

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE COLETES BALÍSTICOS

LIFE TIME ANALYSIS FROM BODY ARMOR

Vitor H. C. Konarzewski¹
Sérgio Coberllini²

RESUMO: O uso do colete balístico, ou como é popularmente conhecido, “à prova de balas”, está amplamente difundido para a prática da atividade policial, a medida que é um importante equipamento para salvaguardar a integridade física policial na perigosa atividade de proteger a sociedade. O uso dos coletes é uma referência pacífica quanto à sua utilidade, ressaltados aspectos ergonômicos com relação ao modelo empregado, bem como o tempo de validade destes materiais. Frente a este cenário, o presente estudo teve por finalidade delimitar os fatores que influenciam o real ciclo de vida dos coletes balísticos, por meio de uma revisão bibliográfica do assunto, ressaltando aspectos qualitativos envolvidos no processo. Os dados foram apresentados de forma descritiva por meio de análise do conteúdo, relacionando características dos materiais empregados com a legislação existente e reais condições de uso do produto. Em função da estabilidade química dos materiais utilizados, o estudo sugere a alteração da legislação, uma vez que há indícios que o ciclo de vida do produto seja muito mais longo do que a legislação atual preconiza, viabilizando um melhor aproveitamento dos painéis Balísticos.

Palavras chave: Colete balístico, Análise de ciclo de vida, Equipamento de proteção Individual.

ABSTRACT: O use of the ballistic armor, or as it is known popularly, "to the proof of bullets", it is thoroughly diffused for the activity policeman's practice, the measure that is an important equipment to safeguard the integrity physical policeman in the dangerous activity of protecting the society. The use of the vests is a peaceful reference as for its usefulness, excepted ergonomic aspects regarding the employed model, as well as the time of validity of these materials. Front to this scenery, the present study had for purpose to delimit the factors that influence the real cycle of life of the ballistic armor, through a bibliographical revision of the subject, emphasizing quality aspects involved in the process. The data was presented in a descriptive way through analysis of the content, relating characteristics of the employed materials with the existent legislation and real conditions of use of the product. In function of the chemical stability of the used materials, the study suggests a change of legislation, once there are indications to be much longer than the current legislation show, making possible a better use of the Ballistic panels.

Words key: ballistic armor, Life time analysis, Individual protection equipment.

¹ Graduado em engenharia química, Doutorando em engenharia de materiais (UFRGS). Aluno de Pós-graduação em engenharia de segurança da Feevale. vitorhk@sinos.net

² Graduado em engenharia de minas. Engenheiro de segurança do trabalho. Mestrando em engenharia ambiental. Professor do curso de engenharia de segurança da Feevale.

1. INTRODUÇÃO

No Estado do Rio Grande do Sul, dentro do universo de servidores públicos da segurança pública, existe uma demanda aproximada de trinta mil coletes balísticos, considerados EPI (Equipamentos de Proteção Individual), necessários para a prática de ações de polícia e manutenção da tranquilidade pública. Tal equipamento está amplamente difundido, tendo uma referência pacífica quanto à sua utilidade, ressalvados aspectos ergonômicos com relação ao modelo empregado, bem como o tempo de validade destes materiais. Conforme Gomes et al (1992), em estudo coordenado pelo IPBM (Instituto de Pesquisas da Brigada Militar), no final da década de 90 mais de 80% dos policiais militares feridos ou mortos em serviço foram por disparos de arma de fogo no tórax. Por si só, este dado já confirmava na época a necessidade de utilização do colete balístico nas atividades policiais.

Passadas mais de duas décadas, o Estado tem procurado atender a demanda, entretanto ainda hoje não foi definido o modelo de colete e matéria prima ideal, tampouco as organizações policiais conseguiram atender a 100 % do efetivo policial, principalmente em função do tempo máximo de validade do colete, estabelecido pelas empresas em somente 5 anos a partir da data de fabricação. Se considerarmos cada ano de uso a partir deste prazo, a economia para o erário pode ser estimada em aproximadamente três milhões de reais ao ano, somente para o serviço público do Estado. Frente a este cenário, este artigo teve por finalidade principal analisar quais aspectos influenciam no estabelecimento do real tempo de vida dos coletes balísticos, revisando legislação específica e propriedades das matérias primas. Tais fatores entre outros são alegados pelos fabricantes para justificar o curto tempo de vida dos coletes, cuja consequência ainda é a destruição do material após prazo teórico de vencimento, a partir da data de fabricação do colete.

Com o objetivo de otimizar os recursos disponíveis, assim como auxiliar o planejamento de novas aquisições, foi utilizada a ferramenta SFD (Desdobramento da Função de Segurança) para análise do problema, possibilitando estabelecer critérios adequados para escolha da matéria prima dos coletes, levando-se em conta as propriedades dos materiais e características de projeto ergonômico estabelecidas por pesquisa.

O resultado objetivou subsidiar decisões de comando, estabelecendo os critérios desejáveis para aquisição de coletes, tempo de vida útil, custos e alternativas de revalidação, oferecendo subsídios para a discussão sobre o assunto para futuros estudos e ações gerenciais que possibilitem um melhor aproveitamento dos painéis Balísticos.

2. COMPOSIÇÃO DOS COLETES BALÍSTICOS

O uso e aquisição de coletes balísticos é assunto comum em nível mundial. Mais que um complemento bélico, é um meio de garantir a integridade física do policial para seu retorno ao convívio de seus familiares. Apesar de ser um produto que à primeira vista seja relativamente simples, um colete balístico é constituído por camadas múltiplas de tecido balístico ou outros materiais com propriedades semelhantes, cujo conjunto compõe o chamado painel balístico, que é inserido numa capa de tecidos resistente à abrasão, como fibra sintética ou algodão, podendo ser agregado de forma permanentemente ou ser removível.

Os painéis em geral são fabricados a partir da superposição de placas de aramidas ou outros materiais, tais como UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*) ou como também é conhecido, polietileno de ultra alto peso molecular, sendo desenvolvidos para resistir à perfuração do projétil e dissipar as ondas que se formam com o choque contra o painel balístico, também denominadas ondas de dispersão de energia. Essas ondas de dispersão, juntamente com o atrito entre as fibras e as diferentes camadas de tecido, desencadeiam a deformação do projétil e diminuem seu poder de destruição, reduzindo as ondas de choque que podem danificar tecidos e órgãos internos do corpo humano. Segundo Oliveira (2008), os coletes balísticos têm como princípio de funcionamento a absorvência da energia cinética do projétil que impacta na peça de proteção. Em nível técnico, o colete não pode permitir que a onda de choque provoque um aprofundamento maior que 44 mm nas suas camadas ao ser atingido por um disparo, independente do fato de ter resistido ao impacto. Tal definição prende-se à preservação dos órgãos internos por ocasião do impacto do projétil. (NIJ 0101.06, 2008)

Em geral os painéis balísticos são construídos pela sobreposição de placas de fibras sintéticas de grande estabilidade tais como a aramida, que é uma fibra da família do nylon, e o polietileno, ambas de origem sintética. A degradação pode ocorrer principalmente por irradiação solar, se as fibras forem expostas diretamente à exposição de raios ultravioleta, cujo fóton tem energia suficiente para romper a ligação de carbonos em nível molecular. (ASHBY e JONES, 2007, p. 279). A absorção na presença de oxigênio pode produzir reorganização molecular, desde a quebra de uma cadeia molecular até a oxidação da mesma. (CANEVAROLO Jr, 2002; BILLINGHAM, 2002).

Os coletes balísticos desenvolvidos atualmente não se limitam ao uso simples de camadas de tecidos sobrepostos de aramida, popularmente conhecida por Kevlar ou Twaron

(fabricados pela DuPont, e Akzo Industrial fibers, respectivamente). Atualmente, segundo informações da Companhia Brasileira de Cartuchos, fabricante de coletes, o uso de outros materiais como o UHMWPE, além de compósitos combinando características de vários materiais, permitiu um avanço considerável de proteção. (CBC, 2013).

Outros painéis balísticos podem ser fabricados pelo mesmo método de sobreposição de lâminas de UHMWPE, de nome comercial Dyneema, cujas características de resistência à abrasão, ao impacto, baixa absorção de água e antiaderência são vantagens notórias. (ALBUQUERQUE, 2000). As fibras de Dyneema são consideradas quinze vezes mais fortes que o aço DSM (2013), possuindo propriedades significativas de resistência ao impacto e leveza.

Os coletes de Dyneema tem característica balística semelhante a combinações mais avançadas de aramida, sendo que a matéria prima é produzida pela empresa DSM da Holanda, que reduziu a massa das lâminas de 150 g/m² para 145 g/m², com resistência balística superior. CBC (2013). Para a montagem das placas de Dyneema, as fibras são recobertas por uma camada de polietileno de baixa densidade ou PVC, que tem a finalidade de fornecer uma barreira efetiva contra a penetração da água. Ao final, as placas são revestidas por um tecido que serve de barreira d'água e proteção contra luz solar, além de uma sobrecapa, impedindo a degradação das fibras. Conforme os fabricantes, algumas placas tem suas lâminas de tecido de aramida ou UHMWPE montadas em posição bidirecional e mantidas unidas por processo de calandragem de um filme de termoplástico em cada face.

Em que pese existirem inúmeros fabricantes mundiais de tecidos e métodos de construção dos painéis, no Brasil segue-se a legislação americana como base para esta área, cuja referência em termos técnicos é amplamente difundida e corroborada pela legislação do ministério da defesa e órgãos militares subordinados. Conforme dados do centro de material bélico da Brigada Militar (2010), o tipo de matéria prima para confecção das placas dos coletes balísticos classe II adquiridos pela Brigada militar ao longo de mais de 20 anos são variadas, abrangendo desde aramida, Spectra, Dyneema, Twaron, além da composição mista destes produtos. Atualmente, o prazo de validade de todos os coletes, independentemente do material empregado, é de cinco anos, apesar de alguns coletes confeccionados com o mesmo material e adquiridos anteriormente terem recebido garantia de fábrica de seis anos, possuindo até revalidação por dois anos.

2.1 Materiais utilizados

Novas tecnologias relacionadas às propriedades de fibras avançadas tem sido objeto de estudo por empresas e universidades a fim de atenderem as mais diversas necessidades do mercado. Propriedades como alta resistência ao calor, estabilidade dimensional e elevada resistência mecânica fizeram com que rapidamente ganhassem espaço nas mais exigentes aplicações industriais e também na área de segurança.

As poliamidas aromáticas (m-fenileno isoftalamida) foram introduzidas no mercado no ano de 1960, pela empresa DuPont, conhecida comercialmente como Nomex, uma fibra amorfa que lhe confere excelente propriedade térmica, é muito utilizada em trabalhos que exigem altíssima resistência de exposição a altas temperaturas, como filtros manga, roupas de bombeiro, etc. Suporta temperaturas de até 200°C constantes e picos de 240°C, começam a carbonizar a temperaturas acima de 370°C. A evolução foi o lançamento de outra fibra (p-fenileno-tereftalamida), comercializada com o nome de Kevlar, uma fibra cristalina com excepcional propriedade de resistência mecânica, muito utilizada em aplicações onde a estabilidade dimensional é parâmetro primordial. DuPont, (2013).

No final da década de 60, pesquisadores da DuPont, na tentativa de desenvolver um tecido que substituísse o aço empregado nos pneus, criaram a fibra de aramida, registrada em 1967 e conhecida comercialmente por Kevlar e Nomex. Na mesma época foi desenvolvido o Twaron, pelo laboratório Europeu Akzo NV. Em 1970 a empresa japonesa Teijin introduziu no Japão uma fibra chamada Conex, com as mesmas propriedades do nomex, estas fibras são concorrentes diretas até os dias de hoje.

A empresa Monsanto a fim de entrar nesse mercado de fibras de engenharia, lançou em meados de 1972 as fibras PABH-T X500, que são poliamidas hidrazidas aromáticas, também com excelentes propriedades térmicas e de retardamento da chama, começou a ser comercializada nos anos 70 com o nome de Durette 400, outra concorrente para o Nomex.

Em 1987, no intuito de desenvolver uma fibra de alto módulo de resistência à tração a Teijin disponibilizou comercialmente a fibra Technora, concorrente direta ao kevlar. Sendo um fibra sintética da família do Nylon, ela é muito resistente e leve, diferenciando-se do Nylon pelo tipo de ligação. Na aramida, os átomos estão ligados como elos de uma corrente, através dos grupos benzeno, que lhe conferem uma altíssima resistência ao calor e à tração. No nylon, as ligações são lineares, possuindo menor, mas não desprezível resistência.

O Nylon foi desenvolvido originalmente como uma fibra têxtil, com alta força de tensão, acima de 345 MPa, sendo empregado em larga escala na 2ª guerra mundial, para

confeção de pára quedas. Segundo Brady *et al* (1997), todas os nylons são altamente resistentes a solventes comuns e alcalinos, mas são atacados por ácidos minerais. Baixo peso, baixa densidade específica (1,14), boa absorção de choques e resistência à abrasão, além de alta temperatura de fusão (250°C), são características comuns do nylon. A desvantagem deste material está na absorção de água e mudanças dimensionais.

Com diferentes denominações comerciais, mas de características similares, no início dos anos 80 foram lançados outros materiais cujas propriedades são notáveis em termos de resistência a alto impacto. O polietileno se destaca pela forte ligação entre suas moléculas de carbono, tal qual a estrutura de um diamante. A diferença dos arranjos moleculares entre o polietileno convencional e o de alta densidade é que o primeiro contém um número de hastes curtas com muitas dobras com baixa resistência da fibra enquanto que o polietileno ultra-resistente é uma versão mais longa da mesma molécula, cujo arranjo confere alta resistência a impactos e grande estabilidade química. (DSM, 2013)

O polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), conhecido comercialmente por Spectra Shield®, é produzido pela empresa norte-americana Honeywell Spectra Technologies (antiga AlliedSignal), e o Dyneema®, fabricado pela holandesa DSM High. Ambos são utilizados na montagem de placas balísticas cujo nome comercial pode ser conhecido por Spectra Flex®, Spectra Goldflex® e Dyneema®, variando no tocante a gramatura do polímero e combinação de blendas poliméricas. No caso do Spectra Goldflex®, a placa é uma combinação tanto de fibras de aramida quanto de polietileno. (ROSA, 2007). Por serem fibras de alta tecnologia agregada, as poliamidas aromáticas (poliamidas) possuem valor mais elevado, tendo seu uso restrito às aplicações especiais onde se faz necessária um melhor desempenho a esforços mecânicos com baixo peso e dimensões.

As fibras de aramida, por exemplo, são encontradas como filamento contínuo, polpa, filamento curto e tecido, formas comerciais que facilitam a aplicação e processo na confecção dos produtos finais como mangueiras de alta pressão, pneus de avião, coletes balísticos e materiais compósitos, entre outros. O uso destas fibras é tão diversificado, que atualmente são utilizadas inclusive para reforços estruturais em concreto, uma vez que aumentam consideravelmente a resistência a impactos, dificultando o colapso estrutural, possuindo um desempenho semelhante ao aço após fissuração. (BERNARDI, 2003).

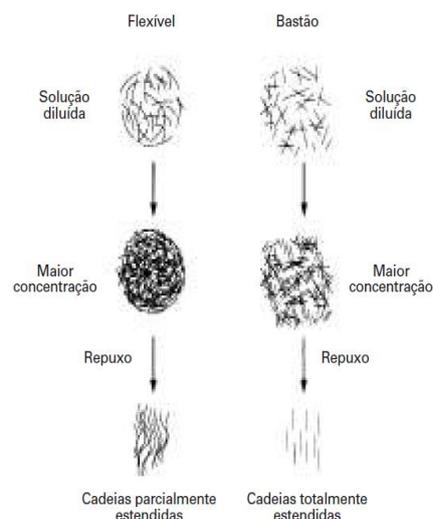
Por possuírem uma combinação de excelente estabilidade dimensional, elevado módulo, alta resistência, força e baixo peso, as fibras de engenharia atendem muito bem seu papel em aplicações industriais que variam desde reforços de elastômeros, mangueiras de

alta pressão, correias transportadoras até na confecção de coletes balísticos, blindagens automotivas e na indústria náutica.

2.2 Propriedades da aramida

Fibras como o Nylon e do Poliéster, representavam o avanço das fibras antes da década de 60. Contudo, para que se pudessem atender as novas demandas de mercado e obter um produto com alto módulo inicial e elevada tenacidade, as moléculas do polímero tinham que apresentarem cadeia estendida e empacotada de maneira cristalina quase perfeita. No caso de cadeias flexíveis como a do Nylon e a do Poliéster, as fibras teriam que ser tracionadas após a fiação em fusão. Esse método exigia o desembaraço e a orientação da cadeia na fase sólida, fazendo com que os níveis de tenacidade e módulo ficassem muito além dos valores teoricamente possíveis. As aramidas surgiram a partir da p-benzamida, pois estudos revelaram que este polímero formava soluções cristalinas devido a simples repetição da sua base molecular. A principal condição molecular é a orientação paralela do anel benzênico, formando estruturas de moléculas parecidas com bastões. O aumento da concentração em polímeros rígidos faz com que os bastões comecem a se associar em alinhamento paralelo. Desenvolvem-se então cadeias de polímeros altamente orientadas, conforme a figura 1.

Figura 1: Diferenças entre polímeros de cadeia flexível e rígida durante a fiação



Fonte: Technical Guide Kevlar (2013)

J. Preston, (1975) definiu que as poliamidas aromáticas, também conhecidas comercialmente por Kevlar, entre outras, são obtidas por reações que levem a formação de ligações amidas entre anéis aromáticos. A reação química é uma policondensação e pode ser realizada via interfacial, processo que utiliza solventes amidas, ou policondensação direta utilizando fosfitos. Os solventes utilizados durante a polimerização das aramidas são amidas substituídas como o dimetilacetamida, dimetilformamida, tetrametiluréia ou o ácido sulfúrico (H₂SO₄). Esses solventes devem ser fortes o bastante para manterem as cadeias rígidas do polímero em solução, pois estas cadeias, devido às ligações de hidrogênio (formadas entre hidrogênio amídico e a carbonila) tem grande tendência ao enovelamento, resultando em dificuldades na posterior fiação. O polímero p-benzamida forma soluções a baixas concentrações (em torno de 3%) altamente viscosas, excelentes para fiação, tal fato se deve mais a rigidez do polímero do que uma massa molar elevada.

No caso de fibras sintéticas, as propriedades das aramidas são adquiridas através do grau de estiramento da fibra durante ou após a fiação. O estiramento aumenta o grau de alinhamento das moléculas elevando assim o módulo inicial ao mesmo tempo em que a resistência a ruptura (tenacidade) é diminuída ao longo do processo. A presença de anéis aromáticos forma cadeias de grande estabilidade térmica e de alta resistência. Os fios produzidos são medidos em Denier, termo utilizado na indústria para descrever a espessura de um filamento, fio, corda, definido como o peso em gramas de 9.000 metros do material.

A unidade alternativa é o “dtex” (decitex): 1 dtex = 0,9 denier. O quadro 1 mostra para alguns valores de denier, quantos filamentos estão presentes no fio.

Quadro 1: Número de filamentos por Denier

Denier	Número de filamentos
55	25
195	90
200	134
380	180
400	267
750	490
1000	666
1420	1000
2840	1333

Fonte: Extruder Plastics, 1998.

Conforme a DuPont,(2013), a fibra de nome comercial Kevlar combina alta resistência, elevado módulo, tenacidade e estabilidade térmica, sendo desenvolvida para

exigentes aplicações de tecnologia avançada. As características térmicas do Kevlar apresentam um ótimo desempenho, uma vez que permitem o uso acima de 160 °C por prolongado tempo, sem perdas significativas de propriedades de resistência a tensões. A decomposição ocorre a temperaturas entre 427 e 482°C. A fibra aramida não funde ou mantém a combustão, tolerando sem perdas curtos espaços de tempo de exposição (alguns minutos) acima de 300 °C. Mesmo sob temperaturas abaixo de -170 °C, a fibra aramida mantém suas propriedades originais.

O quadro 2 compara algumas propriedades do Kevlar com outros fios, comparando-os com, vidro, nylon, poliéster, aço, polietileno e carbono. Tomando como padrão o Kevlar, o Nylon e o poliéster tem módulo relativamente baixos e pontos de fusão intermediários. O polietileno tem módulo inicial elevado, em contrapartida apresenta baixo ponto de fusão, além de uma densidade menor.

Quadro 2: Comparação de propriedades de fios

Tipo de fio	Densidade específica Lb/PoI ³	Tenacidade 10 ³ psi	Módulo 10 ⁴ psi	Elongação até a ruptura %	Resistência específica à tração 10 ⁶ pol	Temperatura de decomposição °C
KEVLAR 29	0,052	424	10,2	3,6	8,15	427-482
KEVLAR 49	0,052	435	16,3	2,4	8,37	427 -482
S-GLASS	0,09	665	12,4	5,4	7,4	850
E-GLASS	0,092	500	10,5	4,8	5,43	730
Fio de aço	0,28	285	29	2	1	1500
Nylon 66	0,042	143	0,8	18,3	3,4	254
Poliester	0,05	168	2	14,5	3,36	256
Polietileno HS	0,035	375	17	3,5	10,7	149
Carbono alta tenacidade	0,065	450	32	1,4	6,93	3500

Fonte: Technical Guide Kevlar (2013)

2.3.1 Degradação da Aramida

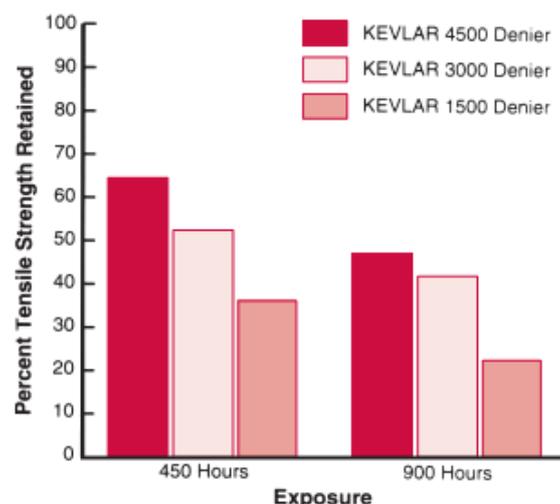
A aramida é quimicamente estável em uma variação ampla de exposição, entretanto a degradação pode ocorrer se for exposta a certos ácidos aquosos fortes, algumas bases e hipoclorito de sódio no decorrer de longos períodos de tempo e sob temperaturas elevadas.

As condições relacionadas com a acidez causam degradação mais severa do que as condições relacionadas com as bases em pH equidistantes do neutro. Em pH neutro (pH 7), a tenacidade do filamento permanece virtualmente constante após uma exposição a 65°C de mais de 200 dias. Quanto mais o pH se desvia de pH 7 maior é a perda de tenacidade.

A aramida, assim como outros materiais poliméricos é sensível à luz ultravioleta (UV). Os fios não protegidos tendem a descolorir, mudando de amarelo para marrom, após exposição prolongada. A exposição prolongada a algumas faixas de frequência no espectro de UV pode causar perda das propriedades mecânicas, dependendo do tempo de exposição, comprimento de onda e da intensidade da radiação, ente outros fatores. A descoloração do fio novo, de amarelo para tons de marrom após exposição ordinária à luz ambiente é normal e não indica degradação. A degradação ocorre somente na presença do oxigênio e é impulsionada pela umidade ou por contaminantes atmosféricos, tais como o dióxido de enxofre, sendo que a aramida tem como propriedade principal características de grande estabilidade à exposição a agentes químicos. A Absorção do raio UV é energia suficiente para romper as ligações químicas são condições necessárias para causar degradação da fibra.

Deve ser ressaltado que as fibras externas formam uma barreira que protege as camadas internas aumentando a barreira contra a ação da irradiação UV. O encapsulamento da aramida, seja pelo trançamento com outras fibras, seja pela aplicação de um invólucro ou capa, proporciona proteção adicional contra os raios UV, desde que não seja transparente, devendo ter uma pigmentação apropriada para absorção na faixa de 300nm a 450 nm. DuPont (2013) Para evitar possíveis danos por fontes de luz natural, o fio não deve ser armazenado e exposto a uma distância menor que 30 cm de lâmpadas fluorescentes ou perto de janelas.

Figura 2: Resistência à tensão de fibras após exposição à radiação ultra violeta



Fonte: Technical Guide Kevlar (2013)

A figura 2 apresenta o desempenho do Kevlar ao ser exposto a luz UV, por períodos prolongados, sem proteção. Quanto maior o denier da fibra, maior a resistência à exposição.

É importante ressaltar que os painéis balísticos tem uma capa e uma sobrecapa, impedindo que as fibras sejam expostas diretamente à luz solar, sendo uma proteção eficaz contra a degradação provocada pelos raios UV.

2.3 Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

O polietileno de ultra alto peso molecular foi originalmente definido como um polímero cujo peso molecular fosse maior que 2×10^6 . Com o passar do tempo, os fabricantes chegaram a um acordo sendo que 31×10^5 seria a linha divisória acima da qual seria aplicada a descrição UHMWPE, definição atual prevista na norma ASTM D 4020. As características marcantes dos polietilenos de peso molecular ultra elevado são a excepcional resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito, além de alta resistência a impactos, baixa absorção de água e excelente resistência à degradação química. O número de carbonos na cadeia molecular pode estar entre 50000 e 500000. O ponto de fusão é de aproximadamente 130 °C, tendo temperatura máxima de serviço recomendável de 93°C. Sua aplicação varia desde correias transportadoras, forros de pára-quedas até coletes balísticos, superando outros materiais em termo de desempenho, inclusive metais. Vale destacar que em teste de areia, onde os corpos de prova são submetidos a uma mistura de 50% de água e 50% de areia, à temperatura e velocidade constantes durante determinado tempo, o UHMWPE apresentou excelente resistência ao desgaste, sem sinais de perda de massa. Albuquerque (2000 p.100)

No campo da segurança, destaca-se a utilização destas fibras na conformação das lâminas usadas na fabricação dos coletes, não havendo tramas ou costuras, proporcionando boa movimentação ao usuário e, ainda, contribuindo para a inexistência de ângulos e áreas mais frágeis ao impacto de projéteis. Não obstante, segundo informação dos fabricantes os coletes de Dyneema ou Spectra, denominações comerciais dos tecidos balísticos de UHMWPE, oferece uma proteção superior contra o fenômeno de “trauma fechado”, uma vez que a energia da munição se dissiparia com maior rapidez ao longo das fibras, ocasionando um menor aprofundamento do material contra o corpo do usuário, além de maior conforto em função do peso reduzido dos painéis. As recomendações de não exposição à luz solar direta é comum tanto para as placas de aramida como para os painéis de Dyneema. Por ter baixa absorção de água, os coletes de Dyneema e Spectra são referenciados inclusive para uso nos coletes dos mergulhadores das tropas especiais americanos. Rosa et al (2007 p. 23)

2.4.1 Degradação do Polietileno de ultra alto peso molecular:

A empresa DSM através do site Dyneema (2012), referenciou uma pesquisa sobre os efeitos que diferentes condições de temperatura e umidade podem infligir sobre os painéis balísticos de UHMWPE. Além de artigos anteriores que ressaltavam o desempenho dos coletes, o informativo citou que as placas mantiveram suas propriedades mecânicas e balísticas (V50), mesmo após terem sido submetidas por 8 semanas a uma temperatura de 65°C e 80°C de umidade relativa, equivalentes ao envelhecimento esperado de um colete ao longo de cinco anos a uma temperatura de 35°C. Em que pese as limitações sobre a disponibilidade de informações públicas sobre o envelhecimento real dos painéis de Dyneema, a empresa DSM investiu na avaliação de painéis balísticos vencidos, que variaram de 5 a 12 anos, cujos resultados basearam-se na inspeção visual com avaliação das condições e informações construtivas, em teste balístico em amostras envelhecidas dos coletes baseado na técnica V50 prevista pela norma americana NIJ, obtendo-se medidas e dados comparativos de desempenho mínimo previsto para a época de fabricação dos painéis de Dyneema. Outro critério utilizado foi a realização de testes balísticos de acordo com normas usadas para certificação para verificar se as amostras ainda atendem os requisitos.

O resultado, descrito por Padovani et al (2012), demonstrou que o processo de envelhecimento das placas é superficial através de uma pequena variação da cor da lâmina, sem perdas das propriedades originais. Não foram observadas delaminações ou perda de fibras nos painéis utilizados para o teste balístico. Os resultados indicaram que mesmo nos coletes mais antigos e vencidos, os valores do teste não tiveram mudanças significativas de desempenho quando comparados aos requisitos previstos para a época da manufatura dos coletes. Tais resultados, Segundo Padovani et al, são corroborados por estudos complementares obtidos pela empresa DSM, cujos testes de tração em amostras produzidas a partir de 1997 mostram a manutenção das propriedades de resistência à tração em mais de 98%. A conclusão de ambos estudos indicam que os artigos confeccionados com Dyneema atendem aos requisitos mais rígidos de desempenho mesmo sob temperaturas extremas de uso dos coletes balísticos, sendo testados até temperaturas de 71 °C, sem perda de suas propriedades. Além desta conclusão, Padovani et al (2012) concluiu que o envelhecimento real de coletes balísticos não altera o desempenho do colete com o passar do tempo.

2.4 Normas Reguladoras para uso e aquisição de coletes balísticos

O conjunto principal de normas técnicas tomadas como modelo no Brasil refere-se às normas do instituto nacional de justiça (NIJ) americano. A NIJ 0100.01, editada em 2001, refere-se ao guia para seleção e uso de coletes balísticos. A NIJ (*National Institute of Justice*) Standard – 0101.04, revisada em junho de 2001, refere-se a normas padronizadas de resistência e testes para coletes balísticos, substituindo a NIJ standard–0101.03, emitida em abril de 1987. A norma NIJ 0115.00, é referenciada pela portaria nº 18 do Ministério da Defesa por meio do Departamento Logístico do Exército Brasileiro, para proteção contra objetos perfurocortantes, ou coletes denominados multiameaça, classificados em níveis I, II e III, entre outros.

Atualmente, A norma NIJ 0101.06, de julho de 2008, é a mais atualizada, substituindo as 0101.04 de 2001, entretanto, em nenhum momento a norma atual revogou a validade dos coletes confeccionados baseados em padrões anteriores, limitando-se a estabelecer uma nova metodologia de testes e padrões para os novos coletes balísticos a serem fabricados. A referida norma é um documento técnico que especifica um desempenho mínimo requerido para os equipamentos que devem satisfazer os requisitos das agências de justiça americanas, assim como a metodologia adotada para efetuar os testes periódicos para revalidação dos prazos de utilização dos coletes.

Desde o ano de 2006, existe uma nota de instrução operacional em nível de Estado, na Brigada Militar que torna obrigatório o uso de coletes balísticos para todos os policiais militares em serviço. Já naquela época, sob o fulcro de garantir a proteção do policial pelo uso de coletes balísticos, a corporação incrementou a meta de manter para todo o efetivo operacional um número coletes compatíveis com o de servidores em serviço, mas de maneira coletiva.

2.4.1 Classificação dos Coletes Balísticos

A portaria nº 18, em consonância à NIJ 0101.04, estipulou a classificação dos coletes balísticos em seis níveis de proteção (quadro 1) a fim de resistirem a diferentes tipos de munição. Classificados de I a IV, os níveis III e IV são previstos para atividades militares e aplicações especiais. O número de lâminas irá determinar o nível de proteção do painel balístico, sendo rotineira a aquisição de coletes de nível II-A a III-A para a atividade policial. O nível de proteção adotado pela Brigada Militar para os coletes adquiridos atualmente é o nível II, cujo número de camadas de composição dos coletes varia de 21 a pouco mais de 30, de acordo com o material de confecção.

Quadro 1. Níveis de Proteção dos coletes adquiridos para atividade policial

Nível de Proteção	Tipo de Munição	Peso		Velocidade	
		g	grains	m/s	ft/s
II-A	.40 S&W FMJ	11,7	180	322	1055
	9mm FMJ RN	8	124	341	1120
II	.357 Magnum JSP	10,20	158	436	1430
	9mm FMJ RN 10,20	8	124	367	1205
III-A	.44 Magnum SJHP	15,6	240	436	1430
	9mm FMJ RN	8,2	124	436	1430

Fonte: Norma “NIJ” Standard 0101.04, do Instituto Nacional de Justiça dos E.U.A.³

2.3.3 Prazos de validade dos coletes Balísticos

Observa-se que ao longo de anos existem vários tipos de especificações de coletes, com datas de validade distintas, cujas primeiras aquisições referenciadas eram de apenas de dois anos de validade. Oliveira (2008). Dependendo do fabricante e da época, os prazos foram dilatados para seis anos, sendo que em alguns casos houve inclusive a revalidação de lotes de coletes em até dois anos mais. A validade atual dos coletes está condicionada em 5 anos para os coletes de classe II a partir da data de fabricação, conforme consenso da Associação Brasileira de Blindagens e fornecedores de tecidos balísticos, publicado por meio de um informativo, de 29 de agosto de 2007, Oliveira (2008). A autora da pesquisa concluiu em seu estudo que muitas questões comerciais interferem na fixação dos prazos de validade dos coletes balísticos, o que não corresponde necessariamente ao real prazo dos equipamentos. Tal assertiva foi amparada por testes de balística em coletes com data vencida realizados em seu estudo, cujo desempenho atendeu a normas da época.

Não obstante a comprovação que os coletes possuem uma vida útil longa, a Brigada Militar, assim como outros órgãos de segurança do País, está atrelada à Portaria n° 18, expedida dezembro de 2006, pelo comando de Operações terrestres do Exército Brasileiro (EB), cuja orientação impede a reutilização ou revalidação do colete balístico com prazo vencido e orientando a destruição dos mesmos, por picotamento ou incineração. A referida portaria revogou a portaria n° 22-D Log, de 23 de dezembro de 2002. O ponto divergente na

³ FMJ – *Full Metal Jacket*, (Jaqueta de metal); JSP - *Jacketed Soft-Point* (jaquetado de ponta mole); LR – *Long Rifle* (cano longo); LRN – *Lead Round Nose*, (Ponta redonda de chumbo); RN – *Round Nose*, (ponta redonda); SJHP - *Semi-Jacketed Hollow Point* (Ponta oca semi-jaquetada);

legislação, está na determinação de destruição dos coletes com prazo de validade vencido, além de conferir poder ao fabricante de estabelecer o prazo de validade, conforme segue:

... Art. 18. Os fabricantes de coletes à prova de balas determinarão o prazo de validade dos mesmos, sendo este improrrogável.

... CAPÍTULO VI: DA DESTRUIÇÃO:

Art. 35. Os coletes à prova de balas com prazo de validade expirado não poderão ser utilizados, devendo ser destruídos.

Art. 36. A destruição do colete à prova de balas poderá ser feita por picotamento ou, no caso do colete ser fabricado apenas em aramida, por incineração.

... Art. 45. O exercício de qualquer atividade com coletes à prova de balas em desacordo com o disposto nestas Normas, sujeitará o infrator às penalidades previstas no art. 247 do R-105.

Art. 49. Não será autorizado o recondicionamento ou a reutilização do colete à prova de balas com prazo de validade expirado.

Fonte: Portaria nº 18, de 19 de dezembro de 2006.

Ao passar a responsabilidade de vencimento dos coletes aos fabricantes, estes por sua vez, através de decisão da associação de Blindagem, já no início de 2007, estipularam o prazo de validade de cinco anos para os coletes⁴, sem apresentar até o momento dados técnicos em nível de comportamento do material que corroborem com tal decisão. A partir deste fato, mesmo que o colete tenha permanecido fechado e sem uso, por cinco anos, a garantia do fabricante estará exaurida. Salienta-se que anteriormente foram estipulados prazos de validade superiores para os coletes, inclusive houve casos de revalidação dos equipamentos pelo próprio fabricante, em nível de Brigada Militar.

Rosa et al, ainda em estudo no ano de 2007, efetuaram análise semelhante quanto à durabilidade dos painéis, ressaltando na época, através de pesquisa em catálogos de diversos fabricantes no Brasil, que o prazo de validade variava, sendo estipulados por uns a partir da entrega do produto, e outros a partir da data de fabricação. O marco da portaria 18 foi determinante para limitar a revalidação dos coletes. O parecer da ABRABLIN mantém a reserva do prazo em função da garantia, entretanto, ao citar a NIJ, o fez sem esclarecer que mesmo na Europa, ou Estados Unidos, existe somente a recomendação de testes após passado um tempo, para revalidar os lotes. O fato do vencimento da data de fabricação não indica que o colete perdeu sua capacidade de proteção. Segundo informações obtidas por Rosa et al, (2007) nos sites dos maiores fabricantes nacionais, os prazos foram fixados em cinco anos variando apenas no tocante ao seu termo inicial, já que um dos fabricantes

⁴ Conforme a Associação Brasileira de Blindagem, em reunião datada em 14 de Fevereiro de 2007, as empresas fabricantes de Coletes à Prova de Balas (CPB) e as empresas fornecedoras de tecidos balísticos, estabeleceram que o tempo de garantia dos coletes balísticos concedidos pelos fabricantes, deveria ser de, no máximo, **05 (cinco) anos**. (ABRABLIN, 2010)

explicitou que tal prazo começaria a fluir a partir da data da efetiva utilização do colete, enquanto outro determinava a garantia a contar da data de entrega.

Atualmente ainda persiste a impossibilidade legal da utilização de um colete fora do prazo estipulado, tampouco existe a possibilidade de revalidação dos painéis balísticos, em claro prejuízo à economia. Ainda que os termos de vida útil anunciados pelos fabricantes sirvam mais como uma referência em outros países, no Brasil por força de norma são encarados de forma absoluta, pois a matéria-prima dos coletes não se degrada facilmente, ficando a durabilidade dos painéis condicionada muito mais às formas de utilização e acondicionamento do que propriamente ao mero decurso de tempo. Rosa et al (2007 p.60)

3 METODOLOGIA

O estudo em pauta além de fundamentar-se nos conhecimentos teóricos já desenvolvidos, tratou-se de uma pesquisa exploratória em função da complexidade do assunto e limitação de dados técnicos sobre as propriedades reais dos materiais utilizados para montagem dos painéis balísticos. Nesta perspectiva, o problema de pesquisa proposto neste estudo foi abordado a partir dos procedimentos metodológicos descritos e da revisão das propriedades dos diferentes materiais que compõem os painéis balísticos. Tal método permitiu traçar um quadro comparativo do desempenho ideal sob o ponto de vista ergonômico e técnico de diferentes painéis balísticos adquiridos para uso na Brigada Militar, comparando ao tempo de validade dos coletes definido pelos fabricantes.

A revisão bibliográfica e posterior análise de conteúdo, de acordo com Mozzato e Grybovski (2011), consistiu em técnica utilizada com frequência nas pesquisas qualitativas no campo da administração, baseou-se em aplicação de questionário sobre conforto e percepção de segurança aplicado em 31 participantes de um grupo de estudos de integrantes de diferentes organizações da área de segurança pública, sob responsabilidade da Secretaria de Segurança do Estado, em curso aplicado no município de São Leopoldo, em outubro de 2013. A abordagem qualitativa obtida a partir das respostas dos entrevistados estabeleceu um nexos que permitiu o emprego da ferramenta de desdobramento da função de segurança (SFD) para análise do problema, a qual fundamentou a metodologia de análise no cruzamento de diferentes características desejáveis para determinado produto, relacionando pontos fortes e fracos, assim como interferências. O resultado foi ponderado baseando-se em pontuação pré-definida pelo questionário aplicado, propiciando-se uma valoração dos resultados mais importantes, assim com estabelecendo

4.1.1 Análise:

Os itens destacados em azul, à esquerda, de leveza, conforto, confiabilidade, custo e durabilidade foram destacados mediante questionário, sendo que os pesos atribuídos em azul, à direita, foram obtidos através de levantamento estatístico das respostas. Os valores nos quadros ao centro, em laranja, foram atribuídos pelo autor, em análise de importância correspondente aos indicadores. Ao final, o produto dos valores das qualidades desejadas em azul com o cruzamento das correlações dos valores em laranja foram destacados na base do quadro, destacados em verde, onde os maiores valores obtidos refletiram os pontos principais.

4.1.2 Discussão:

Os resultados indicaram que o critério de estabilidade da fibra deve ser buscado prioritariamente para aquisição do colete balístico, sendo que os usuários classificam como importante o uso de painéis leves e confortáveis. A impermeabilização das capas tecnicamente é priorizada, tendo relação direta com a longevidade das placas, entretanto à medida que impermeabilizamos os coletes, podemos interferir com o conforto térmico do usuário, gerando desconforto. É interessante destacar que apesar da reciclagem ter obtido baixo desempenho mediante a aplicação do questionário, o fato do produto ao final da vida útil ser reaproveitado deve ser um objetivo do administrador em consonância com a legislação ambiental vigente.

Conforme abordado anteriormente, cada fibra tem suas propriedades específicas, sendo que a aramida e o polietileno de ultra alto peso molecular tem vantagens significativas para confecção dos painéis balísticos. As desvantagens de ambos, de deterioração sob a presença de luz solar, são descartadas a partir da adoção de capas de coletes impermeáveis e que forneçam uma boa barreira contra a irradiação ultra violeta. Finalmente, analisando-se o aspecto técnico, os coletes são equipamentos de proteção individual, devendo ser fornecidos a cada servidor, cuja maior vantagem será o prolongamento da vida útil do equipamento, além do conforto e higiene proporcionados ao usuário.

4.2 Correlação da legislação em vigor

Em que pese a legitimidade do Departamento logístico do Exército Brasileiro em baixar normativas sobre a fabricação, uso, vencimento e destruição dos coletes, ainda assim existem algumas legislações que devem ser observadas com atenção, para que o

administrador não incorra em ineficácia administrativa, dentre elas, as que mais se destacam são as que tratam sobre a questão ambiental e destinação de resíduos, sem considerarmos a eficiência administrativa e respeito ao erário.

A NIJ 100.01 não estabelece prazo definitivo ou conclusivo para o fim da vida útil de coletes, sugerindo testes após um período de tempo compreendido entre 3 e 5 anos, dependendo do tipo de uso, indo mais além, recomendando que o prazo de validade passe a contar a partir do uso do equipamento. Infelizmente a portaria 18 do Departamento logístico está na contraposição parcial destas recomendações, determinando puramente a destruição dos coletes balísticos, a partir de prazo de validade do material fornecido pelos fabricantes, ressaltando que os órgãos de segurança pública devem regulamentar a destruição dos coletes com prazo de validade expirado.

Mesmo sob uma legislação restritiva, é notório o potencial técnico e econômico do reaproveitamento da matéria prima dos coletes balísticos. Os resultados apresentados tanto por Padovani et al (2012), quanto pela própria DSM e DuPont apontam para a estabilidade do material, mesmo após o uso intensivo por anos após o vencimento da validade dos coletes, que no Brasil é de apenas cinco anos (independentemente do material empregado). Sob outro ponto de vista, a Portaria 13 do D Log não estabelece prazo de validade para os painéis balísticos na blindagem de veículos, admitindo ainda a recuperação da aramida, em caso de perda total do veículo, para remessa ao fabricante para comercialização das placas em empresa registrada junto ao Exército Brasileiro.

Este fato reforça a hipótese de melhor aproveitamento das fibras de aramida e dos polímeros de alto desempenho, tanto no quesito de validade de uso, como para reutilização da matéria prima, com evidentes vantagens econômicas, que podem chegar a 50 milhões de reais ao ano no Brasil, para cada ano a mais de validade dos coletes, se considerarmos um mercado que no Brasil pode chegar a 400.000 coletes. De outro ponto de vista, o descarte inapropriado pode levar o administrador a cometer, em tese, infração ambiental, pela determinação de queima do material ou picotamento sem maiores cuidados específicos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Os critérios técnicos sobre decomposição de material, desempenho dos painéis estão guardados sigilosamente pelas empresas, deixando o erário, principal consumidor, à mercê de definições comerciais. Este quadro é agravado pelo simples fato de existirem no mercado inúmeros tipos de materiais que possam construir um colete balístico, com materiais de

propriedade notoriamente estáveis, cuja degradação ocorre de em raros casos, determinando tempo de vida útil diferente ao estabelecido pelos fabricantes, e em tese, superiores aos cinco anos previstos pelo acordo da associação nacional de Blindagem.

O prejuízo ao erário é fato marcante, sendo necessária a mudança da atual legislação, determinando que a contagem de tempo seja a partir do uso dos equipamentos, além de permitir a revalidação dos coletes, baseadas na metodologia prevista pela NIJ 101.06.

A determinação de destruição dos coletes de forma prematura, pelo simples fato de término do prazo de validade estipulado pelos fabricantes pode levar a administração a incorrer em atos antieconômicos, uma vez que os tecidos de aramida ou UHMWPE possuem grande valor comercial, são estáveis, e podem ser reutilizados, desde que a legislação seja alterada, em benefício da administração e do usuário. Os valores que hoje são gastos para reposição dos coletes balísticos vencidos, podem ser canalizados para que todos os servidores tenham este material pago de forma individual, e não coletivamente, implicando em desgaste acelerado e muitas vezes uso inapropriado.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jorge A. Cavalcanti; **Planeta Plástico**. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzatto, 2000.

ASHBY, Michael F.; JONES, David R.H.; **Engenharia de Materiais** – v.2. ; tradução de Arlete Simille Marques – Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BERNARDI, Stefania Tesi; **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibras de aramida Kevlar**. Porto Alegre, UFRGS. 2003. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3596/000402339.pdf?sequence=1> – Acessado em 17 de maio de 2012

BILLINGHAM, N.C. **Fundamentals of Degradation and Stabilizations of Polymers**, em: *Handbook of plastic Recycling* (La Mantia, Francesco), Rapra Technology limited, Shawbury, UK, pp 47-51. 2002.

BRADY, George S.; Clauser, Henry R.; Vaccary, Jonh A.; **Materials Handbook**. McGraw-Hill. Fourteenth Edition. 1997.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria n° 18 –D LOG**. Normas reguladoras da Avaliação Técnica, Fabricação, Aquisição Importação e Destruição de Coletes à prova de Balas. Brasília, 2006.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Regulamento para a fiscalização de produtos controlados (r-105)**. Disponível em: <http://www.dfpc.eb.mil.br/>. Acesso em 17 julho de 2010.

BRIGADA MILITAR. **Norma de Instrução Operacional n° 17**. Porto Alegre, Set 2006.

CANEVAROLO Jr, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora, (2002)

CBC; Companhia Brasileira de Cartuchos. **Coletes balísticos**. Disponível em: <http://www.cbc.com.br/coletes-balisticos-subcat-29.html>. Acessado em 21 de outubro de 2013.

DSM; **Fiber, UD and Tape**. Disponível em: <http://www.dyneema.com/americas/explore-dyneema/formats-and-applications.aspx>. Acessado em 29 de outubro de 2013.

DUPONT; **Catálogo Técnico Kevlar n° 464** – DuPont do Brasil S/A. Disponível em: <http://www.impercia.com.br/tecnologias/boletins%20tecnicos/reforco%20estrutural/linha%20Orogertec/kevlar.pdf> - Acessado em 17 de outubro de 2013.

DUPONT; **Technical Guide Kevlar** – (S.D.) Disponível em: http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/assets/downloads/KEVLAR_Technical_Guide.pdf - Acessado em 19 de outubro de 2013.

D.V. Rosato. **Extruding Plastics – A practical processing handbook**. Massachusetts: Chapman & Hall, 1 ed. 1998.

DYNEEMA. **Research Paper Summary PASS 2012**. Disponível em: <http://www.dyneema.com/americas/download-pdf.aspx?download=%7bDF7B6CF4-1B5F-4AC5-86BE-8CB17079D672%7d&page=%7b4DE01661-35A2-4867-819B-DD04230A9FDE%7d> Acessado em 05 de novembro de 2013.

GOMES, Martin Luis; et al. **Uso do colete à prova de balas**. Revista Unidade n° 15. Porto Alegre. IPBM, 1992.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. 2011. **Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração**: Potencial e Desafios. Revista de administração Contemporânea RAC 15 (4): 731-747.

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. **Ballistic Resistance of Personal Body Armor**. NIJ Standard–0101.03. E.U.A. , 1987.

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. **Ballistic Resistance of Personal Body Armor** NIJ Standard–0101.04, E.U.A. 2001.

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. **Ballistic Resistance of Body Armor**. NIJ Standard – 0101.06, E.U.A. 2008.

OLIVEIRA, Cristiane Nunes de; **Validade dos Coletes Balísticos**. Trabalho de conclusão de curso. Brigada Militar, APM – CSPM. Porto Alegre, 2008.

PADOVANI, Michela; MEULMAN, Johannes H; LOUWERS, Dirk. **Effect of Real Aging on Ballistic Articles made of Dyneema® UD**. Netherlands. 2012. Disponível em: <http://www.dyneema.com/americas/download-pdf.aspx?download=%7b13F08A39-DFAF->

[4FAC-8267-B507AA7BA83E%7d&page=%7b4DE01661-35A2-4867-819B-DD04230A9FDE%7d](#) Acessado em 05 de novembro de 2013

PRESTON, J. **High-strength/high-modulus organic fibers**. Polymer Engineering & Science. Volume 15, Issue 3, pages 199–206, Março de 1975

ROSA, Régis Rocha da; *et al.* **Padronização de modelo de colete balístico a ser empregado nas atividades da brigada militar**. Brigada Militar. Porto Alegre, 2007.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia**. – São Paulo: Artliber Editora, 2005.