



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE**  
**MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE TECIDOS LABORAIS UTILIZADOS**  
**PARA PROTEÇÃO SOLAR**

**ARIELMA MARQUES DOS SANTOS**

**JOÃO PESSOA – PB**

**2019**

**ARIELMA MARQUES DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE TECIDOS QUANTO A PROTEÇÃO SOLAR E  
CONFORTO TÉRMICO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba como exigência à obtenção do título de Mestra em Ciência e Engenharia de Materiais.

**Orientador:** Prof. Dr. Antonio Farias Leal

**JOÃO PESSOA – PB**

**2019**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S237c Santos, Arielma Marques Dos.  
CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE TECIDOS LABORAIS  
UTILIZADOS PARA PROTEÇÃO SOLAR / Arielma Marques Dos  
Santos. - João Pessoa, 2019.  
113 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Proteção ultravioleta. 2. Têxteis. 3. Polímeros. I.  
Título

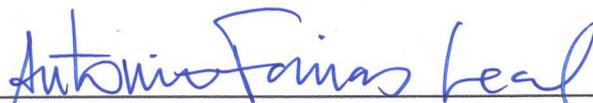
UFPB/BC

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE TECIDOS QUANTO A PROTEÇÃO SOLAR E  
CONFORTO TÉRMICO**

**ARIELMA MARQUES DOS SANTOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba como exigência à obtenção do título de Mestra em Ciência e Engenharia de Materiais.

Dissertação aprovada em: 26/02/2019



---

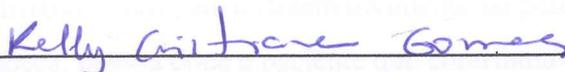
Prof. Dr. Antonio Farias Leal  
Orientador  
PPCEM – UFPB

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Dr. Marçal Rosas F. Lima Filho  
Examinador interno  
PPCEM – UFPB



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kelly Cristiane Gomes da Silva  
Examinadora externa  
CEAR – UFPB

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em todos os momentos e por permitir que aconteçam todas as coisas boas em minha vida;

Ao meu esposo, Paulo Sérgio, que esteve constantemente ao meu lado, foi o meu porto seguro, e mesmo quando as dificuldades tomavam conta dos meus sonhos nunca me deixou desistir;

Aos meus pais, Aparecida e Ângelo, que sempre me apoiaram, nunca medindo esforço para realizar comigo os meus sonhos, e sempre andaram comigo nessa caminhada acadêmica;

Às minhas irmãs, Aline e Aliane, e a pequena Alice, por me trazerem tranquilidade na correria dos semestres e me darem motivação para seguir;

À toda família, pelo apoio e incentivo de sempre;

Ao Prof. Dr. Antonio Leal, pela oportunidade dada durante a seleção, pelas preciosas orientações, paciência e por entender as minhas limitações, um excelente profissional, levarei os seus ensinamentos por toda vida;

À Gessica, conterrânea, companheira de estudo, obrigada por me dar a mão no início de tudo;

À minha querida Mara, cearense linda e de um coração generoso, que me acolheu em sua casa e em sua vida, pessoas como você me fazem ver o mundo de outra maneira, fazem de mim uma pessoa melhor, sempre te levarei em meu coração;

À Alanne, companheira acadêmica que me acolheu em sua casa e fez dos meus dias mais leves durante a estada em João Pessoa, agradeço pela confiança e carinho;

Ao mestre Diogo Vasconcelos, pela ajuda durante o processo de seleção, pelo incentivo e pelos valiosos conselhos;

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kelly, que me acolheu em seu centro, sempre me auxiliando no laboratório e contribuiu muito para o desenvolvimento da pesquisa;

À Dr.<sup>a</sup> Rebeca, pessoa doce e paciente que contribuiu muito para essa pesquisa com as análises de perfilometria óptica e com o conhecimento que foi repassado a mim sobre a técnica;

À equipe Adriantur e a Paraguai, que sempre fizeram o máximo para que eu chegasse a tempo nas aulas;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, que desempenharam sempre com dedicação as aulas ministradas, e à todos os funcionários da UFPB pelo apoio dado durante o curso.

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.*

Dedico essa dissertação à minha querida mãe, Aparecida. Agricultora, mulher forte, íntegra, que tudo enfrenta, que apesar de muito querer não teve a oportunidade de estudar como eu e minhas irmãs, e por mais difíceis que sejam as circunstâncias, nunca deixou de lutar pela nossa formação.

Que sigam os sonhos!

## RESUMO

O espectro solar é composto por uma série de radiações, que apesar de serem essenciais para a manutenção da vida podem influenciar negativamente na saúde dos indivíduos quando a exposição é prolongada e reincidente. A radiação Ultravioleta (UV) é um dos principais fatores contribuintes para o desenvolvimento de doenças cutâneas, incluindo o câncer, e a vestimenta é tida como o principal método de proteção. Trata-se de uma pesquisa que caracteriza os têxteis provenientes de vestuários de trabalhadores que desenvolvem atividades em ambientes externos, com exposição à radiação solar, objetivando-se indicar as variáveis que afetam o Fator de Proteção Ultravioleta (UPF) e conforto térmico desses materiais e a real proteção que oferecem, como uma forma de contribuir para melhor qualidade de vida e saúde desses indivíduos. Diferentes tipos de fibras de cores distintas foram analisadas. As superfícies das amostras foram caracterizadas através de microscopia óptica e perfilometria óptica 3D. Os perfis de absorvância, transmitância e refletância de UV (290-400 nm), e absorção de infravermelho (700-1400 nm) foram obtidos por espectrofotometria UV/Vis. Os ensaios e cálculo para a determinação do UPF tiveram por base a norma técnica AS/ZN 4399:1996 – Sun protective clothing – Evaluation and classification. Os resultados evidenciaram que a composição dos tecidos, cor e a fotodegradação causada pelo uso em exposição, são fatores determinantes para a proteção solar e conforto térmico, outras variáveis como a pilosidade e tratamento doméstico mostraram certa influência apenas sobre o UPF.

**Palavras-chave:** Proteção ultravioleta; têxteis; polímeros.

## ABSTRACT

Sunlight is composed by a series of radiations, which, although essential for life, can negatively impact individual's health over prolonged and reiterative exposure. Ultraviolet (UV) radiation is one of the main contributing factors for development of skin-related diseases, including cancer, and clothes are considered the main method of protection. This research characterizes fabrics in clothes worn by workers that carry out outdoor activities, exposed to solar radiation, with the aim of indicating variables that affect Ultraviolet Protection Factor (UPF) and thermal comfort of materials and the actual protection they provide, as a way to contribute to a better quality of life and health of these individuals. Different types of fibers in different colors were analyzed. Sample surfaces were characterized by means of optical microscopy and 3D optical profiling. UV (290-400 nm) absorbance, transmittance and reflectance, and infrared absorption (700-1400 nm) were obtained with UV/Vis spectrophotometry. Tests and calculus for UPF determination were based on the AS/ZN 4399:1996 – Sun protective clothing – Evaluation and classification technical regulation. Results showed that fabric composition, color and photodegradation caused by wear under exposure were key factors to ensure solar protection and thermal comfort; other variables such as hairiness and home care showed some influence only over UPF.

**Keywords:** Ultraviolet protection; fabrics; polymers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura do tecido. ....	23
Figura 2 – Sequência de polimerização e formação de fibras .....	25
Figura 3 – Estruturas poliméricas básicas para as principais fibras .....	26
Figura 4 – Reação de condensação do polietileno tereftalato. ....	27
Figura 5 – Fator de proteção UV versus fator de cobertura de um material têxtil .....	36
Figura 6 – Pilosidade de fios de algodão proveniente de três filatórios distintos. ....	41
Figura 7 – Transmissão da radiação através do tecido.....	42
Figura 8 – Cubeta com concentração de material.....	43
Figura 9 – Espectrofotômetro UV-2600. ....	49
Figura 10 – Porta amostras, com material, prontos para serem posicionados no equipamento. .....	49
Figura 11 – Equipamento aberto com amostra em posição de análise. ....	50
Figura 12 – Perfilômetro com amostra têxtil em análise. ....	54
Figura 13 – Amostras poliéster/viscose em duas tonalidades de azul. ....	56
Figura 14 – Amostras de têxteis de algodão em diferentes tonalidades de verde. ....	61
Figura 15 – Amostras de algodão em duas tonalidades da cor azul. ....	64
Figura 16 – Amostras nova e usada .....	65
Figura 17 – Microscopia óptica de amostras de têxteis no estado de novo e após 8 meses de uso. ....	65
Figura 18 – Perfilometria óptica de amostras novas e usadas de poliéster/viscose. ....	66
Figura 19 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra poliéster/viscose. ....	66
Figura 20 – Tecidos de fibras de poliéster. ....	69
Figura 21 – Microscopia óptica das amostras de poliéster nas condições de nova e usada. ....	70
Figura 22 – Perfilometria óptica de amostras novas e usadas de poliéster. ....	70
Figura 23 – Gráficos de picos e vales da superfície de têxteis de fibra de poliéster. ....	71
Figura 24 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra 100% algodão durante o processo de tratamento doméstico. ....	74
Figura 25 – Perfilometria óptica de amostras têxteis, na cor verde, antes e após tratamento doméstico.....	75
Figura 26 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra 100% algodão antes e após tratamento doméstico. ....	77

Figura 27 – Perfilometria óptica de amostras têxteis, na cor azul, antes e após tratamento doméstico.....	78
Figura 28 – Amostras têxteis de diferentes fibras. ....	79
Figura 29 – Microscopia óptica de amostras de diferentes fibras. ....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre energia e comprimento de onda.....	29
Tabela 2 – Dados para cálculo de erro padrão.....	52
Tabela 3 – Sistema de classificação de UPF .....	53
Tabela 4 – Transmitância média UVA e UVB de amostras de poliéster em diferentes cores.	59
Tabela 5 – Transmitância média UVA e UVB de amostras têxteis de algodão em diferentes cores. ....	62
Tabela 6 – Classificação de UPF para os têxteis analisados. ....	83

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação de UPF para tecidos poliéster/viscose em diferentes tons de azul. ....	56
Gráfico 2 – Comparação entre as refletâncias de UV de dois têxteis de mesma composição e diferentes tonalidades da cor azul. ....	57
Gráfico 3 – Comparação de desempenho de têxteis de duas tonalidades da cor azul. ....	57
Gráfico 4 – Influência da cor no UPF de tecidos compostos por fibras de poliéster.....	58
Gráfico 5 – Influência da cor na transmitância de radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.....	59
Gráfico 6 – Influência da cor na absorbância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.....	60
Gráfico 7 – Influência da cor na refletância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.....	60
Gráfico 8 – Influência da cor no UPF de têxteis compostos por fibras de algodão. ....	61
Gráfico 9 – Influência da cor na transmitância de radiação UV em têxteis compostos por fibras de algodão.....	62
Gráfico 10 – Influência da cor na absorbância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de algodão.....	63
Gráfico 11 – Comparação do desempenho de têxteis de algodão em 4 tonalidades da cor verde.....	63
Gráfico 12 – Influência da cor no desempenho de têxteis de algodão em duas tonalidades da cor azul. ....	64
Gráfico 13 – Influência da fotodegradação no UPF de têxteis com composição 67% poliéster e 33% viscose. ....	67
Gráfico 14 – Influência da fotodegradação na transmitância e absorbância de têxteis nas condições de novo e usado. ....	68
Gráfico 15 – Influência da fotodegradação na refletância de têxteis nas condições de novo e usado. ....	68
Gráfico 16 – Influência da pilosidade no UPF de têxteis.....	69
Gráfico 17 – Influência da pilosidade na transmitância e absorbância UV. ....	71
Gráfico 18 – Influência da pilosidade na refletância UV.....	72
Gráfico 19 – Influência do tratamento doméstico em têxteis de algodão na cor verde. ....	73

Gráfico 20 – Influência de tratamentos domésticos na transmitância e absorbância de UV por têxteis de algodão na cor verde.....	73
Gráfico 21 – Influência de tratamentos domésticos na refletância de UV por têxteis de algodão na cor verde. ....	74
Gráfico 22 – Influência do tratamento doméstico em têxteis de algodão na cor azul. ....	76
Gráfico 23 – Influência de tratamentos domésticos na transmitância e absorbância de UV por têxteis de algodão na cor azul.....	76
Gráfico 24 – Influência de tratamentos domésticos na refletância de UV por têxteis de algodão na cor azul. ....	77
Gráfico 25 – Influência da composição em três tecidos de diferentes fibras e mesma tonalidade de azul. ....	80
Gráfico 26 – Influência da composição das fibras na transmitância UV.....	80
Gráfico 27 – Influência da composição das fibras na absorbância UV. ....	81
Gráfico 28 – Influência da composição das fibras na refletância de UV por têxteis.....	81
Gráfico 29 – Distribuição do Fator de Proteção Ultravioleta dos têxteis. ....	83
Gráfico 30 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por poliéster.....	84
Gráfico 31 – Influência das cores: amarelo, laranja e vermelho na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por poliéster. ....	85
Gráfico 32 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão.....	85
Gráfico 33 – Influência das tonalidades da cor verde na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão. ....	86
Gráfico 34 – Influência das tonalidades da cor azul na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão.....	86
Gráfico 35 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de poliéster/viscose.....	87
Gráfico 36 – Influência da fotodegradação na absorbância de IV.....	87
Gráfico 37 – Influência da pilosidade na absorbância de IV para tecidos de poliéster novo e usado. ....	88
Gráfico 38 – Influência do tratamento doméstico na absorbância de radiação infravermelha.	89
Gráfico 39 – Influência da composição na absorbância de IV.....	89

Gráfico 40 – Comparação entre as absorvâncias de radiação infravermelha para os materiais de melhor desempenho em UPF. ....	90
---	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ARPANSA	Agência Australiana de Proteção à Radiação Solar
CA	Certificado de Aprovação
CEAR	Centro de Energias Alternativas e Renováveis
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FPU	Fator de Proteção Ultravioleta
INCA	Instituto Nacional de Câncer
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IV	Infravermelho
LABFILM	Laboratório de Síntese e Caracterização de Filmes Finos
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NR	Norma Regulamentadora
nm	nanmetro ( $10^{-9}$ m)
OMS	Organização Mundial de Saúde
RUV	Radiação Ultravioleta
T <sub>m</sub>	Temperatura de fusão
UV	Ultravioleta
UV-A	Ultravioleta A
UV-B	Ultravioleta B
UV-C	Ultravioleta C
UPF	Ultraviolet Protection Factor
$\lambda$	Comprimento de onda
$\mu$ m	Micrmetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>20</b>
1.1.1	Objetivos gerais .....	20
1.1.2	Objetivos específicos .....	20
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>Impacto científico.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Fibras têxteis .....</b>	<b>23</b>
2.1.1.	Microestrutura das fibras têxteis.....	26
<b>2.2</b>	<b>A radiação ultravioleta .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>Exposição à radiação ultravioleta.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>Fotoproteção por têxteis .....</b>	<b>31</b>
<b>2.5</b>	<b>Fatores que influenciam na transmitância RUV em um tecido.....</b>	<b>32</b>
2.5.1	Tipo de fibra (composição) .....	33
2.5.2	Cristalinidade das fibras .....	34
2.5.3	Porosidade e construção .....	35
2.5.4	Cores .....	36
2.5.5	Presença de fotoestabilizantes .....	37
<b>2.6</b>	<b>Fatores que influenciam na fotoproteção do tecido após o uso .....</b>	<b>38</b>
2.6.1	Degradação das fibras têxteis .....	38
2.6.2	Elasticidade.....	40
2.6.3	Pilosidade .....	40
<b>2.7</b>	<b>Determinação de UPF .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.1.1</b>	<b><i>Espectrofotometria UV.....</i></b>	<b>41</b>
2.7.1.1.1	<i>A lei que fundamenta a espectrofotometria.....</i>	42
<b>2.8</b>	<b>Técnica de perfilometria óptica .....</b>	<b>43</b>
<b>2.9</b>	<b>Conforto térmico.....</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Métodos .....</b>	<b>47</b>
3.2.1	Seleção das amostras.....	47

3.2.2	Preparação das amostras.....	48
3.2.3	Ensaio de caracterização .....	48
3.2.3.1	<i>Espectrofotometria</i> .....	48
3.2.3.2	<i>Microscopia Óptica</i> .....	53
3.2.3.3	<i>Perfilometria óptica</i> .....	54
3.3	Determinação de conforto térmico .....	54
3.4	Parte experimental.....	55
4	<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	56
4.1	Influência da cor no Fator de Proteção Ultravioleta .....	56
4.2	Influência da fotodegradação no UPF .....	65
4.3	Influência da pilosidade no UPF .....	68
4.4	Influência de tratamentos domésticos no UPF .....	72
4.5	Influência da composição.....	78
4.6	Classificação dos tecidos quanto ao UPF .....	82
4.7	Absorbância da radiação infravermelha.....	83
4.7.1	Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha .....	83
4.7.2	Influência da fotodegradação na absorbância de radiação infravermelha.....	87
4.7.3	Influência da pilosidade na absorbância de radiação infravermelha .....	88
4.7.4	Influência de tratamentos domésticos na absorbância de radiação infravermelha ..	88
4.7.5	Influência da composição na absorbância de radiação infravermelha .....	89
4.8	<b>Têxtil de melhor desempenho em fator de proteção UV e conforto térmico ...</b>	<b>90</b>
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>91</b>
5.1	Considerações para trabalhos futuros.....	92
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS QUANTO AO SEU DESEMPENHO EM FATOR DE PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA. ....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TRANSMITÂNCIA DAS AMOSTRAS TÊXTEIS. ....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE C – RESULTADO DAS AMOSTRAS INDIVIDUAIS E CLASSIFICAÇÃO DE UPF PARA CADA MATERIAL .....</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE D – MICROSCOPIA Óptica DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE E – IMAGENS DE SUPERFÍCIE DE PERFILOMETRIA Óptica DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>110</b>

## 1 CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O vestuário, dentre suas funções, é destinado à proteção do corpo contra as variações climáticas e as agressões do meio ambiente, inclusive a energia radiante emitida pelo sol, conhecida como radiação solar. O espectro solar é composto por uma série de radiações com comprimentos de onda característicos e quase todas atuam de forma benéfica, mas quando a exposição é intensa e prolongada elas apresentam-se como uma ameaça a saúde. As radiações mais conhecidas são: a) raios infravermelhos – responsáveis pela sensação de calor e desidratação; b) Radiação Ultravioleta A (UV-A) – bronzeiam superficialmente a pele e contribuem para o envelhecimento precoce; c) Radiação Ultravioleta B (UV-B) – causam eritema, envelhecimento precoce e câncer de pele; c) Radiação Ultravioleta C (UV-C) – raramente atingem a superfície da terra, mas são muito prejudiciais, estimulam o bronzeamento, causam eritema e câncer de pele (INMETRO, 1998). Popim et al (2008), afirma que os raios UV-A também podem causar câncer de pele nos indivíduos que se expõem ao sol de forma contínua durante muitos anos. E isso é bem significativo no Brasil, em função do nível de insolação devido a sua localização geográfica.

As fibras têxteis destinadas à produção de tecidos para vestuário são materiais poliméricos que podem ter diversas origens e finalidades específicas, as usadas para fabricação de uniformes para trabalho em ambientes externos devem oferecer um bom desempenho na proteção contra as radiações solares, principalmente contra a Radiação Ultravioleta – RUV, comprovada pelos pesquisadores como sendo o principal fator contribuinte para o desenvolvimento de doenças de pele, como o câncer, por exemplo.

O Fator de Proteção Ultravioleta – UPF (Ultraviolet Protection Factor) – é uma informação que quantifica a efetividade fotoprotetora de um material têxtil e indica o quanto a pele está protegida da radiação UV, uma vestimenta que indique essa fotoproteção deve reduzir ou evitar a exposição da pele, e ser certificada atendendo os requisitos previamente estabelecidos em normas pertinentes. Como a vestimenta é a principal ferramenta que os trabalhadores dispõem para se protegerem da radiação ultravioleta, ver-se a necessidade de estudar o UPF dos tecidos utilizados na confecção dessa vestimenta e algumas das variáveis que influenciam nesse fator.

Essa fotoproteção, características de cada material, vai depender de particularidades, como da estrutura do tecido, sua densidade, cor, como também da microestrutura do polimérico relacionada com a sua origem, composição e processo de produção.

Efetivamente o desempenho de vestuários quanto ao Fator de Proteção Ultravioleta (FPU) é uma característica muito importante, e diria que até mesmo indispensável quando se trabalha em ambientes externos, com exposição direta à RUV, já que esta é uma radiação ionizante, classificada como risco físico e pode ocasionar o desenvolvimento de doenças cutâneas ocupacionalmente relacionadas, que podem levar a incapacidade para o trabalho ou até mesmo ao óbito em casos mais graves, como os relacionados ao câncer.

O foco desse estudo é a transmitância da radiação UV, e absorbância da infravermelha, em materiais têxteis, com abordagem nas vestimentas de trabalho, mais especificamente as usadas para a realização de atividades externas. A proposta é analisar, com o auxílio de equipamentos específicos, se os materiais têxteis utilizados na produção dessas vestimentas oferecem alguma proteção contra as radiações ultravioleta, e se esse fator de proteção se mantém com o tempo de uso, e também identificar qual oferece o melhor conforto térmico.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos gerais**

Objetivou-se, de forma geral, quantificar a efetividade fotoprotetora de têxteis usados para a confecção de vestimentas laborais, destinadas a atividades em ambientes externos, e fazer uma inferência, a partir da absorbância de infravermelho, do conforto térmico desses materiais poliméricos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Estudar as variáveis que afetam o Fator de Proteção Ultravioleta dos tecidos;
- Identificar o tecido, dentre os estudados, que apresente melhor desempenho em proteção solar e conforto térmico.

## **1.2 Justificativa**

A busca pela proteção contra os efeitos causados pela radiação solar iniciou-se, efetivamente, nas últimas três décadas quando esses efeitos tornaram-se mais divulgados e conhecidos (MILESI; GUTERRES, 2002). E não é só por uma questão de estética, estão

envolvidas também questões de saúde pública, e a exposição ao sol dos trabalhadores que exercem suas atividades em ambientes externos, que acontece de forma contínua e diária, os deixa vulneráveis a todos os efeitos que esse agente de risco é capaz de causar, principalmente se for levado em consideração que dificilmente esses trabalhadores irão fazer uso de produtos eficazes na proteção contra as radiações UV, seja pela falta de conhecimento ou pela indisponibilidade desses produtos por parte do empregador. A inexistência de um EPI que seja destinado à proteção solar do corpo inteiro e a não obrigatoriedade do fornecimento de cremes com proteção solar, por não ser considerado EPI, deixa esses trabalhadores expostos à radiação ultravioleta, e susceptíveis a desenvolverem os distúrbios que essa exposição pode causar.

Com a avaliação do comportamento desses materiais quando expostos à RUV pode-se assegurar a real proteção que é oferecida, e responder a questionamentos como os feitos por Santos (2018) em relação à adequação dessas vestes à proteção que o trabalhador necessita, tendo em vista o elevado tempo de exposição.

Após essa avaliação da vestimenta de trabalho, poderá ser sugerida uma melhoria desses materiais usados para proteção solar ou indicado um de melhor desempenho para cumprir essa função levando-se em consideração os agravos à saúde e o elevado tempo de exposição. Uma proteção eficaz estaria contribuindo, mesmo que não seja em curto espaço de tempo, com a diminuição do número de casos de câncer e outras doenças de pele entre os trabalhadores que realizam suas atividades em ambientes externos.

### **1.3 Impacto científico**

A exposição excessiva à radiação Ultravioleta é um problema de saúde pública de relevância considerável, principalmente quando ela acontece diariamente por longos períodos, como para os que realizam atividades em ambientes externos, a exemplo dos agricultores, mototaxistas, trabalhadores da construção civil e limpeza urbana. Levando-se em consideração que muitas vezes a vestimenta é a principal, se não a única, forma de se proteger dos danos causados pela UV, se faz necessário estudar as características, da macro e microestrutura, intrínsecas desses materiais e as variáveis que influenciam nas suas propriedades de proteção.

Quando identificadas essas variáveis é possível apontar quais são as características que um material deve apresentar para conferir um maior UPF, o que pode trazer contribuições

para a engenharia com a caracterização de materiais, e também para a resolução de um problema de saúde pública e da segurança no trabalho, levando-se em consideração que aproximadamente 90% dos cânceres de pele se desenvolvem em partes do corpo que ficam expostas sem proteção (HAYASHIDE et al, 2010), então o uso de uma roupa adequada, que em suas características apresente uma boa proteção solar pode reduzir esse índice e melhorar a qualidade de vida desses trabalhadores, que muitas vezes desconhecem a gravidade que a exposição pode causar.

O material têxtil, quando comprovada a sua eficácia, poderia ser utilizado inclusive para o desenvolvimento de um novo Equipamento de Proteção Individual destinado à proteção de corpo inteiro contra a radiação solar, já que ela inclusive é uma radiação não ionizante, classificada pelo Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – Norma Regulamentadora (NR) 09 – como um risco ocupacional, mais precisamente um agente físico (BRASIL, 2016b).

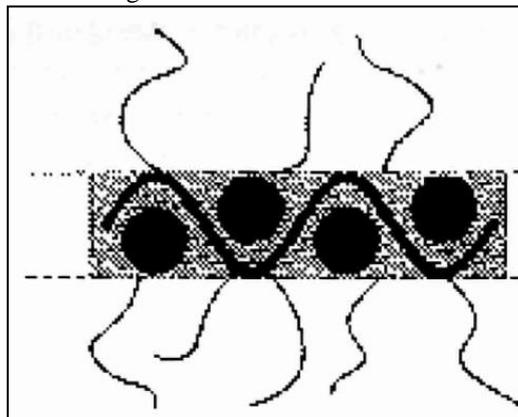
## 2 CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Fibras têxteis

Os materiais sólidos são agrupados, baseando-se na sua composição química e estrutura atômica, em três categorias: cerâmicas, metais e polímeros (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2018). Os polímeros são comumente conhecidos como os materiais da família dos plásticos e borrachas, e apresentam composição química baseada no carbono, hidrogênio e outros elementos não metálicos. Essa categoria de material tem diversas aplicações, como filmes, fibras, espumas, revestimentos entre tantas outras, e de uma maneira geral pode ser dividida em três grandes classes: plásticos, borrachas e fibras. Os que são definidos como fibra, segundo Callister e Rethwisch (2018) “são capazes de serem estirados na forma de longos filamentos com uma razão entre o comprimento e o diâmetro de pelo menos 100:1”. A maioria dessas fibras poliméricas é utilizada na indústria têxtil para a produção de vestimenta ou artigos de utilidades diversas, chamadas de fibras têxteis.

Para Lobo, Limeira e Marques (2014) “a fibra é definida como um material que tem a medida do seu comprimento centenas de vezes maior que a sua espessura”, já a fibra têxtil a definem como aquela que pode passar por processos mecânicos de estiramento e torção para ser transformada em um fio e seguidamente em um tecido. De acordo com Costa (2010) “Tecidos são artigos obtidos por entrelaçamentos ou laçadas de fios e/ou filamentos têxteis”. Sendo então os materiais têxteis classificados como polímeros, obtidos a partir de fibras poliméricas.

Figura 1 – Estrutura do tecido.



Fonte: LI (2001).

A estrutura do tecido é subdividida por Li (2001) como tendo três camadas, um núcleo que é denso e duas camadas externas, constituídas predominantemente de ar com pequena quantidade de fibras projetadas (Figura 1).

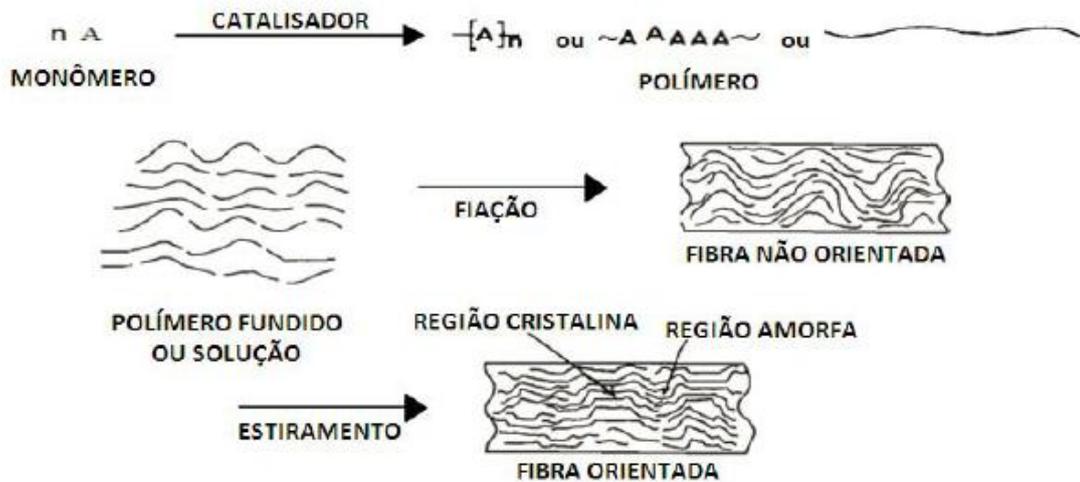
As fibras usadas na produção dos tecidos podem ser classificadas dentro de dois grandes grupos, são eles: fibras naturais e não naturais/químicas. São consideradas naturais quando elas já estão prontas na natureza, como o próprio nome sugere, e precisam passar meramente por alguns processos físicos para que sejam transformadas em fios e então já poderão ser empregadas pela indústria na produção de tecidos (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014), são de origem animal ou vegetal e podem ser transformados em filamentos, os filamentos em tecidos, e os tecidos em vestimentas ou outros artigos. As fibras não naturais ou químicas,

São feitas a partir de polímeros orgânicos naturais e sintéticos [...], o processo de produção de fibras é constituído pelas seguintes operações: preparação das soluções de fiação ou fundidos, formação da fibra e acabamento da fibra (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014).

Mas nem todos os polímeros podem ser usados para essa finalidade, é necessário que as macromoléculas apresentem algumas características: que sejam flexíveis, longas, lineares ou com ramificações pequenas, e que tenha um peso elevado, que possam fundir sem que aconteça a decomposição e que se dissolvam em solventes determinados. Alguns dos materiais poliméricos que apresentam essas propriedades podem ser empregados na produção de fibras químicas (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014).

A Figura 2 ilustra o processo de polimerização e formação de fibras e fios, para as fibras classificadas como químicas, onde, a partir do monômero, com o uso de catalisador, se dá a reação de polimerização, e então as moléculas, do polímero amorfo fundido ou em solução, são orientadas com uma direção preferencial inicialmente na fiação e, com resfriamento e estiramento do fio, passam a ter regularidade de orientação espacial, alinhando-se paralelamente no eixo principal ao longo da fibra, dando origem aos domínios cristalinos que se destacam da fase amorfa. De acordo com Canevarolo Jr. (2006), “a orientação, por meio do estiramento no estado sólido em temperaturas abaixo, mas próximas de  $T_m$  (Temperatura de fusão), força-se a movimentação das cadeias da fase amorfa bem como a reorientação dos cristais da fase cristalina”. E as propriedades físicas dos materiais têxteis, como a tenacidade e o módulo e alongamento na ruptura, estão diretamente relacionadas com essa orientação que cria os domínios cristalinos (HAMESTER, 2010).

Figura 2 – Sequência de polimerização e formação de fibras



Fonte: Needles (1986).

As fibras não naturais/químicas dividem-se ainda em artificiais ou sintéticas. Lobo, Limeira e Marques (2014) afirmam que ambas são produzidas pelo homem, mas diferem quanto à origem da matéria-prima utilizada. As artificiais têm como matéria-prima polímeros naturais, como a celulose, e as fibras sintéticas usam como matéria-prima produtos da moderna e eficiente indústria petroquímica.

Alcântara e Daltin (1995), também dividem e classificam as fibras têxteis de acordo com a sua origem:

Fibras naturais:

- Animais: lã, seda;
- Vegetais: algodão, linho, cânhamo, juta, rami, sisal;
- Minerais: asbesto.

Fibras químicas:

- Artificiais: viscose, acetato, modal, lyocel;
- Sintéticas: poliamida (nylon), elastano, poliéster.

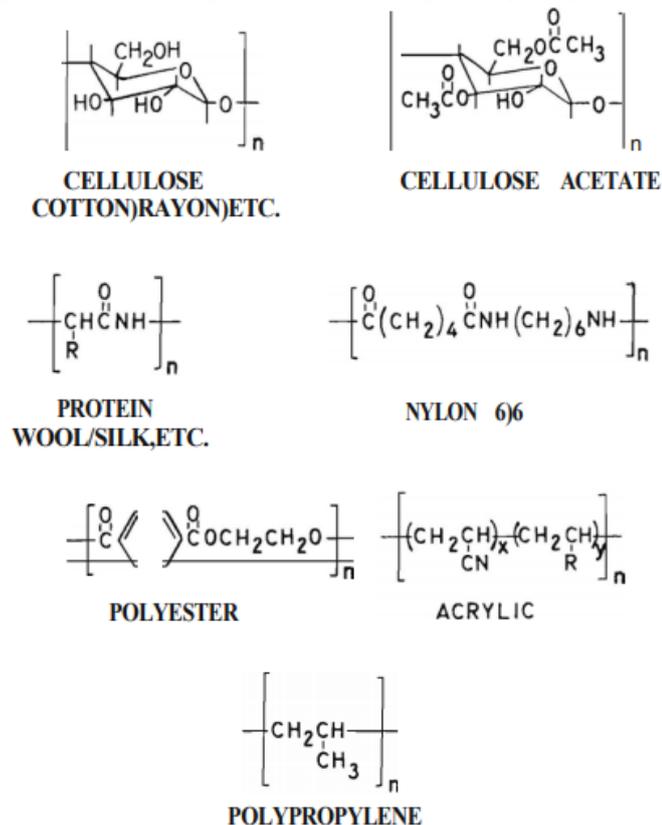
Um grande e conhecido exemplo de fibra natural é o algodão, que é produzido naturalmente e necessita passar apenas por processos físicos para se transformar em fios e os fios em tecidos. A exemplo de uma fibra química artificial tem-se a viscose e acetato, produzidas ambas a partir da madeira, uma matéria prima natural, mas que necessitam passar por vários processos químicos e físicos até a obtenção dos fios e têxteis, e o poliéster um

exemplo de fibras sintéticas, citado posteriormente nesse capítulo (ALCANTARA; DALTIM, 1995).

### 2.1.1. Microestrutura das fibras têxteis

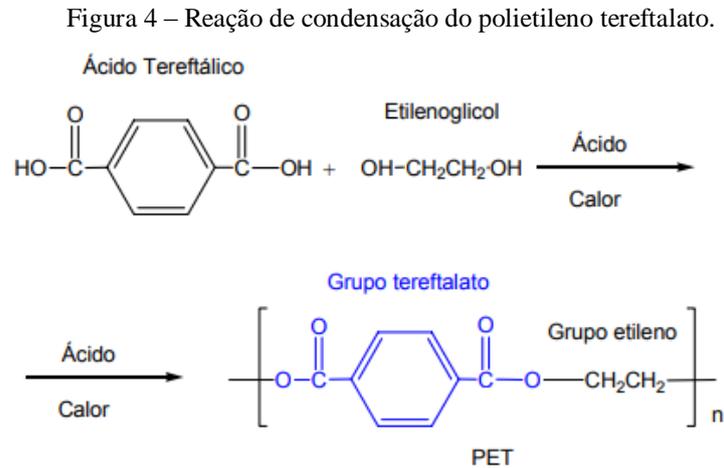
As propriedades dos materiais poliméricos estão diretamente relacionadas com as suas características químicas e estruturais, o grau de cristalinidade, por exemplo, afeta a rigidez, massa específica, resistência e módulo elástico dos materiais. A Figura 3 ilustra a estrutura química da menor unidade de repetição da cadeia polimérica de alguns dos materiais dos quais os têxteis podem ser produzidos. A celulose é encontrada em todos os vegetais, pode ser observada de forma bastante pura no algodão, constituída por longas cadeias filiformes, o que favorece uma periodicidade de organização espacial da microestrutura e, por conseguinte a presença de domínios cristalinos (LENGOWSKI, 2012). Nas fibras de algodão as macromoléculas unidas pelos grupos hidróxidos (OH), são arranjadas paralelamente na fibra, formando uma espiral, o que confere as fibras de algodão uma elevada resistência à tração e estabilidade dimensional (NUNES; SILVA; FILHO, 1999).

Figura 3 – Estruturas poliméricas básicas para as principais fibras



Fonte: Needles (1986).

O poliéster (PES) é classificado como uma fibra química do tipo sintética proveniente do petróleo e tem grande destaque comercialmente, é obtida a partir do poli (etileno tereftalato) (PET), sendo resultado da condensação, a uma temperatura de 280 °C entre o ácido tereftálico e o etilenoglicol (Figura 4), (VASCONCELOS, 2005).



Fonte: GUILLEN (1991).

Os fios, durante o processo de fabricação, sofrem estiramento para que as macromoléculas sejam orientadas e é através do estiramento que se atinge a cristalinidade da fibra polimérica, a presença do grupo éster gera uma considerável rigidez na cadeia polimérica, o que favorece um elevado grau de cristalinidade para as fibras (VASCONCELOS, 2005).

De maneira geral, a ausência de ramificações e grupos laterais pesados e a presença de polaridade facilita a aproximação das cadeias, aumenta o empacotamento e gera cristalinidade, conferindo ao material melhores propriedades mecânicas, que são essenciais para a utilização das fibras na produção de fios.

## 2.2 A radiação ultravioleta

O espectro solar é composto por radiações que são divididas e denominadas de acordo com o comprimento de onda ( $\lambda$ ). As radiações visíveis (luz visível) tem  $\lambda$  de 400-780 nanômetros (nm), a infravermelha (>780 nm) e a radiação ultravioleta tem uma variação de 100 a 400 nm. Para Saravanan (2007) o intervalo do espectro eletromagnético que corresponde à radiação ultravioleta apesar de representar uma pequena parcela do espectro solar tem uma influência muito significativa em todos os seres vivos e em seu metabolismo.

Sendo ela subdividida nos tipos: UVA, UVB e UVC, que se distinguem pelo  $\lambda$ , pela energia e impactos da seguinte forma:

- UVC: tem  $\lambda$  de 100 a 290 nm e raramente atinge a superfície da terra, pois é filtrada pela camada de ozônio, mas é muito prejudicial pela sua capacidade de estimular o bronzeamento, causar eritema e câncer de pele;
- UVB: tem  $\lambda$  de 290 a 320 nm, pode causar eritema, envelhecimento precoce e câncer de pele;
- UVA: tem  $\lambda$  de 320 a 400 nm, bronzeia superficialmente a pele e contribui para o envelhecimento precoce (INMETRO, 1998).

Essa faixa de comprimento de onda de cada subdivisão da radiação tem pequenas variações na literatura, para esse estudo, considera-se UVB na faixa de 290 a 315 nm e UVA de 315 a 400 nm, de tal forma como é fixado na norma pertinente para determinação de UPF usada nesta pesquisa.

A radiação UV é não ionizante, isto é, não tem energia suficiente para provocar ionização, e seu efeito é somático, ou seja, apresenta-se apenas na pessoa que sofreu a irradiação, não interferindo nas gerações posteriores. Ela interage com a molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico), portadora da informação genética na célula. O DNA absorve, principalmente, os menores comprimentos de UV (C e parte da B), absorção que pode provocar quebra de suas cadeias, implicando em alterações. A exposição crônica ou prolongada à radiação ultravioleta tem sido relacionada a diversos efeitos na saúde, incluindo o câncer de pele, envelhecimento prematuro da pele e problemas nos olhos (POZZEBON; RODRIGUES, 2009).

Assim como Pozzebon e Rodrigues, a NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego também classifica as radiações ultravioletas como não ionizantes, a norma considera ainda que, as atividades e operações que forem realizadas com exposição a essa radiação sem a proteção adequada serão consideradas insalubres (BRASIL, 2014).

Os efeitos da radiação sobre a pele estão relacionados com a energia característica de cada radiação, quanto maior a energia, maior o seu potencial de causar danos à saúde. Lembrando, a partir da equação 1, que a energia de uma radiação é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda (tabela 1).

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

E= energia

h=constante de Planck

c=velocidade da luz

$\lambda$ =comprimento de onda

Tabela 1 – Relação entre energia e comprimento de onda

<b>Radiação</b>	<b><math>\lambda</math> (nm)</b>	<b>Energia (eV)</b>
<b>UVA</b>	315 a 400	3,9 a 3,1
<b>UVB</b>	280 a 315	4,4 a 3,9
<b>UVC</b>	100 a 280	12,4 a 4,4

Fonte: O autor (2018).

Então, quanto menor o comprimento de onda maior a energia da radiação. A radiação UVA, por exemplo, tem menor energia que a UVB, enquanto a primeira ao atingir a pele pode causar danos mais leves como o bronzeando e efeitos negativos na elasticidade da pele, a segunda pode causar danos ao DNA, o que está associado ao desenvolvimento de câncer de pele.

### 2.3 Exposição à radiação ultravioleta

Essa exposição à radiação solar pode causar uma série de problemas para a saúde dos indivíduos expostos sem uma proteção adequada. As queimaduras, envelhecimento cutâneo, perda da elasticidade da pele com o ressecamento excessivo e desidratação, manchas e até mesmo o câncer de pele, são os problemas mais comuns de acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 1998). Segundo a Sociedade Brasileira de Dermatologia (BRASIL, 2016a), o câncer de pele é o de maior incidência no Brasil e no mundo. Dados do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva-INCA estimam que, em 2018, serão contabilizados cerca de 165.580 novos casos de câncer da pele não melanoma, e 6.260 do tipo melanoma, no Brasil, o Instituto afirma ainda que pessoas que laboram sob exposição direta ao sol são as mais vulneráveis ao desenvolvimento da doença (INCA, 2018). O contato da radiação UV com a pele desprotegida pode causar muitos danos, Balogh et al (2011), afirma que “a radiação ultravioleta pode causar danos ao DNA, imunossupressão, alterações químicas e histológicas na epiderme, envelhecimento precoce, catarata e carcinogênese [...]”. Saravanan (2007) também cita que “essas radiações podem causar uma série de efeitos, desde o simples bronzeamento até o câncer de pele altamente maligno”. Então se percebe o quão importante é fazer uso de ferramentas de fotoproteção eficazes que previnam ou evitem o agravamento dessas lesões, já que não se pode eliminar esse risco ambiental do cotidiano.

Os agricultores, trabalhadores da construção civil e da limpeza urbana, por exemplo, fazem parte desse grupo de indivíduos que se expõem diariamente durante a realização de suas atividades laborais, a essas radiações. Esses profissionais, geralmente, caracterizam-se pela baixa escolaridade e pela realização da mesma atividade por muitos anos, ou por toda vida laboral, fato que acelera a chegada dos danos causados pelas condições insalubres do trabalho. Em alguns casos se faz uso de cremes com fator de proteção ultravioleta, no entanto a proteção oferecida pelos cremes não é suficiente, sendo então necessário se pensar no vestuário também como uma ferramenta de proteção quando se trabalha ao ar livre (CARVALHO, 2009).

No Reino Unido, no período de 1993 a 1999, por meio de um sistema de acompanhamento de doenças de pele, foram contabilizados 22.710 novos casos de doenças de pele, desses, 4% foram atribuídos à radiação solar, ou radiação ultravioleta, e 78% das pessoas que apresentaram algum tipo das doenças notificadas eram agricultores, ou trabalhadores da construção civil ou das forças armadas, isto é, que desenvolviam atividades ocupacionais em ambientes externos com exposição direta e prolongada ao sol (YOUNG, 2009).

Segundo Hayashide et al (2010), os profissionais que desenvolvem suas atividades expostos à intensa radiação solar apresentam índices de ocorrência de câncer de pele maiores do que os indivíduos em geral ou trabalhadores de outras ocupações que requerem menos exposição a radiação, fato que também é evidenciado por Young (2009), quando afirma que há uma clara associação entre o câncer de pele e a RUV e que a taxa de mortalidade em decorrência da doença é maior em trabalhadores que realizam atividades externas. De uma forma geral, os estudos acerca da temática em questão evidenciam a ampla aceitação de que a exposição à radiação ultravioleta é o principal fator causal dessa neoplasia, que os números de casos de câncer de pele vêm aumentando e tendem a se expandir ainda mais em função dos danos causados a camada de ozônio, que filtra grande parte dessas radiações e as impede de chegarem até a superfície da terra e que há uma necessidade de reforçar a proteção, principalmente entre os grupos de pessoas com maior exposição.

Para que os trabalhadores se protejam das radiações Ultravioletas (UV) algumas ferramentas podem ser disponibilizadas pelos empregadores, como chapéus, óculos, uniformes com mangas longas e cremes com fator de proteção solar, comumente conhecidos como protetor solar ou filtro solar.

Mas existem alguns problemas quanto ao uso dos cremes protetores: a) por ele não apresentar Certificado de Aprovação (CA) e não ser considerado um Equipamento de Proteção Individual (EPI), a legislação não obriga o fornecimento aos trabalhadores; b) para esses tipos de atividades a céu aberto, o protetor solar não é muito bem visto, pois facilita a aderência de poeiras na pele; c) a pele, geralmente suja pelo próprio exercício da atividade, deve ser lavada antes da reaplicação do creme a ser feita a cada duas horas, e dificilmente essas pessoas terão acesso às ferramentas necessárias para fazer a higienização antes da reaplicação. (HAYASHIDE et al, 2016). Além disso, ainda existe o risco de que não seja aplicado de forma correta, como indica o fabricante para se obter um efetivo desempenho, e cabe resaltar, que ainda assim, apenas a utilização desses cremes não é o suficiente, outros acessórios devem ser combinados para uma proteção eficaz, como por exemplo, roupas que cubram o máximo de partes do corpo possível.

Então esses operários, no exercício de suas atividades, se veem obrigados a utilizarem-se das vestimentas para se protegerem das radiações ultravioletas, com roupas próprias ou os uniformes fornecidos pelo empregador, esses podem ser dos mais variados tipos de tecidos e cores.

## **2.4 Fotoproteção por têxteis**

Quando a RUV atinge um material têxtil, diferentes tipos de interações podem acontecer dependendo das características físico-químicas do material e das condições em que se encontra. O Fator de Proteção Ultravioleta dos têxteis e vestuário é uma função das propriedades químicas, do tipo de fibra, porosidade, construção, presença e tipo de acabamento, como a adição de absorvente de UV, teor de umidade, espessura e cor do tecido (SARAVANAN, 2007).

O têxtil atua como uma barreira física, entre a superfície da pele e o ambiente, na proteção contra as Radiações Ultravioleta, é um item acessivo e pode apresentar-se muito eficaz para a defesa dos danos nocivos da RUV. “Os raios UV, quando atingem os têxteis são parcialmente refletidos, absorvidos, e parcialmente transmitidos, e a porosidade óptica de um tecido limita o seu potencial de oferecer proteção contra UVR” (SARAVANAN, 2007), então a fotoproteção de um tecido vai depender da quantidade de radiação que é transmitida através dele, e essa transmitância está relacionada com a quantidade de UVR refletida e absorvida, o que varia de um material para outro em função das características intrínsecas a cada têxtil.

Embora essa temática já venha sendo discutida há algum tempo, muitos ainda não têm conhecimento sobre o real comportamento dos tecidos quando expostos à radiação ultravioleta, segundo Reis et al (2013) “Há unanimidade quanto ao equívoco na concepção de que a proteção oferecida por qualquer artigo têxtil seria adequada”, nem todos os tecidos oferecem uma proteção suficiente, e alguns transmitem tanta radiação que nem podem ser considerados úteis para essa finalidade, sendo classificados como tecidos sem proteção.

## **2.5 Fatores que influenciam na transmitância RUV em um tecido**

De fato as radiações UV estão presentes no dia a dia em diversos outros momentos além do trabalho, e para quem labora a céu aberto a veste é um dos equipamentos utilizados para a proteção. No entanto, pesquisas asseguram que o fator de proteção muda de um material têxtil para outro, em função da variação de alguns fatores. Miashita et al (2014), destaca composição, estrutura (porosidade) e densidade, cor e umidade, como as principais variáveis que influenciam no fator de proteção UV.

Cristo (2005) destaca, como os fatores que influenciam no FPU:

- Substrato: composição da fibra;
- Estrutura e densidade: quanto menor a porosidade e maior a densidade melhores são os resultados em relação ao FPU;
- Condição do têxtil: o fato de ser novo ou usado influencia no fator de proteção do tecido;
- Umidade: a presença de umidade nos fios e nos interstícios das fibras dificulta a dispersão da luz, aumentando a transmitância da radiação;
- Cor: muitos corantes absorvem RUV, as cores escuras normalmente oferecem maior fator de proteção;
- Acabamentos específicos: a presença de produtos específicos de acabamento, como bloqueadores ou absorventes da radiação ultravioleta, influenciam no resultado da avaliação do FPU (CRISTO, 2005).

Para Balogh et al (2011),

Diversos fatores influenciam a capacidade fotoprotetora dos tecidos. Em geral, aqueles fabricados com fibras firmemente tecidas, mais rígidos e espessos, e também os mais escuros, protegem melhor o corpo comparados aqueles fabricados com menor firmeza entre as fibras, menos rígidos e

menos espessos. Assim, a rigidez, a cor, a espessura e o peso dos tecidos influenciam a capacidade de fotoproteção dos mesmos (BALOGH et al, 2011).

As fibras de maior cristalinidade aumentam a difusão da radiação e dificultam a passagem dos UV (Carvalho, 2009).

Então, de maneira geral, os principais fatores destacados que influenciam na transmitância da radiação UV são:

- Tipo de fibra têxtil (composição)
- Higroscopicidade e umidade
- Porosidade e construção
- Elasticidade
- Cor
- Cristalinidade
- Densidade
- Acabamento

#### 2.5.1 Tipo de fibra (composição)

As características dos tecidos são especificadas no momento de sua construção/produção, a porosidade, elasticidade, capacidade de absorção, brilho, toque, densidade dentre outras, vai depender da/das matérias primas utilizadas na confecção, do tipo de equipamento, do método de produção e dos acabamentos (COSTA, 2010).

A partir de alguns estudos pôde-se identificar que o tipo de fibra usada na fabricação dos tecidos influencia no valor do UPF.

Segundo Nunes, Figueiras e Filho:

As fibras naturais celulósicas (de origem vegetal) são as que apresentam propriedades químicas e físicas que permitem o conforto, a absorção da umidade e transpiração e a condutibilidade do calor do corpo para o ambiente e vice-versa; conjunto de fatores que proporcionam o bem estar do indivíduo em climas quentes (NUNES; FIGUEIRAS; FILHO, 1999).

Já Carvalho (2009) assegura que:

A estrutura química da fibra determina as suas propriedades de absorção. Assim, fibras como o algodão, viscose, rayon, acetato ou linho têm habitualmente superiores UPF do que a poliamida ou acrílica. O poliéster

tem boa absorção para comprimentos de onda baixos mas menor absorção para comprimentos de onda altos. No entanto a lã possui melhor absorção que as fibras anteriores, pois absorve a radiação em todo o espectro ultravioleta (CARVALHO, 2009).

Então se percebe o quanto é importante verificar o tipo de fibra utilizada para a produção do tecido, tendo em vista que influenciará diretamente no fator de proteção, já que a própria composição química, que afeta a organização molecular, pode favorecer maior ou menor absorbância da radiação UV quando esta atingir a amostra.

### 2.5.2 Cristalinidade das fibras

As fibras têxteis têm certo grau de orientação das cadeias poliméricas que se apresenta como os domínios cristalinos em meio à fase amorfa, Callister Jr. e Rethwisch (2018) consideram a cristalinidade dos polímeros como “a compactação das cadeias moleculares para produzir um arranjo atômico ordenado”. E essa compactação vai depender da composição, estrutura química, origem e processamento do material, que influenciam diretamente na linearidade da cadeia, polaridade, rigidez da cadeia principal, presença de impurezas ou aditivos. Guimarães afirma que,

A cristalinidade da celulose pode variar de acordo com a sua origem e seu processamento. Por exemplo, a celulose do algodão possui cristalinidade em torno de 70%, com cadeias mais ordenadas, enquanto a celulose das árvores apresenta cristalinidade em torno de 40% (GUIMARÃES, 2014).

O nível de organização das cadeias poliméricas que dão origem as microfibrilas afeta de forma direta algumas propriedades das fibras, como as físicas e químicas, e quanto maior for o percentual cristalino, mais denso, rígido e resistente à tração será a fibra (GUIMARÃES, 2014). O grau de cristalinidade dessas fibras afeta de forma direta algumas propriedades físicas dos materiais, como o módulo e alongamento na ruptura, a tenacidade etc. (HAMESTER, 2010). A partir dessas afirmações pode-se concluir que muitas propriedades físicas, termodinâmicas e mecânicas das fibras e dos materiais poliméricos, de uma forma geral, dependem do grau de cristalinidade.

Canevarolo (2006) defende que,

Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional, resistência química, resistência

à abrasão, temperatura de fusão ( $T_m$ ), temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), temperatura de utilização, etc. (CANEVAROLO, 2006).

Como essas propriedades, de rigidez e densidade foram citadas anteriormente por outros autores como fatores que contribuem para um melhor fator de proteção solar dos materiais têxteis, pode-se inferir que o aumento da cristalinidade concerne também no aumento do FPU.

### 2.5.3 Porosidade e construção

Para Carvalho (2009), existe a transmissão da radiação ultravioleta através dos materiais têxteis porque a radiação passa através dos espaços da estrutura dos tecidos e atinge a pele, de modo que quanto mais poroso ele for mais radiação o atravessará, mesmo que as fibras que o compõem tenham uma boa absorção (Figura 5), isso foi comprovado em seu estudo quando, após passarem por tratamentos domésticos (lavagem e passagem a ferro), a maioria dos tecidos, de diferentes fibras, apresentaram melhora no desempenho quanto à redução na transmitância da radiação UV e melhora das medidas de UPF, o que foi relacionado à diminuição da porosidade por encolhimento das fibras. Ainda segundo Carvalho (2009),

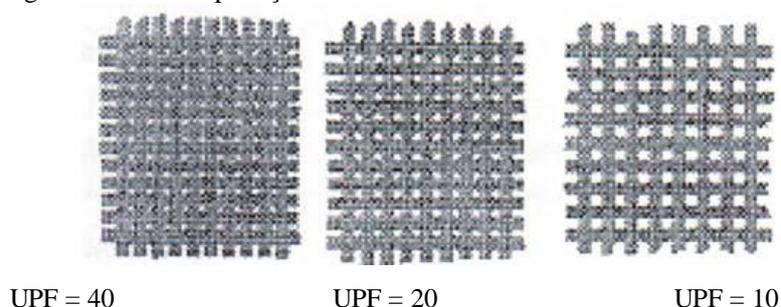
A densidade de fios e a contextura da estrutura têxtil permitem maior ou menor fator de cobertura, que é definido pela percentagem da área de um material têxtil ocupada pelos fios da teia e trama. Quanto mais fechado é o material têxtil, menos radiação UV é transmitida, pois os interstícios são mais pequenos. Os tecidos têm habitualmente um fator de cobertura superior ao das malhas devido ao tipo de construção. Os interstícios são maiores no caso das malhas (CARVALHO, 2009).

Kanber et al (2017) também comprova em seu estudo que uma maior densidade, que implica na redução dos poros, reduz a transmitância da radiação, sendo inclusive, a macro porosidade considerada como o fator preponderante no UPF. Então as fibras que são firmemente tecidas, mais rígidas e também mais espessas protegem melhor o corpo da radiação solar (GONTIJO; BUSTAMANTE; SOUZA, 2015), ou seja, quanto maior o fator de cobertura, maior também será o fator de proteção.

Segundo Miashita et al (2014) “quanto mais apertada for a malha, ou seja, menor distância entre as fibras, menos raios irão passar entre elas aumentando assim a proteção ultravioleta [...]”. Essa posição de Miashita et al pode ser claramente evidenciada na Figura 5,

em que o maior fator de proteção confere-se no tecido em que a distância entre os fios é menor.

Figura 5 – Fator de proteção UV versus fator de cobertura de um material têxtil



Fonte: Carvalho, 2009.

#### 2.5.4 Cores

Para Carvalho (2009) e Reis et al (2013) as cores também influenciam na proteção UV, geralmente as escuras e intensas como preto e azul-marinho conferem uma melhor proteção devido a sua maior absorção de UV, enquanto as mais claras absorvem menos essa radiação. Miashita et al (2014) também compartilha a mesma ideia, defendendo que a cor é uma das variantes mais influentes na proteção oferecida por um tecido contra a radiação ultravioleta e quanto mais escura for a cor do tecido maior será o fator de proteção. Saravanan (2007) afirma que a presença de pigmentos inorgânicos nas fibras têxteis resulta em uma reflexão mais difusa da radiação no substrato e proporciona melhor proteção.

Alguns pigmentos apresentam em sua composição produtos específicos de acabamento para reduzir os efeitos da radiação sobre a cor e retardar a fotodegradação do material, como o negro de fumo e o dióxido de titânio que dão mais estabilidade à cor (BRITO; SILVA; RABELLO, 2016). O dióxido de titânio no pigmento o deixa mais estável, com uma resistência elevada à mudança de cor, alta estabilidade térmica e melhor poder de cobertura, apresenta-se como um importante aditivo para a indústria têxtil (FILHO; XAVIER, 2014), e além de retardar a degradação e melhorar o desempenho do material, favorece também um melhoramento nas propriedades fotoprotetoras do tecido, levando-se em consideração a eficiência do  $TiO_2$  em absorção de radiação dentro da faixa do ultravioleta.

### 2.5.5 Presença de fotoestabilizantes

Os fotoestabilizantes são aditivos que podem ser adicionados durante o processamento do material para que sejam atenuados os efeitos degradativos causados pela radiação UV (SILVA; NUNES; RABELLO, 2017). Almeida e Souza, (2015) citam 5 tipos de fotoestabilizantes, são eles:

- Bloqueadores de UV;
- Absorvedores de UV;
- Desativadores do estado excitado;
- Antioxidantes primários;
- Antioxidantes secundários;
- Desativadores de metais.

Já que, no caso dos têxteis o que objetiva-se é um melhor desempenho do material na proteção ultravioleta, é comum a literatura tratar, para esses materiais, dos fotoestabilizantes dos tipos bloqueador e absorvedor de UV. Os bloqueadores têm como função bloquear a radiação para que ela não chegue às moléculas do polímero, atuando principalmente na refletância dos UV e podendo também absorver parte dele, sendo os seus principais representantes os óxidos de zinco e de ferro, negro de fumo, dióxido de titânio e os pigmentos opacos (ALMEIDA; SOUZA, 2015). Os absorvedores de UV conseguem absorver a radiação que chega e dissipa a energia em forma de calor sem deixar que essa radiação fomenta na quebra das cadeias poliméricas (ISIDORO, 2018).

Os bloqueadores e absorventes de UV são compostos que podem ser orgânicos ou inorgânicos e tem absorção em determinada faixa de comprimento de onda. Saravanan (2007), afirma que,

Quando incorporados nas fibras convertem a energia de excitação eletrônica em energia térmica [...] Um absorvedor de UV eficaz deve ser capaz de absorver todo o espectro, para permanecer estável contra UVR, e para dissipar a energia absorvida para evitar a degradação ou a perda na cor (SARAVANAN, 2007).

A adição de fotoestabilizantes que atuem bloqueando ou absorvendo a RUV pode melhorar de forma significativa o Fator de Proteção Ultravioleta de um material têxtil, tendo em vista que o impedimento da passagem dessa radiação através do material evita que ela chegue até a pele do usuário.

## 2.6 Fatores que influenciam na fotoproteção do tecido após o uso

Além de todos os fatores que influem na fotoproteção de um material têxtil quando novo, outros também podem ser acrescentados quando se considera o uso do tecido. Os tratamentos domésticos de lavagem e passagem a ferro, a sua exposição à radiação ultravioleta e possível degradação, aumento/redução dos interstícios e da pilosidade podem estar ligados a um aumento ou redução do UPF. Inicialmente há uma tendência de que os valores de UPF subam para alguns tecidos, e esse fato está relacionado com o encolhimento do tecido após as lavagens iniciais.

Segundo Cherem (2004), os tecidos durante o seu processamento passam por solicitações mecânicas, como estiramento e torção, e tendem a retomar as suas dimensões características após a retirada da solicitação ou quando são expostos a umidade, o que é chamado de relaxamento ou encolhimento. Esse encolhimento acontece quando a fibra úmida, por lavagem, por exemplo, vai perdendo essa umidade e diminuindo o seu diâmetro, e então acontece o relaxamento das forças que foram aplicadas durante o processo de industrialização (CHEREM, 2004).

O aumento da pilosidade, causado pelo atrito das lavagens e do próprio uso também é uma característica que pode surgir com o pouco tempo de uso, e contribui para a elevação do UPF, já que as fibras desalinhadas cobrem os poros e reduzem a transmitância UV.

Mas com o uso prolongado esse fator de proteção tende a ser reduzido, em função da degradação que reduz o fator de cobertura do material, e da fotodegradação causada pela exposição à radiação solar que altera as suas propriedades físicas e químicas.

### 2.6.1 Degradação das fibras têxteis

Algumas condições podem causar mudanças irreversíveis nas propriedades físicas/químicas dos materiais poliméricos, como na estrutura, propriedades mecânicas e visuais, e isso é chamado de degradação, sendo a radiação ultravioleta um dos seus principais causadores (ALMEIDA; SOUZA, 2015), pelo fato dela ter energia que é considerada como suficiente para perturbar e até mesmo levar a quebra das ligações covalentes de moléculas orgânicas (ISIDORO, 2018).

Para Yousif e Haddad (2013), quando nos referimos à degradação estamos nos remetendo a processos que levam ao decaimento das propriedades do polímero. Essa

degradação pode desencadear-se por variadas maneiras, iniciando-se sempre na superfície e se propagando gradativamente na rede polimérica, processo que pode ser estimulado pela incidência de radiação de grande parte do espectro eletromagnético, como o calor, a luz visível e a radiação de alta energia, também por solitação mecânica, umidade, contaminação atmosférica etc. (ISIDORO, 2018). A degradação pode ainda ser classificada como química, mecânica, térmica, radiolítica, biodegradação, fotodegradação ou ainda degradação foto-oxidativa (YOUSIF; HADDAD, 2013). Paoli (2008) também apresenta ideia semelhante, afirmando que “degradação é qualquer reação química que altera a qualidade de interesse de um material polimérico ou de um composto polimérico”, ou seja, é uma interação indesejável. A degradação é um processo físico-químico que pode desencadear-se por inchamento ou dissolução, ou pela cisão (ruptura/quebra) de ligações covalentes em decorrência da aplicação de energia térmica, de exposição à radiação ou de reações químicas, que em geral acontece simultaneamente com o decaimento das propriedades mecânicas (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2018). O intemperismo também é citado na literatura como sendo resultante da degradação de materiais poliméricos utilizados em aplicações que requerem exposição externa, e o ambiente atua influenciando de forma negativa na vida útil do polímero, as variáveis UV, luz e oxigênio são atribuídos ao processo, sendo chamado também de fotodegradação oxidativa ou foto-oxidação (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2018; YOUSIF; HADDAD, 2013).

Devido a sua grande área superficial, os materiais têxteis ficam suscetíveis aos fatores ambientais, nesse caso a radiação, que é o agente causador da degradação, atua associado com o oxigênio presente no ambiente e o processo de degradação pode ser considerado foto-oxidativo. Nesse processo, a energia da radiação, característica do seu comprimento de onda, e a energia oriunda da ação do oxigênio são associadas para a quebra das ligações covalentes da cadeia principal do polímero. Dentre as diferentes faixas de comprimento de onda que compreendem o espectro eletromagnético a RUV, de 100 a 400 nm, é considerada como tendo um maior potencial de causar danos à estrutura do material polimérico (ALMEIDA; SOUZA, 2015).

De fato a exposição à radiação UV pode levar a degradação dos materiais, para os poliméricos é resultado de um instável estado de excitação das moléculas que causa a quebra das cadeias poliméricas produzindo radicais e reduzindo o peso molecular, levando a danificação das propriedades, como as mecânicas, alteração na coloração de corantes e pigmentos, dano ao brilho, amarelamento de plásticos etc. (YOUSIF; HADDAD, 2013).

As modificações ocasionadas em um material ao longo do processo de degradação são comumente identificadas por alterações no brilho, cor, mudança de massa, alteração na transmitância UV/visível e nas propriedades mecânicas, e o nível de degradação atingido dependerá do quanto o material foi exposto (ASSIS, 2012). A ocorrência de alterações na microestrutura do material pode influenciar na sua propriedade de absorver a radiação UV, influenciando no Fator de Proteção Ultravioleta do tecido, assim vestimentas usadas, especialmente para o desenvolvimento de atividades em ambientes externos, podem ter sua propriedade de absorver UV modificada negativamente em função do acometimento do processo degradativo causado pela exposição à radiação solar.

### 2.6.2 Elasticidade

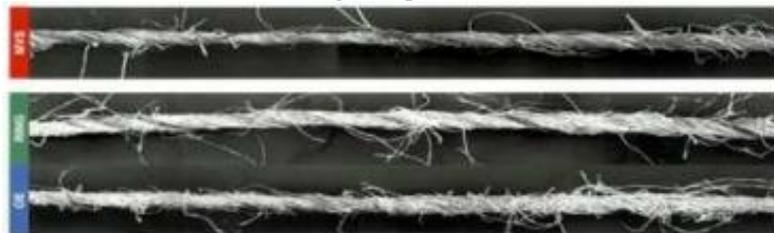
A elasticidade é o comportamento dos materiais de se deformarem quando solicitados mecanicamente ou por ação gravitacional, e retornarem a sua forma original quando a força externa é removida (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014).

Carvalho (2009) defende que a elasticidade influencia na porosidade e, por conseguinte, também no fator de proteção UV, assim a relação entre a elasticidade e o fator de proteção UV é inversamente proporcional, e o aumento de uma dessas propriedades implica na redução da outra. A presença da elasticidade talvez não seja tão influente no UPF de um têxtil quando a peça for nova, mas com o passar do tempo o desgaste causado pelo uso, lavagem e exposição à UV podem afetar essa propriedade elástica do material, acarretando no aumento da porosidade e diminuindo, por consequência, o fator de cobertura, o que implica também na redução do fator de proteção ultravioleta.

### 2.6.3 Pilosidade

A pilosidade de um fio é resultado da saliência das fibras em sua superfície (Figura 6), tecidos produzidos a partir de fios com uma torção maior tendem a apresentar uma transmitância de UV inferior aos com menor torção devido a sua pilosidade, e esse comportamento se deve ao fato de que a pilosidade cobre parte dos poros do têxtil, reduzindo a passagem da radiação e contribuindo para o aumento da propriedade fotoprotetora do material (KANBER et al, 2017). Essa pilosidade pode ser elevada também com o uso e tratamento doméstico, levando, inicialmente, ao melhoramento do UPF para alguns tecidos.

Figura 6 – Pilosidade de fios de algodão proveniente de três filatórios distintos.



Fonte: SOUZA (2011).

## 2.7 Determinação de UPF

Segundo Miashita et al (2014), a Agência Australiana de Proteção à Radiação Solar (ARPANSA) realizou os primeiros estudos a respeito do fator de proteção solar dos tecidos em 1996 na Austrália, país de maior incidência de câncer de pele do mundo, onde foram formalizadas as exigências em relação aos tecidos protetores. O teste utilizado para fazer a avaliação e classificação de um tecido com o seu UPF ficou regulamentado pela norma AS/NZS 4399:1996 – *Sun protection clothing – evaluation and classification* (ARPANSA, 1996), posteriormente outros órgão também normatizaram a avaliação do UPF, a exemplo têm-se a BS 7914:1998 uma norma britânica, a AATCC 183-1998 norma americana e EN 13758-1:2001 e EN 13758-2: 2003, primeiro e segundo fragmentos de uma norma europeia.

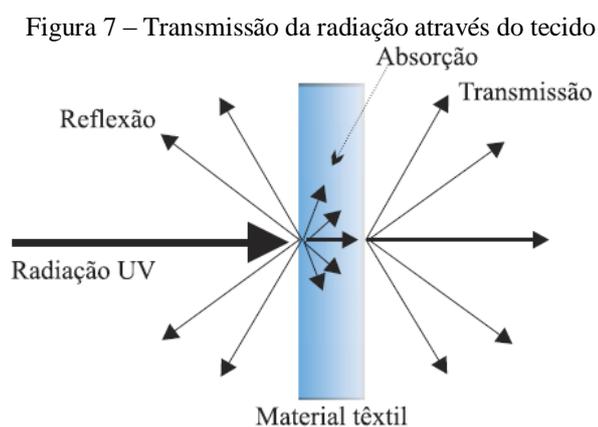
O índice do fator de proteção solar de um tecido indica a quantidade de radiação ultravioleta que o material têxtil absorve, e essa é uma informação de grande relevância, pois muitos dispõem apenas a vestimenta para se proteger da radiação solar, essencialmente no trabalho em ambientes externos, a céu aberto, mas o que a maioria não sabe é que esse fator varia de um tecido para outro e nem todos os tecidos oferecem a proteção adequada que a pele necessita.

### 2.7.1.1 Espectrofotometria UV

A espectrofotometria ou espectroscopia UV/Vis, dispõe de uma aplicação ampla em análises e pesquisas de diversos campos, como a química, física, farmacologia, bioquímica, engenharia, etc. Trata-se de uma técnica não destrutiva, que gera dados relativamente simples, fáceis de serem tratados e interpretados, associado a isso está também o baixo custo e facilidade de operação do equipamento e o fato de ser uma técnica quantitativa (GALO; COLOMBO, 2009). Baseada na interação da luz com a matéria é uma das ferramentas mais remotas no que se diz respeito à espectroscopia molecular, e se desenvolveu a partir do

desenvolvimento da química quântica, onde houve um aumento no estudo direcionado a relação entre a absorção da radiação e a estrutura química do material (PERKAMPUS, 1992). O espectrofotômetro é uma ferramenta analítica de absorção de radiação e consiste em irradiar uma amostra com espectro de radiação em determinada região, que geralmente pode ir do ultravioleta (100-400 nm), visível, até o infravermelho (1400 nm), e avaliar quantitativamente as medidas de absorção características da matéria. Dependendo da radiação absorvida em determinado comprimento de onda, informações importantes podem ser obtidas como, por exemplo, o Fator de Proteção Solar (FPS) de um creme ou a pureza de uma amostra.

Para a determinação do Fator de Proteção Ultravioleta dos artigos têxteis, a espectrofotometria UV/Vis é um método internacionalmente aceito, tem ampla aplicação em função de sua precisão, objetividade e reprodutibilidade, nesse caso a técnica consiste basicamente em irradiar uma amostra de tecido com radiação ultravioleta e medir a quantidade de radiação que é transmitida através do material a qual é chamada de transmissão espectral do tecido, e está ilustrado abaixo (Figura 7). Além da transmitância, que é necessária para o cálculo do Fator de Proteção Ultravioleta, outros dados quantitativos também podem ser obtidos através da técnica, como a absorbância, que é a quantidade de radiação que é absorvida pela amostra para cada comprimento de onda, e a refletância, que é a parcela refletida.



#### 2.7.1.1.1 A lei que fundamenta a espectrofotometria

A lei que fundamenta a espectrofotometria é a lei de Lambert-Beer, que tem uma base física e matemática para a determinação de absorbância de radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho, e essa medida é feita relacionando-se a intensidade da luz que incide

na amostra e após passar por ela, conforme a equação 2 (PERKAMPUS, 1992), ilustrada na figura 8.

$$A_v = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon * c * d \quad (2)$$

Onde:

$I_0$  é a intensidade da radiação que chega até a amostra;

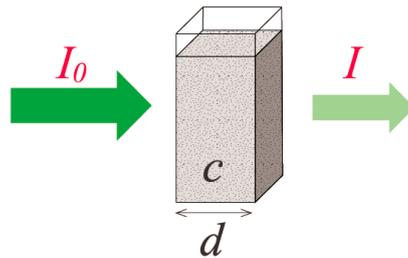
$I$  é a intensidade dessa mesma radiação ao sair da amostra;

$c$  é a concentração do material absorvente;

$\varepsilon$  é a absorvidade molecular;

$d$  é a espessura da amostra.

Figura 8 – Cubeta com concentração de material.



Cubeta com concentração de um material ( $c$ ), de espessura  $d$ , com intensidade de radiação ao entrar  $I_0$  e ao sair  $I$ , da amostra. Fonte: METTLER TOLEDO (2016).

## 2.8 Técnica de perfilometria óptica

Para a caracterização da superfície de um material através da perfilometria óptica uma fonte de luz recai sobre a amostra e esta é modulada de acordo com superfície do material, produzindo informações que variam com contrastes de altura entre os picos e vales (FILHO; NAKAYA; MIKOS, 2014).

A luz refletida de um espelho de referência (feixe de referência), em combinação com a luz refletida da superfície da amostra (feixe de medição), produz franjas de interferência. Esses sinais de intensidade de interferência vindos da superfície da amostra são captados por uma câmera quadro a quadro. Os dados de intensidade a partir de um determinado pixel desses quadros formam um interferograma para os pontos da superfície com resolução vertical de 3 nm (QUEIROZ et al, 2012).

O perfil tridimensional da superfície é produzido a partir do traçado de uma linha ao longo da superfície, e essa linha é uma representação matemática que faz uma correlação entre os picos e vales da região com o deslocamento lateral, e têm-se então um mapeamento 3D da superfície (FILHO; NAKAYA; MIKOS, 2014).

## 2.9 Conforto térmico

A radiação infravermelha (IV) é integrante do espectro solar e sua região difere entre alguns autores, para Affonso (2016) e Bakker e Lima (2011), ela encontra-se entre 7,0 e 1000  $\mu\text{m}$ , para Yousif e Haddad (2013) tem início a 7,6  $\mu\text{m}$ , já Balogh et al (2011) a consideram após 7,8  $\mu\text{m}$ . Ao entrar em contato com a superfície de materiais comporta-se de forma semelhante a UV, podendo ter parte de sua energia radiante refletida, parte absorvida e transmitida, sendo que a porção absorvida atua causando o aquecimento do material (AFFONSO, 2016).

O tecido, enquanto vestuário, permanece em contato direto com o corpo durante o uso, com uma interação dinâmica e contínua com o ambiente ao seu redor, que incita sensações, como as mecânicas e térmicas, o que está relacionado ao conforto, e este é definido como uma disposição harmônica física, psicológica e fisiológica entre o indivíduo e o ambiente (LI, 2001). Sendo os aspectos que compreendem o conforto humano: psicológicos, neurofisiológicos, físicos e termofisiológicos (AFFONSO, 2016).

Como esse estudo é direcionado ao tecido ideal para o trabalho em ambientes externos, é necessário pensar não somente na proteção solar, como também no conforto térmico, para que um problema não seja potencializado enquanto outro é controlado.

No levantamento de dados não foi identificado um padrão para a determinação do conforto térmico dos têxteis, mas há algum tempo já vem sendo realizadas análises sobre as propriedades higroscópicas dos materiais, relacionadas à absorção de umidade, com ensaios que quantificam a capilaridade, absorção e permeabilidade ao vapor (LI, 2001; GASI; BITTENCOURT, 2010), transferência de calor e massa do sistema roupa-ar-pele (SHITZER; CHATO, 1985), e previsões de perda de calor, que são características relacionadas ao conforto térmico.

Nessa pesquisa, para fazer uma inferência sobre o conforto térmico das amostras, foi analisado o perfil de absorbância da radiação infravermelha, entre 700 e 1400 nm, pelos materiais. Para tal relação entre a absorbância e o conforto térmico considerou-se dois mecanismos de transporte de energia: condução e radiação. Para a condução a energia térmica é transferida dos pontos de maior temperatura para os de mais baixas (KREITH, MANGLIK; BOHN, 2003). Já para radiação levou-se em consideração o princípio da emissividade, que é a re-irradiação da energia que foi absorvida, baseada na lei de Kirchhoff, que certifica que a radiação emitida é equivalente à absorvida (NOVO et al, 2014).

Considerou-se então, para fins de caracterização, que os materiais que menos absorvem radiação são os oferecem maior conforto térmico.

Contudo, os resultados de absorvência IV não refletem, em sua totalidade, a propriedade de conforto térmico dos materiais, pois esta depende de outras variações, como a condutividade térmica, emissividade e características higroscópicas dos tecidos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Foram analisadas têxteis de 3 tipos distintos de composição de fibras, são eles: 67% de poliéster e 33% de viscose; 100% poliéster e o terceiro 100% algodão. Em alguns lugares no texto da pesquisa as amostras aparecem codificadas da seguinte maneira:

- Amostra A e a: a amostra **a** é uma variante de **A** após um período de aproximadamente 8 meses de uso (~80 lavagens) em atividade que requer exposição ao sol, mas especificamente a atividade de mototaxista;

- Amostra B e b: a amostra **b** é uma variante de **B** após um período de aproximadamente 2 meses de uso (~20 lavagens) em atividade que requer exposição ao sol, também a atividade de mototaxista;

- Amostras N (0, 3, 6 e 9 lav.): são amostras de tecidos compostos por fibras 100% algodão, na cor verde, que passaram pelo tratamento doméstico de lavagem, à temperatura ambiente, com quantidade de lavagens indicada pela numeração. Essas amostras foram extraídas da vestimenta (nova, nunca usada) de trabalhadores que desenvolvem atividades na limpeza urbana;

- Amostras O (0, 3, 6 e 9 lav.): são amostras de tecidos compostos por fibras 100% algodão, na cor azul, que passaram pelo tratamento doméstico de lavagem, à temperatura ambiente, com quantidade indicada pela numeração. Essas amostras foram coletadas de vestes (novas, nunca usadas) de trabalhadores da construção civil.

Identificados os principais tipos de tecidos que são utilizados por trabalhadores em que suas atividades laborais requerem a exposição à radiação solar, por serem necessariamente realizadas em ambientes externos, pôde-se fazer a aquisição de outras amostras, dos mesmos tecidos, em variadas cores a fim de verificar também a influência dessa variável no desempenho do material.

As demais amostras caracterizadas não passaram por nenhum processo pré-análise, segue a descrição de todas com as suas devidas codificações:

**A:** 67% poliéster e 33% viscose, azul, nova;

**a:** 67% poliéster e 33% viscose, azul, 8 meses de uso;

**B:** 100% poliéster, azul, nova;

**b:** 100% poliéster, azul, 2 meses de uso;

- C:** 67% poliéster e 33% viscose, azul escuro;
- D:** 100% poliéster, branca;
- E:** 100% poliéster, amarelo;
- F:** 100% poliéster, laranja;
- G:** 100% poliéster, vermelho;
- H:** 100% algodão, verde 1;
- I:** 100% algodão, verde 2;
- J:** 100% algodão, verde 3;
- K:** 100% algodão, verde 4;
- L:** 100% algodão, azul claro;
- M:** 100% algodão, vermelho;
- N 0 lav.:** 100% algodão, verde, não submetido a nenhum processo;
- N 3 lav.:** 100% algodão, verde, 3 lavagens;
- N 6 lav.:** 100% algodão, verde, 6 lavagens;
- N 9 lav.:** 100% algodão, verde, 9 lavagens;
- O 0 lav.:** 100% algodão, azul, não submetido a nenhum processo;
- O 3 lav.:** 100% algodão, azul, 3 lavagens;
- O 6 lav.:** 100% algodão, azul, 6 lavagens;
- O 9 lav.:** 100% algodão, azul, 9 lavagens.

## 3.2 Métodos

Trata-se de uma pesquisa descritiva que estuda e estabelece uma relação entre as características dos têxteis e o seu Fator de Proteção Ultravioleta, como também o conforto térmico. Gil (2002) afirma que as pesquisas descritivas são aquelas que objetivam estudar as particularidades de grupos/materiais, de modo que sejam estabelecidas relações entre as variáveis, podendo este estudo, dessa forma, ser classificado de tal modo.

### 3.2.1 Seleção das amostras

As amostras foram selecionadas obedecendo ao critério de que seriam materiais utilizados na confecção de vestimentas de trabalhadores que desenvolvem suas atividades laborais em ambientes externos, com exposição direta à radiação solar. Antes da seleção das

amostras foram identificadas atividades dessa classe, que são desenvolvidas em cidades do sertão de Pernambuco, as seguintes foram destacadas: mototaxistas, trabalhadores da construção civil e da limpeza urbana.

Para que fossem selecionados os tecidos a serem analisados se fez necessário um estudo de campo, a fim de identificar quais são os mais empregados na confecção de vestimentas de trabalho designadas aos que desenvolvem atividades laborais a céu aberto. Esse estudo de campo foi realizado no Sertão de Pernambuco, uma mesorregião de clima semiárido com chuvas escassas e elevadas temperaturas durante quase todo o ano, condição que favorece a necessidade de vestes que proporcionem proteção UV, e se possível também conforto térmico, associadamente.

### 3.2.2 Preparação das amostras

Algumas das amostras passaram por tratamento doméstico (lavagem e passagem a ferro), outras pelo uso em trabalho com exposição ao sol para identificar se essas condições podem influenciar, de modo negativo ou positivo, no desempenho do material quanto a sua proteção UV e absorção de radiação infravermelha.

Outras não passaram por nenhum processo que viesse a acarretar alguma alteração na composição química ou estrutura física da amostra que possa influenciar os resultados, sendo apenas dimensionadas para as análises. Todas as amostras foram cortadas no mesmo tamanho, 2,5x4,0 cm, tamanho ideal para a realização da espectrofotometria, em função do tamanho do porta amostras, e suficiente para os demais ensaios. Quatro replicas de cada material foram analisados por espectrofotometria para o cálculo de UPF, médias de transmitância e percentual de absorbância.

### 3.2.3 Ensaios de caracterização

#### ***3.2.3.1 Espectrofotometria***

Apenas após o desenvolvimento da maior parte da pesquisa, inclusive os ensaios de espectrofotometria, foi publicada a norma brasileira que especifica as diretrizes para a certificação do fator de proteção ultravioleta dos tecidos, (ABNT NBR 16695:2018 – Vestuário – Fator de proteção Ultravioleta – requisitos e métodos de ensaio), então foi optado

por manter os resultados de avaliação e classificação obtidos com base na norma técnica AS/ZN 4399:1996 – Sun protective clothing – Evaluation and classification (Proteção Solar para Vestuário – Avaliação e classificação) que estabelece a forma de determinar o fator de proteção dos tecidos a de classificar esses produtos de acordo com a proteção correspondente de cada um.

A norma lista dois equipamentos que podem ser usados para a quantificação da transmitância da radiação UV em tecidos, são eles o espectrofotômetro e o espectrorradiômetro. Para a análise foi utilizada a técnica de espectrofotometria, com uso do espectrofotômetro UV-2600 da SHIMADZU com esfera de integração ISR-2600 plus (Figura 9).

Figura 9 – Espectrofotômetro UV-2600.



Fonte: O autor (2018).

Antes da realização do ensaio o equipamento é estabilizado e calibrado com uma referência, de modo a garantir que 100% da radiação estão chegando à amostra. Para a espectrofotometria os materiais foram posicionadas em um porta amostra para materiais sólidos, no centro dele há uma abertura para a passagem da radiação, é o local onde a radiação atinge a amostra (Figura 10).

Figura 10 – Porta amostras, com material, prontos para serem posicionados no equipamento.



Fonte: O autor (2019).

Após colocada no porta amostra, ele é posicionado no equipamento (Figura 11), que é então fechado e acionado através do computador, para fazer a análise. Durante a realização dos ensaios, gráficos de visualização são gerados na tela do computador, e os resultados são salvos e disponibilizados em txt.

Figura 11 – Equipamento aberto com amostra em posição de análise.



Fonte: O autor (2019).

O equipamento, durante a realização dos ensaios, operou no modo transmitância, já que esta é indispensável para o cálculo do Fator de Proteção Ultravioleta, segundo a norma utilizada. A análise foi realizada na faixa de comprimento de onda de 290 a 400 nm, que compreende a região da radiação ultravioleta A (315 a 400nm) e B (290 a 315 nm). A UV-C (100 a 290 nm) não foi avaliada, já que a literatura considera que esta radiação é filtrada pela camada de ozônio e não chega à superfície terrestre, sendo assim, apesar de seu potencial, não causa danos à saúde humana. Outra análise foi feita também no modo absorvância, entretanto em uma faixa de comprimento de onda maior, de 290 a 1400 nm, com a finalidade de caracterizar o material quanto à absorvância de UV e de radiação infravermelha (IV). A partir dos dados de absorvância de IV é possível fazer uma inferência sobre o conforto térmico, atribuindo maior conforto aos que menos absorverem.

Os resultados de refletância para RUV foram atribuídos da seguinte forma: tendo em vista a teoria da espectrofotometria, que considera que quando uma luz, seja ela monocromática ou policromática, atinge um material homogêneo, uma parcela da luz é absorvida pelo meio, parte é refletida e o restante é transmitida (VOGEL et al, 2017), como na Equação 3.

$$I_0 = I_a + I_t + I_r \quad (3)$$

$I_0$ : intensidade total de radiação incidente na amostra;

$I_a$ : parcela de radiação absorvida;

$I_r$ : parcela de radiação refletida;

$I_t$ : parcela de radiação transmitida.

E sabendo-se, a partir da análise espectrofotométrica, quais são as respostas de transmitância e absorvância dos materiais, pode-se calcular os percentuais de refletância para cada comprimento de onda analisado a partir da equação 4.

$$I_r = I_0 - (I_a + I_t) \quad (4)$$

Para o cálculo do UPF foi usada a seguinte equação, fixada pela norma:

$$UPF = \frac{E_{eff}}{E'} = \frac{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda}{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta\lambda} \quad (5)$$

(Fonte: ARPANSA, 2017).

Onde:

$E_{eff}$ : é a irradiância média efetiva de UVR para pele desprotegida;

$E'$ : irradiância média para pele protegida;

$E_{\lambda}$ : irradiância espectral solar em  $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ , segundo a CIE 172:2006;

$S_{\lambda}$ : eficácia espectral eritemal relativa;

$\Delta\lambda$ : amplitude da faixa em nm;

$T_{\lambda}$ : transmitância espectral do item.

Após a obtenção do valor de UPF de cada amostra de tecido foi calculado a média, o desvio e erro padrão das amostras de cada material específico através das equações seguintes:

$$Média\ UPF = \frac{UPF_1 + UPF_2 + \dots + UPF_n}{N} \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (UPF_1 - UPF \text{ médio})^2}{N - 1}} \quad (7)$$

Onde:

UPF: corresponde ao Fator de Proteção Ultravioleta de cada amostra individual;

N: número de amostras;

SD: desvio padrão.

Para o cálculo do erro padrão (E), para o nível de 99% de confiança, a equação que segue:

$t_{k,\alpha}$  = variate ( $\alpha = 0.005$ )

$k = N-1$

SD = Standard Deviation

N = number of specimens

$$E = t_{k,\alpha} \times SD / \sqrt{N} \quad (8)$$

O cálculo irá variar com o número de amostras analisadas, de acordo com a tabela que segue (Tabela 2):

Tabela 2 – Dados para cálculo de erro padrão.

N (number of specimens)	v (degrees of freedom)	Tv,0.005 (t-variate)	Tv,0.005/ $\sqrt{N}$
4	3	5.84	2.92
5	4	4.60	2.06
6	5	4.03	1.65
7	6	3.71	1.40
8	7	3.50	1.24
9	8	3.36	1.12
10	9	3.25	1.03

Fonte: ARPANSA (2017).

A média aritmética das transmitâncias UVA e UVB também foram calculadas, como especifica a devida norma, pelas seguintes equações:

$$UVB_{AV} = \frac{T_{290} + T_{295} + T_{300} + T_{310} + T_{315}}{6} \quad (9)$$

$$UVA_{AV} = \frac{T_{315} + T_{320} + T_{325} + \dots + T_{390} + T_{400}}{18} \quad (10)$$

A partir das equações, nota-se que não são usados todos os resultados para o cálculo da média, mas apenas os valores a cada 5 comprimentos de onda, e isso é estabelecido pela norma.

Por fim, para a determinação do UPF é feito o seguinte cálculo:  $UPF = UPF_{médio} - E$ , e o valor obtido é arredondado para o número inteiro inferior mais próximo.

Foi utilizada uma tabela de referência certificada pela ARPANSA para a classificação da eficácia da proteção de cada têxtil analisado (Tabela 3).

Tabela 3 – Sistema de classificação de UPF

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE UPF		
UPF	Classificação	Penetração efetiva de UVR menor que ou igual a (%)
<b>15</b>	Mínimo	6,7
<b>30</b>	Bom	3,3
<b>50, 50+</b>	Excelente	2,0

Fonte: AS/NZS 4399:2017.

Ainda segundo a norma, os tecidos que apresentarem valores de UPF inferiores a 15 são considerados sem proteção UV.

As análises de espectrofotometria UV foram realizadas no laboratório de síntese e caracterização de filmes finos (LABFILM) do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) da UFPB.

### 3.2.3.2 Microscopia Óptica

A microscopia óptica é uma técnica muito importante e de ampla aplicação na identificação de mudanças nas superfícies de materiais poliméricos (SILVA; NUNES; RABELLO, 2017). A caracterização através da microscopia óptica foi utilizada, nesse estudo, para a observação da estrutura das amostras têxteis, sendo possível, através dessa técnica, observar microscopicamente como os fios foram tecidos, e como as fibras estão dispostas nesses fios, se há menor ou maior pilosidade e porosidade, já que estas propriedades relacionadas aos elementos estruturais do material não são características macroscópicas que possam ser observadas a olho nu. Os resultados dessa análise microscópica da estrutura podem ser associados ao desempenho do material quanto à transmitância da RUV.

As análises de microscopia óptica foram conduzidas em equipamento Olympus BX41-led, com aumento de 5x, a ele estavam acoplados uma câmera e um computador para a visualização digitalizada das imagens colhidas.

### 3.2.3.3 *Perfilometria óptica*

A Perfilometria óptica 3D sem contato, que é uma importante técnica de caracterização avançada de superfície de materiais (FILHO; NAKAYA; MIKOS, 2014) foi utilizada para analisar a rugosidade dos têxteis. A análise foi realizada no Laboratório Integrado de Biomateriais, no Centro de Ciências da Saúde da UFPB.

Figura 12 – Perfilômetro com amostra têxtil em análise.



Fonte: O autor (2019).

## 3.3 Determinação de conforto térmico

Para caracterização dos materiais quanto ao conforto térmico também foi aplicada a técnica de espectrofotometria para a faixa de 700 a 1400 nm, foi usado o mesmo equipamento da espectrofotometria UV, alternando apenas a faixa de comprimento de onda. Foram consideradas com maior conforto as amostras que apresentaram menor absorvância de IV para o espectro avaliado.

### 3.4 Parte experimental

Após a aquisição das amostras, algumas, como já discutido anteriormente, passaram por tratamentos domésticos, de lavagem manual com água e sabão em pó, secagem ao sol e passagem a ferro após cada 3 lavagens, até completados os ciclos de 9 lavagens. E então amostras foram retiradas para 0, 3, 6 e 9 lavagens, com a finalidade de identificar se o tratamento doméstico causa alguma influência no Fator de Proteção dos tecidos. Foram 2 tipos de tecidos que passaram pelo tratamento, ambos com fibras compostas por algodão (fibra natural), mas de cores distintas.

Para outros dois têxteis de mesma cor, mas de fibras de diferente composição, foram avaliadas a influência do desgaste e fotodegradação causados pelo uso, lavagem e pela exposição à radiação ultravioleta. O de fibra mista (química artificial e sintética) encontra-se em uma proporção de 67% poliéster e 33% viscose, o outro tem fibra composta 100% por poliéster, considerada sintética. Ambos os tecidos são da cor azul e as amostras foram coletadas de vestimentas de trabalho usadas por mototaxistas de uma cidade do Sertão do Pajeú, no estado de Pernambuco.

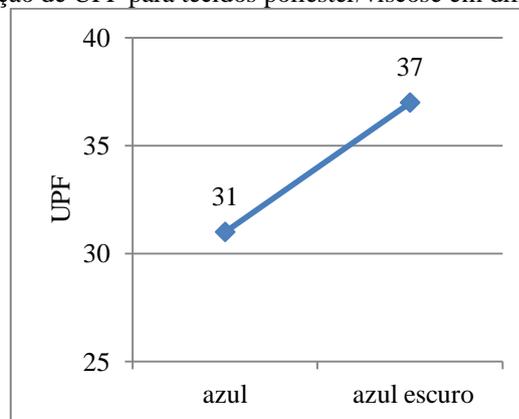
As amostras foram dimensionadas com aproximadamente 2,5 cm de largura e 4 cm de comprimento, um tamanho ideal para o porta amostras do espectrofotômetro e suficiente para os demais ensaios realizados.

## 4 CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Influência da cor no Fator de Proteção Ultravioleta

A cor, de fato, como previsto na literatura em estudos já desenvolvidos, é uma variável que influencia fortemente no Fator de Proteção Ultravioleta dos materiais têxteis, afirmação que pode ser justificada com base no Gráfico 1 com a variação de UPF para tecidos de mesma composição, 67% poliéster e 33% viscose, em duas tonalidades da cor azul (azul e azul escuro).

Gráfico 1 – Variação de UPF para tecidos poliéster/viscose em diferentes tons de azul.



Fonte: O autor (2019).

A diferença entre os tons de cores pode ser identificada na Figura 13, em que as amostras encontram-se uma ao lado da outra.

Figura 13 – Amostras poliéster/viscose em duas tonalidades de azul.



Fonte: o autor (2019).

O contraste de desempenho entre os materiais pode ser observado com maior precisão no gráfico 3, em que a transmitância e absorbância de UV é mais satisfatório para o tom mais

escuro, tendo em vista que esse transmite menos radiação e absorve mais, promovendo um maior UPF (de valor 37), quando comparado a tonalidade mais clara, de UPF 31.

Gráfico 3 – Comparação de desempenho de têxteis de duas tonalidades da cor azul.

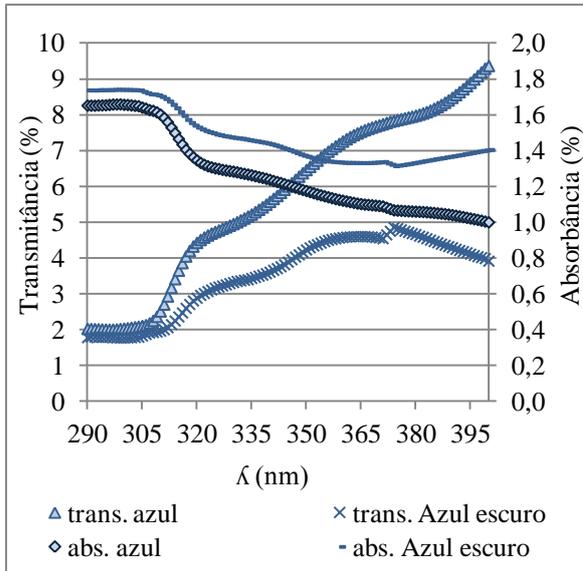
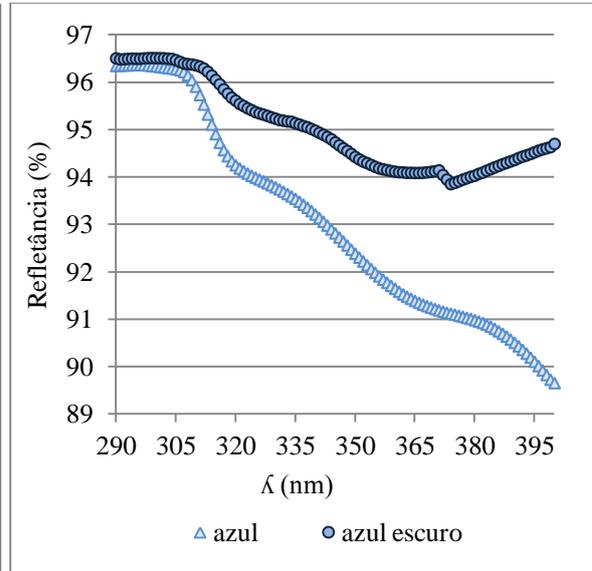


Gráfico 2 – Comparação entre as refletâncias de UV de dois têxteis de mesma composição e diferentes tonalidades da cor azul.



Fonte: O autor (2019).

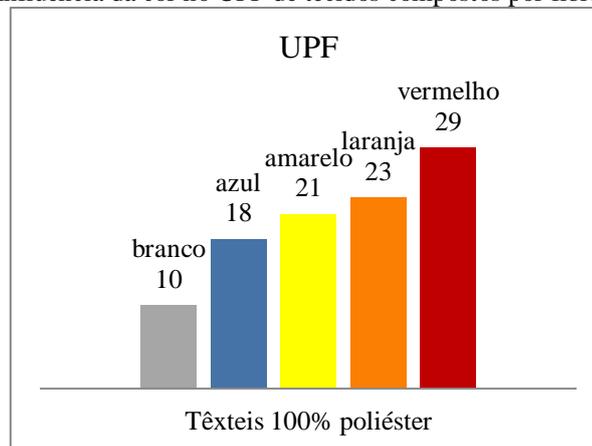
No Gráfico 3 os pontos representam a transmitância, com valores percentuais indicados no eixo vertical esquerdo (de 0 a 10%), e absorbância no eixo vertical direito (de 0 a 2%), da Radiação Ultravioleta (290 a 400 nm). Para a cor azul essa transmitância inicia-se em valores mais baixos, em torno de 2,5% até 305 nm e depois tem uma elevação acentuada ainda na região UVB, e segue aumentando até atingir o seu ponto máximo a 400 nm com aproximadamente 9,4% de transmitância. Já a transmitância para o têxtil de cor azul escuro, inicialmente e até cerca de 305 nm tem um comportamento semelhante ao da cor azul, apesar de ter um percentual de transmitância menor, a partir de então essa simetria se altera, o ponto máximo é atingido aos 4,8% em 374 nm e então se reduz novamente até chegar a 3,9% em 400 nm. O azul apresentou uma transmitância média UVA (315 a 400 nm) e UVB (290 a 315 nm) respectivamente de 6,33% e 2,38%, contra 3,75% e 1,63% do azul escuro (Apêndice B).

A absorbância produz gráficos que, apesar dos valores serem bem inferiores aos de transmitância, não chegando nem mesmo a 2%, as suas curvas são delineadas praticamente de forma inversa aos da primeira resposta, de modo que quando uma sobe a outra regride, comparando-se os resultados para os mesmos comprimentos de onda. Mas não há uma grande variação entre os percentuais de absorbância como existe para os de transmitância, isso

porque parte da RUV é refletida. Somando-se os dois eventos, considerando-se que a radiação chega em 100% na amostra, pode-se inferir que grande parte da RUV é refletida (Gráfico 2), já que esses são os três fenômenos que podem acontecer quando uma amostra é irradiada com UV. Levando-se em consideração esses aspectos, pode-se concluir que o tecido de tonalidade mais escura apresentou um melhor desempenho quanto à proteção solar, já que obteve maior UPF, melhor e maior estabilidade na absorbância e refletância, pois não houve uma grande variação dessas respostas entre os comprimentos de onda, como no tom mais claro.

Para os têxteis de fibras compostas por poliéster, 5 diferentes cores foram analisadas, são elas: branco, azul, amarelo, laranja e vermelho. O gráfico 4 traz os resultados de seus UPF.

Gráfico 4 – Influência da cor no UPF de tecidos compostos por fibras de poliéster.

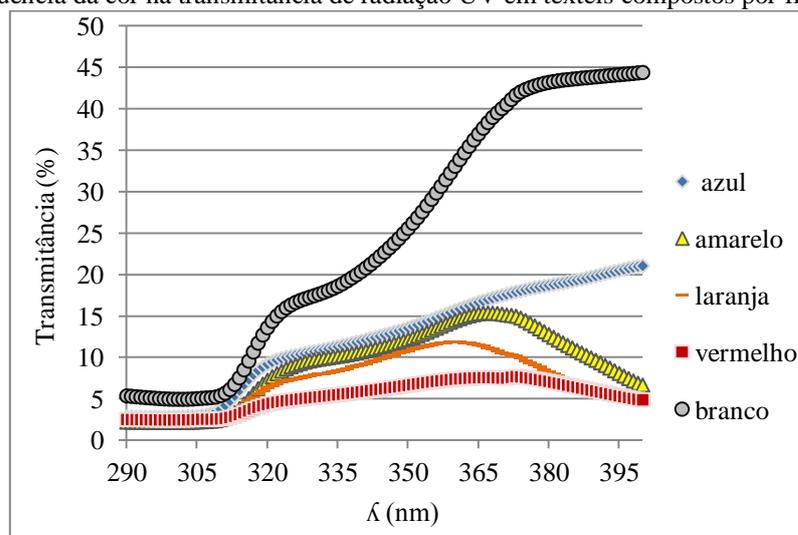


Fonte: O autor (2019).

A cor branca obteve um UPF 10 e foi considerada como a de pior desempenho, classificada, segundo a AS/NZS 4399:2017, como um tecido sem proteção, as demais amostras ficaram classificadas como tendo proteção mínima (Apêndice A).

O Gráfico 5 ilustra também a influência da cor do substrato têxtil na transmitância da radiação UV, em que os tecidos de cores como o branco, azul e amarelo apresentaram as transmitâncias médias mais elevadas. Todos, com exceção do branco, apresentam basicamente a mesma transmitância em comprimentos de onda menores, entre ~ 290 e 307 nm, a partir de então as cores mais claras tendem a ter uma maior elevação de transmitância que os tons mais escuros. O vermelho, laranja e amarelo atingem o ponto máximo antes de atingir o extremo horizontal do gráfico, e então os valores caem novamente. As cores azul e branca alcançam o máximo de transmitância a 400 nm.

Gráfico 5 – Influência da cor na transmitância de radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.



Fonte: O autor (2019).

As transmitâncias médias de UVA e UVB das amostras de poliéster estão dispostas na Tabela 4, nela é possível notar que o branco, de menor absorvância (gráfico 6) e menor UPF é também o de mais elevada transmitância nas duas regiões. As cores amarelo, laranja e vermelho, apesar de terem um comportamento análogo entre 290 e 315 nm, diferem de maneira considerável para o restante do espectro UV (315 a 400 nm), por isso o resultado de UPF é distinto entre eles, o que pode ser visto, além de na Tabela 4, no Gráfico 5, de transmitância, e no Gráfico 6 de absorvância.

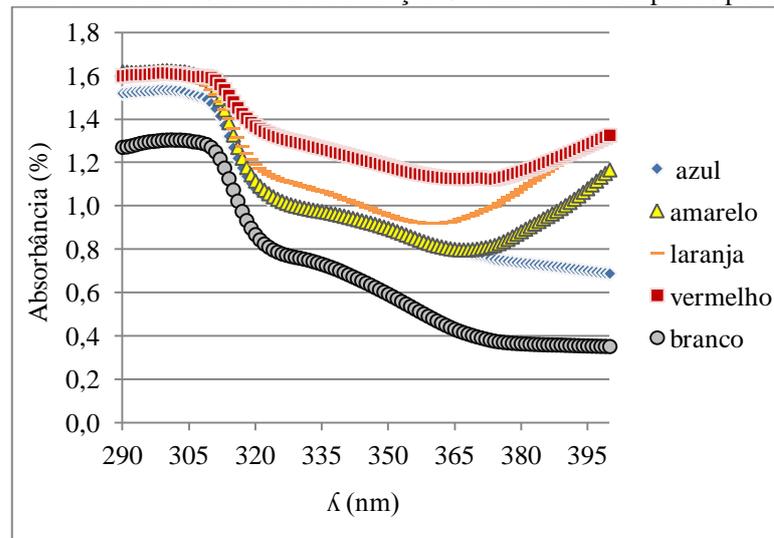
Tabela 4 – Transmitância média UVA e UVB de amostras de poliéster em diferentes cores.

<b>Transmitância Média UVA (315 a 400 nm)</b>	<b>Transmitância Média UVB (290 a 315 nm)</b>	<b>Descrição da amostra</b>
28,46	4,90	Branca
14,90	3,65	Azul
10,30	2,24	Amarelo
7,94	2,44	Laranja
5,73	2,27	Vermelho

Fonte: O autor (2019).

Como nos gráficos 3 e 4, para as amostras de poliéster/viscose, nota-se também no Gráfico 6 uma inversão de posições quando é feita a comparação entre transmitância e absorvância, isso acontece porquê se uma maior parcela de radiação é absorvida menos conseguirá atravessar o material.

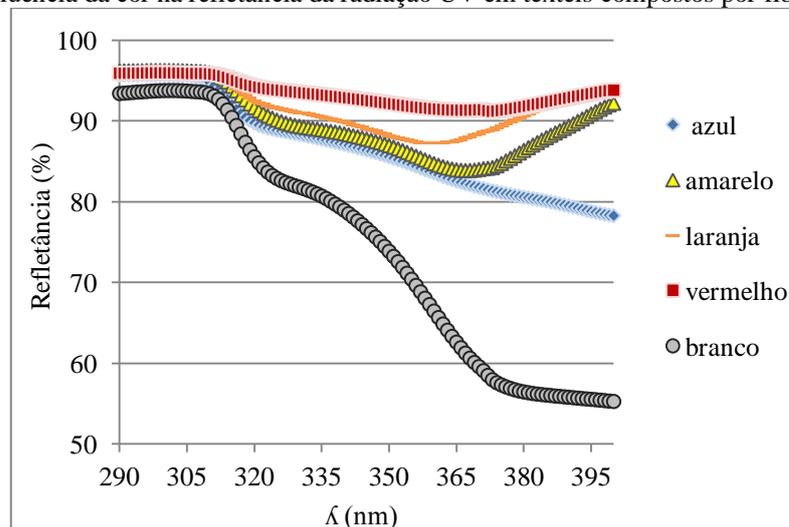
Gráfico 6 – Influência da cor na absorbância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.



Fonte: O autor (2019).

Para o gráfico de refletância das mesmas amostras o comportamento é análogo ao de absorbância, com ápice em comprimento em ondas menores que caem em seguida, algumas de cores mais escuras se elevam novamente, o branco e azul chegam a 400 nm em seu valor mínimo de refletância (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Influência da cor na refletância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de poliéster.



Fonte: O autor (2019).

Para os têxteis de fibras compostas de algodão a cor também está entre os fatores que variam o desempenho do material quanto à proteção solar. O Gráfico 8 exibe os resultados de UPF para tecidos de fibras compostas por algodão em diferentes cores. Identifica-se 4 tons da cor verde (Figura 14), o primeiro e segundo com o mesmo desempenho, o terceiro já com

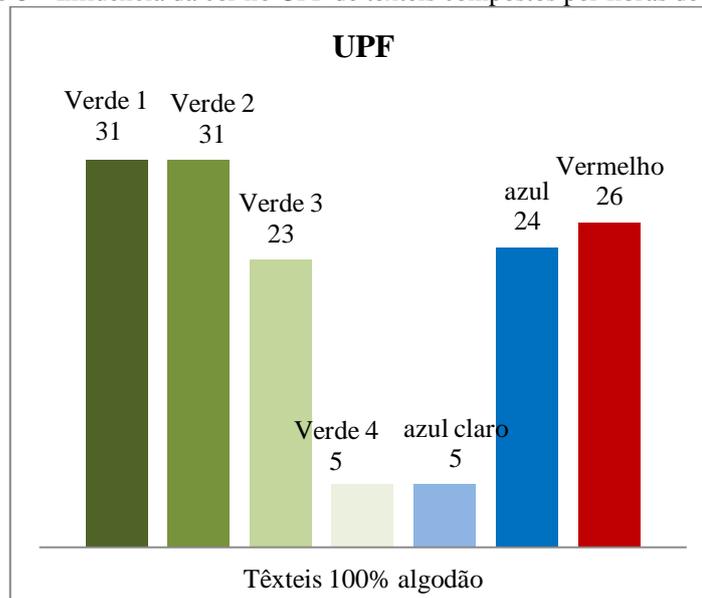
uma grande diferença no resultado, com UPF 23 contra 31 dos primeiros, e o quarto tecido com baixa proteção, que é desconsiderada pela norma. O azul claro também se equipara ao verde 4, sendo ambos sem proteção, quando essa tonalidade é aumentada para um azul mais escuro há um elevado aumento do fator, passando de 5 (sem proteção) para 24 (proteção mínima). A cor vermelho também apresenta proteção mínima, com valor 26 (Gráfico 8), semelhante à mesma cor da amostra de poliéster, com UPF 29 (Gráfico 4).

Figura 14 – Amostras de têxteis de algodão em diferentes tonalidades de verde.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 8 – Influência da cor no UPF de têxteis compostos por fibras de algodão.



Fonte: O autor (2019).

Esses valores estão associados ao percentual de radiação que atravessa o material, os que apresentam uma maior transmitância nas duas regiões do espectro: 21,80% e 19,71% para UVA, e 13,38% e 13,73% para UVB das cores verde 4 e azul claro, respectivamente (Tabela 5), foram os que tiveram um pior desempenho em proteção. As primeiras três tonalidade de verde obtiveram uma média de passagem de UVB bem próxima, entretanto, o verde 3

transmitiu maior UVA, acarretando em uma redução do seu Fator de Proteção Ultravioleta (Gráfico 9; Tabela 5).

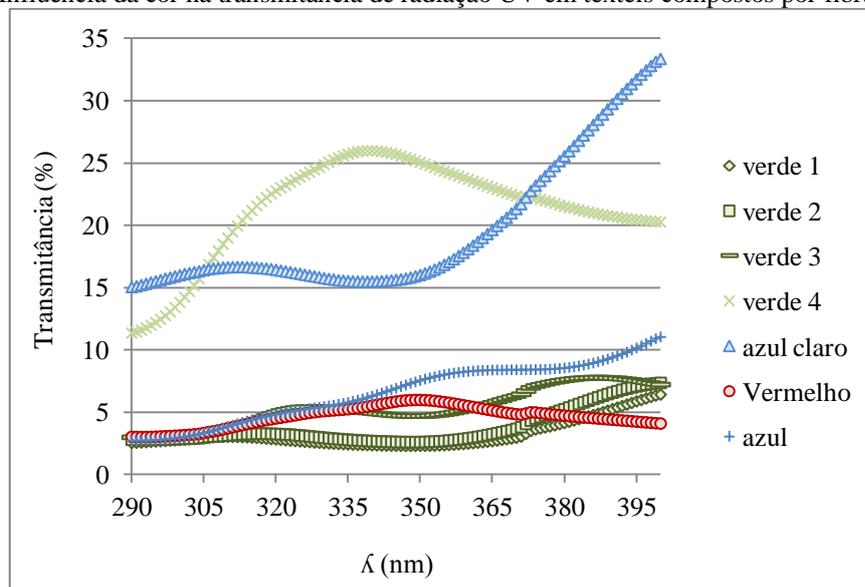
Tabela 5 – Transmitância média UVA e UVB de amostras têxteis de algodão em diferentes cores.

Transmitância Média UVA (315 a 400 nm)	Transmitância Média UVB (290 a 315 nm)	Descrição da amostra
3,18	2,40	Verde 1
3,80	2,53	Verde 2
5,60	2,85	Verde 3
21,80	13,38	Verde 4
19,71	13,73	Azul claro
4,69	2,90	Vermelho
7,54	3,32	Azul

Fonte: O autor (2019).

O comparativo entre as transmitâncias pode ser melhor observado no Gráfico 9, em que as duas cores mais claras, de menor UPF, transmitem um maior percentual de radiação UV em todo o espectro analisado.

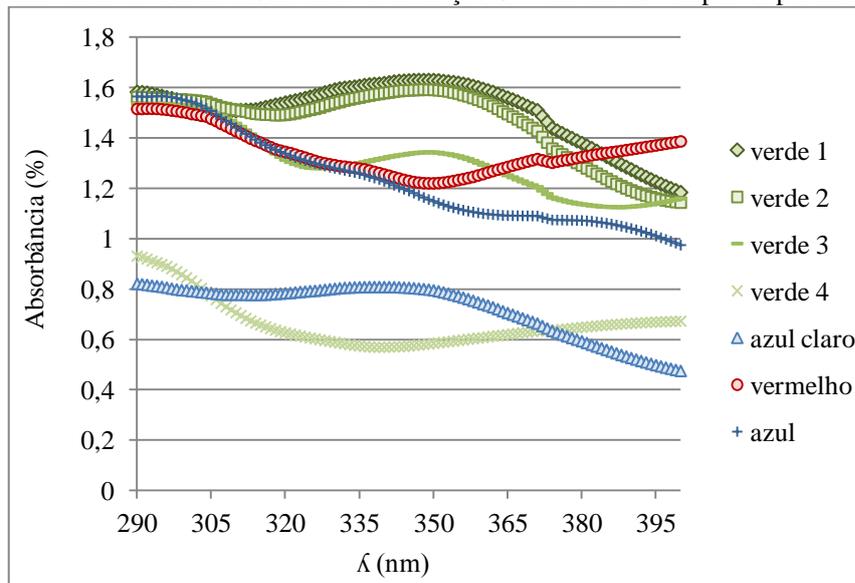
Gráfico 9 – Influência da cor na transmitância de radiação UV em têxteis compostos por fibras de algodão.



Fonte: O autor (2019).

Para o gráfico de absorbância, como esperado, as posições se invertem e no topo encontram-se as amostras que obtiveram melhores resultados no Fator de Proteção (Gráfico 10).

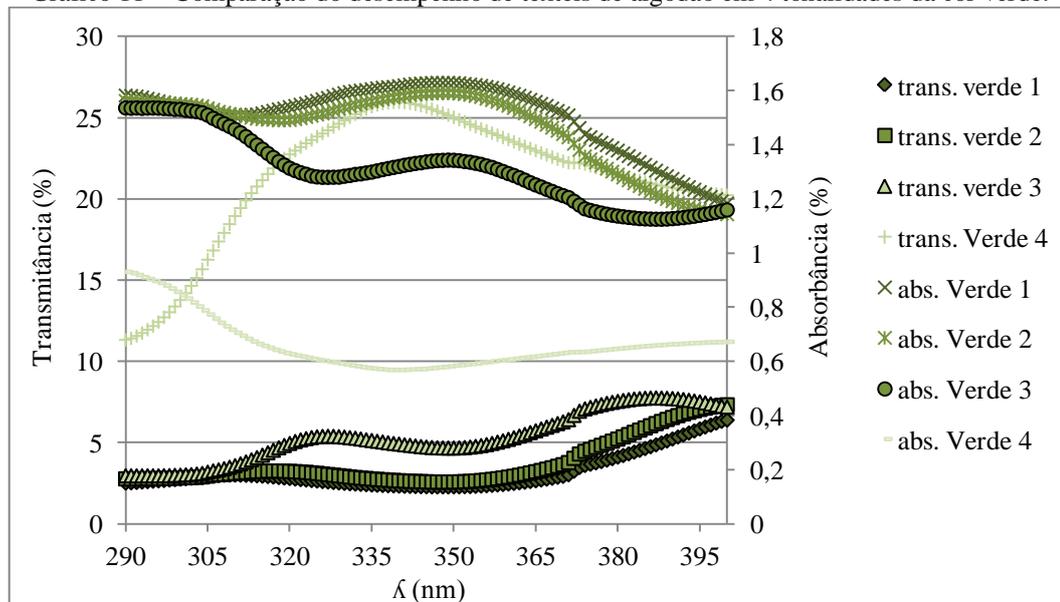
Gráfico 10 – Influência da cor na absorbância da radiação UV em têxteis compostos por fibras de algodão.



Fonte: O autor (2019).

É evidente a influência da cor no UPF quando são comparados os resultados de amostras da mesma composição de fibras, estrutura e cor, mas em tonalidades diferentes. O Gráfico 11 ilustra o resultado dessa comparação para 4 nuances de verde. Iniciando pelo verde 1 (o mais escuro) até o verde 4 (o mais claro).

Gráfico 11 – Comparação do desempenho de têxteis de algodão em 4 tonalidades da cor verde.



Fonte: O autor (2019).

O comportamento das curvas é semelhante, com exceção do verde 4 que se desvia, e se diferenciam quanto aos valores percentuais de transmitância e absorbância. O verde 1 e 2

tem desempenho bem aproximado, diferindo praticamente apenas na região UVA, o que pode ser, inclusive, desconsiderado já que o resultado de proteção UV é o mesmo para ambos. Passando para um tom mais claro, o verde 3, já percebe-se a diferença tanto no UPF, que passa de 31 para 23, quanto na absorbância que é reduzida enquanto a transmitância aumenta. Quando se atinge o tom mais claro entre os 4 a diferença é ainda mais notável, destacando-se na linha que representa a maior passagem de radiação (Gráfico 11), já que não foi absorvida, que chegaria até a pele do usuário deixando-o desprotegido, uma vez que o resultado do UPF classifica o têxtil como um material sem proteção solar.

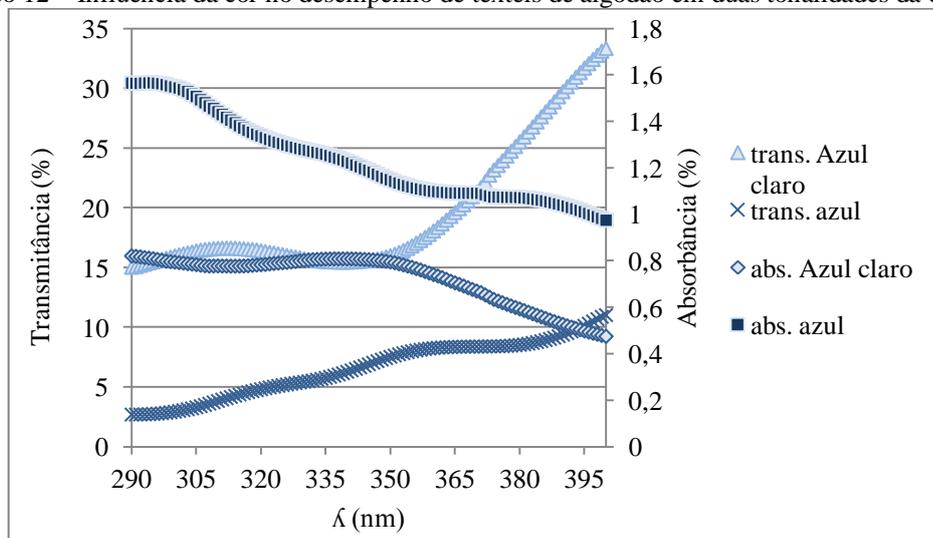
Outra evidência da influência da cor no UPF dos têxteis pode ser vista também no Gráfico 12, que trata da transmitância e absorbância da radiação UV para dois tecidos de fibras com composição 100% algodão em duas tonalidades de azul (Figura 15), em que novamente o tom mais escuro se sobressai com uma maior absorbância e menor passagem de radiação e com uma variação menor entre os comprimentos de onda, quando comparado ao azul claro.

Figura 15 – Amostras de algodão em duas tonalidades da cor azul.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 12 – Influência da cor no desempenho de têxteis de algodão em duas tonalidades da cor azul.



Fonte: O autor (2019).

## 4.2 Influência da fotodegradação no UPF

Para verificar a presença e influência de fotodegradação em um têxtil após exposição, prolongada ocupacional ao sol, foi feita a identificação de variação de cor, apontada na literatura como um indicador de degradação que se inicia sempre pela superfície. A análise foi realizada após um período de aproximadamente 8 meses de uso de fardamento, em tecido de fibras de composição 67% poliéster e 33% viscose, utilizado no desenvolvimento da atividade de mototaxista.

Figura 16 – Amostras nova e usada

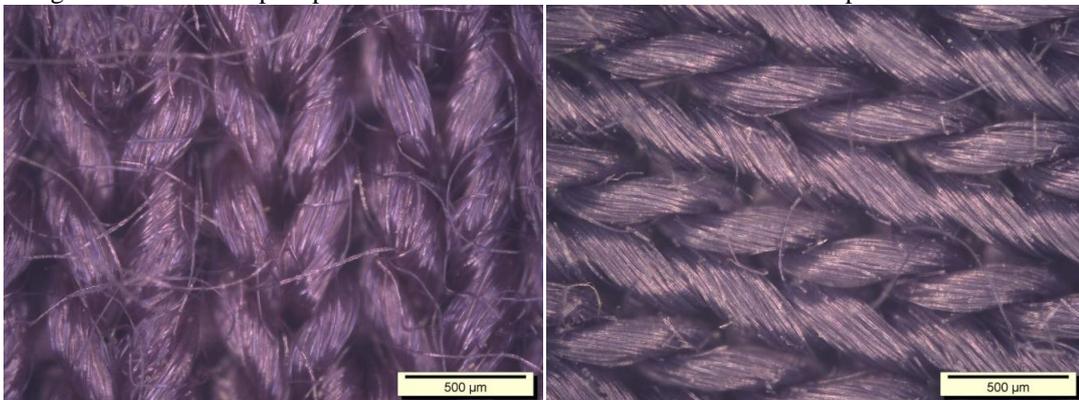


a) Tecido novo.      b) Tecido usado.

Fonte: O autor (2019).

O indicador de fotodegradação, isto é, a alteração na tonalidade, pode ser visto na Figura 16, em que as amostras no estado novo e após 8 meses de uso estão uma ao lado da outra. A figura 17 traz a microscopia óptica das amostras, em que é possível identificar uma pequena alteração na estrutura, com as fibras mais compactadas nos fios e menor pilosidade para o tecido usado, quando comparado ao novo.

Figura 17 – Microscopia óptica de amostras de têxteis no estado de novo e após 8 meses de uso.



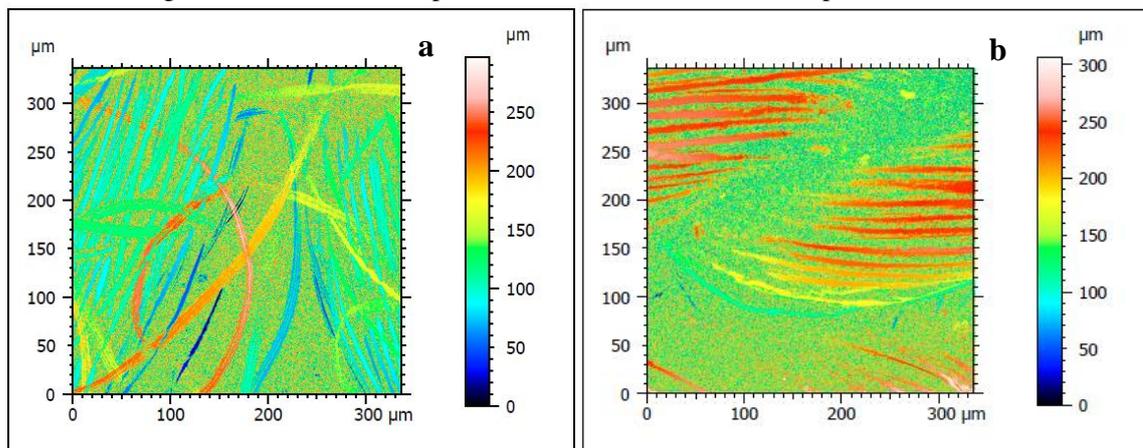
a) Tecido novo.

Fonte: O autor (2019).

b) Tecido usado.

As imagens de superfície feitas através da perfilometria óptica (Figura 18) também reforçam a mudanças na estrutura do têxtil, antes do uso mais fibras superficiais, em tons amarelo, alaranjado, se sobrepõem a outras fibras mais profundas que estão entrelaçadas nos fios, em cores em tons de verde e azul, como indica a escala na lateral da figura. Após o uso, as fibras dos fios aparecem alinhadas mais na superfície da amostra, sem as fibras pilosas cobrindo-as.

Figura 18 – Perfilometria óptica de amostras novas e usadas de poliéster/viscose.



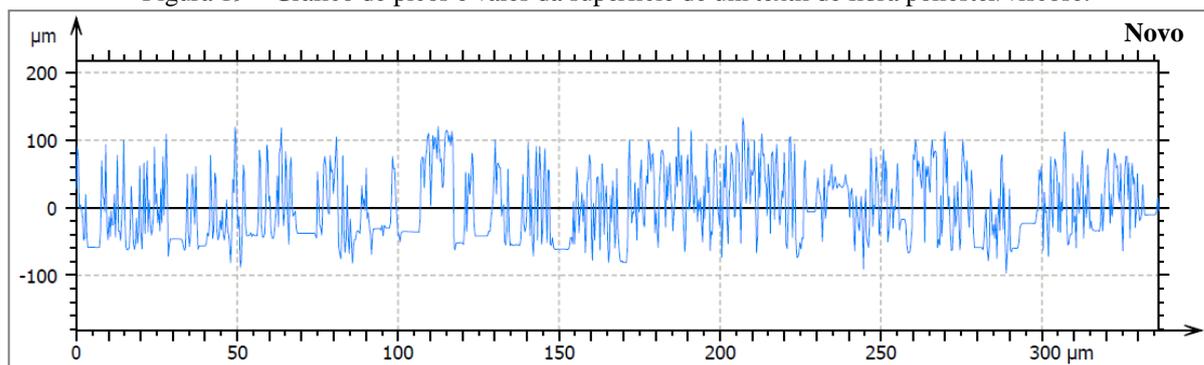
a) Tecido novo; b) Tecido usado.

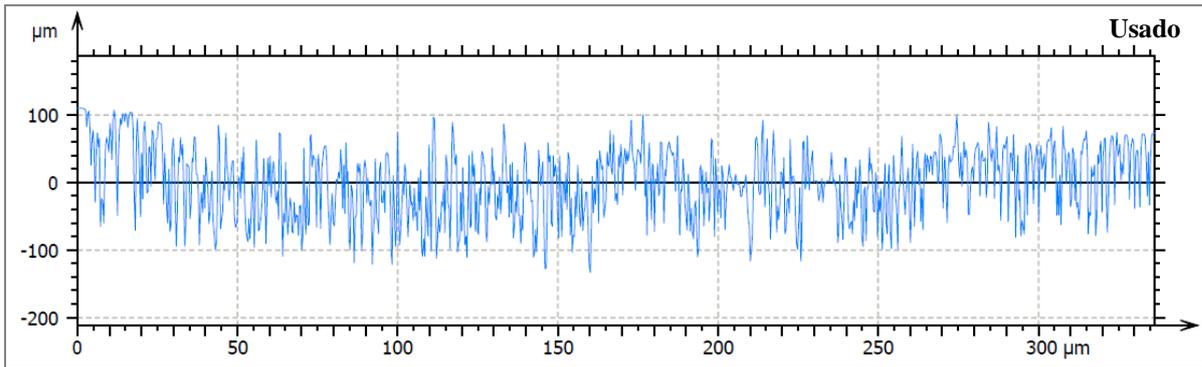
Fonte: O autor (2019).

Quando comparados os valores de rugosidade nota-se que houve um leve aumento, passando de 44 para 46 com o uso, que está relacionado com o aumento dos vales na superfície do têxtil, identificados na comparação entre os gráficos de análise de superfície na Figura 19, que significa que mais radiação consegue adentrar no material.

A análise de perfilometria pode indicar que além da fotodegradação houve também uma degradação que possivelmente foi causada pelo atrito do uso e das lavagens, alterando as características macroestruturais do material.

Figura 19 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra poliéster/viscose.

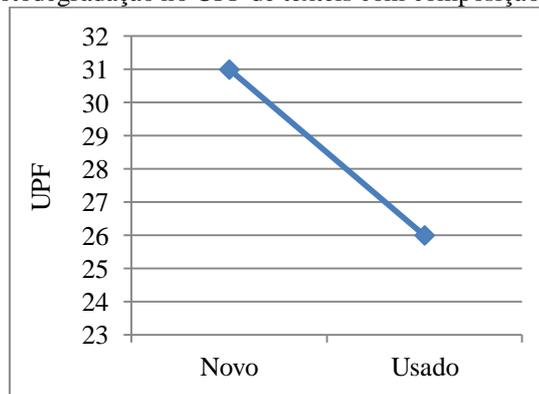




Fonte: O autor (2019).

Após o período de uso o desempenho do material caiu cerca de 16% com um Fator de Proteção que passou de 31, quando novo, para 26 após o uso (Gráfico 13).

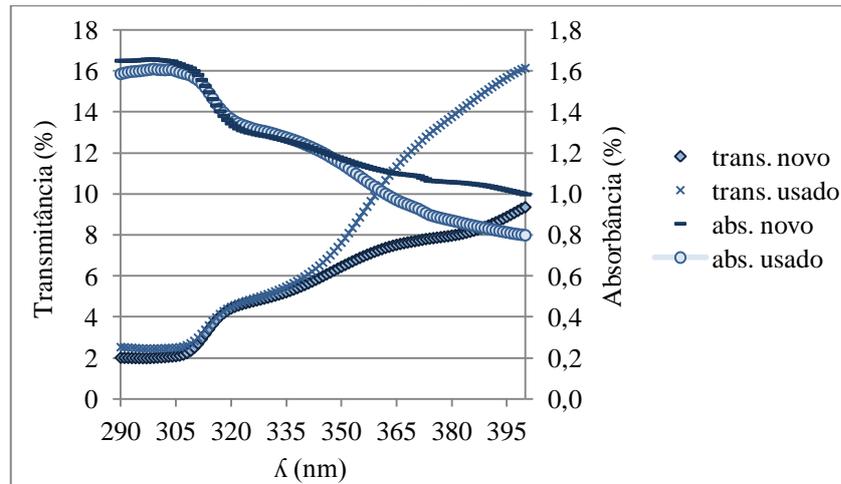
Gráfico 13 – Influência da fotodegradação no UPF de têxteis com composição 67% poliéster e 33% viscose.



Fonte: O autor (2019).

Essa redução da proteção se deve, principalmente, ao aumento da transmitância acima de 345 nm, na região UVA do espectro, que é evidente quando se faz uma comparação entre os materiais (Gráfico 14). Entretanto esse resultado não se deve absolutamente a mudança desfavorável na absorbância, como nas análises das cores, que as curvas que representam absorção e transmissão de UV se formam aproximadamente de modo contrário, nesse caso não houve grande diferenciação na quantidade de RUV que é absorvida quanto houve na que é transmitida, enquanto a primeira diferiu 20% a segunda 42%, para os seus pontos mínimos e máximos, respectivamente, distância que podem ser comparadas também no Gráfico 14, entre o material novo e usado.

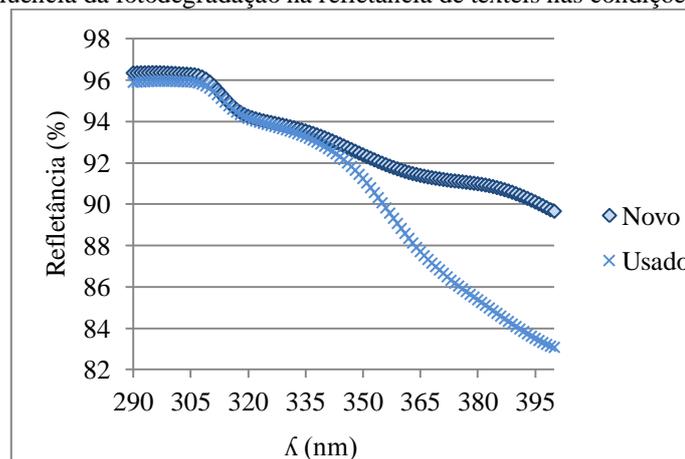
Gráfico 14 – Influência da fotodegradação na transmitância e absorbância de têxteis nas condições de novo e usado.



Fonte: O autor (2019).

Como podem acontecer três eventos quando a RUV atinge um têxtil (absorbância, transmitância e/ou refletância), pode-se inferir aqui, a partir dos dois dados obtidos na espectrofotometria, que ocorreu também uma redução na refletância após o material passar pela fotodegradação (Gráfico 15). Isso pode estar relacionado com a quebra de ligações covalentes da cadeia principal, características do processo, que faz com que haja uma menor difusão da radiação facilitando a passagem de UV.

Gráfico 15 – Influência da fotodegradação na refletância de têxteis nas condições de novo e usado.



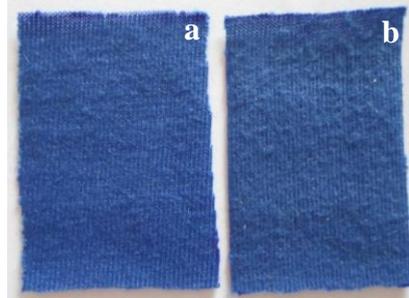
Fonte: O autor (2019).

### 4.3 Influência da pilosidade no UPF

Analisando um material composto 100% por poliéster em duas condições: novo, nunca usado e usado ocupacionalmente por trabalhador na atividade de mototaxista durante dois

meses (Figura 20), foram obtidas respostas que indicam que não houve degradação suficiente que viesse a causar alteração na cor ou redução no UPF, mas as lavagens e o próprio uso acarretaram no aumento da pilosidade desse material, elevando em 3 pontos o UPF do têxtil, que passou de 18 para 21 após o uso (Gráfico 16).

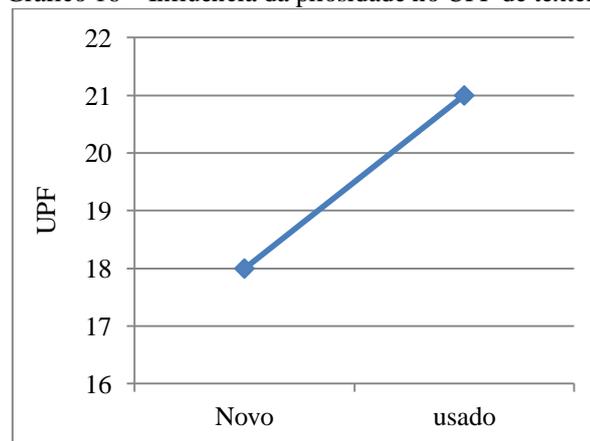
Figura 20 – Tecidos de fibras de poliéster.



a) Tecido novo; b) tecido usado.

Fonte: O autor (2019).

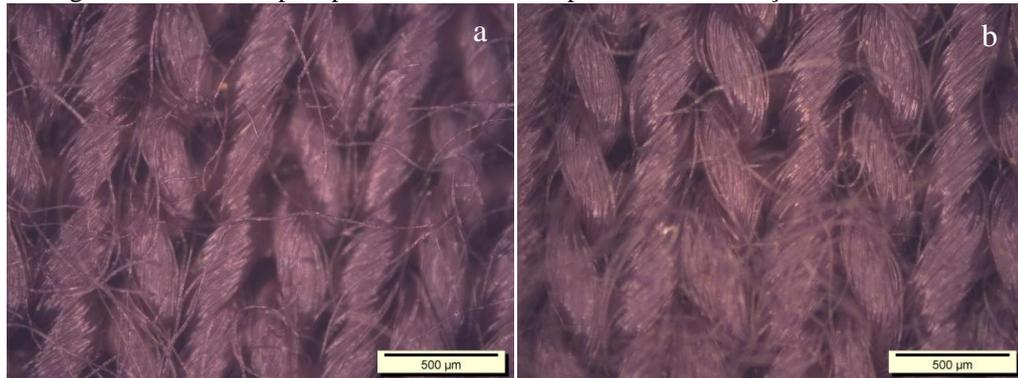
Gráfico 16 – Influência da pilosidade no UPF de têxteis.



Fonte: O autor (2019).

A verificação da elevação da pilosidade foi feita através de imagens de microscopia óptica, onde foi identificado que, apesar da estrutura de tecelagem se manter houve um aumento das fibras desalinhadas, que se soltam dos fios e formam emaranhados, cobrindo os poros (Figura 20).

Figura 21 – Microscopia óptica das amostras de poliéster nas condições de nova e usada.

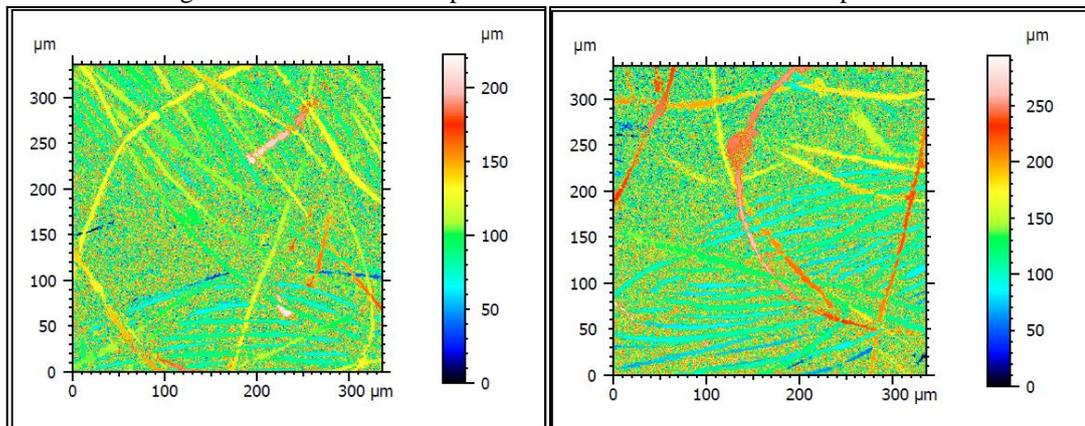


a) Tecido novo; b) tecido usado.

Fonte: O autor (2019).

O aumento da pilosidade pôde ser identificado também através da perfilometria óptica. Comparando-se as amostras, a usada apresentou maior quantidade de fibras mais superficiais, isto é, mais altas em relação à altura média do tecido, são os pontos que aparecem na cor laranja/vermelho da Figura 22.

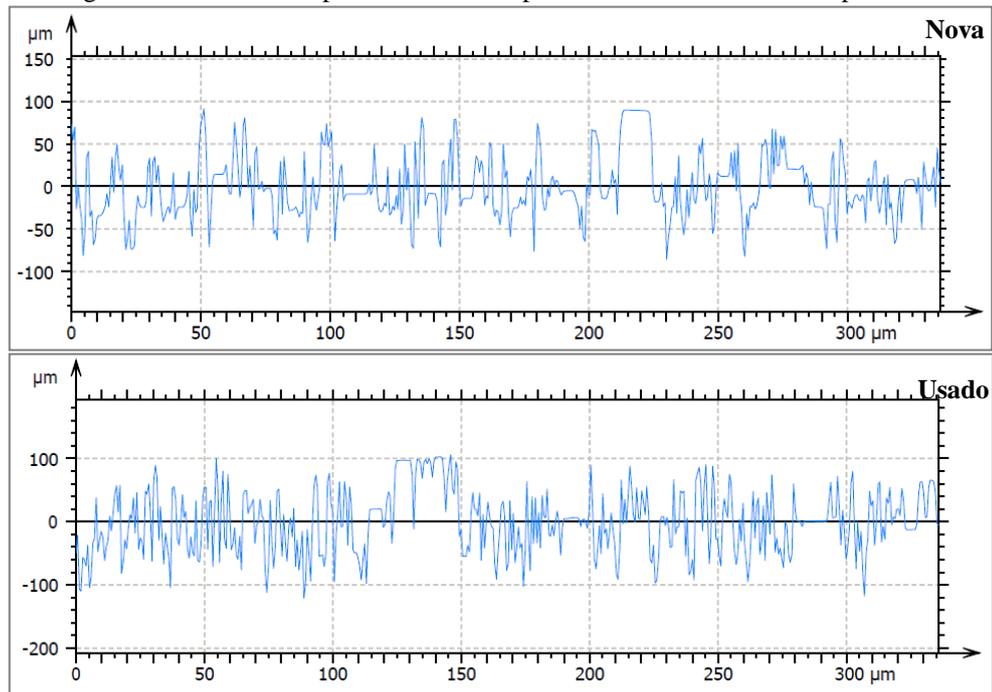
Figura 22 – Perfilometria óptica de amostras novas e usadas de poliéster.



Fonte: O autor (2018).

Esse aumento pode ser claramente visto nos gráficos da análise de superfície produzidos também pela perfilometria, a amostra de tecido usado apresenta picos e vales maiores, chegando os picos a 100 µm e os vales ultrapassando -100 (Figura 23), enquanto o novo não atinge esses valores, fato que pode ser atribuído à pilosidade. Com isso houve uma elevação também na rugosidade, que passa de 28,9 µm para 43,2 µm após o uso.

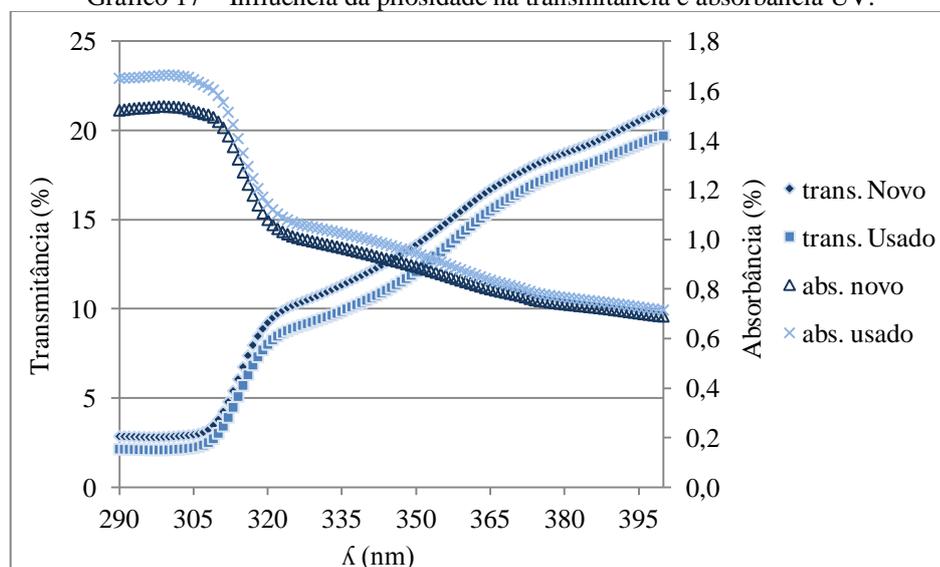
Figura 23 – Gráficos de picos e vales da superfície de têxteis de fibra de poliéster.



Fonte: O autor (2019).

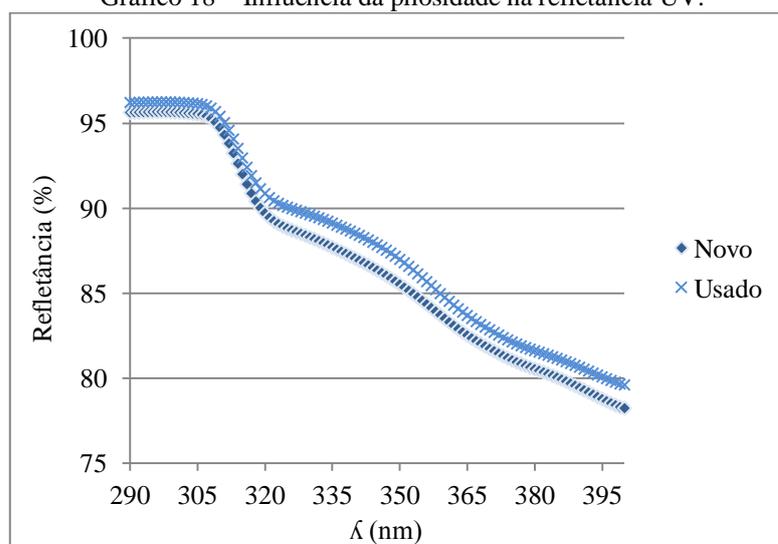
Como no caso da pilosidade, a alteração do desempenho está relacionada com a transmitância que foi reduzida em função do leve aumento da absorbância (Gráfico 17), e uma elevação também na parcela de radiação que é refletida (Gráfico 18). Isso acontece dado que as fibras pilosas cobrem parte dos poros aumentando a área de cobertura do material, favorecendo os dois fenômenos que impedem que a radiação seja transmitida pelo têxtil (absorbância e refletância).

Gráfico 17 – Influência da pilosidade na transmitância e absorbância UV.



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 18 – Influência da pilosidade na refletância UV.



Fonte: O autor (2019).

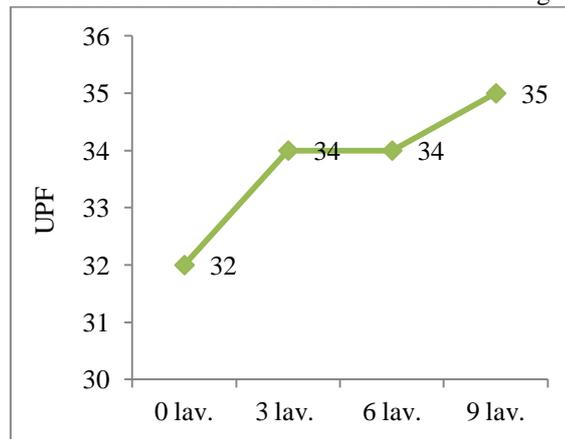
Neste quadro, menos tempo de uso, que a amostra de poliéster/viscose, favoreceu a fotoproteção elevando o UPF do material, mas isso não sugere que com a continuação do uso esse fator venha a aumentar ainda mais ou se manter, há uma tendência de que ocorra a fotodegradação, e esta causa efeitos contrários aos da pilosidade no UPF dos materiais.

#### 4.4 Influência de tratamentos domésticos no UPF

Foi discutido que tratamentos domésticos aplicados aos têxteis, como a lavagem e passagem a ferro, podem promover alterações na estrutura dos tecidos e, por conseguinte, no Fator de Proteção Ultravioleta dos materiais. Foi verificada a influência desses tratamentos domésticos para dois materiais compostos por fibras de algodão em duas cores: azul e verde.

As amostras do tecido na cor verde foram coletadas de um uniforme de trabalhadores que laboram na limpeza urbana. Quando calculado o UPF, para a amostra nova, sem ter passado por nenhum tratamento que pudesse causar alterações nas suas propriedades químicas ou físicas, o resultado obtido foi 32, após três lavagens e passagem a ferro houve um leve crescimento desse número, passando então para 34, que se manteve após mais um ciclo, quando completados os 3 ciclos de tratamento (9 lavagens) a proteção se elevou ainda mais, para um valor de UPF de 35 (Gráfico 19).

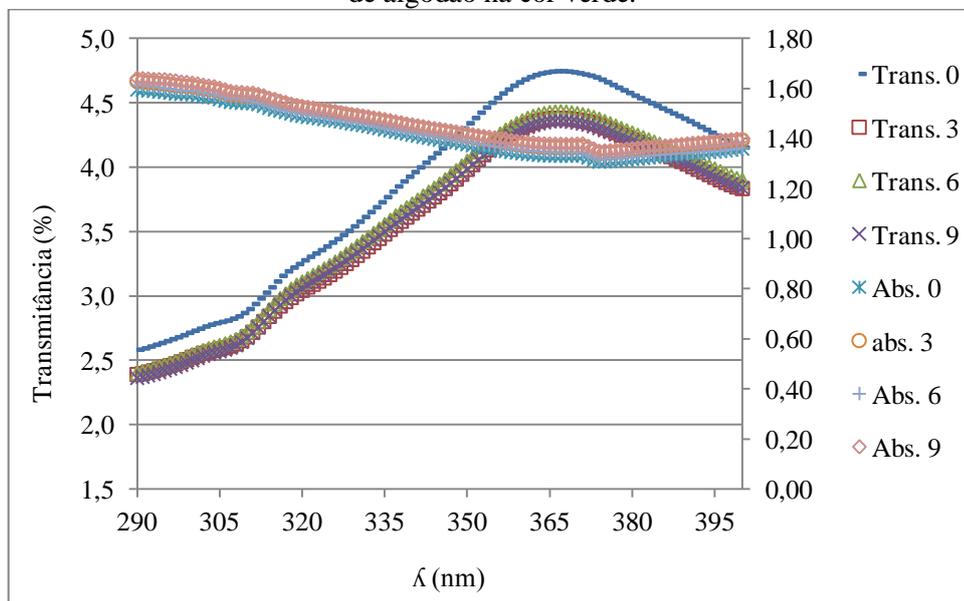
Gráfico 19 – Influência do tratamento doméstico em têxteis de algodão na cor verde.



Fonte: O autor (2019).

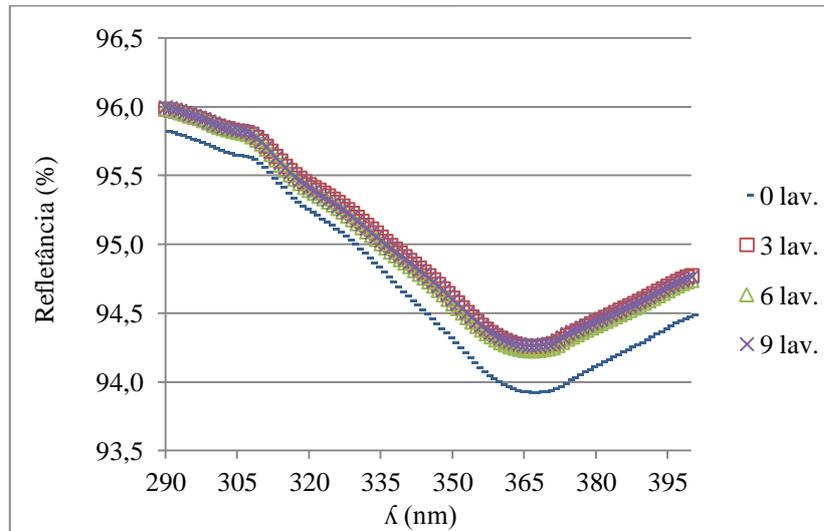
Quando comparados os Gráficos de transmitância/absorbância (Gráfico 20) e de refletância (Gráfico 21), pode-se identificar que a absorbância foi pouco modificada, então é possível inferir que o melhoramento do desempenho após as lavagens se deve principalmente a elevação da parcela de UV que é refletida, que foi maior influenciada pelos tratamentos.

Gráfico 20 – Influência de tratamentos domésticos na transmitância e absorbância de UV por têxteis de algodão na cor verde.



Fonte: O autor (2019).

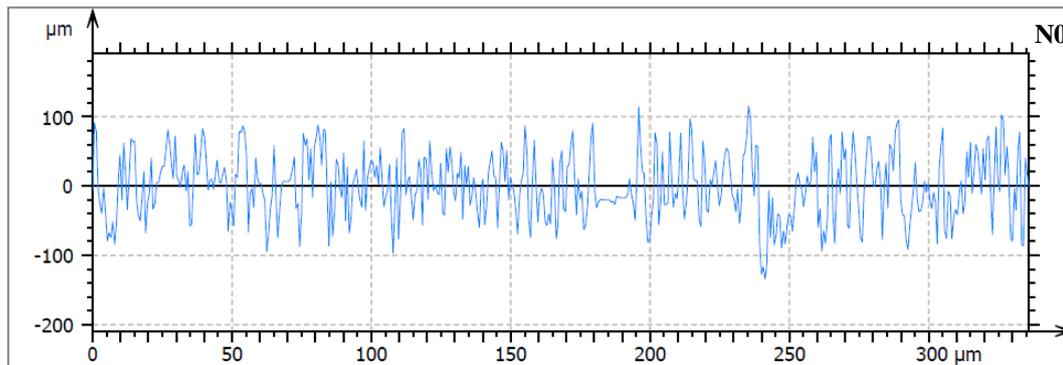
Gráfico 21 – Influência de tratamentos domésticos na refletância de UV por têxteis de algodão na cor verde.

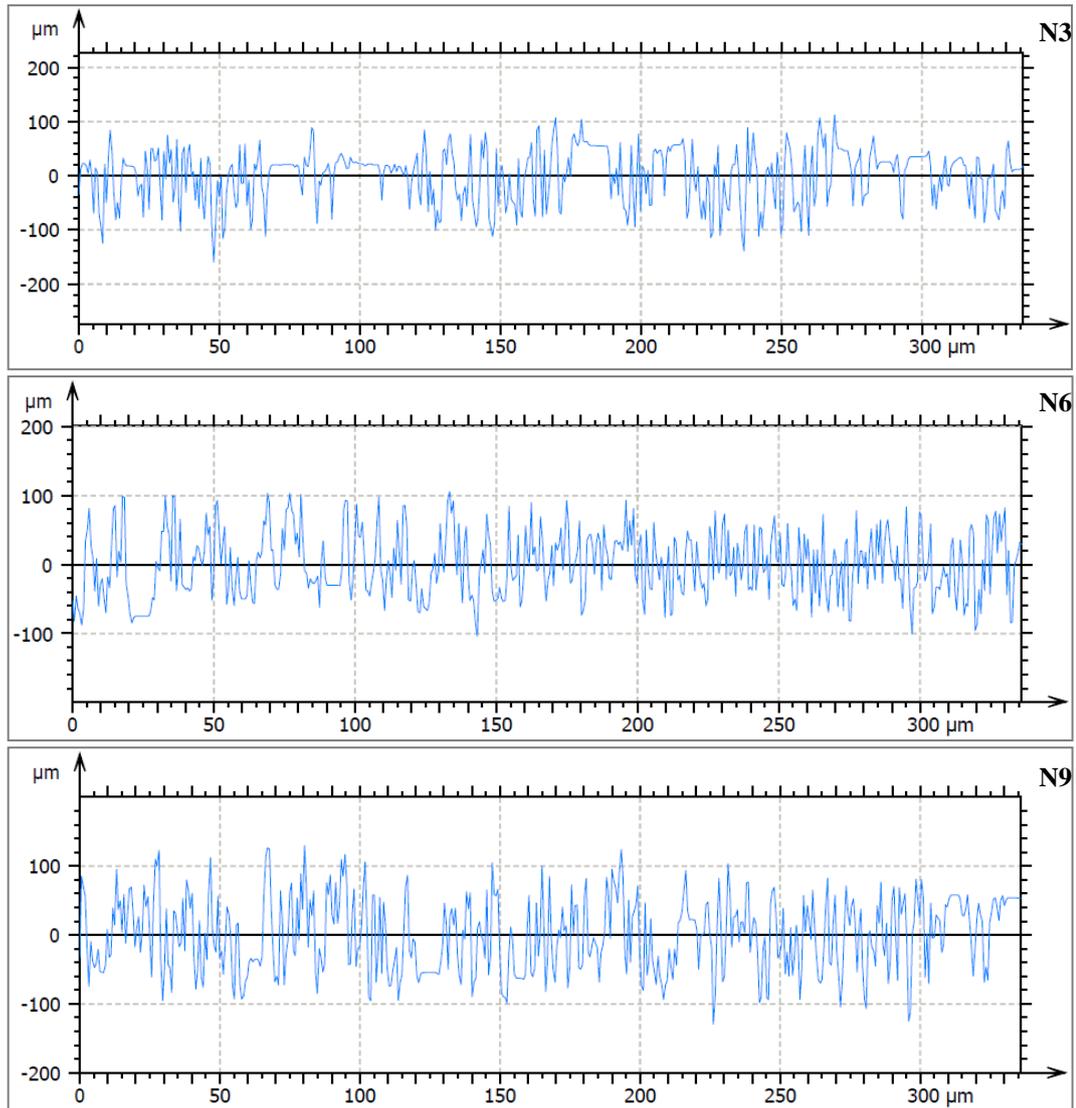


Fonte: O autor (2019).

Quando comparadas as imagens de microscopia óptica (Apêndice D) não são identificadas alterações na estrutura do material que justifiquem esse melhoramento de UPF, mas os gráficos da análise de superfície produzidos por perfilometria óptica indicam uma leve ampliação na altura dos picos para a amostra que passou por nove processos de lavagens (Figura 24), o que pode estar relacionado a um suave aumento da pilosidade dos fios, indicado pelo aumento da rugosidade (passou de 39,1 para 42,4  $\mu\text{m}$ ) na superfície da amostra (Figura 25).

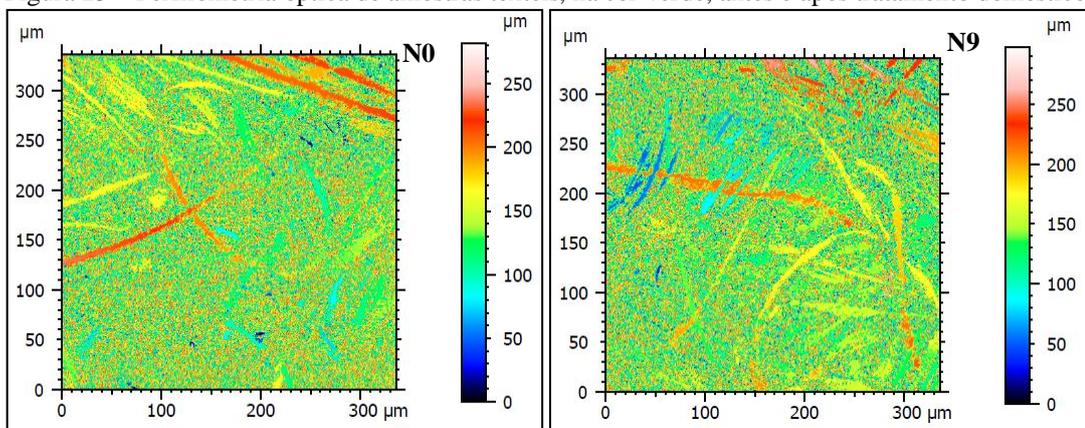
Figura 24 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra 100% algodão durante o processo de tratamento doméstico.





Fonte: O autor (2019).

Figura 25 – Perfilometria óptica de amostras têxteis, na cor verde, antes e após tratamento doméstico.

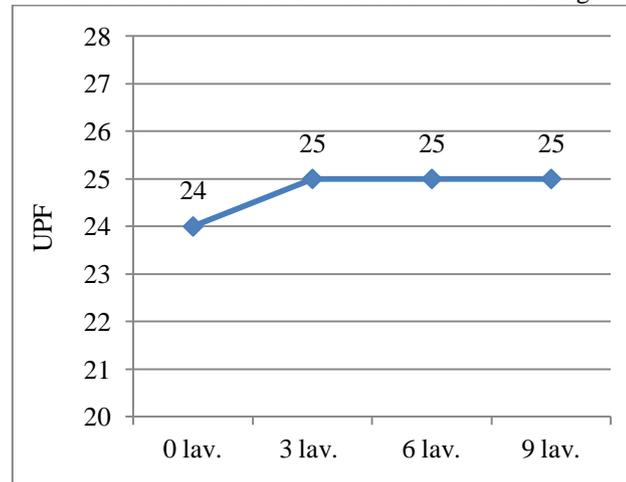


Fonte: O autor (2019).

As amostras têxteis de cor azul são de vestimentas de trabalho de pessoas que desenvolvem atividades na construção civil, em ambientes externos. A amostra que não

passou por nenhum tratamento obteve um UPF de valor 24, que se elevou um ponto, chegando a 25, após as primeiras 3 lavagens e passagens a ferro, e se manteve até completar os 3 ciclos de tratamento doméstico (Gráfico 22).

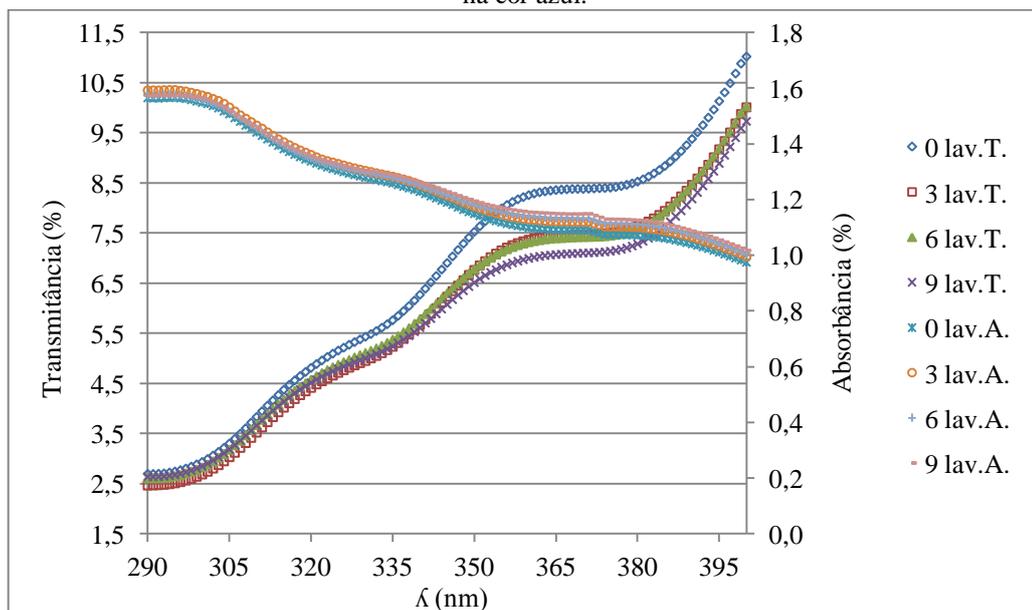
Gráfico 22 – Influência do tratamento doméstico em têxteis de algodão na cor azul.



Fonte: O autor (2019).

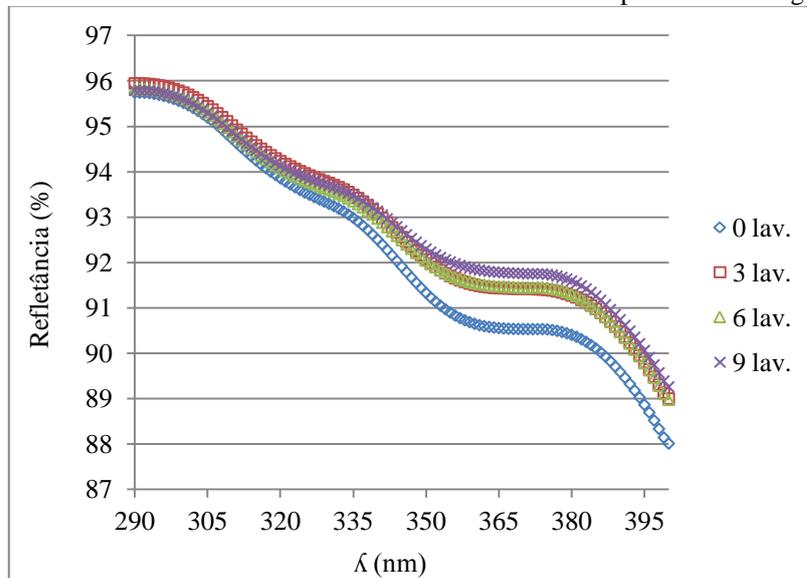
O leve aumento no fator de proteção se deve, em parte, a melhora na propriedade de absorver radiação, já que as linhas de absorbância subiram, mesmo que pouco, quando comparadas ao tecido com 0 lavagens (Gráfico 23), mas está relacionado principalmente à elevação da refletância de UV pelo material após os tratamentos (Gráfico 24).

Gráfico 23 – Influência de tratamentos domésticos na transmitância e absorbância de UV por têxteis de algodão na cor azul.



Fonte: O autor (2019).

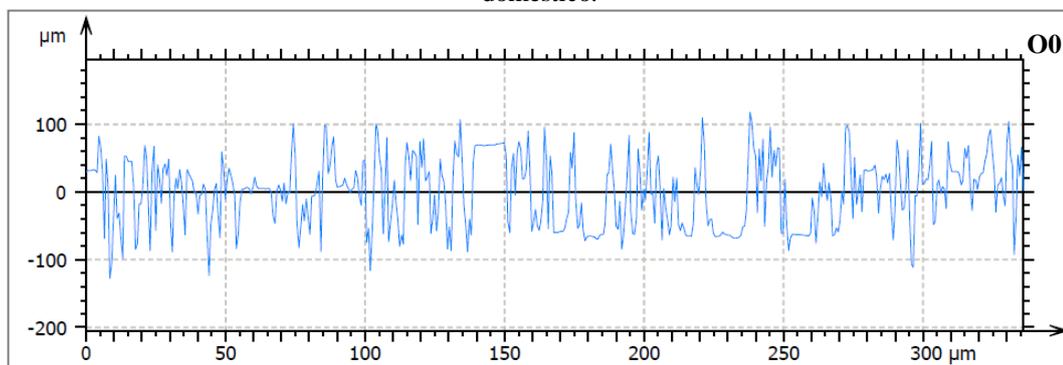
Gráfico 24 – Influência de tratamentos domésticos na refletância de UV por têxteis de algodão na cor azul.

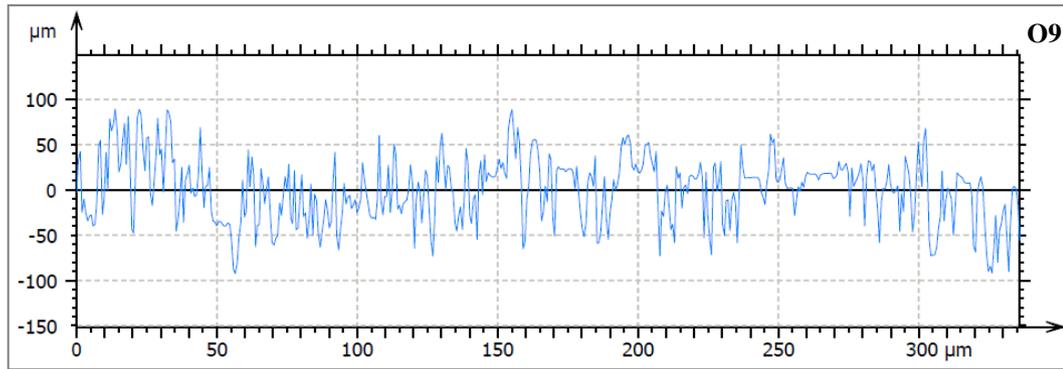


Fonte: O autor (2019).

Para as amostras de cor azul, após o tratamento doméstico não foram identificadas alterações na estrutura que justificassem aumento do UPF, então pode-se inferir que este se deve a um leve encolhimento do tecido. Que refletiu no aumento da absorbância, refletância e na redução da transmitância e da altura dos picos e vales para a análise de superfície por perfilometria (Figura 26), como também da rugosidade (de 43 para 27  $\mu\text{m}$ ) e maior conformidade da superfície (Figura 27).

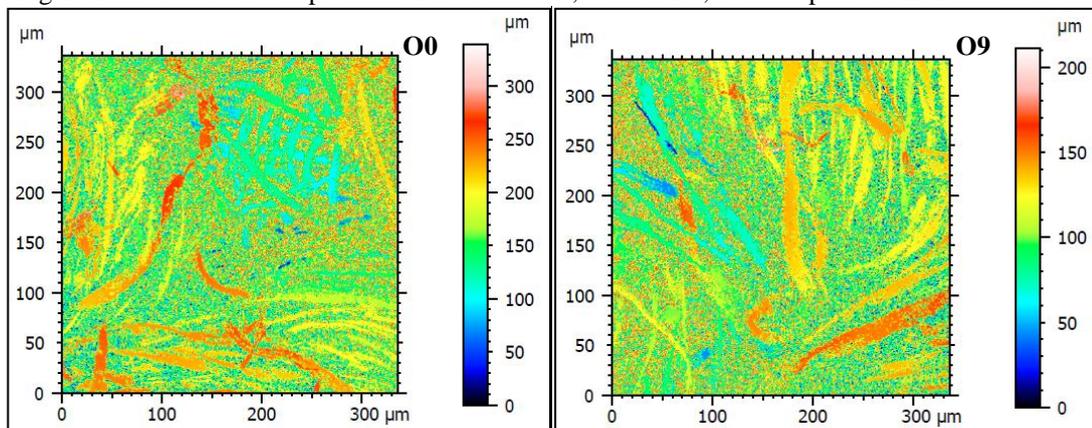
Figura 26 – Gráfico de picos e vales da superfície de um têxtil de fibra 100% algodão antes e após tratamento doméstico.





Fonte: O autor (2019).

Figura 27 – Perfilometria óptica de amostras têxteis, na cor azul, antes e após tratamento doméstico.



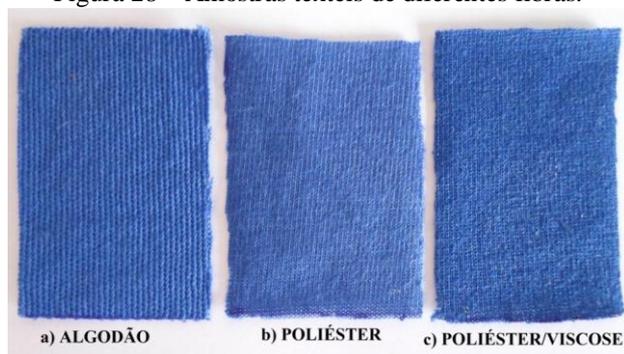
Fonte: O autor (2019).

#### 4.5 Influência da composição

A diferença de matéria prima que compõe as amostras também é indicada como um dos fatores que são relevantes para os resultados de UPF dos materiais. Caso amostras de mesma estrutura de tecelagem e cor, mas fibras distintas, sejam comparadas quanto à proteção solar, vai haver uma disparidade nos resultados, já que a absorbância, transmitância e refletância estão diretamente relacionadas também com características microestruturais do material, e estas dependem da composição das moléculas e de sua organização.

Os resultados de UPF de três amostras de tecidos com fibras de diferentes matérias primas (algodão, poliéster e poliéster/viscose) foram comparados, como também os seus gráficos que trazem a representação da quantidade de UV transmitida, absorvida e refletida. Amostras compostas por fibras de diferentes matérias primas (Figura 28) tiveram os seus desempenhos comparados no que diz respeito à proteção solar (UPF), e as suas propriedades de absorver, transmitir e refletir UV.

Figura 28 – Amostras têxteis de diferentes fibras.



Fonte: O autor (2019).

Figura 29 – Microscopia óptica de amostras de diferentes fibras.

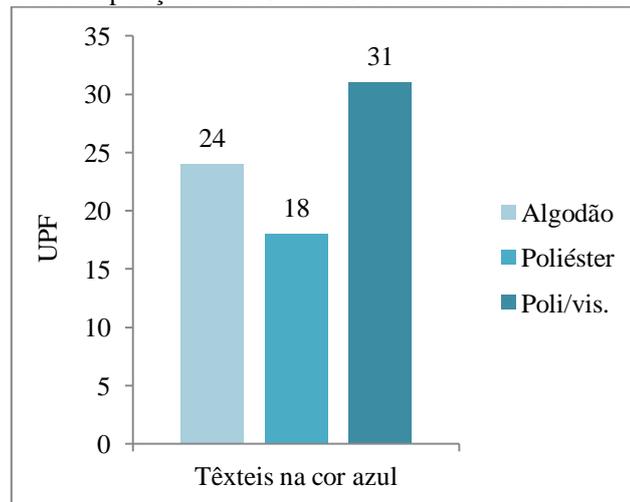


Fonte: O autor (2019).

Os tecidos compostos por algodão são classificados como de fibra natural, enquanto os demais são produzidos a partir de fibras químicas, sendo as de poliéster sintéticas, e viscose artificial. A microscopia óptica, que permite a visualização de suas microestruturas (Figura 29), mostra como são semelhantes os tecidos de poliéster e poliéster/viscose, apesar de seu diferente comportamento quando irradiadas com UV.

Equiparando inicialmente amostras que, além da cor e estrutura de tecelagem, têm em comum um elemento de sua composição, a 100% poliéster e a outra 66% poliéster e 33% viscose, pode-se afirmar que a presença do segundo elemento na amostra c contribuiu significativamente para o aumento do UPF do material, que passa de 18, para o tecido composto apenas de poliéster na amostra b, para 31, com a adição de 33% de viscose ao poliéster. As amostras de fibras compostas por algodão têm uma estrutura diferente, por ser uma fibra natural, obteve um resultado intermediário entre outras duas, com UPF 24 (Gráfico 25).

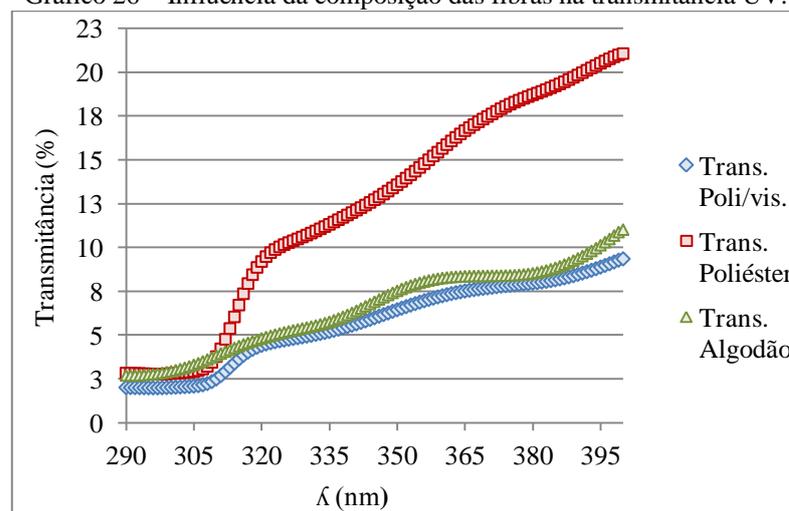
Gráfico 25 – Influência da composição em três tecidos de diferentes fibras e mesma tonalidade de azul.



Fonte: O autor (2019).

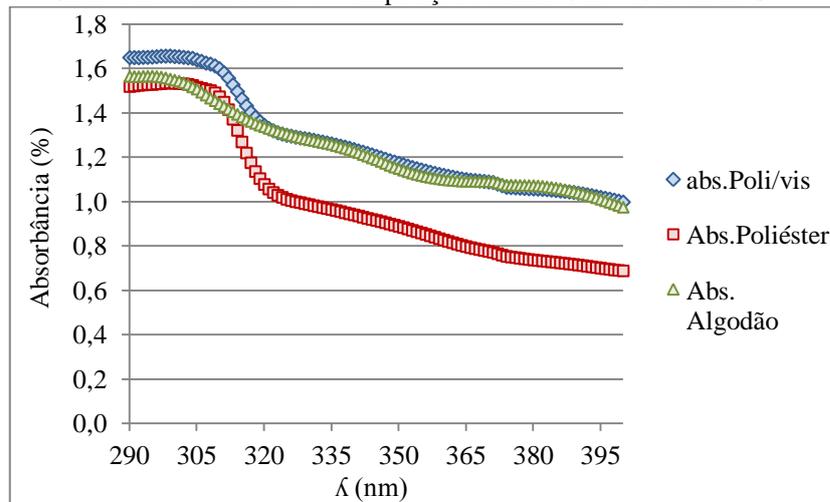
Quando comparadas as transmitâncias (Gráfico 26) de UV, pode-se identificar a semelhança entre a amostra mista e a de algodão. Para a absorbância as linhas se sobrepõem na maior parte da região UVA, entretanto os valores são reduzidos para o algodão em UVB (Gráfico 27), que resulta na diferença de UPF. O que contribui também para o melhor resultado da amostra de poliéster/viscose é que esta reflete um maior percentual de radiação que a amostra de algodão em todo o espectro UV analisado (Gráfico 28).

Gráfico 26 – Influência da composição das fibras na transmitância UV.



Fonte: O autor (2019).

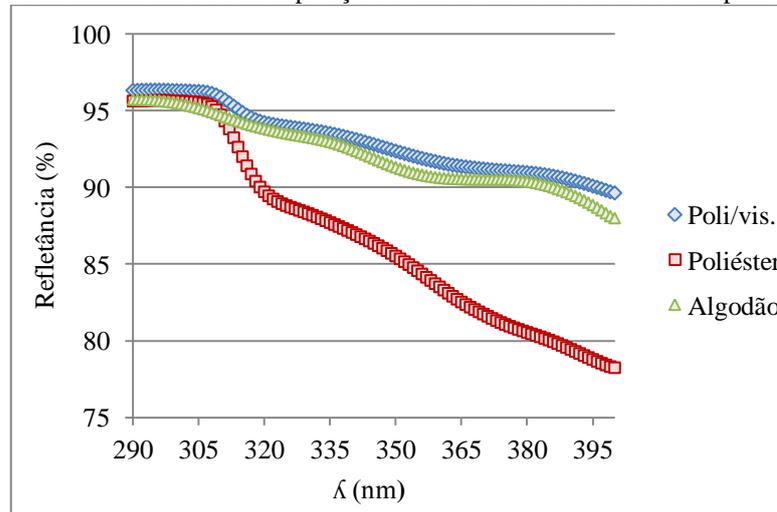
Gráfico 27 – Influência da composição das fibras na absorbância UV.



Fonte: O autor (2019).

Já o tecido de poliéster, quando comparado aos demais, exibe um comportamento semelhante apenas na região UVB, na qual o desempenho, para alguns comprimentos de onda chega a ser superior ao da fibra natural. Mas para todo o restante do espectro os percentuais de absorbância e refletância caem, elevando a transmitância UV e resultando em um UPF inferior as outras duas amostras (Gráficos 26, 27 e 28).

Gráfico 28 – Influência da composição das fibras na refletância de UV por têxteis.



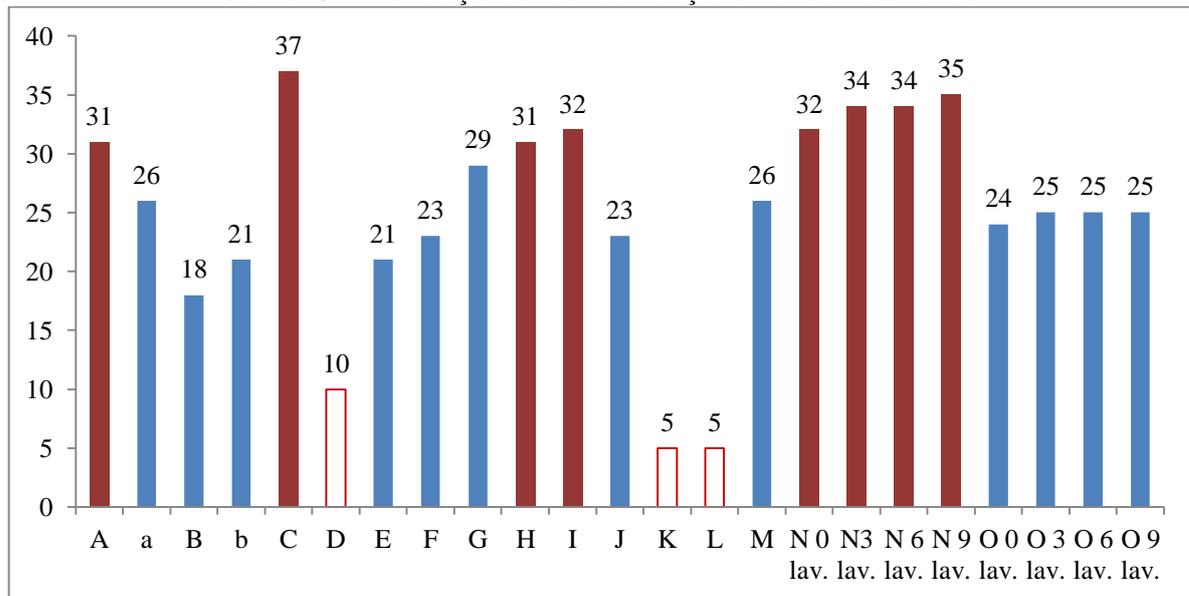
Fonte: O autor (2019).

#### 4.6 Classificação dos tecidos quanto ao UPF

Após a análise das propriedades de transmitância, absorvância e refletância dos materiais, e calculado o UPF, foi feita a classificação dos tecidos conforme fixado na norma empregada para a avaliação. Dentre todos os materiais avaliados, nenhum obteve um desempenho excelente no quesito proteção solar, para isso o UPF deveria expressar resultado de 50, 50+, segundo a norma. As classificações obtidas foram: proteção mínima, boa ou sem proteção. Os valores de UPF e suas devidas classificações estão distribuídos no Gráfico 29, e na Tabela 6, e mais detalhadamente no apêndice A.

Para os valores de UPF, o que obteve um maior desempenho, entre todas as amostras, foi o têxtil de poliéster/viscose na cor azul escuro, codificado como C, no Gráfico 29. No entanto, encontra-se com a mesma classificação que todos os outros com UPF acima de 30, equiparando-se a eles. Os de menor proteção, entre todos, foram os tons claros de verde e azul, compostos por fibras de algodão, com UPF 5, classificados sem proteção. Dentre os tecidos mistos, o azul na condição de novo e o azul escuro foram classificados com boa proteção, enquanto o tecido azul usado obteve proteção mínima. Para os de poliéster, o de cor branca foi classificado sem proteção, com UPF 10 e os demais com proteção mínima, o de cor vermelha foi o que obteve maior resultado no Fator de Proteção Ultravioleta, UPF 29. Os tecidos de algodão tiveram certa oscilação em seus resultados, variando da seguinte forma: a) sem proteção, para as cores mais claras de azul e verde, com UPF 5; b) com proteção mínima para a tonalidade 3 do verde, vermelho e para os tecidos de cor azul que passaram por tratamento doméstico; c) e classificados como bons protetores, para os tons 1 e 2 de verde, e para os tecidos da cor verde que passaram por tratamento doméstico.

Gráfico 29 – Distribuição do Fator de Proteção Ultravioleta dos têxteis.



Fonte: O autor (2019).

Tabela 6 – Classificação de UPF para os têxteis analisados.

Sem proteção	Proteção mínima	Proteção boa
Poliéster branco	Todos os demais tecidos de poliéster	Algodão verde 1
Algodão verde 4	Algodão verde 3	Algodão verde 2
Algodão azul claro	Algodão vermelho	Algodão verde antes e após tratamento
	Algodão azul, antes e após tratamento	Poli/Vis azul nova
	Poli/Vis. Azul, usado	Poli/Vis azul escuro

Fonte: o autor (2019).

#### 4.7 Absorbância da radiação infravermelha

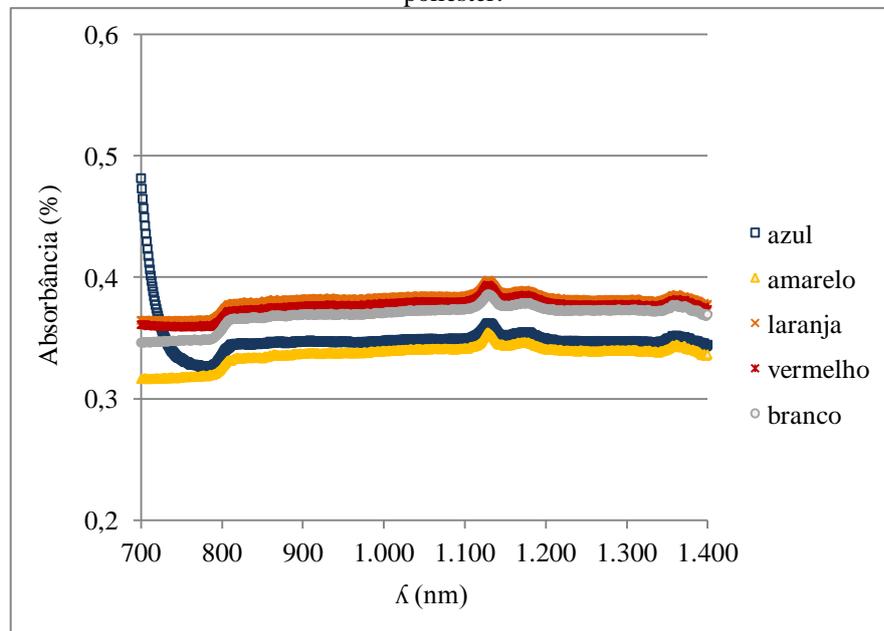
Para fazer uma inferência sobre o conforto térmico dos têxteis, foi analisado o percentual de absorção de radiação em uma faixa do infravermelho (700 a 1400 nm). Para tanto, levou-se em consideração que quanto mais radiação for absorvida mais será aquecido o tecido. Para uma melhor identificação da influência das variações entre os têxteis os resultados foram organizados conforme as variáveis que influenciaram também na propriedade de proteção UV.

##### 4.7.1 Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha

Após a análise é possível afirmar que a cor das amostras têxteis, como esperado, influencia na absorção da radiação infravermelha. Comparando-se as respostas para os têxteis com fibras compostas por poliéster (Gráfico 30), para a maior parte do espectro todas as cores

apresentam resultados bem similares, aproximadamente após 723 nm, o laranja, vermelho e branco quase se sobrepõem, sendo os dois primeiros os que mais absorveram radiação por grande parte do espectro. A tonalidade azul ficou com um desempenho intermediário nessa mesma região, mas apresentou um pico de absorção a 700 nm, logo após a absorbância caiu ficando abaixo do laranja e vermelho a 723 nm e manteve-se então intermediário entre os resultados inferiores e superiores. O amarelo apresentou-se como o tecido de menor desempenho em absorbância IV, quando comparado aos demais para essa faixa de comprimento de onda analisada.

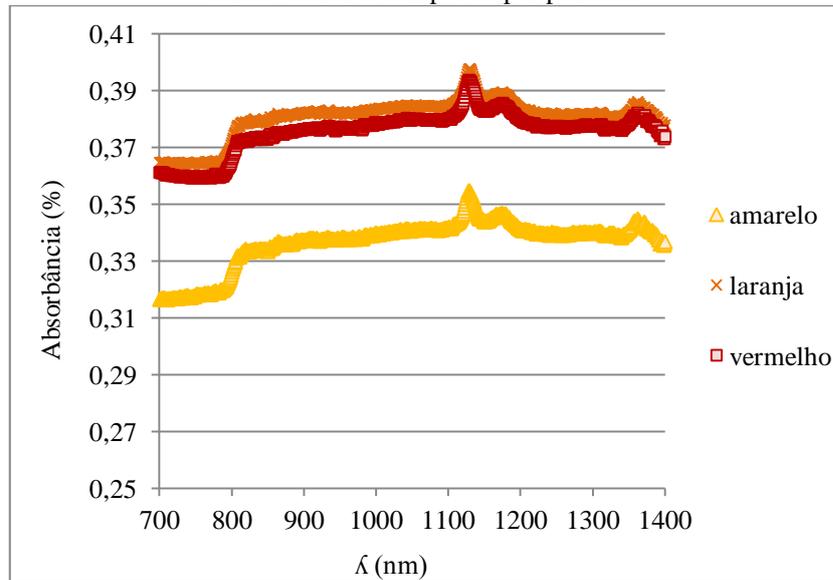
Gráfico 30 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por poliéster.



Fonte: O autor (2019).

Analisando os resultados separadamente para as cores amarelo, laranja e vermelho, que estão em sequencia na faixa de comprimento de onda do visível, é possível visualizar melhor a diferença de absorção entre os tecidos. Na representação gráfica das respostas obtidas para as três tonalidades identificam-se os mesmos picos e curvas, característicos da fibra, mas com percentuais distintos de absorbância, que podem ser atribuídos a cor dos materiais (Gráfico 31).

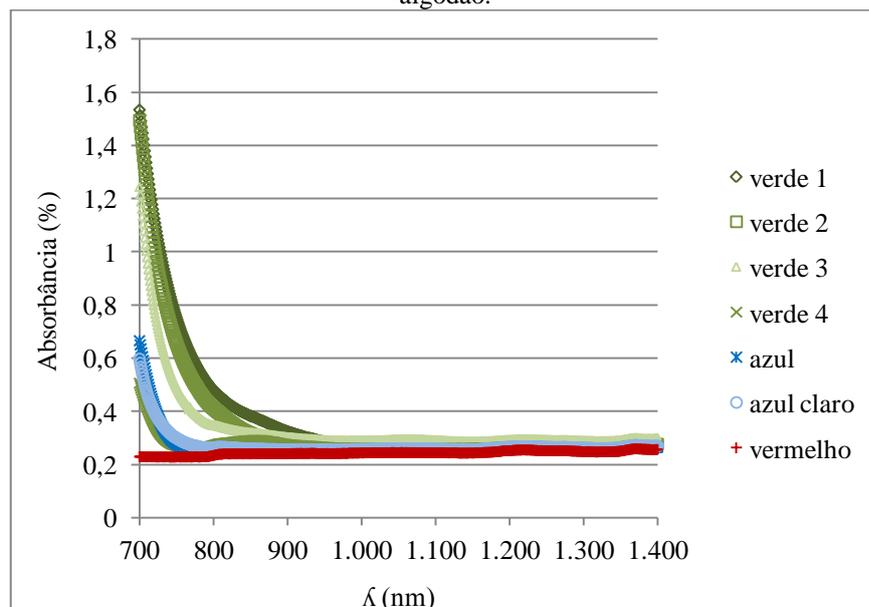
Gráfico 31 – Influência das cores: amarelo, laranja e vermelho na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por poliéster.



Fonte: O autor (2019).

Para os tecidos de algodão as cores também representam variáveis que alteram as propriedades de absorção no infravermelho, tendo uma maior variação para os menores comprimentos de onda (até aproximadamente 860 nm), e comportamento muito semelhante, e até igual, para comprimentos de onda maiores que se estendem até 1400 nm (Gráfico 32).

Gráfico 32 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão.



Fonte: O autor (2019).

O tecido de cor verde 1, a tonalidade de verde mais escura dentre os 4, foi o que obteve um maior percentual de absorção, e o vermelho a menor absorção em todo o espectro. Comparadas, separadamente, as tonalidades de verde, observa-se que há pouca distinção para comprimentos de onda maiores, ficando as linhas do gráfico sobrepostas, diferenciando-se essencialmente entre 700 e 818 nm (Gráfico 33). Para as duas tonalidades de azul, também fibras de algodão, as linhas ficam sobrepostas por quase todo o espectro de análise, sendo desconsiderada a influência nesse caso (Gráfico 34).

Gráfico 33 – Influência das tonalidades da cor verde na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão.

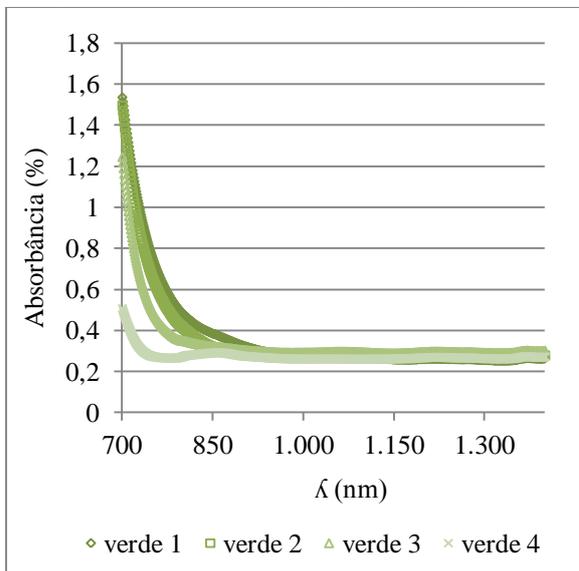
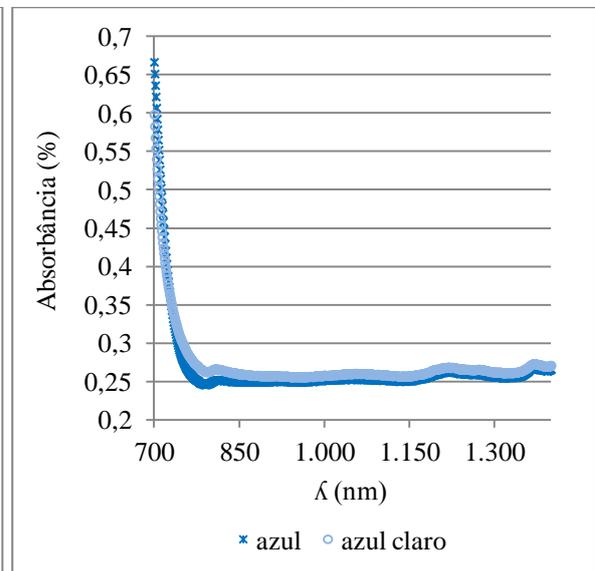


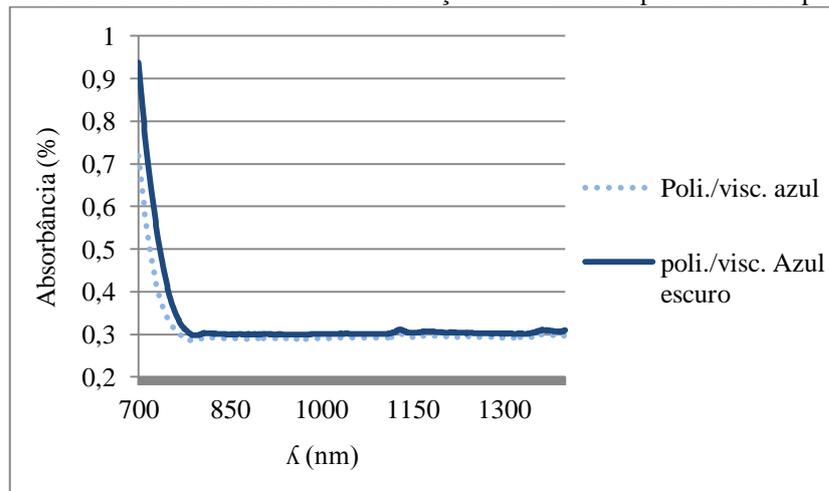
Gráfico 34 – Influência das tonalidades da cor azul na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de fibras compostas por algodão.



Fonte: O autor (2019).

Quando comparadas as diferentes tonalidades da cor azul para os têxteis de fibras poliéster/viscose identificou-se pouca distinção entre as absorbâncias, com comportamento semelhante aos outros tipos de fibras analisadas em que há maior diferença em comprimentos de onda próximos a 700 nm, ainda assim o tom mais escuro absorveu maior percentual de radiação por todo o espectro (Gráfico 35).

Gráfico 35 – Influência da cor na absorbância de radiação infravermelha para têxteis de poliéster/viscose.

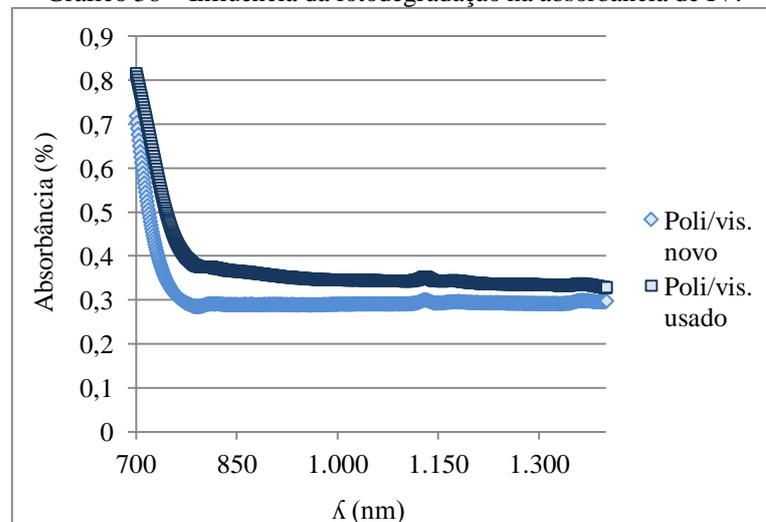


Fonte: O autor (2019).

#### 4.7.2 Influência da fotodegradação na absorbância de radiação infravermelha

Analisando ambos os resultados de absorção IV para os têxteis de poliéster/viscose no estado novo e após 8 meses de uso, identifica-se um aumento na absorção, após o uso e possível fotodegradação do material (Gráfico 36). Fato que provavelmente é ocasionado pela quebra de ligações inerentes ao processo degradativo, que reduz a difusão de IV ao alcançar a superfície da amostra, permitindo que mais radiação adentre ao material. Para a região UV, a radiação de menor comprimento de onda alcança maior transmitância ao adentrar no material, para a região do infravermelho é elevada a parcela de absorção.

Gráfico 36 – Influência da fotodegradação na absorbância de IV.

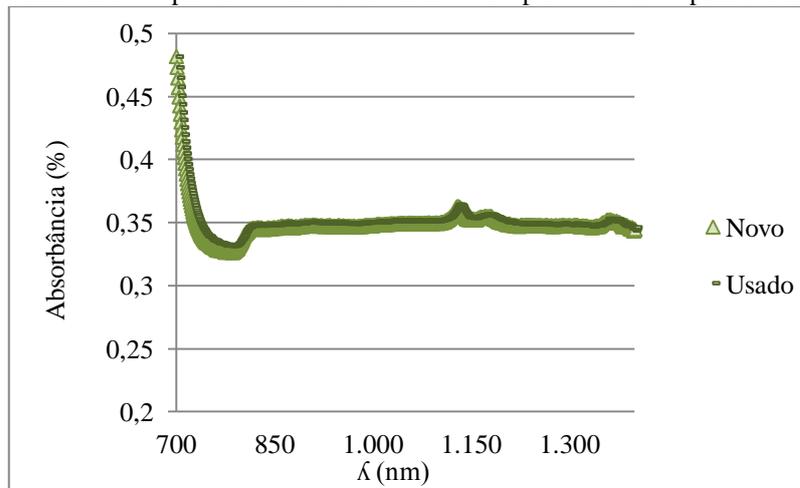


Fonte: O autor (2019).

#### 4.7.3 Influência da pilosidade na absorbância de radiação infravermelha

Ao contrário da absorbância de UV, para a IV a pilosidade não causa grandes alteração no desempenho do material, as linhas estão postas uma sobre a outra por praticamente todo o espectro, e quando diferem é em um mínimo percentual, sendo desprezível (Gráfico 37).

Gráfico 37 – Influência da pilosidade na absorbância de IV para tecidos de poliéster novo e usado.

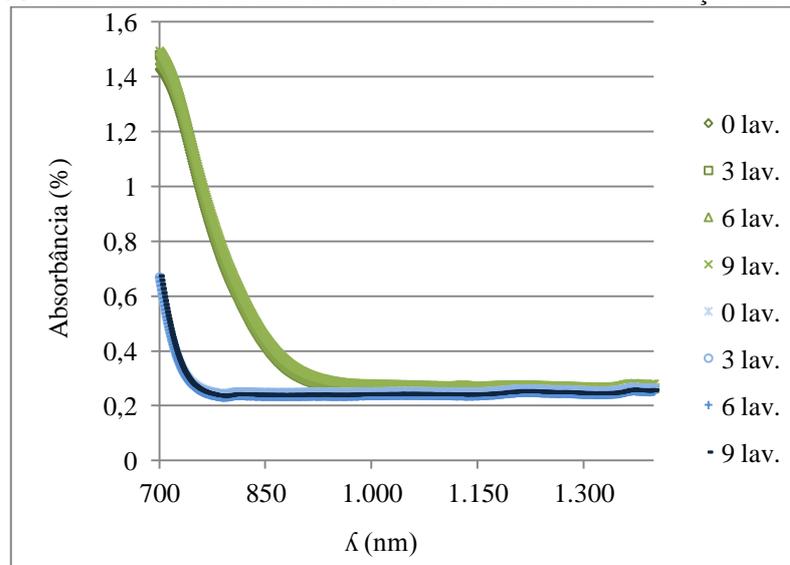


Fonte: O autor (2019).

#### 4.7.4 Influência de tratamentos domésticos na absorbância de radiação infravermelha

As amostras, após passarem pelos tratamentos domésticos, de lavagens e passagem a ferro, não apresentaram alterações significativas nas suas propriedades de absorver a radiação na região do infravermelho (Gráfico 38). As linhas ficaram sobrepostas por todo o espectro para as duas cores, verde e azul, que passaram pelo tratamento doméstico. Comparando os dois tecidos, o de cor verde alcançou percentuais de absorbância bem superiores ao da cor azul em parte do espectro, então se viesse a optar entre ambos, que são tecidos de algodão de vestimentas de trabalhadores que laboram em atividade externas, o que oferece um melhor conforto térmico é o de cor azul, tendo em vista que absorve menos radiação infravermelha, isso se for considerado apenas o fator conforto térmico.

Gráfico 38 – Influência do tratamento doméstico na absorbância de radiação infravermelha.

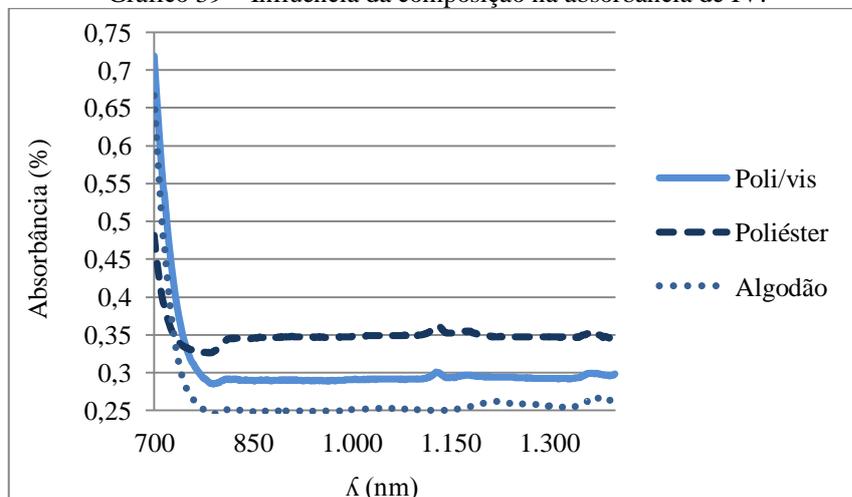


Fonte: O autor (2019).

#### 4.7.5 Influência da composição na absorbância de radiação infravermelha

A diferente composição das fibras também indicou ser um fator significativo para a absorbância de IV, levando-se em consideração os diferentes resultados para os três tipos de fibras analisadas. O tecido que apresentou maior absorbância em quase todo o espectro foi o de poliéster. O de algodão absorveu menos radiação, e o misto expressou um comportamento intermediário entre os primeiros (Gráfico 39). Dentre os 3, o que obteve melhor desempenho foi o têxtil de algodão, que absorveu menos radiação por quase toda a faixa de comprimento de onda analisada, com um pico a 700 nm, juntamente com o poliéster/viscose.

Gráfico 39 – Influência da composição na absorbância de IV.

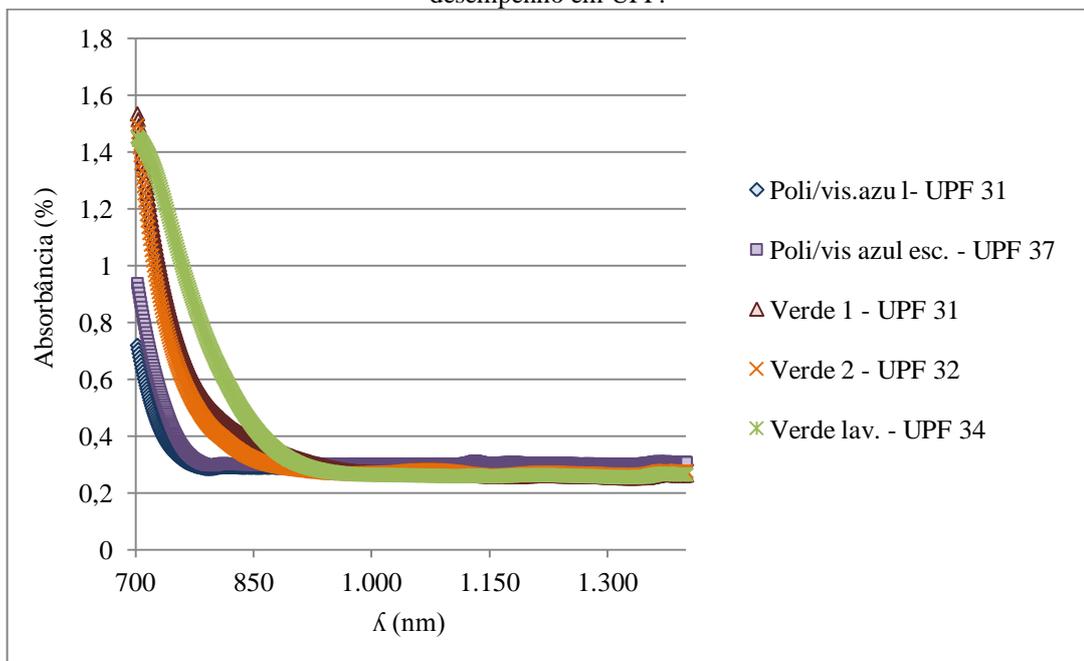


Fonte: O autor (2019).

#### 4.8 Têxtil de melhor desempenho em fator de proteção UV e conforto térmico

Comparando-se o comportamento dos materiais quando irradiados por IV, para as melhores respostas de UPF, observa-se a baixa oscilação para  $\lambda$  entre 900 e 1400 nm, diferindo, essencialmente entre 700 e 900 nm (Gráfico 40). Para as cinco amostras, que foram classificadas com boa proteção, as que menos absorveram IV foram os têxteis de fibras compostas por poliéster/viscose. Pode-se inferir, desse modo, que o tecido de poliéster/viscose na cor azul foi que demonstrou melhor desempenho, para conforto térmico e proteção UV, tendo em vista que todos os listados na ilustração gráfica que segue têm a mesma classificação de UPF, equiparando-se.

Gráfico 40 – Comparação entre as absorbâncias de radiação infravermelha para os materiais de melhor desempenho em UPF.



Fonte: O autor (2019).

## 5 CONCLUSÕES

Apesar das muitas variáveis apontadas como significativas no desempenho dos têxteis quanto à proteção solar, dentre as avaliadas algumas se apresentaram mais influentes que outras.

- A cor mostrou ser uma característica de considerável relevância no Fator de Proteção Ultravioleta dos materiais para todos os 3 tipos de fibras analisadas. Para poliéster/viscose quando se alterna da tonalidade azul para azul escuro o material apresenta uma melhora no desempenho de cerca de 19%, passando de 31 para 37 (Gráfico 1). O poliéster também apresentou importante variação de resultados para diferentes cores, que variam o UPF de 10, para a cor branca, a 29, para vermelho. Os tecidos compostos por fibras de algodão apresentaram uma ampla oscilação de desempenho, que está bem evidenciada na comparação entre os diferentes tons de verde, com resultados que flutuam entre 5, 23 e 31, da cor mais clara para a mais escura, e também entre as duas tonalidades da cor azul, passando de 5 para 24, para o mais escuro (Gráfico 8).

- Composição é outro fator determinante para o desempenho do material no quesito Fator de Proteção Ultravioleta. O poliéster, que obteve o menor resultado de UPF expressou um melhoramento de 72,2%, passando de 18 para 31 com a adição de 33% de viscose a composição de suas fibras. O algodão apresentou resultado intermediário, com valor 24. É esperado que sejam distintos os comportamentos das diferentes fibras, o que está relacionado não apenas a composição propriamente dita, mas à características microestruturais relacionadas a organização do arranjo dessas moléculas.

- Considerando-se os fatores que podem alterar o UPF de um material com o uso, a fotodegradação, provocada pela exposição ao UV, também pode ser apontada como uma variável que modifica as características fotoprotetoras, já que quando contrastados os resultados antes e após o uso houve uma queda de ~16% no UPF, passando de 31 para 26. Então o uso com exposição ao UV, a degradação (que foi identificada pela alteração de cor na superfície) é um fator que reduz a propriedade de proteção ultravioleta dos materiais.

- Outra decorrência do uso, a pilosidade, identificada após 2 meses de uso, variou positivamente o desempenho do material, com percentual de ~16,7%, com UPF passando de 18 para 21. Desta forma, tecidos com fibras/fios mais pilosas oferecem maior proteção.

- O tratamento doméstico também resultou em variação no UPF, melhorando a proteção UV em 9,4% para o têxtil de cor verde, e 4,2% para o de cor azul após os 9

processos de lavagem. Essa variável, no entanto, pode ser desconsiderada, já que além do baixo crescimento no desempenho não foi possível determinar se esse aumento se mantém com o uso.

Com relação ao conforto térmico, considerou-se mais confortáveis os materiais que apresentaram menor percentual de absorbância na região do infravermelho.

- A cor, quando comparadas variações de um mesmo composto de fibras, mostra-se significativa, principalmente para comprimentos de onda menores, próximos a 700 nm, mas entre a alternância de tonalidades a variação é mínima, como entre os tons de azul para as amostras de algodão e poliéster/viscose, que causa grande modificação na absorbância de UV, para IV as linhas do gráfico apresentam-se com pouca distinção.

- A fotodegradação também resultou na variação da absorção de IV, por todo o espectro analisado, aumentando o percentual de radiação que é absorvida após o longo tempo de uso.

- A pilosidade e o tratamento doméstico não promoveram oscilações significativas na absorbância do IV.

- A composição, como para a absorbância UV, para IV também é um fator determinante, mas na região do infravermelho as amostras apresentaram comportamentos diferentes, comparados a RUV. O algodão, que menos absorveu, foi considerado o de melhor desempenho em conforto térmico, o poliéster/viscose obteve desempenho intermediário e o poliéster o pior desempenho, com maior absorbância de IV.

Contudo, concluiu-se que, dentre os materiais em análise, os que obtiveram melhor resultado em UPF e conforto térmico foram os compostos por fibras de poliéster/viscose nas duas tonalidades da cor azul.

## **5.1 Considerações para trabalhos futuros**

Recomenda-se e considera-se para trabalhos futuros:

- Analisar outras características intrínsecas a microestrutura dos tecidos, que podem estar relacionadas ao UPF, como a identificação de grupos cromóforos, que são os grupos funcionais que apresentam absorção característica na região UV e visível;

- Submeter todos os materiais do estudo as mesmas condições e aos mesmos processos;

- Para melhor caracterização do conforto térmico, analisar outros aspectos como transferência de calor, emissividade e propriedades higroscópicas.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M.R; DALTIM, D. A. A química do processamento têxtil. **Química nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-330, maio/jun. 1995.

ALONSO, Raquel Seawright; GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama; TAKAMUNE, Karina Mitie; RAMOS, Júlia Baruque; SANCHES, Regina Aparecida. **Conforto no vestuário esportivo: fibra de viscose e celulose de bambu**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://coluquiomoda.hospedagemdesites.ws/anais/anais/6-Coloquio-de-Moda\\_2010/73610\\_Conforto\\_no\\_vestuario\\_esportivo\\_-\\_fibra\\_de\\_viscoese\\_e\\_c.pdf](http://coluquiomoda.hospedagemdesites.ws/anais/anais/6-Coloquio-de-Moda_2010/73610_Conforto_no_vestuario_esportivo_-_fibra_de_viscoese_e_c.pdf)> acesso em: 03 de jan. 2017.

AFFONSO, Renan Guazzelli. **Método prático para a medição e comparação da emissividade de raios infravermelhos em diferentes tecidos contendo biocerâmica**. 2016. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

ALMEIDA, Gustavo Spina G. de; SOUZA, Wander B de. **Engenharia dos Polímeros: Tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. Érica, 1º Ed. São Paulo, 2015.

ASSIS, Adriana Helfenberguer. **Avaliação das mudanças ocorridas em fibras de poliéster submetidas a tratamento alcalino enzimático**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/207.pdf>> acesso em: 02 de ago. 2018.

AUSTRALIAN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SAFETY AGENCY (ARPANSA). AS/NZS 4399:2017. **Sun protective clothing - Evaluation and classification**. New Zealand, 2017.

BALOGH, Tatiana Santana; VELASCO, Maria Valéria Robles; PEDRIALI, Carla Aparecida; KANEKO, Telma Mary; BABY, André Rolim. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de dermatologia**. São Paulo, v.86, n.4, p.732-742, 2011.

BRASIL. **Portal da Sociedade Brasileira de Dermatologia**. 2016a. Disponível em: <<http://www.sbd.org.br/dezembro-laranja-comeca-o-mes-da-conscientizacao-cancer-da-pele/>> acesso em: 26 de dez. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 09** – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Brasília. Ministério do Trabalho e Emprego. 2016b. Disponível em: <<http://www.mtps.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>> acesso em 15 de jan. 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15** – Atividade e Operações Insalubres. Brasília. Ministério do Trabalho e Emprego. 2014. Disponível em: <<http://www.mtps.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>> acesso em 18 de jan. 2018.

BRITO, S. F., SILVA, S. M. L., RABELLO, M. S. Controle da fotodegradação de PP pigmentado pelo uso de fotoestabilizantes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**,

Campina Grande, v. 11, n. 2, 2016 73–80 ISSN 1809-8797. Disponível em: <[www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/567/385](http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/567/385)> acesso em: 10 ago. 2018.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CANEVAROLO JR., Sebastião Vicente. **Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª ed. São Paulo: Artliber, 2006.

CARVALHO, Marta Sophia Sousa Ribeiro. **Tecidos com factor de protecção ultravioleta: estudo da influência das fibras, de produtos específicos e da variação do factor com o uso em peça confeccionada**. 2009. Dissertação (mestrado em engenharia e gestão industrial) Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2009. Disponível em: <<https://ubithesis.ubi.pt/handle/10400.6/3551>> acesso em: 26 de dezembro de 2016.

COSTA, Andréa Fernanda de Santana. **Teares artesanais fundamentam a teoria do processo de produção têxtil, como uma proposta didática**. Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <[http://coloquiomoda.hospedagemdesites.ws/anais/anais/6-Coloquio-de-Moda\\_2010/69019\\_Teares\\_artesanais.pdf](http://coloquiomoda.hospedagemdesites.ws/anais/anais/6-Coloquio-de-Moda_2010/69019_Teares_artesanais.pdf)> acesso em: 13 de jan. de 2016.

CRISTO, Flávia Fernandes Portes de. **A influência da estrutura e da cor na protecção de malhas aos raios ultravioletas**. 2005. Dissertação (mestrado em design e marketing) – escola de engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2005. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7620>> acesso em: 21 de mar. de 2018.

CHEREM, Luiz Felipe Cabral. **Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha em algodão**. 2004. Tese (Doutorado em engenharia de produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88100>> acesso em: 09 ago. 2018.

FILHO, Claudio Orestes Breitto; XAVIER, Juliana Meira de Vasconcelos. **Eficiência de tecidos fotoprotetores como equipamentos de proteção individual contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta**, In: XIV Safety, Health and Environment World Congress, p. 213-216, Cubatão, 2014. Disponível em: <<http://proceedings.copec.org.br/index.php/showc/article/view/2395>> acesso em: 20 de ago. de 2018.

GASI, Fernando. **Avaliação da Eficácia de Materiais Têxteis na Atividade Física**. 2008. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266252/1/Gasi\\_Fernando\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266252/1/Gasi_Fernando_M.pdf)> acesso em: 24 set. 2018.

GASI, Fernando; BITTENCOURT, Edison. Estudo das propriedades de conforto em tecidos de malha das fibras sintéticas de poliéster e poliamida 6.6: permeabilidade ao vapor, transporte de umidade e proteção ultravioleta. **REDIGE**, v. 1, n. 1, 2010.

GALO, André Luiz. COLOMBO, Márcio Francisco. Espectrofotometria de longo caminho óptico em espectrofotômetro de duplo-feixe convencional: uma alternativa simples para

investigações de amostras com densidade óptica muito baixa. **Química Nova**, São Paulo, Vol. 32, No. 2, p. 488-492, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000200036&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000200036&script=sci_abstract)> acesso em: 11 nov. 2018.

GONTIJO, Lorayne Cardoso, BUSTEMANTE, Paula Duca, SOUZA, Ricardo Alexandre. A fotoproteção como ferramenta de saúde pública no Brasil. **Parlatorium**. Belo Horizonte, ano IV, janeiro-junho, 2015. Disponível em: <[http://www.faminasbh.edu.br/upload/revista\\_parlatorium\\_9\\_com\\_adendo\\_especial.pdf#page=5](http://www.faminasbh.edu.br/upload/revista_parlatorium_9_com_adendo_especial.pdf#page=5)> acesso em: 13 de jan. 2017

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002.

GÓES, S. FILHO, E. G. NAKAYA, A. I. MIKOS, W. L. Caracterização da textura de superfícies de alta precisão via perfilometria óptica 3d sem contato. SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INOVAÇÃO DA UTFPR, n<sup>o</sup>4, Curitiba, 2014.

GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais da espécie malvaceae**. 2014. Dissertação (mestrado em ciências, escola de artes, Ciências e Humanidades) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-22042014-230234/publico/DissertacaoCorrigidaBARBARA.pdf>> acesso em: 25 jan. 2018.

GUILLEN, J. G. **Fibras de poliéster**. 2<sup>a</sup> ed. Universidade Politécnica da Catalunha, Terrassa, 1991.

HAYASHIDE, Juliana Midori; MINNICELLI, Rogério Sgura; OLIVEIRA, Octávio Augusto Camilo de; SUMITA, Juliana Mayumi; SUZUKI, Nathalie Mie; ZAMBIANCO, Cintia Albuquerque; FRAMIL, Valéria Maria de Souza; MORRONE, Luiz Carlos. Doenças de pele entre trabalhadores rurais expostos a radiação solar. Estudo integrado entre as áreas de Medicina do trabalho e Dermatologia. **Revista Brasileira de Medicina do trabalho**, São Paulo, v. 8. N. 2, p. 98-104, 2010. Disponível em: <[http://www.anamt.org.br/site/upload\\_arquivos/revista\\_brasileira\\_volume\\_8\\_n%C2%B0\\_2\\_-\\_dez\\_2010\\_12122013101628533424.pdf](http://www.anamt.org.br/site/upload_arquivos/revista_brasileira_volume_8_n%C2%B0_2_-_dez_2010_12122013101628533424.pdf)> acesso em: 20 de dez. de 2016.

HAMESTER, Letícia Sausen. Processamento de fibras e propriedade. In: **Avaliação do comportamento térmico da blenda PP/PEAD utilizada na fabricação de monofilamentos**. Rio Grande do sul, 2010.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Protetor solar**. 1998. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/protetorSolar.asp>> Acesso em: 13 de jan. de 2017.

INCA-Instituto Nacional de Câncer. Ministério do Saúde. **Tipos de câncer/estatística**. 2018. Disponível em: < <https://www.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-pele-melanoma>> acesso em: 25 nov. 2018.

ISIDORO Juliana Rodrigues. **Síntese de macroaditivos e copolímeros de poliestireno contendo estabilizantes uv**. 2018. Dissertação (Mestrado em química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/181190>> acesso em: 24 set. de 2018.

KANBER, Asuman; KARAHAN, Nevin; KARAHAN, Mehmet; YILDIRIM, Kenan. The solar properties of fabrics produced using different weft yarns. **Textile Research Journal**. Vol. 88, Issue 13, p. 1543-1558, 2017. Disponível em: <<https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1177%2F0040517517712095>> acesso em: 08 ago. 2018.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN Mark S. **Princípios de transferência de calor**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. ISBN 978-85-221-1803-8.

LENGOWSKI, Eliane Cristina. **Caracterização de predição da cristalinidade da celulose através da espectroscopia de infravermelho e análise multivariada**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://educapes.capes.gov.br/handle/1884/34600>> acesso em: 06 de mar. de 2018.

LI, Y. **Textile Progress: the science of clothing comfort.**, 2001. ISSN: 0040-5167.

LOBO, Renato Nogueiro; LIMEIRA, Erika Thalita Navas; MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Fundamentos da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estamparia**. 1ª Ed. São Paulo: Érica, 2014.

METTLER-TOLEDO GmbH, UV/VIS **Spectrophotometry: Fundamentals and Applications**. 2016.

MIASHITA, A. S., BARRETO, M.R., ROSSATO, R., SCACCHETTI, F. A. P., SILVA, L. H. Análise de transmitância e refletância após o beneficiamento de tecidos planos. 2º CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E DE MODA, São Paulo, 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/User/Downloads/106-645-1-PB.pdf>> acesso em: 20 de jan de 2017.

MILESI, S.S.1 e GUTERRES, S.S. Fatores determinantes da eficácia de fotoprotetores. **Caderno de farmácia**. Porto alegre, V. 18, n.2, p. 81-87, 2002. ISSN 0102-6593. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/19680>> acesso em: 20 de dez. de 2016.

NEEDLES, Howard L. **Textile fibers, dyes, finihes, and processes: a concise guie**. Noyes Publications, New Jersey, 1986

NOVO, M. M. M.; BITENCOURT, C. S.; TIBA, P. R. T.; SILVA, D. G. M.; PANDOLFELLI, V. C. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica**, ano lx- vol. 60, 353 - jan/fev/mar, pag. 22-33, 2014, ISSN-0366-6913. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Victor\\_Pandolfelli/publication/274845662\\_Fundamentos\\_basicos\\_de\\_emissividade\\_e\\_sua\\_correlacao\\_com\\_os\\_materiais\\_refratarios\\_conservacao\\_de\\_energia\\_e\\_sustentabilidade/links/55ba22ed08aec0e5f43e8c97.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Victor_Pandolfelli/publication/274845662_Fundamentos_basicos_de_emissividade_e_sua_correlacao_com_os_materiais_refratarios_conservacao_de_energia_e_sustentabilidade/links/55ba22ed08aec0e5f43e8c97.pdf)> acesso em: 16 fev. 2019.

NUNES, Fernando R. M.; FILGUEIRAS, Araguacy P. A.; FILHO, Fernando R. M. Nunes. **As fibras têxteis e sua influência na proteção térmica das pessoas**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1999, Águas de Lindóia, São Paulo. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/AACDBF.pdf>> acesso em: 20 de dez. de 2016.

NUNES, Fernando R. M.; SILVA, Maria Amélia R.; FILHO, Fernando R. M. Nunes. **Propriedades mecânicas das fibras de algodão usadas na indústria de fiação *open end* para fabricação de tecidos *denim***: estudo de caso das indústrias do Ceará. *In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 1999, Águas de Lindóia, São Paulo.

PAOLI, Marco Aurelio De. **Degradação e estabilização de polímeros** 2ª versão on-line (revisada). Editada por João Carlos de Andrade. Chemkeys, 2008 . Disponível em: <<http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

PERKAMPUS, H. H. UV-VIS Spectroscopy and its Applications. Ed. **Springer-Verlag**: Berlin, 1992.

POPIM, Regina Célia, CORRENTE, José Eduard, MARINO, Jaqueline Aparecida Geromel, SOUZA, Carolina Arantes de. Câncer de pele: uso de medidas preventivas e perfil demográfico de um grupo de risco na cidade de Botucatu. **Ciência & Saúde Coletiva**. São Paulo, p. 1331-1336, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/30250/S1413-81232008000400030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> acesso em: 16 de jan. de 2017.

POZZEBON, Pedro Henrique Burger; RODRIGUES, Nilton Vanderlei. Radiação ultravioleta em trabalhadores da construção civil: problemas e soluções. **Disc. Scientia**. Série: ciências naturais e tecnológicas, S. Maria, v.10 n. 1, p. 15-26, 2009.

QUEIROZ, José Renato Cavalcanti de. MAROCHO, Susana Salazar. BENETTI, Paula. TANGO, Rubens Nisie. JUNIOR, Lafayette Nogueira. Métodos de caracterização de materiais para pesquisas em odontologia. **Revista da Faculdade de odontologia**, Passo Fundo, v. 17, n. 1, p. 106-112, 2012. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/259648947>> acesso em: 08 ago. 2018.

REIS, Debora Pontes dos, ALMEIDA, José Lucas da Silva e, SCACCHETTI, Fabio Alexandre Pereira, ROSSATO Roberto, SILVA, Leandro Herculano. Estudo e análise de transmitância em tecidos planos. SIMPÓSIO PARANAENSE DE ENGENHARIA TÊXTIL, nº1, Paraná, 2013. Disponível em: <[http://www.sipet.com.br/ojs/index.php/anais\\_I\\_sipet/article/view/17](http://www.sipet.com.br/ojs/index.php/anais_I_sipet/article/view/17)> acesso em: 20 de dez. de 2016.

RIVA, A. O que é o UPF de um tecido? **Química têxtil**, São Paulo, nº73, dezembro de 2003. Disponível em: < [http://www.abqct.com.br/revistas/pdf/qt\\_73.pdf](http://www.abqct.com.br/revistas/pdf/qt_73.pdf) > acesso em: 23 jul. 2018.

SARAVANAN D. UV protection textile materials. **AUTEX research journal**. Sathyamangalam, Índia, Vol. 7, N. 1. Mar. 2007. Disponível em: <[http://www.autexrj.com/cms/zalaczone\\_pliki/6-07-1.pdf](http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/6-07-1.pdf)> acesso em: 16 jan. 2017.

SHITZER, A.; CHATO, J.C. **Thermal Interaction with Garments**. Heat Transfer in Medicine and Biolog. V. I, New York, 1985.

SILVA, J. R. M. B. da. NUNES, L. S. A. RABELLO, M. S. Fotodegradação do polipropileno contendo combinação de fotoestabilizantes. **Revista de Materiais e Processos – REMAT**. V. 11, n.2, p. 112-120, Campina Grande, 2016. ISSN 1809-8797.

VASCONCELOS.A.J.C. **Obtenção de tecidos de poliéster com baixo peso por tratamento enzimático**.2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Fabricação) – Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade de Minho, Minho, 2005. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/55604438.pdf>> acesso em: 11 nov. 2018.

VOGEL, Arthur Israel; MENDHAM, J.; DENNEY, RC.;BARNERS, JD.;THOMAS, M. Espectroscopia eletrônica molecular. *In: Análise química quantitativa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

YOUSIF, E.; HADDAD, R. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. **SpringerPlus**, v. 2, p. 398, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25674392>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

YOUNG, Charlotte. Solar ultraviolet radiation and skin cancer. **Occupational medicine**. Japan, vol. 59, p. 82-88, march 2009. Disponível em: <<https://academic-oup-com.ez15.periodicos.capes.gov.br/occmed/article/59/2/82/1386603>> acesso em: 02 ago. 2018.

**APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS QUANTO AO SEU  
DESEMPENHO EM FATOR DE PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA.**

<b>Código</b>	<b>UPF</b>	<b>Classificação</b>	<b>Transmitância Média UVA</b>	<b>Transmitância Média UVB</b>	<b>Descrição da amostra</b>
<b>A</b>	31	Bom	6,33	2,38	67% poliéster e 33% viscose, azul, nova.
<b>a</b>	26	Mínimo	9,64	2,81	67% poliéster e 33% viscose, azul, 8 meses de uso.
<b>B</b>	18	Mínimo	14,90	3,65	100% poliéster, azul, nova.
<b>b</b>	21	Mínimo	12,86	2,83	100% poliéster, azul, 2 meses de uso.
<b>C</b>	37	Bom	3,75	1,63	67% poliéster e 33% viscose, azul escuro.
<b>D</b>	10	Sem proteção	28,46	4,90	100% poliéster, branca.
<b>E</b>	21	Mínimo	10,30	2,24	100% poliéster, amarelo.
<b>F</b>	23	Mínimo	7,94	2,44	100% poliéster, laranja.
<b>G</b>	29	Mínimo	5,73	2,27	100% poliéster, vermelho.
<b>H</b>	31	Bom	3,18	2,40	100% algodão, verde 1.
<b>I</b>	32	Bom	3,80	2,53	100% algodão, verde 2.
<b>J</b>	23	Mínimo	5,60	2,85	100% algodão, verde 3.
<b>K</b>	5	Sem proteção	21,80	13,38	100% algodão, verde 4.
<b>L</b>	5	Sem proteção	19,71	13,73	100% algodão, azul claro.
<b>M</b>	26	Mínimo	4,69	2,90	100% algodão, vermelho
<b>N 0 lav.</b>	32	Bom	4,17	2,77	100% algodão, verde, não submetido a nenhum processo.
<b>N 3 lav.</b>	34	Bom	3,81	2,22	100% algodão, verde, 3 lavagens.
<b>N 6 lav.</b>	34	Bom	3,85	2,63	100% algodão, verde, 6 lavagens.
<b>N 9 lav.</b>	35	Bom	3,83	2,54	100% algodão, verde, 9 lavagens.
<b>O 0 lav.</b>	24	Mínimo	7,54	3,32	100% algodão, azul, não submetido a nenhum processo.
<b>O 3 lav.</b>	25	Mínimo	6,44	2,62	100% algodão, azul, 3 lavagens.
<b>O 6 lav.</b>	25	Mínimo	6,46	2,67	100% algodão, azul, 6 lavagens.
<b>O 9 lav.</b>	25	Mínimo	6,23	2,73	100% algodão, azul, 9 lavagens.

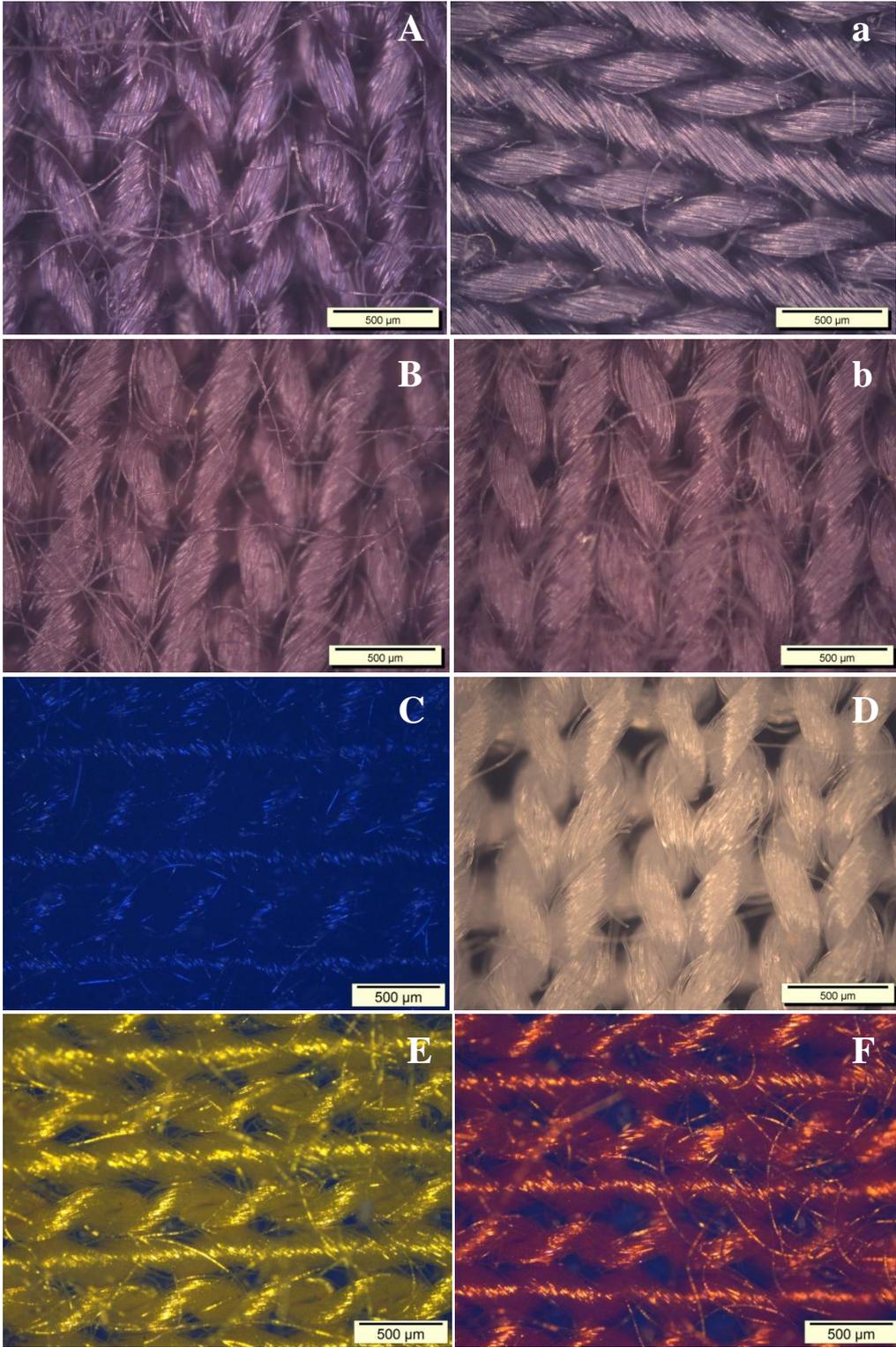
**APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TRANSMITÂNCIA  
DAS AMOSTRAS TÊXTEIS.**

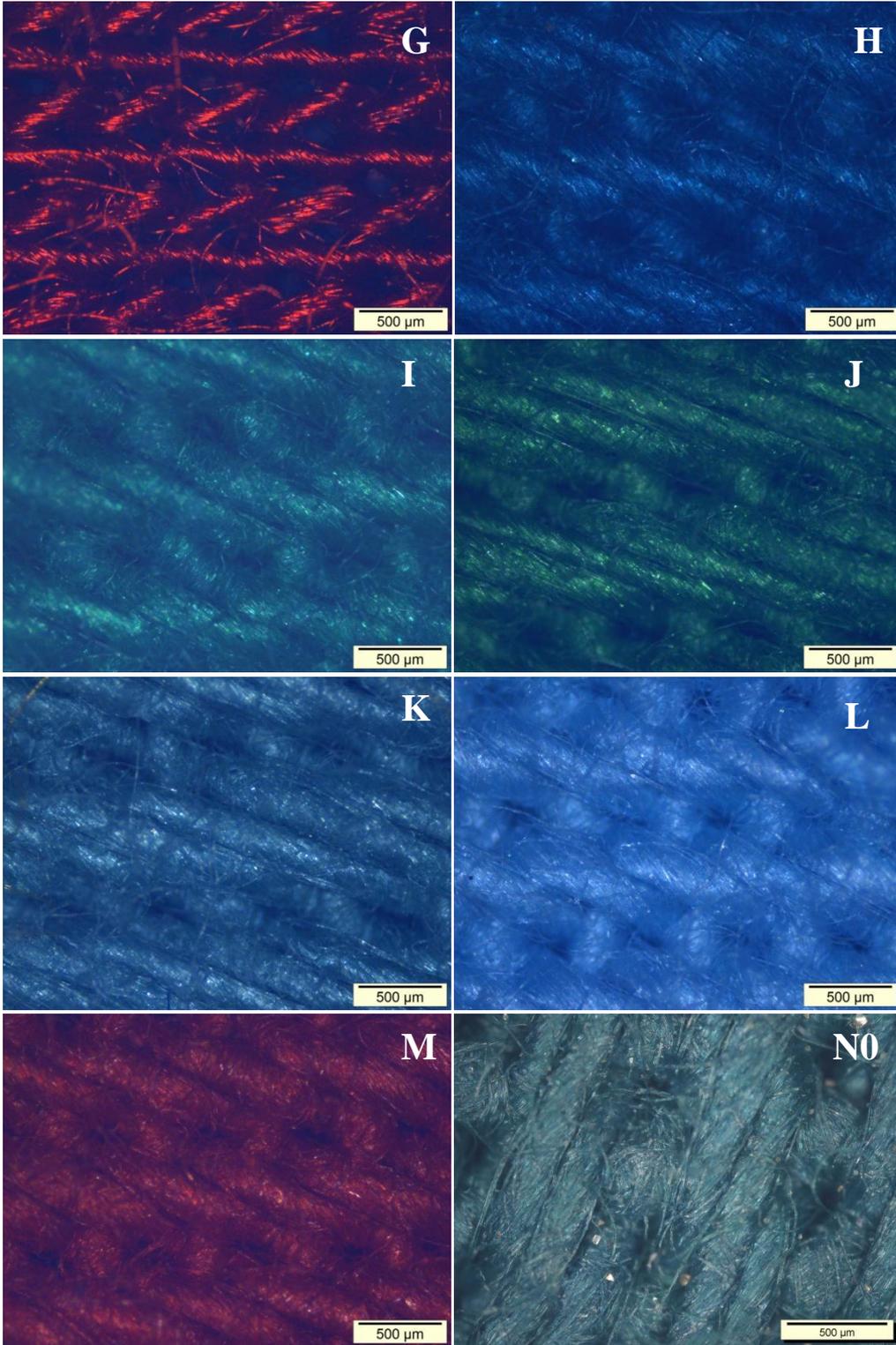
Amostra	Transmitância UVA (315-400 nm)						Transmitância UVB (290-315 nm)					
	Transmitâncias individuais				Média	Desvio padrão	Transmitâncias Individuais				Média	Desvio padrão
	1º	2º	3º	4º			1º	2º	3º	4º		
<b>A</b>	6,21	6,41	6,23	6,46	6,33	0,13	2,31	2,37	2,39	2,44	2,38	0,05
<b>a</b>	9,78	9,59	9,72	9,49	9,64	0,13	2,90	2,76	2,74	2,82	2,81	0,07
<b>B</b>	15,00	14,66	14,92	15,03	14,90	0,17	3,72	3,56	3,69	3,64	3,65	0,07
<b>b</b>	12,93	13,01	12,71	12,76	12,86	0,14	2,79	2,76	2,86	2,91	2,83	0,07
<b>C</b>	3,83	3,93	3,80	3,43	3,75	0,16	1,66	1,69	1,69	1,50	1,63	0,07
<b>D</b>	27,80	28,60	28,40	29,05	28,46	0,52	4,73	4,98	4,95	4,96	4,90	0,12
<b>E</b>	9,84	10,15	10,78	10,45	10,30	0,31	2,13	2,18	2,34	2,31	2,24	0,09
<b>F</b>	8,08	8,16	7,79	7,72	7,94	0,18	2,50	2,48	2,42	2,36	2,44	0,05
<b>G</b>	5,63	5,65	5,68	5,97	5,73	0,12	2,26	2,20	2,26	2,37	2,27	0,05
<b>H</b>	3,19	3,24	3,08	3,22	3,18	0,05	2,42	2,44	2,31	2,43	2,40	0,05
<b>I</b>	3,79	3,82	3,74	3,85	3,80	0,03	2,53	2,55	2,48	2,55	2,53	0,02
<b>J</b>	5,44	5,94	5,52	5,49	5,60	0,17	2,80	3,01	2,83	2,77	2,85	0,08
<b>K</b>	22,22	22,00	21,18	21,79	21,80	0,31	13,70	13,49	12,98	13,36	13,38	0,21
<b>L</b>	19,72	19,88	19,49	19,76	19,71	0,11	13,72	13,84	13,57	13,78	13,73	0,08
<b>M</b>	4,69	4,69	4,68	4,69	4,69	0,004	2,90	2,91	2,87	2,90	2,90	0,012
<b>N 0 lav.</b>	4,12	4,14	4,13	4,28	4,17	0,08	2,75	2,77	2,79	2,76	2,77	0,01
<b>N 3 lav.</b>	3,84	3,82	3,87	3,71	3,81	0,07	2,24	2,21	2,19	2,26	2,22	0,03
<b>N 6 lav.</b>	3,83	3,89	3,85	3,82	3,85	0,03	2,61	2,66	2,63	2,61	2,63	0,02
<b>N 9 lav.</b>	3,83	3,82	3,88	3,89	3,83	0,04	2,54	2,55	2,58	2,50	2,54	0,04
<b>O 0 lav.</b>	7,54	7,56	7,48	7,58	7,54	0,04	3,31	3,34	3,30	3,32	3,32	0,02
<b>O 3 lav.</b>	6,47	6,46	6,66	6,18	6,44	0,20	2,63	2,62	2,68	2,53	2,62	0,06
<b>O 6 lav.</b>	6,52	6,51	6,42	6,39	6,46	0,07	2,68	2,70	2,64	2,65	2,67	0,03
<b>O 9 lav.</b>	6,08	6,30	6,31	6,23	6,23	0,11	2,71	2,74	2,76	2,71	2,73	0,02

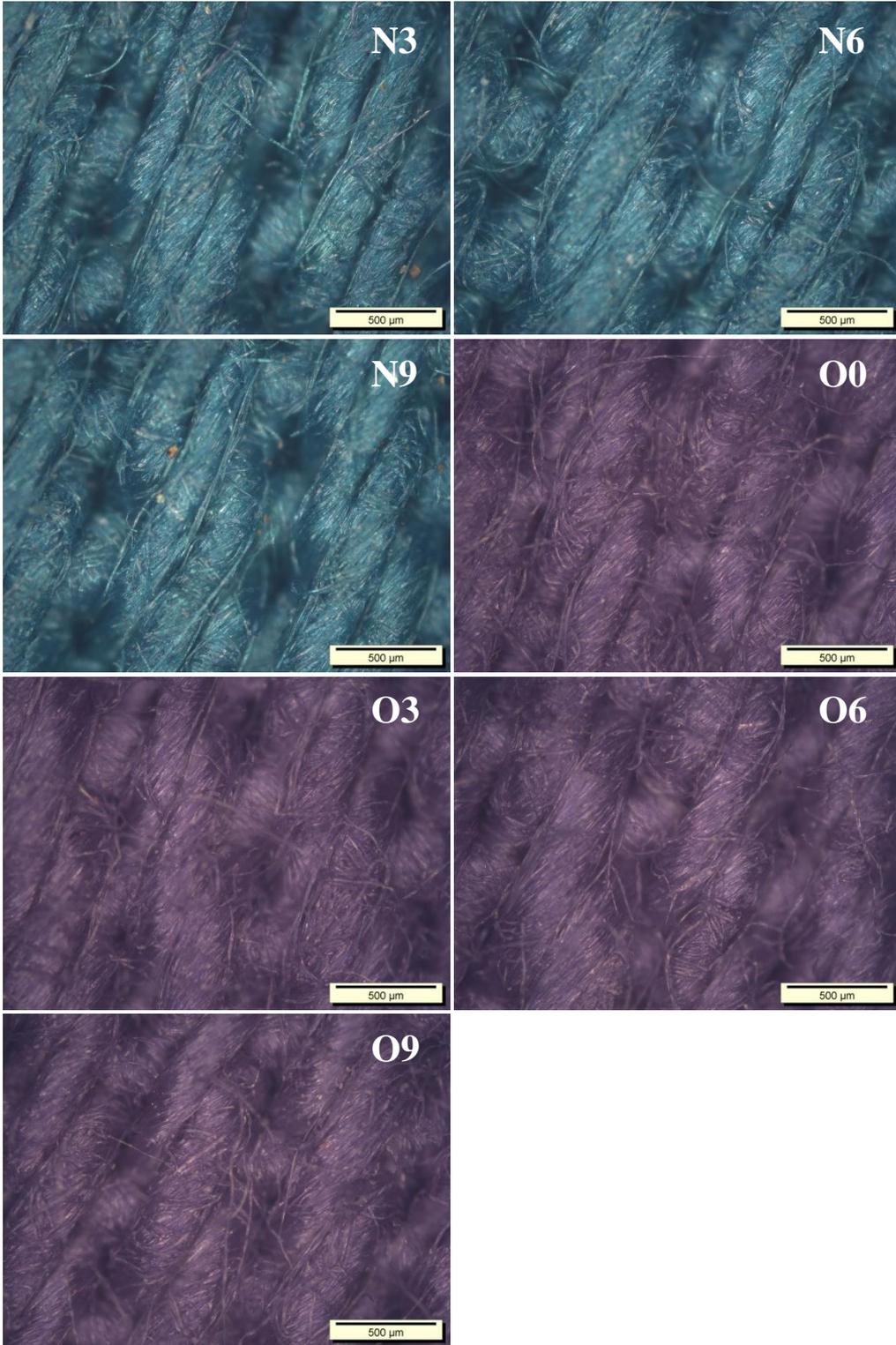
**APÊNDICE C – RESULTADO DAS AMOSTRAS INDIVIDUAIS E  
CLASSIFICAÇÃO DE UPF PARA CADA MATERIAL**

Amostra	UPF classificado	UPF individuais				Média UPF	Desvio padrão	Erro Padrão
		1°	2°	3°	4°			
<b>A</b>	31	34,06	32,51	33,44	32,82	33,21	0,69	2,01
<b>a</b>	26	27,71	28,86	29,57	28,52	28,67	0,77	2,26
<b>B</b>	18	18,63	18,57	18,81	18,89	18,72	0,15	0,44
<b>b</b>	21	22,42	22,39	23,24	22,61	22,67	0,40	1,16
<b>C</b>	37	44,09	43,16	43,76	49,02	45,01	2,01	7,88
<b>D</b>	10	12,01	11,45	11,50	11,43	11,60	0,28	0,81
<b>E</b>	21	26,43	25,64	23,99	24,50	25,14	1,10	3,21
<b>F</b>	23	25,49	25,51	26,38	26,97	26,09	0,72	2,10
<b>G</b>	29	31,76	32,24	31,68	30,11	31,45	0,67	1,96
<b>H</b>	31	34,37	33,99	35,98	34,17	34,63	0,91	2,66
<b>I</b>	32	32,68	32,39	33,22	32,37	32,67	0,40	1,17
<b>J</b>	23	27,07	25,03	26,78	27,12	26,50	0,99	2,89
<b>K</b>	5	5,31	5,38	5,59	5,43	5,43	0,12	0,35
<b>L</b>	5	6,03	5,98	6,10	6,01	6,03	0,05	0,15
<b>M</b>	26	26,44	26,42	26,67	26,48	26,50	0,11	0,32
<b>N 0 lav.</b>	32	33,20	33,07	33,24	33,05	33,14	0,09	0,28
<b>N 3 lav.</b>	34	35,40	35,40	35,70	35,23	35,43	0,20	0,58
<b>N 6 lav.</b>	34	35,22	34,58	34,98	35,12	34,98	0,28	0,82
<b>N 9 lav.</b>	35	35,82	35,80	35,65	35,35	35,65	0,22	0,63
<b>O 0 lav.</b>	24	24,83	24,65	24,96	24,73	24,79	0,13	0,39
<b>O 3 lav.</b>	25	26,91	27,00	26,33	28,01	27,06	0,61	1,77
<b>O 6 lav.</b>	25	25,91	25,81	26,34	26,31	26,09	0,27	0,79
<b>O 9 lav.</b>	25	27,24	26,70	26,14	26,59	26,67	0,45	1,31

## **APÊNDICE D – MICROSCOPIA ÓPICA DAS AMOSTRAS**







**APÊNDICE E – IMAGENS DE SUPERFÍCIE DE PERFILOMETRIA ÓPICA  
DAS AMOSTRAS**

