em que por meio de furos criteriosamente dimensionados, o composto fluirá, quando a este for imprimida certa pressão. O composto**

**atravessa os furos preenchendo a cavidade do molde que apresenta o formato em negativo do artefato, e uma vez preenchida a cavidade, o conjunto do molde é submetido à temperatura de vulcanização durante tempo adequado.**

Basicamente a moldagem por transferência é um método de moldagem intermediário entre os métodos de compressão e de injeção.

### **MOLDAGEM POR INJEÇÃO**

Compostos com Borracha de Silicone normalmente oferecem viscosidade relativamente baixa e velocidade de cura rápida, que são características interessantes para o emprego do método de moldagem por injeção. Um aspecto negativo, dos compostos base Silicone é a baixa resistência a cru (baixo green strength), no ato de alimentar a rosca da injetora com as tiras do composto, pois, tendem a romper com facilidade, então, para minimizar este problema, coloca-se as tiras em rolos e próximo da boca de alimentação da rosca. Os ciclos de injeção de compostos com Silicone são também relativamente rápidos entre 1 a 3 minutos, dependendo das espessuras de paredes da peça. A contração das dimensões do artefato moldado, também tenderão a ser menor, devido a alta pressão da injeção. O projeto do molde para injeção deve ser cuidadosamente elaborado, levando em consideração, além da quantidade e balanceamento da cavidade, ainda os canais de injeção, com seções transversais suficientemente dimensionadas para um fluxo regular e sem mudança brusca de direção. Também pontos de saída de ar devem ser considerados, para que não ocorra defeitos ou falhas no artefato moldado e vulcanizado.

### **EXTRUSÃO DE COMPOSTOS COM BORRACHA DE SILICONE**

Também como usado para as borrachas orgânicas convencionais, quando desejamos produzir perfis longos com secção transversal regular; igualmente para as Borrachas de Silicone, é usado o processo de extrusão.

Extrusoras comuns para borracha, com roletes alimentadores e eficiente sistema de refrigeração podem ser usadas para produzir perfis como

guarnições, cordões, mangueiras, fios e cabos elétricos, etc, com excelente qualidade.

Normalmente, extrusoras com relação L/D de 8:1 a 12:1, ( relação comprimento / diâmetro da rosca ), e razão de pressão na rosca de 2:1 a 4:1 são indicadas, ainda recomendando-se a instalação de tela de filtro em aço inoxidável com abertura entre 60 a 150 mesh no cabeçote de extrusão da máquina, isto além de evitar contaminação por partículas metálicas, entre outras, também mantém constante a pressão do composto dentro do canhão/rosca, reduzindo problemas de porosidade e melhorando o controle dimensional, do perfil extrusado.

## **MÉTODOS MAIS COMUNS DE VULCANIZAÇÃO DE PERFIL DE BORRACHA DE SILICONE EXTRUSADO**

### **VULCANIZAÇÃO EM TÚNEL CONTÍNUO**

Este método de vulcanização consiste em apoiar o perfil, logo após sair da matriz da extrusora, sobre uma esteira metálica que se movimenta em velocidade constante dentro de um longo túnel (30 a 60 m.) cuja atmosfera interna está com ar aquecido à temperatura que pode chegar a 250° C. O perfil viaja apoiado na esteira permanecendo no interior do túnel por tempo necessário para que ocorra a cura (vulcanização). O tempo de residência do perfil dentro do túnel pode variar de alguns segundos até dezenas de minutos, dependendo do tamanho da secção transversal do perfil, agentes de cura utilizados no composto e temperatura atuante sobre o perfil.

Uma observação extremamente importante é que para vulcanização de compostos com Borracha de Silicone em túnel a ar quente, o agente de cura mais indicado é o Peróxido de Dicloro-Benzoila DCBP-50, este proporciona vulcanização rápida e ótimo estado de cura, e perfil sem porosidade.

### **VULCANIZAÇÃO EM TÚNEL DE VAPOR (CATENÁRIA)**

**O método de vulcanização por túnel de vapor é comumente usado para produção de fios e cabos elétricos.**

O túnel a vapor consiste de um longo tubo com diâmetro entre 100 a 150 mm. e comprimento que pode alcançar 75 metros. Este tubo é tampado em ambas as extremidades tendo somente um orifício central nas tampas, por onde irá passar o fio (cabo) elétrico revestido. Uma das extremidades é acoplada à matriz da extrusora, (entrada), e a outra extremidade, (saída), normalmente fica imersa em um pequeno tanque com água. No interior do tubo (túnel) é injetado vapor a uma pressão que varia de 7,0 a 12 kg/cm<sup>2</sup> e temperatura entre 160 a 190° C, condições sob as quais o fio (cabo) elétrico revestido com Borracha de Silicone estará submetido durante o tempo necessário para ocorrer a vulcanização.

Basicamente estes dois métodos (8.4.1.1 e 8.4.1.2) são os mais largamente usados para vulcanização contínua de perfis de Silicone. Métodos como banho de sal e banho de chumbo, devido à toxicidade, estão sendo evitados.

### **VULCANIZAÇÃO EM AUTOCLAVE**

Método de vulcanização em autoclave, também algumas vezes são usados, quando os sistemas de fabricação e características do perfil permitam que sejam cortados ou enrolados e ainda produção intermitente.

Neste método, basicamente o perfil após extrusado é acondicionado em bandejas ou suportes especiais e introduzidos no interior da autoclave, em seguida, a porta é fechada hermeticamente formando um vaso de pressão. A autoclave é carregada com vapor à pressão entre 6,0 a 10 kg/cm<sup>2</sup> e temperatura aproximadamente 150 a 170°C; nesta condição o perfil permanece durante o tempo necessário para que ocorra a cura, após, por meio de válvulas, o vapor é retirado da autoclave, e descarrega-se o perfil vulcanizado.

### **CALANDRAGEM DE COMPOSTOS DE SILICONE**

Como sabemos, calandragem é um processo de conformação que permite conseguir lençóis de borracha, com longos comprimentos, e espessura constante. Compostos de Borracha de Silicone também permite a produção de artefatos deste gênero.

Os lençóis calandrados podem ser totalmente em borracha ou a combinação com tecido suporte e de reforço.

Normalmente são usadas calandras de 3 ou 4 rolos que trabalham a velocidades constantes de 0,2 a 3m/min., para processar compostos de Silicone.

Compostos com Borracha de Silicone, para calandragem, preferencialmente deverão apresentar alto green strength ( resistência a cru ) e maciez no processamento, assim, compostos mais carregados processam melhor, também, é aconselhável, que antes de submeter o composto de Silicone ao processo de calandragem, este já tenha descansado no mínimo 24 horas depois de misturado, isto minimiza problemas de contração desuniforme do lençol e oferece melhor calandragem.

Os lençóis calandrados de Silicone, contendo tecido de reforço, ou não, poderão ser vulcanizados em rotocures, longas estufas a ar quente, ou em autoclaves. Normalmente depois de vulcanizados, deverão ser submetidos à pós-cura, em estufas com circulação de ar.

### **PÓS-CURA DOS ARTEFATOS EM BORRACHA DE SILICONE**

Comumente, promove-se a pós-cura nos artefatos feitos de Borracha de Silicone por alguns motivos principais, que são: melhorar o estado de cura do artefato, assim conseguindo-se melhores propriedades mecânicas, melhor estabilidade dimensional, melhor performances em trabalhos sob altas temperaturas e por fim, remover os resíduos voláteis oriundos da decomposição do agente de cura.

A operação de pós-cura, nos artefatos produzidos com Borracha de Silicone é de suma importância, principalmente os curados por Peróxido 2,4-Dicloro-Benzoila ou Peróxido de Benzoila, pois, os sub-produtos da decomposição destes curativos poderá causar reversão em artefatos que trabalham sob altas temperaturas, comprometendo suas propriedades mecânicas e reduzindo a vida útil, da peça.

Para operação de pós-cura, podem ser usadas estufas com aquecimento elétrico ou a gás, também é imprescindível uma boa circulação de ar (mínimo de 1,0m<sup>3</sup>/min. Por kg de artefato de Silicone) no interior da estufa.

As peças deverão ser acondicionadas, dentro da estufa, de maneira que todas suas superfícies fiquem expostas ao ar quente circulante. A “Tabela 03” orienta com relação ao tempo e temperatura, de pós-cura para os artefatos em Borracha de Silicone.

## **CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E ALGUMAS INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE ARTEFATOS COM BORRACHA DE SILICONE**

### **RESISTÊNCIA A ALTAS TEMPERATURAS**

Os artefatos produzidos com Borracha de Silicone podem ser submetidos a temperatura de até 315°C em trabalho constante, mantendo perfeitamente sua performance técnica, seja: dureza, resistência à tração, alongamento, resistência a abrasão, etc.

Estudos realizados mostraram que os artefatos de Silicone podem ser submetidos, por alguns segundos a picos de temperatura até 400°C.

Para aplicação em ar quente circulante, a resistência à temperatura limita-se em máximo de 250°C.

Artefatos de Borracha de Silicone degradam-se se submetidos a contato direto com vapor d’água à temperaturas acima de 130° C.

Também, os silicones VMQ. e PVMQ. não são indicados para peças que terão contato com fluidos aromáticos aquecidos acima de 120 °C.

As Borrachas de Silicone iniciam sua queima, com chama forçada, à temperatura de aproximadamente 400° C, e o sub-produto da queima é o ácido silícico, que também mantém as ótimas propriedades de isolamento elétrico, equivalente ao material inicial. Portanto, vale frisar que fios e cabos elétricos revestidos com Borracha de Silicone, continuam sendo isolantes à eletricidade mesmo após a combustão completa.

### **RESISTÊNCIA A BAIXAS TEMPERATURAS**

As Borrachas de Silicone oferecem ótimas propriedades a baixas temperaturas. Artefatos produzidos à base de Silicones Vinílicos VMQ mantém perfeitamente suas performances técnicas à temperaturas até -50°C. Artefatos

produzidos com Silicones Fenólicos “PVMQ” mantém ótima performance técnica de suas propriedades à temperaturas tão baixas quanto a aproximadamente  $-100^{\circ}\text{C}$ .

### **RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE À COMPRESSÃO**

**As Borrachas de Silicone são as que oferecem melhores resultados de baixa Deformação Permanente à Compressão, em mais larga faixa de temperaturas, mantendo estável esta propriedade desde  $-25^{\circ}\text{C}$  até aproximadamente  $180^{\circ}\text{C}$ . Compostos cuidadosamente elaborados adequadamente curados apresentam resultados de Deformação Permanente à Compressão inferior a 25% em ensaios segundo ASTM-D.395 (método B-22 horas a  $175^{\circ}\text{C}$ ).**

### **CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DA BORRACHA DE SILICONE**

Dos materiais elastoméricos, a Borracha de Silicone é a que oferece melhores propriedades de isolamento elétrico a altas voltagens isolando tensões que podem chegar a 600 volts por milímetro de espessura. A resistividade volumétrica está na faixa de  $10^{14}$  a  $10^{16}$  ohm/cm. A constante dielétrica a 60 Hz atinge 2,95 a 4,0 e o fator de potência a 60 Hz está entre 0,001 a 0,0100.

### **RESISTÊNCIA QUÍMICA DA BORRACHA DE SILICONE**

Compostos com Borracha de Silicone das famílias VMQ e PVMQ, não apresentam muito boa resistência química a ácidos, álcalis, combustíveis, hidróxido de carbono, solventes clorados, esteress, eteres e cetonas.

Borrachas de Silicone VMQ e PVMQ em contato com derivados de petróleo apresentam resultado de ataque químico e inchamento, parecido com o que ocorre em compostos de Policloropreno (quando submetidos à mesma condição), ainda, estas famílias de Silicone não devem ser indicados para produção de artefatos que venham trabalhar em contato com óleos aromáticos à temperaturas acima de  $130^{\circ}\text{C}$ .

Caso as necessidades de aplicação exijam elastômeros de Silicone em artefatos que irão trabalhar em baixas ou altas temperaturas e em contato com fluidos derivados de petróleo é recomendável o emprego de FVMQ (Flúor Silicone ).

### **OUTRAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DA BORRACHA DE SILICONE**

Borrachas de Silicone apresentam excelentes propriedades de resistência ao ozônio, oxigênio e efeito corona.

Oferecem ótimas propriedades de adesão a substratos metálicos, durante a vulcanização.

Artefatos produzidos com Borracha de Silicone apresentam a propriedade de serem repelentes à água (são hidrófobos).

Quase todos os tipos das várias famílias de Borrachas de Silicone são fisiologicamente inertes ( consultar o fabricante ), são insípidos (sem sabor) e inodoros ( sem cheiro ).

Alguns tipos de silicone podem ter contato com produtos alimentícios, ( consultar o fabricante ), e também podem ser usados em artigos médicos farmacêuticos.

Artefatos em Borracha de Silicone, principalmente os PVMQ oferecem muito boa resistência à irradiação cósmica a níveis de até  $1 \times 10^8$  RADS.

Peças em Silicone possuem alto grau de permeabilidade a líquidos e gases, aproximadamente 100 vezes mais, se comparado com as Borrachas Butílicas.

**Borrachas de Silicone não são compatíveis com outras borrachas, que não sejam de seu próprio tipo e família.**

A “Tabela 10” abaixo apresenta algumas propriedades mecânicas gerais de compostos com Borracha de Silicone vulcanizados.



**TABELA 10**

| <b><i>PROPRIEDADE MECÂNICA</i></b> | <b><i>UNIDADE</i></b> | <b><i>VALORES</i></b> |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dureza                             | Shore A               | 25 a 90               |
| Tensão de Ruptura                  | MPa                   | Até 11                |
| Alongamento à Ruptura              | %                     | Até 700               |
| Rasgamento                         | N/mm                  | ~ 40                  |
| Def. Perm. a Compressão            | %                     | < 25                  |

Uma prática comum de ajuste da dureza desejada de compostos de Silicone é a blenda de elastômeros da mesma família, porém, com durezas diferentes.

Empregando-se as equações “EQ.1” e “EQ.2” abaixo encontramos as quantidades em “PHR” de cada um dos graus, de cada dureza, que deverá ser blendado no composto.

$$b = \left( \frac{d_1 - D}{d_1 - d_2} \right) \cdot 100$$

Eq. 1

$$a = 100 - b$$

Eq.2

Sendo: b = Quantidade em “PHR” do elastômero de Silicone de maior dureza

a = Quantidade em “PHR” do elastômero de Silicone de menor dureza

d<sub>1</sub> = Dureza em “Shore A” do elastômero de Silicone de maior dureza

d<sub>2</sub> = Dureza em “Shore A” do elastômero de Silicone de menor dureza

**D = Dureza final em “Shore A”, desejada, da blenda.**

**Nota:- Predomina a dureza do elastômero de Silicone que é usado em maior teor.**

## **ALGUMAS APLICAÇÕES DE ARTEFATOS FABRICADOS COM BORRACHA DE SILICONE**

- Vedações e peças para trabalhar em altas ou baixas temperaturas
- Mantas isolantes, elétricas e térmicas
- Peças com reforço de fibra de vidro para aeronaves e navios
- Anéis de vedação de válvulas para motores especiais
- Vedações para transformadores elétricos
- Guarnições para câmara fria e congeladores
- Vedações para portas e janelas de aeronaves
- Vedações para auto-forno de siderúrgicas
- Vedações para reatores nucleares
- Artigos médicos-farmacêuticos e alimentícios
- Revestimento de cabos de ignição automotivos
- Revestimento de cilindro para máquinas processadoras de filmes plásticos
- Artigos técnicos em geral

Na seqüência são apresentadas “Tabelas Orientativas” como as solicitadas pelo texto, e alguns exemplos de formulação como base de referência e ponto de partida de novos desenvolvimentos.

**TABELA 01**

**SILICONE FENÍLICO “PVMQ” - PROPRIEDADES**

| FORNECEDOR  | TIPO           | AGENTE DE CURA |     | PÓS-CURA |               | DUREZ A SHORE A | APLICAÇÕES   |
|-------------|----------------|----------------|-----|----------|---------------|-----------------|--|
|             |                | TIPO PHR       |     | TEMPO    | TEMP. Min. °C |                 |  |
| DOW-CORNING | SILASTIC LT-40 | VAROX          | 1,0 | 240      | 200           | 40±5            | Silicone para fabricação de artigos para baixa temperatura até -73 °C. |
| DOW-CORNING | SILASTIC LT-50 | CADOX.TS.50    | 1,5 | 240      | 200           | 50±5            | Silicone para fabricação de artigos para baixa temperatura até -73 °C. |
| G.E.        | SILPLUS SE6635 | VAROX          | 1,0 | 240      | 200           | 35±5            | Silicone para fabricação de artigos para baixa temperatura até -73 °C. |
| G.E.        | SILPLUS SE6660 | VAROX          | 1,0 | 240      | 200           | 60±5            | Silicone para fabricação de artigos para baixa temperatura até -73 °C. |

**NOTAS das Tabelas** - \* D.P.C. = Deformação Permanente à Compressão ensaio de 22 horas a 175° C.

**Seguintes:** - \*\* Inchamento em óleo ASTM nº 3 ensaio de 70 horas a 150° C.

▲ D.P.C. = Deformação Permanente à Compressão; ensaio de 70 horas a 150° C

**OBS: 1º:-** Além dos tipos informados nas tabelas, ainda outros existem à disposição no mercado para atender especificações típicas de alguns artefatos especiais, o que aconselhamos o leitor interessado que consulte os fornecedores bem como solicite literatura técnica do material.

**OBS. 2º:-** No Brasil os fornecedores de borracha de silicone são:  
Dow-Corning ----- com os tipos – Silastic

Rhodia----- com os tipos – RhodoSil  
 G. E. / Bayer ----- com os tipos - Silplus e Silopren  
 Wacker ----- com os tipos – Elastosil

**TABELA 02**

**PERÓXIDOS PARA CURA DE BORRACHAS DE SILICONE**

| <b>NOME COMERCIAL</b>                                     | <b>NOME QUÍMICO</b>                        | <b>SUBSTÂNCIA ATIVA %</b>           | <b>TEMPERATURA DE CURA °C</b> | <b>CONDIÇÕES PARA VULCANIZAÇÃO</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES</b>  |
|---|--|-------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| CADOX TS-50<br>-----<br>LUPERCO CST                       | PERÓXIDO DE<br>2,4<br>DICLORO-<br>BENZOILA | 50<br>-----<br>50                   | 110 A 120                     | - VULCANIZAÇÃO EM ESTUFA DE AR QUENTE.<br>- VULCANIZAÇÃO CONTINUA EM VAPOR.<br>- VULCANIZAÇÃO EM AUTOCLAVE<br>- MOLDADOS POR COMPRESSÃO. | - <b><u>PARA PEÇAS GROSSAS DE VULCANIZAÇÃO LENTA</u></b><br>- OFERECE ARTIGOS COM BAIXA DEFORMAÇÃO PERMANENTE À COMPRESSÃO |
| CADOX–BCP/BS<br>-----<br>LUPERCO AST<br>-----<br>CADET BP | PERÓXIDO DE<br>BENZOILA                    | 35/50<br>-----<br>50<br>-----<br>99 | 120 A 130                     | - VULCANIZAÇÃO CONTÍNUA EM TÚNEIS AQUECIDOS POR ÓLEO TÉRMICO.<br>- VULCANIZAÇÃO CONTÍNUA EM VAPOR.                                       | - <b><u>PEÇAS DE SILICONE DE ESPESSURA FINA.</u></b><br>- PELÍCULAS,<br>DIAFRAGMAS.<br>- OFERECE ARTIGOS                   |

|   |   |                                  |           |  |   |
|---|---|----------------------------------|-----------|--|---|
|   |   |                                  |           | - VULCANIZAÇÃO EM AUTOCLAVE.<br>- MOLDAGEM POR COMPRESSÃO.   | COM BAIXA DEFORMAÇÃO PERMANENTE À COMPRESSÃO.   |
| DICUP – 40C<br>-----<br>DICUP - R                                 | PERÓXIDO DE DICUMILA                            | 40<br>-----<br>96                | 150 A 160 | <b>- USO ESPECÍFICO PARA SILICONES VINÍLICOS.</b><br>- VULCANIZAÇÃO EM TÚNEIS SEM CONTATO COM VAPOR.<br>- VULCANIZAÇÃO EM AUTOCLAVE – SEM CONTATO COM VAPOR.<br>- MOLDAGEM POR COMPRESSÃO. | <b>- PARA ARTIGOS DE USO GERAL.</b><br>- EXTRUSADOS, CALANDRADOS, Prensados, etc...<br>- PARA PEÇAS DE GRANDE ESPESSURA.<br>- COMPATÍVEL COM NEGROS DE FUMO.<br>- BAIXA DEFORMAÇÃO PERMANENTE À COMPRESSÃO. |
| LUPERSOL – 101<br>-----<br>LUPERSOL 101 XL<br>-----<br>VAROX DBPH | PERÓXIDO DE 2,5 TERCIO-BUTIL 2,5 DIMETIL-HEXANO | 90<br>-----<br>50<br>-----<br>50 | 170 A 180 | <b>- USO ESPECÍFICO PARA SILICONES VINÍLICOS.</b><br>- VULCANIZAÇÃO EM TÚNEIS CONTÍNUOS.<br>- VULCANIZAÇÃO EM AUTOCLAVES.<br>- MOLDAGEM POR COMPRESSÃO.                                    | <b>- PARA ARTIGOS DE USO GERAL.</b><br>- EXTRUSADOS, CALANDRADOS, Prensados, etc...<br>- USO EM PEÇAS DE ESPESSURAS MÉDIAS (6 A 10mm.) QUE DEVAM SER VULCANIZADAS   |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | EM<br>TEMPERATURAS<br>MAIS ALTAS. |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------------|

TABELA 03

**SILICONES VINÍLICOS “VMQ” – CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES**  
**FORNECEDOR – DOW-CORNING.**

| APLIC. | MARCA SILASTIC | PESO ESPECÍFICO Kg/dm <sup>3</sup> | AGENTE DE CURA TIPO PHR | POS-CURA TEMPO TEMP. Min. °C |              | DUREZA SHOREA | RESIST. A TRAÇÃO Kg/cm <sup>2</sup> | RESIST. AO RASGAMENTO Kg/mm | D.P.C. (*) % | ALONGAMENTO % | RESIST. AO ÓLEO N.º 3 (**)% |     |
|--------|----------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|-----|
| A      | GP-30          | 1,09                               | VAROX                   | 0,8                          | 60           | 250           | 30±5                                | ≈61,5                       | ≈1,05        | ≈20           | ≈550                        | +50 |
| A      | GP-45          | 1,10                               | CADOX. TS.50            | 1,2                          | 60           | 250           | 40±5                                | ≈80,0                       | ≈1,40        | ≈20           | ≈570                        | +55 |
| A      | GP-437         | 1,09                               | VAROX                   | 1,0                          | 60           | 250           | 30±5                                | ≈78,0                       | ≈0,95        | ≈50           | ≈750                        | +65 |
| A      | GP-70          | 1,23                               | VAROX                   | 1,0                          | 60           | 250           | 70±5                                | ≈78,0                       | ≈1,23        | -----         | ≈470                        | +45 |
| B      | HE-26          | 1,08                               | VAROX                   | 0,5                          | 240          | 200           | ≈25                                 | ≈70,0                       | ≈1,40        | ≈30           | ≈470                        | +65 |
| C      | HGS-70         | 1,21                               | DICUP 40C               | 2,0                          | SEM PÓS-CURA |               | 70±5                                | ≈90,0                       | ≈1,90        | ≈26           | ≈330                        | +40 |
| D      | HS-30          | 1,13                               | CADOX. TS.50            | 0,75                         | 240          | 200           | 30±5                                | ≈86,0                       | ≈3,08        | ≈50           | ≈1020                       | +57 |
| D      | HS-50          | 1,17                               | CADOX. TS.50            | 1,3                          | 240          | 200           | 50±5                                | ≈86,0                       | ≈3,30        | ≈45           | ≈680                        | +47 |
| D      | HS-70          | 1,20                               | VAROX                   | 1,2                          | 240          | 200           | 70±5                                | ≈85,0                       | ≈3,50        | ≈35           | ≈500                        | +38 |
| E      | LCS-740        | 1,08                               | VAROX                   | 0,8                          | SEM PÓS-CURA |               | 40±5                                | ≈42,0                       | ≈0,70        | ≈10           | ≈350                        | +46 |

|   |        |      |                 |     |  |      |       |       |       |      |      |     |
|---|--------|------|-----------------|-----|--|------|-------|-------|-------|------|------|-----|
| F | NPC-40 | 1,10 | CADOX.<br>TS.50 | 1,0 | SEM PÓS-CURA   | 40±5 | ≈63,0 | ----- | ≈21^  | ≈450 | +42  |     |
| F | NPC-80 | 1,43 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA   | 80±5 | ≈63,0 | ----- | ≈13^  | ≈120 | +22  |     |
| G | SS-70  | 1,20 | VAROX           | 0,6 | 480  | 200  | 70±5  | ≈85,0 | ----- | ≈20  | ≈310 | +44 |
| H | SPG-30 | 1,12 | DICUP – 40C     | 2,0 | BORRACHA DE SILICONE NORMALMENTE USADA PARA ARTIGOS ESPONJOSOS |      |       |       |       |      |      |     |
| I | TR-50  | 1,17 | VAROX           | 1,0 | SEM PÓS-CURA   | 60±5 | ≈88,0 | ≈5,20 | ≈47   | ≈800 | +45  |     |
| I | TR-70  | 1,21 | VAROX           | 1,0 | SEM PÓS-CURA   | 70±5 | ≈79,0 | ≈5,20 | ≈43   | ≈550 | +35  |     |
| C | WC-70  | 1,23 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA   | 70±5 | ≈98,0 | ----- | ----- | ≈350 | +40  |     |

**TABELA 03**  
(Continuação)

**SILICONES VINÍLICOS “VMQ” – CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES  
FORNECEDOR BAYER / GE.**

| APLI<br>C. | MARCA<br>SILOPR<br>EN | PESO<br>ESPECÍFI<br>CO<br>Kg/dm <sup>3</sup> | AGENTE DE CURA<br>TIPO<br>PHR |     | PÓS-CURA<br>TEMPO<br>TEMP.<br>Min.<br>°C | DURE<br>ZA<br>SHOR<br>E<br>A | RESIST<br>. A<br>TRAÇÃ<br>O<br>Kg/cm <sup>2</sup> | RESIST<br>.AO<br>RASGA<br>/TO<br>Kg/mm | D.P.<br>C.<br>(*<br>)% | ALONGA/<br>TO<br>% | RESILIÊN<br>CIA |
|------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----|--|------------------------------|---|--|------------------------|--------------------|-----------------|
| E          | HV1/401               | 1,11   | VAROX                         | 0,8 | SEM PÓS-CURA                             | 40±5                         | ≈80,0   | ≈1,0                                   | ≈15                    | ≈500               | ≈50             |
| E          | HV1/501               | 1,11   | VAROX                         | 1,0 | SEM PÓS-CURA                             | 50±5                         | ≈70,0   | ≈1,0                                   | ≈15                    | ≈350               | ≈60             |
| E          | HV1/601               | 1,22   | VAROX                         | 1,0 | SEM PÓS-CURA                             | 60±5                         | ≈70,0   | ≈1,0                                   | ≈15                    | ≈300               | ≈60             |

|   |              |      |                 |     |              |     |      |        |      |       |      |     |
|---|--------------|------|-----------------|-----|--------------|-----|------|--------|------|-------|------|-----|
| E | HV1/701      | 1,30 | VAROX           | 1,0 | SEM PÓS-CURA |     | 70±5 | ≈65,0  | ≈1,0 | ≈15   | ≈200 | ≈60 |
| E | HV1/801      | 1,38 | VAROX           | 1,0 | SEM PÓS-CURA |     | 80±5 | ≈65,0  | ≈1,0 | ≈15   | ≈150 | ≈50 |
| A | HV1/530      | 1,13 | VAROX           | 1,0 | 360          | 200 | 50±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈20   | ≈400 | ≈55 |
| A | HV1/630      | 1,15 | VAROX           | 1,0 | 360          | 200 | 60±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈20   | ≈300 | ≈55 |
| A | HV1/730      | 1,17 | VAROX           | 1,1 | 360          | 200 | 70±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈20   | ≈300 | ≈55 |
| C | HV2/155<br>5 | 1,15 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 50±5 | ≈100,0 | ≈1,5 | ----- | ≈450 | ≈50 |
| C | HV2/216<br>0 | 1,20 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 60±5 | ≈110,0 | ≈2,0 | ----- | ≈500 | ≈45 |
| C | HV2/227<br>0 | 1,21 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 70±5 | ≈100,0 | ≈1,5 | ----- | ≈350 | ≈45 |
| C | HV2/268<br>0 | 1,24 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 75±5 | ≈90,0  | ≈1,5 | ----- | ≈350 | ≈40 |
| C | HV2/326<br>0 | 1,30 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 65±5 | ≈90,0  | ≈1,5 | ----- | ≈400 | ≈45 |
| C | HV2/327<br>0 | 1,32 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | SEM PÓS-CURA |     | 70±5 | ≈90,0  | ≈1,5 | ----- | ≈350 | ≈45 |
| D | HV3/406      | 1,11 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | 360          | 200 | 40±5 | ≈80,0  | ≈0,8 | ≈20   | ≈400 | ≈55 |
| D | HV3/506      | 1,15 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | 360          | 200 | 50±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈22   | ≈400 | ≈50 |
| D | HV3/606      | 1,18 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | 360          | 200 | 60±5 | ≈100,0 | ≈1,0 | ≈22   | ≈350 | ≈45 |
| D | HV3/706      | 1,21 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | 360          | 200 | 70±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈30   | ≈250 | ≈40 |
| D | HV3/806      | 1,24 | CADOX.<br>TS.50 | 1,5 | 360          | 200 | 80±5 | ≈80,0  | ≈1,5 | ≈50   | ≈250 | ≈40 |
| D | HV3/311      | 1,07 | VAROX           | 1,0 | 360          | 200 | 30±5 | ≈90,0  | ≈1,0 | ≈20   | ≈900 | ≈55 |



**TABELA 03**  
**(Continuação)**

| APLIC. | MARCA<br>SILOPR<br>EN | PESO<br>ESPECÍFI<br>CO<br>Kg/dm <sup>3</sup> | AGENTE DE CURA  |     | PÓS-CURA |                     | DURE<br>ZA<br>SHOR<br>E<br>A | RESIST<br>. A<br>TRAÇÃ<br>O<br>Kg/cm <sup>2</sup> | RESIST<br>.AO<br>RASGA<br>/TO<br>Kg/mm | D.P.<br>C.<br>(*)<br>% | ALONGA/<br>TO<br>% | RESILIÊN<br>CIA |
|--------|-----------------------|--|-----------------|-----|----------|---------------------|------------------------------|---|--|------------------------|--------------------|-----------------|
|        |                       |  | TIPO            | PHR | TEMPO    | TEMP.<br>Min.<br>°C |                              |   |  |                        |                    |                 |
| D      | HV3/411               | 1,11   | VAROX           | 1,0 | 360      | 200                 | 40±5                         | ≈120,0  | ≈2,0                                   | ≈20                    | ≈800               | ≈50             |
| D      | HV3/511               | 1,14   | VAROX           | 1,0 | 360      | 200                 | 50±5                         | ≈120,0  | ≈3,0                                   | ≈20                    | ≈700               | ≈45             |
| D      | HV3/611               | 1,17   | VAROX           | 1,0 | 360      | 200                 | 50±5                         | ≈120,0  | ≈3,0                                   | ≈20                    | ≈600               | ≈40             |
| D      | HV3/711               | 1,19   | VAROX           | 1,0 | 360      | 200                 | 70±5                         | ≈100,0  | ≈2,0                                   | ≈20                    | ≈450               | ≈45             |
| B      | HV3/322               | 1,06   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 30±5                         | ≈70,0   | ≈2,0                                   | ≈20                    | ≈700               | ≈70             |
| B      | HVS/42<br>2           | 1,09   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 40±5                         | ≈90,0   | ≈3,0                                   | ≈25                    | ≈700               | ≈60             |
| B      | HVS/52<br>2           | 1,12   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 50±5                         | ≈110,0  | ≈3,0                                   | ≈30                    | ≈650               | ≈50             |
| B      | HV3/622               | 1,16   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 60±5                         | ≈110,0  | ≈3,0                                   | ≈35                    | ≈600               | ≈45             |
| B      | HV3/722               | 1,18   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 70±5                         | ≈100,0  | ≈3,5                                   | ≈35                    | ≈500               | ≈45             |
| B      | HV3/822               | 1,19   | VAROX           | 0,6 | 360      | 200                 | 80±5                         | ≈90,0   | ≈2,5                                   | ≈35                    | ≈400               | ≈50             |
| D      | HV3/431               | 1,10   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 40±5                         | ≈110,0  | ≈3,0                                   | ≈20                    | ≈700               | ≈55             |
| D      | HV3/531               | 1,13   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 50±5                         | ≈120,0  | ≈3,0                                   | ≈20                    | ≈700               | ≈50             |
| D      | HV3/631               | 1,16   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 60±5                         | ≈110,0  | ≈3,5                                   | ≈20                    | ≈600               | ≈45             |
| D      | HV3/731               | 1,18   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 70±5                         | ≈95,0   | ≈4,0                                   | ≈20                    | ≈500               | ≈45             |
| D      | HV3/831               | 1,18   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 80±5                         | ≈100,0  | ≈2,0                                   | ≈30                    | ≈450               | ≈50             |
| J      | HV4/611               | 1,20   | CADOX.<br>TS.50 | 1,0 | 360      | 200                 | 60±5                         | ≈110,0  | ≈2,0                                   | ≈45                    | ≈450               | ≈40             |
| J      | HV4/413               | 1,11   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 40±5                         | ≈100,0  | ≈1,5                                   | ≈15                    | ≈700               | ≈50             |
| J      | HV4/713               | 1,19   | VAROX           | 1,2 | 360      | 200                 | 70±5                         | ≈100,0  | ≈2,5                                   | ≈15                    | ≈400               | ≈45             |

|   |         |      |       |     |     |     |      |       |      |     |      |     |
|---|---------|------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|-----|------|-----|
| J | HV4/614 | 1,15 | VAROX | 1,2 | 360 | 200 | 60±5 | ≈90,0 | ≈4,0 | ≈20 | ≈450 | ≈50 |
| G | HV8/800 | 1,38 | VAROX | ,06 | 360 | 200 | 80±5 | ≈65,0 | ≈1,5 | ≈15 | ≈150 | ≈45 |
| F | HV9/301 | 1,12 | VAROX | 1,0 | 360 | 200 | 30±5 | ≈55,0 | ≈1,0 | ≈15 | ≈700 | ≈60 |
| F | HV9/401 | 1,12 | VAROX | 1,0 | 360 | 200 | 40±5 | ≈65,0 | ≈1,5 | ≈15 | ≈650 | ≈60 |
| F | HV9/501 | 1,14 | VAROX | 1,0 | 360 | 200 | 50±5 | ≈55,0 | ≈1,0 | ≈15 | ≈300 | ≈60 |
| F | HV9/601 | 1,18 | VAROX | 1,0 | 360 | 200 | 60±5 | ≈60,0 | ≈1,0 | ≈15 | ≈300 | ≈50 |
| F | HV9/701 | 1,20 | VAROX | 1,0 | 360 | 200 | 70±5 | ≈65,0 | ≈1,0 | ≈15 | ≈250 | ≈50 |

**TABELA 03**  
**(Continuação)**

**SILICONES VINÍLICOS “VMQ” CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES**  
**FORNECEDOR GE – SILICONES.**

| APLIC. | MARCA SILPLUS | PESO ESPECÍFICO Kg/dm <sup>3</sup> | AGENTE DE CURA |     | PÓS-CURA   |          | DUREZA SHOR A | RESIST. A TRAÇÃO Kg/cm <sup>2</sup> | RESIST. AO RASGAMENTO Kg/mm | D.P.C. (%) | ALONGAMENTO % | INCHAMENTO ÓLEO ASTM 3 (%) |
|--------|---------------|------------------------------------|----------------|-----|------------|----------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|---------------|----------------------------|
|        |               |                                    | TIPO           | PHR | TEMPO Min. | TEMP. °C |               |                                     |                             |            |               |                            |
| A      | SE6035        | 1,10                               | VAROX DBPH-50  | 0,8 | 60         | 200      | 35            | 65                                  | 0,70                        | --         | 500           | --                         |
| A      | SE6075        | 1,20                               | VAROX DBPH-50  | 0,8 | 60         | 200      | 75            | 70                                  | 1,5                         | --         | 200           | --                         |
| E      | SE6140        | 1,10                               | VAROX DBPH-50  | 0,8 | --         | --       | 40            | 50                                  | 1,0                         | 25         | 350           | --                         |
| E      | SE6160        | 1,17                               | VAROX DBPH-50  | 0,8 | --         | --       | 60            | 70                                  | 1,8                         | 25         | 300           | --                         |

|   |        |      |               |     |     |     |    |    |     |    |     |    |
|---|--------|------|---------------|-----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|----|
| E | SE6180 | 1,30 | VAROX DBPH-50 | 0,8 | --  | --  | 80 | 70 | 1,7 | 35 | 130 | -- |
| F | SE6740 | 1,10 | VAROX DBPH-50 | 0,8 | --  | --  | 40 | 50 | 0,8 | 20 | 380 | -- |
| F | SE6750 | 1,14 | VAROX DBPH-50 | 0,8 | --  | --  | 50 | 65 | 1,2 | 25 | 400 | -- |
| F | SE6770 | 1,22 | VAROX DBPH-50 | 0,8 | --  | --  | 70 | 65 | 1,3 | 30 | 200 | -- |
| D | SE6350 | 1,15 | CADOX TS 50   | 1,0 | 480 | 200 | 50 | 91 | 3,7 | 20 | 450 | -- |
| D | SE6370 | 1,22 | CADOX TS 50   | 1,0 | 480 | 200 | 70 | 78 | 3,5 | 35 | 400 | -- |
| C | SE6260 | 1,14 | VAROX DBPH-50 | 0,8 | --  | --  | 50 | 75 | 1,4 | 40 | 450 | -- |

**TABELA 04**

**CARACTERÍSTICAS E INDICAÇÕES DE USO DOS “VMQ”.**

| <b>CÓDIGO DE APLICAÇÃO<br/>TABELAS Ns . 1 e 2</b> | <b>INDICAÇÕES DE USO</b>  |
|---|---|
| A   | Usado em diversos artigos de aplicações gerais, boa flexibilidade pode ser moldado por compressão, transferência, boa estrudabilidade e calandragem, resiste a oxigênio, ozônio, intemperismo, mantém suas propriedades em ampla gama de temperatura de -50 a picos de 300°C. |
| B   | Silicone indicado para artigos médicos, farmacêuticos como tampas de embalagens farmacêuticas, capas protetoras para seringas, máscaras de oxigênio, chupetas, também podem ser usados para artigos que terão contato com produtos alimentícios.                              |
| C   | Silicone indicado para guarnições de fornos e estufas, vedações, cabos de ignição, apresenta boas propriedades elétricas e estabilidade ao ar quente, não é recomendado para uso em peças que farão contato com produtos alimentícios.  |

|   |  |
|---|--|
| D | Para produtos moldados, extrusados ou calandrados que necessitem de ótimas propriedades mecânicas e boa resistência ao calor em trabalho constante até 260 °C ou picos de até 370°C.   |
| E | Silicone indicado para artigos que necessitem de D.P.C., excepcionalmente baixas, peças prensadas (moldadas) de forma geométrica simples, vedações, revestimentos de cilindros.  |
| F | Silicones econômicos para uso geral, artigos moldados, extrusados ou calandrados, oferece boa elasticidade e resistência a abrasão, pode ser misturado com cargas para redução de custos, peças de forma geométrica simples. |
| G | Silicone mais indicado para fabricação de peças resistentes a óleos derivados de petróleo, como: o'ring, gaxetas, retentores, guarnições, diafragmas, etc.   |
| H | Silicone indicado para fabricação de artigos esponjosos o teor e tipo de peróxido a ser usado para cura é em função do agente esponjante e do tempo e temperatura de cura.   |
| I | Silicone indicado para artigos técnicos que necessitam de superior propriedade mecânica de excepcional qualidade peças extrusadas, calandradas ou moldadas.  |
| J | Silicone indicado para perfis extrusados, revestimentos de fios e cabos. Mangueira, etc.   |

**TABELA 5**  
**FLUORSILICONES**

| APLICAÇÃO | <u>DUREZA</u>  | <u>FABRICANTE GE</u> |                |        | <u>FABRICANTE DOW</u> |                |          | <u>FABRICANTE 3M</u> |                |        |
|-----------|----------------|----------------------|----------------|--------|-----------------------|----------------|----------|----------------------|----------------|--------|
|           | <u>SHORE A</u> | TIPO                 | PESO<br>ESPEC. | COR    | TIPO                  | PESO<br>ESPEC. | COR      | TIPO                 | PESO<br>ESPEC. | COR    |
|           |                |                      |                |        |                       |                |          |                      |                |        |
| USO GERAL | 20             | FSE<br>7520          | 1,36           | BRANCO | ---                   | ---            | ---      | ---                  | ---            | ---    |
|           | 30             | FSE<br>7520<br>*     | ---            | ---    | ---                   | ---            | ---      | ---                  | ---            | ---    |
|           | 40             | FSE<br>7540          | 1,39           | BRANCO | LS<br>40              | 1,40           | BEGE     | FX<br>112<br>93      | 1,38           | BRANCO |
|           | 50             | FSE<br>7540/<br>60   | 1,39           | BRANCO | LS<br>53              | 1,44           | VERMELHO | FX<br>112<br>94      | 1,41           | BEGE   |
|           | 60             | FSE<br>7560          | 1,40           | BRANCO | LS<br>63              | 1,47           | BEGE     | FX<br>112<br>95      | 1,42           | BEGE   |
|           | 70             | FSE<br>7560          | ---            | CLARO  | LS<br>70              | 1,48           | CINZA    | FX<br>112<br>96      | 1,50           | CINZA  |
|           | 80             | FSE<br>7560<br>*     | ---            | CLARO  | ---                   | ---            | ---      | ---                  | ---            | ---    |

|                            |    |                  |      |                      |                |      |      |                 |      |         |
|----------------------------|----|------------------|------|----------------------|----------------|------|------|-----------------|------|---------|
| <b>ALTA TENSÃO RUPTURA</b> | 40 | FSE<br>7340      | 1,43 | AMAREL<br>O<br>PALHA | LS<br>284<br>0 | 1,44 | BEGE | FX<br>112<br>99 | 1,40 | TRANSP. |
|                            | 50 | FSE<br>7350      | 1,45 | AMAREL<br>O<br>PALHA | ---            | ---  | ---  | ---             | ---  | ---     |
|                            | 60 | FSE<br>7360      | 1,47 | AMAREL<br>O<br>PALHA | LS<br>286<br>0 | 1,47 | BEGE | ---             | ---  | ---     |
|                            | 70 | FSE<br>7360<br>* | ---  | BEGE                 | ---            | ---  | ---  | FX<br>112<br>97 | 1,48 | CINZA   |
| <b>PEÇAS TÉCNICAS</b>      | 50 | ----             | ---  | ---                  | ---            | ---  | ---  | FX<br>113<br>00 | 1,46 | BEGE    |
|                            | 60 | ----             | ---  | ---                  | ---            | ---  | ---  | FX<br>113<br>01 | 1,46 | TRANSP. |
|                            | 60 | ----             | ---  | ---                  | ---            | ---  | ---  | FX<br>113<br>03 | 1,45 | CINZA   |

Nota: \* Contém carga

**TABELA 11**  
**BORRACHAS DE SILICONE – CONTRATIPOS**

| <b>DUREZA<br/>SHORE<br/>A</b> | <b>CLASSIFIC.<br/>ASTM</b> | <b>PESO<br/>ESPEC.</b> | <b>GE<br/>SILICONES<br/>SILPLUS</b> | <b>DOW<br/>CORNING<br/>SILASTIC</b> | <b>RHODIA<br/>RHODOSIL</b> | <b>WACKER<br/>ELASTOSIL</b> |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 35                            | VMQ                        | 1,09                   | SE-6335                             | SU-35U                              | RS-1723                    | B-89                        |
| 35                            | VMQ                        | 1,10                   | SE-6035                             | GP-30                               | RS-435                     | B-4                         |
| 35                            | PVMQ                       | 1,15                   | SE-6335                             | LT-40                               | RS-1203                    | ---                         |
| 40                            | VMQ                        | 1,13                   | VL-240                              | ---                                 | RS-44                      | ---                         |
| 40                            | VMQ                        | 1,10                   | SE-6140                             | NPC-40                              | ---                        | B-2                         |

|    |      |      |              |         |         |           |
|----|------|------|--------------|---------|---------|-----------|
| 40 | VMQ  | 1,10 | SE-6140      | GP-45   | ---     | B-9       |
| 40 | VMQ  | 1,10 | SE-6140      | LCS-740 | ---     | B-163     |
| 40 | VMQ  | 1,10 | SE-6140      | NPC-940 | ---     | B-1       |
| 50 | VMQ  | 1,16 | SE-6350      | HS-50   | RS-1725 | ---       |
| 50 | VMQ  | 1,16 | SE-6350      | S-55    | ---     | B-255     |
| 50 | VMQ  | ---  | SE-6035/6075 | GP-50   | RS-1375 | ---       |
| 50 | PVMQ | ---  | SE-6635/6660 | LT-50   | RS-1025 | C-1035U   |
| 50 | VMQ  | ---  | SE-6140/6160 | S-745U  | ---     | B-5/B7    |
| 50 | VMQ  | ---  | SE-6035-6075 | GP-950  | ---     | ---       |
| 57 | VMQ  | 1,16 | SE-6250      | WC-50   | ---     | ---       |
| 57 | VMQ  | 1,16 | SE-6250      | WC-70   | ---     | ---       |
| 60 | VMQ  | 1,20 | SE-6160      | LCS-755 | ---     | C-1460    |
| 68 | VMQ  | 1,21 | SE-871       | TR-70   | RS-1757 | SWS-7865U |
| 70 | VMQ  | ---  | SE-6160/6180 | S-2097  | ---     | SWS-7172U |
| 70 | VMQ  | 1,21 | SE-6075      | GP-70   | RS-475  | ---       |
| 70 | VMQ  | 1,17 | SE-875       | ---     | ---     | ---       |
| 70 | VMQ  | 1,21 | SE-6370      | HS-70   | RS-1727 | C-717U    |
| 70 | VMQ  | ---  | SE-6160/6180 | S-747U  | ---     | ---       |
| 70 | VMQ  | 1,21 | SE-6075      | GP-75   | RS-1377 | ---       |
| 70 | VMQ  | 1,21 | SE-6370      | S-75U   | ---     | ---       |
| 80 | VMQ  | 1,40 | VL-280       | ---     | RS-48   | ---       |
| 80 | VMQ  | 1,30 | SE-6180      | NPC-80  | ---     | ---       |
| 80 | VMQ  | 1,30 | SE-6180      | NPC-980 | ---     | C-768U    |
|    |      |      |              |         |         |           |
| 32 | VMQ  | 1,13 | SE-4902      | ---     | ---     | C-787U    |
| 26 | VMQ  | 1,10 | SE-4903      | ---     | ---     | C-1345U   |

|    |      |      |         |     |     |         |
|----|------|------|---------|-----|-----|---------|
| 25 | PVMQ | 1,10 | SE-5211 | --- | --- | C-1303U |
| 60 | PVMQ | 1,22 | ---     | --- | --- | C-1306  |

**TABELA 12**

**ADITIVOS ESPECIAIS PARA COMPOSTOS COM BORRACHA DE SILICONE.**

| <b><u>FINALIDADE DE APLICAÇÃO</u></b>   | <b><u>ADITIVO<br/>MARCA<br/>COMERCIAL</u></b> | <b><u>QTDE<br/>PHR</u></b> | <b><u>FABRICANTE</u></b> |
|---|---|----------------------------|--------------------------|
| Aditivo Retardador de Flamabilidade   | SILOPREN FS 1                                 | 2 A 10                     | BAYER                    |
|   | SILASTIC FR 1                                 | 2 A 14                     | DOW CORNING              |
|   | SILASTIC FR 2                                 | 2 A 8                      | DOW CORNING              |
|   | SILPLUS SE 6921 FR                            | 2 A 5                      | GE SILICONES             |
| Melhora a resistência mecânica do composto cru (green strength)   | SILASTIC HA 1                                 | 0,5 A 1,5                  | DOW CORNING              |
|   | SILPLUS SE 6910 TM                            | 0,5 A 1                    | GE SILICONES             |
| Auxiliar de processamento Melhora a plasticidade do composto  | SILASTIC HA 2                                 | 1 A 10                     | DOW CORNING              |
|   | SILPLUS SE 6025 A                             | 1 A 6                      | GE SILICONES             |
| Melhora a resistência e a estabilidade das propriedades mecânicas e altas temperaturas                                      | SILASTIC HT 1                                 | 0,8                        | DOW CORNING              |
|   | SILPLUS SE 6916 A                             | 0,8 A 1                    | GE SILICONES             |
| Aditivo permite eliminar a necessidade de pós-cura de compostos que usam peróxido 2,4 dicloro-benzoila como agente de cura. | SILASTIC MR1                                  | 0,5 A 1                    | DOW CORNING              |
|   | SILPLUS SE 6910 MO                            | 1,0                        | GE SILICONES             |

**Nota: 1** – É conveniente sempre usar qualquer dos aditivos da tabela acima que seja do mesmo fabricante da borracha de silicone.



**Nota: 2** – É de boa prática, quando houver necessidade de utilizar estes aditivos, ao composto, sempre consultar o departamento técnico do fabricante do aditivo.

TABELA 13

**FORMULAÇÃO DE REFERÊNCIA BASEADAS E BORRACHAS DE SILICONE “GE”.****“ALGUMAS PROPRIEDADES TÉCNICAS VER TABELA 14”.**

| <b>MATÉRIAS PRIMAS</b> | <b>REF.<br/>35<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>40<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>45<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>50<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>55<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>60<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>65<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>70<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>75<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>80<br/>PHR</b> | <b>REF.<br/>50<br/>PHR</b> |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| SILPLUS SE<br>6335     | 50                         | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| SILPLUS SE<br>6350     | 50                         | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| SILPLUS SE<br>6035     | 0                          | 100                        | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 34                         | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| SILPLUS SE<br>6075     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 66                         | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          |
| SILPLUS SE<br>6140     | 0                          | 0                          | 100                        | 100                        | 100                        | 50                         | 0                          | 25                         | 0                          | 0                          | 0                          |
| SILPLUS SE<br>6160     | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 0                          | 100                        | 0                          | 0                          |

|  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SILPLUS SE<br>6180                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50  | 0   | 75  | 0   | 100 | 0   |
| SILPLUS SE<br>6635                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50  |
| SILPLUS SE<br>6660                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 50  |
| SÍLICA<br>PIROGÊNICA<br>S <sub>μ</sub> | 0   | 25  | 0   | 25  | 50  | 0   | 0   | 0   | 25  | 0   | 0   |
| ADITIVO<br>SILPLUS SE<br>6910 MO       | 0   | 0   | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0   | 0   | 1,0 | 0   | 1,0 | 0   |
| ADITIVO<br>SILPLUS SE<br>6916 HA       | 1,0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|  |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   |
| CADOX TS-50                            | 0   | 0   | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0   | 0   | 1,2 | 0   | 0   | 1,0 |
| VAROX                                  | 0,2 | 0,8 | 0   | 0   | 0   | 0,8 | 0,8 | 0   | 0,8 | 0,8 | 0   |

**NOTA:-** Vulcanização 10 min. @ 177°C p/ Varox.;

Vulcanização 10 min. @ 142°C p/ Cadox TS 50;

Pós Cura 4 horas @ 200°C

TABELA 14

## ALGUMAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DOS COMPOSTOS EM BORRACHA DE SILICONE DA TABELA 13

| PROPRIEDADES                    |                                  | REF.35 | REF.40 | REF.45 | REF.50 | REF.55 | REF.60 | REF.65 | REF.70 | REF.75 | REF.80 | REF.50 |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ORIGINALS<br>PÓS-CURA 4Hs @20°C | DUREZA<br>SHORE "A" ±5           | 35     | 43     | 44     | 50     | 55     | 61     | 65     | 70     | 75     | 78     | 50     |
|                                 | TENSÃO<br>RUPTURA Mpa            | 9,1    | 8,7    | 5,6    | 5,1    | 5,3    | 9,0    | 11,1   | 9,8    | 9,4    | 9,2    | 9,0    |
|                                 | ALONGAMENTO<br>%                 | 860    | 600    | 365    | 280    | 345    | 290    | 350    | 245    | 205    | 165    | 600    |
|                                 | RESISTÊNCIA<br>AO RASGO<br>KN/m  | 24,6   | 14,6   | 9      | 12,1   | 10,6   | 12,1   | 16,8   | 13,5   | 14,6   | 14     | 33,3   |
|                                 | D.P.C. 22 Hs. @<br>177° C        | 16     | 19     | 12     | 18     | 11     | 9      | 22     | 10     | 26     | 14     | 38     |
| ENVELH.<br>70H A 200°C          | DUREZA<br>SHORE "A"<br>(VARIÇÃO) | +1     | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    |
|                                 | VARIÇÃO<br>TENSÃO RUP.<br>MAX %  | -8     | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    |
|                                 | VARIÇÃO<br>ALONG. MAX. %         | -9     | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    |
| ENVELH.<br>70H A 225°C          | DUREZA<br>SHORE "A"<br>(VARIÇÃO) | +1     | +4     | -1     | 0      | 0      | +3     | +7     | +2     | +3     | +5     | 7      |
|                                 | VARIÇÃO<br>TENSÃO RUP.<br>MAX %  | -31    | -12    | +6     | +35    | +26    | -18    | -34    | -21    | -5     | -13    | -22    |

|   |                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|   | VARIAÇÃO ALONG. MAX. %      | -21 | -22 | -5  | -6  | -37 | -21 | -41 | -22 | -14 | -18 | -34   |
| ÓLEO ASTM 1<br>70H A 150°C              | DUREZA SHORE "A" (VARIAÇÃO) | -7  | -4  | -9  | -6  | -6  | -5  | -4  | -6  | -3  | -2  | ---   |
|   | VARIAÇÃO TENSÃO RUP. MAX. % | -10 | -17 | -4  | +18 | +10 | -2  | -13 | -11 | -12 | -5  | ---   |
|   | VARIAÇÃO ALONG. MAX. %      | -7  | -9  | -4  | +21 | -8  | -3  | -9  | -10 | -3  | -10 | ---   |
|   | VARIAÇÃO VOLUME MAX. %      | +4  | +8  | +4  | +3  | +2  | +10 | +10 | +8  | +4  | +6  | ---   |
| ÓLEO Nº<br>3                            | DUREZA SHORE "A" (VARIAÇÃO) | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | ---   |
|   | VARIAÇÃO VOLUME %           | +70 | +48 | +47 | +46 | +36 | +35 | +45 | +31 | +30 | 27  | ---   |
| ÁGUA<br>70H. A                          | DUREZA SHORE "A" (VARIAÇÃO) | 0   | 0   | +1  | +1  | +1  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | ---   |
|   | VARIAÇÃO VOLUME %           | 0   | +1  | +2  | +3  | +2  | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | ---   |
| RESIST. TORCIONAL AO FRIO 72H. A -75 °C |                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | PASSA |

Bibliografia:

- BURNHAM, J.T., D.W. Busch and J.D. Renowden, FPL's Christmans, 1991 transmission Outagens, Paper Presented at the IEEE/PES Winter Meeting 1993./ Maurice Morton.
- History and Bibliography of Polimeric Insulators for Outdoor Aplications, Paper Presented at the IEEE/PES Winter Meeting 1992.
- D. A. Meyer and J.A. Welch Rubber Chemical Technology 50/145 (1977).
- Sommer, Rubber World 216 – 6 – 31 (1977).
  - Several Technical Paper of General Eletric Silicones, Dow Corning, Bayer, Rhodia and Wacker.
  - Several Catalogs and Selection Guide of G.E., Dow Corning, Bayer, Rhodia and Wacker.
  - The Vanderbilt Rubber Handbook – Thirteenth Edition 1990 – Silicone Elastomers by Joseph C. Caprino (pg. 165/210)

por:  
V. J. Garbim  
High Performances Elastomers  
Specialist

Este material é um trecho do livro "Tecnologia da Borracha".  
Adquira o livro através do site [www.cenne.com.br](http://www.cenne.com.br) ou pelo telefone: (19) 3395-4206

