

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CURSO DE TECNOLOGIA EM MATERIAIS**

Adriano de Souza Pinheiro

**POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR –
CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**

São Paulo

2013

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CURSO DE TECNOLOGIA EM MATERIAIS**

Adriano de Souza Pinheiro

**POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR –
CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**

Monografia apresentada no curso de Tecnologia em Materiais - Ênfase em Polímeros, Metais e Cerâmicos da FATEC-SP, como requerido parcial para obter o título de Tecnólogo em Materiais.

Orientador: José Ângelo Bortoloto

São Paulo

2013

CURSO DE TECNOLOGIA EM MATERIAIS
ADRIANO DE SOUZA PINHEIRO

POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR –
CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Monografia apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Materiais - Ênfase em Polímeros, Metais e Cerâmicos da FATEC-SP, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

José Ângelo Bortoloto
Orientador - Fatec-SP

Lilian Satomi Hanamoto
Examinador

Eduardo Dos Santos Tada
Examinador

Data da Aprovação: ----/----/----

RESUMO

O polietileno de ultra alto peso molecular(PEUAPM) é um polímero de engenharia caracterizado com uma enorme massa molecular média em suas cadeias, variando de 2 milhões a 6 milhões g/mol. Devido ao seu enorme peso molecular, o material apresenta um alto desempenho e propriedades totalmente diferenciadas em relação a resistência a impacto, resistência ao desgaste, coeficiente de atrito, resistência química, entre outras. O polímero não pode ser processado por processos convencionais como extrusão, injeção e sopro devido a sua elevada viscosidade no estado fundido. Seu processamento é dado por extrusão por pistão ou compressão, sendo obtidos em forma de semiacabados que posteriormente são usinados e transformados em produtos finais. Devido a sua usinagem, é gerado uma grande quantidade de resíduos. Geralmente os resíduos gerado tem como destinação os lixões ou aterros, mas pode ser reaproveitado sendo moído, fundido, prensado e resfriado, obtendo-se placas que podem ser usinados novamente. O PEUAPM possui diversas aplicações podendo ser um material em potencial futuramente para substituição de outros materiais de menor desempenho para determinadas aplicações.

Palavras- Chave: PEUAPM, Propriedades, Aplicações

ABSTRACT

The ultra high molecular weight polyethylene(UHMWPE) is an engineering polymer which is characterized with a massive average molecular weight in their chains ranging from 2 million to 6 million g/mol. Because of its enormous molecular weight, the material presents a high performance and totally different properties with respect to impact resistance, wear resistance, friction coefficient, chemical resistance, among others. The polymer can not be processed by conventional processes such as extrusion, injection and blow molding because of their high melt viscosity. The processing is given by extrusion plunger or compression being obtained in the form of semi-finished products that are subsequently machined and processed into final products. Because of its machining, is generating a lot of waste. Generally the waste generated has as destination the dumps or landfills, but can be repurposed being milled, cast, pressed and cooled, yielding plates can be machined again. The UHMWPE has several applications may be a potential material for future replacement of other materials of lower performance for certain applications.

Keywords: UHMWPE; Properties; Applications

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Reação de polimerização do etileno	10
Figura 1.2 - Representação da molécula do PEBD.....	11
Figura 1.3 - Representação da molécula do PEAD	11
Figura 2.1 - Desgaste por abrasão do PEUAPM versus outros materiais.....	15
Figura 2.2 - Comparação da resistência ao impacto IZOD do PEUAPM em relação a outros materiais	15
Figura 2.3 - Coeficiente de fricção de alguns polímeros	16
Figura 2.4 - Chapas e tarugos de PEUAPM.....	19
Figura 2.5 - Extrusora de pistão na posição vertical.....	20
Figura 2.6 - Extrusora por pistão na posição horizontal	20
Figura 2.7 - Esquema simples do processo de compressão	21
Figura 2.8 - Movimentos relativos entre a peça e a ferramenta	22
Figura 2.9 - Ferramentas usadas no torneamento	23
Figura 2.10 - Fresagem de uma peça	23
Figura 2.11 - Formas geométricas das ferramentas de fresas.....	24
Figura 2.12 – Mesa frigorífica revestida de PEUAPM	25
Figura 2.13 - Escavadeira revestida de PEUAPM	26
Figura 2.14 - Caminhão sem revestimento e com revestimento de PEUAPM	27
Figura 2.15 - Extrator de pedra revestido de PEUAPM.....	27
Figura 2.16 - Fôrma para concreto de madeira	28
Figura 2.17 - Tubos de PEUAPM.....	29
Figura 2.18 - Defensas marítimas de um porto	30
Figura 2.19 - Coletes a prova de bala com fibras de PEUAPM	31
Figura 2.20 - Peças técnicas e perfis de PEUAPM	32
Figura 2.21 - Equipamento agrícola com PEUAPM	33
Figura 2.22 – Rotor de bomba feito de PEUAPM	33
Figura 2.23 – Quinta roda de caminhão feito de ferro fundido nodular	34
Figura 2.24 – Quinta roda localizada do cavalo do caminhão	35
Figura 2.25 – Localização do pino rei de uma carreta.....	35
Figura 2.26 - Perfil em PEUAPM para o pino rei e quinta roda	36

LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades Genéricas do PEUAPM.....	13
Tabela 2.2 – Resistência Química do PEUAPM.....	17
Tabela 2.3 – Propriedades Mecânicas, Físicas e Químicas do PEUAPM.....	18

NOMENCLATURAS

ABS – Acrilonitrilo-butadieno-estireno

ASTM – American Society for Testing and Materials

PA - Poliamida

PC - Policarbonato

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PEUAPM – Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

PMMA – Poli (metacrilato de etila), conhecido como Acrílico

POM – Polióxido de Metileno, conhecido como Poliacetal

PP - Polipropileno

PPS – Poli (Sulfeto de fenileno)

PTFE – Politetrafluoretileno, conhecido como Teflon

T_g – Temperatura de Transição Vítre

T_m – Temperatura de Fusão

UHMW – Ultra High Molecular Weight

UHMWPE - Ultra High Molecular Weight Polyethylene

UTEC – Sigla adotada pela Braskem se referindo ao Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT

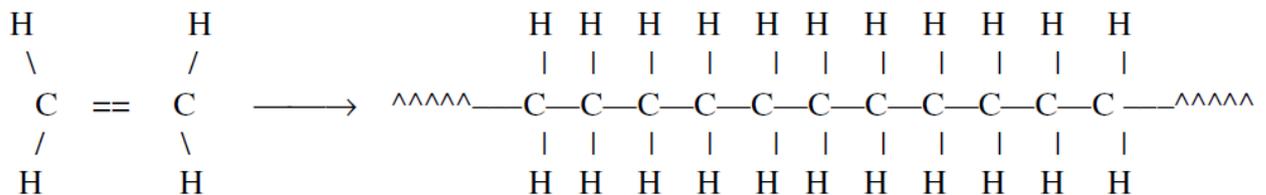
LISTA DE FIGURAS
LISTA DAS TABELAS
NOMENCLATURAS

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivos.....	12
2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	13
2.1. Propriedades do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.....	13
2.1.1. Resistência a Abrasão.....	14
2.1.2. Resistência ao Impacto.....	15
2.1.3. Coeficiente de Fricção.....	16
2.1.4. Resistência Química.....	16
2.1.5. Outras Propriedades.....	17
2.2. Processamento.....	19
2.2.1. Extrusão por Pistão.....	20
2.2.2. Compressão.....	21
2.3. Usinagem.....	21
2.3.1. Torneamento.....	22
2.3.2. Fresamento.....	23
2.3.3. Corte.....	24
2.4. Aplicações.....	24
2.4.1. Indústria de Papel e Celulose.....	24
2.4.2. Indústria Alimentícia e Bebida.....	25
2.4.3. Mineração e Construção Civil.....	25
2.4.4. Indústria Portuária.....	29
2.4.5. Fibras de Alto Desempenho.....	30
2.4.6. Perfis e Peças Técnicas.....	31
2.4.7. Equipamentos Agrícolas.....	32
2.4.8. Indústria Química.....	33
2.4.9. Indústria Automobilística.....	33
2.5. Reciclagem.....	36
2.5.1. PEUAPM e a Reciclagem.....	36

3. CONCLUSÃO	38
4. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O polietileno é um dos polímeros mais utilizado do mundo sendo este um material bastante versátil com uma grande variedade de aplicações como nas confecções de baldes, bandejas, frasco de xampu e de iogurte, filmes plásticos para alimentos, entre outras. Sua molécula é bastante simples, contendo uma larga cadeia de átomos de carbono com átomos de hidrogênio unidos a cada átomo de carbono. É obtido através da polimerização do etileno de que deriva o seu nome. Sua fórmula geral é dada pelo mero (unidade repetitiva): $\{CH_2-CH_2\}_n$ onde "n" é o grau de polimerização, ou seja, o número de meros que constitui a macromolécula.

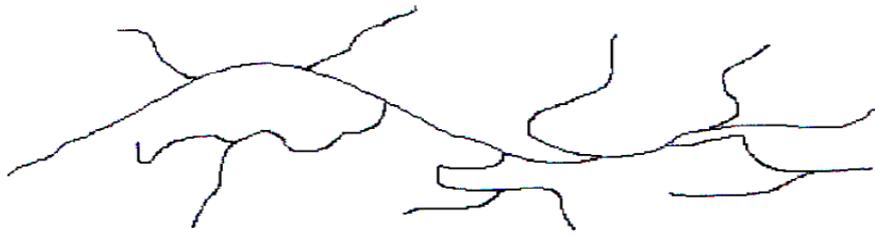


Fonte: Wiebeck (2005, p. 38) [1]

Figura 1.1 - Reação de polimerização do etileno

Podem-se produzir diferentes tipos de polietileno como o PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e o PEUAPM (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular).

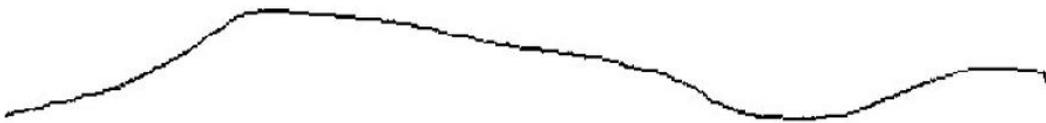
O PEBD é considerado uma commodities, ou seja, um material produzido e consumido em alto escala e de baixo valor agregado. É caracterizado por apresentar ramificações em sua cadeia principal, ou seja, alguns carbonos ao invés de possuírem hidrogênios ligantes, apresentam ligações de outras cadeias menores de polietileno. É produzido pelo processo de polimerização via radical livre sob temperatura e pressão altas.



Fonte: Wiebeck(2005, p. 38) [1]

Figura 1.2 - Representação da molécula do PEBD

O PEAD também é uma commodities e é caracterizado por apresentar cadeias lineares praticamente livres de ramificações. É obtido sob temperatura e pressão baixas utilizando-se catalisadores Ziegler-Natta obtendo-se cadeias poliméricas com massas molares na faixa de 200.000 a 500.000 g/mol.



Fonte: Wiebeck (2005, p. 38) [1]

Figura 1.3 - Representação da molécula do PEAD

O PEUAPM é um polímero de engenharia, ou seja, utilizado numa menor escala, com um alto valor agregado para aplicações especiais. É caracterizado por cadeias lineares praticamente livres de ramificações semelhantes ao PEAD, porém suas cadeias poliméricas são extremamente longas apresentando massas molares na faixa de 2.000.000 a 6.000.000 g/mol. É um polímero obtido por catalisadores Ziegler-Natta como o metallocenos. O pó fino do polímero obtido pode ser conformado por extrusão com pistão ou por compressão por termo prensagem, não sendo possível conformá-lo por métodos convencionais como injeção, sopro e extrusão devido a sua alta viscosidade no estado fundido apresentando um índice de fluidez próximo do zero. O material processado apresenta um conjunto próprio de características que faz superior aos outros termoplásticos quanto a: resistência a abrasão, resistência a fratura por impacto, resistência ao tenso-fissuramento, inércia química, baixíssimo coeficiente de atrito, auto lubrificação, absorção de ruídos e não possui higroscopicidade.

Com o crescimento da utilização deste polímero, seu desperdício é muito grande, porque o resto deste material geralmente é jogado no lixo não sendo reaproveitável. A única forma até o momento encontrada para lidar com o problema do descarte é transformar o material em matéria-prima, reintegrando-o ao processo produtivo. Com isto, tem-se o reaproveitamento do material que além da recuperação da matéria-prima, diminui as quantidades a serem encaminhadas aos aterros ou lixões minimizando os impactos deste material descartado no meio ambiente.

1.1. Objetivos

O presente trabalho visa reunir informações de forma compacta e simples sobre: As principais características do PEUAPM; como é feito o seu processamento e transformação em produto final; demonstrar diversas aplicações, inclusive aplicações que possam ser utilizados em escala maior futuramente substituindo outros materiais e contribuindo para melhorar o meio ambiente; e verificar novas possibilidades de reaproveitamento do material.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRIO

2.1. Propriedades do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular

O PEUAPM é caracterizado como um plástico de engenharia que possui excelentes propriedades mecânicas. Além da sigla PEUAPM, é comum encontra-lo comercialmente com a sigla UHMW, UTEC ou UHMWPE. É um polímero semicristalino que por difração a luz visível à temperatura ambiente, apresenta-se como branco com aparência opaca. Porém com a temperatura acima da temperatura de fusão ($T_m = 133^\circ\text{C}$) apresenta-se como translúcido. É comercializado na forma de pó e apresenta um processamento bastante difícil. Em consequência de sua alta massa molar, sua viscosidade no estado fundido é extremamente alta prejudicando o seu escoamento ou a mudança de forma necessária para o seu processamento. É geralmente utilizado na produção de peças semiacabadas como: chapas, tarugos, tubos, barras e uma variedade de perfis, a partir das quais são usinadas peças com aplicações em vários segmentos [2,3].

O PEUAPM possui características semelhantes ao PEAD em termos de estrutura molecular, T_m , permeabilidade e inércia química. Contudo, devido à sua massa molar extremamente alta com extensas áreas amorfas em sua cadeia polimérica, diferencia-se do PEAD possuindo superioridade em várias propriedades tais como: Alta resistência ao impacto a baixas temperaturas, alta resistência à abrasão, baixo coeficiente de fricção, alta resistência a fadiga cíclica, propriedade de auto lubrificação, alta dureza, alta resistência ao tenso-fissuramento e de atenuação de barulho e energia (isolante acústico e térmico) [3].

Algumas das propriedades genéricas do PEUAPM são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 2.1 -Propriedades Genéricas do PEUAPM

Propriedades	Valor	Unidade
Massa molar	2 a 6×10^6	g/mol
Massa específica	0,940	g/ml
Temperatura de fusão (T_m)	125 a 138	$^\circ\text{C}$
Temperatura de vítrea (T_g)	-120	$^\circ\text{C}$
Módulo elástico na tração	800 a 1600	MPa
Resistência a tração	19,9 a 41,4	MPa

Alongamento na ruptura	350 a 524	%
Resistência ao impacto IZOD	>1070(Não quebra)	J/m

Fonte: Islabão(2005) [3]

2.1.1 Resistência a Abrasão

Abrasão pode ser definida como a operação de remoção de partículas de um material pelo seu atrito com outro material, que deverá ser, quase sempre, mais duro do que o primeiro [4].

A principal consequência da abrasão é o desgaste que, de uma forma geral, pode ser definido como sendo a degradação superficial de um material submetido à uma força de atrito, levando à perda não desejada e à geração de partículas.

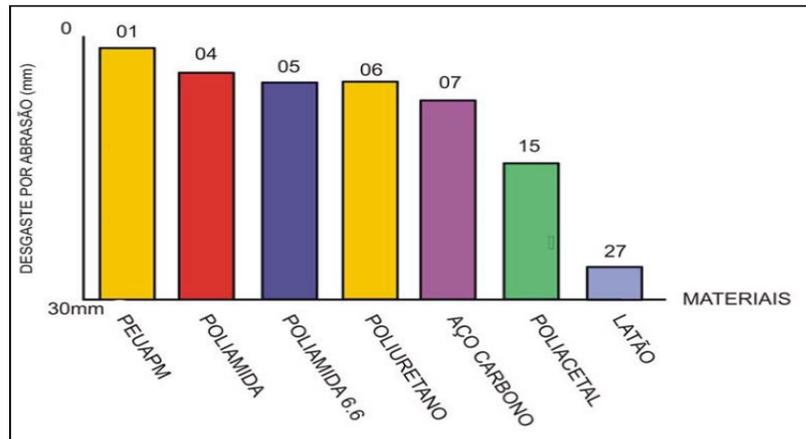
O desgaste de um componente é governado por três leis fundamentais:

- a) o aumento de carga normal sobre o mesmo aumenta o volume desgastado;
- b) o aumento da distância de deslizamento aumenta o desgaste; e
- c) a maior dureza do componente reduz o desgaste

A estrutura molecular do PEUAPM oferece superior resistência ao desgaste por fricção. Sua resistência também é maior do que o PEAD e outros materiais como o náilon, poliacetal, além de proteger estruturas de alto valor agregado contra o desgaste prematuro [1].

A resistência ao desgaste por abrasão é uma propriedade marcante do PEUAPM. Isto faz com que o mesmo seja adequado para substituir metais em aplicações que exijam uma alta resistência à abrasão, além disso, as peças de PEUAPM são mais leves do que as peças de metal.

Analogamente o desgaste por abrasão do PEUAPM pode ser observado na figura 2.1 em comparação com outros materiais de engenharia.



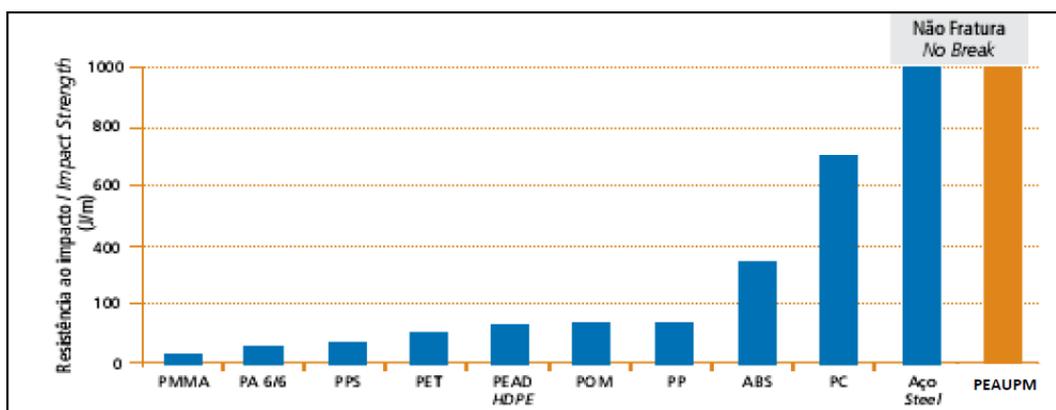
Fonte: Santos(2011) [4]

Figura 2.1 - Desgaste por Abrasão do PEUAPM versus outros materiais

2.1.2 Resistência ao Impacto

O PEUAPM é o melhor substituto de materiais que estão em contato com peças sujeitas a movimentos repentinos, golpes fortes, frequentes ou constantes. Os materiais tradicionais se atritam, se desgastam ou simplesmente apresentam fadiga. Já o PEUAPM é o único plástico cuja rigidez aumenta à medida que aumentam os esforços. Submetido ao teste ASTM D-256 de resistência ao impacto Izod, ele não quebra, mesmo à temperatura de congelamento [4].

Na figura 2.2, pode-se comparar a resistência ao impacto do PEUAPM em relação a outros materiais:



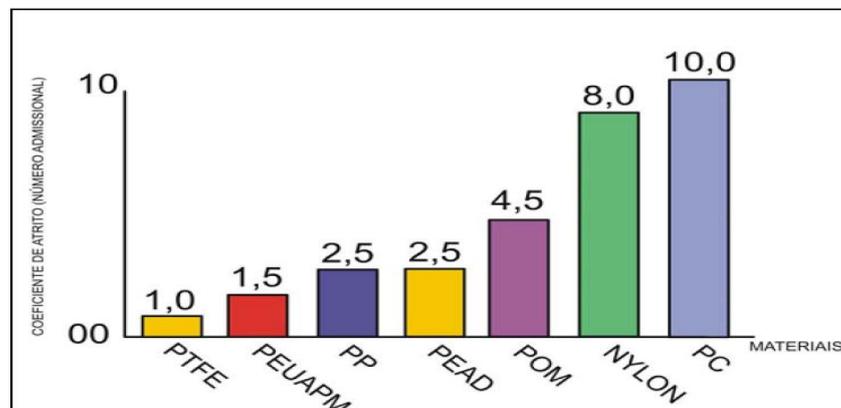
Fonte: Santos(2011) [4]

Figura 2.2 - Comparação da resistência ao impacto IZOD do PEUAPM em relação a outros materiais

2.1.3 Coeficiente de Fricção

O baixo coeficiente de fricção (ou atrito) do PEUAPM se aproxima do teflon, sua superfície limpa e auto lubrificada permitem que partes móveis como bandas de cadeias se movam facilmente prevenindo contra o desgaste prematuro ou tendo que agregar tensão excessiva sobre componente de muito valor. As superfícies recobertas de PEUAPM permitem o deslizamento suave e livre de contaminação de pó ou aglomerados. Sua instalação é mecânica, pois não há adesivos apropriados [4].

Na figura 2.3, pode-se comparar o coeficiente de fricção de alguns materiais:



Fonte: Santos(2011) [4]

Figura 2.3 - Coeficiente de Fricção de alguns polímeros

As superfícies recobertas com PEUAPM, mesmo sem a presença de aditivos, permitem o deslizamento suave e livre dos materiais. Por esta razão esta é uma solução eficiente, em termos de custo e desempenho para aplicações de deslizamento. O recobrimento com este material também evita que se danifiquem ou risquem objetos como vasilhames e outras embalagens.

2.1.4 Resistência Química

Possui alta resistência a uma ampla gama de produtos químicos (ácidos, álcalis, solventes, combustíveis, detergentes, oxidantes) sendo quase totalmente inerte sendo assim indicado em praticamente todos os tipos de ambientes agressivos, oxidantes e corrosivos sob temperaturas moderadas. Assim como a maioria dos polímeros sintéticos, o PEUAPM também é sujeito a reações de

degradação induzida por radiação ultravioleta e oxigênio. O material degradado mostra alterações no aspecto visual, aumento da densidade, e redução da resistência à abrasão, da resistência ao impacto e das propriedades de tração.

Na tabela 2.2 é observado a perda de massa e a aparência de peças de teste de 0,40 x 1 x 2 polegadas, após a imersão em reagentes sob determinadas condições.

Tabela 2.2 – Resistência química do PEUAPM

Reagentes Inorgânicos	A 22°C			A 60°C		
	Mudança de Peso			Mudança de Peso		
	Dias	%	Aparência	Dias	%	Aparência
Ácido crômico(1N)	30	+0,34	Amarelo pálido	10	-0,16	Amarelo pálido
Ácido clorídrico, 37%	30	+0,24	Pardo leve	10	+0,40	Pardo
Peróxido de hidrogênio, 30%	30	-0,01	Não foi atacado	10	+0,04	Não foi atacado
Ácido nítrico, 50%	30	+0,78	Atacado, quebradiço	10	+4,44	Atacado, quebradiço
Ácido fosfórico, 85%	30	+0,07	Não foi atacado	10	+0,03	Não foi atacado
Hipoclorito de sódio	30	+0,04	Não foi atacado	10	+0,21	Não foi atacado
Ácido sulfúrico, 100%	30	+0,25	Pouco atacado	10	+1,00	Atacado, preto
Ácido sulfúrico, 50%	30	-0,06	Não foi atacado	10	-1,14	Pouco atacado
Água, água do mar	3	+0,13	Não foi atacado	10	+0,22	Não foi atacado
Reagentes Orgânicos	30					
Ácido acético	30	+0,87	Marrom, pálido	8	+0,83	Marrom, pálido
Acetona	30	+0,24	Não foi atacado	4	+0,45	Não foi atacado
Benzina	30	+6,30	Pouco atacado	4	+8,11	Pouco atacado
Tetracloroeto de carbono	30	+18,80	Atacado, inchado	4	+22,4	Atacado, inchado
Ciclohexanol	30	-0,37	Não foi atacado	8	+1,81	Pouco atacado
Ftalato de dibutila	30	-0,36	Pouco atacado	8	+0,95	Pouco atacado
Etanol	30	+0,03	Não foi atacado	4	-0,01	Pouco atacado
Acetato de etila	30	+1,34	Pouco atacado	4	+1,86	Pouco atacado
Gasolina	30	+4,81	Pouco atacado	4	+6,61	Pouco atacado
Óleo de linhaça	30	-0,70	Não foi atacado	8	-0,23	Não foi atacado
Óleo de oliva	30	-0,50	Não foi atacado	8	-0,12	Não foi atacado
Tolueno	30	+7,00	Um pouco inchado	8	+10,90	Um pouco inchado
Tricloroetileno	30	+15,00	Marrom inchado	8	+26,30	Inchado
Xileno	30	+7,10	Um pouco inchado	8	+15,50	Inchado

Fonte: Wiebeck (2005, p. 45) [1]

2.1.5 Outras Propriedades

A auto lubrificação é outra propriedade marcante do PEUAPM já que elimina a necessidade de manutenção e os problemas causados por contaminação com o

lubrificante. O material não é higroscópico, ou seja, não absorve umidade não necessitando que o material seja estufado para retirar umidade e ser processado. Devido a sua alta resistências ao impacto, o material possui alta capacidade de absorção de ruídos. O material possui excelente estabilidade dimensional, sendo ideal para confecção de peças técnicas e não é inflamável. Devido a sua baixa temperatura vítrea, o PEUAPM é indicado em aplicações a baixas temperaturas sem que haja prejuízo em suas propriedades mecânicas

Na tabela abaixo é apresentado um resumo das propriedades mecânicas, físicas e químicas do material.

Tabela 2.3 – Propriedades Mecânicas, Físicas e Químicas do PEUAPM

Propriedades Mecânicas, Físicas e Químicas	Valores	ASTM
Peso específico, g/cm ³	0,940 / 0,942	D.792
Volume específico, 1b. por pol. Cúbica	29,8	D.792
Índice de refração	1,54	D.542
Resistência à tração, p.s.i	2500	D.638
Elongação, %	525	D.638
Módulo de elasticidade sob tensão, 10 p.s.i	1,02	D.638
Resistência à compressão, p.s.i	2400	D.695
Resistência à flexão, p.s.i	1000	D.790
Resistência ao impacto, péx 1.b por dente (1/2 x 1/2 por barra dentada) teste IZOD	Não quebra	D.256
Dureza Rockwell	R-50	D.785
Condutividade térmica (10 cal. Por seg. por cm ² , por 1°C por cm).	11-12,4	C.177
Calor específico, cal. por g por °C	0,55	-
Expansão térmica, 10 por °C	7,2	D.696
Resistência ao calor contínuo, °C	95	-
Temperatura de distorção, °C	70	-
Resistividade volumétrica, cm (50% graus higrométricos 23°C)	10<	D.648
Resistência dielétrica, pouco tempo, esp. 1/8, volts por mil (0,001")	710	D.257
Resistência dielétrica, gradualmente, esp. 1/8*, volts por mil(0,001")	680	D.149
Constante dielétrica, 60 ciclos	2,25 - 2,35	D.149
Constante dielétrica, 10 ³	2,25 - 2,35	D.150
Constante dielétrica, 10	2,3	D.150
Fator de dissipação, 60 ciclos	0,0005	D.150

Fator de dissipação, 10 ³ ciclos	0,00021	D.150
Fator de dissipação, 10 ciclos	0,0002	D.150
Absorção de água, 24 horas 1/8" de espessura, %	0,01	D.570
Velocidade de combustão	Lenta	D.635
Efeito dos raios solares	Requer sombra	-
Efeito dos ácidos fortes	Pouco atacado por ácidos oxidantes	D.543
Efeito dos ácidos fracos	Muito resistente	D.543
Efeito dos álcalis fracos	Muito resistente	D.543
Efeitos dos solventes orgânicos	Resistente abaixo de 80°C	-

Fonte: <http://www.plastireal.com.br/chapa-uhmw.php> [5]

2.2. Processamento

O peso molecular extremamente elevado do PEUAPM proporciona uma viscosidade muito alta no estado fundido que seu índice de fluidez a 190 °C/21,6 Kg se aproxima de zero. Assim não é possível processá-lo por métodos convencionais de injeção, sopro ou extrusão. São preparados semiacabados, em forma de chapas e tarugos, respectivamente por meio de moldagem por compressão e extrusão por pistão[6]. São feitas chapas e tarugos nas mais variadas cores como branco (cor natural), verde, azul, amarela e preto [7].

Na maioria dos casos, esses semiacabados são submetidos aos processos de usinagem por torno, fresa ou plaina, ou corte por serra ou guilhotina para transformá-los em peças acabadas que serão utilizadas nas mais diversas aplicações do material [8].



Fonte: <http://www.plastecno.com.br/> [9]

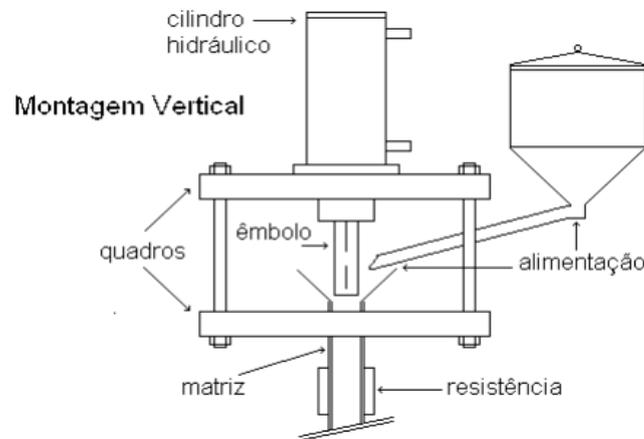
Figura 2.4 – Chapas e Tarugos de PEUAPM

2.2.1 Extrusão por Pistão

A matéria prima em pó é alimentada na máquina através de um funil e compactada por um êmbolo em incrementos sucessivos. Os movimentos do êmbolo, assim como sua amplitude e frequência, são proporcionados por um sistema hidráulico de alta pressão. O material compactado é empurrado ao longo da matriz aquecida cuja seção interna determina a forma final do perfil.

Há dois tipos de disposição da máquina de extrusão por pistão: Vertical e horizontal.

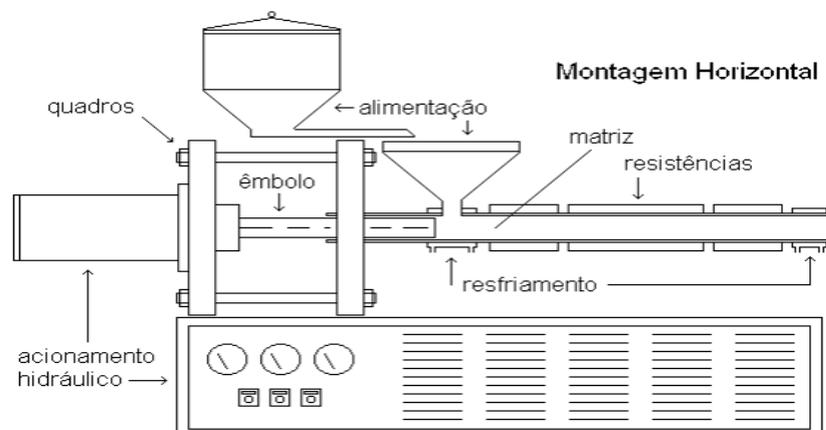
Na vertical, a alimentação da matéria-prima é mais uniforme e tende a proporcionar um produto de melhor qualidade.



Fonte: <http://www.utec.com.br/es/pdf/302.pdf> [8]

Figura 2.5 - Extrusora de pistão na posição vertical

Já na horizontal permite a obtenção de peças mais longas.



Fonte: <http://www.utec.com.br/es/pdf/302.pdf> [8]

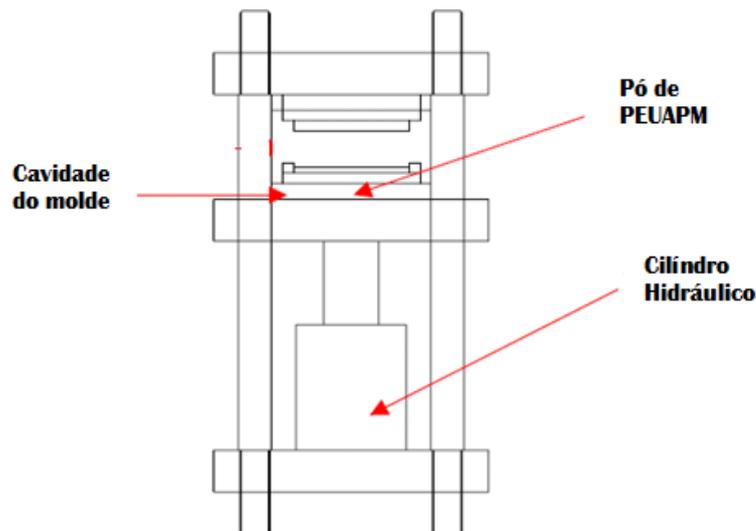
Figura 2.6 - Extrusora por pistão na posição horizontal

Os fatores determinantes de produtividade e da qualidade do extrudado são a potência do sistema hidráulico, capacidade das resistências elétricas, comprimento da zona aquecida da matriz e principalmente a resistência dos componentes mecânicos envolvidos na construção da extrusora.

2.2.2 Compressão

É uma técnica de origem alemã em 1950 e consiste no abastecimento da matéria-prima na cavidade do molde seguido do fechamento do molde e consequente prensagem do material no estado fundido seguido de resfriamento e consequentemente conformação do produto. Os principais fatores utilizados neste processo são: tempo, temperatura e pressão.

Abaixo é representado um esquema simples do processo de compressão:



Fonte: <http://www.uhmwpe.unito.it/2003/Allen.pdf> [10]

Figura 2.7 - Esquema simples do processo de compressão

2.3. Usinagem

O termo usinagem compreende todo processo mecânico onde a peça é o resultado de um processo de remoção de material. Como já foi dito, o PEUAPM é obtido na maioria das vezes como semiacabados em forma de chapas e tarugos onde em seguida é feito o processo de usinagem transformando-o em produto final.

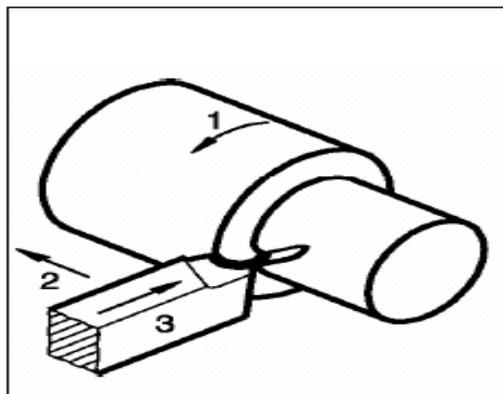
Entre os principais processos de usinagem que é utilizado no PEUAPM são: por torneamento, fresamento, ou corte por serra ou guilhotina.

2.3.1. Torneamento

O processo de torneamento se baseia no movimento da peça em torno de seu próprio eixo. É uma operação de usinagem que permite trabalhar peças cilíndricas movidas por um movimento uniforme de rotação em torno de um eixo fixo [11].

Para executar o torneamento, são necessários três movimentos relativos entre a peça e a ferramenta. Eles são:

1. Movimento de corte: é o movimento principal que permite cortar o material. O movimento é rotativo e realizado pela peça.
2. Movimento de avanço: é o movimento que desloca a ferramenta ao longo da superfície da peça.
3. Movimento de penetração: é o movimento que determina a profundidade de corte ao empurrar a ferramenta em direção ao interior da peça

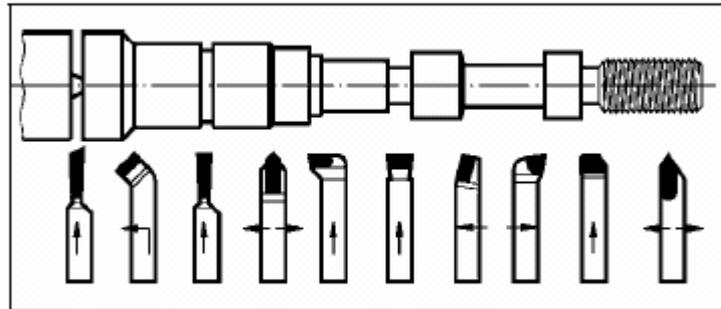


Fonte: http://www.4shared.com/folder/nTilsluZ/Telecurso_2000_mecnica__aposti.html [11]

Figura 2.8 - Movimentos relativos entre a peça e a ferramenta

Variando os movimentos, a posição e o formato da ferramenta, é possível realizar uma grande variedade de operações.

A figura a baixo ilustra o perfil de algumas ferramentas usadas no torneamento e suas respectivas aplicações.



Fonte: http://www.4shared.com/folder/nTilsluZ/Telecurso_2000_mecnica__aposti.html [11]

Figura 2.9 - Ferramentas usadas no torneamento

2.3.2. Fresamento

A fresagem é um processo de usinagem mecânica, feito por fresadoras e ferramentas especiais chamadas fresas. A fresagem consiste na retirada do excesso de material da superfície de uma peça, a fim de dar a esta uma forma e acabamento desejados [11].

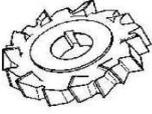
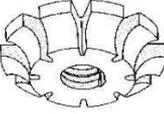
Na fresagem, a remoção do material da peça é feita pela combinação de dois movimentos, efetuados ao mesmo tempo. Um dos movimentos é o de rotação da ferramenta, a fresa. O outro é o movimento da mesa da máquina, onde é fixada a peça a ser usinada [11].



Fonte: <http://www.utec.com.br> [8]

Figura 2.10 - Fresagem de uma peça

A figura abaixo mostra algumas formas geométricas das ferramentas de fresas:

Quanto à forma geométrica		
Fresa cilíndrica	Fresa de disco	Fresa angular
		
Fresa detalonada		Fresa de topo
		

Fonte: http://www.4shared.com/folder/nTilsluZ/Telecurso_2000_mecnica__aposti.html[11]

Figura 2.11 - Formas geométricas das ferramentas de fresas

Este processo de usinagem permite realizar uma grande variedade de operações podendo produzir peças com superfícies planas, ranhuras, furos, engrenagens cilíndricas com dentes retos e helicoidais, etc [11].

2.3.3. Corte

Nos equipamentos de corte, temos como objetivo a exclusão de uma determinada região de um produto (cabeça perdida). O processo ocorre com o contato de uma guilhotina com uma angulação de corte especial na parede do produto que corta simultaneamente a parte indesejada do produto. Quando o produto tem espessura elevada adotamos o corte por disco. Onde o produto mantém fixo em uma determinada posição e o disco avança em rotação para o corte [12].

2.4. Aplicações

Devido a fácil usinagem, é possível produzir diferentes produtos para diversas aplicações. São aplicados em vários setores como das indústrias de papel e celulose, portuária, mineração, construção civil, alimentícia e bebidas, química, siderúrgicas, automobilísticas, entre outras.

2.4.1. Indústria de Papel e Celulose

Devido a pasta de celulose que é bastante abrasivo [8], o PEUAPM é utilizado em maquinários em guias nos transportadores de correntes empregados para a

movimentação de toras de madeira, em transportadores de correia, em roletes sem rolamentos para a proteção contra a oxidação e travamentos. Na mesa plana é usado nas réguas do painel de modelagem, nas réguas defletoras, nas tampas para caixa de sucção. Possui outras utilidades como raspador de limpeza para rolos e prensas, vedações para rolo sucção, etc [1].

2.4.2. Indústria Alimentícia e Bebidas

Na indústria de bebidas, é aplicado principalmente em esteira transportadoras de garrafas, estrela guia da envasadora de cervejas, guias de entrada e saídas de lavadoras, perfis, roscas, etc [1].

Na indústria alimentícia, devido a excelente resistência a abrasão, alta resistência química, ser atóxico, alta performance em temperatura baixas e facilmente limpo, é utilizado principalmente em revestimento de mesas frigoríficas [13].



Fonte: <http://www.utec.com.br/> [8]

Figura 2.12 – Mesa frigorífica revestida de PEUAPM

2.4.3. Mineração e Construção civil

Nas indústrias de mineração são utilizados em roletes de correias transportadores para o transporte de materiais [8].

Principais vantagens do PEUAPM nesta aplicação:

- Mais leves que roletes de aço
- Operam sem travamento

- Trabalham mais de 6000 horas sem qualquer manutenção ou travamento
- Não sofrem corrosão
- Eliminam a necessidade de utilização de rolamentos (roletes são montados diretamente no eixo metálico)
- Facilitam operação de lavagem (quando aplicável) além de diminuir o acúmulo de sujeira devido a seu baixo coeficiente de atrito.
- Como não acumulam contaminantes, diminui a ocorrência de desgaste prematuro das esteiras devido a diferenças de diâmetro ocasionados por este acúmulo irregular.
- Menor energia necessária para iniciar o movimento das esteiras devido à facilidade de mover os roletes.

Como a indústria mineradora trabalha com materiais abrasivos e aderentes, pode-se utilizar também em revestimentos de caçambas de caminhões e escavadeiras facilitando e aumentando a eficiência desses materiais.



Fonte: Luiz(2009) [13]

Figura 2.13 - Escavadeira revestida de PEUAPM



Fonte: <http://www.solidur.com.br> [7]

Figura 2.14 - Caminhão sem revestimento e com revestimento de PEUAM

Os caminhões que circulam dentro das minerações estão sujeitos a terem seus pneus danificados pelas pedras que se alojam dentro do conjunto de pneus, por isso utilizam-se extratores de pedras de aço ou de PEUAPM. Os extratores confeccionados de PEUAPM possuem vantagens em relação ao aço pois durante a operação há momentos em que ocorre o contato entre o extrator e o pneu permitindo que o aço danifique a parte lateral dos pneus. Já para extratores com PEUAPM elimina este problemas de danos aos pneus devido ao seu baixo coeficiente de atrito e possuem maior duração devido a sua elevada resistência a abrasão. [13]



Fonte: Luiz(2009) [13]

Figura 2.15 - Extrator de pedra revestido de PEUAPM

Na indústria de construção civil, a facilidade de desmolde e o alto nível de acabamento superficial propiciado pelas chapas de PEUAPM tornam este material

muito atrativo, principalmente em aplicações de fôrmas para concreto. Além dos benefícios anteriormente citados, o material não absorve umidade, apresenta ampla vida útil (inúmeras reutilizações sem perda de propriedades), e ajuda a preservar o meio ambiente pois é reciclável e diminui a utilização de madeira na forma de compensados. [4]



Fonte: <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/formas-para-concreto/3> [14]

Figura 2.16 - Fôrmas para concreto de madeira

Os tubos e conexões feitos de PEUAPM também são aplicados na construção civil e minerador para o transporte de areia, lamas e materiais abrasivos [8].

Os principais destaques da utilização nesta aplicação são:

- Alta resistência a abrasão
- Baixo coeficiente de atrito (materiais não aderem na parte interna do tubo, favorecendo o fluxo)
- Alta resistência ao impacto (possibilita fabricação de tubos mais finos com a mesma resistência dos tubos plásticos convencionais)
- Quimicamente inertes (trabalham com tranquilidade em ambientes ácido ou agressivos)



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/military-bullet-proof-vest-400999529.html> [15]

Figura 2.17 - Tubos de PEUAPM

2.4.4. Indústria Portuária

Pode-se utilizar como defensas marítimas, que possuem a função de proteger o casco dos navios e no momento que atracam aos portos. As defensas marítimas possuem uma longa vida útil devido a sua alta resistência ao impacto e abrasão. A alta capacidade de absorção de energia da chapa de PEUAPM assegura que o impacto do navio com a defesa não a quebre. Ao mesmo tempo, o baixo coeficiente de atrito da chapa permite que a embarcação deslize sobre a chapa e acomode-se no porto. Garante um atracamento suave e seguro de navios e embarcações, sem que tais navios (embarcações) e a estrutura dos portos sejam danificados.



Fonte: <http://www.tudosobreplasticos.com/Imagens/peuapm2.jpg> [16]

Figura 2.18 - Defensas marítimas de um porto

2.4.5. Fibras de Alto Desempenho

Devido ao seu alto grau de orientação, as fibras produzidas de PEUAPM chegam a ser até 15 vezes mais fortes que o aço. Têm como principais aplicações o segmento de proteção balística, segmento de cordas e cabos de alta performance, redes de pesca, luvas de proteção ao corte, tecidos reforçados de alta performance, entre outras. [8]

É uma alternativa aos cabos de ancoragem das plataformas de exploração de petróleo existentes hoje, confeccionados em aço e/ou poliéster, já que o PEUAPM possui alongamento, rigidez e alta resistência únicas no mundo e ideal para explorações em altas profundidades - entre 2 mil e 3 mil metros - como no pré-sal. A relação força-peso do PEUAPM é maior do que a do aço, uma vez que o produto consegue aliar leveza e resistência e proporcionar ganhos como por exemplo o aumento do volume de óleo embarcado por plataforma. [17]



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/military-bullet-proof-vest-400999529.html> [15]

Figura 2.19 - Coletes a prova de bala com fibras de PEUAPM

2.4.6. Perfis e Peças Técnicas

Devido à facilidade de usinagem e o seu excelente acabamento dimensional e superficial, chapas e tarugos em PEUAPM podem ser facilmente transformados nos mais complexos perfis e peças técnicas que a indústria demande. Podemos destacar principalmente nas confecções de peças de maquinários como mancais, roletes, roldana, arruelas de encosto, engrenagens, batentes, guias, válvulas, gaxetas, raspadores, bicos de enchimento e de jateamento, misturadores, entre outras. Por ser auto lubrificante, evita o uso de graxa e reduz custo de manutenção, diminuindo eventuais paradas de máquina. Também por suas características de absorver impacto o PEUAPM torna o maquinário mais silencioso, e reduzindo a poluição sonora dentro de uma unidade industrial e proporcionando um maior conforto aos funcionários durante sua jornada de trabalho.



Fonte: <http://www.utec.com.br> [8]

Figura 2.20 - Peças técnicas e perfis de PEUAPM

2.4.7. Equipamentos Agrícolas

A alta resistência ao desgaste por abrasão, aliada às suas propriedades antiaderentes, torna o PEUAPM essencial para algumas partes de equipamentos agrícolas.

O constante atrito de algumas partes ao solo causa desgaste prematuro de partes metálicas, além de aumentar bastante o peso do equipamento devido à adesão de terra ao mesmo.

Principais vantagens da utilização nestas aplicações:

- Aumento a produtividade de colheita devido a melhor operação de sensores de corte. Com a adesão de terra nos sensores, os mesmos fazem uma leitura errada do terreno e fazem a colheita a uma distância maior do solo, ocasionando perda de produtividade.
- Redução do consumo de combustível devido a redução do peso do equipamento gerada pela não adesão da terra às partes do equipamento utilizadas do PEUAPM.
- Maior durabilidade das partes em constante atrito com o solo devida a alta resistência a abrasão do material.



Fonte: <http://www.utec.com.br> [8]

Figura 2.21 - Equipamento Agrícola com PEUAPM

2.4.8. Indústria Química

Na indústria química, o PEUAPM é ideal para revestimentos de silos e na confecção de carcaças e rotores de bombas em equipamentos que trabalham com produtos altamente abrasivos ou que causam ataque químico / corrosivo dos mesmos. O limite de temperatura de trabalho do PEUAPM é de 80°C, não sendo indicado para aplicações que trabalham acima dessa faixa. [8]



Fonte: <http://www.utec.com.br> [8]

Figura 2.22 – Rotor de bomba feito em PEUAPM

2.4.9. Indústria Automobilística

A indústria automobilística sempre busca materiais de alto desempenho, que tragam benefícios adicionais aos seus produtos. Um outro componente de grande

valor nesta indústria é o peso dos veículos. Por apresentar excelentes propriedades e ser 8 vezes mais leve que o aço, o PEUAPM é uma excelente opção para novas aplicações. Além disso, aplicações que exigem constante lubrificação ou que apresentam alto desgaste são outras possibilidades. Principais aplicações do PEUAPM nesta indústria: Proteção de feixes de mola e pinos e perfis para quinta roda de caminhão. [8]

O uso de uma pequena chapa de PEUAPM na parte superior dos feixes de mola auxilia no amortecimento do impacto causado pelo tráfego em terrenos irregulares. Tal amortecimento diminui bastante a ocorrência de quebra destes componentes. [8]

A quinta roda é uma peça individual geralmente feita em ferro fundido nodular que é fixada em cima da plataforma traseira do cavalo em um caminhão que engata o pino rei da carreta. O pino rei que está localizada na parte frontal da carreta é a peça que conecta à quinta roda, fazendo então a ligação entre o cavalo e a carreta[18].



Fonte: http://www.cowboysdoasfalto.com.br/entretenimento/curiosidades/curiosidades_da_semana/5_roda/ [18]

Figura 2.23 – Quinta roda do caminhão feito em ferro fundido nodular



Fonte: http://www.cowboysdoasfalto.com.br/entretenimento/curiosidades/curiosidades_da_semana/5_roda/ [18]

Figura 2.24 – Quinta roda localizada no cavalo do caminhão



Fonte: http://www.cowboysdoasfalto.com.br/entretenimento/curiosidades/curiosidades_da_semana/5_roda/ [18]

Figura 2.25 – Localização do pino rei de uma carreta

Os perfis feitos de PEUAPM realizado pela empresa Agrax é um produto desenvolvido para eliminar o uso de graxa na mesa da carreta e na quinta roda evitando que seja despejado aproximadamente 60kg/ano de graxa ao meio ambiente. A vida útil do produto é de aproximadamente 5 anos, resultando assim uma economia de 300kg de graxa despejado ao meio ambiente. Entre outros benefícios para esta aplicação, estão: Elimina o desgaste da quinta roda, dispensa ajuste na quinta roda, melhora nas manobras de ultrapassagem dando firmeza ao conjunto. [19]



Fonte: <http://www.agrax.com.br/37539.html> [19]

Figura 2.26 – Perfis em PEUAPM para o pino rei e a quinta roda

2.5. Reciclagem

A reciclagem é o resultado de diversas atividades, como coleta, separação, e processamento, fazendo com que materiais que aparentemente sem valor servem como matéria-prima na manufatura de bens, anteriormente feitos com matéria-prima virgem. [20]

Os principais benefícios da reciclagem de plásticos são: a redução do volume descartado em vazadouros e aterros sanitários; a preservação dos recursos naturais; a diminuição da poluição; a economia de energia; a geração de empregos. Além disso, a reciclagem tem ampla aceitação pela população. [20]

2.5.1. PEUAPM e a Reciclagem

O PEUAPM é um material considerado como reciclável, onde a grande parte do resíduo gerado está concentrada na própria indústria devido ao elevado uso do processo de usinagem. O material é considerado inofensivo mesmo quando incinerado [11].

A forma mais utilizada para reciclagem e reaproveitamento do material é pelo método de fundição. A sobra do material gerado da usinagem é moído, prensado sob temperatura e depois resfriado para se obter as placas ou perfis que poderão

ser novamente usinadas, portando não ocorre uma degradação térmica severa, não havendo grandes perdas de propriedades.

Uma outra forma ainda pouca utilizada de reaproveitamento do material é a realização da moagem micronizada sob uma correta granulometria e utilização como carga(reforço) para a confecção de produtos com melhores propriedades no processo de rotomoldagem.

3. CONCLUSÃO

Devido as suas características diferenciadas, o material se mostra como uma grande alternativa em substituição de outros materiais de menor desempenho em determinadas aplicações, contribuindo até mesmo para um melhor meio ambiente. Entre as principais vantagens encontrada pelo uso do PEUAPM em substituição de outros materiais, estão:

- Diminuição do uso e despejo de graxa ao meio ambiente;
- Diminuição do uso da madeira na forma de compensados;
- Diminui custo de manutenção em peças de maquinário, diminuindo parada das máquinas e conseqüentemente aumentando a produtividade;
- Aumento da eficiência de transporte de materiais aderentes e abrasivos;
- Diminuição da poluição sonora de máquinas tornando o ambiente de trabalho mais agradável;
- Material com maior tempo de vida útil se comparado com outros materiais

Foi verificado que a grande parte dos resíduos gerados do material se encontra na própria indústria. Assim como em seu processamento, a recuperação e reaproveitamento do material é feito por métodos não convencionais de reciclagem, mas é possível recuperar e reaproveitar o material sem grandes perdas de propriedades pelo método de fundição.

Com o aumento do uso do material para o futuro, se faz necessário um maior aprofundamento em pesquisas afim de buscar novas possibilidades de reciclagem e reaproveitamento do material.

4. REFERÊNCIAS

- [1] **WIEBECK**, Hélio, **HARADA**, Júlio **Plástico de Engenharia** São Paulo Editora Artliber,2005.
- [2] **ROSÁRIO**, Salmo Cordeiro, **Estudo do Efeito da Radiação Ionizante por Feixe de Elétrons sobre o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular Virgem e Reciclado Industrial**. São Paulo. Dissertação(Mestrado), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP, 2006.
- [3] **ISLABÃO**, Genizia Islabão de, **Blendas de Polietileno de Ultra Alto Peso Molar (PEUAPM) com Polietileno Linear de Média Densidade (PELMD) para Rotomoldagem**. Porto Alegre. Tese de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- [4] **SANTOS**, Ana Cecília Correia dos, **Avaliação das Propriedades e Aplicações do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM)**, Salvador. Monografia de Pós-Graduação, Universidade Federal da Bahia, 2011.
- [5] **PLASTIREAL**. Disponível em: <http://www.plastireal.com.br/chapa-uhmw.php>
Acesso em: 09/09/2012
- [6] **POLIETILENO: PRINCIPAIS TIPOS, PROPRIEADES, APLICAÇÕES**. Artigo de Divulgação. Disponível em:<http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064.pdf> Acessado em: 08/10/2011
- [7] **SOLIDUR**. Disponível em: <http://www.solidur.com.br/indexj.htm>
Acesso em: 09/09/2012
- [8] **UTEC**. Disponível em: <http://www.utec.com.br> Acesso em: 06/08/2012
- [9] **PLASTECNO**. Disponível em: <http://www.plastecno.com.br/produtosphp?categoria=23> Acesso em: 05/11/2011
- [10] **UHMWPE**. Disponível em: <http://www.uhmwpe.unito.it/2003/Allen.pdf> Acesso em: 06/08/2012
- [11] **PLASTIREAL**. Disponível em: <http://www.plastireal.com.br/chapa-uhmw.php>
Acesso em: 09/09/2012
- [12] **YOUTUBE**. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=sJPsMHtViOc>
Acesso em 10/08/2013
- [13] **LUIZ**, Maurício da Silva, **Estudo sobre as características do PEUAPM no uso de revestimento plástico antiaderente em caçambas**, São Paulo. Monografia de Graduação, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009.

[14] **FAZ FACÍL.** Disponível em: <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/formas-para-concreto/3/> Acesso em 20/12/2013

[15] **PORTUGUESE ALIBABA.** Disponível em: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/military-bullet-proof-vest-400999529.html> Acesso em: 02/09/2012

[16] **TUDO SOBRE PLÁSTICOS.** Disponível em: <http://www.tudosobreplasticos.com/Imagens/peuapm2.jpg> Acesso em 02/09/2012

[17] **BRASKEM.** Disponível em: http://www3.braskem.com.br/site/portal_braskem/pt/sala_de_imprensa/sala_de_imprensa_detalhes_10447.aspx Acesso em: 20/12/2013

[18] **COWBOY DO ASFALTO.** Disponível em http://www.cowboysdoasfalto.com.br/entretimento/curiosidades/curiosidades_da_semana/5_roda/ Acesso em 20/12/2013

[19] **AGRAX.** Disponível em: <http://www.agrax.com.br/17739.html> Acesso em 20/12/2013

[20] **MANO, Eloisa, PACHECO, Élen, BONELLI, Cláudia Meio Ambiente, poluição e reciclagem,** Rio de Janeiro, Edgar Blucher, 2005