

Ivan Yuzo Nakasato

**Polímeros de Alto Desempenho para
Aplicações em Ambientes
Agressivos**

São Paulo

2012

Ivan Yuzo Nakasato

Polímeros de Alto Desempenho para Aplicações em Ambientes Agressivos

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo.

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Hélio Wiebeck



**“Não se pode resolver os problemas utilizando o mesmo tipo de pensamento
que usamos quando os criamos.” (Albert Einstein)**

Resumo

Polímeros de alto desempenho para aplicações em ambientes quimicamente agressivos possuem diversas características que devem ser avaliadas na seleção do material. Não existem polímeros que possuem resistência a todos os químicos, portanto para cada aplicação deve ser escolhido um polímero específico, que atenda as necessidades químicas, mecânicas e térmicas de seu uso. Entre os termoplásticos destaca-se o PEEK, que possui alta resistência mecânica e química, e entre os elastômeros temos o fluoro polímeros que possuem excelentes propriedades químicas. Este trabalho discorre sobre as diversas classes de polímeros de alto desempenho que se destacam por sua resistência química.

Abstract

High performance polymers for applications in highly corrosive chemical environments have many characteristics that should be considered when selecting the material. There are no polymers that resist all chemicals, so for each application there is a specific polymer that should be availed for its chemical, mechanical and thermal resistance that should meet the application needs. Amongst thermoplastics, PEEK stands for its high chemical resistance alongside having high mechanical resistance, and amongst the elastomers there are the fluoropolymers with its incredibly high chemical resistance. This work investigates over high performance polymers that stands for its high chemical resistance.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - PIRÂMIDE COM CLASSIFICAÇÃO DE POLÍMEROS (5).	13
FIGURA 2 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM PEEK (2).	14
FIGURA 3 – ESTRUTURAS BÁSICAS DE POLÍMEROS PAEK (7).	15
FIGURA 4 – ESTRUTURA BÁSICA DE UM PAI (2).	17
FIGURA 5 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM PEI (2).	19
FIGURA 6 – ESTRUTURA BÁSICA DE UM ECTFE (2).	21
FIGURA 7 – ESTRUTURA BÁSICA DE UM ETFE (2).	22
FIGURA 8 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM PTFE (2).	23
FIGURA 9 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM FEP (2).	24
FIGURA 10 – ESTRUTURA TÍPICA DE UM PFA (2).	25
FIGURA 11 – MÓDULO DE YOUNG VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	33
FIGURA 12 – RESISTÊNCIA A TRAÇÃO VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	34
FIGURA 13 – LIMITE DE ELASTICIDADE VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	35
FIGURA 14 – ELONGAÇÃO VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	35
FIGURA 15 – RESISTÊNCIA AO IMPACTO (ENTALHADO, -30°C) VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	36
FIGURA 16 – RESISTÊNCIA AO IMPACTO (ENTALHADO, 23°C) VS TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO (9).	37
FIGURA 17 – PREÇO VS DENSIDADE (9).	38

Lista de Tabelas

TABELA 1 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO PEEK (2).....	16
TABELA 2 – AGENTES QUÍMICOS QUE PEEK NÃO SUPORTAM (2).....	16
TABELA 3 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO PAI (2).....	18
TABELA 4 – AGENTES QUÍMICOS QUE PAI NÃO SUPORTAM (2).	18
TABELA 5 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DE PEI (2).....	20
TABELA 6 – AGENTES QUÍMICOS QUE O PEI NÃO SUPORTAM (2).....	20
TABELA 7 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO PTFE (2).	23
TABELA 8 – ALGUNS AGENTES QUÍMICOS QUE O PTFE NÃO SUPORTA (2).	24
TABELA 9 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO PVDF (2).....	26
TABELA 10 – ALGUNS AGENTES QUÍMICOS QUE O PVDF NÃO SUPORTA (2).....	27
TABELA 11 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO FKM (2).....	31
TABELA 12 – RESISTÊNCIA QUÍMICA DO FFKM (2).	32

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACM	Acrilato de Butadieno
CSM	Poliétileno Clorosulfonado
ECTFE	Clorotrifluoroetileno Etileno
EPDM	Elastômeros de Etileno-Propileno
ETFE	Etileno Tetrafluoroetileno
FEP	Fluoro Etileno-propileno
FFKM	Perfluoroelastômeros
FKM	Fluoroelastômeros
PAEK	Poli(áril-éter-cetona)
PAI	Poli(amida-imida)
PEEK	Poli(éter-éter-cetona)
PEI	Poli(éter-imida)
PFA	Perfluoroalcoxi
PLC	Polímeros Líquido Cristalinos
PTFE	Politetrafluoretileno
PVDF	Fluoreto de Polivinilideno

Sumário

FICHA CATALOGRÁFICA	2
1 Introdução	1
1.1 Propriedades Químicas	2
1.1.1 Resistência a Oxidação	2
1.1.2 Resistência a Degradação Térmica	3
1.1.3 Resistência a Radiação Ultra-Violeta	3
1.1.4 Resistência a Água	4
1.1.5 Resistência a Ácidos	4
1.1.6 Resistência a Bases	4
1.1.7 Resistência a Solventes e Reagentes	5
1.1.8 Inflamabilidade	5
2 Objetivos	6
3 Revisão Bibliográfica	7
3.1 Polímeros de Engenharia	7
3.1.1 Características comuns de polímeros de alto desempenho	8
3.2 Polímeros de Alto Desempenho	12
3.3 Poli(áril-éter-cetona) (PAEK); Poli(éter-éter-cetona) (PEEK)	13
3.4 Poli(amida-imida) (PAI)	17
3.5 Poli(éter-imida) (PEI)	19
3.6 Fluoropolímeros	21
3.6.1 Clorotrifluoroetileno Etileno (ECTFE)	21
3.6.2 Etileno Tetrafluoroetileno (ETFE)	22
3.6.3 Politetrafluoretileno (PTFE)	22
3.6.4 Fluoro Etileno-propileno (FEP)	24
3.6.5 Perfluoroalcoxi (PFA)	25
3.6.6 Fluoreto de Polivinilideno – PVDF	26
3.7 Elastômeros 27	
3.7.1 Polietileno Clorosulfonado (CSM)	28
3.7.2 Acrilato de Butadieno (ACM)	29
3.7.3 Elastômeros de Etileno-Propileno (EPDM)	29
3.7.4 Fluoroelastômeros (FKM)	30
3.7.5 Perfluoroelastômeros (FFKM)	31
4 Resultados e Discussões	32
5 Conclusão	39
6 Bibliografia	40

1 Introdução

Materiais poliméricos em condições normais podem levar centenas de anos para se decompor na natureza, porém, muitos objetos fabricados com base nestes materiais atingem o fim de sua vida útil bem antes, devido a drástica redução em suas propriedades, químicas ou mecânicas. A perda das propriedades de um material polimérico sobre ação de agentes externos dá-se o nome de degradação (1).

Se, por um lado é cada vez maior a preocupação e o investimento no desenvolvimento de polímeros biodegradáveis, por outro lado a busca pela produção de polímeros com resistências elevadas que possam aumentar sua vida útil continua.

A busca por polímeros biodegradáveis está relacionada ao impacto ambiental que estes produzem com seus resíduos. Com a produção e consumo de objetos com polímeros em crescimento e o aumento da preocupação com o meio ambiente por parte de empresas, governos e a população em geral, torna-se necessário a obtenção de materiais menos prejudiciais ao meio ambiente. Todavia, a produção de resíduos poliméricos esta diretamente ligada com a pouca estabilidade do processo de degradação as quais a maioria dos polímeros estão sujeitos. Além disto, a degradação é prejudicial para a reciclagem/recuperação (1).

Com o crescimento dos chamados “polímeros de alto desempenho”, também conhecidos como “polímeros de engenharia”, surge uma nova classe

de polímeros, que busca otimizar as propriedades exigidas em suas aplicações de forma a aumentar o desempenho, e consequentemente a vida útil.

Ao contrário do que ocorre em materiais metálicos onde a corrosão ocorre via reação eletroquímica a uma dada taxa, a vida útil de um material polimérico sobre ambientes agressivos, em particular ambientes corrosivos, não pode ser prevista com tal precisão (2).

Materiais poliméricos não possuem taxas específicas de corrosão. Eles são geralmente completamente resistentes a um corroe em específico (dentro de uma faixa de temperatura), ou eles se deterioram rapidamente. Polímeros são atacados tanto pela reação química quanto pela dissolução (2).

À seguir serão descritas as propriedades relacionadas a degradação química dos materiais.

1.1 Propriedades Químicas

Dentre as propriedades químicas mais importantes dos materiais poliméricos, diretamente relacionadas às suas aplicações, estão a resistência à oxidação, ao calor, às radiações ultravioleta, à água, à ácidos e bases, à solventes e reagentes (3).

1.1.1 Resistência a Oxidação

Esta resistência é mais encontrada nas macromoléculas saturadas. Nos polímeros insaturados, a oxidação pode ocorrer através destas insaturações, rompendo as cadeias, diminuindo seu tamanho e consequentemente a resistência mecânica do material. A presença de átomos de carbono terciário na cadeia, saturada ou insaturada, baixa a resistência a oxidação (3).

Essa propriedade é medida através de ensaios de resistência a intempéries, descrita pelos métodos ASTM D 1870, D 1920, D 1499, D1435, D 756 e G 23 (3).

1.1.2 Resistência a Degradação Térmica

A exposição de polímeros ao calor em presença de ar causa a sua maior degradação, dependendo da estrutura do polímero. A degradação térmica envolve muitas vezes processos complexos. Essas reações são causadas pela formação de radicais livres na molécula, frequentemente com a interveniência do oxigênio, gerando radicais livres pela ruptura das ligações covalentes dos átomos nas cadeias macro moleculares instauradas, ou nas cadeias contendo átomos de carbono terciário. Nestes pontos, há maior facilidade de formação de ligações covalentes carbono-carbono (3).

A resistência ao calor é estimada pelo método ASTM D 794 (3).

1.1.3 Resistência a Radiação Ultra-Violeta

As macromoléculas de estrutura insaturada apresentam baixa resistência às radiações ultravioletas, que são absorvidas gerando radicais livres, os quais atuam de forma semelhante ao que ocorre na degradação térmica. Às vezes ocorre a modificação das propriedades mecânicas devido a formação de ligações cruzadas (3).

Os efeitos da luz sobre polímeros são avaliados pelo método ASTM D 794 (3).

1.1.4 Resistência a Água

A resistência à água em polímeros é avaliada pela absorção de umidade, que aumenta as dimensões da peça, prejudicando sua aplicação em trabalhos de precisão. Além disso, a variação do teor de umidade pode provocar uma rede de micro fraturas na superfície dos artefatos, e altera suas propriedades elétricas e mecânicas (3).

A absorção de água é mais fácil quando a molécula apresenta grupos capazes de formar pontes de Hidrogênio. Ensaio de absorção de água são descritos pelas normas ASTM E 96 e D 570 (3).

1.1.5 Resistência a Ácidos

O contato com ácidos em geral, em meio aquoso, pode causar a parcial destruição das moléculas poliméricas, se houver nelas grupamentos sensíveis à reação com ácidos. O método ASTM D 543 descreve a avaliação da resistência à ácidos de forma semi-quantitativa. O efeito do meio de imersão também pode ser avaliado pelo método ASTM C 581 (3).

1.1.6 Resistência a Bases

Soluções alcalinas, usualmente aquosas, em menor ou maior concentração, são altamente agressivas a polímeros cuja estrutura apresente certos grupamentos como carboxila, hidroxila fenólica e éster. São utilizados os métodos ASTM D 543 e ASTM C 581 para avaliar os efeitos de bases sobre polímeros (3).

1.1.7 Resistência a Solventes e Reagentes

A solubilidade depende fundamentalmente da interação das moléculas do soluto com o solvente. Quando as moléculas do solvente possuem maior afinidade com o polímero do que com ele mesmo, podem penetrar entre as cadeias macromoleculares, gerando interações de caráter físico-químico. Forças intermoleculares fazem com que ocorra a dissolução do material (3).

Quando a molécula possui estrutura cristalina, os cristalitos dificultam a penetração do solvente, aumentando a insolubilidade do material. Quando a macromolécula apresenta estrutura aromática ou saturada, oferece também resistência a solventes e reagentes (3).

A resistência a solventes e reagentes é medida pelos ensaios ASTM D 543 e C 581 (3).

1.1.8 Inflamabilidade

A inflamabilidade dos materiais é propriedade muito importante. Quando um polímero orgânico é aquecido, ele vai progressivamente sofrendo modificações, a princípio físicas e depois químicas, terminando por sofrer decomposição total em produtos voláteis (3).

Esse comportamento é diferente em polímeros de engenharia, que possuem aditivos minerais, entre outros, cuja combustão total produz cinzas (3).

Os métodos mais comuns para se avaliar a queima de polímeros são ASTM 2843 e D 568 (3).

2 Objetivos

Estudar os polímeros de alto desempenho para aplicações onde há a necessidade de resistir a ambientes quimicamente agressivos. Discorrer de forma teórica sobre estes polímeros, suas propriedades e comparar estes polímeros.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Polímeros de Engenharia

Além das macromoléculas encontradas na natureza, muitos produtos químicos obtidos por via sintética podem apresentar longas cadeias. Neste caso, são geralmente denominados polímeros sintéticos, e dentre eles se encontram importantes materiais de engenharia (3).

As propriedades dos polímeros dependem bastante dos materiais de partida (monômeros), do tipo de reação empregada na sua obtenção e também da técnica de preparação (3).

Há 3 tipos de reações através das quais os polímeros sintéticos podem ser produzidos:

1. Poliadição;
2. Policondensação;
3. Modificação Química;

Conforme a natureza química do monômero, o tipo de reação visada e a aplicação desejada para o polímero, varia a técnica de sua preparação (em massa, solução, emulsão, suspensão, interfacial).

No final da década de 70, começaram a surgir os plásticos de engenharia de uso especial, ou plásticos de alto desempenho, cujas estruturas foram planejadas de modo a apresentar, em grau superlativo, as propriedades dos plásticos de engenharia de uso geral, além de algumas propriedades adicionais, de grande importância tecnológica (3).

3.1.1 Características comuns de polímeros de alto desempenho

3.1.1.1 Termoplasticidade

Estruturas lineares, não reticuladas, que permitem a moldagem dos produtos pelos processos usuais da indústria (3).

3.1.1.2 Grande resistência mecânica

A alta rigidez, o elevado módulo, a notável resistência a tensão, e a grande dureza desses materiais, ao lado da sua deformação por tração ou compressão muito pequena, decorrem da estrutura aromática pouco flexível. Todas as cadeias macromoleculares são formadas por anéis aromáticos ligados por um ou dois átomos em grupos não parafínicos, sem ramificações pendentes na cadeia principal. Essa condição acarreta destruição difícil da ordenação macromolecular e, portanto, responde por propriedades mecânicas em alto grau. As ramificações afastariam as macromoléculas umas das outras, e assim, diminuiriam a sua interação, reduzindo a resistência mecânica (3).

3.1.1.3 Resistência a temperaturas elevadas

A resistência térmica está associada a estruturas aromáticas como parte integrante da longa cadeia polimérica.

A estabilidade à degradação de um polímero pelo calor é fundamentalmente relacionada à energia de ligação dos átomos que formam a cadeia polimérica. Assim, a ligação C-C em anéis aromáticos exige uma energia de 520 kJ/mol para a sua ruptura, que é muito mais elevada que a ligação C-C alifática, que requer 335 kJ/mol. Este é um dos fatores que tornam os polímeros de engenharia de alto desempenho tão superiores às poliolefinas

e outros polímeros vinílicos, quanto à prolongada resistência a temperaturas elevadas. Mesmo quando a cadeia macromolecular é parafínica, a resistência a degradação pode ser melhorada pela substituição de átomos de hidrogênio (C-H: 410 kJ/mol) por flúor (C-F: 500 kJ/mol) (3).

Por aquecimento ao ar, os anéis aromáticos da cadeia tendem a sofrer condensações, formando macromoléculas cada vez mais compactadas e estáveis ao calor. A estrutura de carbono condensada ao máximo é encontrada no grafite, cuja elevada resistência à degradação térmica é bem conhecida e aplicada na industrialmente na confecção de cadinhos e moldes metalúrgicos (3).

3.1.1.4 Propriedades mecânicas mantidas em larga faixa de temperatura

A difícil destruição da ordem macromolecular, apesar da elevação da temperatura, permite a manutenção das propriedades mecânicas, o que é uma característica muito importante exigida em materiais especiais de alto desempenho. Essa propriedade é encontrada quando as cadeias são formadas por anéis aromáticos ligados por um ou dois átomos, em grupos não parafínicos, de pouca flexibilidade (3).

3.1.1.5 Resistência a intempéries e à oxidação

A inexistência de instauração nos segmentos que ligam os anéis aromáticos para formar as cadeias macromoleculares dos polímeros de alto desempenho, bem como a ausência de carbono terciário nesses segmentos, acarretam uma grande resistência desses materiais às intempéries e à oxidação (3).

3.1.1.6 Resistência a solventes e reagentes

O tipo de estrutura química encontrado em polímeros de alto desempenho responde pela grande resistência a solventes e reagentes, tal como ocorre com os polímeros de engenharia de uso geral (3).

Englobando hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos ou halogenados, álcoois, cetonas, éteres e outros, polímeros que resistam a dissolução em solventes orgânicos é de extrema importância para a indústria.

A dissolução de um polímero em solventes envolve dois processos de transporte, a difusão do solvente e o desemaranhamento das cadeias. Quando um polímero vítreo sem ligações cruzadas, amorfo está em contato com um solvente termodinamicamente compatível, o solvente irá difundir para dentro do polímero. Devido a plastificação do polímero pelo solvente, uma camada “gelatinosa” e inchada se forma na superfície, com uma interface com o solvente e outra com o polímero intacto. Depois de um tempo, o polímero se dissolve (4).

3.1.1.7 Boa estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional está relacionada à rigidez permanente do material, que não deve apresentar escoamento significativo. A dilatação, ou encolhimento, da peça prejudica o desempenho em muitos casos. O polímero deve ter elevada temperatura de transição vítrea e alta cristalinidade. Sua estrutura química não deve favorecer a absorção de umidade ambiental, que faz variar o volume da peça; deve ser resistente a degradação térmica e química, que também causam a modificação do volume (3).

Os átomos ou grupos que ligam esses anéis para formar a cadeia macromolecular, como átomos de oxigênio, de enxofre ou grupos carbonila, têm importância fundamental nas propriedades e nas características de processamento. A distorção ao calor depende da mobilidade da cadeia polimérica. A presença de anéis rígidos aromáticos ou heterocíclicos volumosos prejudica essa mobilidade e aumenta a temperatura de amolecimento, por que dificulta ou impede o deslizamento das cadeias, umas sobre as outras, e também restringe a rotação livre dessas cadeias em torno de seu eixo. Esse mesmo efeito é ainda causado por áreas cristalinas. Além disso nos materiais cristalinos, anisométricos, poderá ocorrer a orientação das macromoléculas na fase cristalina, o que não ocorre na fase amorfa (3).

Todas essas características estruturas são extremamente importantes para a estabilidade ao calor por tempos prolongados, porém reduzem a processabilidade. Para desempenho de alta responsabilidade, o material não deve conter plastificantes ou outros aditivos voláteis, os quais podem ser gradualmente removidos durante o uso (3).

O baixo coeficiente de expansão térmica é encontrado nos polímeros de alta cristalinidade (3).

3.1.1.8 Resistência às radiações eletromagnéticas

Os polímeros que apresentam estruturas sem conjugação (isto é, sem alternância de ligações químicas), ou com pouca conjugação, não absorvem radiações do espectro eletromagnético na região do visível, e o polímero é incolor. Se há oxidação da molécula durante o processamento ou sob a ação

dos raios ultravioleta solares, o produto se torna amarelada; conforme o grau de oxidação resultam trechos conjugados que causam o escurecimento do produto, em maior ou menor grau (3).

Quando os polímeros são muito cristalinos, o material se torna opaco, pelas difrações sucessivas que o raio de luz sofre ao atravessar as diversas regiões ordenadas do material. Quando o polímero é predominantemente amorfo, o material é transparente (3).

3.1.1.9 Resistência a abrasão

Em polímeros rígidos, a resistência à abrasão pode ser associada à reticulação molecular do material, através de ligações químicas covalentes (ligações cruzadas), ou à existência de ligações físico-químicas fortes, como pontes de hidrogênio, ou de outras interações moleculares, e é mais pronunciada em polímeros termorrígidos e polímeros termoplásticos altamente cristalinos (3).

3.2 Polímeros de Alto Desempenho

Existem muitos polímeros de alto-desempenho em uso atualmente, com diferentes nomes comerciais conforme a empresa que produz e as modificações feitas. Abaixo a Figura 1 mostra a classificação de alguns polímeros conhecidos e disponíveis no mercado atualmente.

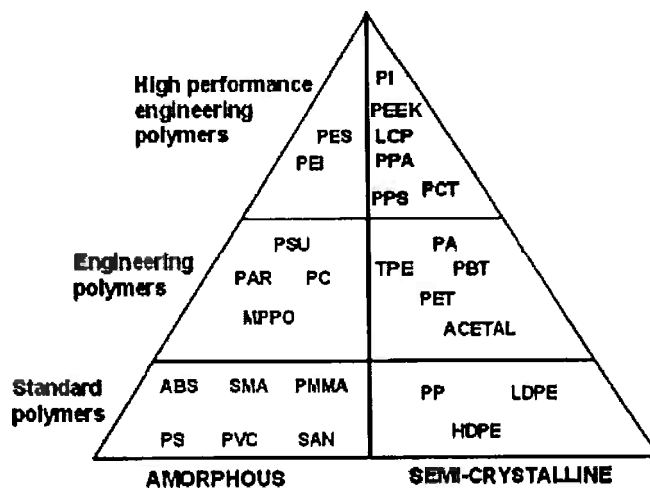


Figura 1 - Pirâmide com classificação de polímeros (5).

Atualmente, o grande foco das pesquisas sobre polímeros está em suas características mecânicas e térmicas, que de fato são os grandes limitantes para a aplicação de polímeros como alternativa a metais e cerâmicas. Apesar disto, muitos dos polímeros de alto desempenho desenvolvidos apresentam boas ou excelentes características de resistência química, seja a um ou mais reagentes químicos.

É muito comum um plástico ser extremamente resistente a um agente químico porém muito susceptível a outros, portanto a comparação entre os materiais deve ser feita para cada reagente químico em específico, ou seja, para cada aplicação específica.

3.3 Poli(áril-éter-cetona) (PAEK); Poli(éter-éter-cetona) (PEEK)

A família de plásticos PAEK é um dos importantes materiais no mercado de plásticos estáveis em alta-temperatura. Ele pode ser submetido a grandes

tensões mecânicas e térmicas, em conjunto com resistência química (6). Na Figura 2 temos a estrutura típica de um polímero PEEK.

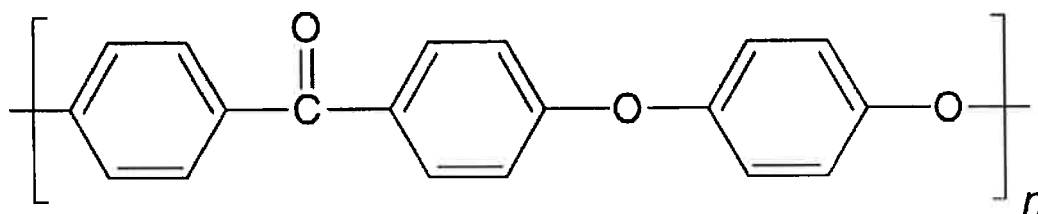


Figura 2 – Estrutura típica de um PEEK (2).

PAEK são caracterizados pelo anel de fenileno interligados por pontes de oxigênio de grupos éter ou cetonas. A sequência e proporção destes afeta a temperatura de transição vítrea e temperatura de fusão do polímero. Também afeta a resistência e o processamento. Uma proporção maior de cetonas torna mais rígida a cadeia, resultando em uma maior temperatura de transição vítrea e temperatura de fusão, que pode variar entre 350 e 430°C (6).

Polímeros desta família podem ser produzidos por 2 meios, nucleofílico e eletrofílico. A produção nucleofílica envolve a formação de ligações de éter na etapa de polimerização, enquanto na rota eletrofílica há formação de pontes de carbonila na etapa de polimerização (6). Na Figura 3 observa-se estruturas básicas para formação de polímeros PAEK.

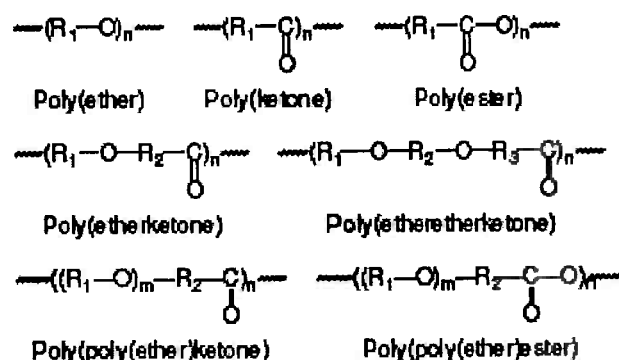


Figura 3 – Estruturas básicas de polímeros PAEK (7).

Podem ser processados utilizando os métodos típicos aplicados em termoplásticos, como injeção, moldagem, extrusão e etc (8).

PEEK não sofre ataque da água, e é praticamente insolúvel na maioria dos solventes comuns, orgânicos e inorgânicos. Como a maioria dos polímeros aromáticos, estão sujeitos a degradação por UV (2). Na Tabela 1 temos a temperatura máxima que PEEK suportam em contato com alguns agentes químicos, e na Tabela 2 temos agentes que PEEK não suportam.

Usado em compósitos de alto desempenho com até 40% de fibra. Partes de automóvel; placas de compressor; partes estruturais de aeronave; cabos para nave espacial; conectores em planta de energia nuclear; filmes para circuito impresso flexível e termo resistente; revestimento de cabos; válvulas e bombas para líquidos corrosivos (7).

Tabela 1 – Resistência química do PEEK (2).

PEEK	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	27
Acetic acid, Glacial	60
Acetone	99
Benzene	27
Benzenesulfonic acid, 10%	
Chloroform	27
Chromic acid, 10%	27
Ciclohexano	27
Etanol	27
Etileno Glicol	71
Sodium carbonate, 10%	99
Sodium chloride, 10%	
Sodium Hidroxide, 10%	104
Sodium Hidroxide conc.	93
Sulfuric acid, 10%	27
Sulfuric acid, fuming	x
Toluene	27

Tabela 2 – Agentes químicos que PEEK não suportam (2).

PEEK
Água regia 3:1
Gás Bromo
Cloro
Gás Flúor
Ácido Bromídrico
Ácido Fluorídrico
Ácido Oxálico
Ácido Sulfúrico, +70%

O maior produtor de PEEK é a Victrex, que comercializa o polímero sobre o nome comercial de Vitrex PEEK (9).

3.4 Poli(amida-imida) (PAI)

Poli(amida-imida) são polímeros heterocíclicos contendo um átomo de nitrogênio em um dos anéis da cadeia polimérica. Na Figura 4 observa-se a estrutura típica de uma Poli(amida-imida) (2).

Polímeros desta classe foram utilizado como revestimento no final da década de 1960. Logo após, seu uso se estendeu a aplicações aeroespaciais. A maioria dos polímeros desta família são moldáveis por injeção. Uma ponto negativo, com exceção de aplicações específicas, é o fato de absorverem água, seja da humidade do meio-ambiente ou quando imerso em água. Exibem alta resistência a altas temperaturas (260°C), exibindo excelente resistência a fluência e desgaste nestas condições (7).

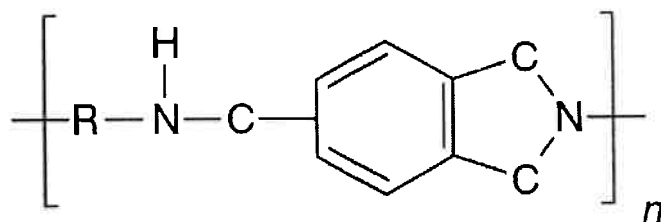


Figura 4 – Estrutura básica de um PAI (2).

Resinas termoplásticas de PAI possuem diversas aplicações como adesivos, revestimentos, fibras, filmes, compósitos e laminados (7). Polímeros desta classe são tipicamente resistentes a ácidos acéticos e fosfóricos até 35% e sulfúrico até 30%. Não possuem resistência a hidróxido de sódio, ácido benzeno sulfônico, hipoclorito de cálcio em nenhuma temperatura. Na Tabela 3

temos a temperatura máxima que PAI's suportam alguns agentes químicos, e na Tabela 4 químicos conhecidos que PAI não suportam.

Tabela 3 – Resistência química do PAI (2).

PAI	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	93
Acetic acid, Glacial	93
Acetone	27
Benzene	27
Benzenesulfonic acid, 10%	x
Chloroform	49
Chromic acid, 10%	93
Ciclohexano	93
Etanol	
Etileno Glicol	93
Sodium carbonate, 10%	93
Sodium chloride, 10%	93
Sodium Hidroxide, 10%	x
Sodium Hidroxide conc.	x
Sulfuric acid, 10%	93
Sulfuric acid, fuming	49
Toluene	93

PAI são industrialmente produzidos pela Solvay, sobre o nome comercial de Torlon (9).

Tabela 4 – Agentes químicos que PAI não suportam (2).

PAI
Ácido Benzenosulfônico
Hipoclorito de Cálcio
Hidróxido de Sódio
Hipoclorito de Sódio
Sulfureto de sódio

3.5 Poli(éter-imida) (PEI)

PEI é um polímero de alta performance para aplicações em altas temperaturas com fórmula estrutural mostrada na Figura 5.

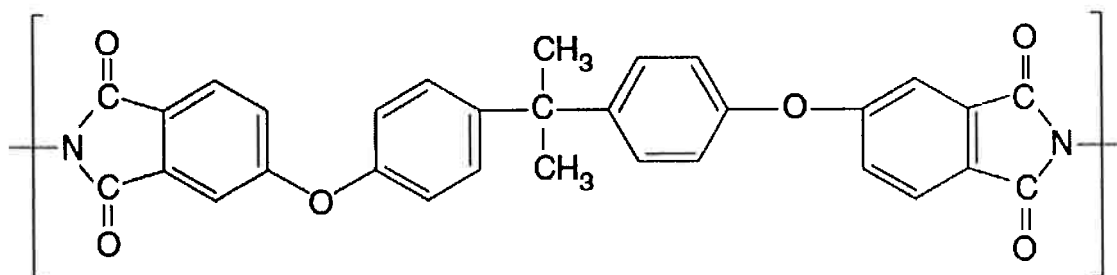


Figura 5 – Estrutura típica de um PEI (2).

Esta família de polímeros é formada por não cristalinos alternando éteres aromáticos e unidades de imidas. A estrutura molecular possui rigidez, resistência mecânica e resistência ao impacto. É um dos termoplásticos mais fortes mesmo sem reforços e aditivos (2).

PEI possui resistência química melhor que a maioria dos polímeros não cristalinos, sendo resistente a ácidos acéticos, hidro clórico, nítrico fraco e sulfúrico, além de álcool (2). Na Tabela 5 temos a temperatura máxima em que PEI's resistem a alguns agentes químicos.

Industrialmente polímeros PEI são fabricados pela Sabic com o nome comercial de Ultem (9).

Tabela 5 – Resistência química de PEI (2).

PEI	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	20
Acetic acid, Glacial	20
Acetone	20
Benzene	
Benzenesulfonic acid, 10%	
Chloroform	x
Chromic acid, 10%	
Ciclohexano	20
Etanol	32
Etileno Glicol	20
Sodium carbonate, 10%	
Sodium chloride, 10%	20
Sodium Hidroxide, 10%	
Sodium Hidroxide conc.	
Sulfuric acid, 10%	20
Sulfuric acid, fuming	x
Toluene	20

Tabela 6 – Agentes químicos que o PEI não suportam (2).

PEI
Amônia, 10%
Clorofórmio
Acetato de Etil
Metil-etil Cetona
Cloreto de Metil
Ácido Sulfúrico fumegante
Tricloroetileno

3.6 Fluoropolímeros

3.6.1 Clorotrifluoroetileno Etileno (ECTFE)

ECTFE é um copolímero 1:1 alternando etileno e clorotrifluoroetileno, com uma estrutura química mostrada Figura 6.

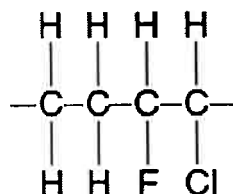


Figura 6 – Estrutura básica de um ECTFE (2).

Esta estrutura química provém ao polímero uma combinação única de propriedades químicas desde temperaturas criogênicas até temperaturas de 149°C para uso contínuo (2).

Sua resistência química é excelente, resistindo a maioria dos corrosivos encontrados na indústria, incluindo ácidos fortes de minerais, bases, oxigênio líquido e praticamente todos os solventes orgânicos com exceção de aminas quentes. Nenhum solvente conhecido dissolve ou resulta em trincas por tensão em temperaturas de até 120°C. Também exibe excelente resistência ao intemperismo e a radiação UV (2).

Industrialmente é produzido pela Solvay com o nome comercial de Halar (9).

3.6.2 Etileno Tetrafluoroetileno (ETFE)

ETFE é um fluoropolímero para usos em altas temperaturas, até 149°C. É inerte a ácidos fortes de minerais, halogênios, bases inorgânicas, soluções de salinas de metais. Ácidos carboxílicos, aldeídos, hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, álcoois, cetonas, ésteres, cloro-carbonos e solventes clássicos de polímeros possuem pouco efeito sobre o ETFE (2). Na Figura 7 vemos a estrutura básica de um ETFE.

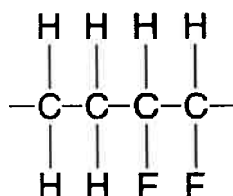


Figura 7 – Estrutura básica de um ETFE (2).

Ácidos extremamente oxidantes como o nítrico, bases orgânicas como aminas, ácido sulfúrico em altas concentrações irão afetar o ETFE em vários níveis (2).

Aplicações típicas do ETFE são equipamentos para processamento, tubulações, utensílios para químicos entre outros (2). Industrialmente é produzido pela Asahi com o nome comercial Aflon (9).

3.6.3 Politetrafluoretileno (PTFE)

Politetrafluoretileno possuem resistência a temperaturas de até 430°C, considerando a manutenção de suas propriedades físicas e mecânicas, e excelente propriedades químicas, em temperaturas menores dependendo dos agentes (2). Na Figura 8 temos a estrutura básica de um PTFE.

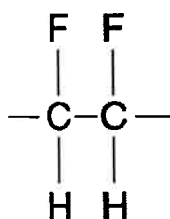


Figura 8 – Estrutura típica de um PTFE (2).

PTFE é praticamente inerte a presença da maioria dos materiais, existem poucos químicos que conseguem atacar o PTFE em temperaturas normais de uso. Entre os materiais que atacam o PTFE, estão os mais violentos agentes oxidantes e redutores que conhecemos. Sódio puro e outros metais alcalinos reagem de forma a retirar o flúor da molécula (2). Na Tabela 7 temos a temperatura máxima que PTFE suportam a alguns agentes químicos.

Tabela 7 – Resistência química do PTFE (2).

PTFE	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	232
Acetic acid, Glacial	232
Acetone	232
Benzene	232
Benzenesulfonic acid, 10%	232
Chloroform	232
Chromic acid, 10%	232
Ciclohexano	232
Etanol	232
Etileno Glicol	232
Sodium carbonate, 10%	232
Sodium chloride, 10%	232
Sodium Hidroxide, 10%	232
Sodium Hidroxide conc.	232
Sulfuric acid, 10%	232
Sulfuric acid, fuming	232
Toluene	232

PTFE possui excelente resistência ao intemperismo, e não se degrada com luz UV. Devido a estas propriedades, é comumente usado como revestimento em equipamentos para evitar a degradação química, como em tubulações (2).

Tabela 8 – Alguns agentes químicos que o PTFE não suporta (2).

PTFE
Cloro
Fluor

Industrialmente é produzido pela DuPont com o nome comercial de Teflon, e pela Sabic como Lubricomp (9).

3.6.4 Fluoro Etileno-propileno (FEP)

FEP é um polímero completamente fluorado, com algumas ramificações, porém basicamente consiste em cadeias lineares com estrutura mostrada na Figura 9 (2).

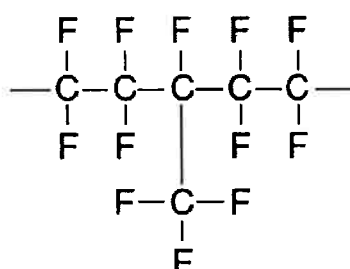


Figura 9 – Estrutura típica de um FEP (2).

FEP possui uma temperatura de operação de 190°C, possuindo resistência química semelhante a do PTFE, porém em temperaturas menores.

É resistente a praticamente todos os químicos exceto oxidantes extremamente potentes. FEP não é degradado pela luz e possui excelente resistência ao intemperismo. Suas aplicações são em tubulações, utensílios para laboratório e outros equipamentos para processamento (2).

Comercialmente é produzido pela CoorsTek com o nome comercial CoorsTek FEP (9).

3.6.5 Perfluoroalcoxi (PFA)

Perfluoroalcoxi é um polímero completamente fluorado, possuindo a formula mostrada na Figura 10

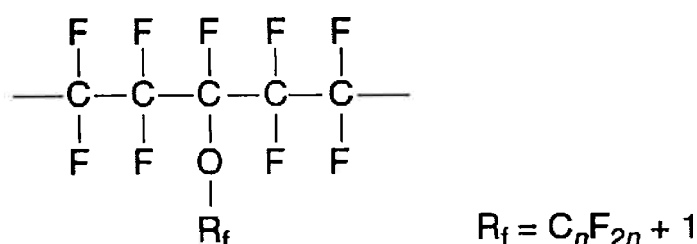


Figura 10 – Estrutura típica de um PFA (2).

PFA não possui a resistência mecânica que o PTFE a elevadas temperaturas, porém exibe performance superior aos FEP em temperaturas acima de 149°C e pode ser utilizado em temperaturas de até 260°C (2).

PFA estão sujeitos a absorção de certos líquidos, como anilina, benzaldeído, tetracloreto de carbono, iso-octano, tolueno entre outros. É inerte a ácidos de minerais fortes, bases orgânicas, oxidantes inorgânicos, aromáticos, alguns hidrocarbonetos alifáticos, álcoois, aldeídos, cetonas, éteres, ésteres, clorocarbonos, fluorocarbonos e misturas destes. São atacados

por alguns compostos halogenados contendo flúor como trifluoreto de cloro. Possui excelente resistência a UV e intemperismo (2).

Comercialmente é produzido pela Asahi com o nome comercial de Fluon Ultra Pure PFA Fluoropolímero.

3.6.6 Fluoreto de Polivinilideno – PVDF

Fluoreto de Polivinilideno é um material cristalino, de alto peso molecular com 50% de fluoreto. Sua estrutura química é semelhante a do PTFE (ver Figura 8), exceto que não é totalmente fluorada (2).

PVDF não suporta temperaturas tão elevadas quanto o PTFE, mantendo suas características até 160°C. É quimicamente resistente a maioria dos ácidos, bases e solventes orgânicos, porém não deve ser utilizados com alcalinos fortes, solventes polares, aminas, cetonas e ésteres (2).

Tabela 9 – Resistência química do PVDF (2).

PVDF	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	149
Acetic acid, Glacial	88
Acetone	x
Benzene	66
Benzenesulfonic acid, 10%	38
Chloroform	121
Chromic acid, 10%	104
Ciclohexano	
Etanol	138
Etileno Glicol	138
Sodium carbonate, 10%	138
Sodium chloride, 10%	138
Sodium Hidroxide, 10%	99
Sodium Hidroxide conc.	66
Sulfuric acid, 10%	121
Sulfuric acid, fuming	x
Toluene	99

PVDF suporta o UV na faixa visível, e é utilizados em aplicações como tubulações, válvulas, bombas e etc (2).

Tabela 10 – Alguns agentes químicos que o PVDF não suporta (2).

PVDF
Cloro
Fluor

Industrialmente é produzido pela Solvay como Solef (9).

3.7 Elastômeros

A corrosão de elastômeros é altamente influenciada pela concentração do reagente, além é claro, da composição do polímero. É comum que os fabricantes incorporem aditivos de forma a melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, porém estes aditivos podem ter efeito deletério do ponto de vista da resistência química, particularmente em elevadas temperaturas. De forma contrária, alguns fabricantes usam aditivos de forma a melhorar a resistência a corrosão de seus produtos (2).

Entre os elastômeros de alto desempenho podemos listar (10):

- Acrylic Rubber (ACM)
- Chlorinated Polyethylene (CPE/CM)
- Chlorosulphonated Ethylene Elastomers (CSM)
- Epicholohydrin (ECO)
- Ethylene Acrylic Elastomers (AEM)
- Ethylene/Vinyl Acetate Rubber (EVM)

- Fluoro Silicone Elastomers (FVMQ)
- Fluoroelastomers (FKM/FPM)
- Hydrogenated Nitrile Rubber (HNBR)
- Perfluoroelastomers (FFKM)
- Silicone Elastomers (VMQ/MQ)

À seguir iremos listar elastômeros que em sua forma pura possuem alto desempenho sob ambientes quimicamente agressivos.

3.7.1 Polietileno Clorosulfonado (CSM)

Em muitos aspectos semelhantes ao Neoprene, porém possui melhor resistência a temperatura, ozônio, propriedades elétricas melhores, e melhor resistência química. Quando corretamente composto, exibe alta resistência a abrasão, desgaste, flexibilidade, alta resistência ao impacto e boa resistência a deformação permanente sobre cargas elevadas (2).

Possui alta resistência a óleos de hidrocarbonetos e combustíveis, mesmo em altas temperaturas. É também resistente a oxidantes como hipoclorito, peróxido de sódio, cloreto férrico, sulfúrico, crômico e ácidos fluorídricos. Possui resistência a ácido clorídrico até 37% em temperaturas abaixo de 70° e ácido nítrico até 60% em temperatura ambiente (2).

CSM também é resistente a soluções salinas, álcoois, alcalinos, e geralmente não é afetado por elementos da terra quando enterrado. Possui baixa resistência contra hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos, clorados, aldeídos e cetonas (2).

Devido a estas características, o CSM possui diversas aplicações industriais como mangueiras para transferência de ácidos, em caminhões e tanques contendo ácidos e outros elementos oxidantes. Suas propriedades físicas são adequadas para trabalhar sobre flexão constante, ou conduzindo água ou vapor quente (2).

3.7.2 Acrilato de Butadieno (ACM)

Elastômeros de Acrilato de Butadieno possuem estrutura totalmente saturada, o que tornam o polímero altamente resistente a altas temperaturas, oxidação e ozônio. Suporta temperaturas maiores que os EPDM (2).

Possuem excelente resistência a hidrocarbonetos alifáticos (gasolina e querosene) e boa resistência a ácidos, lubrificantes sintéticos e água. Não possuem desempenho em meio alcalino, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos halogenados e álcoois (2).

3.7.3 Elastômeros de Etileno-Propileno (EPDM)

EPDM são elastômeros sintéticos baseados em hidrocarbonetos, com monômeros de etileno-propileno dieno. Estes monômeros são combinados de forma a obter uma estrutura totalmente saturada, devido a configuração resultante, estes elastômeros apresentam resistência extremamente alta a ozônio, oxigênio e temperatura (2).

Possuem resistência a temperaturas elevadas, podendo operar sobre temperaturas de até 176°C. EPDM possuem alta resistência ao intemperismo, boas propriedades mecânicas, elétricas e químicas (2).

Resistem a solventes oxigenados como acetonas, metil-etil cetona, acetato de etil, ácidos e bases fracas, detergentes, álcoois e glicóis. Sendo baseado em hidrocarbonetos, não possui resistência contra óleos e solventes de hidrocarbonetos. Esta deficiência pode ser compensada com aditivos, de forma a prover certa resistência a óleos, necessária para aplicações onde tal requisito é necessário. Não possuem resistência a muitos ácidos minerais e orgânicos (2).

3.7.4 Fluoroelastômeros (FKM)

Fluoroelastômeros são polímeros de hidrocarbonetos contendo flúor, com uma estrutura saturada obtida pela polimerização de monômeros contendo flúor como fluoreto de vinilideno, hexafluoropropeno e tetrafluoroetileno. O resultado é um polímero de alta performance com resistência excepcional a óleos e químicos em altas temperaturas (2).

Fluoroelastômeros apresentam alta resistência a óleos, combustíveis, lubrificantes, a maioria dos ácidos minerais, muitos hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos que agem como solventes em outros elastômeros e outros. Não devem ser utilizados em exposição a ésteres e éteres de baixo peso molecular, cetonas, certos aminos, anidrido hidrofúorídrico e ácidos clorossulfônicos (2).

As principais aplicações para FKM's são em produtos que requerem resistência a altas temperaturas de operação aliadas com alta resistência química, sendo utilizados para turbinas na indústria aeroespacial, motores, exaustores catalíticos e outros (2).

Tabela 11 – Resistência química do FKM (2).

FKM	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	88
Acetic acid, Glacial	x
Acetone	x
Benzene	204
Benzenesulfonic acid, 10%	88
Chloroform	204
Chromic acid, 10%	177
Ciclohexano	204
Etanol	
Etileno Glicol	204
Sodium carbonate, 10%	88
Sodium chloride, 10%	204
Sodium Hidroxide, 10%	x
Sodium Hidroxide conc.	x
Sulfuric acid, 10%	177
Sulfuric acid, fuming	93
Toluene	204

3.7.5 Perfluoroelastômeros (FFKM)

Perfluoroelastômeros possuem a resistência química de um PTFE aliadas a propriedades de elastômeros (2).

FFKM's possuem excelente resistência química, sendo virtualmente imunes a ataques químicos desde temperaturas ambientes até altas temperaturas. Possuem alta resistência a ácidos orgânicos e inorgânicos, bases, óleos, solventes polares, vapores, solventes orgânicos, agentes fortemente oxidantes entre outros (2).

FFKM's não devem ser expostos a contato com metais alcalinos, devido ao risco de ocorrerem reações fortemente exotérmicas. Sua vida útil é potencialmente reduzida em meio a fluidos contendo alguns diamínos concentrados, ácido nítrico, fenóis básicos.

Tabela 12 – Resistência química do FFKM (2).

FFKM	Temperatura Máxima (°C)
Acetic acid, 10%	100
Acetic acid, Glacial	100
Acetone	100
Benzene	100
Benzenesulfonic acid, 10%	100
Chloroform	100
Chromic acid, 10%	100
Ciclohexano	100
Etanol	100
Etileno Glicol	100
Sodium carbonate, 10%	100
Sodium chloride, 10%	100
Sodium Hidroxide, 10%	100
Sodium Hidroxide conc.	100
Sulfuric acid, 10%	100
Sulfuric acid, fuming	100
Toluene	100

4 Resultados e Discussões

Existem muitos polímeros com propriedades químicas excelentes, e não se pode fazer a comparação entre eles sem que sejam estabelecidos os requisitos que o material deve atender.

Para a escolha do polímero adequado para determinada aplicação, do ponto de vista químico a decisão deve considerar se o polímero sofre ou não degradação no meio químico em que estará exposto, dentro da faixa de temperatura de operação. A resistência química de um polímero a um determinado agente ou solvente é influenciada pela temperatura em que está submetida a peça.

Os polímeros e suas resistências químicas e incompatibilidade vistas neste trabalho foram consideradas em sua forma pura, sem aditivos e/ou

cargas. Com a introdução de aditivos, é possível alterar drasticamente as características químicas e mecânicas destes polímeros, e em geral eles são utilizados com a adição de aditivos e cargas, de forma a obter melhores performances com menor custo.

Considerando suas formas puras, foi feita a análise de diversas propriedades mecânicas, que após determinado os tipos de polímero que resistem aos químicos aos quais estarão expostos o polímero, serão os fatores determinantes na escolha do material. Entre a Figura 11 e Figura 17 temos estas propriedades obtidas através do programa Cambridge Engineering Selector, desenvolvido especialmente para a seleção de materiais.

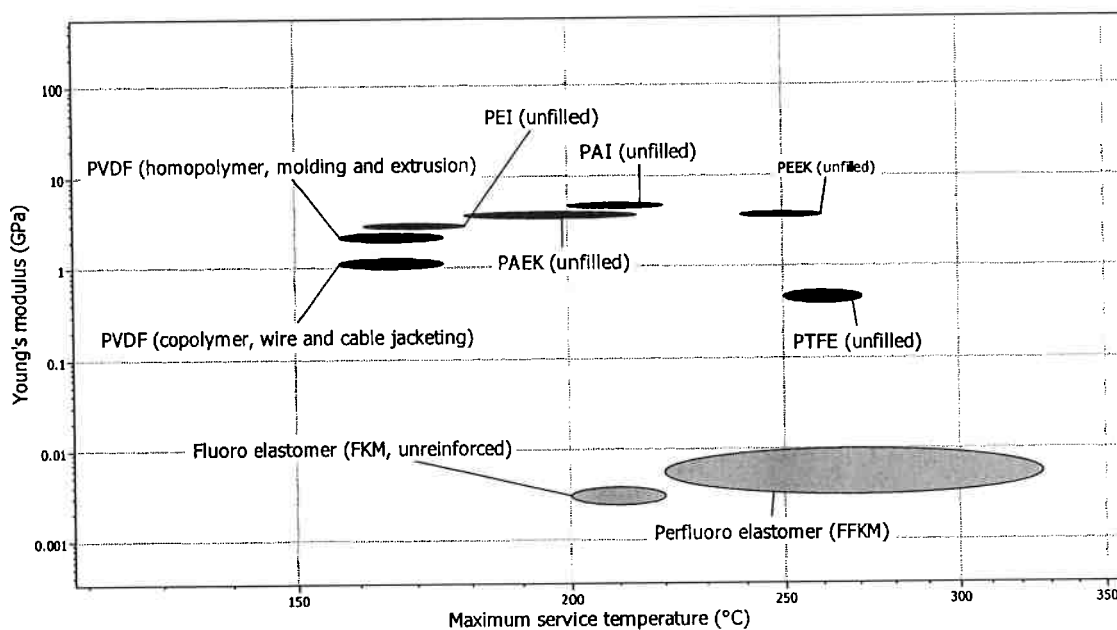


Figura 11 – Módulo de Young vs Temperatura máxima de serviço (9).

Como podemos observar, temos os elastômeros com baixo módulo de Young e os Termoplásticos com valores bem maiores, acima de 1GPa.

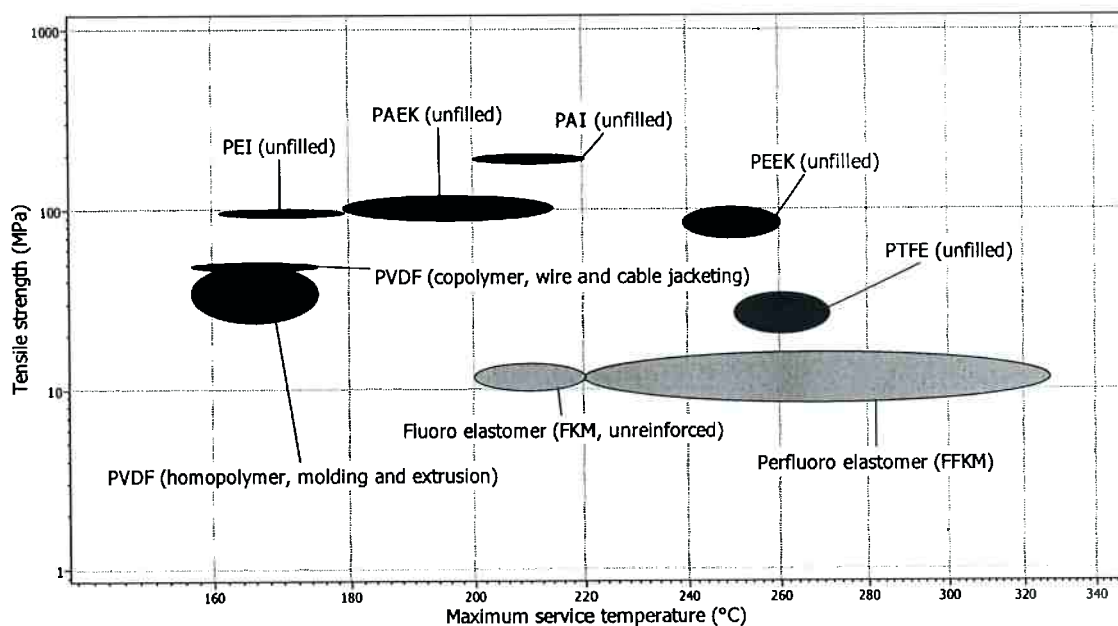


Figura 12 – Resistência a tração vs Temperatura máxima de serviço (9).

A resistência mecânica do PEEK em altas temperaturas é excelente, e dependendo da faixa de temperatura de operação exigida e resistência mecânica necessária, torna-se a única opção existente. Apesar das baixas temperaturas listadas na Tabela 1, encontramos na literatura, de forma qualitativa, que o PEEK é extremamente resistente a agentes químicos mesmo em altas temperaturas. O que pode ocorrer, é a degradação extremamente lenta em baixas temperaturas, o que torna o material virtualmente imune.

Em temperaturas entorno de 150°C, o uso do PEI, irá atender os mesmos requisitos que o PEEK, sendo o fator determinante qual destes dois materiais possui as propriedades químicas mais adequadas.

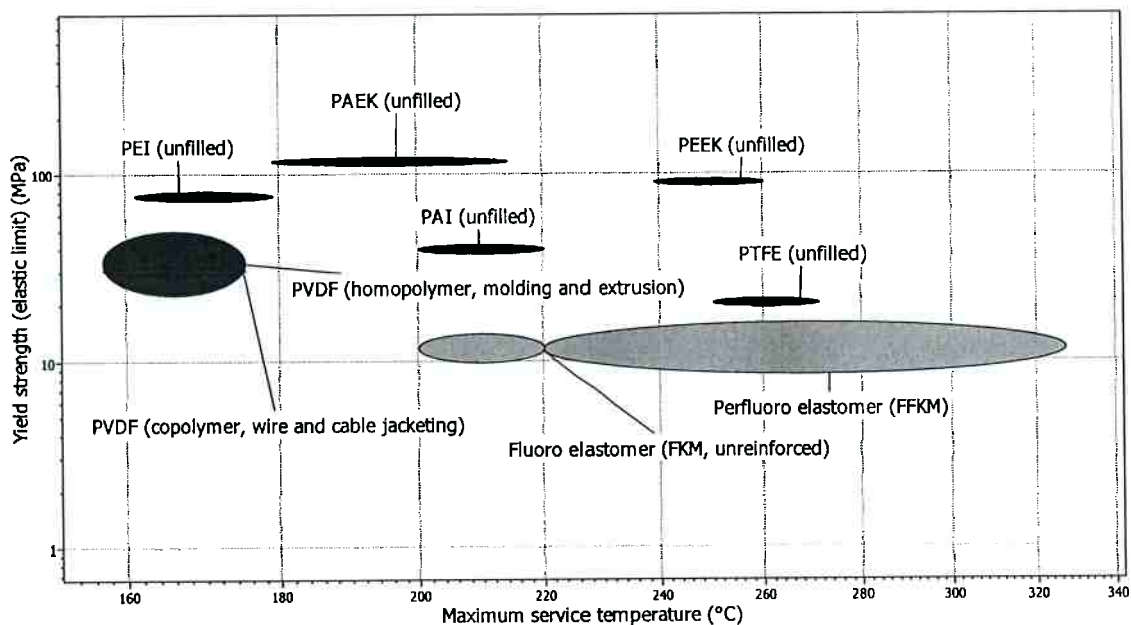


Figura 13 – Limite de Elasticidade vs Temperatura máxima de serviço (9).

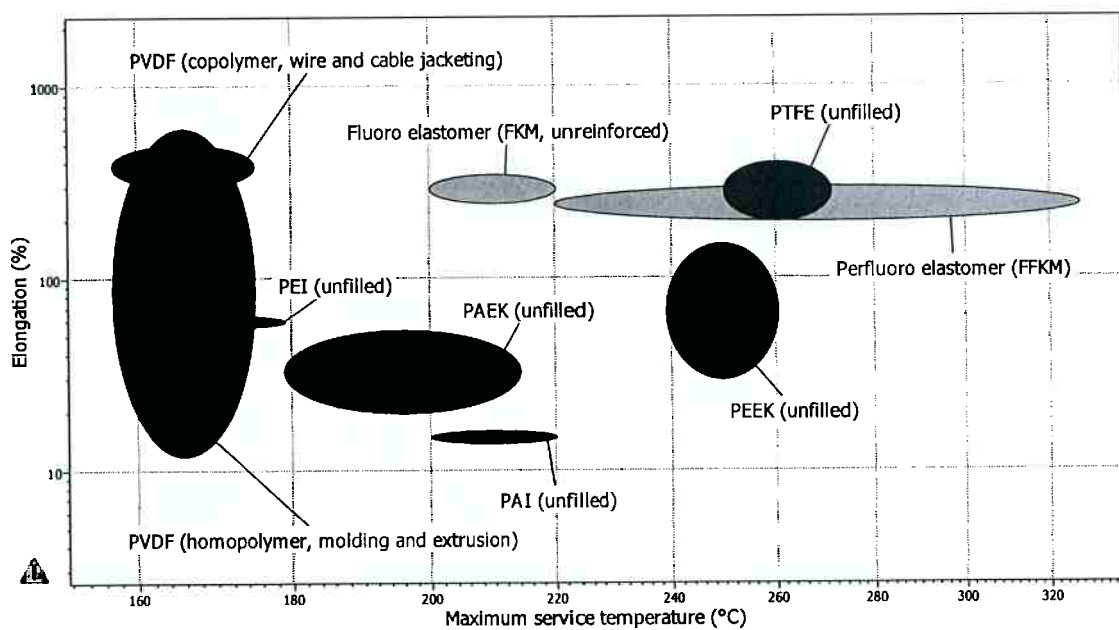


Figura 14 – Elongação vs Temperatura máxima de serviço (9).

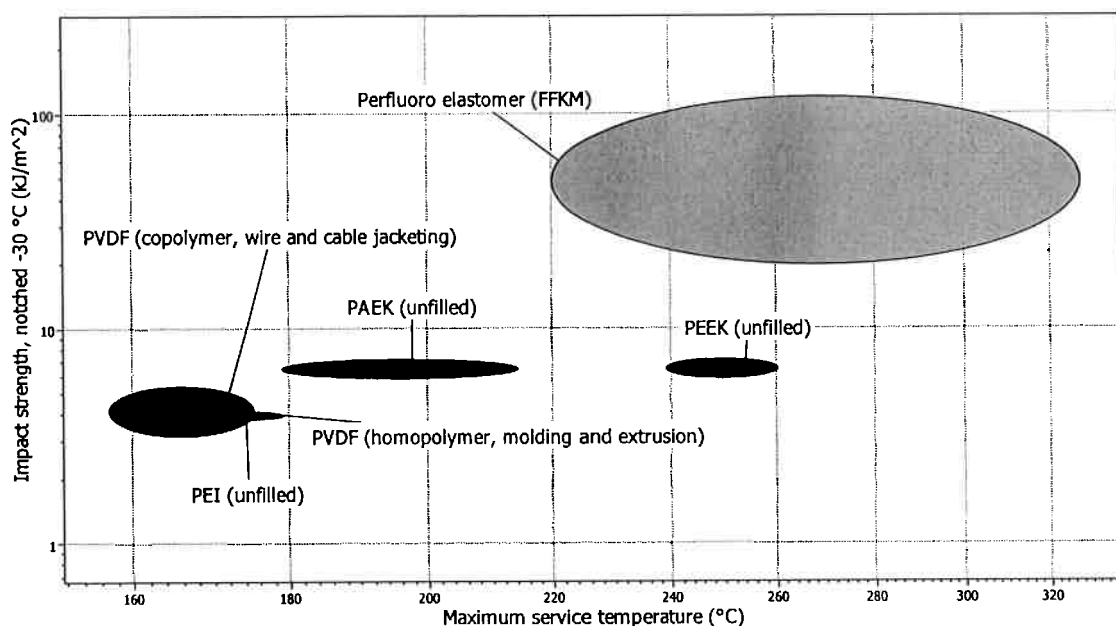


Figura 15 – Resistência ao impacto (entalhado, -30°C) vs Temperatura máxima de serviço (9).

Em aplicações sobre condições extremamente agressivas, do ponto de vista químico, o material mais adequado para uso é o PTFE, que possui resistência química excepcional mesmo entre os polímeros de alto desempenho. Caso haja necessidade de resistência mecânica elevada, é possível utilizar o PTFE como revestimento, protegendo por exemplo, um tubo metálico pelo qual passa um agente químico extremamente corrosivo, como ácido sulfúrico concentrado ou ácido nítrico.

Quando a aplicação exige flexibilidade associada a resistência química, temos os fluoro elastômeros. O FKM e FFKM possuem ambos excelente propriedades mecânicas e químicas dentro da classe de elastômeros, sendo o FFKM a família de polímeros mais avançada para este tipo de aplicação.

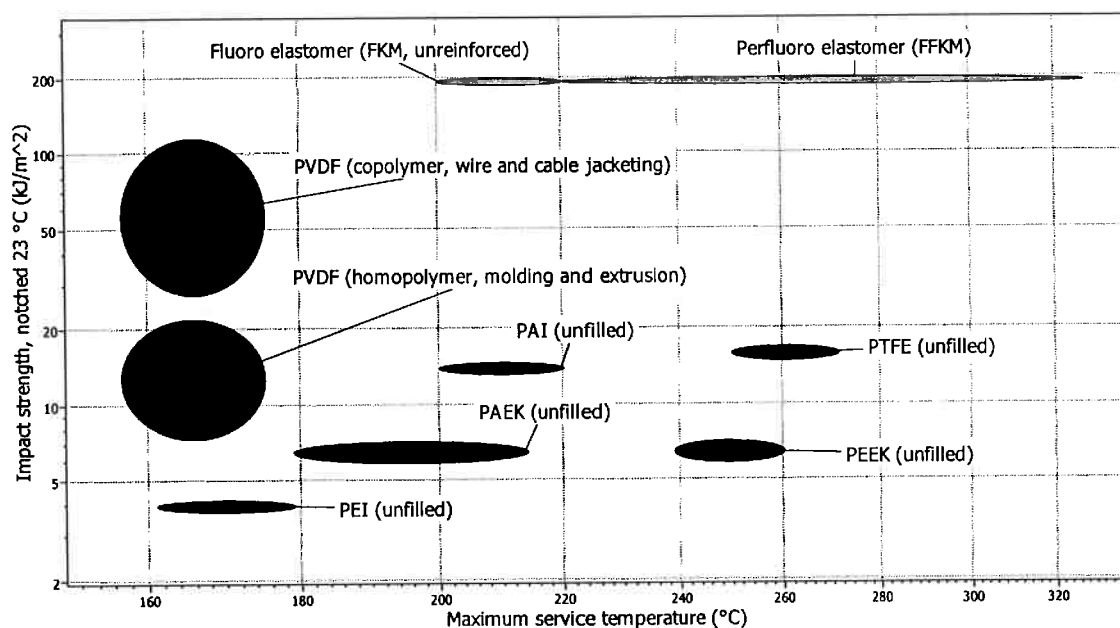


Figura 16 – Resistência ao impacto (entalhado, 23°C) vs Temperatura máxima de serviço (9).

Como em toda área de engenharia, o fator custo é determinante para o sucesso de um projeto. Quando se trata de materiais que atendam as condições mais rígidas que possamos imaginar, podemos esbarrar com situações como a inexistência de um material que atenda tal requisito, como é o caso do pré-sal, que exige materiais com propriedades que ainda não conseguimos obter, ou em um caso menos crítico, há apenas uma opção de material que atenda as necessidades.

Se houver opções de materiais que atendam a necessidade, faz parte da engenharia a utilização do material que apresente mais benefícios, ou seja, menor custo. Entre os materiais de alto desempenho aqui estudados, temos preços que variam entre U\$20 e acima de U\$1000 por Kg (Figura 17).

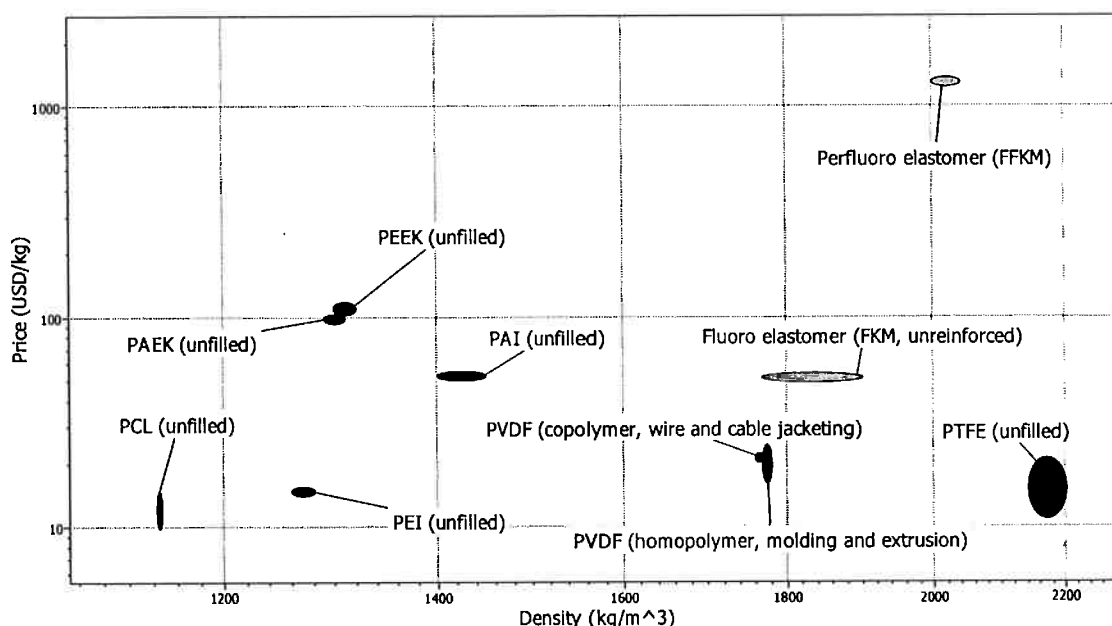


Figura 17 – Preço vs Densidade (9).

Em geral, entre os polímeros de alto desempenho, aqueles que possuem cadeia saturada com flúor apresentam melhor resistência química, pois sendo o flúor extremamente eletronegativo, cria uma ligação fortemente estável com o Carbono, dificultando a quebra e a consequente degradação do polímero. No caso, polímeros em com total substituição pelo flúor são virtualmente imunes a agentes químicos.

A presença de anéis aromáticos, acompanha os polímeros que possuem boa ou excelente resistência mecânica a altas temperaturas, considerando outros materiais poliméricos. A resistência química resultante da presença desta estrutura dificulta agentes que atacam as ligações C-C, pois exigem maior energia para ruptura.

5 Conclusão

Existem diversos polímeros que apresentam alto desempenho, que podem ser aplicados em ambientes agressivos, mesmo sobre contato com agentes químicos considerados extremamente fortes, como ácido sulfúrico concentrado, ácido nítrico, hidróxido de sódio concentrado, solventes como o clorofórmio, benzeno e etanol.

Considerando necessidades químicas extremas, fluoro polímeros são os que apresentam as melhores resistências químicas, possuindo variantes na família dos elastômeros, possibilitando a confecção de peças flexíveis.

Quando necessária a resistência mecânica aliada com a resistência química, temos o PEEK para aplicações extremas, ao qual podem ser adicionados aditivos de forma a otimizá-lo para sua específica necessidade, e polímeros PEI e PAI para aplicações onde a temperatura não é tão elevada.

Pelo observado, caso tivéssemos um polímero que reunisse grupos benzeno ligado ao flúor, teríamos um polímero com propriedades mecânicas e térmicas do PEEK, e resistência química do PTFE. Contudo, a inexistência de um polímero deste tipo, indica que há dificuldades ou mesmo a impossibilidade de construir um polímero com esta estrutura, portanto é necessário um estudo mais aprofundado sobre este assunto.

6 Bibliografia

1. **Navarro, Rômulo Feitosa.** *Aspectos da Degradação de Polímeros.* Campina Grande : Editora da Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
2. **Schweitzer, Philip A.** *Corrosion Engineering Handbook.* s.l. : CRC Press, 2007.
3. **Mano, Eloisa Biasotto.** *Polímeros como Materiais de Engenharia.* São Paulo : Edgard Blücher Ltda., 1991.
4. **Beth A. Miller-Chou, Jack L. Koenig.** A Review of Polymer Dissolution. *Progress in Polymer Science.* 13 de Novembre de 2002.
5. **www.dupont.com.** [Online] DuPont, Março de 2012. [Citado em: 20 de Março de 2012.]
http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/Products/Zytel_HTN/Zytel_HTN_white_paper_R8.html.
6. **Dominick V. Rosato,Donald V. Rosato,Matthew V. Rosato.** *Plastic product material and process selection handbook.* s.l. : ELSEVIER SCIENCE, 2004. 185617431x.
7. **Fink, Johannes Karl.** *High Performance Polymers.* Leoben : William Andrew, 2008.
8. **Salamone, Joseph C.** *Polymeric materials encyclopedia.* s.l. : CRC Press, 1996. 9780849324703.
9. *Cambridge Engineering Selector.* s.l. : GRANTA, 2009.
10. **Rapra Technology.** *High Performance Elastomers 2000.* s.l. : Rapra Technology Limited, 2000.

11. **Giacobbi, Emmanuele.** *Polidan Tux System The Crosslinkable solution for high performance industrial applications.* s.l. : Solvay Padanaplast.
12. **Solvay.** www.solvay.com. [Online] [Citado em: 20 de Março de 2012.] <http://catalog.ides.com/Datasheet.aspx?l=92041&FMT=PDF&E=156358>.
13. **Harper, Charles A.** *Modern Plastics Handbook.* s.l. : Modern Plastics, 2000.