

**Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi**

Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

DELCACIO SILVA

**NANOESTRUTURAS:**

Possíveis Aplicações têxteis

AMERICANA

2019

**Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi**

Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

DELCACIO SILVA

**NANOESTRUTURAS:**

Possíveis Aplicações têxteis

Trabalho de graduação do curso de Produção Têxtil, apresentado a Faculdade de Tecnologia de Americana como requisito de conclusão de curso, sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Ms. Maria Adelina Pereira.

AMERICANA

2019

Faculdade de Tecnologia de Americana – Ministro Ralph Biasi

Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil

Delcacio Silva

**NANOESTRUTURAS:**

**Possíveis Aplicações Têxteis**

Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Produção Têxtil pelo Centro Paula Souza – FATEC Faculdade de Tecnologia de Americana.

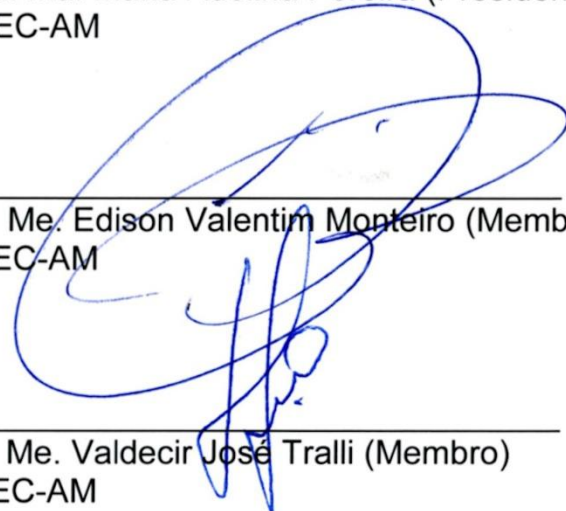
Área de concentração: Têxtil

Americana, 09 de dezembro de 2019.

**Banca Examinadora:**



Prof. Ma. Maria Adelina Pereira (Presidente)  
FATEC-AM



Prof. Me. Edison Valentim Monteiro (Membro)  
FATEC-AM



Prof. Me. Valdecir José Tralli (Membro)  
FATEC-AM

**FICHA CATALOGRÁFICA – Biblioteca Fatec Americana - CEETEPS**  
**Dados Internacionais de Catalogação-na-fonte**

S579n SILVA, Delcacio

Nanoestruturas: possíveis aplicações têxteis. / Delcacio Silva. –  
Americana, 2019.

47f.

Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil) - -  
Faculdade de Tecnologia de Americana – Centro Estadual de Educação  
Tecnológica Paula Souza

Orientador: Profa. Ms. Maria Adelina Pereira

1 Nanotecnologia 2.Tecnologia têxtil I. PEREIRA, Maria Adelina II. Centro  
Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de  
Americana

CDU: 06:681.3

*Dedico este trabalho ao meu pai,  
Delcacio Joaquim da Silva (in memoriam),  
um homem que estudou o mundo, todos  
os 85 anos de sua vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que tornaram esta etapa possível, familiares, amigos e professores.

Agradeço a Deus, por existir.

## RESUMO

O presente trabalho demonstra as nanoestruturas mais comuns e seus possíveis usos dentro da cadeia têxtil com destaque para as aplicações inerentes de seus processos produtivos. As nanoestruturas abordadas são: grafeno, com suas características e obtenção; nanotubos, derivados alotrópicos do grafeno; fulerenos, formas esféricas de cadeias moleculares; nanopolímeros, estruturas nano de polímeros conhecidos; nanopartículas, estruturas com grandes possibilidades de usos e funcionalidades já em aplicação dentro da indústria; pontos quânticos, moléculas que emitem luz; nanofios, nanofilamentos e nanocompósitos, onde camadas de estruturas diferentes se completam para formar um material com propriedades superlativas; a produção destas nanoestruturas dentro da fiação, fabricação de não tecidos e beneficiamento têxtil também são discutidas. O segmento de aplicações já consolidadas inclui grandes nomes da indústria como Adidas®, Eddie Bauer, Hi-Tec® Shoes e Vollebak. Este trabalho visa a dificuldade em desenvolver estas nanoestruturas dentro do segmento têxtil, bem como a infinita gama de possibilidades funcionais que podem atribuídas futuramente aos substratos têxteis.

**PALAVRAS-CHAVE:** nanotecnologia; grafeno; têxtil

## **ABSTRACT**

This undergraduate thesis shows the most common nanostructures and their possible uses inside the textile industry with highlights to the applications inherent to their respective productive processes. The approached nanostructures are: graphene; with technical features and making; nanotubes; allotropic derivatives of graphene; fullerenes, spherical forms of molecular chains; nanopolymers, structures from known polymers; nanoparticles, structures with great possibilities and functionalities already in application inside the industry; quantum dots, molecules that emit light; nanothreads, nanofilaments and nanocomposites, where layers of different structures complete each other to produce a material with superlative properties; the production of that nanostructures inside the spinning process, nonwoven and textile finishing are also discussed. The segment of applications already consolidated includes great names from industry like Adidas®, Eddie Bauer, Hi-Tec® Shoes e Vollebak. This work focus in how hard it is to develop those nanostructures inside the textile segment, as well as the infinite range of functional possibilities that can be attributed in the future to textile substratum.

**KEY-WORDS:** nanotechnology; graphene; textile



## **ACRÔNIMOS**

CVD – Chemical Vapor Deposition

GO – Graphite Oxide.

CNW – Carbon Nanowall.

CNT – Carbon Nanotube.

LED – Light Emission Diode.

QD – Quantum Dots.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

EPI – Equipamento de Proteção Individual

LPP - Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas

## UNIDADES

$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  – Watt por metro vezes kelvin, coeficiente de condutividade térmica.

Mpa – Mega pascal, medida de pressão no SI,  $10^6$  Pascal, 1 Pascal =  $1\text{N/m}^2$ .

GPa – Giga pascal, medida de pressão no SI,  $10^9$  Pascal, 1 Pascal =  $1\text{N/m}^2$ .

$\text{N/m}^2$  – Newton por metro quadrado, medida de pressão no SI.

$\text{cm}^2/\text{Vs}$  – centímetro quadrado por volt vezes segundo, medida de mobilidade elétrica.

Å – Angstrom, medida de comprimento no SI,  $10^{-10}$  m.

nm – Nanômetro, medida de comprimento no SI,  $10^{-9}$  m.

$\mu\text{m}$  – Micrometro, medida de comprimento no SI,  $10^{-6}$  m.

Tg – Temperatura de transição vítrea

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes apresentações das estruturas de carbono.....	16
Figura 2 - Monocamada de grafeno. ....	17
Figura 3 - Deposição química de vapor.....	19
Figura 4 - Diferentes substratos para o crescimento do grafeno.....	19
Figura 5 - Nanoparedes de carbono. a) Vista superior b) Vista esquemática. ....	20
Figura 6 - Frequência de cores diferentes para cada tamanho de ponto. ....	23
Figura 7 - Definição de tamanho de fibras. ....	24
Figura 8 - Nanofibras em compósitos.....	26
Figura 9 - Esquema de fiação electrospinning. ....	27
Figura 10 - Deposição de nanofibras via air brushing em diferentes materiais. ....	28
Figura 11 - Esquema de magneto spinning.....	29
Figura 12 - Processo spunbonded. ....	30
Figura 13 - Processo meltblown. ....	31
Figura 14 - Diferentes aplicações do óxido de zinco no beneficiamento. ....	33
Figura 15 - Tecido de calçado sem e com aplicação de tecnologia P2i®. ....	37
Figura 16 - Ação do produto em substrato têxtil.....	39
Figura 17 - Condutor Dupont com prata.....	40
Figura 18 - (a) Fibras têxteis produzidas pela Centexbel. Alguns exemplos de dispositivos electrónicos com grafeno em fibras têxteis fabricados na Universidade de Exeter: (a) sensor de posição, (b) sensor de toque, (c) dispositivo emissor de luz. ....	41
Figura 19 - Jaqueta de grafeno. ....	41

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	NANOESTRUTURAS .....	15
2.1	Grafeno .....	15
2.1.1	Características.....	15
2.1.2	Obtenção .....	17
2.2	Nanotubos de carbono .....	20
2.3	Fulerenos .....	21
2.4	Nanopolímeros .....	22
2.5	Nanopartículas .....	22
2.6	Pontos Quânticos .....	22
2.7	Nano fios, nano fibras e filamentos .....	23
2.8	Nanocompósitos .....	25
3	INTRODUÇÕES DE NANO ESTRUTURAS NA CADEIA TEXTIL .....	27
3.1	Fios fiados com fibras químicas .....	27
3.1.1	Electrospinning .....	27
3.1.2	Processo Air Brushing .....	28
3.1.3	Magneto spinning .....	28
3.2	Nãotecidos .....	29
3.2.1	Spunbonded .....	29
3.2.2	Meltblown .....	30
3.3	Beneficiamento .....	31
4	POSSÍVEIS APLICAÇÕES TÊXTEIS.....	35
4.1	Formas de apresentação .....	35
4.2	Aplicações consolidadas.....	36
4.2.1	Adidas®.....	36
4.2.2	Hi-Tec® Shoes .....	36
4.2.3	Eddie Bauer.....	37
4.2.4	Alexium.....	38
4.2.5	Radiation Shield Technologies .....	39
4.2.6	DuPont Strechable Conductor .....	40

4.2.7	Vollebak.....	41
4.2.8	Nanoencapsulado para neutralização de odor .....	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
6	REFERÊNCIAS .....	45
7	BIBLIOGRAFIA.....	47

## 1 INTRODUÇÃO

Tudo que se descobre dentro do campo da pesquisa até hoje deriva de uma descoberta prévia que possibilitou seu desenvolvimento, a base da invenção não se altera, o que se altera é sua aplicabilidade. Em 1839, Charles Goodyear descobriu que a adição de enxofre à borracha transformava a mesma através de um processo mais tarde denominado vulcanização, contudo, a invenção do objeto que tornaria a vulcanização conhecida mundialmente só aconteceu 48 anos depois, em 1887, quando John Boyd Dunlop aplica a borracha vulcanizada em uma roda de madeira criando o que então passamos a chamar de pneu. Dunlop não era pesquisador no sentido categórico da palavra, pelo contrário, era um veterinário que usou uma descoberta prévia e a adaptou à sua necessidade.

Assim como Dunlop, os descobridores do grafeno, uma nanoestrutura, não inventaram o carbono, o grafite e tampouco o próprio grafeno, na verdade nem o buscavam, foi a curiosidade que levou os ganhadores do prêmio Nobel a levarem adiante sua descoberta e agora, cabe a outros o desenvolvimento de aplicações com o conhecimento que tantos outros já produziram.

Este é o cerne deste trabalho, não lançar um olhar sobre novos compostos ou estruturas nano, mas avaliar o que há de disponível dentro do campo da nanotecnologia e como este conhecimento pode ou já foi aplicado dentro da indústria têxtil. No segundo capítulo é elencado uma seleção de algumas nanoestruturas que podem, por suas características ou funções, serem desenvolvidas dentro da cadeia têxtil ou de seu produto final. O trabalho segue o desenvolvimento dentro do segmento com três partes distintas na sequência produtiva, o uso da nanotecnologia dentro da fiação, como base para produção de nãotecidos e dentro do beneficiamento têxtil, etapa esta que já utiliza alguns nanocomponentes nos processos atuais.

O quarto capítulo indica aplicações de sucesso das nanoestruturas dentro da indústria têxtil, por empresas de grande vulto, mas também deixa um aviso, do quão é difícil a obtenção destes materiais, seu alto custo e como ainda são pouco evidentes e de baixa relevância para o público em geral. O trabalho é concluído, ou

melhor, descrito dentro de suas considerações finais para esta etapa, no capítulo seguinte.

O método utilizado foi o dedutivo, com pesquisa e revisão bibliográfica, derivando das premissas contidas dentro das esferas da indústria têxtil, da pesquisa nanotecnológica, das normas e regulamentações dos órgãos nacionais e internacionais e da bibliografia que se fazem pertinentes para o tema e dão base para seu desenvolvimento.

## 2 NANOESTRUTURAS

### 2.1 Grafeno

#### 2.1.1 Características

A palavra carbono é derivada da palavra latina *carbo*, que significa carvão. Carbono é um elemento único que permite que sua estrutura seja híbrida o suficiente para formação de alotrópicos mais estáveis do que qualquer outro elemento conhecido, o alotrópico mais comum do carbono é o grafite, um mineral abundante conhecido desde a antiguidade. O grafite é formado por camadas mantidas unidas pelas fracas forças de *van der Waals*<sup>1</sup>, enquanto que átomos de carbono formados por uma única camada e dispostos em forma de colmeia é o que chamamos de grafeno (SPYROU, 2014).

O grafite possui um comportamento anisotrópico excepcional quanto a condutividade elétrica e térmica, mas essa condutividade só ocorre de maneira satisfatória na direção paralela as camadas, enquanto que perpendicularmente, as forças de *van der Waals* proporcionam interações que não permitem uma condutividade significativa (SPYROU, 2014 p.1).

Por décadas, o isolamento das camadas constituintes do grafite parecia impossível, com base nas leis teóricas que regem o comportamento da instabilidade termodinâmica de cristais bidimensionais (GONG, 2011 p.59). Porém, em no ano de 2004, um grupo de pesquisa liderado por Andre Geim e Konstantin Novoselov isolaram uma única camada de grafeno em um substrato de óxido de silício, simplesmente utilizando seccionamento microscópico do grafite com o auxílio de fita adesiva (SPYROU, 2014 p.2) e depositando estes “flocos” em um substrato de

---

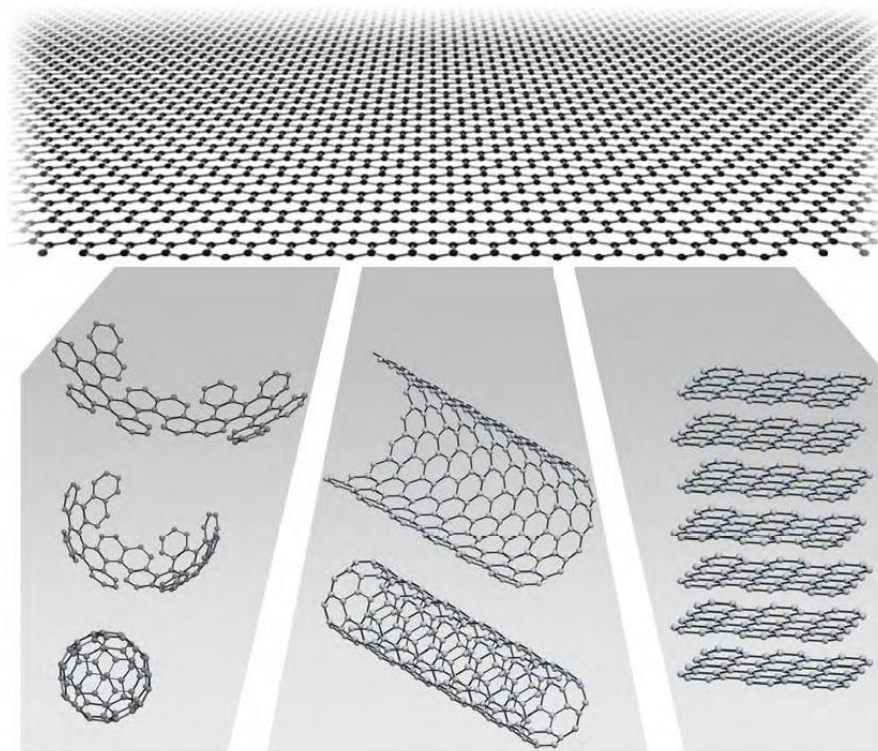
<sup>1</sup> Físico holandês Johannes Diderik van der Waals, vencedor do prêmio Nobel de Física de 1910, de acordo com van der Waals, estas forças de atração existem entre moléculas de qualquer tipo, e constituem uma propriedade geral da matéria. < <http://efisica.if.usp.br/moderna/mq/>>. Acesso em: 3 Out 2019.



SiO<sub>2</sub>/Si (GONG, 2011 p. 3). Isto rendeu aos dois o prêmio Nobel de física “ por experimentos inovadores no que diz respeito ao material bidimensional grafeno.”<sup>2</sup>

Grafeno é o nome dado a qualquer monocamada de átomos de carbono arranjados e condensados em uma treliça hexagonal e é a base para a construção de outros alotrópicos do carbono, pode ser disposto em uma esfera para formar fulereno, enrolado para criar nanotubos ou empilhado em estrutura tridimensional, formando o grafite.

*Figura 1 - Diferentes apresentações das estruturas de carbono.*

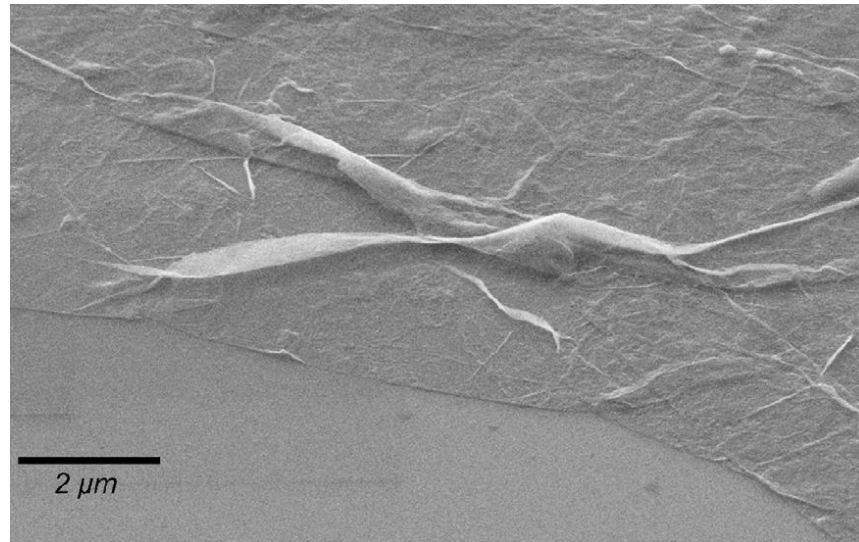


*Fonte: Gong, Jian Ru. P. 61*

Estas camadas são extremamente finas e se encontram na escala angstrom do sistema métrico ( $10^{-10}$  m), a Fig. 2 mostra que naturalmente, camadas de grafeno tendem a enrugar e amassar, por isso não são utilizadas em única camada, mas agrupadas em até 10 unidades para ainda serem chamadas de grafeno (GONG, 2011 p. 61-62).

<sup>2</sup> The Nobel Prize in Physics 2010. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Thu. 3 Oct 2019. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/summary/>. Acesso em: 3 out 2019.

Figura 2 - Monocamada de grafeno.



Fonte: Gong, Jian Ru. P.62

O grafeno possui fenomenal propriedade estrutural, elétrica e mecânica. Desde então inúmeros métodos de produção de grafeno foram desenvolvidos e divididos entre categorias que dependem do processo físico ou químico utilizado para obtê-lo (SPYROU, 2014 p.4).

### 2.1.2 Obtenção

A obtenção de nanoestruturas, como o grafeno, pode ser dividida em dois grupos, *top down* e *bottom up*. No sistema *top down*, o grafeno é derivado do grafite, pela simples extração de suas camadas, exemplos de sistemas *top down* são o método da fita adesiva, deposição laser e descarga de arco. O sistema *bottom up* envolve a construção átomo por átomo até o tamanho desejado pelos métodos de deposição química de vapor (CVD), síntese de Fisher-Tropsch, implantação iônica e pirólise (GONG, 2011 p. 68). É importante lembrar que “[...] a maioria das aplicações têxteis do grafeno podem ser feitas pelo sistema *top down*. ” (Informação verbal<sup>3</sup>).

Chamado de GO (óxido de grafeno), pode ser usado para obtenção do grafeno pela total redução das monocamadas presentes no óxido em camadas

---

<sup>3</sup> E.A. Thoroh de Souza, PhD, professor de física. Plenária do comitê Fiesp, “Grafeno como oportunidade para a indústria têxtil crescer ainda mais”, realizada no centro cultural Fiesp, São Paulo, 24 de set de 2019.

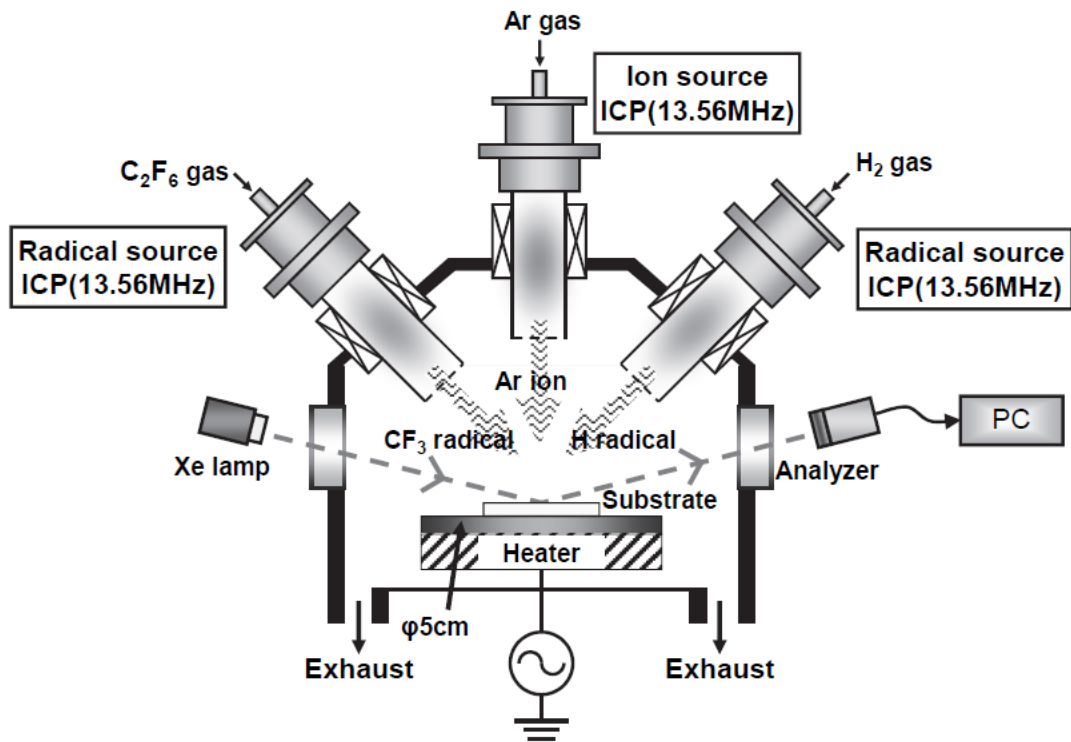
individuais de grafeno. Sua redução é alcançada por recozimento térmico em temperaturas superiores à 1000 °C, redução fotoquímica ou redução eletroquímica. Após a remoção dos grupos de oxigênio, o caráter aromático das cadeias se rearranjam (SPYROU, 2014 p.4). O grafite é oxidado com  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  e então lavado com uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (3%) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0,5%), as impurezas são removidas por centrifugação e após retirada a água, um pó de cor marrom é obtido. Este pó é então disperso em água e submetido a ultrassom, com uma solução de hidrazina e após, aquecido em um banho por 24h (100°C), ocorre então um precipitado de GO reduzido, grafeno em pequenos flocos. É interessante notar que o óxido de grafeno é um isolante elétrico (GONG, 2011 p.37-39).

O uso de fluídos em condições supercríticas também pode ser usado para a obtenção de grafeno, cristais de grafites são diluídos com ácidos sulfúrico e nítrico, posteriormente estes cristais tratados são dispersos em metanol e submetidos a ultrassom, o recipiente é então selado em um reator e aquecido a temperaturas de 300-400°C, com pressões que variam de 38-40 Mpa. Este recipiente é mergulhado em água fria e as lâminas de grafeno são coletadas por lavagem e centrifugação em conjunto com solventes e secas à vácuo (GONG, 2011 p. 47).

A esfoliação de monocamadas de grafite também é obtida pelo uso de ultrassom com grafite em solução de solventes orgânicos, sua estrutura basal é quebrada e pequenos fragmentos são intercalados com as moléculas do solvente, monocamadas de grafeno representam apenas 1-15% da mistura final, sendo que o restante é composto de grafeno multicamadas, variando de 2 até 10 nano camadas (SPYROU, 2014 p.5).

Deposição química de vapor consiste em 3 raios contendo radicais carbônicos, radicais de hidrogênio e ions, as fontes são montadas obliquamente enquanto gases,  $\text{C}_2\text{F}_6$  e  $\text{H}_2$  são introduzidos separadamente e a fonte de íons é montada no topo. O crescimento do nanocomponente ocorre no substrato onde está o foco de todas as irradiações (SPYROU, 2014 p.7).

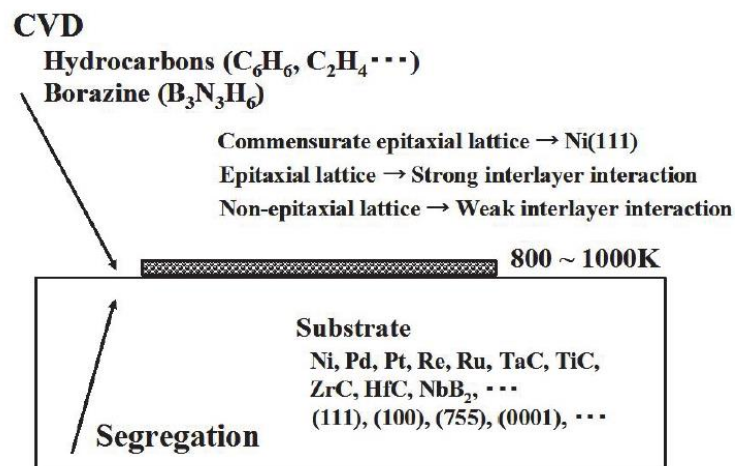
Figura 3 - Deposição química de vapor.



Fonte: Gong, Jian Ru. P.23

A Fig. 3 ilustra o esquema de crescimento do grafeno através da deposição de vapor químico (CVD) ou técnicas de segregação em superfícies sólidas, a espessura do grafeno é controlada pelo ajuste da temperatura de recozimento, tempo de exposição dos gases e escolha do substrato (GONG, 2011 p. 3).

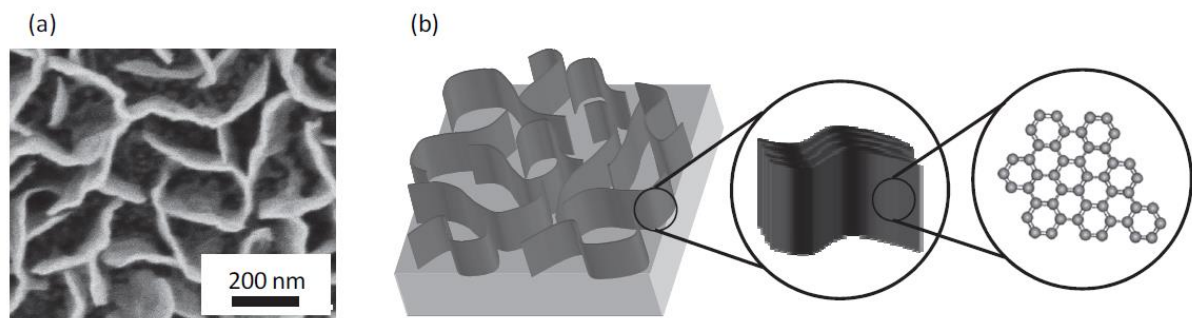
Figura 4 - Diferentes substratos para o crescimento do grafeno.



Fonte: Gong, Jian Ru. P.4

Nano materiais de carbono atraem atenção não somente por interesse científico, mas também pela gama de aplicações possíveis, principalmente por suas estruturas únicas e propriedades físicas e elétricas. Lâminas de grafeno são fortes candidatas à utilização como materiais canalizadores em equipamentos eletrônicos, visto que seus elétrons têm mobilidades extremamente altas (10.000-15.000  $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ). Nanoparedes de carbono (CNW) são exemplos de lâminas de grafeno depositadas verticalmente em um substrato (Fig. 4), isto possibilita excelentes possibilidades elétricas devido as relações entre sua área e seu volume, consolidando seu uso em células de energia e emissores de campo da próxima geração de componentes eletrônicos (GONG, 2011 p. 21).

Figura 5 - Nanoparedes de carbono. a) Vista superior b) Vista esquemática.



Fonte: Gong, Jian Ru. P.22

Grafeno é livre de defeitos em sua treliça hexagonal, o que, em conjunto com sua estrutura atômica, possibilita propriedades eletrônicas, óticas, mecânicas e térmicas superlativas. Seu módulo de Young ( $\sim 1100$  Gpa), resistência a fratura (125 Gpa), condutividade térmica ( $\sim 5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), efeito Hall<sup>4</sup> quântico em condições normais de temperatura, campo elétrico bipolar e *zero gap* ajustável são algumas de suas características (GONG, 2011 p. 45).

## 2.2 Nanotubos de carbono

<sup>4</sup> Descoberto por Edwin Herbert Hall em 1879, efeito observado em sistemas eletrônicos de duas dimensões onde surge uma diferença de potencial elétrico em um condutor transversal ao fluxo de corrente e um campo magnético perpendicular ao mesmo, efeito este geralmente observado em baixas temperaturas. < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Hall](https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Hall)>. Acesso em: 20 out 2019.

Nano tubos de carbono são alotrópicos do carbono que podem ser interpretados como folhas de grafeno enrolados para formar um cilindro, produzidos com uma única, dupla, tripla ou múltiplas paredes, cilindros concêntricos um dentro do outro. A quantidade de paredes impacta diretamente nas propriedades dos nano tubos e definem seus usos, a direção de enrolamento e a quiralidade<sup>5</sup> também influenciam nessas propriedades.

Eles podem ser conectados a outros alotrópicos como o fulereno, formando estruturas que possuem as características combinadas de ambos, funcionando como âncoras em compósitos; ou conectados a folhas de grafeno demonstrando excelentes funções de supercapacitores. Até então, é o mais forte e rígido material terrestre e possui propriedade hidrofílica controlável, quando exposto a uma determinada corrente, ele se torna hidrofílico, quando não está submetido a corrente ele é altamente hidrofóbico. Sua síntese é parecida com a do grafeno, mas em diferentes pressões, temperaturas e materiais catalíticos. Atualmente são usados para reforço de compósitos encontrados em bicicletas e barcos, supercapacitores, transístores, circuitos eletrônicos, baterias de alta performance e futuramente serão componentes para produção de telas flexíveis e papel eletrônico. Nano esponjas, capazes de remover contaminantes da água e do ar, também são produzidos através de nano tubos (ANIS, 2017 p.6-8).

### **2.3 Fulerenos**

São estruturas compostas de átomos de carbono arranjadas em forma esférica, de 20 a 60 átomos dispostos em anéis hexagonais ou pentagonais, são suficientes para se formar um fulereno. Sua síntese ocorre através da vaporização do grafite ou outra fonte de carbono com o uso de pirólise, descarga de plasma ou plasma de rádio frequência. É uma molécula altamente reativa, isto o torna um poderoso antioxidante, usado nos setores de saúde e cosméticos e associado com a diminuição progressiva de danos nevrálgicos associados com a doença de Alzheimer (ANIS, 2017 p. 8).

---

<sup>5</sup> Um objeto, molécula ou sistema é considerado quiral se ele for distinto de sua imagem especular, ou seja, não pode ser sobreposto a ela. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Chirality>>. Acesso em: 20 out 2019.



## 2.4 Nanopolímeros

Polímeros são cadeias de monômeros repetidos, quando pelo menos uma dimensão de um polímero se encontra dentro da escala nano, ele é chamado de nano polímero. Estas estruturas podem ser policaprolactonas, poliestirenos, polivinilpirrolidonas, quitosanas e proteínas com propriedades elásticas, plásticas e condutivas, esta última, crescente em interesse. Estes compostos orgânicos condutores agem como metais ou como semicondutores com uma grande gama de aplicações: circuitos eletrônicos, baterias solares, capacitores, LED (diodo emissor de luz), etc. (ANIS, 2017 p.8).

## 2.5 Nanopartículas

Representam a maior classe de nano materiais, são partículas microscópicas entre 10 e 100 nm. Metais, óxidos metálicos e semicondutores são mais aplicados nos campos de informação, energia e eletricidade enquanto partículas poliméricas são mais aplicadas em alimentação, cosméticos e saúde. A exemplo, a prata, que possui características antimicrobianas também observadas na escala nano, o que possibilita seu uso em cosméticos, fármacos, coberturas e embalagens.

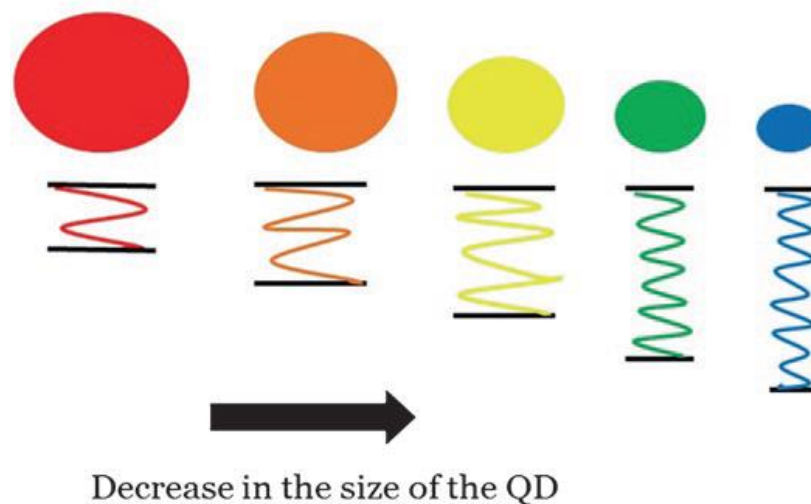
Um dos desafios para as nano partículas é o seu uso como um sistema de dispersão, usando propriedades de sua área de superfície e sua habilidade de penetração, distribuição e disponibilidade, com o maior fator sendo o controle da dispersão para que essas partículas liberem sua carga em um momento e condição específica. Podem ser sintetizadas por evaporação de solventes em dispersão polimérica, nano precipitação, dialise, fluidos em condições supercríticas, polimerização de monômeros, etc. Nano partículas metálicas são produzidas principalmente por redução química e pirólise. São ainda classificadas, pela composição, em: nanomicelas, nanocapsulas, nanoemulsões e nanoesferas (ANIS, 2017 p. 9-10).

## 2.6 Pontos Quânticos

Partículas diminutas que variam de 2-10 nm, também chamadas de *quantum dots* (QD), produzidas a partir de cristais de semicondutores como cádmio, selênio

ou chumbo. Possuem propriedades eletrônica, magnética e ótica únicas, isto se deve ao fato de que estes elementos podem ter seu tamanho e composição alterados sob demanda. Na escala nano, a mecânica quântica passa a agir, substituindo a física clássica; com isso, a aplicação de fontes externas de energia excita os elétrons que alcançam níveis de energia maiores, isso produz uma emissão de comprimentos de ondas diferentes em função do tamanho dos pontos, ou seja, diferentes cores para diferentes níveis de energia (ANIS, 2017 p.12).

*Figura 6 - Frequência de cores diferentes para cada tamanho de ponto.*



*Fonte: Anis, Mohab. et al. P.12*

## 2.7 Nano fios, nano fibras e filamentos

Estruturas unidimensionais com propriedades eletrônicas e óticas que estão revolucionando muitos campos, em especial, eletrônica e comunicação. O cabelo humano possui dimensões entre 50-120  $\mu\text{m}$  de diâmetro, nano fios seriam a subdivisão disto em até 50.000 vezes. Sua aplicação está diretamente ligada ao material de que são feitos, desde filamentos resistentes a manchas em tecidos até fios de transistores usados em supercomputadores, podem ser fabricados de materiais orgânicos, metais e semicondutores. Cada segmento industrial oferece potencial para o uso de nano fios, o mercado de condutores transparentes, possível com o uso de nano fios, movimentou em torno de 41 milhões de dólares em 2015 e com expectativa de alcançar 158 milhões até 2018. A próxima geração de

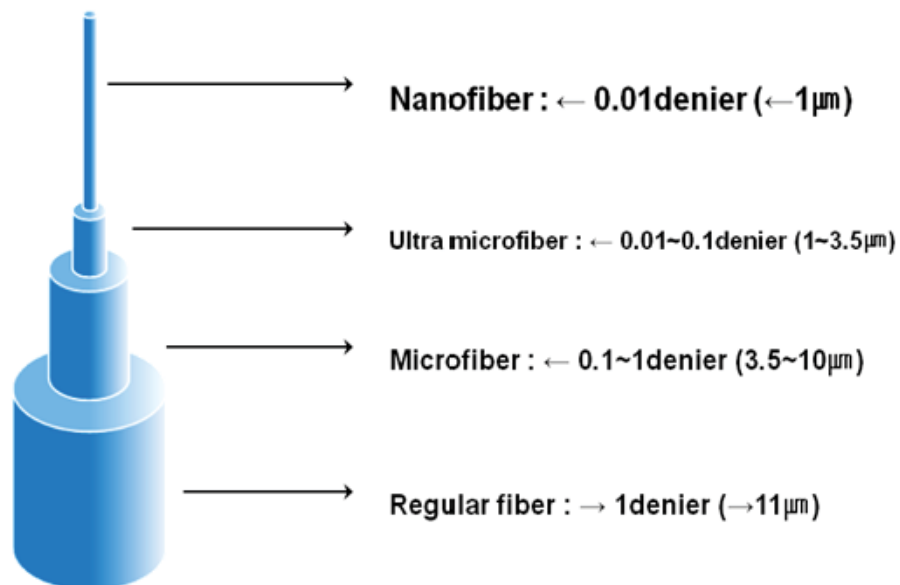


eletrônicos, de dispositivos *smart* até *wearables*, só será possível com o emprego destes elementos.

Podem ser sintetizados tanto pelo sistema *top-down*, em que um fio é entalhado quimicamente, ou pelo sistema *bottom-up*, através do crescimento de nano fios pela deposição de vapor (ANIS, 2017 p. 15-16).

O termo para fibras é relacionado à densidade linear da fibra em dtex, fibras com sua densidade aproximada de 0,01 dtex são consideradas nanofibras. As características das nanofibras incluem uma grande área de superfície, excelentes propriedades mecânicas e tamanho que varia de 50-1000 nm. A figura 7 mostra a diferença entre diâmetros dentro da classificação para fibras (RAGHVENDRA, 2017. p. 2).

Figura 7 - Definição de tamanho de fibras.



Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.2

O método para produzir nanofibras pode combinar dois processos, como *electro spinning* e *meltblown*, ambos produzem substratos onde as nanofibras são coletadas no tambor rotativo. A grande área de superfície e sua estrutura porosa permitem que estes substratos de fibras possam ser usados como substitutos ósseos e cultura de células.

## 2.8 Nanocompósitos

Este tipo de processo de composição de materiais diferentes para formação de outro material trabalha com componentes micrométricos de cada composto. Esse trabalho permite a mistura mais homogênea entre os materiais por trabalhar com um número muito maior de polímeros com tamanhos muito reduzidos. A facilidade do processamento de vários polímeros facilitou a fabricação de materiais com propriedades diferenciadas não existentes nos materiais originais. Por se trabalhar de uma forma micrométrica os polímeros compósitos gerados pelas misturas micro são mais utilizados na cobertura de outros materiais como fibras e materiais diversos que demandam de um desempenho diferenciado (LEPCOM,2019).

Os nanocompósitos apresentam várias características que os torna diferenciados dos outros compósitos como:

- Possuem capacidade de reforço de matrizes poliméricas superior à de partículas e fibras para baixas concentrações de material inorgânico;
- Possui grande interação entre vários componentes;
- Podem ser usadas para fabricação de recobrimentos, fibras.

Os nanocompósitos podem ser fabricados de diversas maneiras:

- Combinação de polímeros dissolvidos com uma rede inorgânica preparada através da policondensação de alcóxidos metálicos;
- Combinação de polímeros ou copolímeros funcionalizados com grupos alcoxissilanos e a rede inorgânica (figura);
- Precipitação de nanopartículas em um gel polimérico;
- Impregnação de matrizes inorgânicas porosas com monômeros ou oligômeros;
- Polimerização simultânea de alcóxidos e monômeros; entre outras.

Para que seja considerado nanocompósito, é necessário que pelo menos uma das fibras esteja dentro das dimensões micro ou nano. Ultimamente, reforços com

micro/nano fibras (carbono, aramida, vidro) em matrizes de polímeros, têm sido usados frequentemente como sistemas compósitos.

*Figura 8 - Nanofibras em compósitos.*



*Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.2*

Por exemplo, os hidrogéis são compósitos de biomateriais que imitam tecidos biológicos, eles possuem uma matriz polimérica altamente hidratável que pode conter de 20 a 40 vezes seu peso. Hidrogéis são formados por nanocompósitos como CNT e grafeno, que são conformados para mimetizar uma infinidade de tecidos orgânicos e, devido a sua condutividade elétrica, pode ser usado para tecidos que conduzem impulsos elétricos, nervos, músculos e tecidos cardíacos (GAHARWAR, 2014).

### 3 INTRODUÇÕES DE NANO ESTRUTURAS NA CADEIA TEXTIL

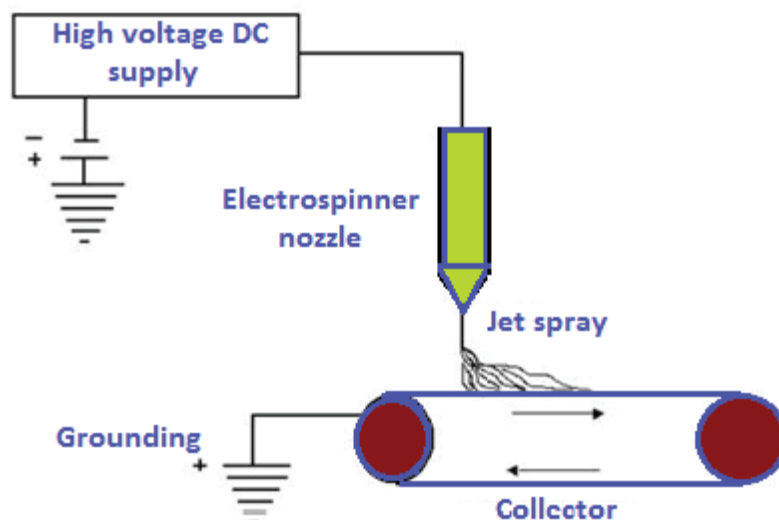
#### 3.1 Fios fiados com fibras químicas

##### 3.1.1 Electrospinning

Processo usado para produzir nanofibras, o polímero é dissolvido em um solvente apropriado e injetado através de uma seringa. Quando uma determinada voltagem é atingida, flutuações de carga criadas pelo diferencial de potencial elétrico tendem a sobrepujar a tensão superficial da solução polimérica.

Após, um jato, que funciona como uma fieira, é carregado eletricamente e se move para o local de menor diferença de potencial, neste intervalo o solvente é evaporado e as fibras são coletadas por um tambor rotativo (Fig. 9). A maioria das nano fibras são produzidas por *electrospinning* e o processo permite a fabricação de fibras mais leves do que qualquer outro método. Nano fibras que utilizam este processo são usadas para entrega de fármacos e genes, vasos sanguíneos artificiais, órgãos artificiais e aplicação de medicamentos diretamente em tecidos vivos, devido ao fato do diâmetro da fibra ser menor que uma célula sanguínea (RAGHVENDRA, 2017).

Figura 9 - Esquema de fiação electrospinning.

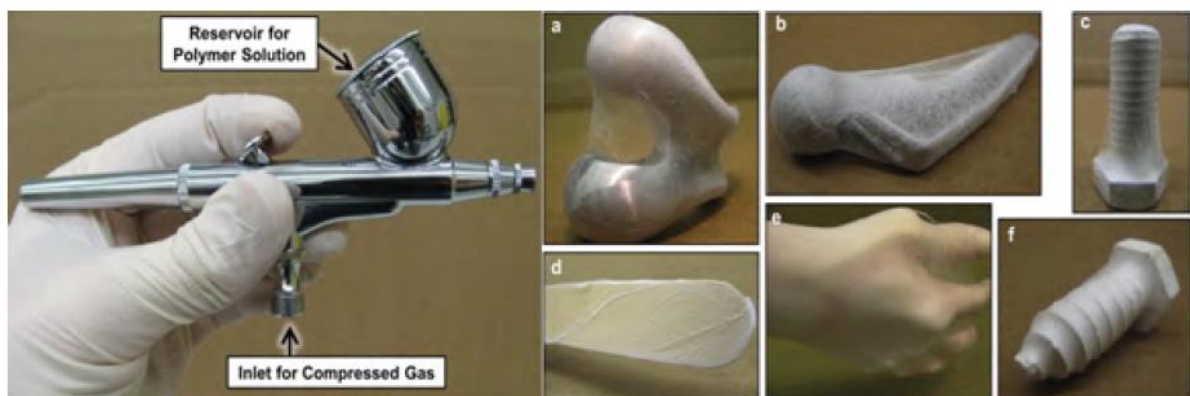


Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.7

### 3.1.2 Processo Air Brushing

Este processo é empregado para produzir nanofibras com base polimérica em que a solução de polímero é insuflada por gás comprimido em um coletor, como visto na Fig. 10. Um dos métodos mais baratos de se produzir nanofibras e mais seguro que o *electrospinning*, pelo não uso de equipamento de alta voltagem, esta técnica é utilizada para a fabricação de micro/nano teias (RAGHVENDRA, 2017).

Figura 10 – Deposição de nanofibras via air brushing em diferentes materiais.

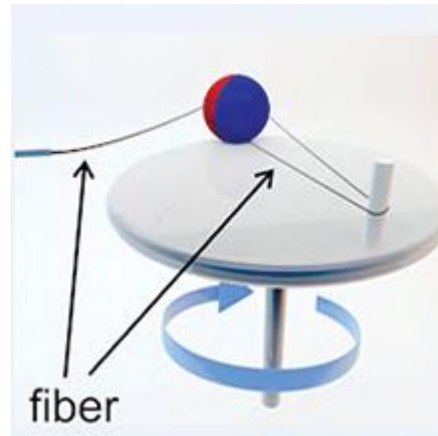


Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.9

### 3.1.3 Magneto spinning

Um método recente para produção de micro e nano fibras em quantidade, o magneto spinning permite que as fibras sejam anexadas com outros materiais. Consiste em uma pequena quantidade de partículas ferromagnéticas adicionadas a uma solução de polímero para que o mesmo possa saturar com ferro, na presença de um campo magnético externo, as nano fibras são atraídas para fora da solução polimérica. Este magneto permanente é montado em um disco giratório (Fig. 11) que é localizado próximo a saída de uma seringa cheia da solução ferro/polímero, o disco começa a girar bem como o magneto, com a progressão, o polímero é puxado já em forma de fibra, uma vez que o solvente evapora as fibras estão prontas para serem coletadas (RAGHVENDRA, 2017).

Figura 11 - Esquema de magneto spinning.



Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.9

## 3.2 Nãotecidos

Segundo a ASTM D 1117-80: “ [...] nãotecido é uma estrutura têxtil produzida pela adesão ou entrelaçamento de fibras, ou ambos, através de meios mecânicos, químicos, térmicos, uso de solventes e combinações entre eles. ” O termo não inclui papel ou tecidos de tecelagem e malharia. Uma das grandes vantagens do processo é a sua continuidade, que vai desde a matéria prima até o produto acabado, salvo exceções (HORROCKS, 2000).

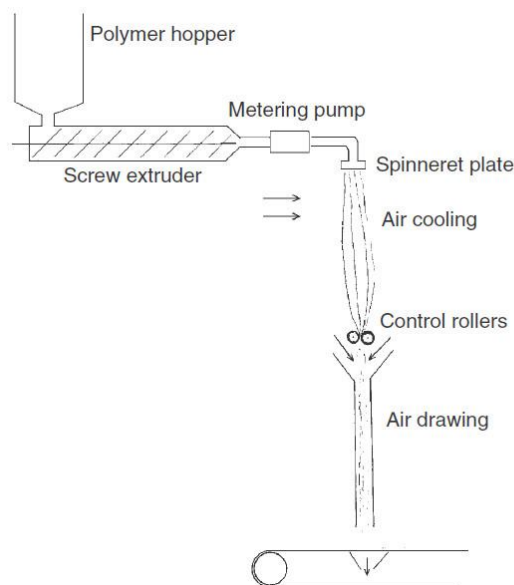
Todos os processos de fabricação de nãotecidos podem ser divididos em duas etapas, a preparação das fibras em uma forma adequada para a consolidação e, a consolidação em si. O processamento e preparação das fibras confere diferentes propriedades ao produto final, assim como os diferentes tipos de consolidação, sendo assim, todos os tipos de preparação de fibras podem ser combinados com os tipos de consolidação, criando uma vasta gama de produtos derivados destes processos.

### 3.2.1 Spunbonded

Filamentos que saem da extrusora de polímeros e são imediatamente dispostos para consolidação, este processo é o mais curto dentro dos têxteis por se tratar de um processo contínuo que parte da solução polimérica até o substrato pronto em apenas um estágio. As máquinas que executam este processo utilizam

polímeros termoplásticos, como poliéster e polipropileno; após a extrusão e a passagem pelas fieiras, neste caso, grandes fieiras retangulares com uma grande quantidade de furos. Estes filamentos são então dispostos em camadas que necessitam de atender pelo menos dois critérios: regularidade de densidade e distribuição orientada de filamentos. A figura 12 mostra o processo.

Figura 12 - Processo *spunbonded*.



Fonte: Araújo, Mário de.

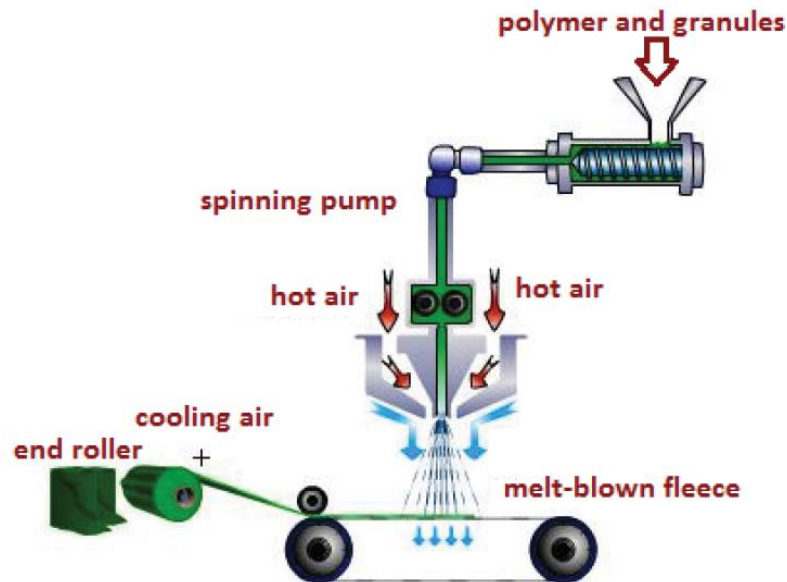
Os não-tecidos aplicados como reforço de compósitos podem ser de fios, fibras ou filamentos cortados, fios, fibras e filamentos contínuos e véu, os compósitos aceitam todo tipo de consolidação. Pode-se ainda utilizar reforços híbridos, como não-tecidos e tecidos em conjunto (ARAÚJO, 2000).

### 3.2.2 Meltblown

Similar ao *spunbonded*, as fibras são extrudadas, porém as fieiras possuem buracos um pouco maiores. Quando a solução polimérica deixa os buracos é atingida por um jato aquecido de ar em alta velocidade à uma temperatura igual ou superior ao seu ponto de fusão, isto quebra o fluxo de extrusão e estira os filamentos até que fiquem bem finos (HORROCKS, 2000). Em estágios posteriores (Fig. 13), ar frio é adicionado e a solução solidifica, os filamentos se quebram em fibras que são dispostas em esteiras de modo similar à via seca e ao *spunbonded*, com a diferença

de possuir fibras extremamente finas, o que proporciona maior contato entre fibras e melhor integridade do produto final.

Figura 13 - Processo meltblown.



Fonte: Raghvendra e Sravanthi. P.8

### 3.3 Beneficiamento

Coberturas funcionais servem para melhorar as propriedades e performance dos substratos têxteis através do uso de compostos orgânicos e inorgânicos aplicados nos diferentes processos do beneficiamento (VERBIC, 2019). É interessante notar que os métodos tradicionais para imbuir tecidos com diferentes propriedades não têm efeito permanente, sendo destituído de suas funções após algumas lavagens ou uso prolongado, neste momento é onde a nanotecnologia pode ser de grande importância, nanoestruturas possuem relação área-volume muito grande e alta energia, mostrando uma afinidade duradoura com inúmeros substratos têxteis. Nanotecnologia não é um conceito muito novo quando se trata de beneficiamento têxtil, possui pouco mais de 40 anos (QT, 2011 nº104 p.26-46).

O primeiro estudo sobre nanotecnologia aplicada em tecidos foi desenvolvido pela Nano-Tex®, subsidiária das indústrias Burlington, uma empresa norte americana, através de pesquisa, foi comprovada que o revestimento nano permite que o tecido ainda respire e mantenha o toque.



Os métodos que utilizam nanotecnologia são os mais diversos, entre eles: spray, transferência de impressão, lavagem, enxágue e *coating*, o mais utilizado. As propriedades obtidas são, entre outras, hidro repelência, solidez à mancha e amassado, antimicrobiótica, antiestática, proteção UV, retardamento de chamas e melhor tingimento (QT, 2011 nº104 p.26-46).

Dentro do tingimento têxtil, pigmentos nano particulados provaram que, no tingimento disperso por esgotamento de algodão cationizado, os tecidos possuíam mais suavidade e tonalidade de cor com uma quantidade reduzida de pigmento em comparação à dispersão convencional para o mesmo processo (FANG, 2005 p. 121:325). Em pesquisa prévia, nanopartículas de negro de carbono<sup>6</sup>, dispersas em surfactantes com tamanho de até 8nm seriam capazes de se difundir em fibras de poliéster e acrílicas em temperaturas superiores à sua transição vítrea<sup>7</sup> (Tg), em tingimento térmico, porém, em tingimento por esgotamento, é necessário a oxidação das nanopartículas do negro de carbono para que o mesmo se torne hidrofílico e possa se dispersar sem agentes químicos (QT, 2011 nº104 p.26-46).

---

<sup>6</sup> Negro de fumo: Carbono em dispersão muito fina, obtido por combustão incompleta de gás natural (do petróleo). Muito empregado na indústria, principalmente da borracha, como carga reforçadora e como pigmento preto. <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/1524-negro-de-fumo>>. Acesso em: 19 nov 2019.

<sup>7</sup> A transição vítrea é a transição reversível em materiais amorfos entre um estado duro e relativamente rígido e um estado mole e "borrachoso" (como um líquido de ultra-alta viscosidade). <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Transi%C3%A7%C3%A3o\\_v%C3%ADtrea](https://pt.wikipedia.org/wiki/Transi%C3%A7%C3%A3o_v%C3%ADtrea)>. Acesso em: 11 out 2019.

Figura 14 - Diferentes aplicações do óxido de zinco no beneficiamento.



Fonte: Verbic, Anja et al. P.2

Entre os agentes químicos nanotecnológicos, há um destaque para o óxido de zinco (ZnO), disponível em forma de pó branco e obtido do mineral zincita, pode ser aplicado em suspensão, solução salina ou nanopartículas na presença de um substrato têxtil. Partículas nano de ZnO possuem, de acordo com a aplicação e processo (Tab. 1), propriedades antibacterianas, proteção UV, retardamento de chamas, estabilidade térmica, isolamento térmico, condução elétrica, características hidrofóbicas e, suas propriedades catalíticas, funcionam como agente degradantes para diversos poluentes, como corantes e surfactantes (Fig. 14) (VERBIC,2019).

Tab. 1 Aplicações de nanoestruturas de ZnO em diferentes substratos.

Substrato	Nanoestrutura	Tamanho	Aplicação	Função
Algodão	nanoagulhas	-	ultrassom	condutividade elétrica
Linho	esférica, nanoplatelets	58,3-223,9nm 600-684,2nm	coating	antimicrobiana, hidrofóbica, prot. UV
Juta	-	38-60nm	Pad dry	retardante de chamas
Poliamida	nanotubos	-	coating	condutividade elétrica
Poliéster	esférica	34nm	<i>coating</i>	antimicrobiana
Poliuretano	nanoagulhas	Ø 30nm	<i>coating</i>	antimicrobiana
Seda	nanotubos	Ø 70-160 nm	pad dry	prot. UV hidrofóbica
Sisal	-	-	<i>coating</i>	retardante de chamas

Fonte: Verbic, Anja et al. Própria autoria

## 4 POSSÍVEIS APLICAÇÕES TÊXTEIS

### 4.1 Formas de apresentação

O segmento têxtil possui aplicações em diversas áreas: roupas, indústria automobilística, esportes, têxteis técnicos e outros, e é uma das indústrias mais importantes dentro de bens de consumo. O uso de nano materiais teria a capacidade de imbuir propriedades inovadoras nos tecidos, como exemplo, autolimpeza, bloqueadores solares, resistência à abrasão, amassados e chamas; isso sem incluir a integração de componentes eletrônicos com têxteis, os chamados *e-wearables*, o que possibilitaria o monitoramento de pacientes sem o uso de aparelhos e ajudaria esportistas a melhorar seu desempenho.

Tecidos com nanotecnologia são considerados *hi-tech*, explicando seus elevados preços e procura específica por consumidores, os mesmos podem ser integrados em tecidos através de três maneiras:

1. Dentro do núcleo da fibra pela dispersão de nanomaterial;
2. Como cobertura por camadas colocada sobre substrato têxtil;
3. Fiação *eletrospinning* de alguns polímeros dentro da escala manométrica.

A indústria têxtil é considerada um mercado crescente na adoção de nanoestruturas, parte disto devido a gama de substratos de qualidade para a incorporação de materiais nano em suas grandes superfícies. O segmento que mais se destaca neste quesito é o segmento de têxteis técnicos (ANIS et al., 2017, p. 163-164).

## 4.2 Aplicações consolidadas

### 4.2.1 Adidas®

Adidas® foi a primeira companhia a usar nanotecnologia em seus calçados de corrida, eles foram desenhados para o corredor texano Jeremy Wariner<sup>8</sup>. O Adidas® *Lone Star Spike* foi desenvolvido com nano tubos de carbono como reforço nas placas da sola e nos cravos, para auxiliar na constante mudança de elasticidade durante uma corrida.

Esse tipo de desafio, principalmente na parte de performance, só poderia ser alcançado com nanotecnologia, os calçados teriam que ser suaves o suficiente para absorver impacto e duros o bastante para não achatarem em um curto espaço de tempo, os engenheiros da Adidas® usaram vídeos de alta velocidade e mapeamento de pressão para estudar o comportamento durante uma corrida do texano por 2 anos para customizar o calçado ao seu estilo de correr. Isto resultou em um calçado com um terço da espessura de um tênis comum e uma redução de 50% de peso, as ligações químicas e mecânicas dos nano tubos aumentaram a integridade estrutural e a durabilidade (ANIS et al., 2017, p. 165-167).

### 4.2.2 Hi-Tec® Shoes

A empresa inglesa Hi-Tec® foi a primeira a desenvolver botas com nanotecnologia à prova d'água. Chamada de P2i®, consiste na aplicação de um material polimérico em nano escala que repele água em condições úmidas e ao mesmo tempo permite que a transpiração evapore.

---

<sup>8</sup> Velocista norte-americano especializado em corridas de 400 metros rasos, campeão olímpico da prova nos Jogos de Atenas 2004. Ele é o terceiro principal competidor na história de eventos de 400 metros, com uma marca pessoal de 43,45 segundos. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Jeremy\\_Wariner](https://en.wikipedia.org/wiki/Jeremy_Wariner)>

Figura 15 - Tecido de calçado sem e com aplicação de tecnologia P2i®.



Fonte: Hi-Tec Shoes.

O processo utiliza plasma para cobrir, com uma camada nano polimérica, cada uma das fibras do tecido, isto torna as botas 100% à prova d'água e, ao mesmo tempo, 100% respiráveis porque, diferente de membranas, as moléculas cobrem as fibras separadamente, deixando os espaços entre fibras abertos. O sucesso da tecnologia permitiu que a mesma fosse aplicada posteriormente em luvas e chapéus (ANIS et al., 2017, p. 168-169).

#### 4.2.3 Eddie Bauer

Eddie Bauer é uma cadeia de lojas americana que trabalha dentro do comércio varejista. Através de uma licença obtida da empresa Nano-TEX, a Eddie Bauer utilizou a tecnologia para obter têxteis resistentes às manchas, com a submersão do substrato têxtil em uma solução contendo nano filamentos com área de superfície elevada, o que proporcionou uma resistência também na solidez aos amassados e na impermeabilização contra líquidos, uma vez que eles não penetram no tecido.

Os nano filamentos utilizados são hidrocarbonetos com espessura equivalente de 1/1000 da espessura de uma fibra de algodão, estes filamentos aderem à roupa e criam um colchão de ar sobre o tecido, esta tecnologia, chamada

de Nano Care®, pode ser aplicada em algodão, lã, poliéster, seda e poliamida. Porém, muitos consumidores ainda possuem receio quanto ao uso de roupas que contenham nano particulados, o que provoca um baixo consumo de produtos com esse tipo de tecnologia, os consumidores tendem a priorizar imagem e estilo antes de entenderem os benefícios destes nano componentes (ANIS et al., 2017, p. 170-172).

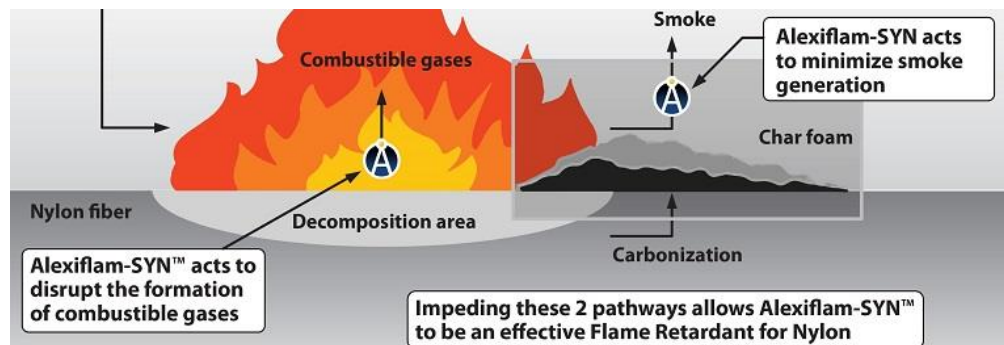
#### **4.2.4 Alexium**

Esta empresa de químicos especiais com sede na Austrália possui contratos com departamentos de defesa de diversos países, entre eles os Estados Unidos. Essa parceria rendeu aplicações para a nanotecnologia dentro do desenvolvimento de têxteis técnicos, com o enfoque principal na tecnologia de retardantes de chamas para uso militar. Nano camadas são aplicadas em volta das fibras com o uso de vácuo, quando exposta às chamas, essas camadas se transformam em um nano compósito carbonizado que age como uma camada protetiva, impedindo o derretimento e o possível gotejamento do substrato. A deposição de nano químicos ocorre em fibras de poliamida e o processo utiliza uma cura por micro-ondas, o que possibilita o controle preciso desta deposição.

Apesar de sua versatilidade, a poliamida é inerentemente inflamável, mas estudos estão em desenvolvimento para buscar um substrato compatível. Este retardante possui compostos não halogêneos, o que se traduz em um produto ecologicamente viável dentro dos padrões americanos e europeus, isto somado ao fato de que o processo para obtê-lo possui baixa demanda de energia com uma pegada ecológica pequena (ANIS et al., 2017, p. 173-175).

O sucesso deste processo levou a Alexium a desenvolver esta tecnologia para o setor de transportes, adaptando o uso para poliéster e acrílico, o que permite sua utilização em carpetes, móveis e vestuários, e também o desenvolvimento de um retardante similar para o público comum (ALEXIUM, 2019).

Figura 16 - Ação do produto em substrato têxtil.



Fonte: Alexium International.

#### 4.2.5 Radiation Shield Technologies

RST é líder mundial em pesquisa, design e produção de roupas contra radiação ionizante e nuclear. Seu principal produto, Demron™, é uma combinação de nanotecnologia e material têxtil, um tecido que bloqueia luz e radiação similar aos escudos de chumbo, consiste em nano partículas compostas de bário, bismuto ou tungstênio, dispersos em uma matriz polimérica que formam filmes distribuídos em camadas junto com o substrato têxtil, este compósito atua de forma a reduzir radiações alfa, beta e gama.

Como previsto, seu uso é restrito ao setor militar e hospitalar, onde este tipo de proteção é necessário para reduzir a exposição do corpo as radiações nocivas provenientes de bombas e armas nucleares, assim como equipamentos produtores de imagens, raios-x, etc., contudo, a tecnologia e o material usado nestes tecidos, contribuem para o seu altíssimo custo, com preços que variam entre 2.000-10.000 dólares americanos por traje. Estes trajes permitem customização para resistirem a agentes químicos, corrosivos e biológicos além da radiação (ANIS et al., 2017, p. 176-178).

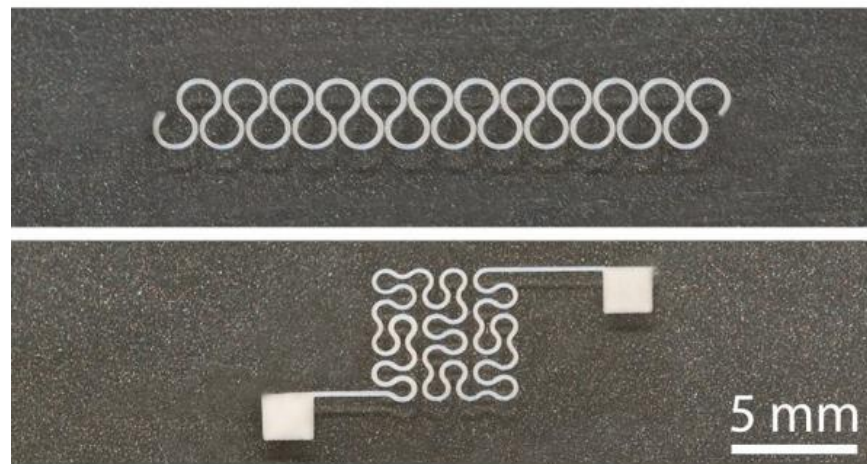
O próximo passo da RST é o desenvolvimento de coberturas contra radiação para equipamentos eletrônicos e *smart suits*, trajes que possibilitam que componentes eletrônicos sejam integrados a eles (RADSHIELD, 2019).



#### 4.2.6 DuPont Stretchable Conductor

A DuPont conseguiu desenvolver fios condutivos e tinta condutiva com capacidade elástica, possibilitando seu uso em tecidos *e-wearables*. Esta tecnologia consiste em uma pasta encapsulada de nano partículas de prata que possui excelente elasticidade, adesão e condutibilidade. As tintas desenvolvidas para esse uso possuem solidez a lavagem de até 100 lavagens, e os circuitos produzidos com esta tinta aderem de maneira integral aos têxteis comuns, o que permite o conforto para seu uso com eletrônicos embutidos.

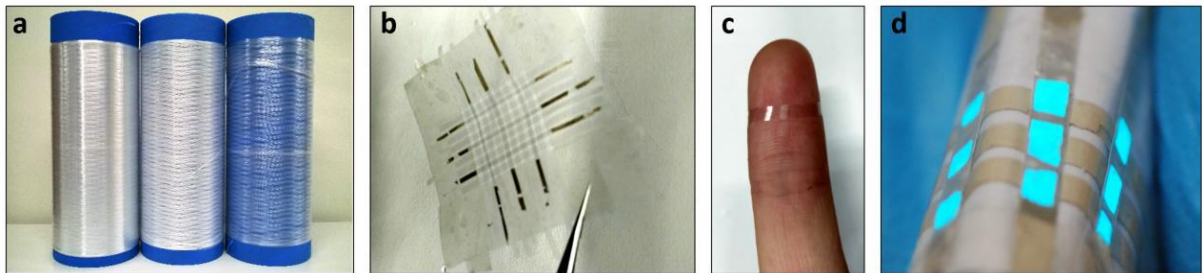
*Figura 17 - Condutor Dupont com prata.*



*Fonte: Dupont.*

A tecnologia dos *e-wearables* permite a aquisição de dados de esportistas durante treinamento, busca do posicionamento de tropas no campo de batalha, sem o uso de dispositivos pesados e o monitoramento de pacientes, permitindo o livre movimento no leito. Todavia, ainda há a busca por dispositivos que sejam seguros o bastante para evitarem choques elétricos e efeitos adversos à saúde (ANIS et al., 2017, p. 178-181).

Figura 18 - (a) Fibras têxteis produzidas pela Centexbel. Alguns exemplos de dispositivos electrónicos com grafeno em fibras têxteis fabricados na Universidade de Exeter: (a) sensor de posição, (b) sensor de toque, (c) dispositivo emissor de luz.



Fonte: Livro dos laboratórios abertos 2018. P.25

#### 4.2.7 Vollebak

A empresa desenvolveu em 2008 o maiô do nadador Michael Phelps, com excelentes resultados, e lança em 2019 algumas novidades no setor como uma camiseta feita de algas e plantas que pode ser utilizada como subsistência, a roupa de 100 anos, produzida com poliamida, aramida, poliuretano e elastano; esta peça de vestuário é reforçada com compósitos e retardante de chamas; e a jaqueta de *Black Squid*, que mimetiza a camuflagem adaptativa da lula, ao refletir todas as cores do espectro visível. Em 2018, a Vollebak, a empresa fundada pelos irmãos Nick e Steve Tidball focada somente na fabricação de vestuário de alta tecnologia, desenvolveu uma jaqueta feita de grafeno (VOLLEBAK, 2019).

Figura 19 - Jaqueta de grafeno.



Fonte: Vollebak.

O tecido de grafeno utiliza *nanoplatelets*, equivalente a pilhas de grafeno unidas com poliuretano, produzindo assim uma membrana. As propriedades vão desde condução e armazenamento de calor, até propriedades bactericidas, visto que a superfície do grafeno impede a proliferação de micro-organismos, a jaqueta pesa apenas 370g. A Vollebak precisou anular a capacidade de condução elétrica com receio de transformar o usuário em um condutor ambulante, isto foi feito aumentando a distância entre os *nanoplatelets* (GALILEU, 2019).

Devido à dificuldade de trabalhar o material e seu alto custo, não foram encontradas aplicações práticas para o grafeno dentro deste nicho da indústria, mas, segundo a Vollebak, há a esperança que isto mude.

#### **4.2.8 Nanoencapsulado para neutralização de odor**

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) desenvolveu um nanoencapsulado para tecidos que possui dupla função, proteção UV e neutralização de odor corporal. O fator de proteção que o IPT busca é de 15 a 20, absorvendo cerca de 93 a 95% da radiação ultravioleta. Como a tecnologia hoje está voltada para tecidos de alto desempenho, segundo o pesquisador do Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas (LPP), Adriano Marim:

“No projeto do IPT, o foco é trabalhar tecidos mais baratos, que possam chegar a trabalhadores que exerçam atividades a céu aberto. A ideia é buscar uma tecnologia mais econômica e, portanto, mais acessível à população”

O produto final terá a impregnação da trama e as nanoestruturas presentes poderão ser aplicadas diretamente sobre o tecido ou em sabão em pó e amaciantes, renovando suas propriedades em cada lavagem. O mercado para a aplicação é vasto, desde EPIs, construção civil, fitness, decoração e tecidos da indústria automotiva (IPT, 2019).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desenvolvimento de pesquisa é o alicerce para toda descoberta ou invenção. Porém, a ciência, ou melhor, a mente humana as vezes se adianta em uma descoberta revolucionária onde o avanço em si não encontra lugar dentro daquele momento na história. Foi assim com Berzelius, o descobridor do silício, Curie, com a radioatividade, Ramanujan, com seus cálculos avançados de partições, e até mesmo Joseph Marie Jacquard, que recebeu terceiro lugar por sua invenção na *Exposition des produits de l'industrie française*, mentes brilhantes que desvendaram segredos que só foram colocados em práticas décadas depois, e sempre será assim, faz parte do processo, descobertas são amálgamas de outras descobertas e simplesmente podem fugir ao contexto em que se encontram gerando muitas outras e, principalmente, saindo da área em que se situam e avançando sobre uma miríade de outros setores.

A nanotecnologia é uma destas descobertas, ela abrange virtualmente todos os setores da indústria e adentra a casa do consumidor, o futuro idealizado nos filmes e livros de ficção científica só será possível por causa dela. Infelizmente, algumas áreas possuem uma certa resistência ao novo, o setor têxtil é uma dessas áreas, o que antes era o pináculo do desenvolvimento, impulsor da revolução industrial, hoje é um setor que briga entre si para disputar onde será seu próximo polo de relativa importância, a pesquisa e o impulso por desenvolvimento foi colocado nas entrelinhas, é discutido nos cantos e sussurrado ao ouvido.

Mas a nanotecnologia ainda engatinha, um universo do qual sabemos pouco em comparação ao nosso contexto de “mundo”, isso propõe que seja feita um movimento vanguardista em relação ao ensino e as aplicações práticas dentro do setor para fomentar a introdução do seu uso. É possível esperar que alguém o faça primeiro, mas aguardar também custa caro e é um dos principais quesitos quando se fala em tecnologia de ponta, ainda passarão muitos anos antes que a nanotecnologia dentro do setor têxtil seja considerada uma tecnologia de uso comum, e quando a mesma se tornar comum, é preciso que o próximo salto tecnológico já esteja preparado.

O ser humano necessita de vestuário, mesmo com todos os vieses de explicações do porquê se utilizam roupas, sejam eles religiosos, tradicionais, culturais ou impostos, a verdade é que roupas são para proteção, e esse princípio básico nunca mudará, dito isto, o setor têxtil tem uma promessa de trabalho infindável relativa à duração da espécie humana. Todavia, para continuar sua existência, o próximo passo é a nanotecnologia e seus derivados, ela está aliada com todas as ideias que decidirão se o mundo terá um futuro ou não, sustentabilidade, ecologia, agricultura, e a conquista espacial.

## 6 REFERÊNCIAS

ALEXIUM. **Alexium Commercial Update**. Disponível em: <<https://alexiuminternational.com/wp-content/uploads/2019/10/Announcement-Commercial-Update-FINAL-2019-10-03.pdf>>. Acesso em: ago 2019.

ANIS, Mohab; ALTAHER, Ghada; SARHAN, Wesam; ELSEMARY, Mona. **Novate: Commercializing Disruptive Nanotechnologies**. Springer, Suíça, 2017.

ARAÚJO, Mario de; FANGUEIRO, Raul; HONG, Hu, **Têxteis Técnicos – Materiais do Novo Milênio**, Litografia A.C., Braga, 2000.

FANG, K.; WANG, C.; ZHANG, X.; XU, Y. **Dyeing of cationized cotton using nanoscale pigment dispersions**. *Color Technol* 121:325, 2005.

GAHARWAR, Akhilesh K.; PEPPAS, Nicholas A.; KHADEMHOSEINI, Ali, **Nanocomposite hydrogels for biomedical applications**, *Biotechnol Bioeng*, 2014. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bit.25160>> Acesso em: abr. 2019.

GALILEU. **Revista Galileu**, periódico. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/08/cara-e-maravilhosa-conheca-primeira-jaqueta-de-grafeno-do-mundo.html>>. Acesso em: set 2019.

GONG, Jian Ru. **GRAPHENE – SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, PROPERTIES AND APPLICATIONS**. Intech: Rijeka, Croácia, 2011.

HORROCKS, A.R.; ANAND, S.C., **Handbook of technical textiles**, The textile institute, CRC Press, Cambridge, UK, 2000.

IPT. **Projeto do IPT cria nanoencapsulado que gera fotoproteção e neutralização de odor em roupas**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1054](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1054)>. Acesso em: 22 nov 2019.

LEPCOM, **Nanocompósitos**, Laboratório de Engenharia de polímeros e compósitos. Disponível em: <<http://lepcom.demet.ufmg.br/website/index.php/pt/linhas-de-pesquisa/interfaces/nanocompositos>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

QT. Química Têxtil, periódico. **Corantes: Novas tecnologias no tingimento de fibras têxteis**. Órgão oficial da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis. Nº 104, Ano XXV. ABQCT, 2011.

RADSHIELD. **Radiation Shield Technologies**. Disponível em: <<https://www.radshield.com/>>. Acesso em: set 2019.

RAGHVENDRA, KM; SRAVANTHI, L, **Fabrication Techniques of Micro/Nano Fibres based Nonwoven Composites: A Review**, *Modern Chemistry & Applications*, 2017. DOI: 10.4172/2329-6798.1000206

SPYROU, Konstantinos; RUDOLF, Petra. **Functionalization fo Graphene**. Wiley-VCH: Weiheim, Alemanha, 2014.

VERBIC, Anja; GORJANC, Marija; SIMONCIC, Barbara. **Zinc Oxide for Functional Textile Coatings:Recent Advances**, Department of Textiles, Graphic Arts and Design, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Slovenia, 2019.

VOLLEBAK. **Vollebak**. Disponível em: <<https://www.vollebak.com/product/graphene-jacket-1/>>. Acesso em: set 2019.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Disponível em: <<https://advancedtextilesource.com/2016/01/08/textiles-in-space/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://divaholic.com.br/wearable-tech/tecnologia-do-grafeno-na-moda-e-vestuario/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/noticias/grafeno-e-oportunidade-para-setor-textil-brasileiro-diz-na-fiesp-especialista-em-nanomateriais/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<http://textileindustry.ning.com/m/discussion?id=2370240%3ATopic%3A890197>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://www.portugaltextil.com/grafeno-cria-texteis-mais-inteligentes/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<http://textileindustry.ning.com/m/discussion?id=2370240%3ATopic%3A871542>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://canaltech.com.br/ciencia/premio-nobel-da-fisica-vem-ao-brasil-conferir-pesquisas-sobre-grafeno-no-inmetro-148913/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://canaltech.com.br/saude/grafeno-e-a-nova-aposta-contrapicadas-de-mosquitos-147911/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/145346-grafeno-servir-campo-forca-mosquitos.htm>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://zap.aeiou.pt/propriedade-grafeno-magnetismo-270488>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://www.innovationintextiles.com/alexium-launches-ascalon-flame-retardant-nylon/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://www.techtextil-blog.com/en/environmentally-friendly-flame-retardant-fr-treatment-for-synthetic-fabrics/>>. Acesso em: out 2019.

Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/1524-negro-de-fumo>>. Acesso em: out 2019.