

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Thalles Argenta Vicente

**Proteção balística: Uma avaliação de alternativas biodegradáveis ao uso da
aramida**

Blumenau

2023

Thalles Argenta Vicente

**Proteção balística: Uma avaliação de alternativas biodegradáveis ao uso da
aramida**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Centro ou Campus do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Têxtil.

Orientador (a): Prof. Dr. Brenno Henrique Silva Felipe

Blumenau

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Argenta Vicente, Thalles
Proteção balística: Uma avaliação de alternativas biodegradáveis ao uso da aramida / Thalles Argenta Vicente ; orientador, Brenno Henrique Silva Felipe, 2023.
49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Fibras de aramida. 3. Proteção balística. 4. Fibras naturais. 5. Compósitos. I. Henrique Silva Felipe, Brenno. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Thalles Argenta Vicente

**Proteção balística: Uma avaliação de alternativas biodegradáveis ao uso da
aramida**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Têxtil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 5 de julho 2023.



Prof.(a) Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Drª.
Coordenação do Curso

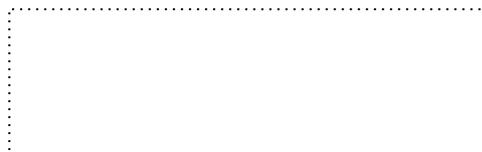
Banca examinadora



Prof. Brenno Henrique Silva Felipe, Dr.
Orientador



Prof. Miguel Angelo Granato, Dr.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.(a) Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Drª.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2023.

Dedico este trabalho e toda a minha jornada na instituição
aos meus pais, meus maiores incentivadores na vida.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos iniciais vão à instituição UFSC, que é a maior referência acadêmica no estado em que nasci, sempre prezando por um ensino de qualidade com professores inteligentes e empenhados.

Agradeço minha mãe Gisele Rupp Argenta Vicente e meu pai Amauri de Souza Vicente, minhas maiores referências na vida, que sempre me ensinaram sobre valores, me apoiaram em todas as decisões, nunca me deixaram faltar nada, me incentivaram nos mais difíceis momentos em que pensei em desistir e que me fizeram ser quem sou hoje.

Agradeço meu irmão Pedro Furlan Vicente, meu parceiro da vida que sempre me deu bons conselhos, me ensinou a ter perseverança e nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço a todos os amigos que construí na universidade, aos colegas com que dividia sala de aula, e aos meus amigos de Joinville, que sempre me mantiveram feliz e nunca me fizeram perder o foco nos meus objetivos.

Ao meu orientador Brenno Henrique Silva Felipe por toda atenção, comprometimento, conhecimento e por ter aceitado esse desafio comigo.

A todos os professores da Universidade Federal de Santa Catarina, e em especial a aqueles com que tive o prazer de ter aula e que me ensinaram um pouco do que levarei para a vida.

Aos professores que compõem a banca de avaliação da pesquisa, por aceitarem e fazerem parte do meu término acadêmico.

“Importante não é ver o que ninguém nunca viu, mas sim pensar o que ninguém nunca pensou sobre algo que todo mundo vê”.

Schopenhauer

RESUMO

Os coletes balísticos utilizados para proteção pessoal são utilizados em situações e profissões de risco, e possuem o objetivo de desacelerar o projétil disparado fazendo com que não chegue até as partes vitais de quem está utilizando. Nesse sentido, são utilizados em grande maioria as aramidas, produto de fabricação sintética que possui propriedades específicas e características modificadas, conhecidas comercialmente como o Kevlar® e Twaron®. Entretanto, quando não possuem mais utilidade (seja pelo seu prazo de validade ou por já não ter mais as mesmas propriedades de proteção), o descarte dessa fibra traz malefícios ao meio ambiente devido seu longo período de decomposição. Em busca de um mundo mais sustentável, o presente trabalho de conclusão de curso visa buscar alternativas à utilização tradicional dos sistemas de blindagem balística, trazendo fibras naturais como possíveis substitutos devido seu potencial biodegradável, renovável e economicamente acessível. Dessa maneira, foi realizado uma pesquisa sobre as características das fibras de curauá, bambu gigante e kenaf. Os testes foram realizados de acordo com as normas impostas pela *National Institute of Justice* que estipula os níveis de proteção de acordo com os resultados de perfuração do teste. As três fibras analisadas apresentaram resultados satisfatórios, alcançando níveis de proteção do nível I ao nível III-A. Sendo assim, pode-se afirmar que as utilizações de fibras naturais em sistemas de blindagem balística podem ser potenciais alternativas ao uso tradicional, trazendo resultados similares com menores impactos ambientais.

Palavras-chave: Fibra de aramida; Fibras naturais; Proteção balística; compósitos.

ABSTRACT

Ballistic vests used for personal protection are employed in high-risk situations and professions, with the goal of slowing down projectiles to prevent them from reaching vital parts of the wearer. In this regard, aramid fibers are predominantly used, which are synthetic materials with specific properties and modified characteristics, commercially known as Kevlar® and Twaron®. However, when these fibers are no longer useful (either due to expiration or loss of protective properties), their disposal poses environmental hazards due to their long decomposition period. In pursuit of a more sustainable world, this final course project aims to explore alternatives to the traditional use of ballistic armor systems, by introducing natural fibers as potential substitutes, given their biodegradability, renewability, and economic accessibility. Thus, research was conducted on the characteristics of curauá, giant bamboo, and kenaf fibers. Tests were performed in accordance with the standards set by the National Institute of Justice, which establishes protection levels based on the results of penetration tests. All three fibers analyzed yielded satisfactory results, achieving protection levels ranging from level I to level III-A. Therefore, it can be concluded that the utilization of natural fibers in ballistic armor systems can be potential alternatives to traditional methods, delivering similar outcomes with reduced environmental impact.

Keywords: Aramid Fiber; Natural Fibers; Ballistic Protection; Composites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de trabalhos por ano de publicação	19
Figura 2 – Colete balístico.....	22
Figura 3 – Configuração de teste de acordo com NIJ 0108.01	23
Figura 4 – Fibra bambu gigante	30
Figura 5 – Fibra de curauá	31
Figura 6 – Fibra de kenaf	32
Figura 7 – Esquema mostrando o SBM para realização do teste balístico	35
Figura 8 – Sistemas SBM após o impacto do projétil	37
Figura 9 – Disposição das camadas híbridas tipo A com uma camada de kenaf e B com duas camadas de kenaf	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão	18
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios PICO	17
Tabela 2 – Utilização para cada tipo de têxtil técnico	20
Tabela 3 – Níveis de proteção dos coletes balísticos	23
Tabela 4 – Denominação dos tipos de Kevlar® e suas características	26
Tabela 5 – Propriedades dos diferentes graus de Kevlar®	26
Tabela 6 – Propriedades mecânicas de Twaron® e Kevlar® 29	27
Tabela 7 – Medição dos resultados de profundidade do SBM.....	35
Tabela 8 – Especificações dos coletes para diferentes SBM	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SBM	Sistema de Blindagem Multicamadas
PEUAPM	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular
NIJ	<i>National Institute of Justice</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2	METODOLOGIA.....	17
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
3.1	TÊXTEIS TÉCNICOS PARA PROTEÇÃO PESSOAL.....	19
3.1.1	Coletes balísticos.....	21
3.2	NORMAS NÍVEIS DE PROTEÇÃO.....	22
3.2.1	Norma NIJ 0101.06.....	22
3.2.2	Norma NIJ 0108.01.....	23
3.3	O IMPACTO AMBIENTAL DOS COLETES NÃO BIODEGRADÁVEIS.....	24
3.3.1	Fibras de aramida (para-aramida).....	24
3.3.2	Dupont™ Kevlar®.....	25
3.3.3	Teijin™ Twaron®.....	26
3.3.4	Fibra de vidro.....	27
3.3.5	Fibra de carbono.....	27
3.3.6	Polietileno de Ultra Alto Peso Molecelular (PEUAPM).....	28
3.4	ALTERANTIVAS SUSTENTÁVEIS PARA PROTEÇÃO BALÍSTICA.....	29
3.4.1	Fibras de bambu.....	29
3.4.2	Fibras de curauá.....	30
3.4.3	Fibras de kenaf.....	31
3.5	BENEFÍCIO DO USO DE FIBRAS NATURAIS.....	32
3.5.1	LIMITAÇÕES FIBRAS NATURAIS.....	33
3.6	COMPÓSITOS.....	33
3.7	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E NÍVEIS DE PROTEÇÃO.....	34
3.7.1	Bambu gigante.....	34
3.7.2	Curauá.....	37
3.7.3	Kenaf.....	38
4	CONCLUSÃO.....	41
5	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A evolução dos coletes à prova de bala é uma história que começa no final do século XIX, com o surgimento dos primeiros protótipos de proteção contra disparos de armas de fogo (TAO, 2017). De lá para cá, o desenvolvimento destes equipamentos passou por diversas fases, tendo como objetivo principal aprimorar a eficiência e a proteção oferecida aos usuários. O primeiro colete à prova de bala foi criado em 1899, sendo feito de couro e metal. Esses primeiros modelos eram extremamente pesados e incômodos, tornando-os inviáveis para uso prolongado. Além disso, eles não eram capazes de proteger contra todos os tipos de armas de fogo, apresentando falhas e limitações (KUMAR, 2016).

Os têxteis voltados para proteção pessoal, também chamados de *ProTech*, são um tipo de tecido técnico utilizado na fabricação de roupas de proteção. Esses materiais são particularmente adequados para profissionais que enfrentam atividades e profissões de risco. Além de fornecer proteção, esses tecidos são projetados para oferecer conforto ao usuário, em outras palavras, as roupas feitas com esses tecidos não só garantem segurança, mas também proporcionam sensação de bem-estar ao usuário (KUMAR; THAKUR, SUMAN, 2017).

De acordo com a publicação de "*The Textile Institute (1954)*", materiais têxteis para proteção pessoal são definidos como tecidos ou estruturas têxteis que fornecem proteção contra vários riscos, incluindo térmicos, químicos, biológicos, mecânicos e radiológicos. Esses materiais são projetados para serem usados em equipamentos de proteção individual (EPIs), como coletes balísticos, luvas, roupas de proteção, capacetes e calçados, e devem atender a especificações e normas de desempenho. Eles podem ser feitos de uma variedade de materiais, como aramida, poliéster, poliamida, fibras naturais, como o algodão e a lã, e fibras de alta tecnologia, como aramida e carbono (DENTON; DANIELS, 2002).

Para a fabricação de coletes balísticos, a fibra mais utilizada atualmente é a fibra de aramida devido suas excelentes propriedades de resistência e tenacidade, sendo o Kevlar® e o Twaron® os mais conhecidos comercialmente. Entretanto, nos últimos anos, os consumidores têm se conscientizado cada vez mais sobre a importância de optar por produtos provenientes de recursos renováveis. Como resultado, tem havido uma busca por alternativas ecologicamente à aramida, especialmente em equipamentos de proteção balística, que necessitam de alta

absorção e dissipação de energia cinética. Sendo assim, as fibras naturais têm despertado interesse de pesquisadores devido à sua grande disponibilidade, baixo custo e facilidade de fabricação (NURAZZI, 2021).

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho busca avaliar possíveis fibras biodegradáveis que substituam parcial ou totalmente o uso tradicional de fibra de aramida em coletes a prova de bala.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o mercado atual dos coletes balísticos;
- b) Pesquisar e analisar as fibras biodegradáveis mais relevantes para proteção balística;
- c) Avaliar o desempenho das alternativas biodegradáveis para a substituição das fibras de aramida para aplicações balísticas;
- d) Comparar o desempenho das fibras biodegradáveis em relação as fibras convencionais de aramida.

2 METODOLOGIA

Neste estudo, busca-se analisar o desempenho de fibras têxteis sintéticas na área da proteção balística, e analisar possíveis alternativas sustentáveis ao uso tradicional da fibra de aramida. Foi possível realizar os critérios da pesquisa a partir da estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultado (*outcome*)) de acordo com a Tabela 1, a qual fornece a evidência científica mais confiável para auxiliar as decisões, formulando adequadamente uma abordagem com intuito de construir a pergunta de pesquisa e conduzir uma busca bibliográfica eficiente (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007).

Tabela 1- Critérios PICO.

Critérios PICO	Descrição
População	Materiais de proteção balística
Intervenção	Adição fibras naturais
Comparação	Materiais convencionais
Resultado (<i>outcome</i>)	Verificar os melhores resultados de absorção de impacto

Fonte: Autor (2023).

Com base na relevância do assunto em questão da pesquisa, utilizou-se duas bases de dados eletrônicos de literatura: Google Acadêmico e o Portal de Periódicos da CAPES. Para a identificação das melhores referências, optou-se por utilizar as duas primeiras páginas das bases de dados, além da ferramenta “artigos relacionados” e “citações” dos artigos em questão. As referências utilizadas tratam-se de monografias e artigos renomados, buscados pelas palavras chaves: Coletes Balísticos (*Ballistic Vests*); Aramida (*Aramid*) e Fibras naturais (*Natural Fibers*), para referências dos últimos vinte e três anos, sendo publicados de 2000 a 2023, em inglês e português. A prática baseada em critérios é uma abordagem essencial e fundamental na criação de protocolos de pesquisa de alta qualidade, pois inclui características adicionais que podem impactar o sucesso do estudo (PATINA; FERREIRA, 2018). O Quadro 1 demonstra os critérios de busca definidos:

Quadro 1 - Critérios de inclusão e exclusão.

Base de dados	Portal de Periódicos da CAPES e Google Acadêmico
Tipo de documento	Artigos e monografias
Área de concentração	Ciência e engenharia têxtil e dos materiais, proteção balística e tecnologia ambiental
Período	2000 - 2023
Idioma	Inglês e português
Critérios de inclusão	Referências que trouxeram alternativas sustentáveis para proteção balística e que demonstraram os testes realizados
Critérios de exclusão	Referências que não demonstram a metodologia nem os ensaios de testes balísticos ou que não atenderam a norma estipulada

Fonte: Autor (2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com intuito de visualizar a disposição anual de pesquisa sobre as fibras naturais e proteção balística, realizou-se um gráfico de colunas mostrado na Figura 1. Ao analisar os dados, é possível afirmar que existe uma maior concentração de publicações no ano de 2021, sendo mais de cem ocorrências, seguido do ano de 2020 com aproximadamente 90 ocorrências e 2022 com aproximadamente 86 ocorrências. Pode-se afirmar que o assunto teve maior destaque no período da pandemia de COVID-19, e que o tema seguiu uma crescente à partir o ano de 2003, reforçando o fato de que sustentabilidade continua sendo pauta de debates futuros.

Figura 1 – Quantidade de trabalhos por ano de publicação.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do Web of Science (2023).

3.1 TÊXTEIS TÉCNICOS PARA PROTEÇÃO PESSOAL

Os têxteis técnicos são materiais estruturais que foram projetados e desenvolvidos com o objetivo principal de atender a requisitos funcionais específicos de diferentes setores da indústria. Ao contrário dos têxteis convencionais, que geralmente priorizam aspectos estéticos e de conforto, os têxteis técnicos têm como foco principal a funcionalidade. Esses materiais podem ser incorporados em outros produtos, contribuindo diretamente para melhorar a resistência mecânica

(desempenho), ou podem ser usados como um elemento para fabricação de outros produtos (LIMA, 2012).

Os têxteis técnicos são desafiadores por sua singularidade, uma vez que é necessário compreender e aplicar os princípios científicos e tecnológicos do campo para oferecer soluções, em especial para problemas de tecnologia e, muitas vezes, para problemas de engenharia. Essa compreensão é essencial para oferecer soluções inovadoras e eficazes que possam atender às necessidades específicas de cada caso (HORROCKS; ANAND, 2000).

Assim, os produtos têxteis podem ser divididos em duas categorias principais: têxteis convencionais e têxteis técnicos. Os têxteis convencionais são desenvolvidos para aplicações comuns, estéticas ou decorativas, enquanto os têxteis técnicos são utilizados para fins funcionais. Estes podem ser classificados em doze grupos, apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 – Utilização para cada tipo de têxtil técnico.

TIPO	UTILIZAÇÃO
<i>PROTECH</i>	Proteção pessoal
<i>AGROTECH</i>	Agricultura, horticultura e pescas
<i>BUILDTECH</i>	Construção e obras públicas
<i>CLOTHTECH</i>	Componentes funcionais para calçado e vestuário
<i>GEOTECH</i>	Geotêxteis e engenharia civil
<i>HOMETECH</i>	Componentes de mobiliário e coberturas de chão
<i>INDUTECH</i>	Filtração e outros produtos para a indústria
<i>MEDTECH</i>	Cuidados de saúde e higiene
<i>MOBILTECH</i>	Construção de veículos de transporte
<i>OEKOTEC</i>	Proteção do meio ambiente
<i>PACKTECH</i>	Embalagem e armazenagem
<i>SPORTECH</i>	Desporto e lazer

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de RASHEED, (2020).

Os tecidos de proteção são materiais têxteis usados na fabricação de roupas de segurança (EPIs) para trabalhadores que atuam em ambientes de risco, oferecendo estabilidade contra chamas, cortes, explosões, impactos, temperaturas extremas, poeira, partículas nocivas, entre outros (LIMA, 2012). Fibras naturais, sintéticas, de alto desempenho, nanofibras e outros materiais funcionais proporcionam excelentes propriedades de proteção e conforto em diferentes condições ambientais, e, quando combinadas, são capazes de alcançar determinadas funcionalidades específicas. A busca pelos têxteis de proteção pessoal possuem alta procura devido a maior preocupação das empresas em reduzir riscos ocupacionais, promover garantia de saúde, segurança e proteção de seus trabalhadores (PAUL, 2019).

3.1.1 Coletes balísticos

A utilização de coletes à prova de balas é atualmente uma prática consolidada no que diz respeito à proteção individual na área de segurança pública, variando de acordo com o nível de proteção balística, vida útil e ergonomia desses materiais. Produzidos principalmente a partir de materiais sintéticos como fibra de aramida e polietileno de ultra massa molecular, estes materiais possuem data de validade de 5 anos em alguns países, sendo gerado um prejuízo de milhões de reais com o descarte do material, além de prejuízos ambientais, tendo em vista que os principais materiais usados neste tipo de produto demoram centenas de anos para se decompor (KONARZEWSKI, 2019).

Os coletes balísticos são criados a fim de absorver ou redirecionar ataques físicos, podendo ser categorizada como armadura macia ou armadura rígida. Elas se distinguem de acordo com a composição e a finalidade desejada. A armadura flexível é constituída pelo agrupamento de camadas de tecidos, podendo ter até 50 camadas, possui peso inferior a 4,5 kg e sua resistência permite suportar impactos de projéteis de até 500 metros por segundo. Já a armadura rígida refere-se à combinação de armadura flexível e placas rígidas, capaz de suportar impactos superiores a 500 m/s, seguindo as normas de blindagem estabelecidas pelo *National Institute of Justice* (NAVEEN, 2018). A Figura 2 mostra o colete balístico com nível III-A de proteção utilizado pela perícia criminal do estado de Santa Catarina.

Figura 2 – Colete balístico.



Fonte: O autor (2023).

3.2 NORMAS NÍVEIS DE PROTEÇÃO

Para a realização e análise dos testes balísticos, existem diferentes normas estimadas pelo NIJ (*National Institute of Justice*) que avaliam o nível de proteção e a forma com que os testes são realizados. Neste trabalho as normas usadas nos testes foram a NIJ 0101.06 e a NIJ 0108.01.

3.2.1 Norma NIJ 0101.06

O padrão NIJ 0101.06 é considerado o mais recente e avançado padrão mundial em termos de proteção balística, impondo requisitos rigorosos ao produto, e atualmente substitui o antigo padrão 0101.04. Os painéis de teste possuem perfuração máxima na face posterior de 44mm, e precisam ser capazes de aguentar o número correto de impactos, já que qualquer perfuração total é considerada uma falha (YANEVA, 2020). Os coletes balísticos com essa especificação são categorizados de acordo com seu nível de proteção em seis tipos: I, II-A, II, III-A, III, IV de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3 – Níveis de proteção dos coletes balísticos.

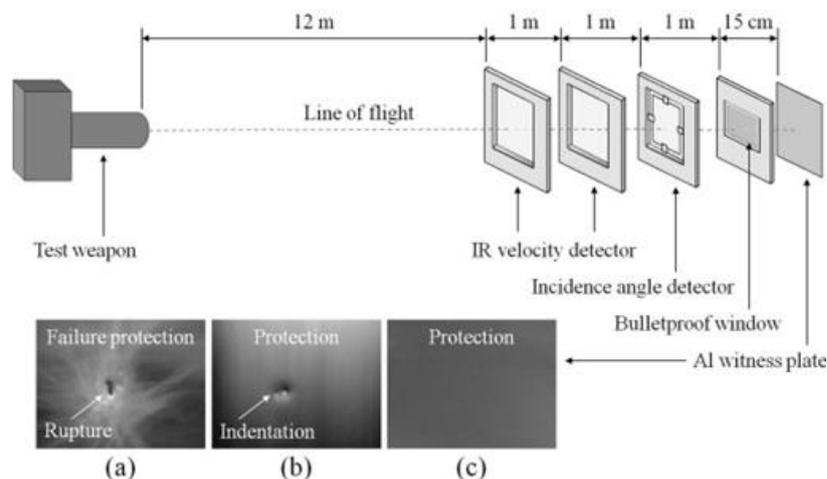
Nível	Calibre	Massa do Projétil (g)	Velocidade (m/s)	Energia (J)
I	.22 LRHV	2,6 ± 0,1	320 ± 10	133,1
	.38 Special RN	10,2 ± 0,1	254 ± 15	329
II-A	9mm FMJ	8,0 ± 0,1	332 ± 12	440,9
	.357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	381 ± 12	740,3
II	9mm FMJ	8,0 ± 0,1	358 ± 15	512,7
	.357 Magnum JSP	10,2 ± 0,1	425 ± 15	921,2
III-A	9mm FMJ	8,0 ± 0,1	426 ± 15	725,9
	.44 Magnum SWC GC	15,6 ± 0,1	426 ± 15	1.415,50
III	7.62x 51 FMJ	9,7 ± 0,1	838 ± 15	3.405,90
IV	.30 – 06 AP	10,8 ± 0,1	868 ± 15	4.068,50

Fonte: *Ballistic Resistance of Body Armor* (2008).

3.2.2 Norma NIJ 0108.01

Esta norma diz questão quanto ao método de preparação dos testes balísticos. Os ensaios realizados utilizando calibres dos níveis I, II-A, II e III-A (Tabela 3) são projetados a uma linha de disparo inicial de 2 metros, enquanto os calibres para os níveis III e IV são projetados a uma distância inicial de 12 metros conforme a Figura 3. Isso acontece devido a velocidade inicial dos projéteis de maior calibre saírem do armamento com velocidade cinética muito superior e por serem utilizados em situações em que o alvo se localize muito mais distante quando comparado a situações dos calibres menores, traduzindo em resultados mais realistas.

Figura 3 - Configuração de teste de acordo com NIJ 0108.01.



Fonte: SHIM (2015). (Adaptado pelo autor).

3.3 O IMPACTO AMBIENTAL DOS COLETES NÃO BIO DEGRADÁVEIS

Anualmente as fibras de aramida são produzidas e consumidas em grandes quantidades, devido ao enorme potencial de utilização. No entanto, isso agrava um problema relacionado à logística reversa do material, ou seja, como reciclá-lo ou reutilizá-lo de maneira adequada. Além da aramida, outras fibras sintéticas como fibra de vidro, fibra de carbono e o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular também são utilizadas em sistemas de proteção e também apresentam um nível significativo de impacto ambiental.

3.3.1 Fibras de aramida (para-aramida)

As fibras aramidadas, especialmente as para-aramidas (também conhecidas como DuPont™ Kevlar® e Twaron®) são notáveis pela sua elevada resistência à tração e módulo de elasticidade específicos. Essas duas características são as principais responsáveis pelo uso em produtos especiais de alto valor agregado e grande distinção no mercado. Trata-se de uma fibra sintética que está disponível em várias formas e com diferentes secções transversais. A *Federal Trade Commission* dos Estados Unidos, define a fibra aramida como sendo uma fibra manufaturada composta por uma longa cadeia de poliamida sintética, onde ao menos 85% das ligações amida estão ligadas diretamente a dois anéis aromáticos (TROMBETTA, 2012).

Nas últimas décadas, os pesquisadores têm demonstrado interesse nas fibras de aramida desde sua criação em 1964, devido às suas características de alto desempenho. Assim como a maioria das fibras, a para-aramida possui baixo alongamento para quebrar, entretanto, o fator que a torna excepcional é a rigidez estrutural, baixa condutividade elétrica e retração térmica, boa resistência a produtos químicos e abrasões (SOCKALINGAM, 2017). Essas fibras, conhecidas por sua estrutura molecular compacta e cadeias poliméricas próximas, apresentam um módulo elevado (aproximadamente 112.400 MPa), demonstram tenacidade e resistência notáveis (aproximadamente 3600 MPa), além de possuir uma densidade considerável (aproximadamente 1,44 gramas por centímetro cúbico) que contribui para as propriedades desejadas da área balística (PRIYANKA; DIXIT; MALI, 2017).

A densidade mais elevada das fibras de aramida desempenha um papel importante na absorção de impactos gerados por projéteis de alta e baixa velocidade. A reação da fibra ao impacto causado é influenciada pelo formato do objeto em colisão, a velocidade do objeto até o ponto de colisão, as propriedades específicas da fibra e pela quantidade de camadas inserida. Em linhas gerais, as primeiras camadas de tecido ao ponto de impacto sofrem forças de compressão e cisalhamento transversal, enquanto as camadas posteriores são submetidas a uma tensão no plano (SOCKALINGAM, 2017).

3.3.2 Dupont™ Kevlar®

Stephanie Kwolek e Herbert Blades, dois pesquisadores que trabalhavam para a empresa DuPont™, desenvolveram em 1965 uma fibra sintética chamada comercialmente de Kevlar®. O produto apresentava diversos benefícios, o que levou à sua introdução comercial no início da década de 1970. O Kevlar® é uma fibra aramida que é produzida a partir de uma poliamida aromática, e destaca-se pelas suas propriedades singulares e pela sua composição química distinta em relação às poliamidas totalmente aromáticas (aramidas) e outras fibras sintéticas encontradas no mercado (DUPONT™, 2007).

O Kevlar® apresenta uma estrutura singular de resistência e módulo elevado, tenacidade e estabilidade térmica, tornando-o ideal para aplicações industriais exigentes. Suas moléculas formam cadeias longas e altamente orientadas, que possuem uma rigidez relativa e tendem a formar folhas planas, similares às da seda, devido a orientação dos anéis de benzeno. Quando o Kevlar® é torcido, as correntes são mantidas juntas por meio de ligações de hidrogênio, formando uma folha com alta resistência à tração. Essas folhas se empilham em um arranjo radial, permitindo interações adicionais entre os grupos aromáticos das folhas vizinhas, contribuindo para aumentar a força da fibra como um todo. A fabricação do Kevlar® é realizada através de uma reação de condensação entre uma amina (1,4-fenileno-diamina) e cloreto de ácido (cloreto de tereftaloila), (KABIR; FERDOUS, 2012). Entretanto, apesar do Kevlar® ser uma fibra singular, existem diferentes propriedades para diferentes tipos de aplicações, conforme mostrado nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Denominação dos tipos de Kevlar® e suas características

Denominação	Tipo de fio
Kevlar 29	Fio para aplicações Industriais (gerais)
Kevlar 49	Fio de alto módulo
Kevlar 68	Fio de módulo intermediário
Kevlar 100	Fio versão colorida
Kevlar 119	Fio de elevado alongamento
Kevlar 129	Fio de elevada tenacidade
Kevlar 149	Fio de extremo alto módulo

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de DuPont™ (2007).

Tabela 5 – Propriedades dos diferentes graus de Kevlar®.

Denominação	Denier/ Filamentos	Diâmetro Filamento (µm)	Densidade (g/cm ³)	Tenacidade (Gpa)	Alongamento (%)	Módulo Elasticidade (Gpa)
Kevlar 29	1,5 - 2,25	12 - 15	1,44	2,9	3,6	70
Kevlar 49	1,5	12	1,45	2,9	2,8	135
Kevlar 68	2,25	15	1,44	3,1	3,3	99
Kevlar 119	1,5 - 2,25	12 - 15	1,44	3,1	4,4	55
Kevlar 129	1,5	15	1,45	3,4	3,3	99
Kevlar 149	1,5	15	1,47	2,3	1,5	143

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de DuPont™ (2007).

3.3.3 Teijin™ Twaron®

Twaron® é uma fibra sintética de alta resistência e módulo elevado criada no começo do ano de 1970 pela empresa holandesa AKZO. A partir dos anos 2000, a fibra Twaron® passou a ser propriedade do grupo Teijin™, com sede em Arnhem, nos Países Baixos. Trata-se de um material composto por fibras de aramida amplamente utilizado em aplicações de blindagem flexível, que compartilha algumas semelhanças com a fibra Kevlar®. Embora essa fibra holandesa de para-aramida tenha sido desenvolvida pouco tempo após o surgimento do Kevlar® da DuPont™, sua introdução no mercado ocorreu muito depois devido a desafios financeiros pela qual a empresa AKZO passava na década de 1970 (LEMSTRA, 2001).

O Twaron® se consolidou como uma opção de fibra de para-aramida para fabricantes que buscam um produto com maior resistência e que sejam leves ao mesmo tempo. Devido suas propriedades mecânicas como estabilidade térmica e durabilidade, o Twaron® consegue fornecer uma vasta gama de melhorias de desempenho, sendo ideal para produtos que visam buscar proteção térmica, proteção balística, proteção química, além dos setores de gás e petróleo (LIU, 2012). A Tabela

6 apresenta algumas das diferenças entre as propriedades mecânicas da fibra de Twaron® e Kevlar® 29.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas de Twaron® e Kevlar® 29.

Fibra	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de tração (Mpa)	Alongamento na ruptura (%)	Densidade (g/cm³)
Twaron®	2800	80000	3,3	1,44
Kevlar® 29	2758	62000	4	1,44

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de SHIM (2001).

3.3.4 Fibra de vidro

As fibras de vidro foram inicialmente produzidas na década de 1930 com a finalidade de trazer soluções para aplicações elétricas e de elevadas temperaturas. Entretanto com o avanço dos estudos e devido suas excelentes propriedades como resistência, rigidez e flexibilidade, sua utilização passou a ser vasta no meio industrial, atuando como compósito polimérico na área automotiva, balística, aviação, entre outros. As fibras podem ser dispostas de diversas maneiras, entre fios, filamentos, tecidos e mantas (SATHISHKUMAR; SATHEESHKUMAR; NAVEEN, 2014). As direções e combinações apropriadas das fibras de vidro proporcionaram características e propriedades funcionais desejáveis, com maior rigidez do que o alumínio e menor densidade em relação ao aço. Os compósitos de fibra de vidro possuem alta resistência em comparação com outras matrizes poliméricas além de serem mais vantajosos financeiramente, sendo apropriados para se unir a compósitos voltados para a área de proteção balística (MORAMPUDI, 2021). Entretanto, além de sua decomposição não ser biológica, quando são submetidas a altas temperaturas liberam partículas finas que representam riscos à saúde humana, o que pode causar irritação nos pulmões e nas vias respiratórias, devido a presença de substâncias tóxicas como a sílica, que agrava ainda mais os riscos à saúde humana (BON, 2006).

3.3.5 Fibra de carbono

Acredita-se que Thomas Edison tenha sido o pioneiro no uso de filamentos de fibra de carbono enquanto desenvolvia a lâmpada incandescente em 1879, e relatos apontam que Bacon foi o responsável por sua primeira comercialização (NEWCOMB,

2016). Dentre as diversas categorias de compósitos poliméricos, a fibra de carbono se destaca pelo seu potencial de reforço, no qual a carga é transferida e distribuída pelas fibras através da matriz polimérica, o que resulta em uma maior eficiência (DAS; GHOSH, 2019). A utilização crescente da fibra de carbono se deve à sua resistência e módulo elevados, os quais são transferidos para as propriedades do compósito final, sendo apropriados para utilização em compósitos cuja finalidade seja destinada a área balística (NEWCOMB, 2016). A explicação para o aprimoramento das propriedades dos compósitos poliméricos reforçados com fibra de carbono reside na interação robusta entre a fibra de carbono e o polímero, o que resulta em características excelentes para aplicações estruturais (DAS; GHOSH, 2019). Entretanto, quando essas fibras são submetidas a altas temperaturas, ocorre o processo de decomposição, que pode apresentar consequências indesejáveis. Durante esse processo, podem ser liberados gases tóxicos, como monóxido de carbono e dióxido de enxofre, que representam riscos para o meio ambiente e para a saúde humana. Além disso, a decomposição das fibras de carbono pode resultar na formação de resíduos sólidos, como cinzas, que podem ser difíceis de serem adequadamente eliminados (KARTHIKEYAN, 2017).

3.3.6 Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM)

O polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) possui cadeias longas e entrelaçadas, o que o diferencia de outros polímeros. Conhecido comercialmente como Dyneema®, essa fibra é fabricada pela empresa holandesa Dutch State Minea (DSM) sob a forma de filamentos por meio do processo de fiação em gel. Suas vantagens incluem excelente capacidade de deslizamento, resistência ao impacto, fadiga e abrasão, além de unir leveza, força excepcional, flexibilidade e grande capacidade de absorver energia, o que os tornam extremamente apropriados para aplicação em materiais sujeitos a cargas de impacto, como coletes a prova de bala. (KARBALAIE; YAZDANIRAD; MIRHABIBI, 2012). Entretanto, pelo fato do PEUAPM se tratar de um plástico altamente estável, a sua biodegradação não acontece facilmente ou simplesmente não ocorre. Nessas situações, para sua decomposição é necessário ser submetido a exposição a altas temperaturas, trazendo a queima de diferentes compostos químicos nocivos à saúde humana (COELHO, 2016).

3.4 ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA PROTEÇÃO BALÍSTICA

Os tecidos de fibras sintéticas mais utilizados na atualidade para proteção e defesa pessoal contra munições de alta energia são tecidos de fibras sintéticas, como aramida (Kevlar® e Twaron®), assim como PEUAPM (Dyneema®) (WANG, 2014). Todavia, devido ao objetivo de aprimorar o desempenho ou levar em consideração as novas questões ambientais e econômicas, diferentes materiais leves estão sendo testados constantemente (WAMBUA, 2007).

Com o intuito de substituir as fibras sintéticas, propõe-se o uso de fibras biodegradáveis, visando diversos benefícios, tais como características ambientalmente amigáveis, econômicas, esteticamente agradáveis, sustentáveis e resistentes. As fibras biodegradáveis são normalmente extraídas de fontes vegetais, e classificadas de acordo com diferentes partes da planta como raízes, folhas e casca (CRUZ, 2015). A capacidade das fibras naturais é vasta, e, por esse motivo, tem havido um crescente interesse em materiais sustentáveis para explorar o potencial uso dessas fibras como alternativa às fibras sintéticas. Dessa forma, a combinação de fibras naturais com fibras sintéticas trará propriedades mais atrativas para engenharia, as quais são difíceis de serem obtidas apenas com as fibras individuais (LA MANTIA; MORREALE, 2011). Neste contexto, diversos estudos têm apontado que os compósitos reforçados com Kenaf, Curauá e Bambu, entre outras fibras vegetais se mostram potenciais alternativas a serem incorporados em proteções de blindagem balística.

3.4.1 Fibras de bambu

Entre as vegetações amplamente exploradas pela engenharia, destaca-se o renomado bambu, caracterizado por sua estrutura de colmos robustos, que apresenta grande potencial como material balístico resistente. Assim como qualquer outra planta, o bambu é composto essencialmente por microfibrilas de celulose envoltas por hemicelulose e lignina (MONTEIRO; NEVES, 2011). A estrutura interna do colmo de bambu apresenta uma microarquitetura singular, constituída por células rígidas do tecido esclerênquima, dispostas longitudinalmente e formando microfibrilas de celulose que circundam os vasos responsáveis pelo transporte de água e nutrientes (LO; CUI; LEUNG, 2004). Devido a fibra do bambu gigante (Figura 4) apresentar

excelentes propriedades mecânicas, como densidade comparativamente reduzida, rigidez e notável resistência à tração e flexão, o colmo de bambu e a fibra extraída dele são empregados há muito tempo em diversas aplicações na engenharia. Como um recurso natural abundante em regiões tropicais e temperadas, especialmente na Ásia e na América Latina, o bambu está gradualmente substituindo o plástico em setores como construção civil, fabricação de móveis e componentes leves para veículos e sendo usado como material de reforço em sistemas de proteção (SHIBATA; CAO; FUKUMOTO, 2008).

Figura 4 – Fibra bambu gigante.



Fonte: MONTEIRO, (2017).

3.4.2 Fibras de Curauá

Pode-se destacar a fibra extraída da planta amazônica *Ananas erectifolius*, conhecida como curauá, devido seu baixo peso, alto módulo, alta resistência e tenacidade. Cultivada nas proximidades dos rios da região amazônica, essa planta gera uma fibra extremamente resistente, que, quando combinada com polímeros, possibilita a criação de produtos de baixa densidade, abrindo a possibilidade para diversas aplicações significativas (ZAH, 2007). Os compósitos de fibra de curauá, além de apresentarem bom desempenho, têm o potencial de substituir os tecidos tradicionais de fibras sintéticas sendo utilizado como parte do compósito nas camadas secundárias de blindagem de proteção. Por se tratar de uma fibra natural, esses compósitos de fibra de curauá são econômicos, leves e ambientalmente amigáveis (ZAH, 2007). A fibra de curauá (Figura 5) apresenta propriedades físicas e mecânicas superiores em comparação outras fibras naturais como sisal, juta e fibras de coco, que

são frequentemente utilizadas em compósitos poliméricos. Entre as fibras vegetais comumente usadas nesses compósitos, a fibra de curauá se destaca por seu comportamento mecânico semelhante ao da fibra de vidro, o que a torna uma excelente alternativa para aplicações estruturais (ORNAGHI, 2011).

Figura 5 – Fibra de curauá.



Fonte: NETA, (2015).

3.4.3 Fibras de kenaf

O kenaf (*Hibiscus cannabinus*) é uma planta herbácea da família *Malvaceae* que cresce em regiões temperadas e tropicais e tem sido reconhecido como uma valiosa fonte de fibras para compósitos e diversas aplicações industriais (AYADI, 2017). Essa planta é amplamente conhecida por sua abundante celulose, oferecendo vantagens econômicas e ambientais significativas. Em apenas três meses após o plantio das sementes, o kenaf é capaz de crescer em uma vasta diversidade de condições climáticas, atingindo alturas superiores a 3 metros e com um diâmetro de base variando de 3 a 5 centímetros (AZIZ, 2005). As propriedades e os filamentos das fibras podem apresentar diferenças, devido as diferentes técnicas de extração, fontes, idade das plantas e das características específicas das fibras. Antigamente, o destaque do uso da fibra (Figura 6) era utilizado restritamente para a produção de papel, porém nas últimas décadas os estudos mostram que o kenaf é polivalente e pode ser aplicado em diversas áreas industriais (FALASCA; ULBERICH; PITTA-ALVAREZ, 2014). As propriedades mecânicas da fibra de kenaf incluem resistência à tração, tenacidade e dureza, o que os torna adequados para aplicação em materiais de alto desempenho. Testes mecânicos e pesquisas demonstraram essas propriedades, possibilitando uma variedade de aplicações, como na indústria automotiva, equipamentos de proteção, incluindo fios, tecidos e cordas. (COETZEE; LABUSCHAGNE; HUGO, 2008).

Figura 6 – Fibra de kenaf.



Fonte: LAM; YATIM, (2015).

3.5 BENEFÍCIO DO USO DE FIBRAIS NATURAIS

As para-aramidas e o PEUAPM são exemplos de fibras de alto desempenho amplamente usados em aplicações balísticas, como capacetes, coletes e outros sistemas de blindagem, com o objetivo de proteger os soldados contra lesões traumáticas graves causadas pelo impacto de projéteis. No entanto, o descarte destas fibras pode prejudicar o meio ambiente e, portanto, tem sido explorada a possibilidade de substituí-las por materiais mais leves e ecológicos que apresentem propriedades mecânicas similares e, ao mesmo tempo, tenham características biodegradáveis. (NAVEEN; JAYAKRISHNA; HAMEED; MUHAMMAD, 2020).

A utilização de fibras naturais foi incentivada pela regulamentação do “fim da vida útil” na Europa e na Ásia (HOLBERY; HOUSTON, 2006). Optar pelo uso de fibras naturais apresenta diversas vantagens, tais como leveza, não serem abrasivas ou corrosivas, terem capacidade de entrar em decomposição naturalmente, custo acessível, possuírem maior resistência e rigidez em relação a outros materiais, além de serem facilmente recicláveis (NAVEEN; JAYAKRISHNA; HAMEED; MUHAMMAD, 2020).

Os coletes blindados monolíticos feitos de tecidos de aramida ou aço exigem uma grande espessura, o que afeta a mobilidade e o conforto do usuário. Já os materiais compósitos (que consistem em polímeros de fibras naturais) caso sejam projetados de maneira eficaz, podem oferecer maior comodidade ao usuário, além de serem mais sustentáveis ao meio ambiente (WANG; KANESALINGAM; NAYAK; PADHYE, 2014). Algumas das características que fazem com que as fibras naturais sejam uma opção atrativa em relação às fibras sintéticas são o seu baixo custo, peso reduzido, riscos mínimos à saúde durante o processamento e decomposição,

capacidade de se biodegradarem, bem como a sua resistência e módulo específicos satisfatórios (KARAHAN, 2008).

3.5.1 Limitações do uso de fibras naturais

O comportamento hidrofílico das fibras naturais é uma das principais limitações para seu uso como reforço polimérico, pois isso as torna incompatíveis com as matrizes poliméricas. A presença de grupos hidroxila em grande quantidade faz com que as fibras naturais apresentem características hidrofílicas, o que resulta em altos níveis de umidade absorvida, podendo chegar a valores entre 30 a 95% de umidade relativa (COLINA; NORTON; NEWMAN, 2009). Esse comportamento altamente hidrofílico das fibras naturais afeta a interação e a compatibilidade com as matrizes poliméricas hidrofóbicas, resultando em compósitos com propriedades reduzidas (NURAZZI, 2021).

Ao utilizar fibras naturais em seu estado bruto, é comum encontrar desvantagens como alta absorção de água, células mortas, cera e óleo, pois elas são incompatíveis com polímeros. Para solucionar esse problema, é necessário modificar a superfície das fibras naturais. A finalidade principal dessa modificação é aprimorar suas propriedades, para que elas possam oferecer uma maior resistência em sistemas compósitos. Esse tipo de alteração é realizado por meio de tratamentos químicos, enzimáticos, por corona ou plasma, ou ainda pela adição de agentes de acoplamento (JORGE; MUSSONE; ALEMASKIN; CHAÉ; WOLODKO; BRESSLER, 2016). Em geral, tais tratamentos têm como foco a parte amorfa da região da celulose, que está presente em múltiplos grupos hidroxila. Essa região confere uma natureza polar à fibra, o que resulta em uma fraca ligação com a matriz polimérica. Dessa forma, a modificação da superfície tem como objetivo reduzir a natureza polar da fibra, diminuindo ou removendo os grupos hidroxila e aumentando a adesão fibra-matriz, o que contribui para melhorar suas propriedades mecânicas (KENNED; KUMAR, 2020).

3.6 COMPÓSITOS

Um compósito é um material que consiste na combinação de dois ou mais componentes, chamados de fase contínua e fase dispersa, que possuem diferentes formas e composições químicas e que não se dissolvem um no outro. O componente

contínuo, também conhecido como matriz, é responsável pela aparência e características superficiais do material, bem como por proteger o reforço contra danos externos e transmitir cargas ao elemento de reforço. O reforço, por sua vez, é responsável pela resistência mecânica e é caracterizado pela sua forma, que pode ser particulada ou fibrosa (HSISSOU, 2021).

Do ponto de vista tecnológico, é possível afirmar que os materiais compósitos são, em geral, produzidos com o intuito de aprimorar as características do produto final em relação às propriedades individuais dos componentes constituintes. O objetivo é produzir materiais únicos com propriedades específicas que atendam às demandas de mercado em constante evolução, ou seja, um compósito que combine desempenho mecânico, térmico e químico com leveza e durabilidade (OLADELE; OMOTOSHO; ADEDIRAN, 2020).

Frequentemente, as propriedades necessárias para um compósito específico não podem ser alcançadas usando apenas um tipo de reforço. Nessas situações, a modificação superficial dos reforços ou a combinação de diferentes tipos de reforços são técnicas empregadas para obter as propriedades desejadas (HSISSOU, 2021).

3.7 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E NÍVEIS DE PROTEÇÃO

3.7.1 Bambu gigante

Cruz (2015) conduziu um teste para avaliar o desempenho balístico de armaduras compostas por multicamadas. Essas camadas eram compostas por uma cerâmica na parte da frente, um material composto intermediário e liga de alumínio na camada externa. Realizou-se testes balísticos com armamentos de alta energia cinética e avaliados os resultados pela profundidade de penetração em uma testemunha de argila. Os testes balísticos foram realizados em três sistemas de blindagem multicamadas (SBM) diferentes, todas com uma placa inicial de cerâmica obtida através da sinterização do pó de óxido de alumínio com pó de óxido de nióbio realizada a 1.400°C num período de 3 horas e uma folha de liga de alumínio na camada externa traseira, conforme a Figura 7. Como camada intermediária, foram usadas placas compostas de 70% epóxi reforçadas com 30% de fibras alinhadas de bambu gigante, placas de epóxi lisas e placas com 16 camadas de fibra de aramida (Kevlar®), todas com a mesma espessura.

Figura 7 – Esquema mostrando o SBM para realização do teste balístico.



Fonte: BRAGA, (2017). (Adaptado pelo autor).

Os testes balísticos foram conduzidos nas instalações de campo de tiro localizada na península da Marambaia, no Rio de Janeiro, sob supervisão do Exército Brasileiro com uma munição calibre 7,62 × 51 mm padrão OTAN, contendo um projétil de cobre com massa de 9,7 g. Para simular a proteção de um corpo pessoal pelo sistema de blindagem multicamadas, um bloco de argila testemunha foi colocado em contato direto com a camada final no verso da folha de alumínio. A deformação plástica imposta pelos fragmentos resultantes do impacto do projétil na folha de alumínio foi repassada para argila, refletindo a profundidade de penetração. Foram realizadas ao menos 10 medições, e os valores obtidos apresentaram índices de confiança superiores a 90%, utilizando o método estatístico Weibull com auxílio de um paquímetro Mitutoyo de precisão 0,01 mm.

Tabela 7 – Medição dos resultados de profundidade do SBM.

Camada material intermediário	Profundidade penetração (mm)
Aramida	22,67
Epóxi reforçado com 30% de fibra de bambu	17,58
Epóxi simples	19,84

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Cruz, (2015).

Os três materiais analisados (Tabela 7) no experimento demonstraram valores significativos abaixo do valor mínimo de profundidade de penetração de 44 milímetros estipulado pela norma americana NIJ-0101.06 para avaliar o nível de proteção do SBM em coletes à prova. O projétil se fragmentou ao colidir com a camada inicial de cerâmica, e teve a energia cinética dissipada ao percorrer a camada intermediária (fibra e epóxi), o que impediu que a munição perfurasse o alvo. Dentro da faixa de

precisão estabelecida pelo método de Weibull, os testes realizados com o compósito de fibras de bambu e epóxi apresentaram uma penetração de 18mm na última camada, sendo inferior à do tecido de aramida e ao epóxi simples, indicando um desempenho balístico aproximadamente 22% superior ao da fibra de aramida. Os resultados obtidos demonstraram um nível de proteção classificado em III-A. Considerando que a aramida é substancialmente mais resistente do que o epóxi e as fibras de bambu gigante, os resultados obtidos pelos autores são satisfatórios, visto que a absorção de energia de impacto pelo compósito reforçado com fibra de bambu gigante se demonstrou mais eficiente do que os observados no tecido de aramida. Ademais, o compósito de bambu gigante é notavelmente mais leve, econômico (Tabela 8) e sustentável, portanto pode se tornar uma alternativa viável ao uso convencional de fibra de aramida em sistemas de proteção balístico.

Tabela 8 – Especificações dos coletes para diferentes SBM.

Composição do colete	Peso total do colete (kgf)	Custo total do colete (US\$)
Aramida	1,884	64,62
Bambu gigante + epóxi	1,805	44,51
Porcentagem de redução (%)	4,2	31,1

Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Cruz, (2015).

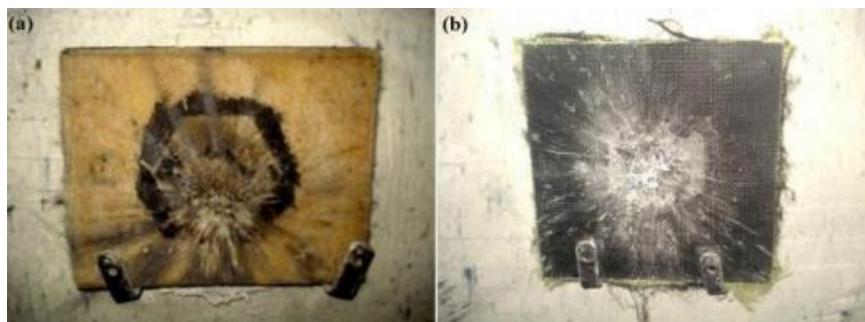
Em outro trabalho, Ali (2019) realizou um teste balístico utilizando um compósito de 18 camadas de bambu, 4 camadas de fibra de vidro e poliéster insaturado, sendo o poliéster a matriz e o bambu e fibra de vidro as fibras de enchimento. O teste foi realizado no complexo Centro de Ciência e Tecnologia de Defesa Divisão de Tecnologia de Armas em Butu Arang na Malásia, com um armamento 357 Magnum JSP e 9 mm FMJ de acordo com NIJ 0101.06. Os testes foram feitos medindo a velocidade de penetração do projétil e comparado com os dados dos níveis de proteção. Seguindo o padrão militar do ML-STD-6682, o compósito foi capaz de suportar o projétil até 482 m/s, que é mais do que a velocidade mínima para se qualificar para o nível III-A da norma 0101.06. Sendo assim, nesse estudo a utilização da fibra de bambu foi uma alternativa viável para a substituição parcial em sistemas de proteção balístico, devido suas excelentes propriedades mecânicas e pelo seu caráter sustentável, especialmente pelo seu caráter biodegradável e seu poder de fixação do dióxido de carbono.

3.7.2 Curauá

Braga (2017) avaliou dois SBM contendo uma camada inicial de cerâmica, uma camada intermediária, uma camada externa de liga de alumínio e uma testemunha de argila a fim de avaliar os resultados obtidos. A camada inicial de cerâmica foi obtida através da sinterização do pó de óxido de alumínio com pó de óxido de nióbio realizada a 1.400°C num período de 3 horas e uma folha de liga de alumínio na camada externa traseira, mesmo esquema (Figura 7) utilizado no teste de Braga (2017) com a fibra do bambu gigante. Como camada intermediária, foram feitos testes em duas SBM diferentes a fim de comparar os resultados, sendo uma composta de 70% epóxi reforçadas com 30% de fibras de curauá, e a outra contendo 18 laminados de aramida (Kevlar®). O tecido de curauá dispõe-se em fibras finas aleatoriamente orientadas, que traduz em elevadas propriedades mecânicas devido ao menor número de estruturas danificadas da fibra em seu caráter natural.

Os testes balísticos foram realizados seguindo as diretrizes da norma americana NIJ-0101.06 para avaliar o nível de proteção do SBM em coletes à prova, com uma munição calibre 7,62 x 51 mm padrão OTAN.

Figura 8 – Sistemas SBM após o impacto do projétil
a) placa de epóxi e curauá; b) laminado de aramida.



Fonte: BRAGA, (2017).

De acordo com o autor (Braga), tanto o SBM contendo epóxi/curauá quanto o SBM contendo o laminado de Kevlar®, foram eficazes nos testes balísticos realizados (Figura 8). O curauá, por se tratar de uma fibra natural disposta aleatoriamente, apresentou excelentes resultados ao manter sua integridade após o impacto com penetração de 28mm na camada posterior, enquanto o laminado de Kevlar® apresentou uma penetração de 21mm. Apesar do resultado da fibra de curauá/epóxi

ser inferior ao do laminado de Kevlar®, ambos mantiveram os padrões dentro da norma NIJ-0101.06 de 44mm atingindo nível III-A de proteção e uma similaridade visual dos resultados obtidos, aonde nenhuma das placas se fragmentou.

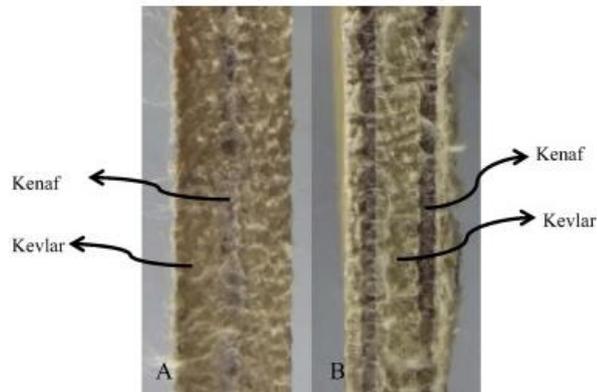
Em outro estudo, Monteiro (2015) avaliou a performance balística de um sistema semelhante, um com camada de epóxi simples, outro com 70% epóxi e 30% e outro apenas de aramida a fim de comparar resultados. O compósito epóxi/curauá apresentou o melhor resultado com 17,3 mm de penetração, correspondendo um trauma aproximadamente 30% inferior ao da fibra de aramida com 22,67 mm e aproximadamente 20% a menos do que do epóxi simples com 20,69 mm. Todos os testes atingiram nível III-A de proteção, mas os resultados reforçam as excelentes propriedades mecânicas da fibra de curauá quando embebidas em uma matriz epóxi.

De acordo com o autor (Monteiro), esses resultados surpreendentes são possíveis devido a absorção de energia entre as diferentes camadas, tanto na primeira camada de cerâmica, quanto na segunda camada epóxi/curauá. A camada de cerâmica inicial é responsável pela maior dissipação de energia, a qual é estilhaçada e reduz a velocidade de propagação para a camada posterior, enquanto a camada de epóxi/curauá se fragmenta em fibrilas mais finas contribuindo para a absorção da energia de impacto.

3.7.3 Kenaf

Yahaya (2016) realizou uma avaliação do compósito híbrido kenaf-Kevlar® a fim de analisar a velocidade de impacto balístico e energia de absorção do material. O estudo em questão realizou três testes, o primeiro com 14 camadas de trama simples do Kevlar® 129 e duas camadas de kenaf com 2,88 mm de espessura, o segundo também com 14 camadas de trama simples de Kevlar® 129 mas com apenas uma camada de kenaf com 2,88mm de espessura (Figura 9), e o terceiro a fim de comparações de resultados, com apenas 8 camadas de Kevlar® e epóxi simples.

Figura 9 – Disposição das camadas híbridas tipo A com uma camada de kenaf e B com duas camadas de kenaf.



Fonte: YAHAYA, (2016).

O teste foi conduzido no Instituto de Pesquisa em Ciência e Tecnologia para Defesa na cidade de Batu Arang na Malásia, utilizando um simulador de fragmento OTAN calibre 22 (diâmetro de 5,4mm) com as amostras impactadas de acordo com o padrão militar MIL-STD-662F e seguindo a norma padrão de teste NIJ 0108.01 e os resultados avaliados de acordo com a norma NIJ 0101.06. Os parâmetros utilizados para a análise dos resultados obtidos foram a energia total de absorção e a velocidade de impacto balístico, do qual o valor da velocidade de impacto é obtido através da média entre os três valores de velocidade mais altos de penetração parcial e os três valores de velocidade mais baixo de penetração completa. A partir dos resultados obtidos, o autor evidencia que a maior média de velocidade de impacto balístico foi observada na amostra B de 12,7mm de espessura com velocidade de 452 m/s e energia de absorção de 110 J, enquanto a amostra A de 10,43mm de espessura e com apenas uma camada de kenaf, apresentou velocidade de 295 m/s e energia de absorção de 85 J. Sendo assim, os resultados mostram que a amostra B apresentou resultados mais satisfatórios atingindo nível I de proteção balística. A fins de comparação de resultado, os testes realizados com apenas 8 camadas de Kevlar® epóxi simples, apresentaram resultados inferiores aos da fibra de kenaf híbridos, com velocidade de 297m/s, energia de absorção de 49,4 J e espessura de 4,22mm. Essa situação ocorre devido ao fato de que compósitos híbridos com maior espessura pode oferecer uma resistência maior à penetração do projétil, ou seja, uma redução da velocidade residual e uma maior absorção da energia cinética do projétil. Entretanto, o autor afirma que mais estudos devem ser realizados para garantir

segurança e viabilidade da utilização da fibra de kenaf em sistemas balísticos híbridos, mas não descarta a eficiência e potencial da fibra em questão, tendo diversas utilidades quanto trata-se de resistência e sustentabilidade.

Em outro trabalho, Akubue (2015) também realizou testes balísticos com a fibra de kenaf. O autor utilizou silano para combinar 30% da fibra hidrofílica de kenaf com a matriz hidrofóbica de PEUAPM a fim de produzir um compósito com excelentes propriedades. Os testes foram realizados seguindo a norma NIJ 0101.06 utilizando uma espingarda Jojeff Magnum com velocidade de referência de 440m/s, uma argila de testemunha na face posterior do material de suporte e um paquímetro para análise dos resultados. Após a coleta dos resultados obtidos, o autor aponta uma deformação de 24,05 mm, sendo abaixo da deformação máxima de 44 mm apontada pela norma NIJ 0101.06 e por isso o compósito pode ser considerado resistente a perfurações em nível III-A. A resistência deste compósito pode ser explicada pelo valor elevado de pressão aplicado, à medida que as fibras individuais são comprimidas, resulta em uma maior sobreposição entre as fibras, o que, por sua vez, melhora a orientação e o arranjo fibra a fibra.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi possível realizar uma revisão das alternativas sustentáveis ao uso tradicional de compósitos em coletes balísticos com fibras naturais que tenham desempenho semelhantes à aramida. O estudo foi conduzido para avaliar a utilização de fibras naturais como elemento de reforço em misturas de polímeros, levando em conta as exigências e circunstâncias particulares dessas fibras a fim de aprimorar a composição de compósitos poliméricos em sistemas de proteção balística.

Do ponto de vista sustentável, a utilização de sistemas de proteção com fibras naturais é uma prática que possui potencial de proporcionar vantagens ambientais em relação aos convencionais sistemas de blindagem sintética, além de impulsionar o desenvolvimento econômico em regiões rurais, através do aumento do cultivo de fibras naturais.

Além do caráter sustentável das fibras naturais, todos os resultados dos testes balísticos apresentados para as fibras de bambu, curauá e kenaf foram satisfatórios, apresentando variações entre os níveis I e III-A de proteção, o que reafirma as excelentes propriedades mecânicas das fibras apresentadas. Dentre as três fibras, os resultados mais notórios foram os realizados com as fibras de bambu e curauá, que apresentaram nos dois testes o nível de proteção III-A, que se trata do maior nível de proteção em blindagens macias, protegendo o usuário em situações cotidianas contra balas de curto alcance. Visto isso, motivos técnicos e sustentáveis respaldam a substituição do uso singular das fibras de aramida em sistemas de blindagem por compósitos hibridizados fortalecidos com fibras biodegradáveis.

Durante as pesquisas para realização do trabalho, ficou evidente que existem poucos artigos que trazem o assunto de forma concreta em situações reais. Pelo fato de os resultados obtidos pelos autores terem sido satisfatórios, é possível afirmar que existe uma viabilidade notória na substituição de blindagens de aramida por compósitos hibridizados com fibras biodegradáveis. De maneira geral, esta avaliação forneceu dados que podem servir de debate para novos testes balísticos serem realizados. A fim de assegurar a viabilidade do uso desses materiais em aplicações reais, são necessários estudos adicionais com intuito de avaliar o impacto de outros fatores nas propriedades balísticas de compósitos híbridos que combinam fibras naturais e sintéticas.

5 REFERÊNCIAS

ALI, Aidy et al. Ballistic impact properties of woven bamboo-woven E-glass-unsaturated polyester hybrid composites. **Defence Technology**, v. 15, n. 3, p. 282-294, 2019.

ASYRAF, M. R. M. et al. Potential application of green composites for cross arm component in transmission tower: A brief review. **International Journal of Polymer Science**, v. 2020, p. 1-15, 2020.

AZIZ, Sharifah H. et al. Modified polyester resins for natural fibre composites. **Composites Science and Technology**, v. 65, n. 3-4, p. 525-535, 2005.

BALISTI, NANOTEHNOLOGIJA ZA; MATERIALE, N. E. Nanotechnology for ballistic materials: from concepts to products. **Materiali in tehnologije**, v. 47, n. 3, p. 267-271, 2013.

Ballistic Resistance of Body Armor, NIJ Standard-0101.06, July 2008.

BON, Ana MT. Exposição ocupacional à sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias, no município de São Paulo. **São Paulo**, 2006.

COELHO, Marília Botelho. Compósitos de polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) com casca de arroz. 2016.

Coetzee, R., Labuschagne, M. T., & Hugo, A. (2008). Fatty acid and oil variation in seed from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.). *industrial crops and products*, 27(1), 104-109.

CRUZ, Renato Batista da et al. Giant bamboo fiber reinforced epoxy composite in multilayered ballistic armor. **Materials Research**, v. 18, p. 70-75, 2015.

DA SILVA, M. V. et al. Blindagens cerâmicas para aplicações balísticas: uma revisão. **Cerâmica**, v. 60, p. 323-331, 2014.

DE OLIVEIRA BRAGA, Fábio et al. High energy ballistic and fracture comparison between multilayered armor systems using non-woven curaua fabric composites and aramid laminates. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 6, n. 4, p. 417-422, 2017

DENTON, Michael James; DANIELS, Paul N. **Textile terms and definitions**. Textile Institute, 2002.

Falasca, S. L., Ulberich, A. C., & Pitta-Alvarez, S. (2014). Possibilities for growing kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in Argentina as biomass feedstock under dry-subhumid and semiarid climate conditions. *Biomass and bioenergy*, 64, 70-80.

GLÓRIA, Gabriel Oliveira et al. Charpy impact tests of epoxy composites reinforced with giant bamboo fibers. **Materials Research**, v. 18, p. 178-184, 2015

HEARLE, J. W. S. **High-Performance Fibers**. Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, Boca Raton: USA. 2001.

HILL, Callum AS; NORTON, Andrew; NEWMAN, Gary. The water vapor sorption behavior of natural fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 112, n. 3, p. 1524-1537, 2009.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Elsevier, 2000.

HSISSOU, Rachid et al. Polymer composite materials: A comprehensive review. **Composite structures**, v. 262, p. 113640, 2021.

ILYAS, R. A. et al. Effect of hydrolysis time on the morphological, physical, chemical, and thermal behavior of sugar palm nanocrystalline cellulose (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr). **Textile Research Journal**, v. 91, n. 1-2, p. 152-167, 2021.

ILYAS, R. A. et al. Sugar palm (*Arenga pinnata* [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties. **Polymer Composites**, v. 41, n. 2, p. 459-467, 2020.

Jorge, M.; Mussone, PG; Alemaskin, K.; Chaé, M.; Wolodko, J.; Bressler, DC Fibras naturais tratadas enzimaticamente como agentes de reforço para material biocompósito: Caracterização mecânica, térmica e de absorção de umidade. *J. Mater. ciência* 2016 , 51 , 2677–2686.

KABIR, R. Bin; FERDOUS, Nasrin. **Kevlar-the super tough fiber**. **International journal of textile science**, v. 1, n. 6, p. 78-83, 2012.

KARAHAN, Mehmet. Comparison of ballistic performance and energy absorption capabilities of woven and unidirectional aramid fabrics. **Textile Research Journal**, v. 78, n. 8, p. 718-730, 2008.

KARBALAIE, M.; YAZDANIRAD, M.; MIRHABIBI, A. High performance Dyneema® fiber laminate for impact resistance/macro structural composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 25, n. 4, p. 403-414, 2012.

KARTHIKEYAN, S. et al. A review on tribological properties of natural fiber based sustainable hybrid composite. **Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part J: journal of engineering tribology**, v. 231, n. 12, p. 1616-1634, 2017.

KENNED, Jack J.; SANKARANARAYANASAMY, K.; KUMAR, C. Suresh. Chemical, biological, and nanoclay treatments for natural plant fiber-reinforced polymer composites: A review. **Polymers and Polymer Composites**, v. 29, n. 7, p. 1011-1038, 2021.

KONARZEWSKI, Vitor Hugo Cordeiro; SPIEKEMANN, Fernando Ludgero; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes. Natural ageing of polyaramide fiber from ballistic armor. **Polímeros**, v. 29, 2019.

KUMAR, Bipin; THAKUR, Suman (Ed.). **Textiles for advanced applications**. BoD–Books on Demand, 2017.

KUMAR, Naveen. Bulletproof vest and its improvement—a review. **International Journal of Scientific Development and Research**, v. 1, n. 1, p. 34-39, 2016.

LA MANTIA, F. P.; MORREALE, M. Green composites: A brief review. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 6, p. 579-588, 2011.

LAM, Tian Fook; YATIM, Jamaludin Mohamad. Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete with different fiber content and fiber length. **Journal of Asian Concrete Federation**, v. 1, n. 1, p. 11-21, 2015.

LEMSTRA, P. J.; RASTOGI, S. Processing flexible polymers to high performance fibers. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**, p. 7877-7883, 2001.

LIMA, José Henrique Batista. **Desenvolvimento de têxteis técnicos para reforço de compósitos poliméricos**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LIU, Pei et al. The mechanical and tribological properties of aramid (Twaron) fabric/polytetrafluoroethylene composites. **Journal of Macromolecular Science, Part B**, v. 51, n. 9, p. 1693-1704, 2012.

LO, Tommy Y.; CUI, H. Z.; LEUNG, H. C. The effect of fiber density on strength capacity of bamboo. **Materials letters**, v. 58, n. 21, p. 2595-2598, 2004.

LOUREIRO, Lucas. Reutilização de fibras de para-aramida como reforço mecânico em poliamida 6, 6. 2016.

MARLET, Carlos Alberto Fernandes; REZENDE, Mirabel Cerqueira. Obtenção e caracterização de tecido multicamadas tridirecional de fibra de aramida visando aplicação em blindagem balística. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021.

MCQUERRY, Meredith. A review of ballistic, slash, and stab protection for integration in first responder personal protective clothing. **J Textile Sci Fashion Tech**, v. 2, n. 1, p. 1-5, 2019.

MONTEIRO, Sergio Neves et al. Natural lignocellulosic fibers as engineering materials—An overview. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 42, p. 2963-2974, 2011.

MONTEIRO, Sergio Neves et al. Weibull analysis of the tensile strength dependence with fiber diameter of giant bamboo. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 6, n. 4, p. 317-322, 2017.

NAVEEN, J. ET AL. BALLISTIC PERFORMANCE OF NATURAL FIBER BASED SOFT AND HARD BODY ARMOUR-A MINI REVIEW. **FRONTIERS IN MATERIALS**, V. 7, P. 608139, 2020.

NAVEEN, J. et al. Ballistic performance of natural fiber based soft and hard body armour-a mini review. **Frontiers in Materials**, v. 7, p. 608139, 2020.

NAVEEN, J. et al. Selection of natural fiber for hybrid kevlar/natural fiber reinforced polymer composites for personal body armor by using analytical hierarchy process. **Frontiers in Materials**, v. 5, p. 52, 2018.

NETA, Luzia Soares Leal et al. Caracterização físico-química de fibras de curauá e sua aplicação em compósitos poliméricos. **Scientia Amazonia**, v. 4, n. 1, p. 21, 2015.

NEWCOMB, Bradley A. Processing, structure, and properties of carbon fibers. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 91, p. 262-282, 2016.

NURAZZI, N. M. et al. A review on natural fiber reinforced polymer composite for bullet proof and ballistic applications. **Polymers**, v. 13, n. 4, p. 646, 2021.

OLADELE, Isiaka Oluwole; OMOTOSHO, Taiwo Fisayo; ADEDIRAN, Adeolu Adesoji. Polymer-based composites: An indispensable material for present and future applications. **International Journal of Polymer Science**, v. 2020, p. 1-12, 2020.

ORNAGHI JR, Heitor Luiz et al. Hybridization effect on the mechanical and dynamic mechanical properties of curaua composites. **Materials Science and Engineering: A**, v. 528, n. 24, p. 7285-7289, 2011.

PATINO, Cecilia Maria; FERREIRA, Juliana Carvalho. Critérios de inclusão e exclusão em estudos de pesquisa: definições e por que eles importam. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 44, p. 84-84, 2018.

PAUL, Roshan (Ed.). **High performance technical textiles**. John Wiley & Sons, 2019.

PRASAD, Vemu Vara; TALUPULA, Sowjanya. A review on reinforcement of basalt and aramid (Kevlar 129) fibers. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 2, p. 5993-5998, 2018.

PRIYANKA, P.; DIXIT, A.; MALI, H. S. High-Strength Hybrid Textile Composites with Carbon, Kevlar, and E-Glass Fibers for Impact-Resistant Structures. A Review. **Mechanics of Composite Materials**, v. 53, p. 685-704, 2017.

RANDJBARAN, Elias et al. Hybrid composite laminates reinforced with Kevlar/carbon/glass woven fabrics for ballistic impact testing. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

RASHEED, ABHER. CLASSIFICATION OF TECHNICAL TEXTILES. FIBERS FOR TECHNICAL TEXTILES, P. 49-64, 2020.

RICE, Kirk D.; RILEY, Michael A.; FORSTER, Amanda L. Ballistic Resistance of Body Armor. 2008.

SANTOS, Cristina Mamédio da Costa; PIMENTA, Cibele Andrucio de Mattos; NOBRE, Moacyr Roberto Cuce. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista latino-americana de enfermagem**, v. 15, p. 508-511, 2007.

SATHISHKUMAR, T. P.; SATHEESHKUMAR, S.; NAVEEN, Jesuarockiam. Glass fiber-reinforced polymer composites—a review. **Journal of reinforced plastics and composites**, v. 33, n. 13, p. 1258-1275, 2014.

SHIBATA, Shinichi; CAO, Yong; FUKUMOTO, Isao. Flexural modulus of the unidirectional and random composites made from biodegradable resin and bamboo and kenaf fibres. **Composites part A: Applied science and manufacturing**, v. 39, n. 4, p. 640-646, 2008.

SHIM, Gyu-In et al. Improvement in ballistic impact resistance of a transparent bulletproof material laminated with strengthened soda-lime silicate glass. **Composites Part B: Engineering**, v. 77, p. 169-178, 2015.

SHIM, V. P. W.; LIM, C. T.; FOO, K. J. Dynamic mechanical properties of fabric armour. **International Journal of Impact Engineering**, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2001.

SOCKALINGAM, Subramani et al. Recent advances in modeling and experiments of Kevlar ballistic fibrils, fibers, yarns and flexible woven textile fabrics—a review. **Textile Research Journal**, v. 87, n. 8, p. 984-1010, 2017.

TAO, Ran et al. Rheology of ballistic clay: the effect of temperature and shear history. In: **Proceedings of the Society of Plastics Engineers' Annual Technical Conference, Anaheim, CA, USA**. 2017. p. 8-10.

TROMBETTA, Fabiane. Uso de fibras aramidas para melhoria de propriedades de compostos de borrachas nitrílicas. 2012.

WAMBUA, Paul et al. The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. **Composite Structures**, v. 77, n. 2, p. 232-240, 2007.

WANG, Lijing et al. Recent trends in ballistic protection. **Textiles and Light Industrial Science and Technology**, v. 3, p. 37-47, 2014.

WANG, Li-Sheng; WANG, Xue-Yuan. Selectivities at infinite dilution of xylene isomers in ionic liquids. **Fluid Phase Equilibria**, v. 374, p. 37-47, 2014.

WEBBER III, Charles L. et al. Kenaf production: fiber, feed, and seed. **Trends in new crops and new uses**, v. 13, p. 327-339, 2002.

WITHERS, J. C. Textile terms and definitions. In: **Aslib Proceedings**. MCB UP Ltd, 1952. p. 95-100.

YAHAYA, R. et al. Measurement of ballistic impact properties of woven kenaf–aramid hybrid composites. **Measurement**, v. 77, p. 335-343, 2016.

YANEVA, Svetlana. Ballistic resistance of bulletproof vests level IIIA. Development of testing methodology. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2020. p. 06003.

YANG, H. H. **Kevlar aramid fiber**. Wiley, 1993.

ZAH, Rainier et al. Curauá fibers in the automobile industry—a sustainability assessment. **Journal of cleaner production**, v. 15, n. 11-12, p. 1032-1040, 2007.