

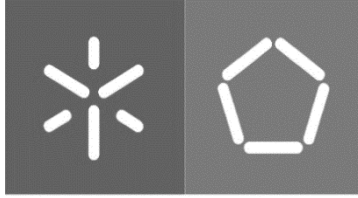


Luis Ricardo Pereira Pontes

**Estudo da Qualidade de Fio Têxtil
Recorrendo a Técnicas de Processamento
de Imagem**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luís Ricardo Pereira Pontes

**Estudo da qualidade de fio têtil
recorrendo a técnicas de processamento
de imagem**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

Doutor José Mendes Machado

Janeiro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Agradeço à Universidade do Minho pela oportunidade de ensino e as capacidades ganhas ao longo do curso.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. José Machado pelo apoio e sugestões fornecidas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Filipe Pereira pela orientação e apoio ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço aos meus pais e às minhas irmãs pela oportunidade e apoio ao longo da vida.

Agradeço à minha namorada pelo apoio, paciência e disponibilidade ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

Na indústria têxtil devido à alta competição entre empresas foi necessário o desenvolvimento de tecnologias de forma a diferenciar a qualidade de fabrico de um produto final. No entanto existem limites quanto ao processo de produção, o que limita quanto se pode melhorar, assim outros fatores tiveram de ser controlados, sendo um destes fatores é a qualidade do fio têxtil.

Este projeto surge como componente de um sistema em desenvolvimento, que pretende a criação de um equipamento com dimensões mais reduzidas, custos mais baixos e tecnologia diferente comparativamente às máquinas de análise de fio têxtil utilizadas na indústria.

Ao longo desta dissertação será abordada a componente do desenvolvimento de software para o processamento de imagem, o qual analisa as características do fio de forma a averiguar a sua qualidade, sendo estas a massa linear, o volume específico, os defeitos do fio e a pilosidade.

Nesta dissertação foram desenvolvidos os algoritmos necessários para o tratamento de imagem de forma à possível obtenção dos parâmetros do fio têxtil. Inicialmente este processo foi efetuado com uma câmara de testes e posteriormente com uma câmara de melhor resolução para melhorar os resultados obtidos. Desta forma verifica-se que algumas propriedades que não foram possíveis de obter com a câmara de testes, poderiam ser conseguidas com uma câmara de melhor resolução, sendo esta da OMRON.

Para o desenvolvimento deste projeto recorreu-se ao uso do software SENTECH para uma configuração inicial da câmara da OMRON e a captura das respetivas imagens, das bibliotecas do OpenCV e o software Visual Studio para desenvolvimento do código de processamento de imagem.

O contexto desta dissertação é desenvolver e verificar a viabilidade de um sistema de análise de fio, utilizando processamento de imagem e posteriormente realizar uma análise estatística dos dados obtidos.

Palavras-chave: Processamento de Imagem, Fio Têxtil, Indústria Têxtil, OpenCV, Massa Linear.

Abstract

In the textile industry, due to the high competition between companies, it was necessary to develop technologies in order to differentiate the manufacturing quality of a final product. However, there are limits regarding the production process, which limits how much can be improved, so other factors had to be controlled, one of these factors being the quality of the textile yarn.

This project appears as a component of a system under development, which aims to create equipment with smaller dimensions, lower costs and different technology compared to textile yarn analysis machines used in industry.

Throughout this dissertation, the component of software development for image processing will be addressed, which analyzes the characteristics of the yarn in order to ascertain its quality, such as linear mass, specific volume, yarn defects and hairiness.

In this dissertation, the necessary algorithms for image treatment were developed in order to obtain the possible parameters of the textile yarn. Initially this process was carried out with a test camera and later with a camera with better resolution to improve the results obtained. In this way, verify if some properties that were not possible to obtain with the test chamber could be achieved with a camera with better resolution, this being from OMRON.

For the development of this project, the SENTECH software was used for an initial configuration of the OMRON camera and the capture of the respective images, the OpenCV libraries and the Visual Studio software to develop the image processing code.

The context of this dissertation is to develop and verify the feasibility of a yarn analysis system, using image processing and subsequently perform a statistical analysis of the data obtained.

Key-words: Image Processing, Textile Yarn, Textile Industry, OpenCV, Linear Mass.

Índice

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas, siglas e acrónimos	xii
<i>1. Introdução.....</i>	<i>1</i>
1.1. Introdução ao tema	2
1.2. Enquadramento	3
1.3. Objetivos e questões de Investigação	5
1.4. Estrutura da dissertação.....	5
<i>2. Considerações Teóricas</i>	<i>7</i>
2.1. Características do fio têxtil.....	8
2.1.1. Fabrico de fio têxtil.....	8
2.1.2. Diâmetro médio do fio	10
2.1.3. Massa Linear	11
2.1.4. Volume específico.....	12
2.1.5. Pilosidade.....	12
2.1.6. Sentido de Torção e Passo de Torção.....	13
2.1.7. Defeitos do Fio têxtil.....	15
2.1.7.1. Pontos Finos.....	15
2.1.7.2. Pontos Grossos.....	15
2.1.7.3. Borbotos.....	16
2.2. Técnicas de caracterização do fio têxtil na indústria	16
2.3. Processamento de imagem	18
2.3.1. IDE – Plataforma de desenvolvimento	20
2.3.2. Open CV.....	21
2.3.2.1. Kernel/Elemento estrutural.....	21
2.3.2.2. Thresholding.....	22
2.3.2.3. Erosão/Dilatação	24
2.3.2.4. Opening/Closing.....	25
2.3.2.5. Skeletonization.....	27
<i>3. Desenvolvimento do sistema</i>	<i>29</i>

3.1.	Pré-requisitos	30
3.2.	Procedimentos iniciais.....	31
3.3.	Processamento de imagem	44
3.4.	Parâmetros estatísticos	60
4.	<i>Resultados e análise de dados</i>	62
4.1.	Resultados gerais	63
4.2.	Diâmetro médio do fio	64
4.3.	Massa linear, volume específico e parâmetros estatísticos do fio	67
4.4.	Imperfeições do fio	71
4.5.	Pilosidade	72
4.6.	Passo e sentido de torção.....	74
4.7.	Análises complementares ao fio de poliéster.....	75
5.	<i>Considerações Finais</i>	78
5.1.	Conclusão	79
5.2.	Trabalhos futuros	81
	Bibliografia	83
	Anexo A – Código desenvolvido para análise do fio têxtil	86
	Anexo B – Resultados dos testes realizados	91
	Anexo C – Dados fornecidos para referência	94

Índice de Figuras

Figura 1- Visão frontal do sistema desenvolvido	4
Figura 2- Uster tester 6 [1].....	4
Figura 3- Exemplo do processo de fabrico de fio têxtil [3].....	10
Figura 4-Exemplo diâmetro medio [3].....	11
Figura 5- Exemplo de Pilosidade [9].	13
Figura 6- Exemplo do sentido de torção [3].	14
Figura 7-Passo de torção [3].	14
Figura 8- Processo exemplificativo da formação de pontos finos [3].	15
Figura 9- Processo exemplo de formação de pontos grossos [3].	16
Figura 10- Exemplo defeitos do fio têxtil [12].	16
Figura 11- Uster Zweigle HL400 [15].	17
Figura 12- Visual studio 2019 [24].....	20
Figura 13- Biblioteca OpenCV [25].	21
Figura 14-Imagem escala de cinzentos [28].	23
Figura 15- Imagem linearizada pelo método de Otsu [28].....	24
Figura 16- Erosão da imagem exemplo [29]	25
Figura 17- Dilatação exemplo [30].	25
Figura 18- Exemplo de closing [32]	27
Figura 19- Exemplo de opening [31].	27
Figura 20-Exemplo de Skeletonization [33].....	28
Figura 21- Protótipo de testes	32
Figura 22- Câmara Inicial de Testes [34].....	33
Figura 23-Câmara do fabricante Omron [36].....	34
Figura 24- Conjunto câmara com lente.	34
Figura 25- Configuração do trigger manual no programa da SENTECH.	35
Figura 26- Exemplo de imagem capturada a 4.2 m/s (zoom x0.7).....	36
Figura 27- Diagrama de blocos representativo do processo inicial de captura.....	36
Figura 28- Adição das variáveis de sistema.	37
Figura 29- Criação do projeto de C++ [38].	38
Figura 30-Propriedades do projeto [38].	38
Figura 31- Seleção da plataforma e configurações [38].	39
Figura 32- Localização da opção de adição de bibliotecas adicionais [38].	40
Figura 33- Bibliotecas do "Linker" [38].....	40
Figura 34- Configuração do ambiente de "debug" [38].	41
Figura 35- Gestor de configurações [38].....	42
Figura 36- Seleção do tipo de plataforma [38].	42
Figura 37- configuração das propriedades de "debug" [38].	43
Figura 38- Dependências adicionais [38].....	43
Figura 39- Dependências adicionais "Release" [38].....	44
Figura 40- Imagem a cores	45
Figura 41- Imagem a preto e branco	46
Figura 42- Imagem em escala de cinzentos (zoom x0.7)	47

Figura 43- Imagem apos linearização de Otsu	47
Figura 44- Imagem antes do opening.....	48
Figura 45- Imagem após opening.....	49
Figura 46- Fluxograma das etapas de obtenção do núcleo do fio têxtil.....	49
Figura 47-Fluxograma da contagem dos pixéis	51
Figura 48- Fluxograma para a obtenção dos defeitos do fio.....	55
Figura 49-Imagem linearizada para a pilosidade.....	56
Figura 50- Subtração do núcleo para obtenção da pilosidade.....	57
Figura 51- Fluxograma do cálculo da pilosidade.....	58
Figura 52- Imagem pronta a calcular a pilosidade.....	59
Figura 53- Fluxograma das operações morfológicas para obtenção da imagem de análise de pilosidade.....	60
Figura 54- Imagem de calibração (zoom x0.7).....	64
Figura 55-Imagem de calibração 2 (zoom x0.7).....	65
Figura 56- Imagem do fio têxtil sem processamento (zoom x0.7).....	66
Figura 57- Imagem do fio têxtil pronta para obtenção do diâmetro (zoom x0.7).....	66
Figura 58-Exemplo de variação de diâmetro (zoom x0.7).....	68
Figura 59- Exemplo da variação do diâmetro 2 (zoom x0.7).....	69
Figura 60- Captura do fio de poliéster.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1-Tabela dos dados obtidos do fio roxo.....	68
Tabela 2-Tabela estatística do fio roxo.....	69
Tabela 3-Tabela dos dados obtidos do fio de algodão branco.....	70
Tabela 4-Tabela dados estatísticos fio de algodão branco.....	70
Tabela 5-Tabela dos dados do coeficiente de pilosidade do fio branco.....	73
Tabela 6-Tabela dados estatísticos da pilosidade do fio branco.....	73
Tabela 7- Tabela dos dados de coeficiente de pilosidade do fio de algodão roxo.....	74
Tabela 8- Tabela dos dados estatísticos da pilosidade do fio de algodão roxo.....	74
Tabela 9-Tabela dos dados do fio de poliéster.....	75
Tabela 10-Tabela dos parâmetros estatísticos do fio de poliéster.....	76
Tabela 11-Tabela dos dados estatísticos da pilosidade do fio de poliéster.....	76

Lista de Abreviaturas, siglas e acrónimos

IDE	<i>Integraded Development Enviornment</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
RGB	Red, Green and Blue
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

1. Introdução

Este projeto encontra-se no âmbito do Mestrado Integrado de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho para obtenção do grau de mestre.

Esta dissertação faz parte de um projeto de análise de fio têxtil, a qual se foca no processamento de imagem, mais especificamente o desenvolvimento do software de análise.

Neste capítulo será descrito o enquadramento, motivação e objetivos desta dissertação.

1.1. Introdução ao tema

Este projeto foca-se no desenvolvimento de software de análise de fio têxtil para a obtenção das suas características, de forma a averiguar a sua qualidade. Esta avaliação é essencial para prevenir defeitos no produto final.

O software desenvolvido utiliza técnicas de processamento de imagens de forma a analisar propriedades como a massa linear, defeitos do fio como pontos grossos, pontos finos e borbotos e também a obtenção do coeficiente de pilosidade.

Estes parâmetros afetam com diferentes níveis de gravidade a produção têxtil, podendo causar problemas no equipamento de produção e defeitos no produto final, estes na forma de imperfeições ou aspetos visuais indesejados.

Um dos fatores importantes do desenvolvimento deste projeto é o seu baixo custo comparativamente a equipamentos industriais as suas dimensões reduzidas e o progresso tecnológico que apresenta.

Este projeto foca-se inteiramente na componente de processamento de imagem utilizando uma camara conectada por USB e utiliza algoritmos de uma biblioteca de processamento de imagem, de forma a analisar a imagem computacionalmente sem necessidade de interação humana.

O software criado utiliza a plataforma de desenvolvimento Visual Studio e utiliza a biblioteca de processamento de imagem OpenCV, esta biblioteca pode ser utilizada com diferentes linguagens de programação, no entanto foi utilizada a linguagem de C++.

Deu-se início a uma investigação sobre que propriedades são de maior interesse para a indústria têxtil, para um melhor entendimento sobre os dados mais importantes a obter, assim como é que se desenvolvem os defeitos ao longo do processo de fabrico de fio têxtil.

Foi necessária uma investigação dos conceitos de processamento de imagem, pois sem uma boa compreensão destes conceitos o projeto não era possível de se realizar, e correlacionar os conceitos obtidos com as propriedades que se pretende obter.

Após uma compreensão dos conceitos necessários para o desenvolvimento deste projeto iniciou-se o processo de criação do software, inicialmente com uma câmara de testes, de forma a confirmar se os conceitos aplicados seriam possíveis.

Após estes primeiros testes verificou-se a possibilidade da obtenção de algumas das propriedades de interesse, no entanto algumas destas não foram possíveis de se obter, as quais serão descritas posteriormente no capítulo referente aos resultados desta dissertação. Tendo isto em consideração iniciou-se o desenvolvimento do software para a câmara que seria incluída no projeto final, e os resultados obtidos dos testes realizados no sistema completo são apresentados ao longo desta dissertação.

Tendo em conta os resultados obtidos considera-se um projeto viável para o uso em conceito industrial, no entanto mais investigação deverá ser desenvolvida para uma melhor averiguação da possibilidade de obtenção de todos os parâmetros do fio têxtil, assim como mais testes para a verificação dos dados obtidos.

1.2. Enquadramento

Este projeto foi desenvolvido de forma a criar alternativas às tecnologias atuais de análise de fio têxtil, assim como um equipamento com dimensões mais reduzidas e com custos mais baixos.

No mercado atual de equipamento para testes de fio têxtil, um dos problemas que se tenta colmatar é o facto de estes equipamentos apenas efetuarem um tipo de teste, o que implica a necessidade de se obter vários equipamentos para uma caracterização completa do fio têxtil. Outro problema encontra-se também nas dimensões destes equipamentos, assim como o seu elevado custo.

Para uma melhor compreensão da integração do projeto em questão, o processamento de imagem, é essencial descrever o conceito global do equipamento desenvolvido de forma a ser clara a sua integração na análise de fio têxtil.

Este projeto utiliza apenas um servo motor para todo o processo de travessia do fio controlado por um PLC e uma câmara USB de alta velocidade, a qual é usada para obter imagens do fio têxtil, que serão utilizadas para adquirir as características necessárias para análise do fio.

Dado ao elevado desenvolvimento tecnológico de captura de imagem, o custo das câmaras atualmente encontra-se reduzido comparativamente às soluções disponibilizadas no conceito industrial, o que aumenta a viabilidade deste projeto, assim como o baixo número de componentes

necessários para o seu desenvolvimento conduz a um equipamento final com um custo bastante competitivo comparativamente às soluções atuais.

Torna-se importante salientar que as dimensões deste sistema encontram-se relativamente pequenas comparando com as soluções industriais (figura 2), o que permite a este equipamento a possibilidade de ser portátil. Pode-se verificar nas figuras seguintes a comparação entre as dimensões do protótipo desenvolvido (figura 1) e um equipamento industrial da Uster, mais especificamente Uster Tester 6.

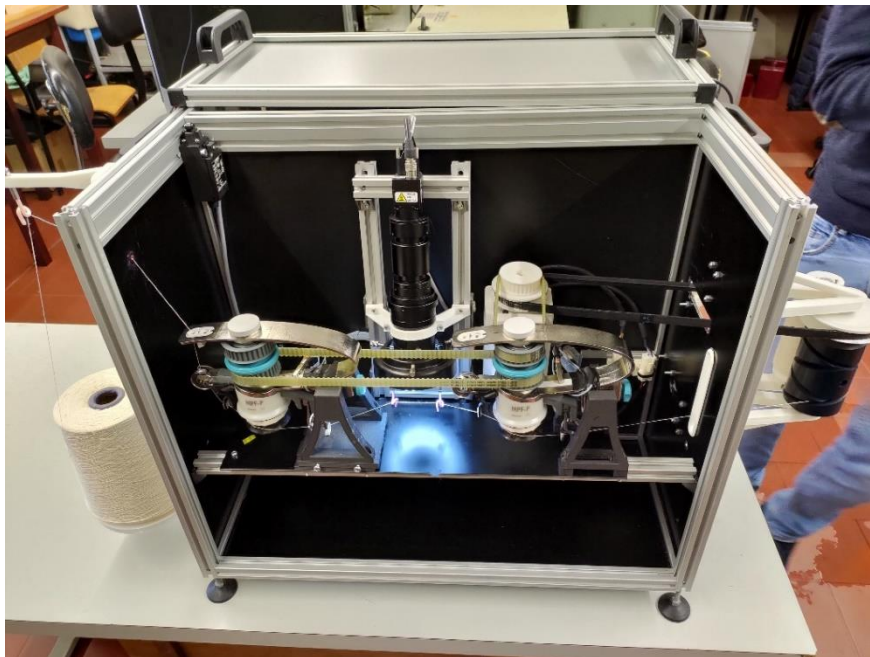


Figura 1- Visão frontal do sistema desenvolvido



Figura 2- Uster tester 6 [1].

Esta dissertação foca-se no desenvolvimento do software de processamento de imagem, o qual após a obtenção das imagens analisa as mesmas e obtém as características do fio têxtil. Todo este processo será descrito em detalhe nos capítulos posteriores.

1.3. Objetivos e questões de Investigação

O objetivo principal desta dissertação foca-se em retirar e analisar o maior número de características possíveis de um fio têxtil, com recurso a imagens capturadas pontualmente ao longo do fio.

Pretende-se criar um software onde seja possível importar as capturas de imagens de um diretório para o software, onde serão analisadas de forma a retirar os valores do volume específico, diâmetro médio, massa linear, pilosidade, pontos finos, pontos grossos e borbotos, através de algoritmos computacionais.

Inicialmente pretende-se retirar estas características com uma câmara de baixa resolução e averiguar a possibilidade de aplicação nos conceitos em estudo.

Posteriormente será utilizada uma câmara de maior resolução, sendo esta da OMRON, de forma a verificar se é possível a aplicação destes conceitos com o fio em movimento.

1.4. Estrutura da dissertação

Para uma melhor compreensão desta dissertação considerou-se pertinente descrever como esta foi estruturada.

Esta dissertação apresenta 5 capítulos os quais são, introdução, considerações teóricas, desenvolvimento do sistema, resultados e análise de dados e por fim as considerações finais.

No capítulo correspondente às considerações teóricas apresentam-se os conceitos que serão estudados e analisados ao longo desta dissertação, os métodos comuns para a obtenção destes dados e as técnicas que serão utilizadas ao longo do desenvolvimento do software.

No capítulo de desenvolvimento de sistema apresenta-se os pré-requisitos, os procedimentos iniciais e os métodos para utilizados para a obtenção dos dados.

No capítulo de resultados e análise de dados, expõe-se os dados obtidos e discute-se os resultados apresentados.

Por fim no capítulo correspondente as considerações finais apresentam-se as conclusões obtidas a partir do trabalho desenvolvido e sugere-se a possibilidade de alguns trabalhos futuros.

2. Considerações Teóricas

Nesta secção ir-se-á apresentar os conceitos teóricos e informação essencial para o desenvolvimento deste projeto, é uma componente necessária para o desenvolvimento, compreensão e aplicação de todo o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação.

2.1. Características do fio têxtil

De forma a verificar a integridade de um fio têxtil é importante a verificação de determinadas características, assim neste subcapítulo será realizado um estudo sobre a temática em questão.

Aqui serão descritas características como o diâmetro médio, a massa linear, o volume específico, a pilosidade e os defeitos do fio, também será dada uma breve descrição do processo de fabrico de fios têxteis, de forma a familiarizar melhor com os conceitos em estudo e compreender de onde estas características advêm.

Os processos de fabrico de fio têxtil são muitos e variados, dado isto apenas se explicará um conceito geral do seu processo, uma vez que a explicação detalhada de todo o processo de fabrico foge ao tema em estudo deste projeto, que são as características do fio têxtil, no entanto não deixa de ser necessário uma explicação do fabrico.

2.1.1. Fabrico de fio têxtil

Para o fabrico de fio têxtil vários métodos são implementados na indústria, os seus métodos variam muito os parâmetros do fio assim como demonstram diferentes níveis de defeitos, neste trabalho ir-se-á focar mais nos fios têxteis orgânicos, isto é, em fios fabricados a partir de materiais orgânicos como algodão.

O algodão tem um processo de fabrico bastante diferenciado e como este trabalho focou-se mais na análise de fio deste material, explica-se o fabrico de fio têxtil utilizando este material.

De acordo com a literatura o processo de fiação consiste em três processos que podem coexistir em simultâneo ou não, no entanto visto o material em estudo ser o fio de algodão, este engloba todos os processos em que consistem o processo de fiação.

Este processo inicia-se com o processo de limpeza ou depuração que consiste na separação da matéria em bruto dos elementos contaminantes, isto é separar neste caso o algodão das sementes e folhas que podem estar misturadas com a matéria em bruto. Este processo continua até quase ao processo de fiação propriamente dito, no entanto não de uma forma tão acentuada como neste processo inicial, em que a matéria não se encontra em uma forma orientada [2].

Neste processo vários subprocessos estão englobados, explicar todos estes processos seriam demasiado extensos e fora do contexto deste trabalho, no entanto é de referir que este processo afeta também as características do fio têxtil, no entanto os defeitos que serão analisados ao longo deste trabalho são desenvolvidos no processo de fição específico, daí o foco principal ser nesta fase do processo de fição.

Na fase de preparação à fição propriamente dita, que é a segunda fase do processo de fição, o principal objetivo é reduzir a quantidade de fibras na secção transversal, este processo consiste em uma estiragem da fita, no entanto devido ao baixo número de fibras existentes na secção não permite uma coesão interfibras suficiente para o desenrolamento e processos aplicados nas máquinas finais. Dado este problema a redução do número de fibras é também composta por uma torção ligeira que promove um aumento da sua resistência, que se perdeu na redução do número de fibras [2].

A máquina utilizada para este processo chamada de torce é uma máquina relativamente complexa, no entanto é imprescindível nos processos de fição convencional, esta máquina tem alguns aspetos negativos, no entanto de forma a se reduzir um dos seus vários inconvenientes, sendo este ao nível dos custos de fabricação do fio têxtil, esta máquina tem evoluído de forma a melhorar principalmente os sistemas de estiragem [2].

Dadas estas evoluções, o que em tempos anteriores obrigava a passar pelo torce três vezes, hoje em dia apenas uma vez é suficiente para se obter o resultado pretendido, isto origina menos mão de obra, uma redução dos consumos de energia e de uma menor área de consumida por este processo, após este processo a matéria-prima que entra chamada de fita é torcida e passa a ser intitulada de mecha [2].

Após o processo anteriormente descrito passa-se à fição propriamente dita, esta é a última etapa no processo de fabricação de fio, na fição moderna continua todos estes processos anteriormente descritos são efetuados em uma só máquina que executa as três tarefas em simultâneo, as quais são o processo de estiragem, a torção e o enrolamento final do fio [2].

Uma imagem exemplificativa do processo descrito é demonstrada de seguida de forma a ajudar na melhor compreensão dos processos descritos (figura 3).



Figura 3- Exemplo do processo de fabrico de fio têxtil [3]

2.1.2. Diâmetro médio do fio

Este parâmetro é uma qualidade importante pois a sua variação afeta a cobertura do tecido, o comprimento dos pontos de costura e o custo de venda [4].

Para além deste fator, muitas das máquinas utilizadas na indústria têxtil são afetadas pela variação do diâmetro [4].

Apesar deste diâmetro ser o diâmetro aparente, outras características intrínsecas do fio conseguem ser obtidas através de cálculos, tais como pontos finos, pontos grossos, borbotos, a massa linear e o volume do fio. Este diâmetro corresponde apenas ao núcleo do fio não englobando pilosidade, pois esta estende-se para fora do núcleo e não é adicionada ao diâmetro aparente [6].

Este parâmetro depende também de outro fator extremamente importante, este é a tensão aplicada ao fio no momento de medição, o facto de o fio não ser sólido e ser composto por múltiplas fibras torcidas faz com que o fio quando tensionado comprima e reduza o seu diâmetro [5].

De seguida apresenta-se uma imagem ilustrativa do parâmetro descrito (figura 4).

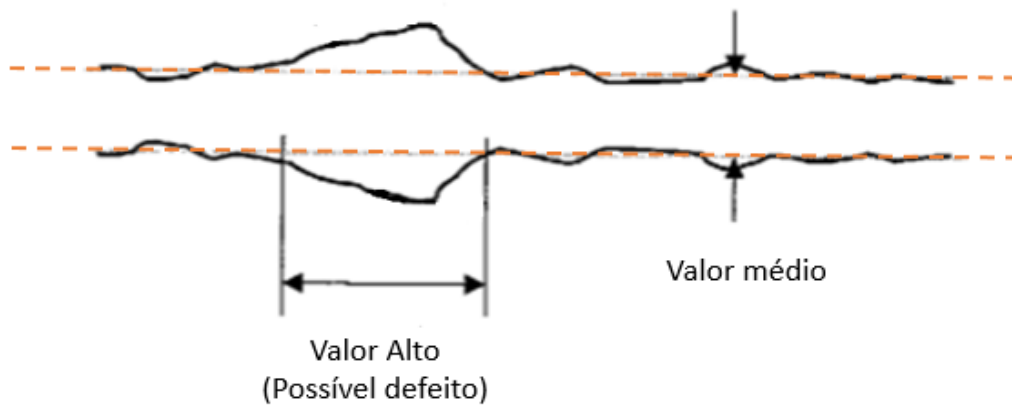


Figura 4-Exemplo diâmetro medio [3].

2.1.3. Massa Linear

Este parâmetro é um ótimo identificador da finura das fibras, este consiste no valor de massa por unidade de comprimento, a unidade utilizada para representar este parâmetro é o TEX, que esta definido na norma portuguesa. Esta unidade é decimal e usa unidades métricas, a qual corresponde a g/km, e pode ser obtido de diferentes maneiras, seja por métodos experimentais ou cálculos utilizando outros parâmetros já conhecidos do fio têxtil [2].

O fio têxtil visto ser considerado cilíndrico, tendo em conta que o diâmetro deverá ser proporcional a raiz quadrada da massa linear, é possível através de fórmulas matemáticas obter a massa linear do diâmetro.

No entanto esta fórmula tem em consideração um parâmetro chamado de porosidade e este apesar de se encontrar na literatura, advém de suposições teóricas e aparentemente não de valores experimentais. Este parâmetro é o rácio do fio que representa o espaço ocupado pelas fibras e o ar [6].

Este parâmetro segundo algumas fontes foi testado experimentalmente e aparentemente este deveria ser mais baixo do que o valor assumido teoricamente, no entanto este parâmetro pode ser facilmente alterado para melhores e mais precisas obtenções da massa linear relativamente fácil, seja por novos avanços tecnológicos que permitem a obtenção da porosidade quer por experimentação [6].

2.1.4. Volume específico

Este parâmetro do fio têxtil é o inverso da densidade serve também como caracterização do fio têxtil, pois a partir deste consegue-se avaliar a absorvência e o comportamento ao tingimento do fio [4].

Este parâmetro utiliza a unidades métricas de cm^3/gm , este pode ser obtido através da relação deste com a massa linear. No entanto existem vários métodos de obter este parâmetro a partir de outros, mas no caso em estudo o método mais conveniente e apropriado foi a partir da massa linear uma vez que se obtém de processos anteriores [4].

2.1.5. Pilosidade

Pilosidade é um parâmetro com um conceito complexo uma vez que a sua interpretação não é de fácil simplificação, no entanto para uma aplicação no mundo real uma simplificação tem de ser feita para que se consiga caracterizar este parâmetro, apesar de isso ser aplicado neste projeto, este é apenas um dos métodos, havendo vários outros métodos de simplificação adotados na indústria [7].

No projeto em estudo decidiu-se utilizar o método para o coeficiente de pilosidade equivalente ao utilizado pela máquina da Uster, esta máquina de caracterização de fio têxtil é uma das referências nesta indústria e por isso decidiu-se adotar este método de cálculo da pilosidade. Este método consiste em obter o comprimento total de todas as fibras que estendem para fora do núcleo do fio, ainda assim este valor é uma aproximação até para o método utilizado pela máquina da Uster, uma vez que a obtenção deste parâmetro é relativamente complicada, pois a pilosidade está presente em toda a circunferência do fio e no momento de análise apenas se avalia um dos lados do fio. Também de referir que apenas se analisa partes do fio e se assume que se mantém constante este valor, no entanto estudos provam que isto não é verdade e até a Uster admite uma variação de 18 a 28% do valor medido [8].

No entanto medições consecutivas do fio provocam cada vez mais variação deste parâmetro, uma vez que á medida que o fio é desbobinado e bobinado a sua pilosidade é alterada pelo contacto com as superfícies que retiram a sua pilosidade, devido ao atrito do fio com as superfícies que entra em contacto [8].

Na figura seguinte apresenta-se uma figura ilustrativa do conceito descrito (figura 5).

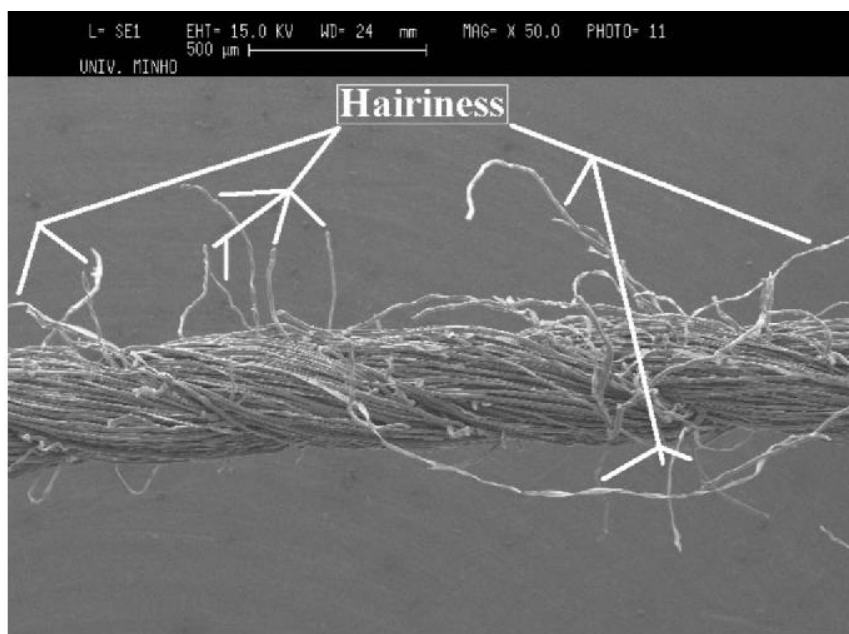


Figura 5- Exemplo de Pilosidade [9].

2.1.6. Sentido de Torção e Passo de Torção

Estes parâmetros do fio têxtil são de fácil definição, no entanto não são de fácil obtenção, este processo é efetuado ao fio têxtil pois cria uma estrutura compacta e que não se danifica facilmente quando aplicadas forças laterais, além destes fatores a torção do fio afeta também o especto do tecido final e suas qualidades intrínsecas [10].

O sentido de torção é interpretado como a direção para qual a direção da inclinação do fio retorcido recai, neste parâmetro foram admitidas convenções quanto ao sentido de direção de torção do fio. Estas considerações foram, quando visto de frente se a inclinação for coincidente com a inclinação da parte central da letra 'S' então classifica-se a torção como torção em S, e se a inclinação for semelhante a inclinação da letra 'Z' classifica-se como torção em Z [10].

Passo de torção refere-se ao número de voltas por unidade de comprimento, sendo este parâmetro expresso no sistema TEX como número de voltas por 10cm de comprimento de fio, já no sistema métrico este é expresso por número de voltas por metro [10]. Estes dois conceitos são exemplificados nas figuras seguintes (figura 6/7).

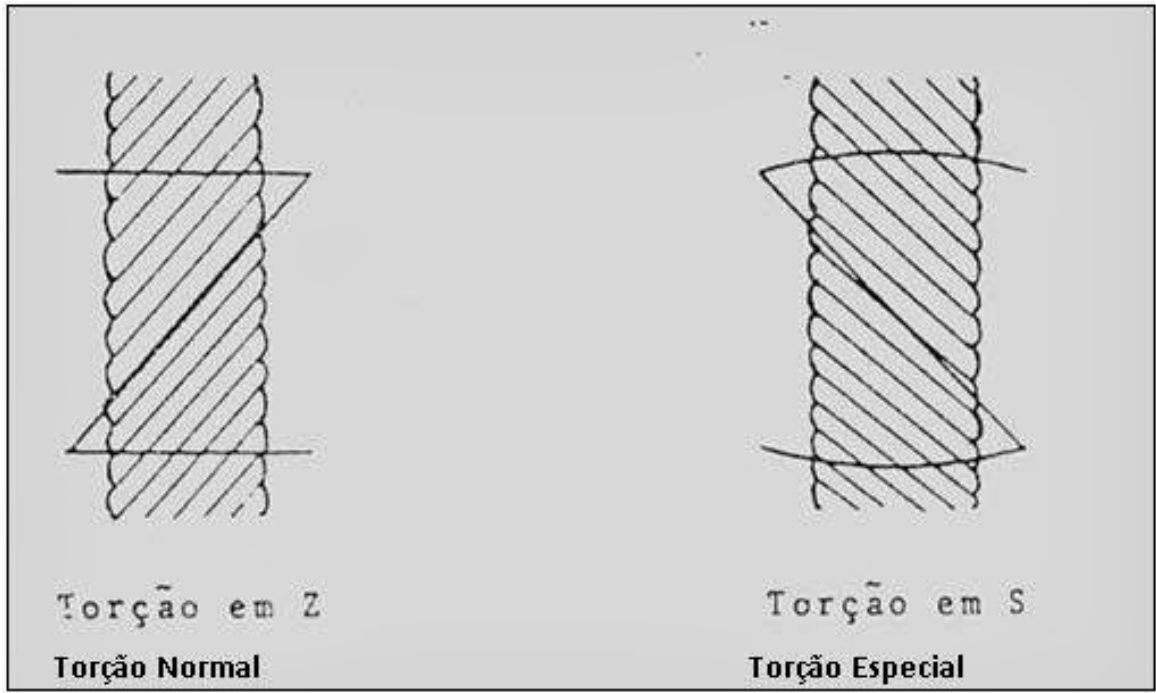


Figura 6- Exemplo do sentido de torção [3].

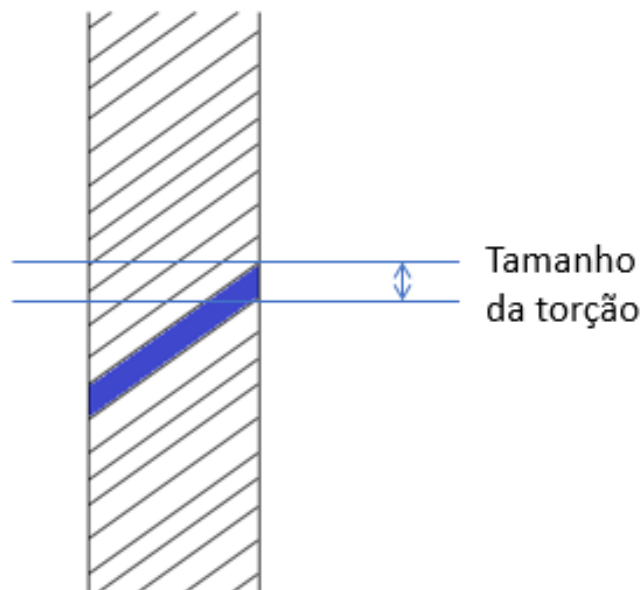


Figura 7-Passo de torção [3].

2.1.7. Defeitos do Fio têxtil

O fio têxtil tal como qualquer produto tem os seus defeitos, alguns deles serão descritos de seguida de forma a uma melhor compreensão, assim como facilitar o entendimento do trabalho desenvolvido.

2.1.7.1. Pontos Finos

Os pontos finos fazem parte do processo de fabrico do fio têxtil, este defeito consiste em uma variação do diâmetro do fio com uma gama de valores de 30% a 60% inferior ao diâmetro médio do fio. Este defeito pode causar a rotura do fio, o que provoca interrupções no processo de fabrico e possíveis danos da maquinaria [11].

O processo de formação destes tipos de defeitos pode ser visualizado na imagem seguinte (figura 8).

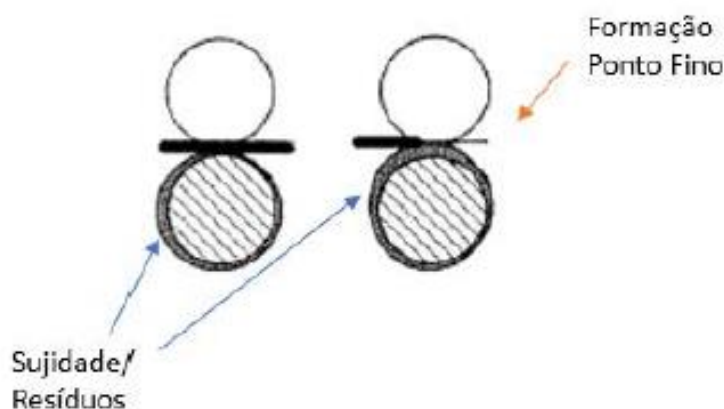


Figura 8- Processo exemplificativo da formação de pontos finos [3].

2.1.7.2. Pontos Grossos

Pontos grossos é um defeito que afeta o diâmetro médio do fio, sendo que este defeito consiste em uma variação do seu diâmetro encontrando-se este superior numa gama de valores entre 30% a 100% do diâmetro médio. Este defeito pode causar a quebra de agulhas nos processos de fabrico e também defeitos no produto final que pode provocar a rejeição do produto [11].

Tal como no defeito anterior demonstra-se o processo exemplificativo da formação de pontos grossos durante o processo de fabrico de fio têxtil (figura 9).

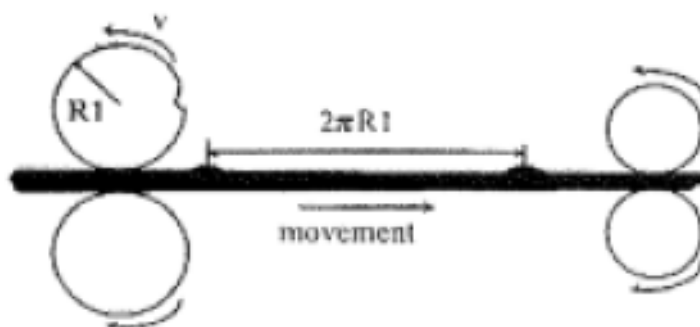


Figura 9- Processo exemplo de formação de pontos grossos [3].

2.1.7.3. Borbotos

Borbotos consistem num aumento do diâmetro médio do fio com valor superior a 140% e de curto comprimento. Este defeito provoca defeitos semelhantes aos pontos grossos, mas de uma forma mais pronunciada [11]. Este conceito apresenta-se na figura seguinte (figura 10).

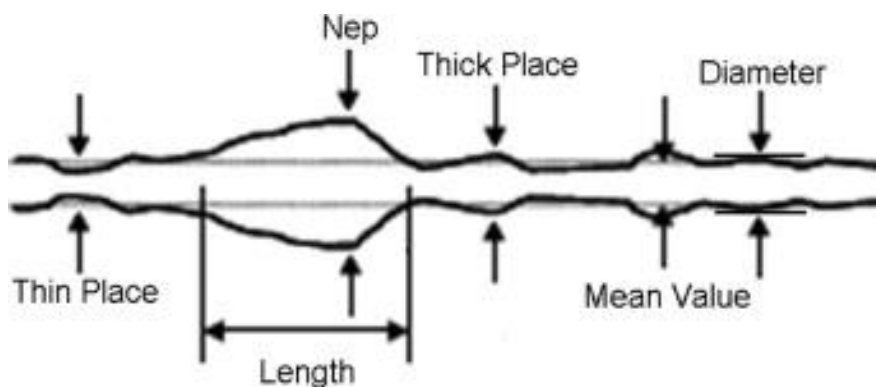


Figura 10- Exemplo defeitos do fio têxtil [12].

2.2. Técnicas de caracterização do fio têxtil na indústria

Após uma abordagem aos conceitos mais importantes para a análise do fio na indústria têxtil, torna-se importante um estudo sobre as técnicas já existentes no mercado para a extração das características em estudo nesta dissertação.

Verificou-se que a Uster é considerada uma referência na análise do fio têxtil e com a aquisição em 2009 da Zweigle, uma empresa de alto nível no fabrico de máquinas de teste à pilosidade do fio têxtil, criou um monopólio na área de análise de fio têxtil [13].

Considera-se pertinente verificar quais os métodos adotados pela empresa mais conceituada na área em estudo, de forma a estabelecer objetivos para o desenvolvimento do protótipo em discussão nesta dissertação.

Tendo em conta a gama de produtos disponíveis para a análise de fio têxtil por parte da Uster, verificou-se um maior uso de duas técnicas específicas.

Uma das técnicas foca-se na utilização de sensores capacitivos, estes são geralmente utilizados para a análise da massa linear do fio e a sua variação. Os sensores analisam a variação da capacitância perante a travessia do fio, geralmente faz uma análise de 8 em 8 mm [14].

A outra técnica utilizada recorre a sensores óticos, os quais são usados para análise da pilosidade, e efetua testes em comprimentos do fio de 2 mm ou inferior [14].

Foram selecionadas para estudo as duas máquinas da Uster mais pertinentes para esta dissertação, sendo uma a Uster Tester 6, esta tem um sensor capacitivo que mede a massa linear, a sua variação, a torção do fio e consegue avaliar essas características a velocidades de 800 m/min [1].

De forma a complementar a análise do equipamento mencionado anteriormente, Uster Tester 6, pode ser utilizada a máquina Uster *Zweigle* HL400 (figura 11) ou adicionar o sensor pertencente à última à Uster Tester 6, pois o fabricante oferece essas duas opções. Esse sensor ou a máquina Uster *Zweigle* HL400 permite a análise do coeficiente de pilosidade através de um sensor ótico a velocidades de 400 m/min [15].



Figura 11- Uster Zweigle HL400 [15].

2.3. Processamento de imagem

Neste capítulo discutir-se-á os softwares utilizados assim como a sua interação, os softwares são todos disponibilizados livres de custo na internet e de fácil obtenção.

Serão descritos alguns dos conceitos de processamento de imagem pois a sua compreensão foi necessária e essencial para o desenvolvimento deste projeto.

O processamento de imagem inclui três fases, sendo estas a importação da imagem através de sistemas de aquisição, a análise e manipulação da imagem e os resultados baseados na análise da imagem manipulada [16].

Para a aquisição de imagens digitais são necessários dois subsistemas, um sensor que responda à energia irradiada pelo objeto que se pretende capturar e um digitalizador que converte a saída do sensor para dados digitais [17].

Estes equipamentos são câmaras, podendo ser 2D, 3D e câmaras hiperespectrais, que podem ser classificadas conforme o tipo de aquisição de imagem, sendo estas varredura por linha ou por área. Em adição às câmaras é frequente utilizar óticas de forma a melhorar a imagem obtida, seja através do aumento do zoom ou distância de captura. Outro fator importante é a iluminação, deve providenciar uma iluminação uniforme e evitar a criação de sombras e clarões [18].

No entanto somente o equipamento de captura não é suficiente para a obtenção de imagens, é necessário o software para a aquisição de imagem, estes são muitos e variados oferecendo várias funcionalidades, alguns destes softwares são o NI-IMAQ, LabView e StViewer sendo este último o software utilizado nesta dissertação e do fabricante da câmara utilizada, SENTECH [19].

A análise e manipulação de dados inicia-se após a etapa de captura e pode ser subdividida em várias categorias dependendo do objetivo final. Existem diferentes áreas de desenvolvimento, tais como restauração de imagem, que consiste na redução de deformações e degradações introduzidas durante a formação da imagem digital [20].

Por norma os primeiros passos para a análise digital de imagens é a deteção dos limites de objetos, estes baseiam-se em técnicas de deteção de linhas ou arestas, para posteriormente ser guardada a informação dos limites e as suas coordenadas. Geralmente estes algoritmos são criados de forma a ter uma composição robusta a ruído e conseguem detetar arestas não completas [20].

O problema principal da detecção de objetos é a segmentação da imagem, estes algoritmos identificam regiões homogêneas da imagem, que quando bem aplicado cria regiões distintas correspondentes ao objeto e ao fundo da imagem. A segmentação da imagem pode ser dividida em três classes, sendo estas, locais onde são aplicadas técnicas locais dentro da região da imagem, globais, que engloba técnicas de segmentação com base em informação global da imagem, e por fim divisão e fundição, esta técnica aplica a proximidade do pixel e a homogeneidade da região para obter bons resultados de segmentação [20].

É importante salientar em que consiste uma imagem em termos de processamento de imagem, sendo o elemento constitucional de uma imagem o pixel e estando este guardado num array bidimensional, os seus valores são definidos em cada um dos elementos do array [21].

Existem diferentes complexidades de arrays dependendo das características da imagem, isto é, no caso de uma imagem binária os pixels apenas possuem valores de 0 ou 1, enquanto no caso de imagens de escalas de cinzentos os valores dos pixels variam de 0 a 256. Nas imagens a cores o valor dos pixels é semelhante ao da escala de cinzentos, no entanto existem três arrays bidimensionais, cada um contem o valor de cada uma da escala de cores RGB para cada pixel [21].

No desenvolvimento do software nesta dissertação foram usadas imagens em formato bmp, pois o formato da imagem importada influência nos detalhes presentes da imagem.

Este tipo de formato é o mais aproximado do conceito de imagem explicado anteriormente, pois os seus valores são codificados para binário como longas sequências de números contendo o valor de cada pixel. É importante referir que as imagens em formato bmp não são comprimidas e conseqüentemente o seu tamanho é maior comparativamente a outros formatos disponíveis, estas apresentam qualidade superior, fator este bastante relevante para este projeto [22].

O processamento e análise de imagem experienciou um crescimento acentuado nas últimas três décadas, existe uma magnitude elevada de algoritmos na literatura [20]. Nesta tese serão focados os algoritmos utilizados para a área de interesse em estudo.

No decorrer da pesquisa necessária para o desenvolvimento desta dissertação deparou-se com a existência de artigos e projetos utilizando processamento de imagem para a obtenção das características do fio têxtil, e verifica-se variados métodos de aplicação dos conceitos em estudo.

Verifica-se o foco de muitas das investigações na obtenção de apenas um dos parâmetros, também diferentes métodos de obtenção da imagem, como por exemplo o uso de microscópios [23].

Outro fator importante é a utilização de diferentes algoritmos para a obtenção dos mesmos parâmetros, o que demonstra a alta versatilidade da utilização de processamento de imagem para aplicações de caracterização de fio têxtil em aplicações industriais.

2.3.1. IDE – Plataforma de desenvolvimento

Neste projeto foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Visual Code (IDE), que permite o desenvolvimento de código em várias linguagens de programação, no entanto devido a fatores referidos posteriormente foi utilizada a linguagem de programação C++.

A linguagem de programação C++ consiste em uma linguagem de programação estandardizada que é compilada diretamente para código máquina, isto faz desta linguagem uma das linguagens mais rápidas existentes no mundo.

Esta linguagem tem a vantagem de ser extremamente portátil pois muitos IDE 's suportam esta linguagem em várias plataformas, para além destes fatores tem um elevado suporte de bibliotecas que permite o desenvolvimento de código que poderia não ser possível por ser extremamente complexo de produzir, o facto de ser compatível até com linguagem C permite também o uso de bibliotecas desta linguagem sem ser necessário alterações das bibliotecas.

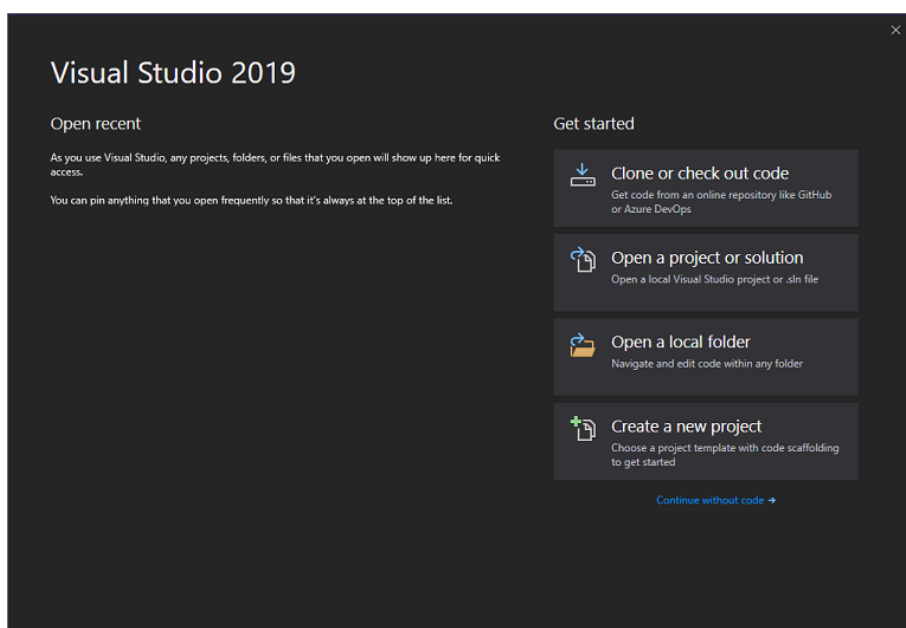


Figura 12- Visual studio 2019 [24].

2.3.2. Open CV

Este componente é um componente essencial para o desenvolvimento deste projeto, este é uma biblioteca de processamento de imagem criada para simplificar e permitir o desenvolvimento de programas focados em processamento de imagem.

Esta biblioteca foi desenvolvida para linguagem de programação C++ e Python, no entanto no projeto em questão foi utilizada a versão disponível para C++, uma vez que permite uma execução mais rápida do código.

O OpenCV define conceitos relacionados com o processamento de imagem tais como cores e sub-rotinas de código, que permite a utilização de conceitos matemáticos de manipulação de pixéis, de forma a reduzir a complexidade de escrita do código.

Algumas das funções utilizadas ao longo do desenvolvimento do projeto serão descritas de seguida, assim como alguns dos conceitos utilizados para estas funções.



Figura 13- Biblioteca OpenCV [25].

2.3.2.1. Kernel/Elemento estrutural

Kernel ou também chamado de elemento estrutural é um elemento utilizado em grande parte das operações morfológicas de processamento de imagem, dado isto é considerado de grande interesse explicar o que é, de forma a melhorar a compreensão de conceitos futuros.

Um kernel é uma pequena matriz de números utilizada para aplicar operações morfológicas, estes kernel's podem ter diferentes tamanhos e padrões de números, o que origina diferentes resultados nas operações realizadas [26].

Nas operações realizadas ao longo deste trabalho foi maioritariamente utilizado um kernel 16x16 com os seus elementos de valor 1, pois nas operações realizadas ao longo deste trabalho foi o mais indicado.

2.3.2.2. *Thresholding*

Thresholding ou também referido como linearização consiste na segmentação de uma imagem de forma a ser mais simples a sua análise. No processo de linearização transforma-se uma imagem de cores ou de escala de cinzentos numa imagem a preto e branco, isto é, transforma-se a imagem em pixéis com valores de 1(branco) ou 0(preto) de acordo com os elementos presentes na imagem.

Existem diferentes métodos de linearização que são possíveis de aplicar, visto que dependendo do que se pretende obter da imagem pode-se definir o limite de linearização, isto é definir quais os valores dos pixéis a admitir para a conversão de 0 ou 1 [27].

No projeto em questão utilizou-se o método de valor de linearização automática global utilizando o método de Otsu, este método de linearização permite uma definição automática do valor de linearização sem que seja necessário definir um valor manualmente, este opera diretamente em imagens em tons de cinzento em que obtém o valor de linearização minimizando as variâncias entre classes. De referir também que este método de linearização automática é geralmente utilizado para a remoção do fundo das imagens, sendo este o interesse principal neste projeto. Uma vez que só se pretende avaliar o fio e a remoção do fundo da imagem é essencial, este método foi a melhor solução encontrada e dos métodos mais rápidos em processamento [28].

Este método avalia o histograma da imagem em escala de cinzentos e para cada valor de cinzento (1 até 256) calcula a probabilidade de cada classe com a fórmula seguinte [28].

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \quad q_2(t) = \sum_{i=t+1}^L P(i) \quad (2.1)$$

Calcula-se também as médias de classes (2.2) e as variâncias das classes (2.3) (2.4) apresentadas nas fórmulas seguintes, este processo tem de ser efetuado para o cálculo final da variância entre classes (2.5), a qual é também demonstrada de seguida [28].

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{iP(i)}{q_1(t)} \quad \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^I \frac{iP(i)}{q_2(t)} \quad (2.2)$$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_1(t)} \quad (2.3)$$

$$\sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 \frac{P(i)}{q_2(t)} \quad (2.4)$$

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (2.5)$$

Com este último cálculo efetuado é possível escolher o valor mais baixo da variância entre classes, de referir que todo este processo é feito automaticamente através do uso do OpenCV não sendo necessário inserir os cálculos no código. Esta transformação é demonstrada nas figuras seguintes (figura 14/15).



Figura 14-Imagem escala de cinzentos [28].



Figura 15- Imagem linearizada pelo método de Otsu [28].

2.3.2.3. Erosão/Dilatação

Estas duas operações morfológicas são de grande importância pois são aplicadas outras operações neste projeto baseadas nestas duas operações, pois são consideradas operações básicas.

Na operação morfológica de erosão a intenção é encolher a área de interesse (pixéis brancos), esta operação é por norma realizada em imagens já linearizadas, no entanto também pode ser utilizada em imagens de escala de cinzentos. Esta operação utiliza um kernel como elemento estrutural definido à posteriori, o qual é percorrido por todos os pixéis da imagem e se algum dos pixéis em volta do pixel em estudo for constituinte do fundo e estiver englobado no kernel, o pixel em questão é convertido a fundo caso contrário fica igual [29].

No caso da operação morfológica de dilatação esta é utilizada para aumentar a área de estudo em questão, utilizada maioritariamente em imagens linearizadas, no entanto também pode ser utilizada em imagens de escala de cinzentos. Esta operação é semelhante à operação de erosão no entanto faz o contrário, utiliza um kernel que é percorrido por todos os pixéis da imagem, no entanto este é aplicado a pixéis de fundo que caso possuam algum pixel da área de interesse na proximidade e que esteja compreendido na área do kernel, este pixel é convertido em um pixel branco equivalente a área de interesse, mas se o pixel em estudo não possuir nenhum branco na região englobada pelo kernel então este mantém-se preto correspondente a fundo [30].

De forma a uma melhor compreensão sobre o conceito explicado anteriormente serão apresentadas de seguida imagens exemplificativas de cada uma das operações morfológicas, para que o seu entendimento seja mais aprofundado (figura 16/17).

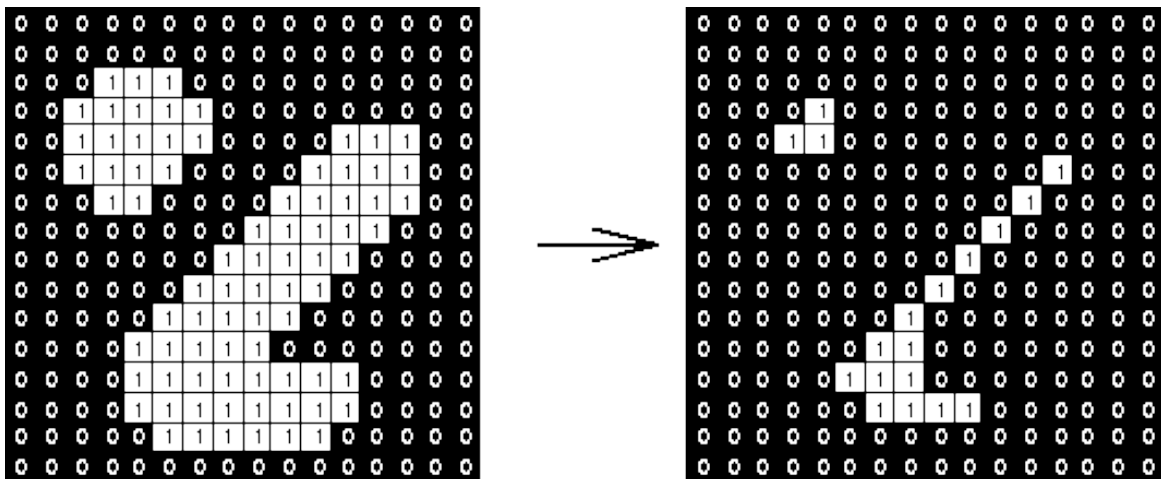


Figura 16- Erosão da imagem exemplo [29]

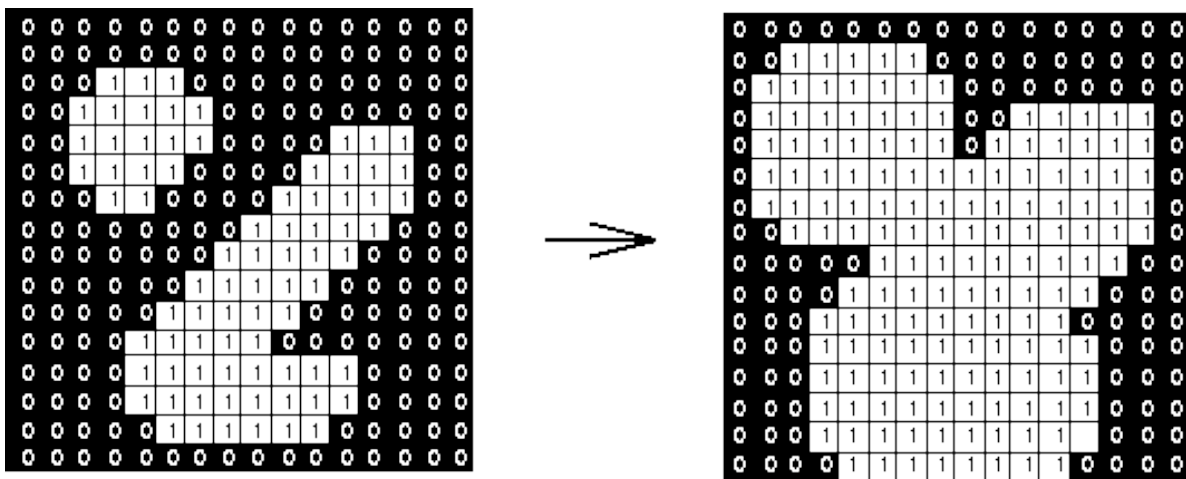


Figura 17- Dilatação exemplo [30].

2.3.2.4. Opening/Closing

Estas duas operações morfológicas são de extrema importância, pois são utilizadas para remover alguns tipos de ruído que aparecem nas imagens, no contexto deste trabalho são ainda mais pois é a partir destes métodos que se consegue extrair a pilosidade do fio têxtil, de forma que se consiga analisar o diâmetro do fio. Para uma melhor compreensão do uso destas operações no contexto deste trabalho, será descrito mais explicitamente o seu método de funcionamento, assim como o

motivo da sua aplicação neste trabalho. Dado serem duas operações morfológicas diferentes, mas relacionadas, será descrito cada uma delas de modo independente de forma a uma melhor compreensão de cada uma das operações.

A operação morfológica de opening é uma operação realizada em imagens linearizadas (no entanto também pode ser aplicada em imagens de escala de cinzentos), de forma a remover pixels claros que causariam o ruído chamado de "salt noise" nas extremidades das regiões de transição entre fundo e elemento da imagem [31].

Esta operação morfológica de opening consiste em usar um kernel, o qual é definido à posteriori, este deve ser cuidadosamente escolhido pois se for mal selecionado pode remover elementos da imagem que não eram supostos de ser removidos, o que provoca resultados errados em operações posteriores [31].

Esta operação morfológica é composta por duas outras operações morfológicas sendo elas a erosão e a dilatação, estas são aplicadas consecutivamente utilizando o mesmo kernel, no entanto a ordem tem elevada importância, pois se trocada efetua outra operação morfológica, a ordem das operações são primeiro a operação de erosão e depois a operação de dilatação [31].

De referir que as operações morfológicas de opening e closing são idempotentes, isto é mesmo que aplicadas mais que uma vez com o mesmo kernel o efeito desejado não melhora, se forem realizados dois openings utilizando o mesmo kernel após a primeira operação, a segunda ou consecutivas após a primeira, não têm qualquer efeito sobre a imagem e o mesmo acontece com a operação de closing [31].

A operação de closing é semelhante a operação de opening, no entanto esta operação é realizada para remover ruído correspondente a pixels de fundo presentes na área de interesse da imagem chamado também de "Pepper noise". Nesta operação realiza-se a primeiro a operação morfológica de dilatação e depois a operação de erosão utilizando o mesmo kernel [32].

Na operação morfológica de closing a intenção é remover o ruído presente na área de interesse em análise, ou no caso de imagens com fraca qualidade esta operação pode ser muito útil. De forma a se compreender melhor as operações morfológicas referidas nesta secção apresenta-se as seguintes imagens de exemplo, para demonstrar uma representação visual destas operações morfológicas (figura 18/19).

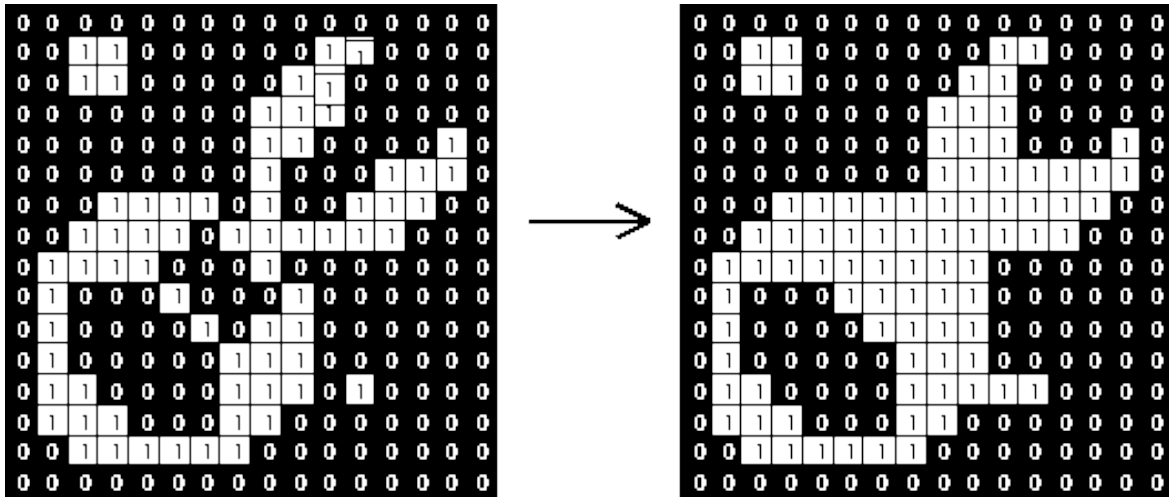


Figura 18- Exemplo de closing [32]

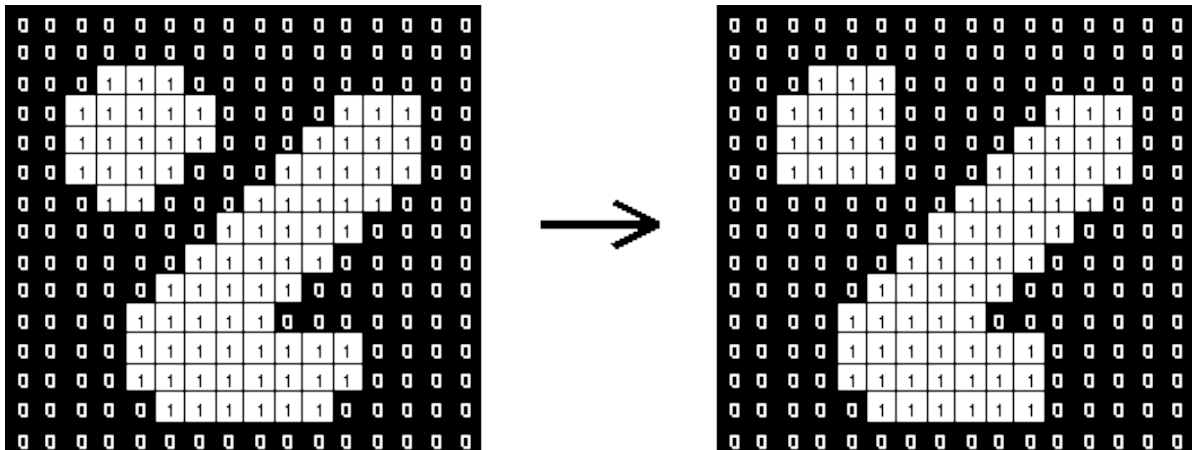


Figura 19- Exemplo de opening [31].

2.3.2.5. Skeletonization

Skeletonization consiste em operação morfológica relativamente extrema, esta operação é semelhante a outra operação morfológica intitulada de thinning, no entanto esta última consiste em operações diferentes e o resultado não é o especialmente desejado, daí a escolha do método ter sido Skeletonization.

Esta operação morfológica consiste na redução da área de interesse a uma espécie de esqueleto da área original, representativo das dimensões e forma da área de interesse com linhas de um pixel [33].

A operação é aplicada em imagens já linearizadas e descreve-se pela aplicação sucessiva de operações de erosão até que na área de interesse fique uma representação em forma de linhas

com a espessura de 1 pixel, estas que correspondem às áreas de interesse com comprimentos equivalentes às dimensões e formato da área original [33].

Dadas estas características, esta operação vai ser essencial para obter uma informação crucial do fio têxtil que caso não fosse utilizada seria bastante mais complicada a obtenção, existem diferentes algoritmos de Skeletonization, no entanto o algoritmo utilizado não provoca diferenças significativas no resultado final, apenas afeta a velocidade de computação da operação, o que devido à forma de como o caso em estudo é aplicado não é um fator de grande relevância.

Tal como demonstrado nas definições anteriores apresenta-se de seguida uma representação visual do efeito de Skeletonization, de forma a ajudar na melhor compreensão deste conceito o qual é de elevada complexidade (figura 20).

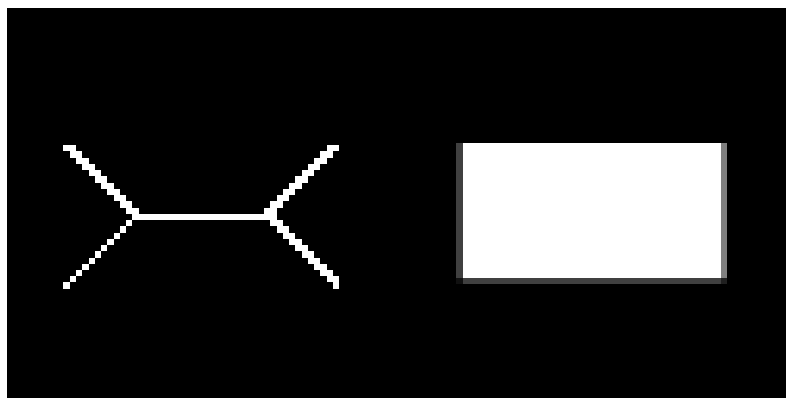


Figura 20-Exemplo de Skeletonization [33].

3. Desenvolvimento do sistema

Este projeto pretende criar uma forma alternativa de análise de fio têxtil com recurso a componentes de baixo custo e dimensões portáteis, para tal a componente do processamento de imagem é uma vertente essencial para o seu desenvolvimento. Assim neste capítulo serão descritos e explicados todos os procedimentos até obtenção da versão final do software.

3.1. Pré-requisitos

Inicialmente foi necessário um estudo sobre o fio têxtil e quais os parâmetros importantes de retirar para análise, sem essa primeira abordagem não seria possível estabelecer quais os requisitos necessários para o desenvolvimento deste projeto.

Através do estudo do fio têxtil e da revisão bibliográfica presente no capítulo 2 desta dissertação, foi possível perceber que as características mais importantes a retirar para análise na indústria têxtil são a massa linear, volume específico, defeitos, borbotos e pilosidade. Assim foram estabelecidos os requisitos mais importantes do software em desenvolvimento para concretização dos objetivos definidos para este projeto.

Como referido anteriormente, este projeto desenvolveu-se em duas etapas, na primeira, foi utilizada uma câmara de baixa resolução, onde foram realizadas as primeiras abordagens ao desenvolvimento dos algoritmos computacionais, desenvolvido o código para a importação das capturas e o tratamento das imagens necessário para a obtenção das características do fio têxtil em objetivo nesta dissertação.

Numa segunda fase foi utilizada uma câmara de alta resolução, sendo esta da ONRON, onde foi necessária uma aprendizagem sobre o funcionamento do programa que controla as definições da câmara e permite a captura de imagens, o programa StViewer. Foi fundamental aplicar um “trigger” manual e ajustar a exposição da câmara para capturas a 4.2 m/s.

Para a inicialização de todo este processo procedeu-se a um planeamento de forma a tentar especificar uma ideia inicial de como teria de ser estruturado o processo de captura de imagem, para tal considerou-se que o melhor método para obter uma imagem sólida seria atravessar o fio paralelamente à câmara, de forma constante, sem grandes oscilações. Isto porque a oscilação pode criar uma variação na distância do fio à câmara, o que provoca uma imagem desfocada, que proporciona um processamento ineficiente da imagem.

Já a oscilação perpendicular ao movimento de travessia do fio tem de ser mantida dentro de valores máximos, uma vez que se esta oscilação for demasiado alta arrisca-se que o fio saia do campo de visão da câmara, tornado impossível a sua análise.

Outro fator importante para a captura da imagem será o contraste entre o fio e o fundo, uma vez que se este não for suficientemente alto podem ser perdidos detalhes do fio, pois se a diferenciação entre o fundo e fio não for evidente impossibilita uma análise concreta do fio.

Quanto ao processamento de imagem é importante a importação das capturas do fio para o software, o desenvolvimento de algoritmos para trabalhar a imagem de forma que permita a possibilidade de extrair os dados necessários para análise.

Após uma investigação foi possível identificar os algoritmos necessários para a obtenção das características do fio têxtil, inicialmente e após o processo de importação da imagem para o software, são desenvolvidos os algoritmos necessários para a extração das características. Este processo foi iniciado convertendo as imagens para escala de cinzentos, isto porque para segmentação da imagem as cores não são necessárias e conduz a uma simplificação do processo. Com a segmentação efetuada foi necessária a remoção de características do fio que só iriam ser analisadas em processos posteriores, e após este processo foram criados os algoritmos para obtenção dos parâmetros de massa linear, volume específico e diâmetro do fio. Com estes dados foi possível desenvolver os algoritmos para a obtenção dos defeitos do fio.

Para retirar o parâmetro da pilosidade do fio os algoritmos utilizados foram diferentes, uma vez que a intenção é salientar os fios que estendem para fora do núcleo. Após o desenvolvimento destes algoritmos foi possível a união aos algoritmos anteriormente desenvolvidos, de forma à criação dos algoritmos para o cálculo deste parâmetro.

Assim nos subcapítulos seguintes serão descritos os procedimentos realizados até à obtenção dos resultados finais, assim como uma discussão mais aprofundada dos tópicos supramencionados.

3.2. Procedimentos iniciais

Para o desenvolvimento do código de processamento de imagem é necessária uma compreensão sobre todas as questões que englobam este projeto, assim como uma investigação sobre os requisitos necessários para a criação de um software de análise funcional.

De forma a uma melhor compreensão dos conceitos usados ao longo do projeto iniciou-se o processo recorrendo a uma câmara de baixo custo facilmente obtida online para os testes iniciais.

Inicialmente foram tiradas fotos a excertos de fio de forma a inspecionar visualmente a qualidade de imagem obtida e que fatores ambientais teriam de ser controlados de forma a ser possível a análise posterior da imagem.

Descobriu-se que o controlo da luminosidade ambiental acessível afeta negativamente a qualidade da imagem, assim como o contraste de fundo do fio em análise e a distância deste ao fundo. De forma a atenuar estes problemas foi inicialmente utilizada uma caixa para criar uma camara escura não refletiva, e assim ser possível obter imagens com qualidade suficiente para serem processadas posteriormente e obter-se as características do fio têxtil (figura 21).



Figura 21- Protótipo de testes

Para estes procedimentos iniciais utilizou-se uma câmara microscópica conectada por USB, esta tem uma resolução de 640/480 pixéis e possui também iluminação incorporada de forma a ajudar na captura de imagens [24]. A câmara utilizada pode ser visualizada na figura seguinte (figura 22).



Figura 22- Câmara Inicial de Testes [34].

Esta câmara foi utilizada inicialmente de forma a se conseguir confirmar os conceitos utilizados e verificar se os conceitos em estudo seriam possíveis de se obter ou não. Deparou-se com alguns problemas no uso desta câmara, uma vez que a definição e resolução não são suficientes, a qualidade da imagem não permitiu a extração de alguns dos parâmetros do fio têxtil, tais como pilosidade e passo de torção.

Com esta câmara verificou-se a capacidade de obtenção do diâmetro médio do fio e conseqüentemente os parâmetros de massa linear e volume específico. Foi possível obter os defeitos do fio através da comparação da divisão da imagem em cinco secções e comparar o diâmetro obtido em cada uma das secções com o diâmetro médio.

Esta câmara, no entanto, produziu resultados aceitáveis na medição dos parâmetros de diâmetro médio, massa linear, volume específico e dos defeitos do fio, no entanto o ajuste do zoom necessário para a captura da imagem é complicado, uma vez que a câmara move-se sempre que se ajustava o zoom desfocando a imagem e perdendo definição.

No entanto para o projeto em estudo já se tinha em vista o uso de outra câmara com uma melhor resolução, esta utiliza a conexão por USB, no entanto a sua resolução é de 1440/1080 pixels. Esta possui uma captura de imagem a cerca de 200frames por segundo e um dos pontos cruciais, que ajuda na obtenção de melhores detalhes na imagem do fio, é a sua lente, esta tem um zoom bastante mais alto, mas em contrapartida a área de captura é bastante mais pequena, o que para

além de outros fatores impede a captura do passo de torção, no entanto estes detalhes serão descritos mais aprofundadamente nos resultados experimentais deste trabalho [35].

A câmara é do fabricante OMRON uma das empresas de equipamento de automação mais conceituada do mundo, esta câmara pode ser controlada a partir do software StViewer da SENTECH, este controla a captura das imagens para serem posteriormente analisadas pelo programa criado no âmbito deste trabalho. De seguida são apresentadas figuras ilustrativas da câmara e da lente utilizada (figura 23/24).



Figura 23-Câmara do fabricante Omron [36].



Figura 24- Conjunto câmara com lente.

O software da SENTECH foi necessário para uma configuração inicial da câmara utilizada para o projeto, para este processo a câmara tem de estar conectada ao computador que a vai utilizar.

No programa foi necessário definir o tipo de “trigger” a ser utilizado, inicialmente utilizou-se um “trigger” manual para a captura esporádica de imagens e testar o seu funcionamento, mas posteriormente pode ser definido para ser acionado pelo sistema sem a necessidade de captura manual.

O “trigger” manual foi definido nas opções de captura do programa SENTECH como “trigger” por software, desta forma o programa de controlo da câmara gera um botão para a captura de imagens, este mesmo processo pode ser verificado na figura seguinte (figura 25).

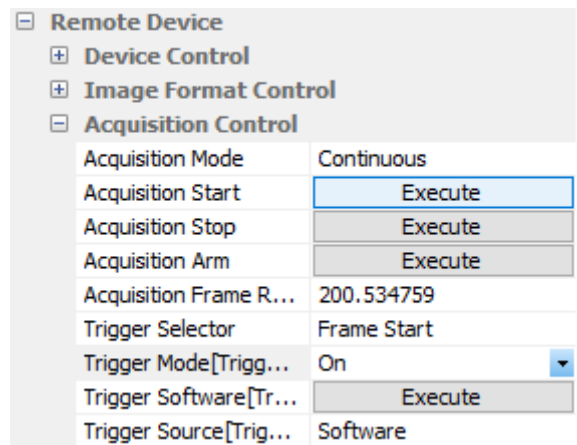


Figura 25- Configuração do trigger manual no programa da SENTECH.

Este software também foi utilizado para averiguar a imagem a ser capturada, uma vez que pode ser usado em modo vídeo, de forma que seja possível analisar a imagem visualmente e ajustar os parâmetros de luminosidade, posicionamento do fio e distância focal.

Outros ajustes como tempo de captura e tempo de exposição podem ser definidos neste software assim como a velocidade de captura. No entanto estes ajustes requerem análise e conhecimento aprofundado de conceitos de captura e controlo das condições ambientais cuidadosamente.

No caso em estudo o tempo de exposição é uma configuração essencial pois permite a captura de imagens nos limites máximos de captura, no entanto as condições de luminosidade não foram suficientes o que impossibilitou a captura de imagens fiáveis à velocidade de 200 capturas por segundo, pois as imagens obtidas durante a movimentação do fio a 4.2 m/s eram completamente

desfocadas e sem qualquer tipo de definição, tal como se pode verificar na imagem seguinte (figura 26).

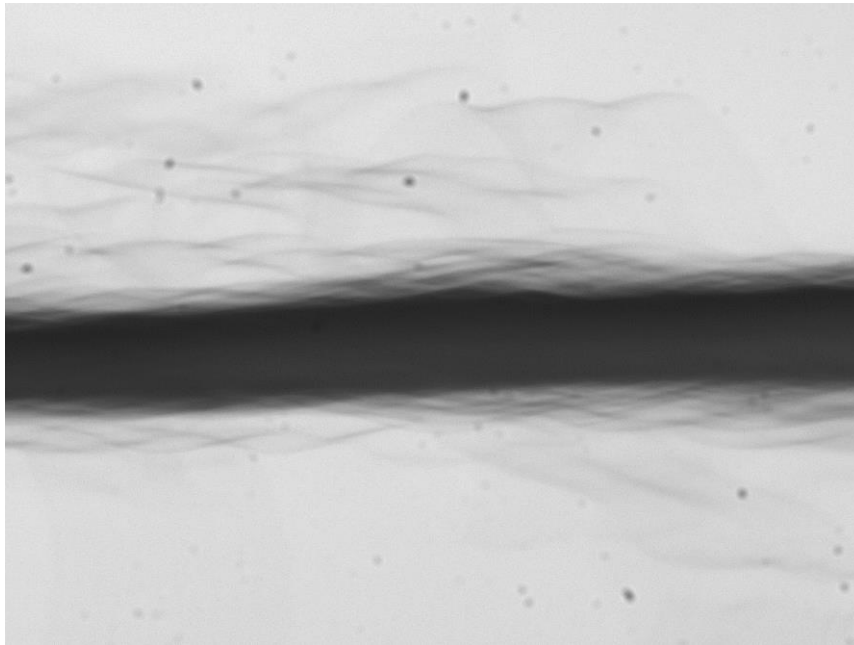


Figura 26- Exemplo de imagem capturada a 4.2 m/s (zoom x0.7).

O processo de captura é iniciado com o posicionamento da câmara, posteriormente através do software da Sentech é efetuada a captura que de seguida é importada para o software Visual Studio. Este ciclo está representado no seguinte diagrama de blocos.

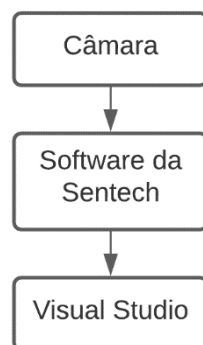


Figura 27- Diagrama de blocos representativo do processo inicial de captura.

Após a configuração da camera é importante demonstrar a importação das bibliotecas do OpenCV, assim como a sua configuração.

Uma vez que o IDE utilizado é um dos fatores mais importantes no contexto deste trabalho e o desenvolvimento de software foi o ponto mais crucial deste projeto, considerou-se pertinente a explicação da configuração do IDE para que fosse possível o seu desenvolvimento.

De forma a ser possível a configuração do IDE com as bibliotecas do OpenCV, é necessário o download do IDE Visual Studio e das bibliotecas do OpenCV.

Após o download e a instalação de ambos os componentes inicia-se a configuração das bibliotecas, para que se possa fazer este passo é necessário adicionar as variáveis do sistema operativo e o diretório onde se encontram os ficheiros da biblioteca em questão, como se pode verificar na imagem seguinte (figura 28) [35].

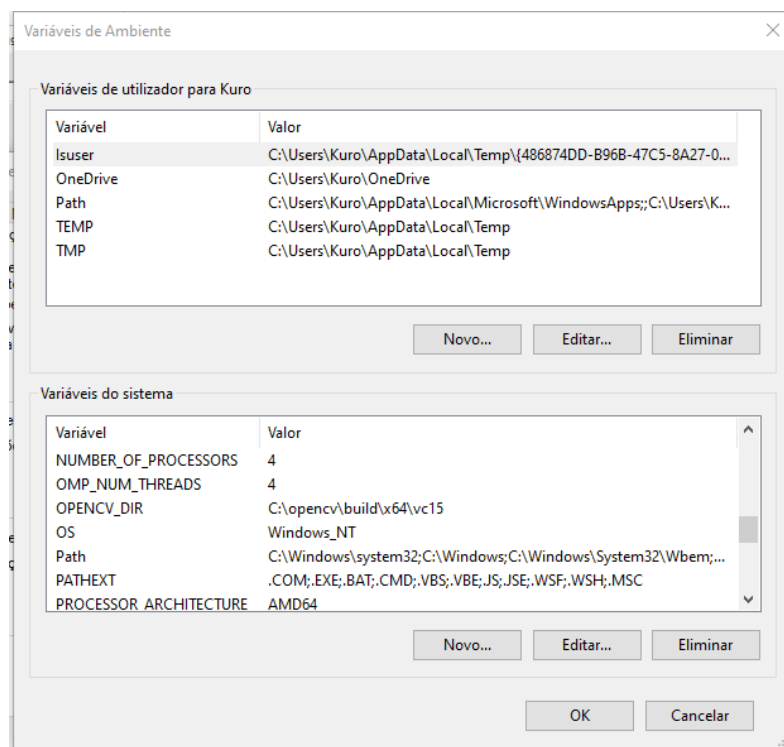


Figura 28- Adição das variáveis de sistema.

Após esta etapa é necessário a configuração do IDE para que se consiga utilizar as bibliotecas já instaladas no desenvolvimento do software. De início é necessário criar um projeto no IDE e escolher a linguagem de programação C++, como é apresentado na imagem seguinte (figura 29).

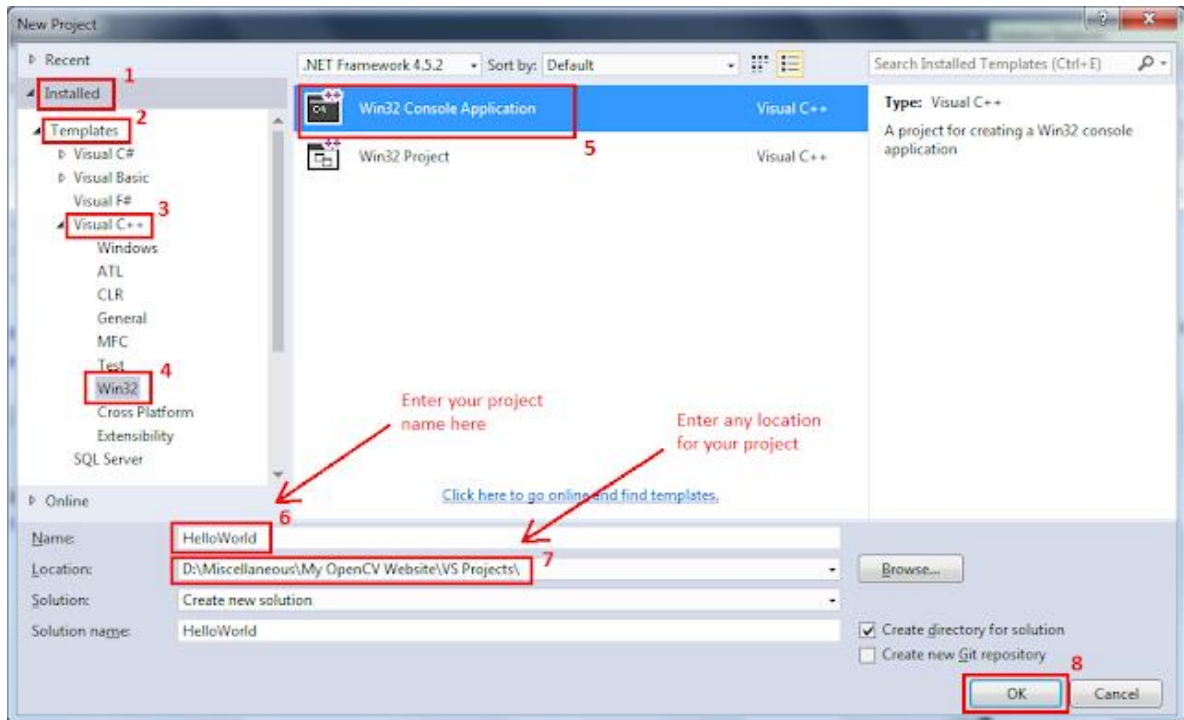


Figura 29- Criação do projeto de C++ [38].

Após a criação do projeto inicia-se a inserção das bibliotecas, onde se tem que ir às propriedades do projeto criado como se pode verificar na figura seguinte (figura 30).

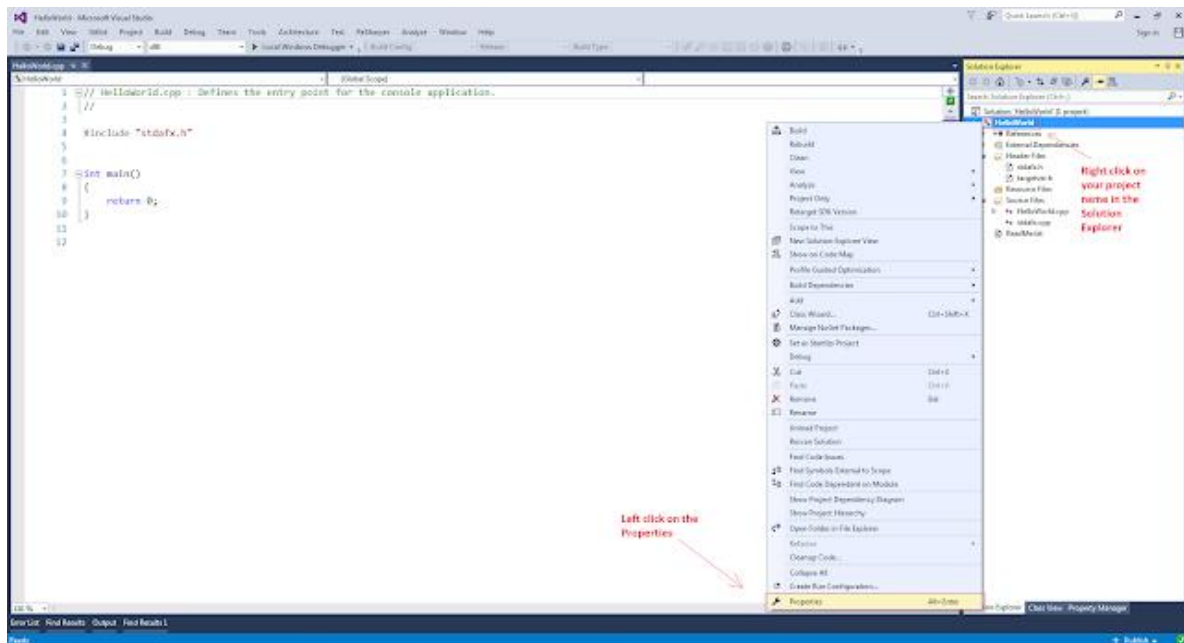


Figura 30-Propriedades do projeto [38].

De seguida nas propriedades do projeto é necessário escolher a opção de todas as configurações e a plataforma de desenvolvimento com “x64”, demonstrado de seguida(figura 31).

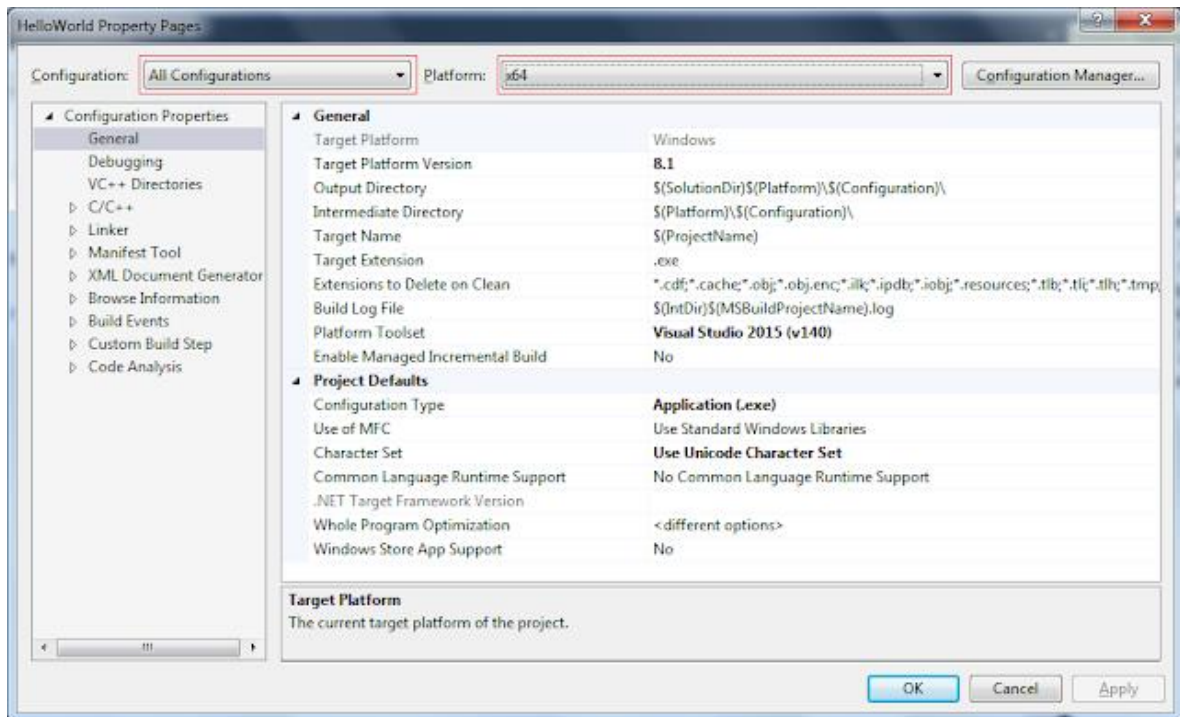


Figura 31- Seleção da plataforma e configurações [38].

Posteriormente é necessário selecionar as configurações das propriedades, depois em “C/C++” e na opção “General”. Que após esta seleção, na janela principal aparece a opção de incluir os diretórios das bibliotecas adicionais, como se pode verificar na imagem apresentada de seguida (figura 32).

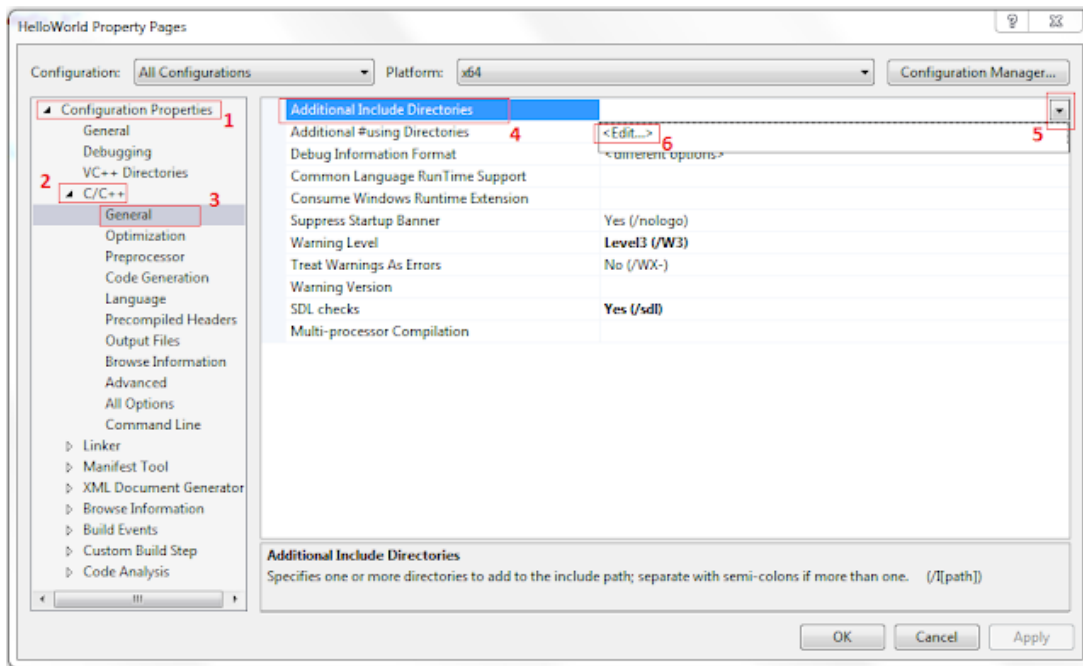


Figura 32- Localização da opção de adição de bibliotecas adicionais [38].

Após a adição das bibliotecas é necessário configurar as ligações do IDE com as bibliotecas, tal como na configuração anterior é necessário clicar na secção geral da opção “linker” que se encontra nas configurações das propriedades.

Já nesta opção na janela principal é necessário editar os diretórios adicionais das bibliotecas de acordo com a imagem seguinte (figura 33).

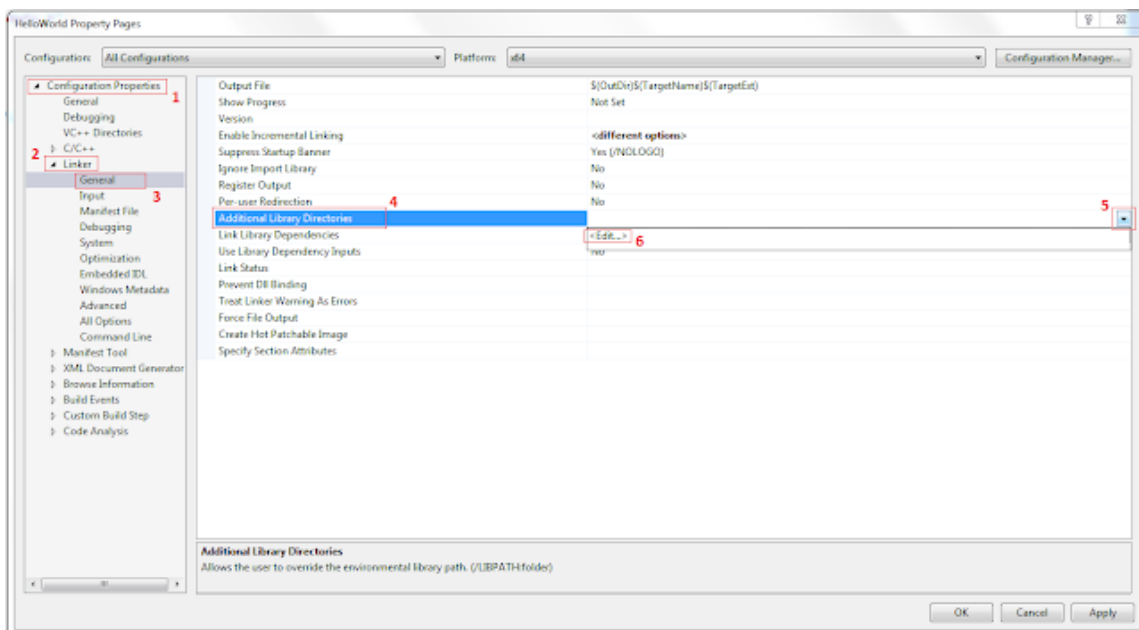


Figura 33- Bibliotecas do "Linker" [38].

De seguida é necessário configurar o ambiente de “debug”, nas configurações das propriedades na secção “debugging” e depois na opção de ambiente, seleccionar editar, de forma a poder adicionar o diretório das bibliotecas, como se pode verificar na imagem seguinte (figura 34).

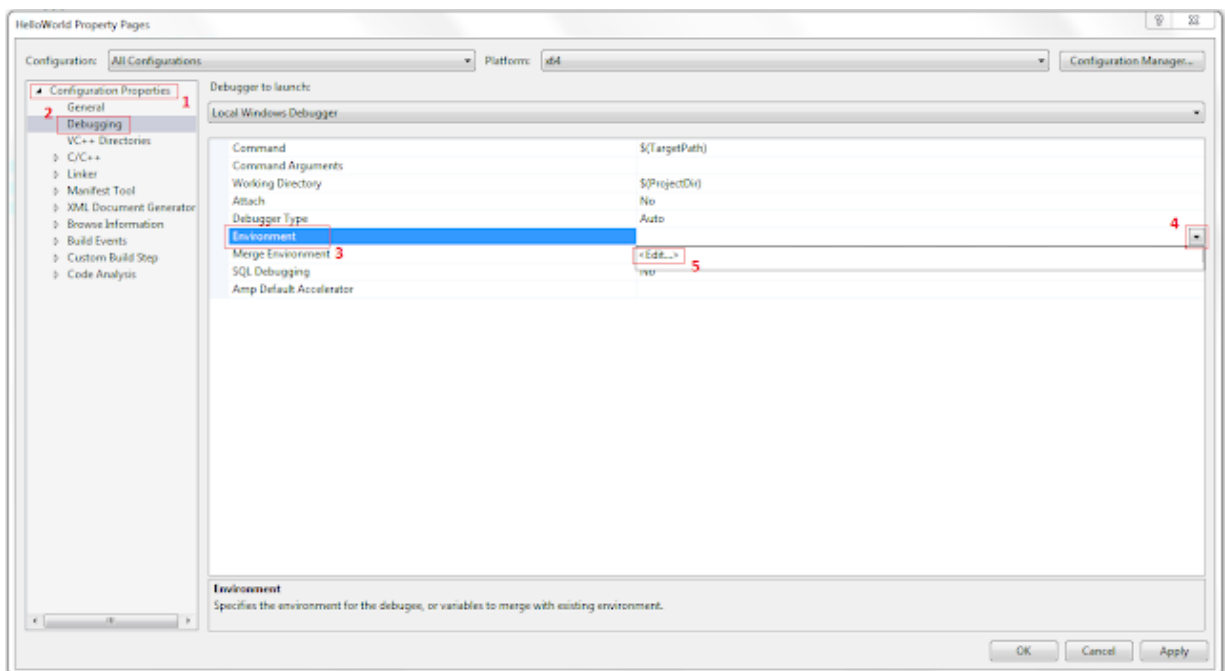


Figura 34- Configuração do ambiente de "debug" [38].

De seguida selecciona-se a opção do gestor de configurações e dentro deste menu selecciona-se a plataforma ativa de solução e a plataforma do projeto como “x64” como se pode verificar nas duas imagens seguintes (figura 35/36).

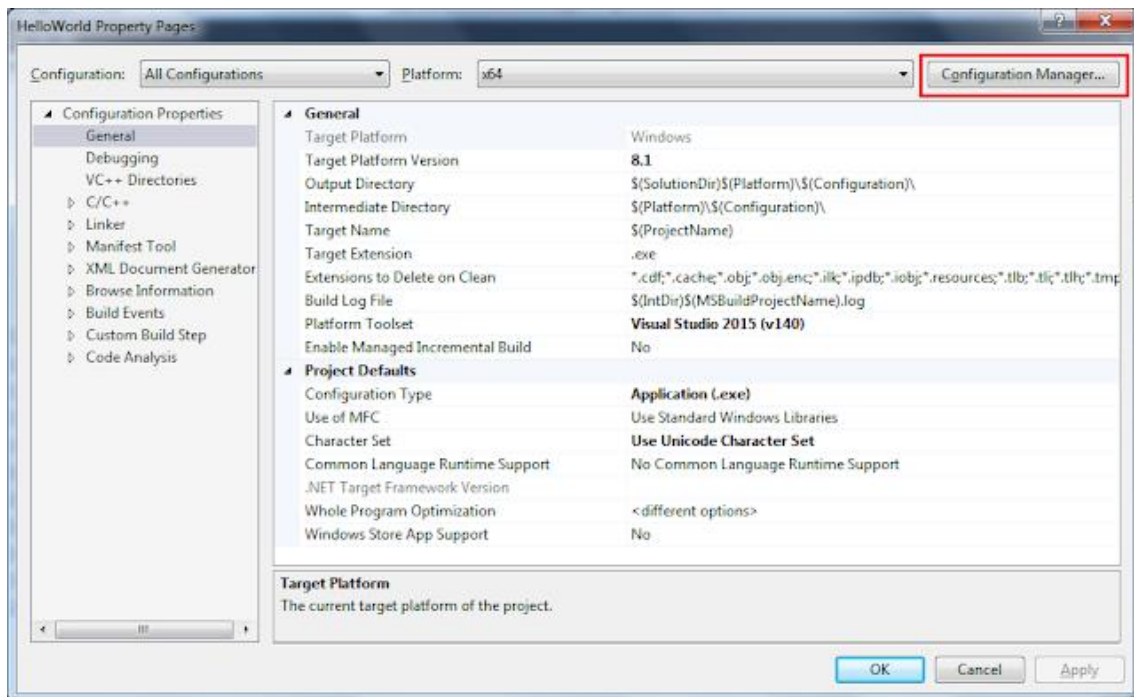


Figura 35- Gestor de configurações [38].

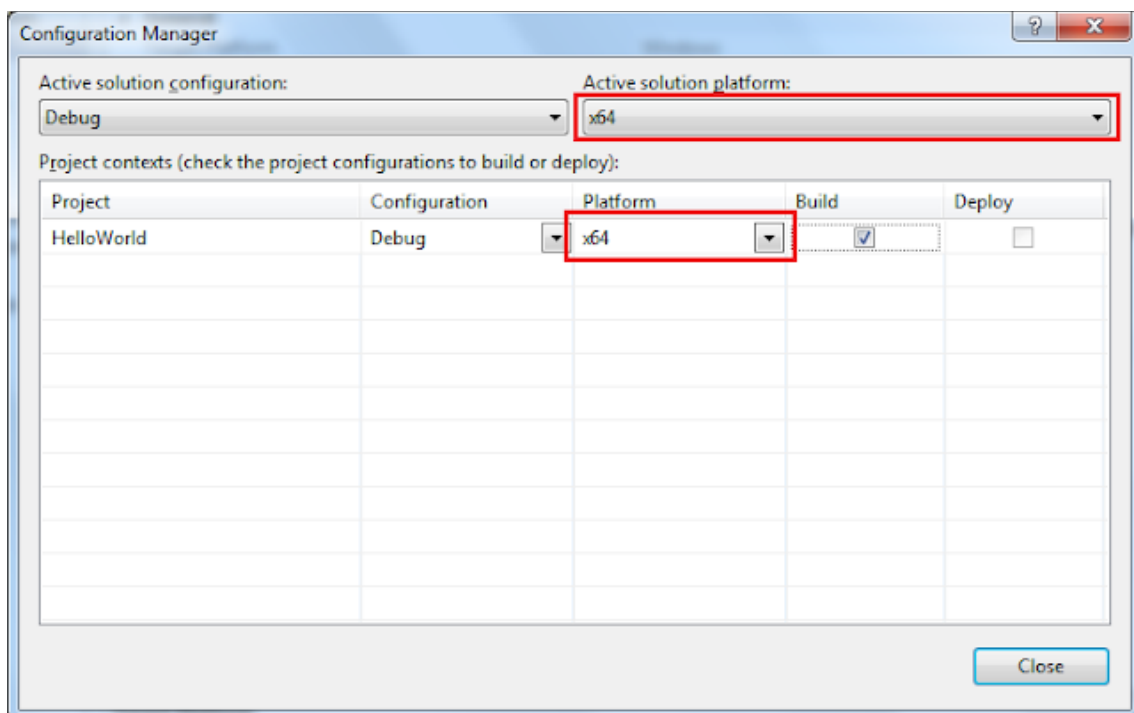


Figura 36- Seleção do tipo de plataforma [38].

Posteriormente passa-se a configuração das opções de “debug”, selecionando esta opção na janela das propriedades do projeto, de acordo com a imagem seguinte (figura 37).

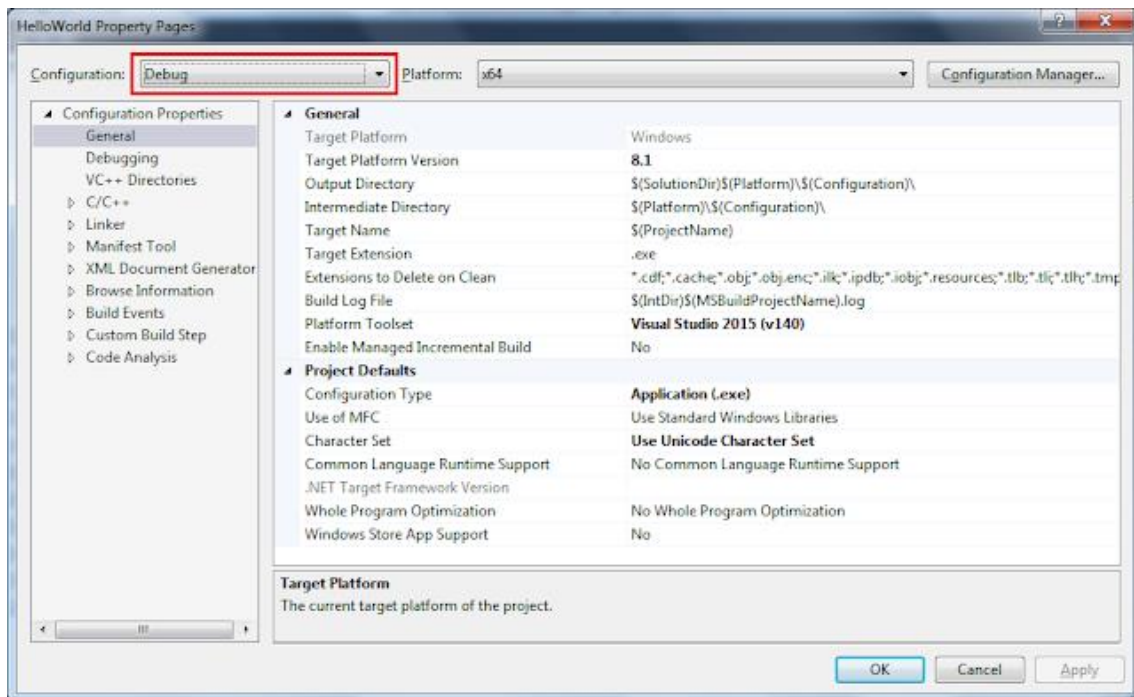


Figura 37- configuração das propriedades de "debug" [38].

Nesta opção é necessário selecionar as opções de propriedades de configurações depois "linker" e por fim "input", para que na janela principal se selecione a opção de dependências adicionais e se possa editar. Para esta configuração é necessário o nome do ficheiro ".lib" que se encontra no diretório de instalação do OpenCV. Esta operação está descrita na imagem seguinte (figura 38).

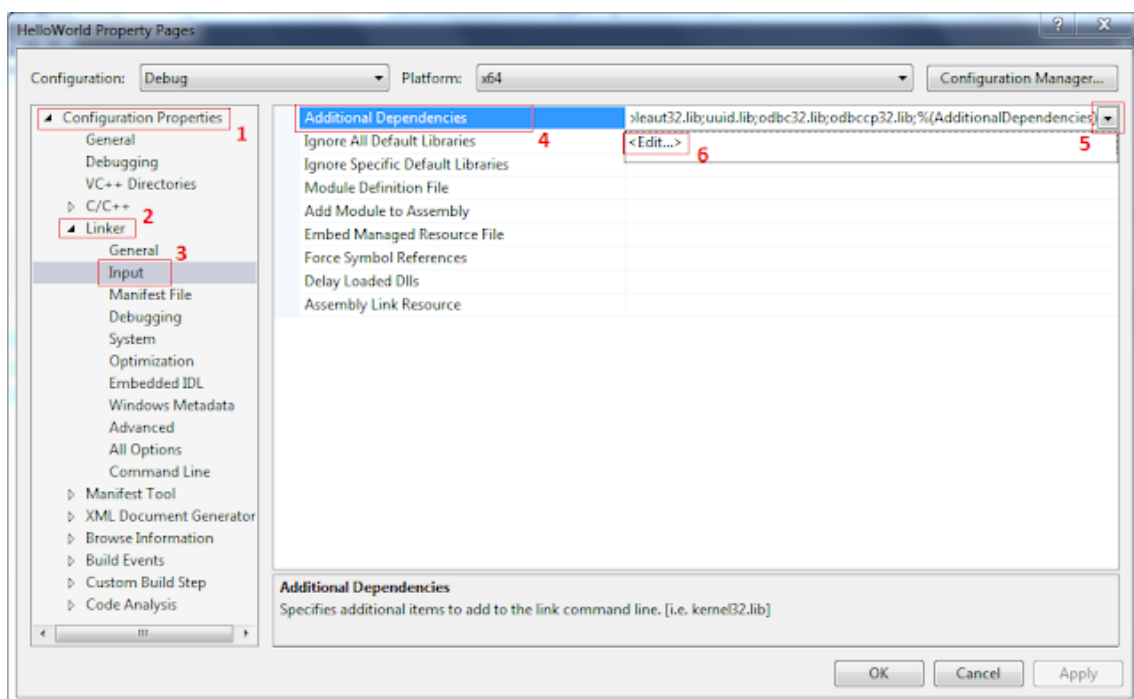


Figura 38- Dependências adicionais [38].

As configurações das propriedades de “release” são semelhantes às configurações de “debug” apenas é necessário selecionar a opção de configuração que se pretende alterar, no entanto apresenta-se a imagem seguinte de forma a se compreender melhor este processo (figura 39).

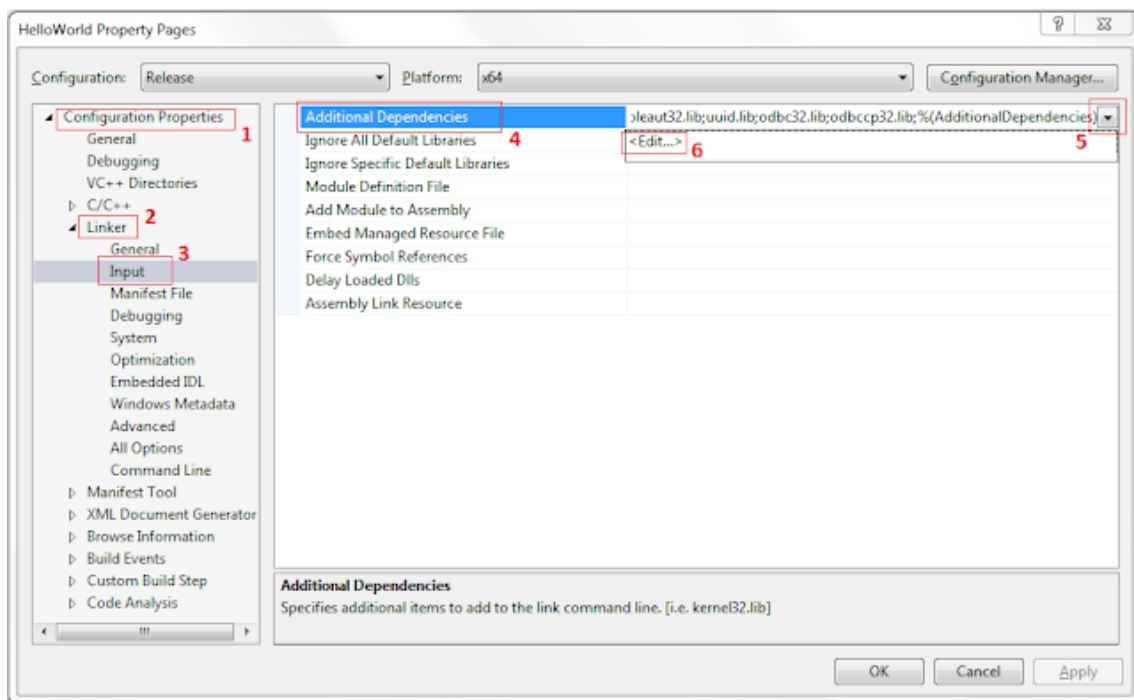


Figura 39- Dependências adicionais "Release" [38].

Após a configuração de todas as bibliotecas procedeu-se ao desenvolvimento do código, que iniciou-se pela introdução das imagens, onde foi definido o diretório onde está localizada a imagem para ser analisada, esta é invocada no código para posterior processamento de imagem, estando estes processos descritos nos capítulos seguintes.

3.3. Processamento de imagem

Para uma melhor compreensão de como todo este processo foi efetuado será descrito os processos assim como os conceitos utilizados durante a elaboração do software de captura de imagem e caracterização do fio têxtil.

À posteriori, de forma a ser possível o processamento de imagem e a sua simplificação, foi introduzida uma biblioteca de código na plataforma de desenvolvimento (IDE), esta permite um processamento de imagens de forma mais eficiente, pois desta forma não é necessária uma especificação elementar de todas as definições que englobam uma imagem e os seus subsistemas. Isto é, não é necessário definir o que é uma matriz de cores ou mesmo o que é uma cor, pois esta biblioteca já tem criadas essas definições.

Após a captura da imagem e com esta em formato BMP, esta é chamada no programa e lida. Inicialmente a imagem é convertida de uma matriz de cores para escala de cinzentos utilizando a função `cvtColor`, isto porque para a análise das propriedades do fio a cor não é necessária e apenas complicaria o processo desnecessariamente, no entanto este processo apenas foi utilizado para a câmara inicial de testes, pois a câmara final apenas faz capturas em escalas de cinzentos (figura 40/41).



Figura 40- Imagem a cores

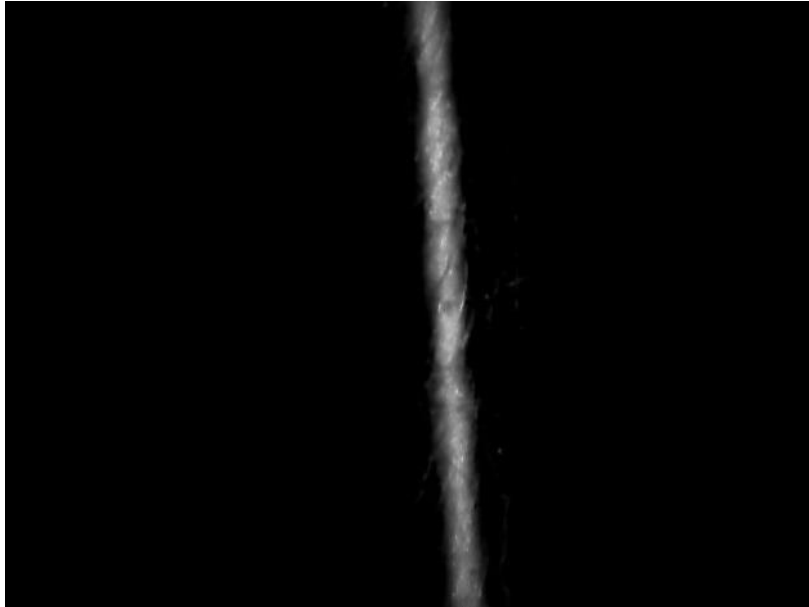


Figura 41- Imagem a preto e branco

Após a conversão da imagem para escala de cinzentos iniciou-se a linearização (thresholding) da imagem, este processo é utilizado de forma a converter uma imagem para formato monocromático com fim a separar o fundo do fio. Foi utilizado a linearização de Otsu pois caso contrário os valores de linearização teriam de ser manualmente definidos, já na linearização de Otsu estes valores são otimizados automaticamente pela função.

Este processo avalia os valores de pixels presentes na imagem e se este valor for superior ou igual aos definidos pela linearização, são convertidos em um valor alto em uma nova imagem fazendo parte desta nova imagem como plano principal com um valor de 256, equivalendo este valor a uma cor branca. Os valores que se encontram com valores abaixo dos definidos pela linearização são convertidos a um valor de 0 na nova imagem ficando assim a pertencer ao fundo da imagem.

No final deste processo a nova imagem obtida contém apenas o fundo e o fio, onde os valores de pixels são de 256 para os pixels pertencentes ao fio e de 0 para os pixels pertencentes ao fundo da imagem, o resultado deste processo pode ser verificado na imagem seguinte (figura 42/43).



Figura 42- Imagem em escala de cinzentos (zoom x0.7)

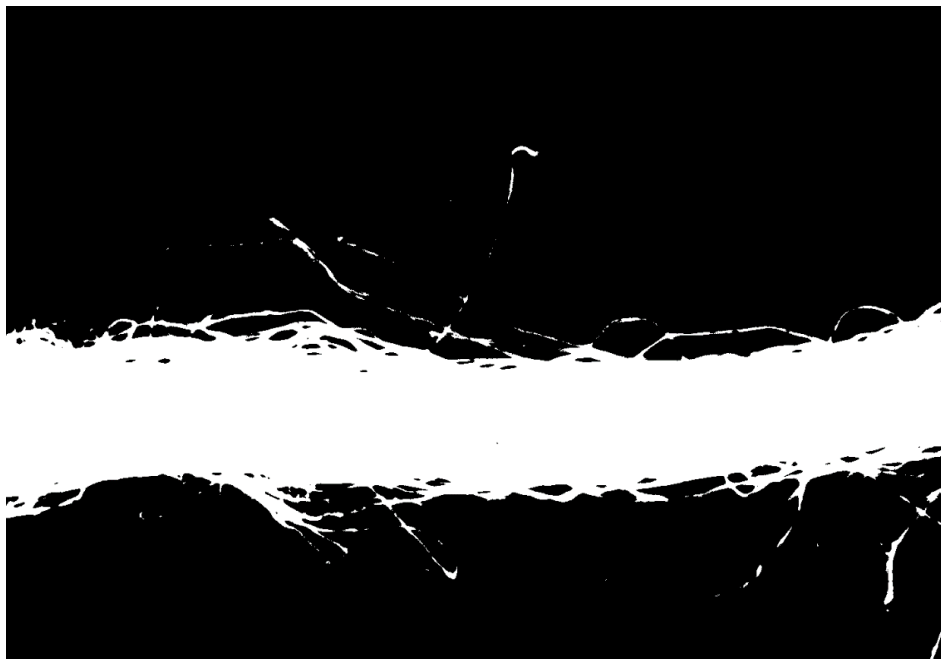


Figura 43- Imagem apos linearização de Otsu

De seguida, de forma que seja possível analisar apenas o núcleo do fio, foi necessário proceder a operações morfológicas para remover a pilosidade do fio, possíveis artefactos presentes na imagem e fibras soltas.

Foi utilizada a operação morfológica de opening, a qual consiste na aplicação de duas operações morfológicas sucessivas utilizando o mesmo elemento estrutural como referência.

Inicialmente aplica-se uma erosão à imagem em estudo utilizando um elemento estrutural e de seguida aplica-se uma dilatação à mesma imagem com o mesmo elemento estrutural, estas duas operações aplicadas consecutivamente são apelidadas de opening.

Quanto ao elemento estrutural, também conhecido por kernel, foi usada uma matriz de 16x16 em que todos os seus elementos têm um valor de 1.

Os resultados desta operação serão demonstrados nas figuras seguintes (figura 44/45).

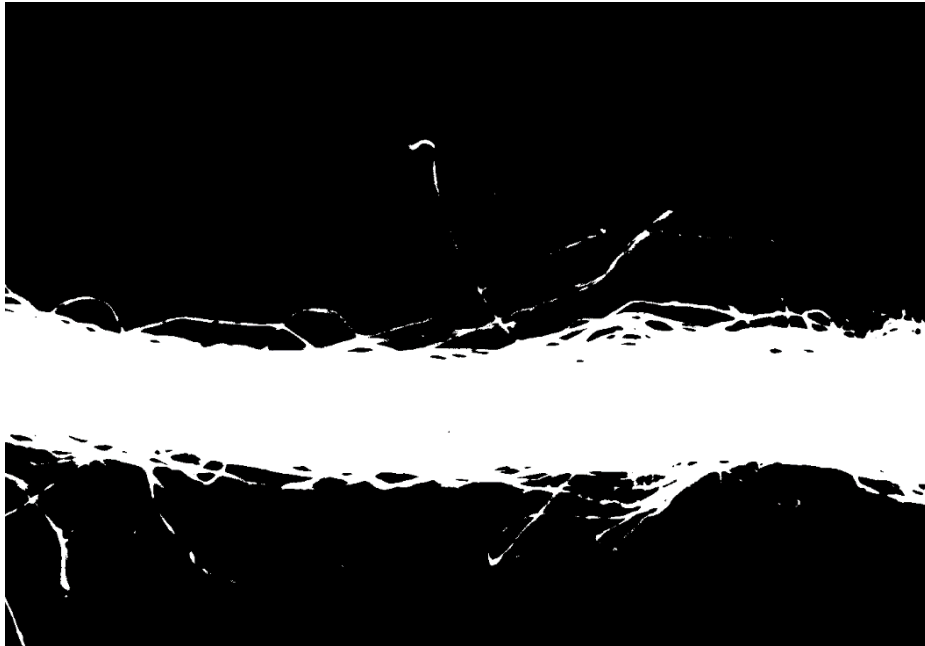


Figura 44- Imagem antes do opening



Figura 45- Imagem após opening

De forma ajudar na compreensão dos processos utilizados ao longo destas transformações morfológicas apresenta-se de seguida o fluxograma correspondente às operações realizadas.

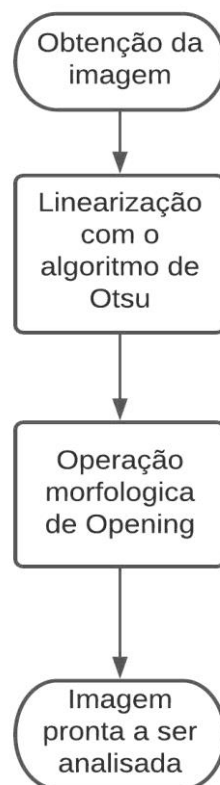


Figura 46- Fluxograma das etapas de obtenção do núcleo do fio têxtil.

Após os processos anteriormente referidos, analisa-se a imagem de forma a se conseguir obter o diâmetro do fio, para tal foram efetuados dois “for” loops sendo um deles encadeado de forma a percorrer todos os pixéis da imagem sequencialmente, nestes loops inicia-se na primeira coluna e percorre-se todos os elementos desta até ao final, e só depois se inicia a coluna seguinte e assim sucessivamente.

O valor do pixel na coordenada em análise é obtido, e se o valor deste for igual a 256, este pertence ao fio e será incrementado um counter, percorre-se assim toda a coluna repetindo o processo referido. No final da coluna o valor do counter é guardado em um vetor e o valor que estava guardado no counter é eliminado de forma a se repetir todo este processo na coluna seguinte. O valor da coluna seguinte será guardado no mesmo vetor, no entanto em uma posição diferente, de forma que os dados obtidos de cada coluna possam ser analisados de forma independente.

No fim de todos os elementos da imagem serem percorridos, obtém-se um vetor em que os seus elementos contêm os números de pixéis por coluna, onde o fio se encontra e avança-se para a fase seguinte de interpretação dos dados obtidos, de forma a converter os números de pixéis em dimensões reais.

Para uma melhor compreensão da lógica utilizada para a contagem do número de pixéis apresenta-se de seguida o fluxograma equivalente ao processo utilizado.

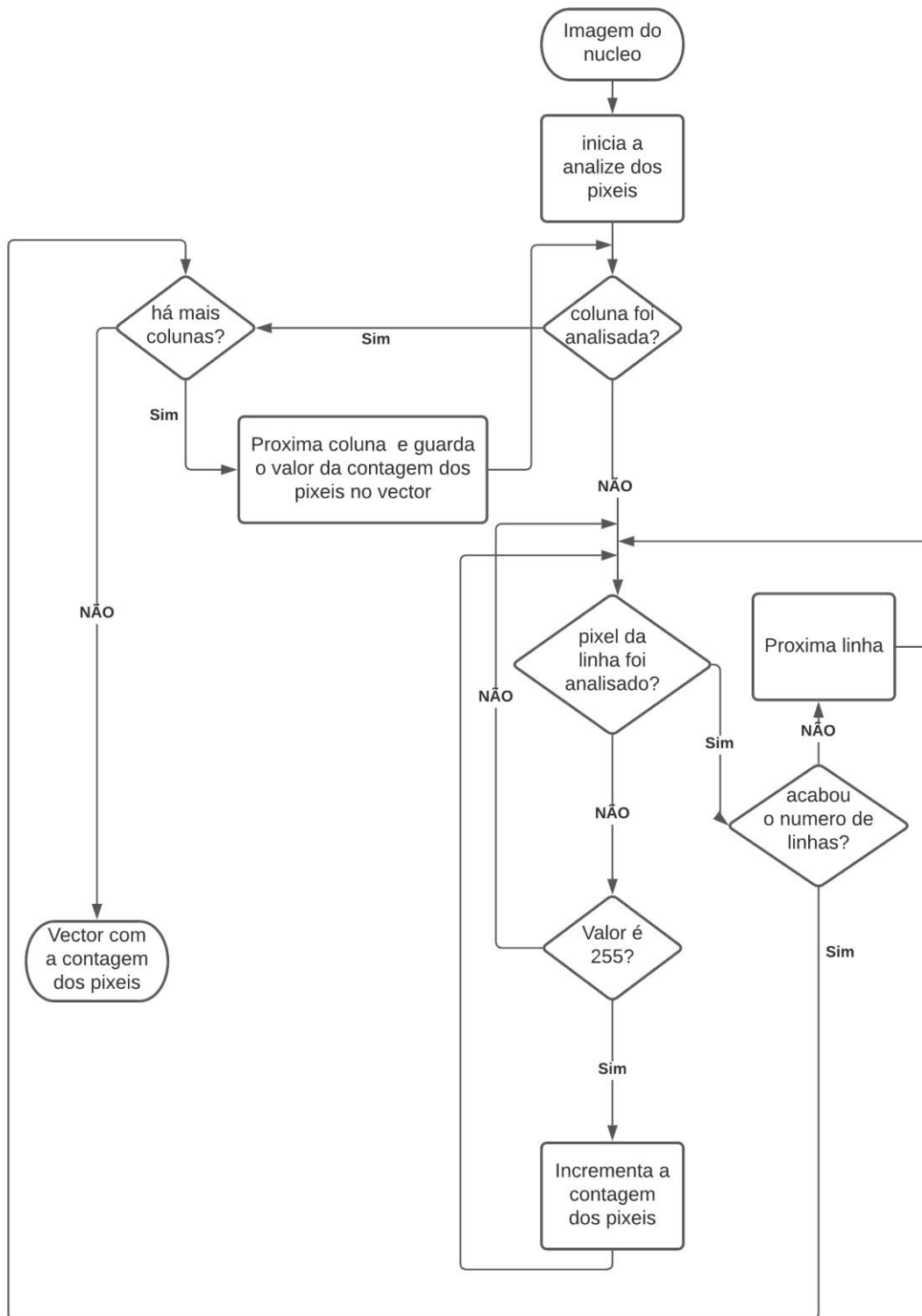


Figura 47-Fluxograma da contagem dos pixéis

Visto uma grande parte dos parâmetros obtidos do fio derivam do diâmetro do fio este foi o primeiro parâmetro a ser calculado, para tal foi necessário compreender como obter a partir de pixéis a

dimensão em milímetros do fio. Para obter esta dimensão foi necessário a calibração da câmara, para tal utilizou-se um objeto com dimensões conhecidas e obteve-se uma imagem deste objeto, uma vez que as suas dimensões são conhecidas com a fórmula descrita de seguida obteve-se a taxa de conversão de pixéis para milímetros.

$$1px/mm = \frac{d}{n^{\circ} px} \quad (3.1)$$

Com esta taxa de conversão pode-se prosseguir com o processo de calcular o diâmetro do fio, iterando pelo vetor, soma-se todos os valores e divide-se pelo número de células de forma a se obter o diâmetro médio em pixéis, de seguida multiplica-se pela taxa de conversão obtendo-se assim o diâmetro médio em milímetros, este valor é depois apresentado na consola do IDE.

Uma vez descoberto o diâmetro médio prossegue-se á descoberta do parâmetro seguinte, que será o cálculo da massa linear, este parâmetro é extremamente importante na indústria têxtil, uma vez que oferece informações sobre como ficará um produto final. Para se obter este parâmetro existem algumas considerações a tomar, pois o fio têxtil não é solido por natureza, alguns parâmetros na fórmula do cálculo da massa linear têm de ser ajustados conforme o material do fio em estudo, estes parâmetros são a densidade e a porosidade.

A densidade do material é de fácil obtenção, uma vez que é uma propriedade intrínseca do material, já a porosidade, apesar de ser facilmente obtida encontra-se distribuída em uma gama de valores máximo e mínimo, isto porque é uma propriedade do processo de fabrico que não se consegue controlar completamente.

Dado isto, para o fio em estudo, visto este ser de algodão utilizou-se a densidade do algodão e para a porosidade utilizou-se inicialmente o valor teórico, no entanto após alguns testes e tendo em consideração um artigo sobre o estudo da porosidade ser considerado demasiado alto por parte de análises teóricas, utilizou-se o valor de 0.22 de acordo com o sugerido pelo artigo e denota-se uma melhor aproximação dos valores medidos pelo sistema com os valores esperados. Dado este facto considerou-se o uso do valor de porosidade igual aos testes práticos, pois aplica-se melhor ao conceito de estudo e comprova-se que este valor é o mais acertado [6].

Com estes dois parâmetros definidos procede-se ao cálculo da massa linear de acordo com a fórmula seguinte.

$$tex(g/km) = \phi \times \rho(g/cm^3) \times \pi \left(\frac{d(cm)}{2} \right)^2 \times \left(\frac{10^5 cm}{km} \right) \quad (3.2)$$

Utilizando esta fórmula obtém-se o valor da massa linear em TEX(g/Km), no entanto para o cálculo desta foi necessário adicionar bibliotecas ao IDE, de forma a ser possível utilizar a constante matemática pi e exponenciais de certos valores. Este parâmetro é, tal como no diâmetro médio, apresentado na consola de desenvolvimento do IDE.

Posteriormente iniciou-se a obtenção do volume do fio, o qual visto estar relacionado com a massa linear, aplicou-se a seguinte fórmula (3.3) de forma direta no IDE e obtém-se assim o valor do volume do fio que é apresentado na consola do IDE.

$$V_t = \frac{\pi \times R^2}{N \times 10^5}$$

R – Raio do fio em *mm*; ***N*** – massa linear (*g/km*). (3.3)

De seguida procedeu-se ao cálculo médio de pontos finos pontos grossos e borbotos, para tal segmentou-se a imagem em 5 segmentos para o cálculo do diâmetro em cada um desses segmentos e assim possibilitar a comparação com o valor do diâmetro médio, uma vez que todos estes parâmetros do fio dependem do diâmetro médio. Para a obtenção destes parâmetros foi utilizado o vetor inicialmente criado para obter o diâmetro médio, no entanto em vez de se somar todos os elementos e se dividir pelo número total de elementos, somou-se apenas o número de elementos correspondente ao número de elementos que compõe cada secção, e dividiu-se o valor obtido desta soma pelo número de elementos contida em cada secção.

Estes valores foram guardados em variáveis e após este procedimento inicia-se o processo de comparação destes valores com o diâmetro médio, de forma a averiguar se o valor é entre 30% a 100% do diâmetro médio, este é um ponto grosso, e se o valor se encontrar inferior entre 30% a 60% do diâmetro médio então encontra-se na presença de um ponto fino. Se o valor do diâmetro

na secção em análise for superior a 140%, então é um borboto. O número de borbotos, pontos finos e pontos grossos ficam guardados em variáveis correspondentes a cada um dos parâmetros que são depois apresentados na consola do IDE.

De forma a verificar a integridade do algoritmo desenvolvido foram utilizados valores de teste para a deteção de defeitos, alterou-se os valores limite de cada um dos defeitos de forma a apresentar resultados previstos e verificou-se que o algoritmo encontra-se a funcionar corretamente.

De forma a uma melhor compreensão do código desenvolvido para a obtenção dos parâmetros acima descritos, demonstra-se de seguida o fluxograma correspondente ao conteúdo em desenvolvimento.

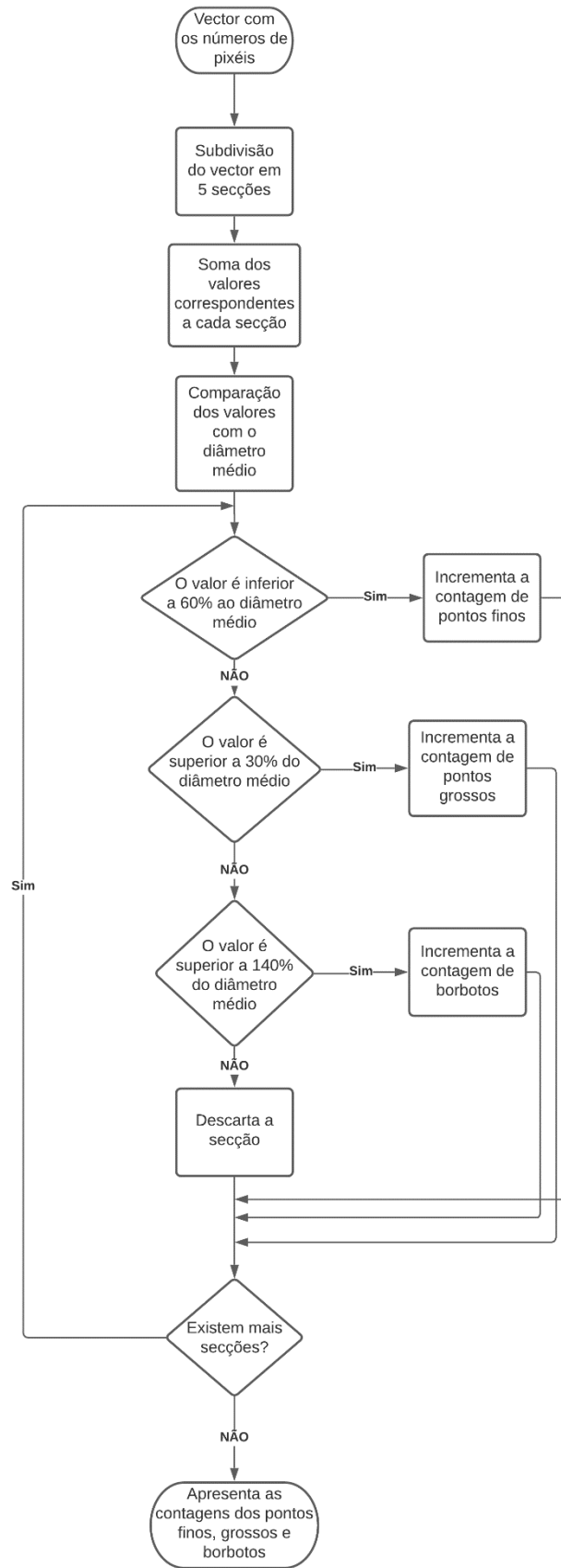


Figura 48- Fluxograma para a obtenção dos defeitos do fio.

De forma a conseguir o parâmetro de pilosidade do fio têxtil foi necessária uma abordagem diferente, uma vez que para se obter o coeficiente de pilosidade, ao contrário dos parâmetros anteriormente referidos, o intuito é retirar o núcleo da imagem de forma a obter uma imagem onde apenas a pilosidade fique presente.

Para obtenção deste parâmetro tem de ser efetuadas várias operações à imagem em estudo, isto implica não só uma obtenção correta do núcleo, mas também de uma boa separação da pilosidade.

De forma que a pilosidade se encontre o mais visível possível utilizou-se uma linearização diferente, uma vez que a linearização automática pelo método de Otsu destruiu demasiado a pilosidade do fio, dado este fator utilizou-se uma linearização binária invertida com valores limites de 185, o qual transforma todos os pixels superiores a este valor em pixels pretos de valor 0 e caso contrário o valor é colocado no máximo permitido de 255.

Nesta linearização é possível verificar que a pilosidade se torna mais evidente e já é possível prosseguir com o resto do processo, este consiste na subtração do núcleo do fio a esta última imagem linearizada, tal como se pode verificar nas imagens seguintes (figura 49/50).

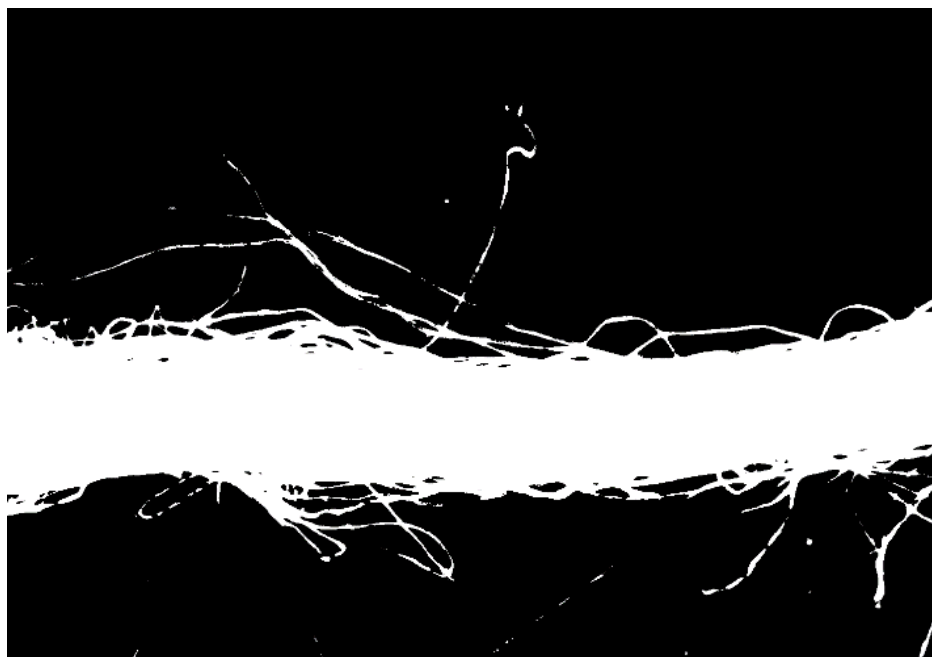


Figura 49-Imagem linearizada para a pilosidade.

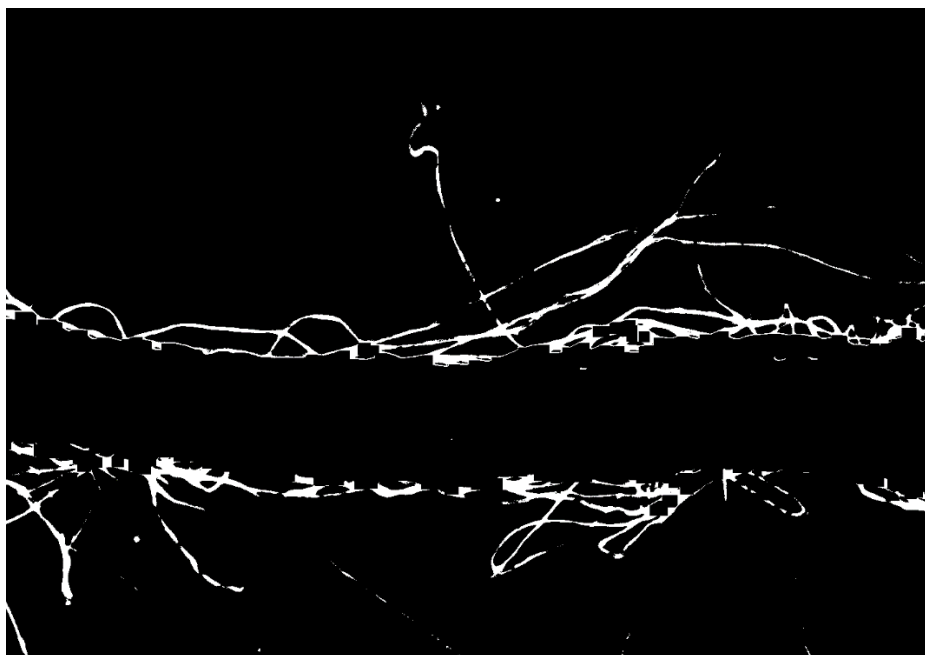


Figura 50- Subtração do núcleo para obtenção da pilosidade.

Após este processo de subtração efetua-se o processo de Skeletonization, este serve para reduzir a área geral total da pilosidade a linhas representativas da pilosidade. Este método consiste numa erosão repetida várias vezes na mesma imagem até obter-se linhas representativas da área em estudo, esta técnica encontra-se descrita com maior detalhe no capítulo anterior.

É possível utilizar um método similar ao da obtenção do diâmetro do fio, no entanto em vez de se realizar uma média dos valores obtidos é efetuado um somatório de todos os pixéis correspondentes à pilosidade e de seguida converte-se a área compreendida pelos pixéis em mm^2 .

Quanto ao desenvolvimento desta técnica no software criado foi utilizado um elemento estrutural para realizar a erosão à imagem, esta operação é efetuada até que mais erosões não sejam possíveis e obtém-se uma aproximação que se assemelha ao esqueleto da imagem inicial.

O código de desenvolvimento onde enquadra-se esta componente pode ser verificado no anexo A desta dissertação.

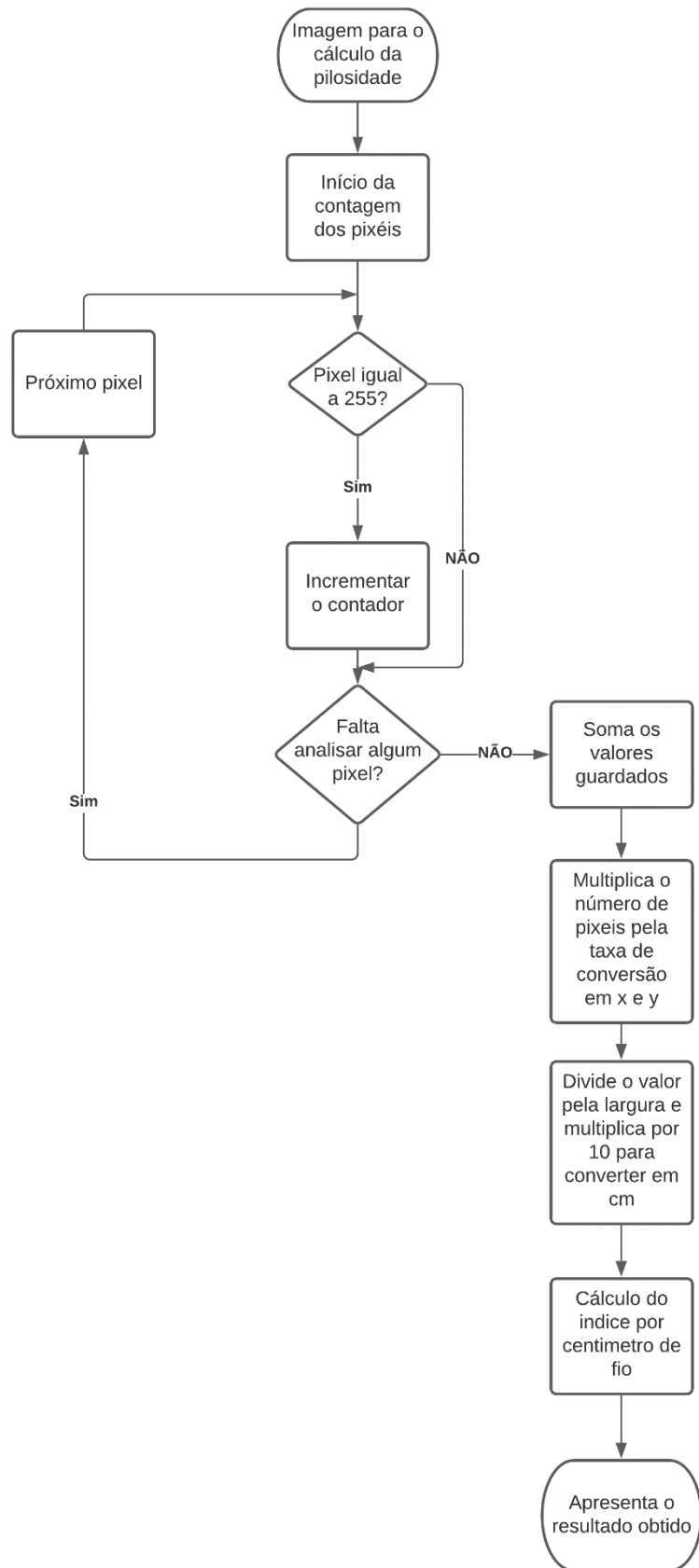


Figura 51- Fluxograma do cálculo da pilosidade.

O valor da área é dividido pela largura do pixel o que permite obter o comprimento total da pilosidade por unidade de captura, que é posteriormente convertida para comprimento total da pilosidade por centímetro, pois esta unidade é a utilizada convencionalmente nas máquinas de testes industriais, o processo descrito é demonstrado no fluxograma apresentado anteriormente.

Desta forma é obtida a pilosidade do fio, a imagem relativa à extração deste parâmetro pode ser vista de seguida (figura 52).

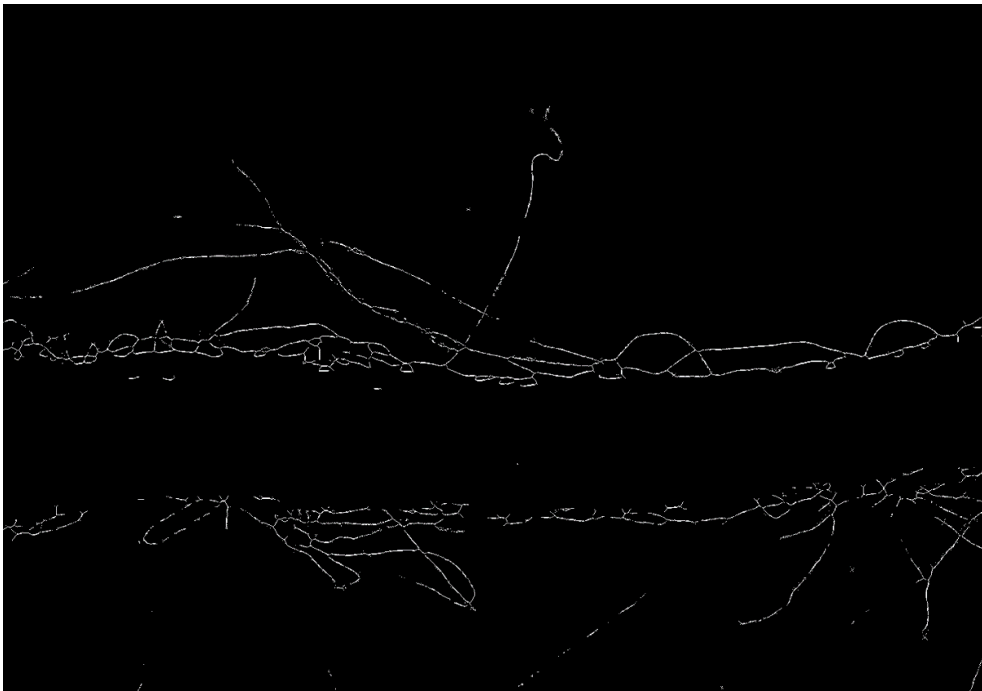


Figura 52- Imagem pronta a calcular a pilosidade.

Para que o processo de obtenção da imagem anteriormente descrita seja melhor compreendido apresenta-se de seguida o fluxograma correspondente às transformações morfológicas utilizadas no software criado.

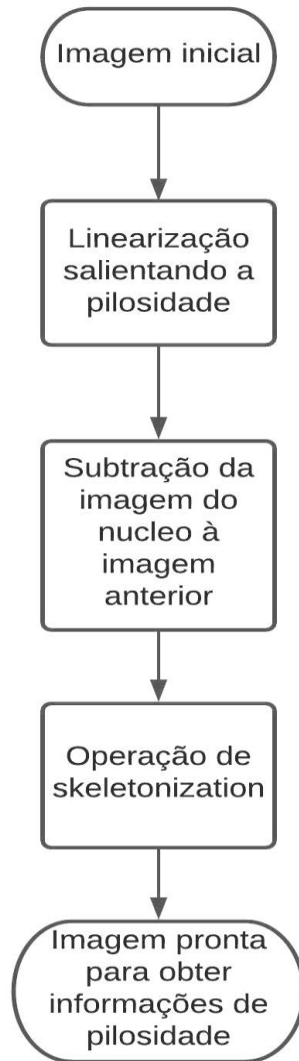


Figura 53- Fluxograma das operações morfológicas para obtenção da imagem de análise de pilosidade

3.4. Parâmetros estatísticos

É necessário realizar cálculos estatísticos adicionais para uma melhor interpretação dos dados obtidos pelo sistema. A média de valores foi um cálculo efetuado para todos os parâmetros, pois é um recurso essencial para verificação da tendência estimada dos resultados obtidos e é apresentada de seguida [39].

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.4)$$

Para os cálculos estatísticos da massa linear e do coeficiente de pilosidade foram realizados os cálculos do desvio médio, este cálculo corresponde aos desvios dos valores obtidos da média. (3.5). Também foram realizados os cálculos do coeficiente de variação da massa linear (3.6) este consiste no rácio entre o desvio padrão e a media absoluta e é utilizada de forma a verificar a precisão e repetibilidade dos resultados, para a pilosidade foi calculado o desvio padrão do índice de pilosidade, este calculo é realizado para medir a quantidade de variação dos dados obtidos, que quando este calculo apresenta um valor baixo significa que os dados obtidos estão próximos da média (3.7) [40][41][42].

Serão demonstradas de seguida as fórmulas utilizadas para o cálculo destes dados.

$$U[\%] = \frac{\sum_{n=1}^N |x_n - \bar{\mu}|}{N * \bar{\mu}} * 100 \quad (3.5)$$

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100 \quad (3.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{N}} \quad (3.7)$$

4. Resultados e análise de dados

Nesta secção serão demonstrados os resultados obtidos pelo software desenvolvido, foram testados diferentes tipos de fios têxtil para verificar a veracidade do sistema, visto que foram realizadas diferentes medições a vários parâmetros, esta secção será dividida em subcapítulos, de forma a demonstrar mais eficazmente as capacidades do sistema desenvolvido.

4.1. Resultados gerais

O programa desenvolvido é capaz de extrair o diâmetro do fio e a partir deste calcular as características do fio têxtil tais como massa linear, volume específico e os defeitos mais comuns como pontos finos, pontos grossos e borbotos.

O software desenvolvido consegue também extrair o coeficiente de pilosidade do fio têxtil, o que também é um parâmetro de grande interesse no contexto de caracterização do fio.

Quanto ao passo e sentido de torção existiram algumas dificuldades na obtenção, estas serão descritas mais especificamente no subcapítulo referente a este parâmetro.

Para o sistema idealizado a possibilidade de captura de todo o comprimento do fio não é possível, uma vez que o fio é desenrolado a 4.2 m/s, a quantidade de imagens que iram ser obtidas iria sobrecarregar o sistema, assim como a análise de todas estas imagens tornar-se-ia muito demorada e intensiva computacionalmente.

De forma a colmatar este problema foi admitida uma extração de parâmetros a distâncias pré-definidas e assim extrapolar os parâmetros do fio têxtil desta forma, este foi o único método encontrado para resolver este problema, pois ainda assim existiram outros entraves ao sistema que serão melhor explicados posteriormente.

Admitiu-se uma captura a cada 10m pois considerou-se uma distância admissível para testes sem que se extrapole demasiado os valores obtidos, no entanto distâncias mais curtas podem ser admitidas dependendo da credibilidade do fio obtido, e se quem estiver a operar o sistema considere que a sua variação é muito acentuada.

O intuito deste sistema era a captura de imagens do fio a 4.2 m/s a distâncias pré-definidas, no entanto após os testes realizados tal não foi exequível, pois a qualidade da imagem obtida não era suficiente para que fosse possível obter resultados e dados viáveis do fio.

Podem ser implementadas melhorias de forma a possibilitar a captura de imagens a 4.2 m/s, estas deverão ser discutidas posteriormente, assim como os problemas que surgiram da captura de imagens a grande velocidade.

Dito isto, idealizou-se outro método de captura de imagens, este consiste na passagem do fio uma determinada distância programada no sistema de desenrolamento do fio, o qual depois de desenrolar a quantidade pretendida de fio imobiliza o sistema, a imagem é capturada pela câmara

e de seguida repete o processo de desenrolamento do fio com a mesma quantidade anterior e repete o processo.

Todos os dados obtidos dos fios têxteis testados serão disponibilizados no anexo B desta dissertação, assim como os dados fornecidos para referência que serão demonstrados no anexo C.

4.2. Diâmetro médio do fio

Neste subcapítulo ir-se-á discutir a obtenção do diâmetro medio do fio através do software.

Para obtenção deste parâmetro, tal como descrito anteriormente, a imagem após ser convertida para escala de cinzentos e seguidamente linearizada é retirada a pilosidade e a imagem entra no ciclo de calculo do diâmetro. O resultado do algoritmo que converte o número de pixéis pode variar dependendo se a câmara for bem calibrada ou não. Este processo foi efetuado a partir de uma imagem que continha um equipamento de medição presente na captura, cujas dimensões são conhecidas. Dado o facto de se saber o tamanho da imagem capturada consegue-se proceder ao cálculo da taxa de conversão para se obter a relação de pixel por milímetro.

A imagem capturada para a calibração da câmara é demonstrada de seguida, salientando que para a obtenção destas dimensões foi utilizada uma régua, de forma a medir a área de captura para a possível calibração, no entanto melhores métodos deverão ser desenvolvidos pois este método é demorado. Para este fim foram capturadas duas imagens de uma régua graduada horizontal e verticalmente com o protótipo final, com a obtenção destas dimensões o processo de calibração é efetuado conforme descrito anteriormente (figura 54/55).



Figura 54- Imagem de calibração (zoom x0.7)

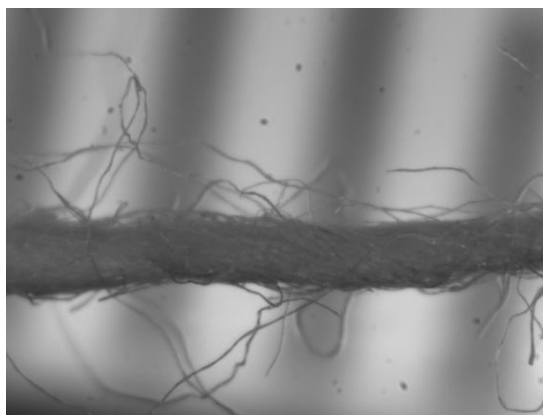


Figura 55-Imagem de calibração 2 (zoom x0.7)

Com a calibração efetuada é possível proceder à obtenção do diâmetro do fio têxtil, de forma a se conseguir obter os outros parâmetros dependentes do diâmetro. A obtenção do diâmetro do fio é dos parâmetros mais importantes de se obter, pois se este não for fiável então todos os outros parâmetros serão influenciados negativamente, após várias análises aos dados obtidos pelo software, verificou-se que os resultados estavam dentro dos valores esperados. Foram analisados os pixels pertencentes ao diâmetro do fio e verifica-se estabilidade, é esperada uma certa variação, mas isso apenas devido a defeitos do fio têxtil, o que sugere uma boa leitura deste parâmetro.

De seguida demonstra-se as imagens obtidas antes do processamento da imagem e no momento de extração do diâmetro do fio, de forma a ajudar na compreensão do que foi efetuado e perceber como foi obtido o diâmetro do fio (figura 56/57).



Figura 56- Imagem do fio têxtil sem processamento (zoom x0.7)



Figura 57- Imagem do fio têxtil pronta para obtenção do diâmetro (zoom x0.7)

De acordo com o que foi referido anteriormente e como se pode verificar na imagem, nota-se que a imagem após processamento mantém as características necessárias e não altera a dimensão do núcleo do fio de forma significativa, o que confirma a veracidade dos dados obtidos.

4.3. Massa linear, volume específico e parâmetros estatísticos do fio

Nesta secção serão discutidos os parâmetros obtidos a partir de cálculos, assim como a sua veracidade. Foram analisadas cerca de dez imagens por fio, o equivalente a analisar cem metros de fio têxtil, isto corresponde uma imagem a cada dez metros, o que se considerou uma quantidade suficiente. Este número de imagens pode ser alterado de acordo com o utilizador, isto apenas implica maior tempo de computação.

Nestes testes utilizou-se maioritariamente fio de algodão, dado isto não foi necessário alterar os parâmetros intrínsecos do fio.

Os parâmetros do fio como massa linear, volume específico e pilosidade são parâmetros de elevada importância e por isso serão também avaliados estatisticamente como referido em capítulos anteriores, pois o valor obtido do parâmetro tem de ser consistente, uma vez que o software desenvolvido tem de conseguir uma boa repetibilidade, caso contrário a veracidade dos valores obtidos não tem grande significado, uma vez que estes iriam variar com a repetição dos testes. O parâmetro da pilosidade, no entanto, é um parâmetro que varia quando se fez repetidos testes no sistema por razões referidas em capítulos anteriores.

De seguida será iniciada a análise da massa linear do fio, onde foram testados 2 fios de algodão diferentes.

Nesta primeira tabela demonstra-se os valores obtidos para algodão roxo, este é composto por dois fios têxteis retorcidos de forma a criar um só fio têxtil, no entanto verifica-se que para este tipo de fio, esta aplicação não é das melhores, uma vez que a variação do seu diâmetro altera significativamente dependendo da rotação do fio em relação a câmara.

É possível verificar claramente na tabela seguinte dois diâmetros distintos, isto não seria um problema se a sua variação não fosse tão significativa, pois com mais pontos de medição a média do diâmetro estabilizaria para o valor real, o problema é que não é possível controlar a rotação do fio, o que pode descredibilizar a média uma vez que se o fio mantiver a sua rotação estática, grande parte do tempo o diâmetro e por consequentemente a massa linear, tenderia para uma das duas possibilidades.

Tabela 1-Tabela dos dados obtidos do fio roxo

Amostra	Diâmetro(mm)	Massa Linear (tex)	Volume específico
1	0,47	59,43	2,95
2	0,44	51,51	2,95
3	0,44	51,04	2,95
4	0,36	34,59	2,95
5	0,37	37,38	2,95
6	0,36	33,81	2,95
Média	0,41	44,63	2,95

Como se pode verificar os valores obtidos por parte do software em relação à massa linear encontram-se bastante consistentes com o esperado que seria de 56.4 Tex, isto prova que se encontra a funcionar corretamente, no entanto devido ao problema referido anteriormente do diâmetro variar ao longo do seu comprimento (não por causa de defeitos) não é possível tirar conclusões face a estes valores. Se a rotação se mantivesse constante seria possível manter a área de maior diâmetro e assim assegurar uma melhor leitura.

Como se pode verificar nas imagens seguintes a variação do diâmetro face a rotação relativa do fio em relação a câmara é relativamente acentuada, não permitindo obter grandes resultados desta medição (figura 58/59).

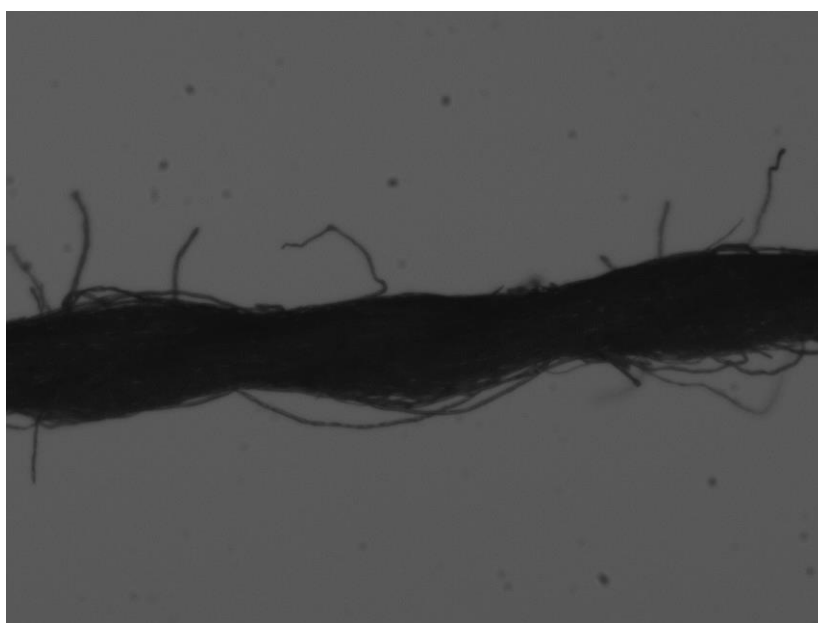


Figura 58-Exemplo de variação de diâmetro (zoom x0.7).

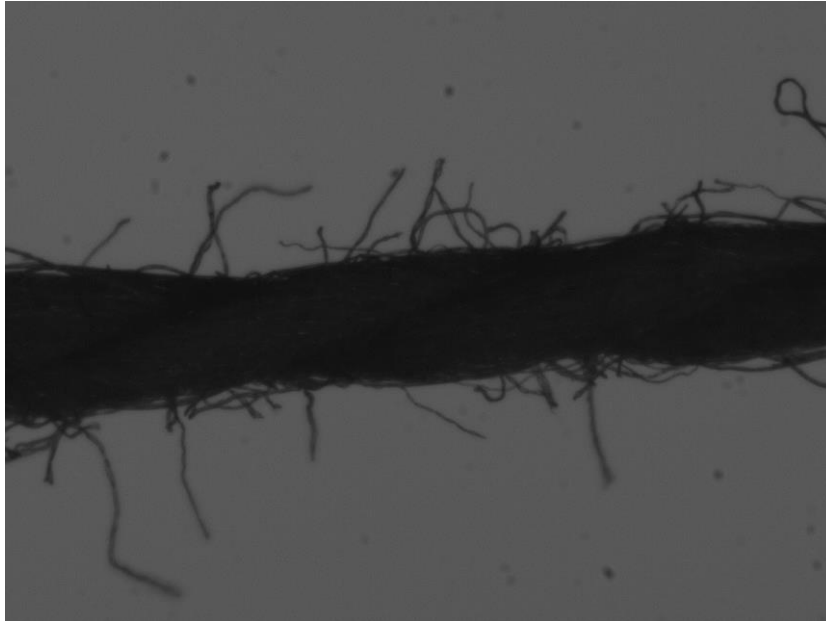


Figura 59- Exemplo da variação do diâmetro 2 (zoom x0.7).

No entanto calculou-se os parâmetros estatísticos deste fio, de forma verificar a possibilidade de retirar alguma conclusão do fio a partir dos parâmetros estatísticos, os quais são apresentados de seguida.

Tabela 2-Tabela estatística do fio roxo.

Desvio medio da massa linear (%)	Coefficiente de variação (%)
20,99	21,99

Como é possível verificar na tabela os valores do desvio medio da massa não são os desejados, pois existem variações máximas de 20,98% da massa linear do fio, no entanto o coeficiente de variação dos valores obtidos encontra-se com valores aceitáveis.

Dada esta conclusão prossegue-se para a análise do fio de algodão retorcido simples, este visto não ter tanta variação do seu diâmetro por causa da torção de dois pares de fios admite valores mais constantes. De acordo com o que foi referido teoricamente foi efetuado o mesmo algoritmo para a obtenção dos seus parâmetros.

Os resultados obtidos com o teste ao fio de algodão branco estão demonstrados na tabela abaixo e serão discutidos posteriormente.

Tabela 3-Tabela dos dados obtidos do fio de algodão branco.

Amostra	Diâmetro (mm)	Massa linear (Tex)	Volume específico
1	0,42	46,86	2,95
2	0,35	33,43	2,95
3	0,36	35,38	2,95
4	0,32	27,22	2,95
Média	0,36	35,72	2,95

De acordo com a tabela e tal como esperado este fio apresenta uma variação mais reduzida, uma vez que se trata de um fio simples e não composto por uma combinação de vários fios retorcidos o seu diâmetro tem muito menor variação.

De notar que na tabela alguns valores encontram-se ligeiramente fora da média, esse facto é perfeitamente normal, uma vez que existem sempre variações de diâmetro, esta variação não seria problema pois um maior número de amostras estabilizaria o diâmetro do fio para o valor esperado, assim como alguns defeitos do fio podem provocar estas variações.

A massa linear encontra-se dentro dos valores expectados para este fio, no entanto assim como foi realizado no fio anterior ir-se-á também realizar a análise dos parâmetros estatísticos de forma a conseguir ter uma melhor noção de como os valores se encontram próximos uns dos outros.

Dito isto apresenta-se a tabela seguinte onde demonstra-se os cálculos estatísticos do fio de algodão branco.

Tabela 4-Tabela dados estatísticos fio de algodão branco.

Desvio medio da massa (%)	Coefficiente de variação (%)
15,59	19,88

De acordo com a tabela apresentada acima denota-se o valor com um desvio baixo, de notar também que o coeficiente de variação com um valor de aproximadamente 19% é aceitável.

Tendo em conta os resultados obtidos por estes testes no que toca à análise do diâmetro do fio têxtil e massa linear, o sistema desenvolvido apresenta resultados relativamente bons quanto aos parâmetros em análise.

Isto prova que para o conceito inicialmente idealizado de obtenção dos parâmetros em questão o sistema cumpre a tarefa que foi proposta, no entanto não foram só estes os parâmetros que se tentou adquirir com este sistema, pois uma das intenções deste sistema é a obtenção do máximo número de parâmetros possíveis do fio têxtil, que serão discutidos nos capítulos seguintes.

4.4. Imperfeições do fio

A obtenção das imperfeições do fio têxtil, sendo estas os pontos finos, pontos grossos e borbotos, tal como referido anteriormente este parâmetro é obtido pela análise da imagem tratada para a obtenção do diâmetro.

Esta imagem é subdividida em 5 secções iguais ao longo do comprimento do fio e posteriormente é analisado o diâmetro médio em pixels do fio em cada uma das secções, e de seguida após a obtenção destes valores, estes são comparados com o valor obtido para o diâmetro médio do fio.

Conforme o estudo bibliográfico que indica que os valores dos defeitos são avaliados em relação a quanto diferem do diâmetro médio, em que se for menor que 30% classifica-se como ponto fino, se for entre 30% e 100% do diâmetro médio é um ponto grosso e no caso de ser superior a 140% do diâmetro médio então estamos na presença de um borbotos. Tendo em consideração os dados bibliográficos o algoritmo aplicado para a deteção dos defeitos foi desenvolvido com esses valores [11].

Um ponto a ter em atenção é que a frequência de alguns dos defeitos descritos é baixa o que implica que durante a realização dos testes o aparecimento destes defeitos pode não existir.

Foram efetuados testes ao fio roxo e branco de algodão de forma a avaliar a existência de defeitos, verifica-se que a sua deteção não é fácil, no entanto foi possível encontrar alguns destes defeitos presentes nos fios em análise.

Na maioria dos testes efetuados aos fios de algodão verificou-se a inexistência de pontos finos e borbotos, no entanto foi possível averiguar a presença de pontos grossos em grande parte das capturas. A presença de pontos grossos em cada amostra não apresenta valores elevados, e pode-se considerar este teste como bem-sucedido. Estes resultados podem ser consultados no anexo B deste documento.

4.5. Pilosidade

Neste capítulo discutir-se há a componente da pilosidade do fio têxtil, esta característica é das mais difíceis de se obter uma vez que a sua definição varia significativamente dependendo da maneira como é interpretada, no contexto deste projeto foi considerada a pilosidade total do filamento, que é interpretada como o comprimento total das fibras que estendem para fora do núcleo do fio em centímetros por centímetro de fio têxtil.

No sistema em questão este parâmetro foi de complicada obtenção uma vez que o tratamento das imagens obtidas não é simples, os conceitos gerais das transformações aplicadas às imagens são de simples compreensão, no entanto os parâmetros de definição destas transformações não são de fácil seleção.

Um dos fatores que mais influenciou a obtenção deste parâmetro foi também a luminosidade, pois a variação ou a seleção errada da luminosidade presente na imagem durante a captura provoca erros no processamento do código, o que impedia o programa de operar corretamente e não se obtém qualquer tipo de parâmetros do fio em questão. Para contornar este problema foram ajustados manualmente os valores da linearização no algoritmo.

Dito isto após várias tentativas chegou-se a conclusão que a luminosidade tem de ser relativamente forte, pois caso contrário os filamentos que estendem para fora do núcleo do fio ficam demasiado semelhantes ao fundo da imagem e os algoritmos de processamento de imagem não conseguem aplicar o resultado pretendido.

Após a identificação deste problema inicia-se a obtenção do coeficiente de pilosidade, este parâmetro foi obtido a partir dos dois fios de algodão. Os resultados obtidos por este método estão dentro do esperado e com uma boa aproximação, o que significa que a extração deste parâmetro foi bem-sucedida.

De forma a avaliar melhor os resultados obtidos, estes foram colocados nas tabelas seguintes e serão explicados posteriormente.

Tabela 5-Tabela dos dados do coeficiente de pilosidade do fio branco.

Amostra	Coeficiente de Pilosidade
1	0,62
2	0,84
3	0,79
4	0,90
Média	0,79

De acordo com a tabela demonstrada denota-se uma boa medição do coeficiente de pilosidade, a sua variação é relativamente baixa e próxima da média o que significa uma boa estimativa deste parâmetro.

O coeficiente de pilosidade aqui obtido corresponde a um comprimento total de 0.79 centímetros de fibras que estendem para fora do núcleo do fio por cada centímetro de fio, alguma variação deste parâmetro é perfeitamente normal uma vez que a travessia do fio pelo sistema pode influenciar a pilosidade e esta não é sempre constante. Isto porque o processo de fabrico apenas pode garantir uma redução deste parâmetro, mas não uma completa eliminação ou a sua consistência ao longo do comprimento do fio.

De acordo com o que foi encontrado nestes testes efetuam-se os cálculos estatísticos referentes a este parâmetro, de forma a obter um melhor panorama e avaliar a qualidade dos dados obtidos.

Conforme os capítulos anteriores apresenta-se de seguida os cálculos estatísticos dos resultados obtidos para o coeficiente de pilosidade que serão depois discutidos.

Tabela 6-Tabela dados estatísticos da pilosidade do fio branco.

Desvio médio da Pilosidade (%)	Desvio padrão da Pilosidade
10,63	0,10

Tal como se pode verificar na tabela anterior nota-se um desvio médio baixo, admitindo assim que a variação entre as medições se mantém a níveis completamente admissíveis para aplicações na indústria.

Quanto ao desvio padrão este encontra-se bastante baixo o que abona á qualidade dos dados obtidos, 0.10 de desvio padrão é bastante baixo e significa que os valores obtidos para o coeficiente de pilosidade encontram-se relativamente estáveis ao longo do fio.

No entanto a sua estabilidade ao longo do comprimento comprova que os dados obtidos são viáveis, pois uma alta variabilidade poderia significar erros de software, enquanto estas pequenas variações são apenas alterações da qualidade do fio têxtil.

Com a análise dos dados obtidos para o fio de algodão roxo pode-se retirar as mesmas conclusões do discutido anteriormente. Estes dados serão demonstrados nas tabelas seguintes.

Tabela 7- Tabela dos dados de coeficiente de pilosidade do fio de algodão roxo

Amostra	Coeficiente de Pulosidade
1	0,59
2	0,57
3	0,63
4	0,51
5	0,52
6	0,45
Média	0,545

Tabela 8- Tabela dos dados estatísticos da pilosidade do fio de algodão roxo.

Desvio médio da Pulosidade (%)	Desvio padrão da pilosidade
9,48	0,06

4.6. Passo e sentido de torção

Este parâmetro é o de mais difícil obtenção, isto porque equipamentos tradicionais para a obtenção do passo e sentido de torção por norma utilizam excertos de fio que são destorcidos e retorcidos novamente de forma a obter estes dois parâmetros.

No entanto tentou-se obter este parâmetro, o conceito aplicado para a obtenção deste parâmetro era uma erosão contínua, de forma que na imagem final, nos resultados existissem elementos separados correspondentes às secções de torção do fio.

Após várias tentativas não foi possível a obtenção deste parâmetro pois nas imagens obtidas as definições destas feições do fio não se encontravam suficientemente salientadas. Existiram várias tentativas ajustando os níveis de luminosidade, no entanto todas as tentativas apresentaram resultados negativos na obtenção destes parâmetros do fio têxtil.

4.7. Análises complementares ao fio de poliéster

Apesar de o sistema desenvolvido ter sido projetado para a análise de fios de algodão decidiu-se testar as suas capacidades com fio têxtil de outro material, sendo este o fio de poliéster, este fio apresenta características bastante diferentes do fio de algodão no que toca à densidade, porosidade e processo de fabrico.

Dado estes factos os dados obtidos podem não ser propriamente viáveis, achou-se pertinente efetuar este teste de forma a verificar a versatilidade do sistema criado.

Dito isto efetua-se a análise do fio de poliéster iniciando pelo diâmetro médio do fio, não foi possível tirar muitas imagens do fio de poliéster, no entanto para verificar o conceito geral do sistema neste tipo de material as imagens são suficientes, além disto o facto de este sistema ser desenvolvido para a aplicação em fios de algodão, esta análise apenas serve como uma verificação do conceito aplicado a outros materiais.

De forma a ser possível obter os parâmetros para este fio de poliéster foi necessário obter as suas características intrínsecas tal como para o fio de algodão. A densidade do fio de poliéster é de fácil obtenção, pois tal como no fio de algodão são características muito bem catalogadas na indústria, no entanto existe o fator da porosidade. Verificou-se que o uso da porosidade obtida experimentalmente para fios de algodão não produzia resultados viáveis nos testes do fio de poliéster, dado isto utilizou-se o valor de porosidade teórico de 0.66.

Dito isto apresenta-se na tabela seguinte os resultados obtidos para o valor do diâmetro, massa linear e volume específico do fio de poliéster.

Tabela 9-Tabela dos dados do fio de poliéster.

Amostra	Diâmetro	Massa Linear	Volume específico
1	0,18	21,32	1,13
2	0,17	20,82	1,13
Média	0,18	21,07	1,13

De acordo com a tabela anterior verifica-se que os valores obtidos encontram-se relativamente próximos do esperado e a sua variação e consistência é bastante boa. O valor esperado para a análise deste fio é de 20.9 Tex, considerando o valor obtido da análise efetuada ao fio de poliéster, encontra-se bastante viável até para conceito industrial. De forma a se ter uma melhor noção da

variação destes valores efetuou-se, tal como nos outros testes, os cálculos estatísticos aos dados obtidos neste teste, estes podem ser verificados na tabela seguinte.

Tabela 10-Tabela dos parâmetros estatísticos do fio de poliéster.

Desvio medio da massa (%)	Coefficiente de variação (%)
1,18	22,12

De acordo com a tabela anterior verifica-se o que foi anteriormente confirmado, os valores são surpreendentemente bons e com um coeficiente de variação aceitável para o número de amostras obtidas, o que representa um bom resultado e uma ótima proximidade dos dados, mostrando uma boa análise ao fio de poliéster e a possibilidade da aplicação deste sistema na indústria para testes.

Quanto à análise dos defeitos do fio em discussão denota-se bons resultados tais como apresentados na análise dos fios anteriores, sendo que este não apresenta nenhum defeito de pontos e borbotos, no entanto apresenta pontos grossos em algumas capturas.

Após estes testes continua-se com a análise do fio têxtil de poliéster estudando os resultados do teste de pilosidade do fio.

O método utilizado para este teste foi idêntico ao anterior, no entanto devido a variações de luminosidade no momento de captura da imagem, o valor de linearização do fio para salientar a pilosidade teve de ser alterado, no entanto isto não é necessário para o teste, pois a luminosidade das imagens foi acertada posteriormente no protótipo, tendo isto em consideração prosseguiu-se com a análise da pilosidade do fio de poliéster.

Os resultados obtidos são demonstrados na tabela seguinte tal como em demonstrações anteriores.

Tabela 11-Tabela dos dados estatísticos da pilosidade do fio de poliéster.

Amostra	Coefficiente de pilosidade	Desvio medio da pilosidade (%)	Desvio padrão da pilosidade
1	0,38	1,33	0,005
2	0,37		
Média	0,38		

De acordo com a tabela anterior verifica-se uma boa medição do coeficiente de pilosidade, não eram esperados tão bons resultados com fios têxteis de outro material, pois as suas propriedades podem variar bastante. No entanto, este teste serviu para validar a possibilidade deste software ser aplicado a outros materiais, apesar que deveriam ser realizados mais testes para verificar a sua versatilidade dependendo do tipo de material de fabrico do fio.

Os resultados obtidos são bastante animadores e o desvio médio e padrão da pilosidade são bastante baixos, o que admite que o software desenvolvido apresenta boas capacidades de obtenção de dados e com uma boa precisão, dito isto e de acordo com os dados demonstrados considera-se que a possibilidade de aplicar o software a fios têxtil de poliéster é viável, desde que o ajuste da luminosidade seja bem efetuado.

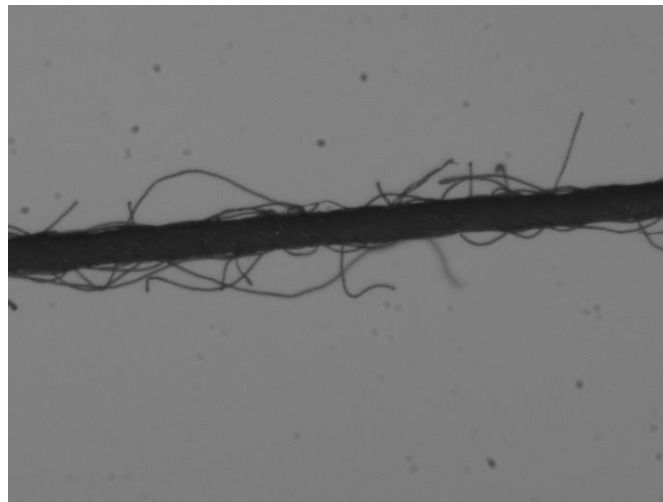


Figura 60- Captura do fio de poliéster.

5. Considerações Finais

Tendo em conta os resultados obtidos considera-se positivo o desenvolvimento deste projeto, as características principais que se pretendia obter com o desenvolvimento deste encontram-se dentro do esperado com a exceção do passo e sentido de torção.

5.1. Conclusão

O objetivo principal desta dissertação focava-se na obtenção de um equipamento de análise de fio têxtil capaz de obter várias características do fio, utilizando uma técnica não disponível atualmente em conceito industrial. Como foi possível verificar no capítulo anterior este demonstrou-se capaz de obter um elevado número de parâmetros do fio têxtil.

Pode-se concluir que com este sistema é possível extrair as características da massa linear, volume específico e diâmetro médio do fio, de forma viável e com uma aproximação aceitável, no entanto verifica-se que para determinados fios esta aplicação não funciona conforme esperado. Foi o caso do fio de algodão roxo, que devido à rotação no seu eixo e ser composto por dois fios retorcidos, dependendo da posição no momento da captura, pode variar o diâmetro e conseqüentemente o resto dos valores diretamente relacionados com essa variável.

No que toca a obtenção do diâmetro médio do fio e massa linear os resultados obtidos são bastante positivos, estas características do fio têxtil são de elevada importância e um dos parâmetros de obtenção principal. O diâmetro médio é de fácil obtenção desde que o tratamento de imagem seja bem efetuado, no entanto a massa linear depende de uma constante que é a porosidade, a sua caracterização foi possível devido à descoberta de artigos de estudo com análises cruciais sobre esta constante.

O problema principal é que a constante de porosidade encontra-se definida em livros por cálculos teóricos e o valor obtido dos fios de algodão por métodos experimentais é significativamente mais baixo. Tendo em consideração os valores experimentais, os resultados obtidos para o valor de massa linear encontraram-se bem definidos, enquanto se utilizar os valores teóricos, o parâmetro em estudo apresenta valores muito acima do esperado. Tendo isto em consideração neste projeto recorreu-se ao valor experimental para a porosidade.

Este valor de porosidade apenas se aplica a fios de algodão, e na tentativa de verificar a versatilidade do sistema utilizado, efetuou-se o teste a fios de poliéster, o qual não admite a porosidade utilizada para o fio de algodão e foi necessário utilizar o valor teórico para esta constante, ainda assim os resultados para este tipo de fio têxtil foram dentro do esperado o que comprova que o valor teórico não está errado, apenas não pode ser considerado para todos os tipos de material e deve ser uma constante de elevada consideração para análise em trabalhos futuros.

Quanto aos parâmetros dos defeitos de fio têxtil considerou-se a obtenção desta característica bem-sucedida, em todos os testes de fio que foram realizados. Não é um resultado evidente devido à pouca frequência de alguns defeitos no fio, seria necessário analisar quantidades extremamente elevadas de forma a obter resultados mais evidentes.

A análise relativa à obtenção do coeficiente de pilosidade obteve resultados positivos, pois como demonstrado no capítulo dos resultados deste documento pode-se verificar que em todos os fios testados foi possível obter a pilosidade.

Não foi possível verificar o passo e sentido de torção pois mesmo visualmente não era perceptível nas capturas. Estas características não são de fácil obtenção devido a múltiplos fatores, sendo que o principal fator são as características da imagem, mesmo com a tentativa de salientar as particularidades do fio têxtil com ajuda da luminosidade, não foi possível identificar a torção, no entanto deverá ser realizado mais desenvolvimento para a invalidação da hipótese da obtenção deste parâmetro.

O conceito desenvolvido considera-se viável para aplicação em ambientes industriais, no entanto deverá ser realizado mais desenvolvimento para ser possível a aplicação sem reservas deste sistema na indústria, o custo do dispositivo encontra-se com um valor apelativo comparativamente aos dispositivos disponibilizados industrialmente, assim como as suas dimensões que são relativamente reduzidas.

É relevante salientar a importância do protótipo desenvolvido não só pelo seu custo e dimensões reduzidas, mas também pela tecnologia utilizada no seu desenvolvimento, uma vez que ao contrário das máquinas industriais que utilizam sensores específicos para esta análise, este utiliza uma câmara e algoritmos de processamento de imagem.

Com este protótipo é possível a obtenção de várias características do fio têxtil com o uso de apenas um equipamento, e como foi possível verificar no estudo bibliográfico no âmbito das máquinas industriais da Uster, por norma seria necessário a adição de módulos ou equipamentos para obter várias características[1][15].

Analisando os dados obtidos pelo software denota-se alguns problemas no que se refere a obtenção de certas características do fio, no entanto esta limitação não depende somente do software, mas também das características do fio e da imagem obtida, assim como do sistema de desenrolamento do fio.

Um conceito importante também de referir no contexto deste projeto é a captura das imagens, que inicialmente o idealizado era a captura das imagens à velocidade de desenrolamento do fio, no entanto os testes realizados não produziram os efeitos pretendidos e devido a este facto teve de ser considerada a captura em processos intermitentes de desenrolamento do fio.

Admite-se que o trabalho desenvolvido ao longo deste projeto serviu como uma cimentação de conhecimentos obtidos ao longo curso e uma melhor compreensão dos conceitos de processamento de imagem e conceitos industriais utilizados na indústria têxtil, apesar de ser necessário trabalhos futuros neste projeto consideram-se os resultados positivos.

5.2. Trabalhos futuros

Apesar de se considerar o desenvolvimento deste projeto positivo, futuramente podem ser implementadas algumas melhorias de forma a otimizar o sistema em desenvolvimento. Uma destas melhorias foca-se no aumento da área de captura da imagem, sendo esta a captura de duas imagens consecutivas de forma a aumentar a área de captura, no entanto existe a necessidade de assegurar que as capturas são efetuadas uma imediatamente a seguir a outra, pois pode induzir os cálculos em erro por se captar defeitos de secções não pertencentes a secção em estudo, além disto a análise das duas imagens teria de ser efetuada ao mesmo tempo, para que o software considera-se as duas imagens como uma única imagem simplesmente com dimensões diferentes. Este trabalho futuro potencializa uma melhor obtenção de defeitos do fio, assim como oferecer uma melhor uniformização do diâmetro médio.

Outro método de resolução do problema em questão seria o uso de uma lente de magnificação mais baixa, que permitiria uma área de captura maior e simplificava o processo de captura, não necessitando de capturas consecutivas.

Outras melhorias poderiam ser realizadas de forma a permitir a possibilidade de captura das imagens durante o processo de desenrolamento, esta melhoria é relativamente simples, no entanto requer bastantes testes, uma vez que consiste no aumento de luz e reduzir o período de exposição no momento de captura, de forma a obter uma imagem nítida. Estes testes foram realizados, no entanto a iluminação disponível não foi suficiente para colmatar este problema. Considera-se pertinente um medidor de LUX de forma a ser possível analisar a luminosidade

necessária para capturas à velocidade idealizada, assim como um melhor sistema de iluminação com maior foco na área de captura, pois verificou-se que a iluminação disponível é dispersa.

Uma melhoria para a obtenção de dados mais concretos quanto ao diâmetro do fio de algodão roxo seria utilizar duas câmeras de forma a produzir uma captura a 90 graus da outra e possivelmente comparar as duas imagens e assumir a imagem de maior diâmetro para o cálculo dos outros parâmetros.

Bibliografia

- [1] "Staple Yarn Testing Uster Technologies". Think Quality - Think USTER® :: Uster Technologies. <https://www.uster.com/en/instruments/staple-yarn-testing/> (consult. 2021-10-02).
- [2] M. Castro and M. Araújo, Manual de Engenharia Têxtil, vol. 1. Gulbenkian, 1984.
- [3] R. Pinto, *Sistema de instrumentação de análise de fio têxtil*, Instituto Politécnico do Cavado do Ave, 2019.
- [4] N Balasubramanian, "Yarn diameter, specific volume & packing density" <https://indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=4762> (consult. 2021-10-03).
- [5] M. Castro and M. Araújo, Manual de Engenharia Têxtil, vol. 2. Gulbenkian, 1986.
- [6] V. Carvalho, R. M. Vasconcelos, F. O. Soares e M. Belsley, "Yarn Diameter and Linear Mass Correlation", *Journal of Nondestructive Evaluation*, vol. 28, n.º 2, p. 49–54, maio 2009. Consult. 2021-10-18. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10921-009-0046-8>
- [7] A. Barella, *Yarn Hairiness*, Vol. 13. North Carolina State University, 1983.
- [8] P. R. Lord, *Handbook of yarn production*. Woodhead Publishing Limited, 2003. Consult. 2021-12-23. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.1533/9781855738652>
- [9] V. H. Carvalho, P. J. Cardoso, M. S. Belsley, R. M. Vasconcelos e F. O. Soares, "Yarn Hairiness Characterization Using Two Orthogonal Directions", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 58, n.º 3, p. 594–601, mar. 2009. Consult. 2021-10-04. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.1109/tim.2008.2005082>
- [10] "All about Yarn Twisting - Testex". Testex. <https://www.testextextile.com/all-about-yarn-twisting/> (consult. 2021-10-04).
- [11] "Yarn Faults: Types, Classification and Remedies - Textile Learner". Textile Learner. <https://textilelearner.net/yarn-faults-and-remedies/> (consult. 2021-10-05).
- [12] Pereira, F., Carvalho, V., Soares, F., Vasconcelos, R., & Machado, J. (2018). Computer vision techniques for detecting yarn defects. In *Applications of Computer Vision in Fashion and Textiles* (pp. 123-145). Woodhead Publishing.
- [13] R. Pinto, "State of Art do sistema de instrumentação de análise de fio têxtil", *IPCA*, p. 3–5.
- [14] V. Carvalho, P. Cardoso, M. Besley, R. M. Vasconcelos e F. O. Soares, "Determination of yarn hairiness using optical sensors", *Minho University, Departments of Industrial Electronics, Physics and Textile Engineering*, p. 1.
- [15] Think Quality – Think USTER®:: Uster Technologies. https://www.uster.com/fileadmin/user_upload/customer/customer/Instruments-use_folder_PRODUCTS/Yarn_Testing/Zweigle_by_Uster/en_USTER_ZWEIGLE_web_brochure.pdf (consult. 2021-10-04).
- [16] "1.Introduction to image processing". Sisu@UT | <https://sisu.ut.ee/imageprocessing/book/1> (consult. 2021-10-04).
- [17] R. C. Gonzalez e R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4a ed. New York: Pearson, 2018.

- [18]"Image Acquisition Components | What is Image Acquisition? | Qualitas Technologies". Qualitas Technologies. <https://qualitastech.com/image-acquisition-components/> (consult. 2021-10-04).
- [19]"Image Acquisition". Engineer Ambitiously - NI. <https://www.ni.com/pt-pt/innovations/white-papers/06/image-acquisition.html> (consult. 2021-12-23).
- [20] I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms and Applications. Wiley-Interscience, 2000.
- [21] D. Phillips, Image Processing in C. Prentice Hall, 1994.
- [22]"Image Basics – Image Processing with Python". Data Carpentry. <https://datacarpentry.org/image-processing/02-image-basics/> (consult. 2021-10-04).
- [23] N. Gonçalves, V. Carvalho, M. Belsley, R. M. Vasconcelos, F. O. Soares e J. Machado, "Yarn features extraction using image processing and computer vision – A study with cotton and polyester yarns", Measurement, vol. 68, p. 1–15, maio 2015. Consult. 2021-12-23. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.02.010>
- [24]"Novidades no Visual Studio 2019". Developer tools, technical documentation and coding examples | Microsoft Docs. <https://docs.microsoft.com/pt-br/visualstudio/ide/whats-new-visual-studio-2019?view=vs-2022> (consult. 2021-10-05).
- [25]"Media Kit - OpenCV". OpenCV. <https://opencv.org/resources/media-kit/> (consult. 2021-10-06).
- [26]"Glossary - Kernel". Informatics Homepages Server. <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/kernel.htm> (consult. 2021-10-07).
- [27]"Thresholding – Image Processing with Python". Data Carpentry. <https://datacarpentry.org/image-processing/07-thresholding/> (consult. 2021-10-10).
- [28]"Otsu's Thresholding Technique | LearnOpenCV". LearnOpenCV – OpenCV, PyTorch, Keras, Tensorflow examples and tutorials. <https://learnopencv.com/otsu-thresholding-with-opencv/> (consult. 2021-10-11).
- [29]"Morphology - Erosion". Informatics Homepages Server. <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/erode.htm> (consult. 2021-10-11).
- [30]"Morphology - Dilation". Informatics Homepages Server. <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/dilate.htm> (consult. 2021-10-11).
- [31]"Morphology - Opening". Informatics Homepages Server. <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/open.htm> (consult. 2021-10-11).
- [32]"Morphology - Closing". Informatics Homepages Server. <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/close.htm> (consult. 2021-10-11).
- [33]"PTC Mathcad Help". PTC.com: Log In. http://support.ptc.com/help/mathcad/en/index.html#page/PTC_Mathcad_Help/thinning_and_skeletonizing.html# (consult. 2021-10-12).
- [34]"USB Digital Microscope " Aliexpress. <https://www.aliexpress.com/item/1005003333666083.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=494-037->

6276&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcpr=12838283515&albag=122319359998&trgt=1284054470089&crea=pt1005003333666083&netw=u&device=c&albpg=1284054470089&albpd=pt1005003333666083&gclid=Cj0KCQiA47GNBhDrARIsAKfZ2rB2-85s5iDIVtpAdAsuhdgO_e-fMtAXrbU7Tppw5TWL067aDQMhxcaAluZEALw_wcB&gclsrc=aw.ds&aff_fcid=d59e3cf4fd46e998d6fb33ae82bec8-1638727553822-08963-
UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=d59e3cf4fd46e998d6fb33ae82bec8-1638727553822-08963-
UneMJZVf&terminal_id=2fc4db9818434a32acce8d4104307b3 (consult. 2021-10-12).

[35] USB3 Vision, "Product specifications and user Guide". Omron Sentech co., LTD.

[36] "USB | 欧姆龙先特克股份有限公司 | OMRON SENTECH |". オムロンセンテック | OMRON SENTECH |. <https://sentech.co.jp/cn/products/USB/USB30.html> (consult. 2021-10-18).

[37] Y. J. Park. "Setting up OpenCV 4.1.0 for Visual Studio 2019 in Windows using Pre-built Version". Medium. <https://subwaymatch.medium.com/opencv-410-with-vs-2019-3d0bc0c81d96> (consult. 2021-10-18).

[38]"Install OpenCV with Visual Studio". Introduction - OpenCV Tutorial C++. <https://www.opencv-srf.com/2017/11/install-opencv-with-visual-studio.html> (consult. 2021-10-19).

[39]"Média Aritmética, Geométrica e Harmônica". Vivendo a Estatística! <http://vivendoaestatistica.blogspot.com/2011/08/media-aritmetica.html> (consult. 2021-10-19).

[40] M. Eldessouki, S. Ibrahim e J. Militky, "A dynamic and robust image processing based method for measuring the yarn diameter and its variation", Textile Research Journal, vol. 84, n.º 18, p. 1948–1960, abr. 2014. Consult. 2021-10-19. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.1177/0040517514530032>

[41]"How to Find a Coefficient of Variation". Statistics How To. <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/how-to-find-a-coefficient-of-variation/> (consult. 2021-10-20).

[42]"Standard Deviation - Formula, Definition, Methods, Examples". Cuemath. <https://www.cuemath.com/data/standard-deviation/> (consult. 2021-10-20)

Anexo A – Código desenvolvido para análise do fio têxtil

```
1 #define _USE_MATH_DEFINES//define constantes matematicas
2 #include <opencv2/opencv.hpp>
3 #include <opencv2/highgui.hpp>
4 #include <opencv2/imgproc.hpp>
5 #include<opencv2/imgcodecs.hpp>
6
7 #include <iostream> //bibliotecas
8 #include<stdint.h>
9 #include<cmath>//para calculos matematicos
10 #include <numeric>//para o sumatorio de vectores
11
12 using namespace cv;
13 using namespace std;// maneira de simplificar a chamada de funcoes em vez de std:: ou cv::
14
15
16 Mat src, src_gray, dst, dst1, dst2, dst3_gray;// matrizes de dados para imagens do opencv
17 Mat cinza;
18 Mat dst3, dst4, dst5, dst6;//dilatação da imagem, subtração,threshold para thining,thining
19
20
21 double l = 4;//l comp imagem eixo x(area real da imagem)
22 double d = 2.2; // d larg imag eixo y(area real da imagem)
23 double x, y;//x pix por mm , y pix por mm
24 double px, pd, s, vl, n;//diametro medio em pix, diam em mm,s nureo de pix por diametro,vl volume do fio, n massa linear
25 double tex;//massa linear
26 double ro = 1.54;//densidade do material 1.34poly 1.54algodão
27 double por = 0.22; //porosidade do material segundo artigo 0.22/066
28
29
30 void main()
31 {
32     string path = "F:\\documentos_tese_big\\camara_nova\\poliester_1.bmp";//localização da imagem
33
34     src = imread(path);//ler a imagem
35
36     cvtColor(src, cinza, COLOR_BGR2GRAY); //converter em imagem preto e branco
37
38     threshold(cinza, cinza, 80, 255, THRESH_BINARY_INV);//LINEARIZAÇÃO PARA a skeleton/188/ polyester 100
39
40     cvtColor(src, src_gray, COLOR_BGR2GRAY); //converter em imagem preto e branco
41
42
43     threshold(src_gray, dst, 0, 255, THRESH_BINARY_INV | THRESH_OTSU);//threshold OTSU
44
45     Mat kernel = getStructuringElement(MORPH_RECT, Size(16, 16));//matriz para o opening
46
47
```

```

47 morphologyEx(dst, dst1, MORPH_OPEN, kernel); //opening da imagem
48
49 cout << dst1.size() << endl; //tamanho da imagem
50
51
52
53 uint k; //variavel temp de pixel
54 uint p = 0;
55
56
57 vector<uint> numero; //vetor aonde guarda o numero de pixels
58
59 for (uint r = 0; r < dst1.cols; r++) //linhas
60 {
61     for (uint c = 0; c < dst1.rows; c++) //colunas
62     {
63         k = dst1.at<uchar>(c, r); //variavel temp do valor de pixel
64
65         if (k == 255) //verificação do valor de pixel
66         {
67             p++;
68         }
69     }
70 }
71
72 numero.push_back(p);
73 p = 0;
74
75
76
77
78
79
80 float px = std::accumulate(numero.begin(), numero.end(), 0) / 1440; //diametro medio em pixels
81
82
83 x = l / 1440;
84 y = d / 1080;
85
86 pd = (px * y); //calc diam med mm
87 cout << "diametro: " << pd << "mm\t";
88 float pdcm = pd * 0.1; //pow(10, -1); //diametro em cm
89 cout << pdcm << "cm\t" << endl;
90
91 tex = (por * ro * (M_PI * pow((pdcm / 2), 2))); //massa linear g/cmm
92

```

```

92
93
94 float Tex_1 = tex * 100000;
95 cout << "TEX\t" << Tex_1 << endl;
96 float pdcmr = pdcm / 2; //raio em cm
97
98 vl = M_PI * (pow(pdcmr, 2) / Tex_1) * 100000; //volume linear
99
100 cout << "Volume \t" << vl << endl;
101
102 double b1 = std::accumulate(numero.begin(), numero.begin() + 287, 0); //soma de pixels secção 1
103 double b2 = std::accumulate(numero.begin() + 288, numero.begin() + 557, 0); //soma de pixels secção 2
104 double b3 = std::accumulate(numero.begin() + 558, numero.begin() + 864, 0); //soma de pixels secção 3
105 double b4 = std::accumulate(numero.begin() + 865, numero.begin() + 1252, 0); //soma de pixels secção 4
106 double b5 = std::accumulate(numero.begin() + 1253, numero.end(), 1439); //soma de pixels secção 5
107
108 double a1 = b1 / 288; //diametro medio em pixels secção 1
109 double a2 = b2 / 288; //diametro medio em pixels secção 2
110 double a3 = b3 / 288; //diametro medio em pixels secção 3
111 double a4 = b4 / 288; //diametro medio em pixels secção 4
112 double a5 = b5 / 288; //diametro medio em pixels secção 5
113
114 vector<double>areas; //areas de analise para defeitos
115
116 areas.push_back(a1);
117 areas.push_back(a2);
118 areas.push_back(a3);
119 areas.push_back(a4);
120 areas.push_back(a5);
121
122
123
124 double finos = px * 0.7; //parametro de pontos finos
125 double grossos = px * 1.3; //parametro pontos grossos
126 double borboto = px * 2.4; //parametro borbotos
127 int r = 0; //variavel numero de pontos finos
128 int r2 = 0; //variavel numero de pontos grossos
129 int r3 = 0; //variavel numero de borbotos
130
131
132 for (int f = 0; f < 4; f++) //contagem dos pontos finos
133 {
134     if (areas.at(f) < finos)
135     {
136
137         r++;

```

```

137         r++;
138     }
139 }
140
141
142 for (int f = 0; f < 4; f++)//contagem dos pontos grossos
143 {
144     if ((areas.at(f) > grossos) && (areas.at(f)<(px *2)))
145     {
146
147         r2++;
148     }
149 }
150
151
152 for (int f = 0; f < 4; f++)//contagem dos borbotos
153 {
154     if (areas.at(f) > borbotos)
155     {
156
157         r3++;
158     }
159 }
160
161
162
163 cout << "existem: " << r << " pontos finos" << endl;
164 cout << "existem: " << r2 << " pontos grossos" << endl;
165 cout << "existem: " << r3 << " borbotos" << endl;
166
167 dst4 = cinza-dst1;
168
169 Mat thin = getStructuringElement(MORPH_CROSS, Size(3, 3));
170 bool done = false;//condição para threshold
171 Mat temp;
172 Mat skel = Mat::zeros(dst4.rows, dst4.cols, CV_8U);
173 int rows = dst4.rows;
174 int col = dst4.cols;
175 int size = rows * col;
176
177 do
178 {
179     erode(dst4, dst6, thin);
180     dilate(dst6, temp, thin); //temp = open image
181     subtract(dst4, temp, temp);
182     bitwise_or(skel, temp, skel);

```

```

182     bitwise_or(skel, temp, skel);
183     dst6.copyTo(dst4);
184
185     done = (countNonZero(dst4) == 0);
186
187 } while (!done);
188
189 vector<uint> pelo;//vector ppara pilosidade
190
191
192 for (uint t = 0; t < skel.rows; t++)//linhas
193 {
194     for (uint j = 0; j < skel.cols; j++)//colunas
195     {
196
197
198         k = skel.at<uchar>(t, j);//variavel temp do valor de pixel
199
200         if (k == 255)//verificação do valor de pixel
201         {
202             p++;
203         }
204     }
205
206     pelo.push_back(p);
207     p = 0;
208 }
209
210
211
212 double pelo_pix = accumulate(pelo.begin(), pelo.end(), 0);
213
214 cout << pelo_pix << endl;//numero de pixels presentes de pilosidade
215
216 double area_pilo_total = x * y * pelo_pix;
217
218 double pilo_imag = (area_pilo_total / d)*10;//pilosidade em cm
219
220 double pilo_final = (10 / 4) * pilo_imag;//index por centimetro
221
222 cout << "Index de pilosidade : " << pilo_final << endl;
223
224
225 imshow("thining", skel);// skelotonization
226
227

```

```

226     imshow("thining", skel);// skelotonization
227
228     imshow("original", src);//mostrar a imagem original
229
230
231     imshow("Escala de cinzentos", src_gray);//mostrar a imagem preto e branco
232     imshow("OTSU_Binary", dst);//mostrar a imagem imagem com threshold
233     imshow("opening", dst1);//mostrar a imagem com opening
234
235     imshow("cinza linearizada", cinza);//cinzenta linearizada
236
237     waitKey(0);//delay para manter as janelas abertas
238
239
240 }

```


Anexo B – Resultados dos testes realizados

Fio de algodão branco

```
[1440 x 1080]
diâmetro: 0.41963mm      0.041963cm
TEX      46.856
Volume  2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 0 pontos grossos
existem: 0 borbotos
12136
Index de pilosidade : 0.62428
```

```
[1440 x 1080]
diâmetro: 0.354444mm    0.0354444cm
TEX      33.4295
Volume  2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
16280
Index de pilosidade : 0.837449
```

```
[1440 x 1080]
diâmetro: 0.36463mm    0.036463cm
TEX      35.3783
Volume  2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
15379
Index de pilosidade : 0.791101
```

```
[1440 x 1080]
diâmetro: 0.319815mm   0.0319815cm
TEX      27.2164
Volume  2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
17467
Index de pilosidade : 0.898508
```

Fio de algodão roxo

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.472593mm    0.0472593cm
TEX    59.4302
Volume 2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
11398
Index de pilosidade : 0.586317
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.44mm        0.044cm
TEX    51.5156
Volume 2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
11041
Index de pilosidade : 0.567953
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.437963mm    0.0437963cm
TEX    51.0397
Volume 2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
12158
Index de pilosidade : 0.625412
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.360556mm    0.0360556cm
TEX    34.5922
Volume 2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
9991
Index de pilosidade : 0.51394
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.374815mm    0.0374815cm
TEX    37.3824
Volume 2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
10107
Index de pilosidade : 0.519907
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.356481mm    0.0356481cm
TEX      33.8148
Volume  2.95159
existem: 0 pontos finos
existem: 0 pontos grossos
existem: 0 borbotos
8682
Index de pilosidade : 0.446605
```

Fio de poliéster

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.175185mm    0.0175185cm
TEX      21.3174
Volume  1.13071
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
7464
Index de pilosidade : 0.383951
```

```
[1440 x 1080]
diámetro: 0.173148mm    0.0173148cm
TEX      20.8245
Volume  1.13071
existem: 0 pontos finos
existem: 1 pontos grossos
existem: 0 borbotos
7343
Index de pilosidade : 0.377726
```

Anexo C – Dados fornecidos para referência

Poliéster Branco

- Diâmetro interno da base do cone: **60.2mm**
- Diâmetro externo da base do cone: **60.2mm**
- Diâmetro interno do topo do cone: **53.7mm**
- Diâmetro externo do topo do cone: **53.7mm**
- Altura: **17.5cm**
- E/ou outra medida ou norma típica **Medido à TEX (100m) = 20,9**

Bobine:

- Diâmetro externo da bobine (médio): **33mm**

Algodão Roxo

Diâmetro interno da base do cone: **57.8mm**

- Diâmetro externo da base do cone: **62.5mm**
- Diâmetro interno do topo do cone: **28.9mm**
- Diâmetro externo do topo do cone: **35.5mm**
- Altura: **17cm**
- E/ou outra medida ou norma típica: **Medido à TEX (100m) = 56,4**

Bobine:

- Diâmetro externo da bobine (médio): **32mm**