



**Rafaela Silva do Nascimento**

**Avaliação do potencial da 4,7-di-m-  
toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola como fluoróforo para  
revelação de impressão digital latente**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Ricardo Aucélio  
Coorientador: Prof. Jones Limberger

Rio de Janeiro  
Outubro de 2022



**Rafaela Silva do Nascimento**

**Avaliação do potencial da 4,7-di-m-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola como fluoróforo para revelação de impressão digital latente**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela comissão examinadora abaixo:

**Prof. Ricardo Queiroz Aucélio**

Orientador

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

**Prof. Jones Limberger**

Coorientador

Departamento de Química - PUC-Rio

**Prof. Elcio Cruz de Oliveira**

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

**Profa. Elisabeth Costa Monteiro**

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de outubro de 2022

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

**Rafaela Silva do Nascimento**

Graduou-se em Engenharia Química em 2018 pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Ficha Catalográfica

Nascimento, Rafaela Silva do

Avaliação do potencial da 4,7-di-m-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola como fluoróforo para revelação de impressão digital latente / Rafaela Silva do Nascimento ; orientador: Ricardo Aucélio ; coorientador: Jones Limberger. – 2022.

84 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2022.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Metrologia para Qualidade e Inovação – Teses. 3. Metrologia. 4. Histograma de imagem. 5. Fluorescência. 6. Impressões digitais latentes. 7. Benzotiadiazolas. I. Aucélio, Ricardo Queiroz. II. Limberger, Jones. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. IV. Título.

CDD: 389.1

## Agradecimentos

A Deus, por mais uma oportunidade de aprendizado e evolução.

À minha família e meus amigos, por todo apoio e incentivo.

Aos orientadores Ricardo Queiroz Aucélio e Jones Limberger por aceitarem a missão de me guiar nessa caminhada.

Aos professores que participaram da banca examinadora.

À equipe de apoio do programa de Pós-Graduação em Metrologia por toda disponibilidade e ajuda.

À turma de Pós-Graduação em Metrologia de 2020, não foi fácil iniciar essa etapa em um ano tão desafiador, mas a união e parceria da turma foram importantes para seguir.

Aos companheiros de laboratório do LEEA e do LASOFQ, por compartilharem conhecimento e pela parceria, que muito auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa.

À PUC-Rio, por proporcionar excelência, tanto pelos docentes quanto pela estrutura para o meu aprimoramento.

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

## Resumo

Nascimento, Rafaela Silva do; Aucélio, Ricardo Queiroz; Limberger, Jones. **Avaliação do potencial da 4,7-di-*m*-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola como fluoróforo para revelação de impressão digital latente.** Rio de Janeiro, 2022. 84p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A busca por novas técnicas para a revelação de impressões digitais latentes é constante por conta da importância para a área de Ciências Forenses, em especial, na elucidação de crimes. O objetivo do presente estudo é avaliar o potencial da 4,7-di-*m*-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola (BTD 206) como novo marcador para aplicação na identificação dos grupos fundamentais e pontos característicos dos desenhos das impressões digitais, visando melhor contraste de imagem em substratos de diferentes cores, como capa de celular. Seis matrizes diferentes foram testadas para a análise preliminar do desenvolvimento do pó revelador. A matriz escolhida, carbonato de cálcio foi a que apresentou maior intensidade de luminescência no substrato. Esse pó revelador foi desenvolvido e avaliado através da espectrometria de luminescência em três diferentes concentrações. O programa *Image J* foi utilizado para o processamento das imagens. O pó revelador impregnado com a BTD 206 em metanol, na matriz carbonato de cálcio apresentou características que auxiliaram na melhoria da qualidade do contraste, que foi realizada a partir do histograma de imagem, que descreve a estatística dos níveis de cinza. Dessa forma, em uma imagem com melhor qualidade, é possível extrair informações da impressão digital, como grupos fundamentais e minúncias. O que auxilia em um confronto e identificação de um possível suspeito de um crime. O pó revelador desenvolvido com a BTD 206 teve um desempenho satisfatório para aplicação pretendida.

## Palavras-chave

Metrologia; histograma de imagem; fluorescência; impressões digitais latentes; benzotiadiazolas.

## Abstract

Nascimento, Rafaela Silva do; Aucélio, Ricardo Queiroz (Advisor); Limberger, Jones (Co-Advisor). **Evaluation of the 4,7-di-*m*-tolylbenzo[c][1,2,5]thiadiazole as a potential fluorophore for latent fingerprinting**. Rio de Janeiro, 2022. 84p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The search for new techniques for revealing latent fingerprints is constant due to the importance for the area of Forensic Sciences, in particular, in the elucidation of crimes. The objective of the present study is to evaluate the potential of 4,7-di-*m*-toluylbenzo[c][1,2,5]thiadiazole (BTD 206) as a new marker for application in the identification of fundamental groups and characteristic points of drawings of digital prints, aiming at better image contrast on substrates of different colors, such as cell phone cases. Six different matrices were tested for the preliminary analysis of the developer powder development. The matrix chosen, calcium carbonate, was the one that presented the highest intensity of luminescence in the substrate. This developer powder was developed and evaluated through luminescence spectrometry at three different concentrations. The Image J program was used for image processing. The developer powder impregnated with BTD 206 in methanol, in the calcium carbonate matrix, showed characteristics that helped to improve the quality of the contrast, which was performed from the image histogram, which describes the gray levels statistics. In this way, in a better quality image, it is possible to extract information from the fingerprint, such as fundamental groups and minutiae. Which helps in a confrontation and identification of a possible suspect of a crime. The developer powder developed with BTD 206 performed satisfactorily for the intended application.

## Keywords

Metrology; image histogram; fluorescence; latent fingerprints; benzothiadiazoles.

## Sumário

1	Introdução .....	14
1.1.	Contextualização.....	14
1.2.	Motivação.....	15
1.3.	Objetivo geral .....	15
1.4.	Objetivos específicos .....	16
2	Fundamentação teórica.....	18
2.2.	Papiloscopia.....	19
2.2.1.	Datiloscopia.....	20
2.3.	Técnicas de revelação de impressão digital tradicionais .....	23
2.3.1.	Os pós reveladores.....	24
2.3.2.	Iodo.....	24
2.3.3.	Ninidrina e DFO .....	25
2.3.4.	Cianoacrilato .....	25
2.3.5.	Nitrato de prata .....	26
2.4.	Fluorescência.....	26
2.5.	Compostos fluorescentes como reveladores de impressão digital latente .....	28
2.7.	Processamento de imagem .....	32
2.8.	Avaliação de contraste.....	33
2.8.1.	Histograma de imagem.....	34
2.8.2.	Realce linear de contraste .....	36
2.9.	Segmentação de imagens .....	37
3	Materiais e métodos .....	39
3.1.	Reagentes.....	39
3.2.	Benzotiadiazola.....	39
3.3.	Equipamentos e Instrumentos.....	39
3.3.1.	Instrumentos auxiliares .....	40
3.3.2.	Espectrômetro de luminescência.....	40
3.4.	Preparação dos pós luminescentes .....	40
3.5.	Substratos.....	41
3.6.	Procedimento geral .....	42

3.7. Processamento de imagem .....	43
4 Resultados e Discussões .....	44
4.1. Substrato .....	44
4.1.1. Capas branca e verde.....	45
4.1.2. Capas preta e verde .....	47
4.1.2.4. Óxido de titânio .....	50
4.1.2.5. Híbrido (Carbonato de cálcio e Óxido de silício) .....	51
4.2. Seleção da matriz pela análise de imagem.....	52
4.2.1. Capa branca .....	53
4.2.2. Capa preta .....	53
4.3. Capacidade de reprodução .....	58
4.3.1. Pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ .....	58
4.3.2. Pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ .....	59
4.4. Caracterização dos pós reveladores .....	60
5 Tratamento de dados .....	63
5.1. Avaliação de contraste .....	63
5.2. Limiarização .....	66
5.2.1. Limiarização local .....	66
5.2.2. Limiarização global .....	70
6 Conclusões e recomendações .....	77
7 Referências bibliográficas .....	79



## Lista de figuras

Figura 1: Mercado de tecnologia biométrica.....	14
Figura 2: Regiões da ID. ....	21
Figura 3: Delta.....	21
Figura 4 - Grupos fundamentais da classificação datiloscópica de Vucetich. .....	22
Figura 5: Principais pontos característicos.....	23
Figura 6: Diagrama Jablonski.....	27
Figura 7: Estrutura molecular do núcleo benzotiadiazola.....	32
Figura 8: Tipos de histograma de imagem.....	35
Figura 9: Histograma de imagem resultante da função de transferência.....	36
Figura 10: Aumento linear de contraste.....	37
Figura 11: Substratos (capas de telefone móvel).....	42
Figura 12: Procedimento de revelação de ID latente.....	42
Figura 13: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz pó carbono.....	53
Figura 14: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz talco. .....	54
Figura 15: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz carbonato de cálcio.....	54
Figura 16: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de silício.....	54
Figura 17: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de titânio.....	55
Figura 18: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz híbrida.....	55
Figura 19: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz pó carbono.....	56
Figura 20: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz talco. .....	56
Figura 21: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz carbonato de cálcio.....	56
Figura 22: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de silício.....	57
Figura 23: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de titânio.....	57
Figura 24: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz híbrida.....	57
Figura 25: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4}$ mol L <sup>-1</sup> (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6).....	61
Figura 26: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5}$ mol L <sup>-1</sup> (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6).....	61

Figura 27: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6). .....	62
Figura 28: Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.....	64
Figura 29 Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.....	65
Figura 30: Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.....	66
Figura 31: Limiarização local do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Bernsen (b) Contrast (c) Mean (d) Median (e) MidGrey .....	67
Figura 32: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodos (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu .....	71
Figura 33: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodos (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu .....	72
Figura 34: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodos (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu .....	73
Figura 35: ID revelada com o pó revelador de maior carga de fluoróforo.	74
Figura 36: ID revelada com o pó revelador de carga intermediária de fluoróforo. ....	75
Figura 37: ID revelada com o pó revelador de menor carga de fluoróforo. ....	76

## Lista de quadros

Quadro 1: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz pó de carbono. ....	45
Quadro 2: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz pó de carbono depois de alguns dias. ....	46
Quadro 3: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz talco. ....	48
Quadro 4: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz carbonato de cálcio. ....	49
Quadro 5: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz óxido de silício. ....	50
Quadro 6: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz óxido de titânio. ....	51
Quadro 7: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz híbrida. ....	52
Quadro 8: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ . ....	59
Quadro 9: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ . ....	60

## Lista de tabelas

Tabela 1: Estrutura da BTD e algumas propriedades e características selecionadas. ....	39
Tabela 2: Massa das matrizes utilizadas.....	41

## Lista de abreviaturas e siglas

AIE Emissão Induzida por Agregação do inglês Aggregation Induced Emission

ALC Aumento Linear de Contraste

BTD Benzotiadiazola

CNPs Nanopartículas de carbono do inglês Carbon Nanoparticles

DPPS Difenilpirimidinona-salicilidienamina do inglês Diphenylpyrimidinone-salicylideneamine

EIE Escola de Instrução Especializada

ESIPT Transferência de Prótons Intramolecular de Estado Excitado do inglês Excited State Intramolecular Proton Transfer

IBIA International Biometrics+Identity Association

ICT Transferência de Carga Intramolecular do inglês Intramolecular Charge Transfer

ID Impressão Digital

IE Emissão Induzida do inglês Induced Emission

IFRG Internacional Fingerprint Research Group

NC Nanocompósito do inglês Nanocomposite

Ox-Pdots Pontos de polímero semiconductor funcionalizados com Oxetano

PPV Poli p-fenilenovinileno do inglês Poli p-Phenylenevinylene

QDs Pontos quânticos do inglês Quantum Dots

RGB Vermelho-Verde-Azul do inglês Red-Green-Blue

TPE Tetrafeniletano do inglês Tetraphenylethene

206C Matriz Carbonato de cálcio impregnada com a BTD 206

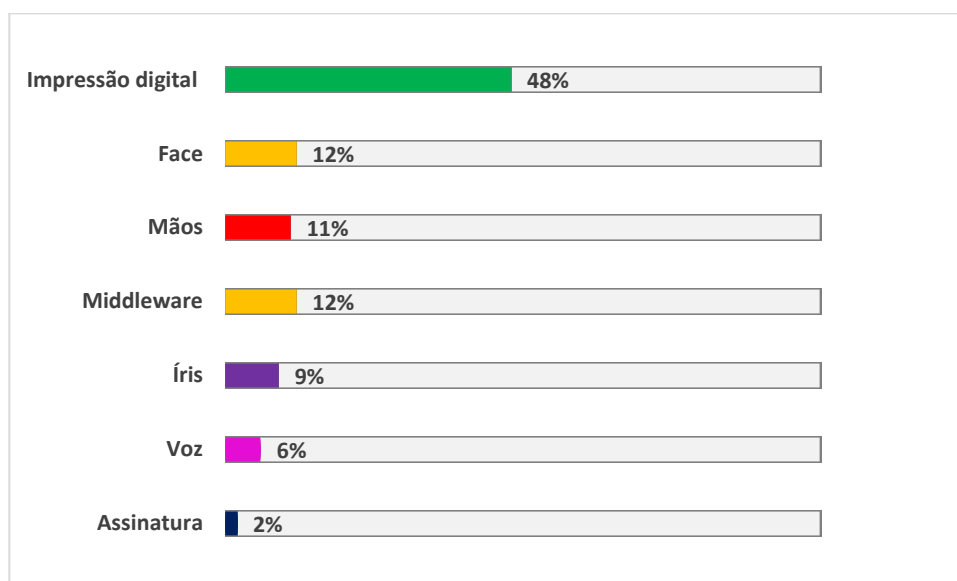
# 1 Introdução

Este capítulo fará uma descrição do contexto em que a dissertação está inserida, além de elencar os objetivos e a motivação para o estudo do tema proposto.

## 1.1. Contextualização

A biometria é o método em que a identificação humana é feita a partir das características físicas, como: íris, face, voz, impressões digitais e mãos. De acordo com IBIA, o indicador biométrico mais utilizado é o das impressões digitais. Tal afirmação é baseada nos dados divulgados e ilustrados na Figura 1 (adaptada de COELHO, 2009).

Figura 1: Mercado de tecnologia biométrica.



Fonte 1: Adaptada de Coelho, 2009.

As técnicas papiloscópicas na biometria é muito utilizada, pois torna a identificação mais rápida e eficaz, em decorrência dos princípios fundamentais no qual ela está baseada. No âmbito forense, a maioria dos vestígios que podem levar a elucidação da dinâmica e autoria de um crime se encontram no local do mesmo e se manifestam, na maioria das vezes, na forma de impressão digital (BRUNI; VELHO; OLIVEIRA, 2019).

Impressões latentes (ou invisíveis) podem ser reveladas por meio de técnicas elétricas, químicas ou físicas. As impressões ficam aderidas a uma superfície devido a transferência de óleos e outras secreções corporais, em geral, de uma parte diminuta da superfície do corpo (dedo, mão ou outro). Essa impressão parcial restringe a prova de onde se obtém a informação, provocando erros no processo de comparação (BERTINO, 2012). Esse tipo de situação justifica a busca por novas técnicas, que confirmem precisão ao método propiciando extrair a melhor informação possível mesmo a partir de um pequeno vestígio impresso.

## 1.2. Motivação

A utilização de benzotiadiazolas (BTDs) fluorescentes nos materiais reveladores pode ser uma alternativa aos já existentes para a revelação de impressões digitais latentes, visto que a detecção de fluorescência vem sendo utilizado na área forense, como no caso dos corantes de benzazol, que são conhecidos por sua intensa fluorescência e emissão no visível (BARROS; TAVARES; STEFANI, 2020). As BTDs fluorescentes possuem propriedades fotofísicas interessantes nesse contexto e que podem ser ajustadas pela incorporação de grupos substituintes.

Derivados do núcleo benzotiadiazola (BTD) com conjugação  $\pi$  estendida têm sido propostos e sintetizados para aplicação em diferentes aspectos da tecnologia da luz (PAZINI, 2019). Baseado no mecanismo de transferência protônica intramolecular no estado excitado (ESIPT) e transferência de carga intramolecular (ICT), os compostos obtidos podem interagir com outras espécies químicas, provocando alterações na característica luminescente (YAN et al., 2020), facilitando processos de detecção, revelação e sondagem. Até o presente momento, a literatura dispõe de poucos estudos experimentais que descrevam a utilização das benzotiadiazolas fluorescentes para aplicação na área de Ciências Forenses. Esta é uma lacuna que a presente pesquisa de mestrado busca preencher, dando uma contribuição ao referido tema.

## 1.3. Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral avaliar o uso de um derivado de BTB, 4,7-di-*m*-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola, na composição de um revelador fluorescente de impressões digitais latentes, propondo métodos para se obter o melhor contraste possível.

#### **1.4. Objetivos específicos**

Para alcançar este objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantar as metodologias utilizadas na revelação de impressões digitais latentes, para que se encontrem as lacunas da área de estudo e seja desenvolvido o aprimoramento desta utilizando a BTB fluorescente, que foi pouco explorada para tal fim.
- Avaliar a aplicabilidade do composto fluorescente 4,7-di-*m*-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola (BTB 206) como revelador em substrato de diferentes cores, no caso capas de telefone celular.
- Avaliar a aplicabilidade da BTB fluorescente baseada no estudo empírico, desenvolvendo um método eficaz para determinar a qualidade do contraste de impressões digitais desenvolvidas com o uso destas.
- Selecionar a melhor matriz para desenvolvimento do pó revelador impregnado com a BTB fluorescente para revelação de impressões digitais latentes, considerando a maior intensidade de fluorescência, brilho e contraste entre regiões de maior e menor presença de BTB na estrutura da impressão.
- Avaliar a aplicabilidade da BTB fluorescente para visualização de minúcias nas impressões digitais.

#### **1.5. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, que abordam temas relacionados a revelação de impressões digitais latentes, fornecendo ao leitor uma abordagem que identifica e contextualiza lacunas da literatura científica



especializada, contribuindo para o avanço tecnológico, melhoria da segurança e inovação na área de Ciências Forenses.

O capítulo 1 refere-se à introdução da dissertação, na qual busca-se estabelecer uma relação do leitor com o tema proposto, dando uma ideia de contexto da pesquisa. A BTD 206 caracteriza-se como foco desta dissertação na revelação de impressões digitais latentes.

O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, necessária para compreender conceitos específicos do trabalho.

No capítulo 3, descreve-se os materiais e a metodologia utilizada para a revelação das impressões digitais latentes em diferentes substratos (superfícies).

No capítulo 4 se apresentam os resultados experimentais, possível comparação com as informações descritas na literatura científica e a discussão dos resultados, para que conclusões sejam formuladas.

No capítulo 5, descreve-se a análise de dados, a partir da melhoria do contraste. Esta análise surgiu como uma alternativa com embasamento gráfico aos métodos subjetivos e, por vezes ambíguo, de avaliação qualitativa. Avaliando-se o contraste, por meio de técnicas de processamento de imagem tem-se um ganho significativo na qualidade de imagens de impressões digitais latentes reveladas.

O capítulo 6 aborda as conclusões formuladas a partir dos resultados, apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação teórica

Neste capítulo é apresentada a pesquisa teórica para fundamentar o trabalho desenvolvido na presente dissertação relacionado com a avaliação do potencial da BTD 206 como fluoróforo para revelação de impressão digital latente.

### 2.1. Sistemas de identificação humana

Ao longo do processo civilizatório, o ser humano sempre buscou a sua individualidade, ou seja, a necessidade de sentir-se único no contexto do convívio social. Em função da complexidade das sociedades, das relações entre indivíduos e de seus comportamentos, o estudo da identificação humana se tornou importante. Esta passou por muitos sistemas, alguns serão elencados aqui.

O nome é a individualização do homem na sociedade, mesmo após a sua morte (VENOSA, 2003). A primeira utilização do nome do indivíduo, data de 2850 a.C, quando o imperador chinês Fushi decretou o uso do nome de família (sobrenome) como forma de individualização (BENFICA; VAZ, 2012). Alguns sistemas de individualização eram também uma forma de punição, como o ferrete, que era a marcação feita com o ferro em brasa no corpo. Esse recurso era usado durante a colonização, tanto para identificar a quem os escravizados pertenciam quanto para enumerá-los. Outro exemplo que pode ser citado é o que ocorreu, no século 17, na Pensilvânia (Estados Unidos da América) quando os criminosos eram marcados, a ferro quente, no polegar esquerdo, para indicar o crime cometido. Por exemplo, usavam A para adúltero, M para assassino, T para felonía, entre outros (MOREIRA, 2011).

A mutilação era considerada uma das formas mais cruéis de identificação do indivíduo. Na Idade Média utilizavam-se diferentes instrumentos para retirar partes de tecido do corpo (SOBRINHO, 2003). Esse método já foi utilizado de 1607 a 1763, em países como: Cuba, Espanha e Estados Unidos. Porém, ainda hoje, esse método ainda é utilizado em países do Oriente Médio, como forma de punir infratores, conforme o crime (ARAÚJO; PASQUALI, 2006).

Outra forma de identificação era a tatuagem, que é o processo no qual corantes são introduzidos na epiderme com o intuito de se obter uma figura ou imprimir um nome, também conhecido como sistema cromodérmico que já era utilizado nos costumes indígenas. Tatuagem criminosos através de números, na parte interna do antebraço direito, foi a sugestão de Jeremy Bentham em 1832 (ARAÚJO; PASQUALI, 2006). Tal prática foi extensivamente usada nos campos de trabalho e de extermínio nazistas durante a Segunda Guerra Mundial, onde se tatuavam os prisioneiros no peito e no braço esquerdo (SOBRINHO, 2003). Os soldados alemães da *Waffen Schutzstaffel* (SS) também portavam tatuagem de grupo sanguíneo, sendo essa prática indiretamente uma maneira de identificar um indivíduo como membros dessa força de elite.

No caso da fotografia sinalética, utilizada até hoje para cadastro criminal, a pessoa é fotografada de frente e de perfil (SOBRINHO, 2003). Contudo, a identificação através da fotografia se mostrou frágil, visto as mudanças de fisionomia que as pessoas sofrem ao longo da vida, além de não existir um banco de dados para consulta.

O sistema antropométrico, que foi desenvolvido por Bertillon em 1882 tinha três pontos principais, baseados em características: antropométricas, descritivas e sinais particulares. Contudo apresentava dificuldades para: execução, arquivamento e classificação (BENFICA; VAZ, 2012).

## **2.2. Papiloscopia**

A papiloscopia é utilizada para a individualização humana e apresenta um conjunto de critérios para a identificação através das papilas dérmicas, com o objetivo de provar por meios técnicos, precisos, inconfundíveis e irrefutáveis, que uma pessoa é totalmente distinta de outra (ASSUMPCÃO, 2014). Essa diferenciação é baseada na: i) Variabilidade; ii) Perenidade e iii) Imutabilidade da impressão.

A variabilidade é a propriedade dos desenhos papilares não se repetirem, a perenidade se deve ao fato dos desenhos durarem a vida toda. Por fim, a imutabilidade é a propriedade das papilas dérmicas não mudarem a disposição original (ARAÚJO, 2009).

Existem cinco métodos para a identificação papiloscópica (ARAÚJO; PASQUALI, 2006), citados a seguir:

- Datiloscopia (identificação através das impressões digitais);
- Quiroscopia (identificação através das impressões palmares);
- Podoscopia (identificação através das impressões plantares);
- Poroscopia (identificação através dos poros);
- Critascopia (identificação através das cristas papilares).

Apesar das semelhanças entre os métodos, esta pesquisa enfatizará o processo datiloscópico, já que é amplamente utilizado no cotidiano, como nas eleições, acesso físico a lugares e equipamentos, além de muitas das carteiras de identificação oficiais.

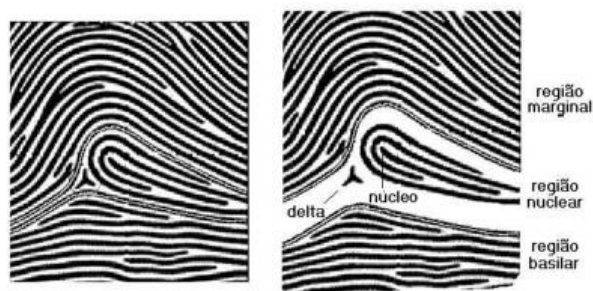
### **2.2.1. Datiloscopia**

A datiloscopia é uma sub-divisão da papiloscopia, em que a identificação é feita a partir das impressões digitais (KEHDY, 1968). Nesse contexto, existem três tipos: Civil, Criminal e Clínica. O primeiro é aplicado para fins civis, ou seja, expedição de documentos de identidade. O segundo é aplicado à identificação para fins criminais e expedição de documentos de idoneidade. Já o terceiro é aplicado ao estudo das mudanças causadas por atividade laboral ou estado patológico (EIE, 2009).

#### **2.2.1.1. Classificação datiloscópica**

O sistema de classificação datiloscópica instituído por Felix Pacheco no Brasil, foi originado por Juan Vucetich na Argentina, em 1891 (BENFICA; VAZ, 2012) e se baseia nos padrões gerados pelas linhas papilares que são transferidos numa impressão física. As linhas papilares são as linhas que formam o desenho digital, estas são separadas em três regiões, como ilustrado abaixo na Figura 2.

Figura 2: Regiões da ID.



Fonte 2: Assunção, 2014.

A região marginal é formada pelo conjunto de linhas situado na parte superior da impressão digital (ID). A região nuclear é formada pelo conjunto de linhas situado na parte central da ID. A região basilar é formada pelo conjunto de linhas situado na parte inferior da ID, limitando-se pela prega interfalagiana do dedo.

As classificações consistem em quatro grupos, mas existe uma característica que é fundamental para a determinação destes que é o **delta**. No alfabeto grego é representado por um triângulo, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Delta.

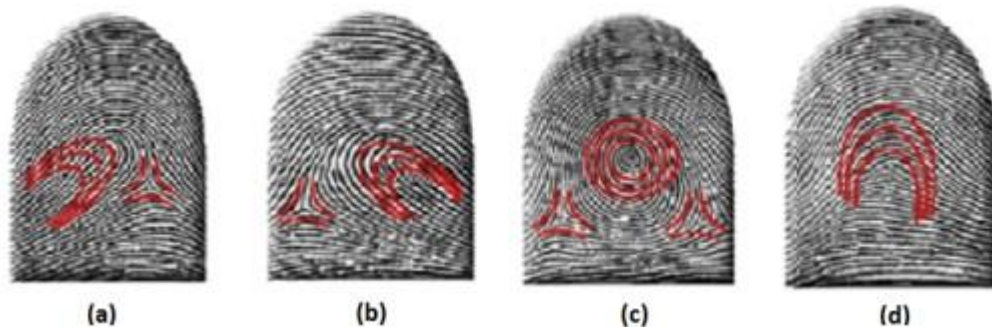


Fonte 3: Benfica; Vaz, 2012.

A ausência ou presença do delta auxilia na classificação dos quatro grupos fundamentais, que são: i) Presilha interna; ii) Presilha externa; iii) Verticilo e iv) Arco. Na figura 4 tem-se a representação destes grupos:

Figura 4 - Grupos fundamentais da classificação datiloscópica de Vucetich.

(a) Presilha interna (b) Presilha externa (c) Verticilo (d) Arco



Fonte 4: Assumpção, 2014.

Na ilustração se vê que em (a), a presilha interna possui um delta a direita do núcleo. Em (b), a presilha externa possui um delta a esquerda do núcleo. O verticilo, visto em (c), possui um núcleo localizado ao centro, um delta a esquerda e um delta a direita deste. Já o arco, visto em (d), não possui delta e as linhas são paralelas e abauladas.

### 2.2.1.2. Pontos característicos ou minúcias

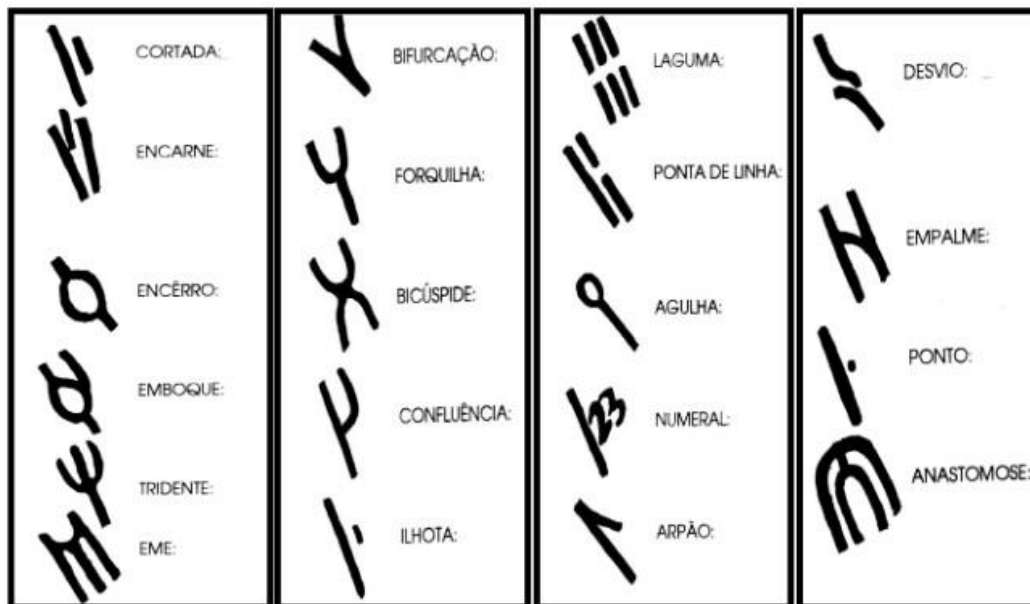
Os desenhos digitais são formados por linhas que são contínuas. As cristas papilares apresentam características chamadas de detalhes minuciosos ou pontos característicos, cuja formação e disposição no desenho digital lhe conferem a individualidade (MOENSSENS, 1971).

Em 1970, na 55ª Conferência Anual da Associação Internacional de Identificação, nomeou-se um comitê de padronização, cuja tarefa foi determinar o número mínimo de minúcias papilares que deveriam estar presentes em duas impressões de modo a estabelecer uma identificação positiva. Contudo, após três anos de estudo concluíram que não existia base científica para tal determinação. Assim, o especialista, baseado em seus conhecimentos técnico-científico e experiência, é que ficaria responsável pela positivação ou não do confronto das impressões digitais (CHAMPOD, 2004).

Pela doutrina diz-se que um confronto de impressões digitais é positivo quando há o assinalamento de, pelo menos 12 pontos característicos coincidentes entre elas (EIE, 2009).

Os principais pontos característicos são ilustrados na figura 5, que segue abaixo.

Figura 5: Principais pontos característicos.



Fonte 5: Manual de Papiloscopia da Polícia Civil do Paraná.

### 2.3. Técnicas de revelação de impressão digital tradicionais

A maioria das impressões digitais consistem em secreções oriundas das glândulas da pele. As glândulas responsáveis pelas secreções são écrinas, sebáceas e apócrinas.

As glândulas écrinas secretam grande parte de água com contaminantes inorgânicos e orgânicos. Os componentes inorgânicos deste tipo de secreção incluem: cloretos, íons metálicos, amônia, sulfatos e fosfatos. Já os componentes orgânicos incluem subprodutos do metabolismo, tais como: aminoácidos, ureia, ácido láctico, colina, ácido úrico, creatina e açúcares. As glândulas sebáceas são secretoras de substâncias gordurosas ou oleosas. Elas incluem compostos orgânicos, tais como: ácidos graxos e glicerídeos, bem como álcoois e hidrocarbonetos. As glândulas apócrinas secretam materiais nucleares, incluindo compostos inorgânicos, tais como o ferro iônico; e compostos orgânicos, tais como: proteínas, hidratos de carbono e de colesterol (FORENSICS BRASIL, 2021).

Existem muitas técnicas para a revelação das IDs latentes, sendo o que norteará a escolha de qual seria a mais indicada é a superfície de análise (CHRISTOFIDIS; MORRISSEY; BIRKETT, 2018). Métodos que são usados atualmente e aqueles que têm o potencial de reduzir o custo e tempo necessários para processar evidências, aumentar as taxas de recuperação são considerados e avaliados por instituições e grupos que tem interesse na área (IFRG, 2014).

### **2.3.1. Os pós reveladores**

Os pós, talvez sejam o meio mais antigo para visualizar impressões e estão em uso desde o final do século XIX (LEE; GAENSSLEN, 2013). Devido a isso é a técnica mais comumente usada, sendo adequada para superfícies dúcteis, relativamente lisas e não porosas, como: azulejos e vidro espelhado (JACKSON; JACKSON, 2017). Ao longo dos anos, um número considerável de materiais orgânicos e inorgânicos vem sendo usados para fazer pós, além dos vários pós coloridos.

No uso de pós magnéticos tem-se um dispositivo especial, conhecido como aplicador de pó magnético, este é aplicado à superfície em questão, sem a necessidade de tocá-lo. O ímã remove o excesso de pó da digital, deixando-a claramente visível (JACKSON; JACKSON, 2017).

Os pós luminescentes, que podem ser fluorescentes ou fosforescentes e, após a aplicação destes utiliza-se a radiação ultravioleta (UV) para excitar o luminóforo, que emite radiação, na região espectral do visível, assim possibilitando a visualização das impressões digitais latentes.

### **2.3.2. Iodo**

O tratamento com iodo é uma das técnicas mais antigas conhecidas para a revelação de impressões digitais latentes. O vapor de iodo é absorvido pelos lipídios das glândulas sebáceas, presentes no depósito da marca digital para produzir uma imagem acastanhada desta. Esse é um processo físico reversível, em vez de uma reação química e não exclui uma posterior associação com outras técnicas.



Embora a técnica seja simples, de revelação rápida e econômica, as digitais reveladas com iodo são difíceis de registrar, porque o contraste geralmente é pobre e transitório, devido à sublimação de iodo. Para melhorar o resultado obtido com a técnica é necessário que as digitais sejam quimicamente fixadas. A técnica pode ser aplicada a uma ampla gama de superfícies, porosas e não porosas, como: papel, madeira, plástico e vidro. Contudo devido à sua sensibilidade limitada, marcas com mais de 3 dias são improváveis de serem detectadas. Além disso, exposição prolongada ao vapor tóxico e corrosivo do iodo é danoso (CHAMPOD et al., 2004).

### 2.3.3. Ninidrina e DFO

A ninidrina reage com aminas primárias e secundárias, presentes em aminoácidos, proteínas e peptídeos, cujo produto resulta em um roxo escuro, conhecido como roxo de Ruhemann (CHAMPOD et al., 2004). Desde que foi proposta pela primeira vez para a detecção de IDs, tornou-se a técnica mais utilizada quando a superfície de análise é porosa, como papel e papelão (ODÉN; VON HOFSTEN, 1954).

O composto 1,8-diazafluoren-9-ona (DFO) é um reagente sensível a aminoácidos, cujo produto de reação resulta em uma cor púrpura pálida, mais clara que a cor obtida com Ninidrina (CHAMPOD et al., 2004). A vantagem do reagente é que, sem qualquer tratamento secundário, as marcas reveladas mostram uma forte luminosidade à temperatura ambiente (POUNDS et al., 1990).

### 2.3.4. Cianocrilato

Ésteres de cianocrilato, geralmente o éster etílico, são líquidos monoméricos incolores, vendidos comercialmente como colas de alta resistência, por exemplo, as ditas supercolas. Cianocrilato líquido forma um vapor que reage com certos componentes écrinos e sebáceos em uma impressão digital latente. O vapor polimeriza seletivamente nas cristas da impressão digital para formarem um polímero duro branco, conhecido como policianoacrilato (CHAMPOD et al., 2004).

### 2.3.5. Nitrato de prata

O nitrato de prata reage com o componente cloreto, oriundo da secreção écrina para formar cloreto de prata sensível à luz. Após a exposição, cloreto de prata, que é da cor branca, é decomposto em metal prata, produzindo uma imagem preta da marca do dedo. A técnica é eficaz na maioria das superfícies, como papéis e madeira não tratada. No entanto, a perda de detalhes da marca do dedo tende a ser observada com marcas relativamente antigas, superiores a uma semana, devido à difusão dos cloretos através do substrato (ANGST,1962).

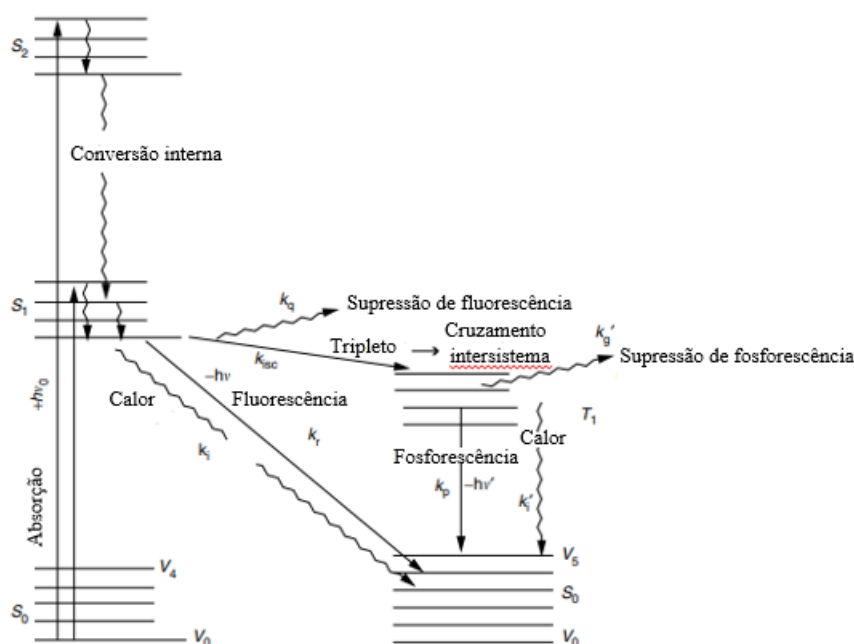
Embora seja simples de aplicar, o método é destrutivo, causando uma forte reação que resulta em um escurecimento do substrato com o tempo (oxidação da prata). O nitrato de prata também é um reagente caro.

## 2.4. Fluorescência

Fotoluminescência é o termo geral para o fenômeno da emissão de radiação a partir de espécies químicas (átomos, moléculas e nanopartículas) quando relaxam radiativamente a partir de estados excitados. A fluorescência é um tipo de luminescência, que em moléculas ocorre na escala do nanosegundo e envolve transições entre estados de energia de mesma multiplicidade.

Quando fótons interagem com a matéria, no caso uma molécula com sítios cromofóricos, podem ser absorvidos promovendo as moléculas para estados mais energéticos, com saltos quânticos proporcionais à energia transferida a partir dos fótons. O relaxamento energético da população de moléculas excitadas para níveis menos energéticos (mais comumente o fundamental) ocorre em seguida e envolve a emissão de fótons, tem-se luminescência (CHAMPOD et al., 2004). As diferentes transições decorrentes desse processo podem ser observadas na Figura 6 (adaptada de Jablonsky, 1935).

Figura 6: Diagrama Jablonski.



Fonte 6: Adaptada de Jablonski, 1935.

No diagrama de Jablonski (diagrama de transições eletrônicas) observa-se que o processo ocorre a partir do estado excitado  $S_1$ , de onde a população de moléculas relaxará para o estado fundamental  $S_0$ , com emissão de fótons. O processo radiante ( $S_1 \rightarrow S_0$ ) tem perfil cinético de primeira ordem, com constante radiativa  $k_r$ . O tempo de vida no qual as moléculas permanecem no estado excitado,  $S_1$ , antes de relaxar para estado de mesma multiplicidade  $S_0$  é da ordem do nanosegundo (ALBANI, 2007). Esse tempo de vida é definido como o tempo requerido para que a população excitada diminua em  $1/e$  por conta de relaxação.

Na fluorescência de moléculas, os fótons emitidos têm energia menor do que aqueles envolvidos na excitação (fótons absorvidos), sendo que em muitos casos tal emissão ocorre na região visível do espectro o que torna o fenômeno ainda mais interessante do ponto de vista prático das tecnologias da luz. No caso de formação de imagens, a simples irradiação com UV (com fonte direta, por meio de microscópio ou em uma câmara de revelação), torna o perfil impregnado com o fluoróforo (espécie fluorescente) visível.

## 2.5. Compostos fluorescentes como reveladores de impressão digital latente

### 2.5.1. Compostos orgânicos

Cientistas forenses exigem que as impressões digitais reveladas por diversas técnicas mantenham um padrão bom e robusto por um longo tempo de preservação, já que constituem uma prova material importante (CHEN et al., 2016). Dessa forma, o desenvolvimento de novos materiais e métodos que permitam a visualização das impressões digitais latentes, de maneira fácil, rápida, precisa e não destrutiva, é de suma importância.

Pontos de polímero semiconductor funcionalizados com Oxetano (Ox-Pdots) para padronização covalente e rápida visualização de impressões digitais latentes foram sintetizados por Chen et al. (2015). O alto brilho de fluorescência, o grande deslocamento de Stokes (distância energética entre os máximos de excitação e de emissão luminescente) e as excelentes propriedades de superfície dos Ox-Pdots levam a imagens reveladas de alta sensibilidade e resolução. Estruturas de crista de ID com o primeiro, segundo e terceiro níveis de detalhes foram visualizadas em poucos minutos. O método foi fácil e robusto para diferentes superfícies, como vidro, metal e plásticos (CHEN et al., 2015).

Corantes fluorescentes foram avaliados para a detecção de impressões digitais latentes em diferentes tipos e cores de fitas adesivas e foram denominados HB-7, HB-9 e HB-11, por estarem em patente pendente no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. Em comparação com os reagentes convencionais usados para revelar marcas latentes nessas superfícies, esses corantes fluorescentes apresentaram vantagens, segundo o autor (BARROS; STEFANI, 2016). Dentre essas vantagens estariam a seletividade para IDs, requerendo apenas um procedimento simples, a não necessidade de pré ou pós-tratamento, a alta estabilidade térmica e fotoquímica, o baixo custo e o uso de água como solvente. Além disso, os autores citam que a fluorescência emitida criou um contraste acentuado entre a superfície e o objeto de interesse, o que significa que as impressões digitais reveladas serão visualizadas com facilidade quando excitadas com luz UV de 365 nm.

Alguns dos fluoróforos orgânicos possuem alta propensão para agregação em solução aquosa e no estado sólido, o que leva a emissão induzida por agregação (AIE). Para aplicações práticas em optoeletrônica, pesquisa biomédica, monitoramento de ecossistemas e proteção ambiental, a maioria é usado como filme fino ou em forma agregada. Fluoróforos com propriedades AIE permanecem não fluorescentes quando em solução, devido à dissipação da energia absorvida através de canais de decaimento não radiativos, enquanto na forma agregada o empacotamento impõe restrições aos canais de decaimento não radiativo e forte fluorescência pode ser observada. Com base nessa característica, pesquisadores começaram a desenvolver novos compostos para serem utilizados em várias aplicações. Aqueles baseados em transferência protônica intramolecular no estado excitado (ESIPT) podem mostrar duas bandas de emissão, a normal da forma enol (alta energia, baixo deslocamento de Stokes) e a ESIPT devido à forma ceto (baixa energia, grande deslocamento de Stokes). No entanto, se o processo for permitido, a transferência de próton, geralmente do grupo hidroxila (doador de próton), para o nitrogênio (aceptor de próton), através da transição cíclica, resulta em uma energia muito menor do que o estado não-ESIPT e, conseqüentemente, a fluorescência dos compostos ESIPT pode ser extinta através do bloqueio do grupo hidroxila ou pode se tornar ativa no estado agregado devido à restrição no processo de movimento ou através do isolamento do sistema de solvente devido à agregação (desbloqueio do grupo hidroxila).

Os agregados fluorescentes de difenilpirimidinona-salicilidienamina (DPPS-1 e DPPS-2) revelaram emissão fraca quando dissolvidos em solventes orgânicos, mas na mistura de água e acetonitrila observou-se fortes propriedades AIE associadas ao ESIPT, que podem ser usados para visualizar impressões digitais latentes em alumínio, vidro, superfícies de aço, ladrilhos de cerâmica e moedas. Essas impressões digitais fornecem informações até o segundo nível, como núcleo, lago, terminação de cristas, pontos, delta e bifurcação podem ser claramente visualizados (SINGH et al., 2016).

Com base no efeito AIE do tetrafeniletano (TPE) explorou-se a possibilidade de identificar impressões latentes. O efeito deste foi utilizado para melhorar a visualização em superfícies não-porosas molhadas. A realização do contraste visual depende da adesão preferencial de agregados de TPE às cristas por

interação hidrofóbica. Os agregados adsorvidos emitem fortemente sob iluminação UV, aumentando suficientemente o contraste visual com o substrato. Melhorando assim a visualização do padrão de impressão digital, bem como os detalhes característicos (LI; XU; SU, 2012).

Um ariloxi e um bifenil-derivados de estiril-benzotiadiazol substituídos foram projetados e sintetizados visando a emissão aumentada induzida por agregação (AIEE). A presença de nanoagregados nessas condições foi corroborada por medidas dinâmicas de dispersão da luz e pela dependência de temperatura da fluorescência. Estes foram aplicados para o reconhecimento de impressões digitais latentes, permitindo sua detecção em superfície de vidro e alumínio. Com boa diferenciação entre cristas e sulcos, bem como visualização de informações de nível secundário, como: núcleo, cristas independentes, bifurcações, terminações de cristas, pontos de cristas (FIUZA et al., 2022).

### 2.5.2. Compostos de coordenação

Nanopartículas e nanoestruturas metálicas e de óxidos metálicos vem sendo incorporados ao campo da detecção forense de ID (CHOI et al., 2008). Nanopartículas de conversão ascendente (*up-conversion*) dopados com terras raras podem fluorescer no visível quando excitadas no infravermelho próximo. Os Nesse contexto, nanopartículas de NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er foram usados com sucesso para a detecção de ID latentes com alta sensibilidade, baixo sinal de fundo em vários substratos, como vidro, mármore, folhas de liga de alumínio, chapas de aço inoxidável, folhas de alumínio, cartões de plástico, piso de madeira e madeira pintada e papéis (WANG, 2015).

Nnanopartículas de carbono, obtidas pela pirólise do ácido málico e oxalato de amônio, foram incorporadas no pó de amido, produzindo um pó fluorescente, amigável ao meio ambiente, para detectar ID latentes em superfícies não porosas. As IDs latentes reveladas com esse pó mostraram intensa fluorescência sob a excitação do UV (LI et al., 2016).

Nanopartículas de poli(p-fenilenovinileno), em meio coloidal aquoso, foram preparadas através de um método de Wessling modificado, com a adição de

surfactante (CHEN et al., 2017). A dispersão coloidal fluorescente foi utilizada para revelar as impressões digitais em diferentes substratos. Imergiram-se os substratos nesta mistura, e, em seguida, retirou-se para o enxágue com água, antes da incidência de radiação de excitação. O estudo foi realizado em IDs impregnadas em fitas adesivas, mostrando-se muito eficaz para revelação de IDs frescas e também as envelhecidas (CHEN et al., 2017).

Um novo corante altamente fluorescente foi produzido usando oleilamina combinada com dianidrido de perileno. O corante foi absorvido em nanopartículas de dióxido de titânio para uso como pó de detecção de ID latentes. O pó fluorescente foi utilizado em diferentes superfícies não porosas (vidro, sacos de polietileno e madeira pintada) e comparado com pós fluorescentes comerciais. Em comparação com os pós fluorescentes magnéticos, o pó revelador proposto foi ligeiramente mais fraco na intensidade de fluorescência, mas sofreu menos com a influência do fundo nos diferentes substratos estudados, resultando em bom contraste entre ele e a ID revelada, a exceção foi a madeira pintada (CHOI et al., 2007).

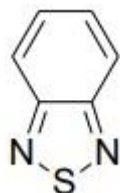
Pontos quânticos de sulfeto de cádmio (CdS) altamente fotoluminescentes, encapsulados em uma matriz de quitosana biopolimérica, foram usados para detecção de ID latentes. Os íons cádmio foram quelatados dentro da matriz de quitosana, seguida pela rápida adição de sulfeto de sódio, para produzir um nanocompósito de CdS/quitosana. A dispersão deste no surfactante anfifílico tergitol, com subsequente liofilização, produziu um pó que aderiu preferencialmente às superfícies hidrofílicas. Este pó revelou com sucesso IDs latentes em folha de alumínio com características de crista identificáveis. No entanto, os autores apontaram para a necessidade de mais refinamento para melhorar tamanho de partícula e aplicação (DILAG; KOBUS; ELLIS, 2009).

## **2.6. Derivados do núcleo benzotiadiazola**

A estrutura molecular do núcleo benzotiadiazola (BTD) é representado na Figura 7. O anel BTD tem uma forte capacidade de retirada de elétrons, o que facilita os processos de estabilização do estado excitado, principalmente o mecanismo ICT. Dessa forma, como uma estratégia para obtenção

de derivados fluorescentes, são ligados à BTB grupos doadores de elétrons. Isso leva à compostos com características doador-aceptor, o que reforça ainda mais o caráter ICT no estado excitado, levando à compostos altamente fluorescentes.

Figura 7: Estrutura molecular do núcleo benzotiadiazola.



Derivados de BTB fluorescentes normalmente exibem grandes deslocamentos de Stokes e geralmente são fluoróforos eficientes e estáveis, mesmo em estados excitados, emitindo, tipicamente, na região de luz visível. As BTBs normalmente exibem emissão intensa, que geralmente não desaparece mesmo após longos períodos de irradiação, o que ilustra a sua fotoestabilidade. Em geral, elas possuem estruturas altamente polarizadas que levam a interações intermoleculares como contatos de heteroátomos e interações  $\pi$ - $\pi$ , levando a estruturas cristalinas bem ordenadas. Em termos de estabilidade, podem ser armazenados (puros ou em solução) por anos em temperatura ambiente e, mesmo assim, mantém a integridade estrutural.

Por conta de suas características, as BTBs vem sendo utilizadas em aplicações nas áreas de: biologia (NETO; CARVALHO; CORREA, 2015), química biológica (LAVIS; RAINES, 2014), química analítica (WU et al., 2016), células solares (ZANG et al., 2022). Mais recentemente a emissão induzida pela agregação (AIE) e a emissão aumentada induzida pela agregação (AIEE), baseada em BTB foram utilizadas para reconhecimento de impressões digitais latentes (FIUZA et al., 2022).

## 2.7. Processamento de imagem

O processamento de imagem de ID latentes é uma área de pesquisa bastante ativa. As técnicas de aprimoramento que são usadas rotineiramente podem nem



sempre ser ideais para todas as superfícies em que se pode encontrar uma ID impregnada. Muitas as técnicas são ineficazes para traços latentes fracos e podem não produzir detalhes suficientes para identificação (VANDERWEE et al., 2011).

O objetivo do tratamento de IDs latentes é permitir a visualização da marca de dedo através da produção de contraste entre as cristas e o material de fundo, mantendo o nível de detalhe presente na marca latente. A visualização da impressão digital é um princípio fundamental para permitir uma análise forense na forma de uma comparação visual. O contraste, definido como a diferença entre extremos, é, portanto, um parâmetro principal da qualidade da impressão digital (HUMPHREYS; PORTER; BELL, 2008).

Em geral, a imagem pura, adquirida pelo dispositivo de captura, necessita de transformações e realces que a torne mais adequada para que se possa extrair o conteúdo de informação desejada com maior eficiência. Com o avanço da tecnologia, os celulares, por exemplo, já possuem artifícios para a melhoria da imagem, estes possibilitam a inserção de filtros, modificação nos níveis de: contraste, brilho, realce, saturação, sombra, matiz e temperatura. Desta forma o usuário obtém a imagem da forma que melhor se adequa para seu uso.

## **2.8. Avaliação de contraste**

A imagem digital é composta por um número finito de elementos, cada um com localização e valor específico. Esses elementos são chamados de elementos pictóricos, elementos de imagem, pels ou pixels, que é o termo mais utilizado para representar os elementos de uma imagem digital (GONZALES; WOOD, 2010).

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos, como a visão humana, já que essa só consegue discriminar 30 diferentes níveis de cinza (CRÓSTA, 1992). Usualmente a técnica é empregada como uma etapa de pré-processamento em aplicações de reconhecimento de padrões. A manipulação do contraste dos objetos presentes em uma imagem digital consiste em uma correção radiométrica para diminuição de ruídos e aumento da discriminação visual entre eles. Embora a escolha do

mapeamento adequado seja, em princípio, essencialmente empírica, uma análise prévia do histograma da imagem se afigura, em muitos casos, bastante útil.

### 2.8.1. Histograma de imagem

O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de pixels. O histograma de uma imagem digital com níveis de intensidade no intervalo  $[0, L - 1]$  é uma função discreta (GONZALES; WOOD, 2010):

$$h(r_k) = n_k$$

Em que  $h$  é a frequência,  $r_k$  é o  $k$ -ésimo valor de intensidade e  $n_k$  é o número de pixels da imagem com intensidade  $r_k$ .

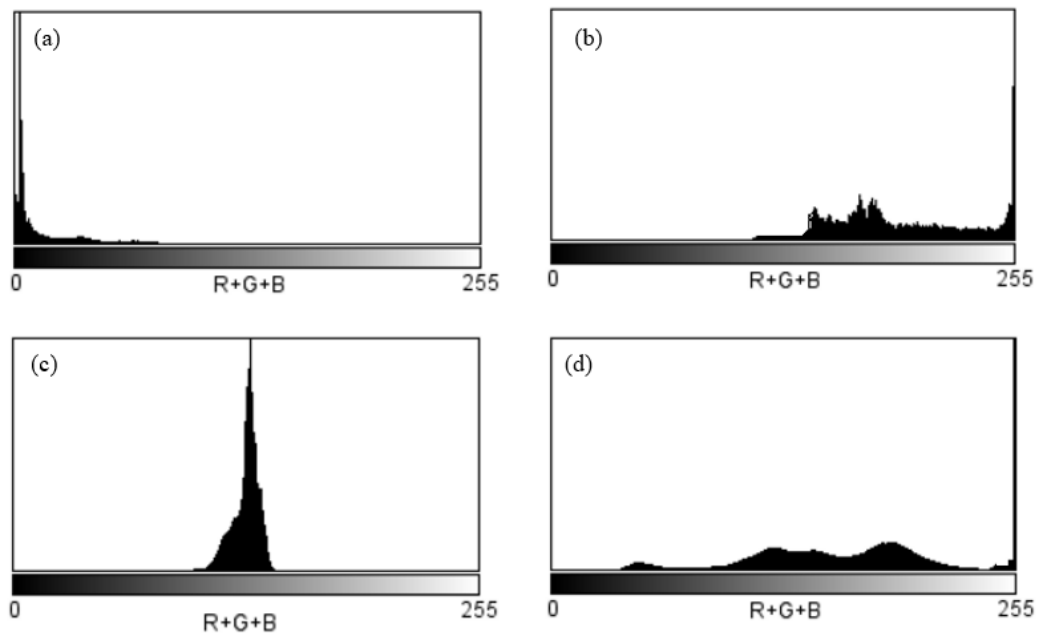
Ao se normalizar, tem-se:

$$p(r_k) = \frac{n_k}{M \cdot N}, k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

Em que  $p(r_k)$  representa a estimativa de probabilidade da distribuição dos valores de intensidade presentes nos pixels de uma imagem.  $M$  e  $N$  são as dimensões de linha e coluna da imagem, e o produto destes equivale ao número total de pixels.

Cada pixel de uma imagem é formado por uma cor, que deriva de uma combinação de cores primárias, RGB (vermelho, verde, azul). Cada uma delas recebe um valor de intensidade que varia de 0 a 255, conhecida como níveis de cinza. O branco é o valor de 255, quando se tem o maior valor das 3 cores e o preto é formado quando se tem o menor valor, 0, para as 3 cores. Na figura 8 tem-se alguns tipos de histograma de imagem.

Figura 8: Tipos de histograma de imagem



O eixo vertical representa o número de pixels e o horizontal o nível de cinza. Em (a) tem-se uma imagem escura, o histograma está localizado no início da escala de cinza; em (b) uma imagem clara, o histograma está localizado no final da escala de cinza; em (c) uma imagem de baixo contraste, o histograma é estreito e está em posição intermediária da escala de cinza e em (d) uma imagem de alto contraste, o histograma é mais uniforme e mais bem distribuído na escala de cinza.

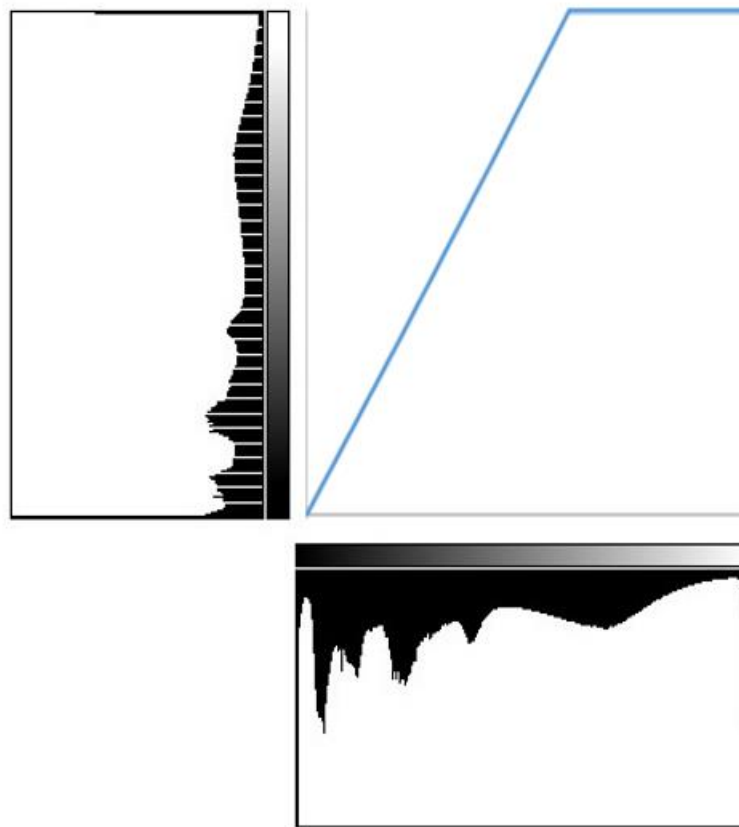
Quando o contraste de uma imagem é modificado, o histograma da imagem resultante é diferente da imagem original, a relação entre os dois histogramas é especificada pela função de transferência de contraste (DIAS, 2008):

$$g(x,y) = T[f(x,y)]$$

Ao se considerar um intervalo de valores de intensidade na imagem original, esse intervalo é modificado para um novo intervalo de intensidades na imagem final, o qual vai depender da altura da função de transferência sobre o eixo x. Esse intervalo será expandido ou comprimido de acordo com a inclinação da função de transferência. Se a inclinação for maior que  $45^\circ$  o contraste será

expandido; se for menor, este será comprimido. A função de transferência nesse caso de dados, não é contínua, ela é formada por uma série de degraus, como representado na figura 9 (adaptada de CRÓSTA, 1992).

Figura 9: Histograma de imagem resultante da função de transferência

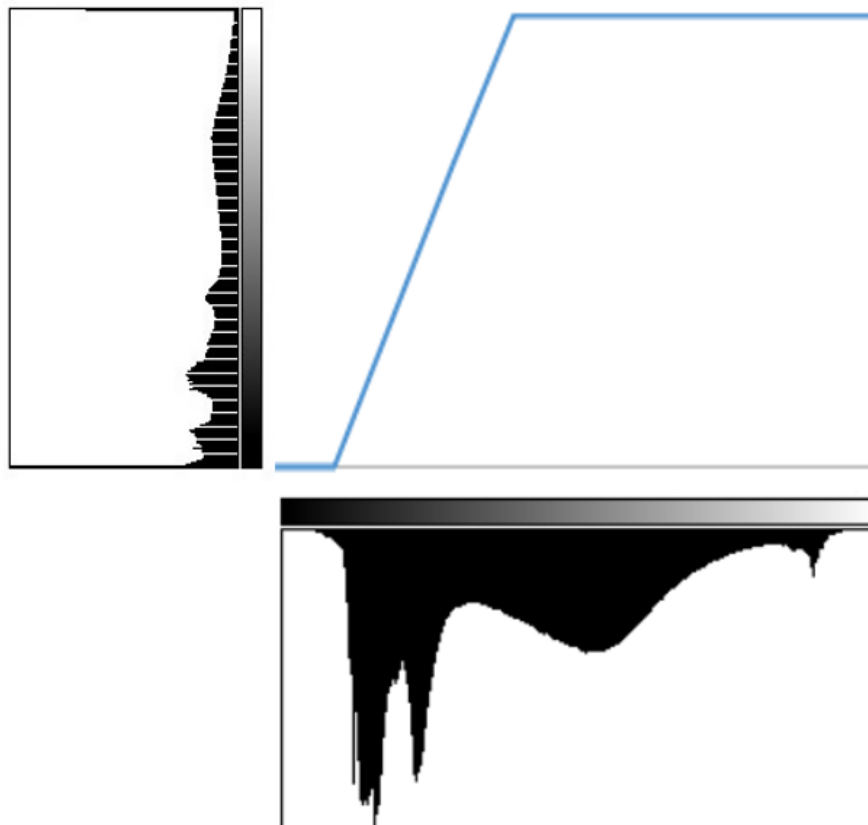


Fonte 7: Adaptada de Crósta, 1992.

### 2.8.2. Realce linear de contraste

Uma forma prática de se aumentar o contraste de uma imagem é através do aumento linear de contraste (ALC). Nele, a função de transferência é uma reta e apenas 2 parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de intersecção com o eixo x, como na figura 10 (adaptada de CRÓSTA, 1992).

Figura 10: Aumento linear de contraste.



Fonte 8: Adaptada de Crósta, 1992.

A inclinação controla a quantidade de aumento de contraste e o ponto de interseção com o eixo x controla a intensidade média da imagem final. A principal característica do ALC é que as barras verticais que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, já que, a função de transferência é uma reta. Além de o histograma final ser idêntico em formato ao histograma inicial, exceto pelo valor médio e espalhamento, que são diferentes.

## 2.9. Segmentação de imagens

A segmentação de imagens é o processo de agrupamento de pixels que possuem características semelhantes para analisar uma imagem e extrair atributos ou características de interesse. A extração pode basear-se na descontinuidade (contornos) ou na similaridade (regiões) das propriedades dos valores de níveis de cinza em uma imagem. Já a limiarização é um dos métodos utilizados na

segmentação de uma imagem, que consiste em separar a área de interesse do objeto, que está no primeiro plano do segundo plano, através da comparação do valor de nível de cinza de cada ponto pixel,  $p$  em  $f(x,y)$  com uma constante de limiar,  $L$ . Neste caso, o limiar de valor  $L$  é um nível de cinza para o qual pixels de intensidade luminosa maior do que  $L$  pertencem à região de interesse e os restantes pertencem ao fundo.

O cálculo de limiar é definido pela equação (GONZALES; WOOD, 2010):

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x,y) > T \\ 0, & \text{se } f(x,y) \leq T \end{cases}$$

Em que  $g(x, y)$  é a imagem binária, resultante da imagem original  $f(x,y)$  e  $T$  é o nível de limiarização para separar o primeiro plano do segundo plano. Quando um único valor limiar  $T$  é aplicável a uma imagem inteira, tem-se a limiarização global. Já a limiarização local é usada para denotar a limiarização na qual o valor de  $T$  em qualquer ponto  $(x, y)$  em uma imagem depende das propriedades de uma vizinhança de  $(x, y)$ , como a intensidade média dos pixels. Existem diversos algoritmos de limiarização global com as mais diversas abordagens (SAHOO et al., 1988), da mesma forma o é para a limiarização local.

### 3 Materiais e métodos

No presente capítulo tem-se a descrição dos insumos, instrumentos e metodologias utilizadas ao longo da pesquisa.

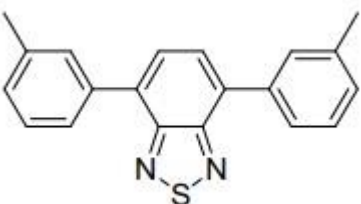
#### 3.1. Reagentes

Todos os reagentes são de grau analítico. O metanol, o carbonato de cálcio e o óxido de titânio utilizados foram da empresa Vetec. O talco utilizado foi da empresa Barsa. O óxido de silício utilizado foi da Sigma-Aldrich. O pó de carbono utilizado foi da empresa Emavi. A água destilada utilizada para o preparo de soluções foi obtida do destilador tipo Pilsen 10 L h<sup>-1</sup>, da marca Novatecnica, modelo NT426.

#### 3.2. Benzotiadiazola

Foi utilizada uma BTB, identificada como BTB 206, cuja estrutura está representada na Tabela 1, juntamente com algumas características e propriedades. Estas foram cedidas pelo Laboratório de Síntese Orgânica e Química Fina da PUC-Rio, sendo sintetizadas como descrito por Pazini (2020).

Tabela 1: Estrutura da BTB e algumas propriedades e características selecionadas.

Estrutura 206	
	Fórmula molecular: C <sub>20</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> S Massa molar: 316,4219 g. mol <sup>-1</sup> Absorção máxima: 382 nm Emissão máxima: 494 nm Coloração: Amarelo Coloração sob UV: Verde fluorescente

#### 3.3. Equipamentos e Instrumentos

### 3.3.1. Instrumentos auxiliares

Para auxiliar na volatilização do solvente foi utilizado a mesa agitadora multifuncional tipo VDRL, modelo TS- 2000A SHAKER da marca Coleman. Para secar as amostras foi utilizada a estufa à vácuo da marca Solab Científica, modelo SL-104. Para avaliação das propriedades luminescentes das amostras foi utilizada a câmara para análise de Fluorescência Spectroline modelo CM-10A da Spectronics Corporation. E a lanterna de emissão de radiação UV da Boitton Instrumentos, cujo comprimento de onda máximo era de 365 nm. Foi utilizada a lupa LED Autovolt com aumento de 5 dioptrias (2,5 vezes) da marca Estek para auxiliar no registro das fotos.

### 3.3.2. Espectrômetro de luminescência

Para a obtenção dos espectros de excitação, de emissão e a intensidade da fluorescência, na faixa espectral do UV-visível, foi utilizado o espectrômetro de luminescência Perkin-Elmer modelo LS 45 com banda espectral de passagem fixa em 10 nm. Foi utilizado o aparato de superfície sólida com janela de quartzo. Quando necessário foram utilizados filtros de densidade óptica para atenuação da luminescência.

### 3.4. Preparação dos pós luminescentes

Na primeira etapa foi utilizada o pó impregnado com a BTB na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol. As matrizes utilizadas foram pó de carbono, talco e carbonato de cálcio. Depois foram utilizadas também o óxido de silício, óxido de titânio e a mistura entre carbonato de cálcio e óxido de silício. Para cada uma das matrizes, a massa medida foi o fundo de um copo Becker (de 50 mL), de acordo com a tabela 2.



Tabela 2: Massa das matrizes utilizadas.

<b>Matriz</b>	<b>Massa (g)</b>
Pó de carbono	0,34
Talco	1,14
Carbonato de cálcio	0,79
Óxido de silício	0,64
Óxido de titânio	0,99
Híbrido (carbonato de cálcio   óxido de silício)	0,79 0,64

Na segunda etapa, após a escolha da matriz, foram preparados dois pós impregnados com a BTM nas concentrações de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  e  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol. Os copos Becker com as soluções foram levados para a mesa agitadora e submetidos à agitação até que o metanol fosse totalmente volatilizado (em torno de 72 h) e depois ficaram na estufa a vácuo para secar. O pó revelador oriundo de cada solução foi macerado no cadinho com auxílio do pistilo de porcelana, acondicionado em frasco de vidro de cor âmbar e armazenado em dissecador contendo sílica gel.

### 3.5. Substratos

Os substratos foram as superfícies nas quais as impressões digitais foram depositadas. As escolhidas para os testes de impressão e revelação foram as capas de telefone móvel (celular). As cores das capas utilizadas da marca Motorola, modelo Moto G foram: branca, preta e verde, ilustradas na Figura 11.

Figura 11: Substratos (capas de telefone móvel).

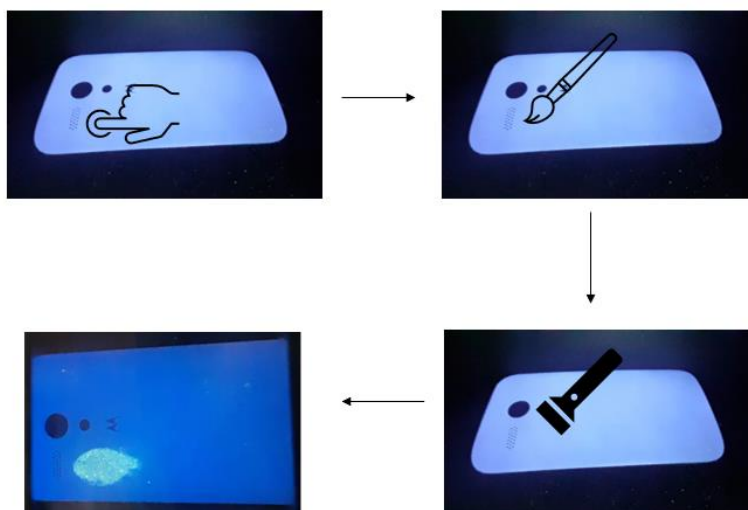


### 3.6. Procedimento geral

A coleta da impressão digital foi feita esfregando-se o dedo indicador em uma parte naturalmente gordurosa do rosto (testa, bochecha ou queixo). Em seguida essa digital foi impressa no substrato. A revelação foi feita ao se depositar o pó revelador, com o auxílio de pincel de maquiagem. Dois tipos de pincéis foram usados, um de aplicação de pó compacto e outro do tipo Fan, da marca Macrilan, para respectivamente, realizar a aplicação do pó com o primeiro e realizar a limpeza da superfície, caso fosse necessário, com o segundo.

Para facilitar a visualização da fluorescência, as luzes do ambiente foram apagadas, a lanterna de emissão de radiação UV (395 nm) foi utilizada. A figura 12 ilustra esse procedimento.

Figura 12: Procedimento de revelação de ID latente.



O registro das fotos para foi realizado com um celular da marca Samsung A20. Além da ampliação (zoom) disponibilizada pelo celular (modos de ampliação 2,0 e 4,0), a lupa LED Autovolt com aumento de 5 dioptrias (2,5 vezes) da marca Estek foi utilizada para ampliar a visualização, principalmente quando se tratava da aplicação de um pó claro em um substrato de coloração similar, o que gerava dificuldade no registro devido ao pouco contraste entre as cores do substrato e o pó.

### **3.7. Processamento de imagem**

O processamento das imagens coletadas foi realizado com o auxílio do programa *ImageJ*, que é de domínio público desenvolvido pelo *National Institute of Health*. Através de funções do programa, pode-se ajustar alguns parâmetros, como: brilho, contraste, matiz e saturação para aprimoramento da imagem.

A intensidade, que é a energia total envolvida em todos os comprimentos de onda está relacionada a sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho. A matiz é a medida do comprimento de onda médio da luz, que um objeto reflete ou emite, assim definindo a cor deste. A saturação expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio no qual uma energia é refletida ou transmitida (CRÓSTA, 1992).

Esses recursos foram utilizados em diferentes níveis em todas as imagens que serão apresentadas.

## 4 Resultados e Discussões

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho.

### 4.1. Substrato

Os substratos escolhidos para as deposições das impressões digitais foram capas de celular, já que, o equipamento é utilizado por muitas pessoas e pode ser um objeto que é fonte importante de indício no âmbito forense. De acordo com o relatório da Economia Móvel na América Latina 2021, da GSMA, empresa que publica relatórios e pesquisas reconhecidas sobre a indústria da tecnologia e o ecossistema móvel, 450 milhões de pessoas utilizariam algum tipo de aparelho celular até o final de 2021, esse número equivale a 73% da população mundial. Esse número poderia chegar a 485 milhões até 2025.

Poder extrair informação de objetos com colorações diferentes é significativo do ponto de vista da revelação de impressões, já que, para o processamento e visualização da ID, é necessário que o material usado para contraste (pó revelador) seja eficiente nesse papel, independentemente da cor da superfície do substrato. Nesse contexto o pó revelador deve ter características tais como ter uma matriz ou veículo que se misture bem com o reagente revelador (nos casos em que a própria matriz não é o agente revelador), que seja um pó que permaneça pulverizado sem aglomerar, formando grãos maiores, e que tenha uma boa aderência com o material em análise e com a gordura da impressão digital (sensibilidade às secreções), além de ter a capacidade de reproduzir resultados consistentemente. A matriz (veículo) é parte importante para conseguir obter um bom pó revelador luminescente, servindo de veículo para a impregnação da impressão com o fluoróforo.

Como citado, o material do substrato foi o mesmo (capa de celular), porém com três cores distintas, assim sendo, não necessariamente um mesmo pó revelador apresenta o melhor desempenho nas superfícies utilizadas na análise preliminar. As matrizes testadas foram pó de carbono, talco, carbonato de cálcio, óxido de silício,

óxido de titânio e híbrido (mistura de carbonato de cálcio com óxido de silício), como veículos para a 4,7-di-*m*-toluilbenzo[c][1,2,5]tiadiazola como fluoróforo. Nessa avaliação, a comparação é apenas qualitativa, observando-se, principalmente, a intensidade da fluorescência, o contraste das linhas em relação à imagem dos sulcos, o contraste em relação ao fundo do substrato e presença de defeitos na imagem causadas por aglomeração de pó revelador.


#### 4.1.1. Capas branca e verde

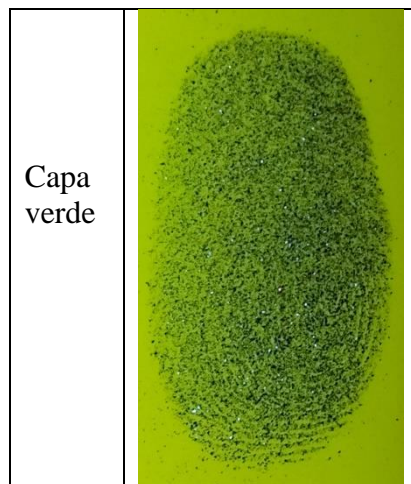
Para a capa branca é necessário um pó revelador de cor escura, que também pode ser aplicado à capa verde, visto que, para a revelação de uma ID latente o pó deve possibilitar o contraste em relação ao substrato. Assim, a matriz escolhida foi o pó de carbono (grafite lubrificante facilmente encontrado em lojas de ferragem) impregnado com BTB.

##### 4.1.1.1. Pó de carbono

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes obtidas com pó revelador feito com pó de carbono (grafite em pó) são mostradas no quadro 1.

Quadro 1: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz pó de carbono.

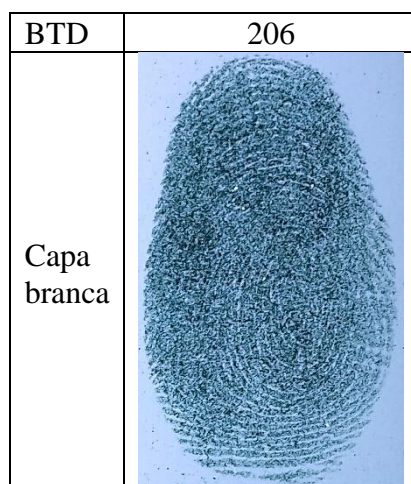
BTD	206
Capa branca	

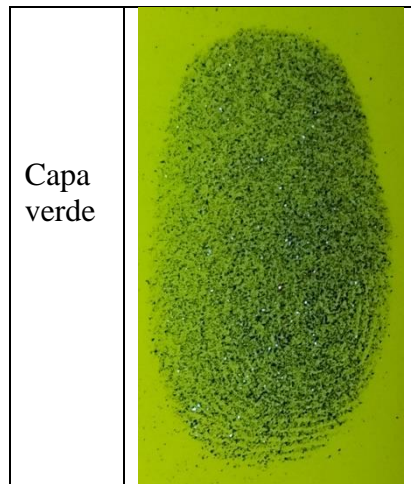


Nas impressões digitais reveladas foram observados alguns pontos de fluorescência, em especial na capa verde. Porém, essencialmente, a impressão observada é aquela produzida pelas diferentes densidades das marcas do grafite, que tendem a ficar mais aderidas nos pontos com maior gordura.

Na esperança de observar melhoria da qualidade da revelação das IDs nas capas branca e verde, visto que, além de aderir às linhas papilares o pó também aderiu aos sulcos, como foi mostrado nas fotos, novos registros foram realizados nos dias subsequentes. As novas imagens obtidas após a revelação das ID latentes seguem no quadro 2.

Quadro 2: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz pó de carbono depois de alguns dias.





A pouca intensidade de fluorescência vista inicialmente de em poucos pontos, não foi mais observada. A intensidade de fluorescência nas capas branca e verde provavelmente sofreu supressão ou, alternativamente, o fluoróforo aderiu pouco ao pó de grafite, por isso não sendo observado quando seco e transferido para o substrato.



#### **4.1.2. Capas preta e verde**

Para a capa preta é necessário um pó revelador de cor clara, uma vez que, como já mencionado deve-se observar o contraste entre a ID latente e o substrato. A aplicabilidade deste também será testada na capa verde. Foram aplicados pós impregnados com BTB na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol. As matrizes foram: talco, carbonato de cálcio, óxido de silício, óxido de titânio e o híbrido, que é uma mistura de carbonato de cálcio e óxido de silício.

##### **4.1.2.1. Talco**

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes com pó revelador feito com talco são mostradas no quadro 3.

Quadro 3: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz talco.

BTD	206
Capa preta	
Capa verde	



O pó derivado apresentou um aspecto bem fino, o que causava grande dificuldade para o processamento do substrato, por vezes aglomerando o pó, provavelmente por conta de absorção de umidade. A maior dificuldade foi na capa de cor verde, devido ao pó ter uma coloração clara (branco) em um substrato também claro, dessa forma não existindo contraste significativo. A fluorescência foi observada de forma significativa, qualitativamente bem intensa, na matriz na coloração preta.

#### 4.1.2.2. Carbonato de cálcio

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes com pó revelador feito com carbonato de cálcio são mostradas no quadro 4.



Quadro 4: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz carbonato de cálcio.



BTD	206
Capa preta	
Capa verde	

Esse pó foi bem compatível com a capa preta, contudo na capa verde, houve dificuldade para observação das características das IDs, devido à falta de contraste entre pó revelador e substrato. Para essa formulação, foi possível observar o acúmulo de pó revelador nos sulcos e pontos de aglomeração. Contudo, em ambos os substratos se obteve uma resposta significativa, quando comparada com as formulações anteriores, quanto à intensidade de fluorescência.

#### 4.1.2.3. Óxido de silício

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes com pó revelador feito com óxido de silício aparecem no quadro 5.

Quadro 5: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz óxido de silício.

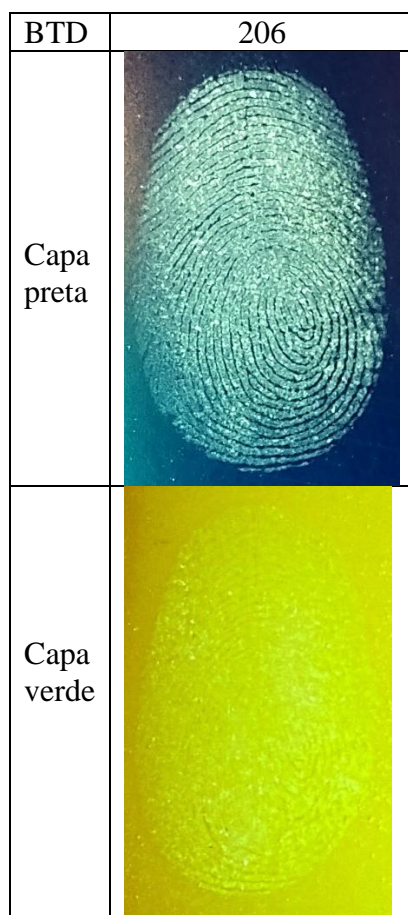
BTD	206
Capa preta	
Capa verde	

A matriz óxido de silício apresentou uma fluorescência acentuada e com uma imagem típica de ID no caso da capa preta, porém saturada. O pó revelador resultante também era mais fino que o talco, o que causou grande dificuldade para a revelação da imagem. A aderência do pó ao pincel foi bem difícil e tendeu a aglomerar, fazendo com que não fosse possível identificar a impressão digital.

#### 4.1.2.4. Óxido de titânio

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes com pó revelador feito com óxido de silício aparecem no quadro seguem no quadro 6.

Quadro 6: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz óxido de titânio.





A revelação da imagem ocorreu sem dificuldades, a resposta em relação à intensidade de fluorescência foi tão significativa quanto aquelas obtidas com carbonato de cálcio, quando avaliada de forma qualitativa. Entretanto a definição das linhas papilares e os sulcos aparentemente foi melhor na matriz de carbonato de cálcio do que a obtida com matriz de óxido de titânio. Para a capa verde, observou-se uma dificuldade para enxergar as características da ID por conta da falta de contraste com o fundo da capa de celular.

#### 4.1.2.5. Híbrido (Carbonato de cálcio e Óxido de silício)

As imagens obtidas após a revelação das ID latentes com pó revelador baseado na matriz híbrida de  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$  são mostradas no quadro 7.

Quadro 7: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó da matriz híbrida.

BTD	206
Capa preta	
Capa verde	

O uso da matriz híbrida foi uma tentativa adicional, já que, o resultado com o carbonato de cálcio foi considerado o melhor em relação à sensibilidade enquanto o óxido de silício proporcionou boa aderência. O processamento de imagem foi simples, mas quando comparado a das outras matrizes, de forma qualitativa, não se observou ganho significativo quanto a intensidade de fluorescência, principalmente no substrato verde.

#### 4.2. Seleção da matriz pela análise de imagem

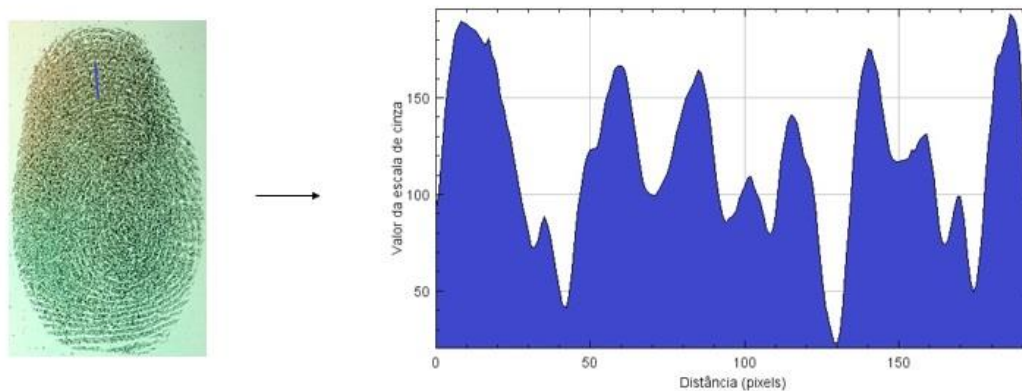
Além da análise qualitativa feita, para cada um dos substratos foi utilizado o programa *Image J* para selecionar a melhor matriz. A análise foi feita a partir dos gráficos do perfil de intensidade, onde no eixo da abscissa tem-se distância, em

pixels, e no eixo da ordenada tem-se a escala de cinza. Para tal, uma linha foi traçada ao longo da impressão digital revelada e o gráfico foi gerado.

#### 4.2.1. Capa branca

Neste substrato de coloração branca tem-se apenas uma matriz que é o pó de carbono. O gráfico gerado para a matriz pó de carbono é mostrado na figura 13.

Figura 13: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz pó carbono.



O gráfico de perfil de intensidade contém os valores de intensidade dos pixels ao longo da linha selecionada. Como já mencionado, o valor da escala de cinza varia de 0 a 255, onde a cor preta equivale a 0 e a cor branca a 255. Uma boa relação entre o valor da escala de cinza e a distância em pixels indicaria uma boa resolução na imagem da impressão digital revelada. Entretanto, o que se observa é que muitos picos estão mais próximos do valor de 255, conseqüentemente mais próximos da cor branca. Adicionalmente, a impressão é dominada pela cor original do grafite, com fluorescência perceptível, mas bem suprimida.

#### 4.2.2. Capa preta

Neste substrato preto testou-se as matrizes: talco, carbonato de cálcio, óxido de silício, óxido de titânio e a matriz híbrida de  $\text{CaCO}_3/\text{SiO}_2$ . Os respectivos gráficos gerados para cada uma das matrizes são mostrados nas figuras 14 a 18.

Figura 14: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz talco.

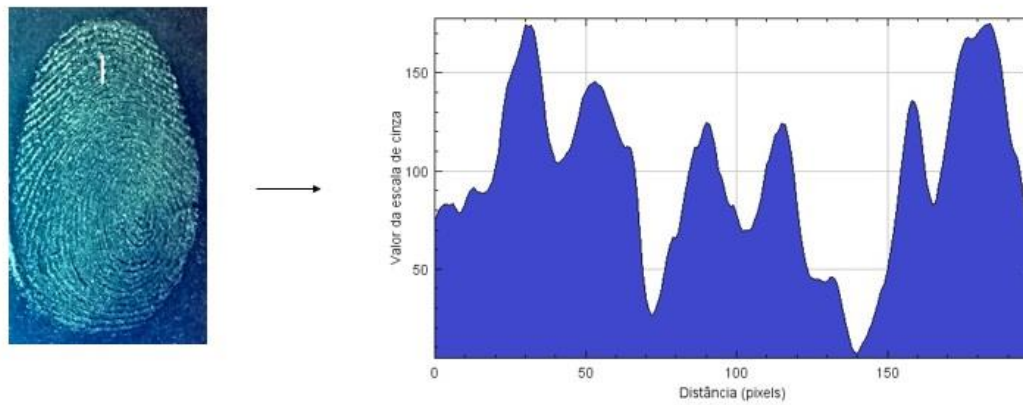


Figura 15: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz carbonato de cálcio.

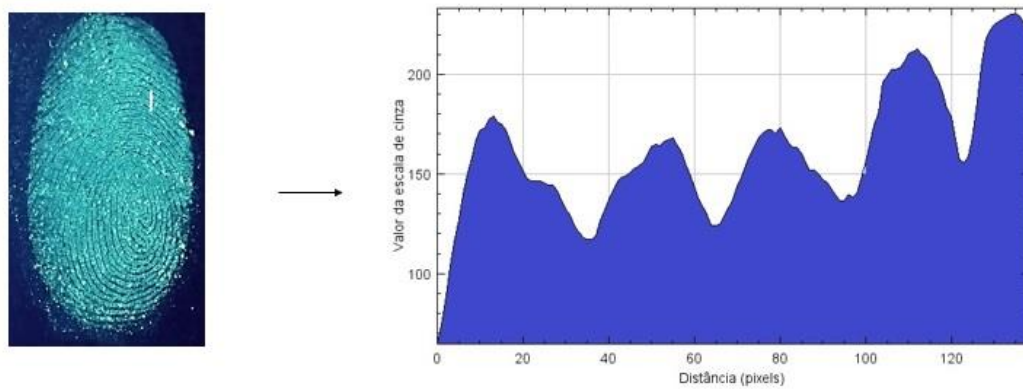


Figura 16: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de silício.

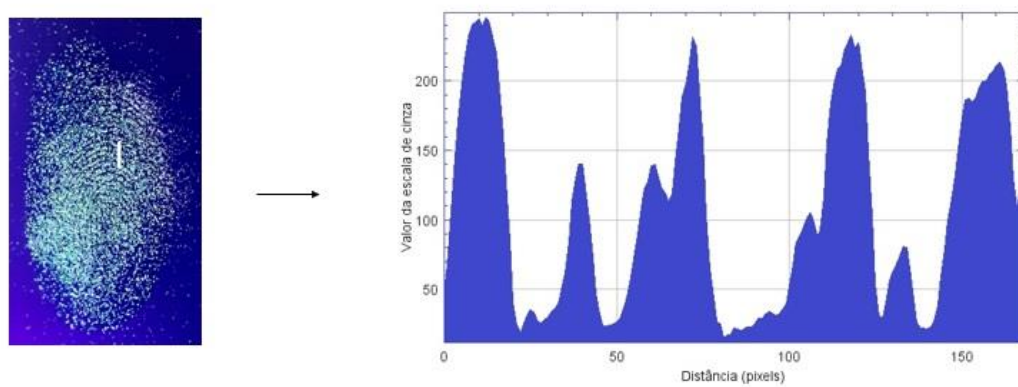


Figura 17: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de titânio.

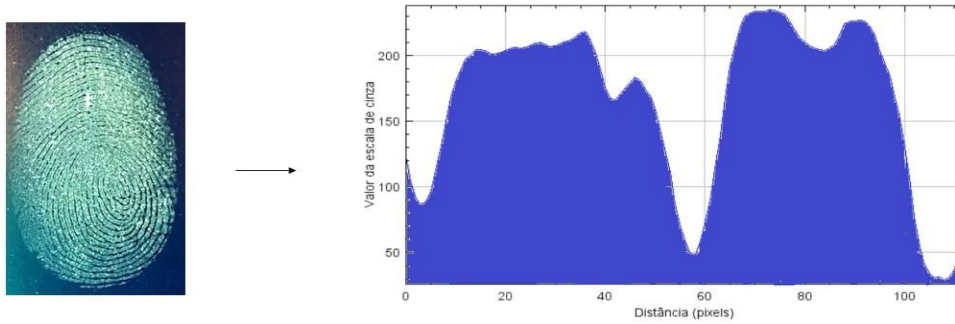
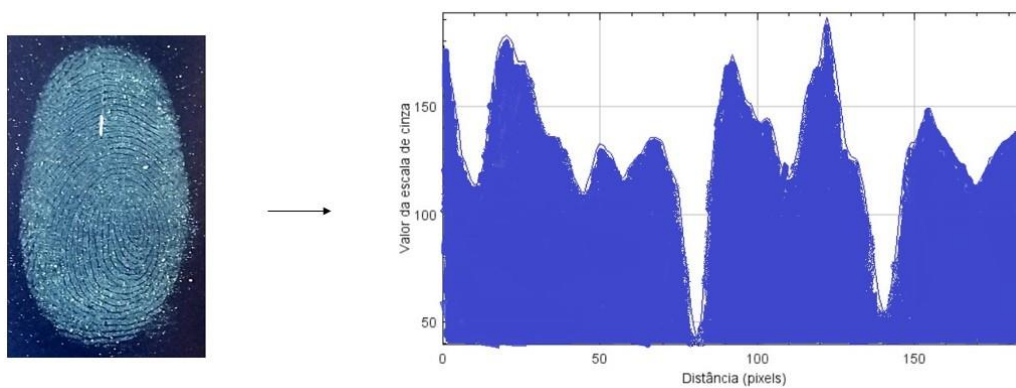


Figura 18: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz híbrida.



O gráfico de perfil de intensidade contém os valores de intensidade dos pixels ao longo da linha selecionada. Uma boa relação entre o valor da escala de cinza e a distância em pixels indica uma boa resolução na imagem, o que é observado na figura 15 (com pó revelador com carbonato de cálcio). Já nas figuras 14 e 16 observou-se que muitos picos estão nos extremos, próximos a região do branco ou do preto, prejudicando a observação entre os cumes e sucus da impressão digital revelada.

#### 4.2.3. Capa verde

Para o substrato verde testou-se as matrizes de talco, carbonato de cálcio, óxido de silício, óxido de titânio, além da matriz híbrida. Os respectivos gráficos gerados para as impressões obtidas com os pós reveladores, produzidos com cada uma das matrizes, são mostrados das figuras 19 a 24.

Figura 19: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz pó carbono.

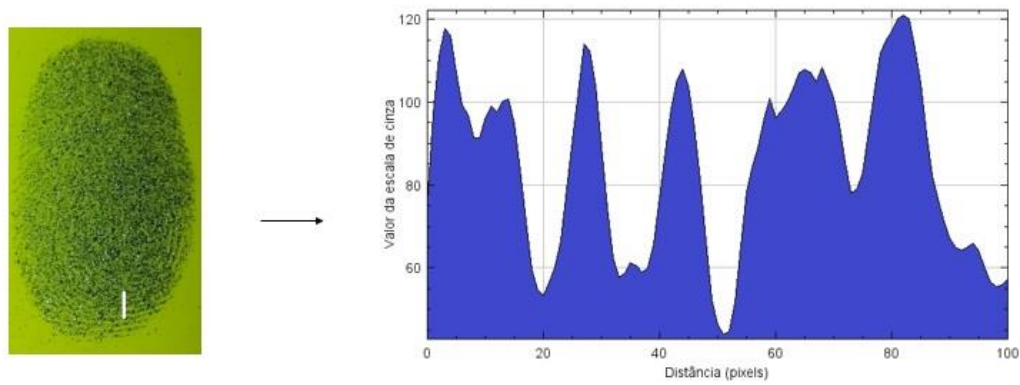


Figura 20: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz talco.

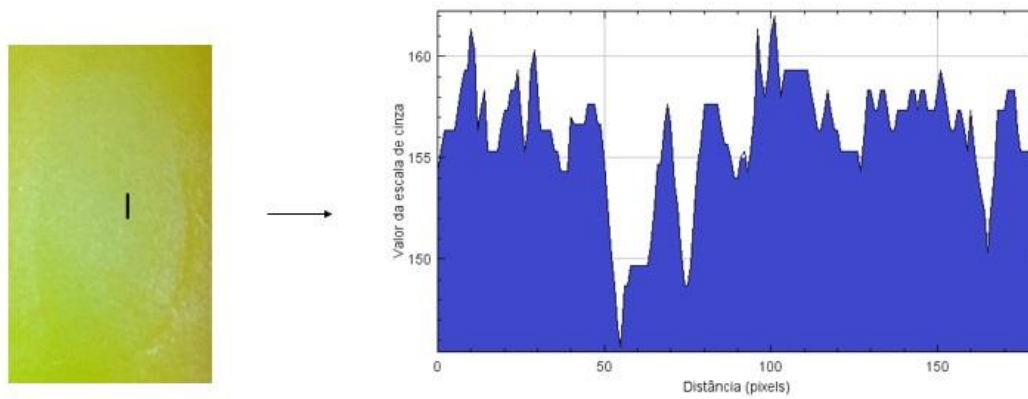


Figura 21: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz carbonato de cálcio.

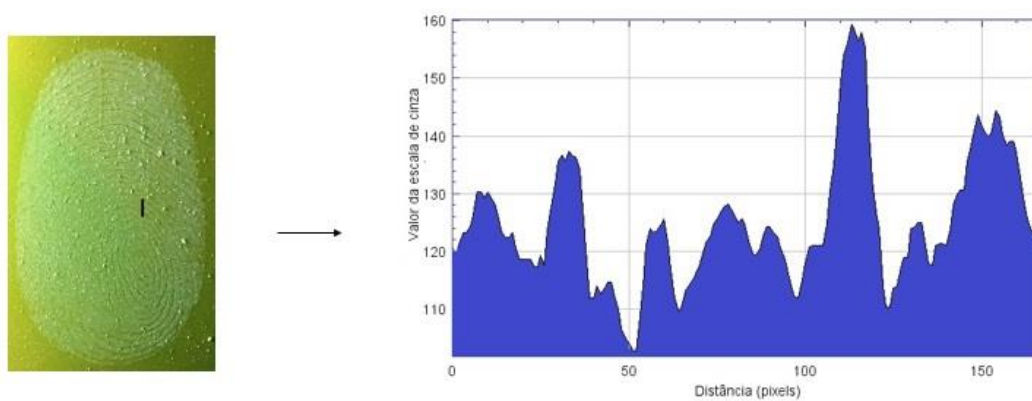




Figura 22: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de silício.

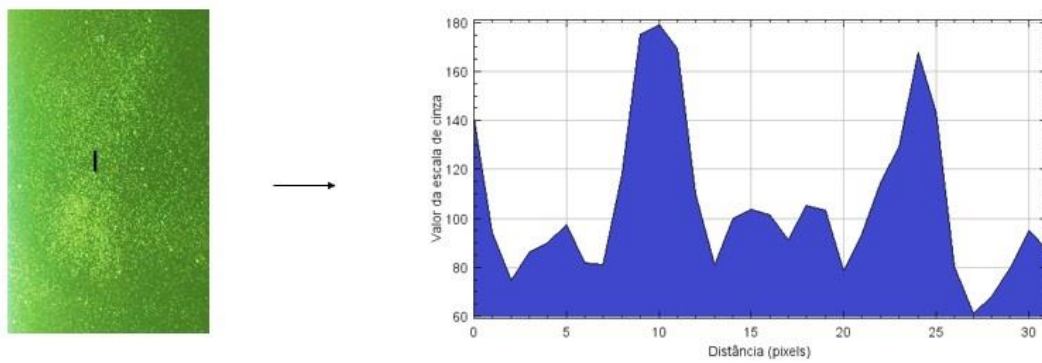


Figura 23: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz óxido de titânio.

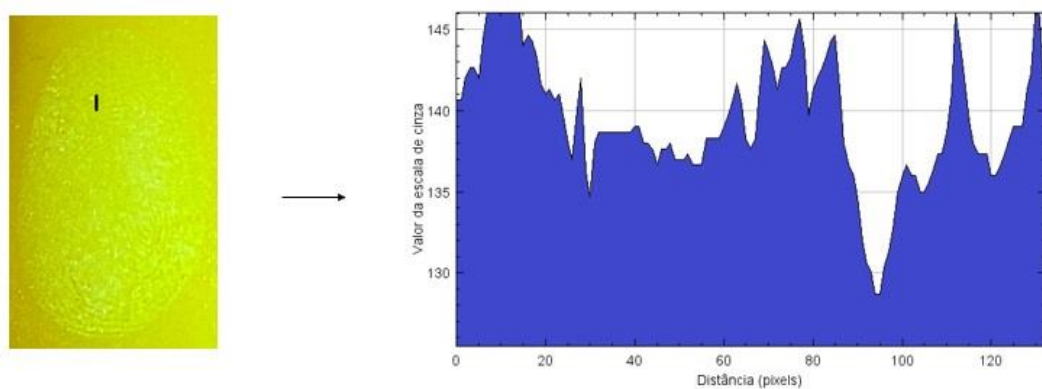
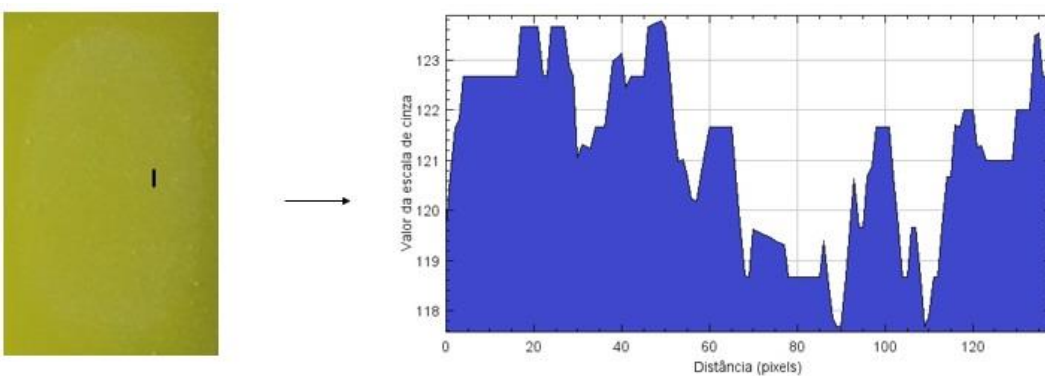


Figura 24: Esquema para obtenção do perfil de intensidade na matriz híbrida.



Uma boa relação entre o valor da escala de cinza e a distância em pixels indica uma boa resolução na imagem na figura 21 (novamente o de carbonato de cálcio). Já nas figuras 19, 20, 23 e 24 se observou muitos picos no extremo, próximos a região do branco. Enquanto na figura 22, a maioria dos picos estão no

outro extremo, próximos a região do preto. Dessa forma, a observação entre os cumes e sucros da impressão digital revelada é dificultada.

Como conclusão, o carbonato de cálcio foi considerado a melhor matriz dentre as diversas testadas, pois foi compatível com as secreções e aderiu bem à impressão. Além disso, observou-se resposta luminescente mais intensa e com boa distribuição de intensidade de emissão ao longo da estrutura da ID, permitindo distinguir linhas e sulcos.



### **4.3. Capacidade de reprodução**

A capacidade de reprodução da revelação foi avaliada ao se produzir um segundo e um terceiro pó revelador, impregnado com a BTB 206 nas concentrações de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  e  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ , em metanol, para impregnar a matriz carbonato de cálcio. Essas concentrações foram respectivamente 50 % e 25% da concentração do fluoróforo usado no estudo preliminar apresentado, objetivando diminuir a saturação de sinal e com isso tentar melhorar o contraste das imagens das IDs.

#### **4.3.1. Pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$**

As imagens obtidas após a revelação de ID latente com o segundo pó revelador, aquele produzido com solução de fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ , são mostradas no quadro 8.

Quadro 8: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ .

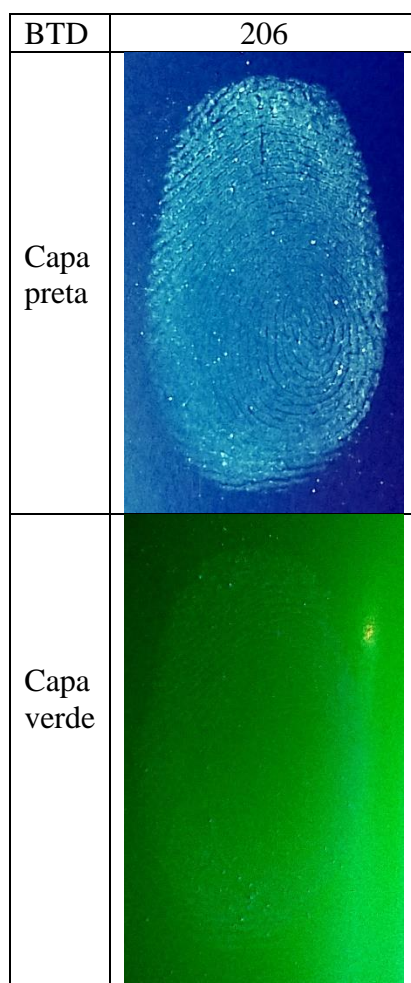
BTD	206
Capa preta	
Capa verde	

A revelação da imagem ocorreu sem dificuldades na capa preta e a resposta luminescente ainda foi brilhante e o contraste aparentemente melhorou. Já na capa verde a observação da ID foi prejudicada, mas é possível observar na imagem muitos pontos de luminescência. Contudo as linhas que compõem a ID tendem a se confundir com o fundo do substrato.

#### 4.3.2. Pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$

As imagens obtidas após a revelação de ID latente com o terceiro pó revelador, aquele produzido com solução de fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ , são mostradas no quadro 9.

Quadro 9: Imagens das IDs latentes reveladas com o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ .



A revelação da ID ocorreu sem dificuldades na capa preta e a resposta luminescência foi interessante, pois conseguiu-se diminuir a saturação de brilho da imagem. Já na capa verde a observação da ID foi difícil. Mesmo com o auxílio do *Image J* e após o processamento observou-se poucos pontos de luminescência e não foi possível observar as linhas que compõem esta impressão digital.

#### 4.4. Caracterização dos pós reveladores

O espectro de emissão do pó revelador foi obtido quando o comprimento de onda de excitação foi mantido fixo (em 491 nm) com comprimento de onda de emissão varrido para obter um espectro de emissão. De forma análoga, para se obter o espectro de excitação fixou-se o comprimento de onda de emissão, em 382 nm, com a varredura do monocromador de excitação. Os espectros fornecem

informações sobre a região de absorção de radiação do pó e sobre a cor efetiva da emissão.

Os espectros dos três pós reveladores constituídos de carbonato de cálcio, impregnados com a BTB 206 nas concentrações de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ,  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  e  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  são mostrados, respectivamente, nas figuras 25, 26 e 27.

Figura 25: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6).

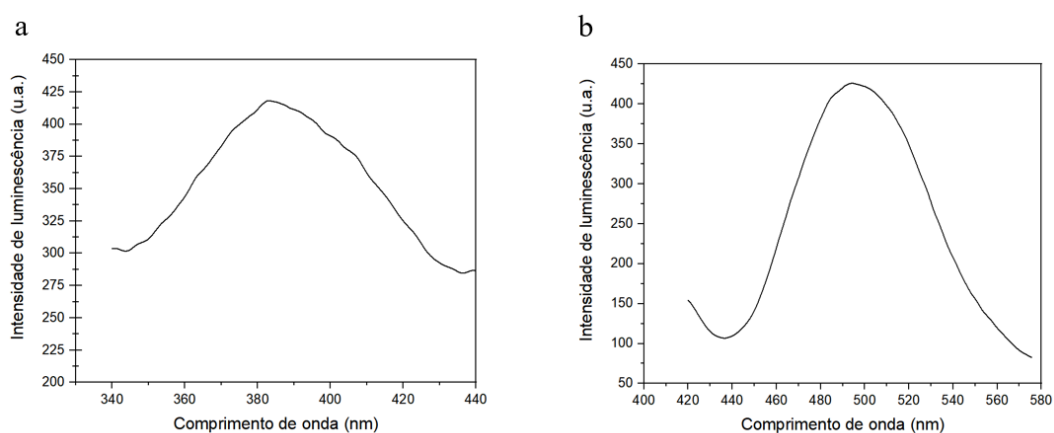


Figura 26: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6).

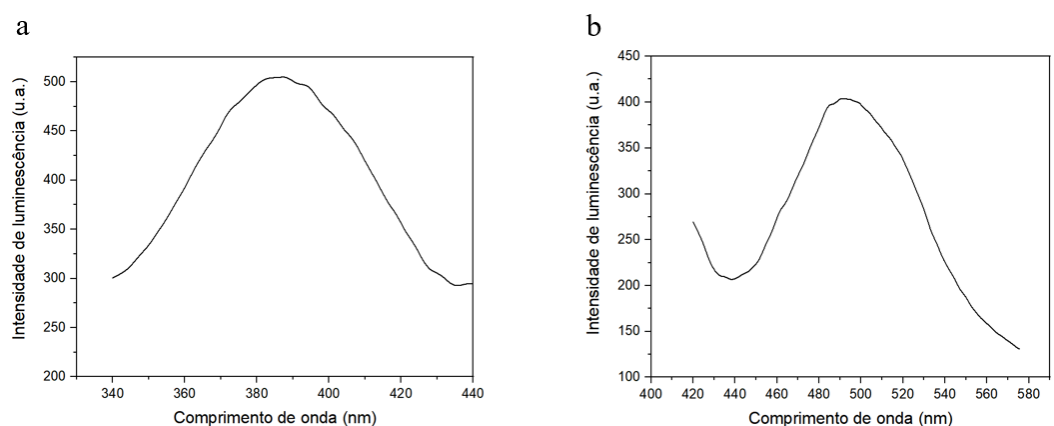
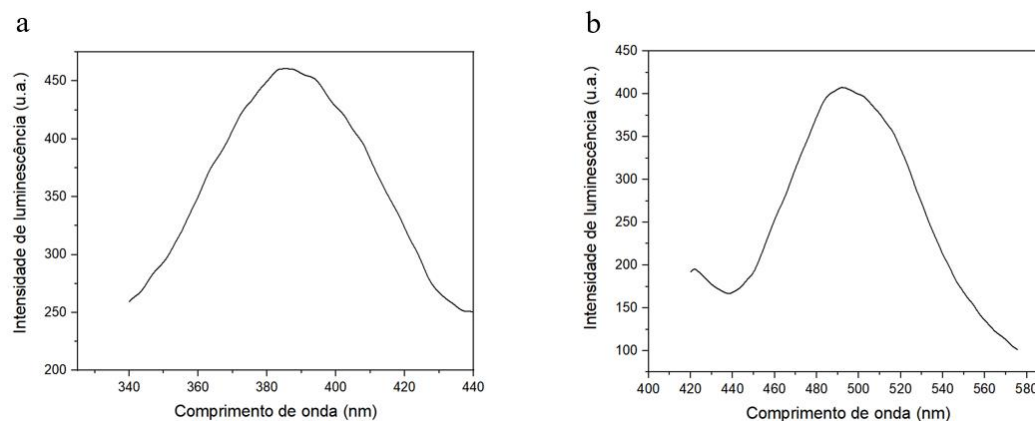


Figura 27: Espectros de excitação (a) e emissão (b) do pó revelador feito com fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  (atenuado com filtro de densidade reflexivo 0,6).



Os espectros mostraram que os pós produzidos tiveram o perfil luminescente semelhante não importando a relação de quantidade entre fluoróforo e matriz.

## 5 Tratamento de dados

Neste capítulo serão mostrados os dados oriundos do processamento de imagens, utilizando-se histogramas de imagem ao se realçar o contraste das impressões digitais reveladas com o pó impregnado com a BTB 206 em carbonato de cálcio.

### 5.1. Avaliação de contraste

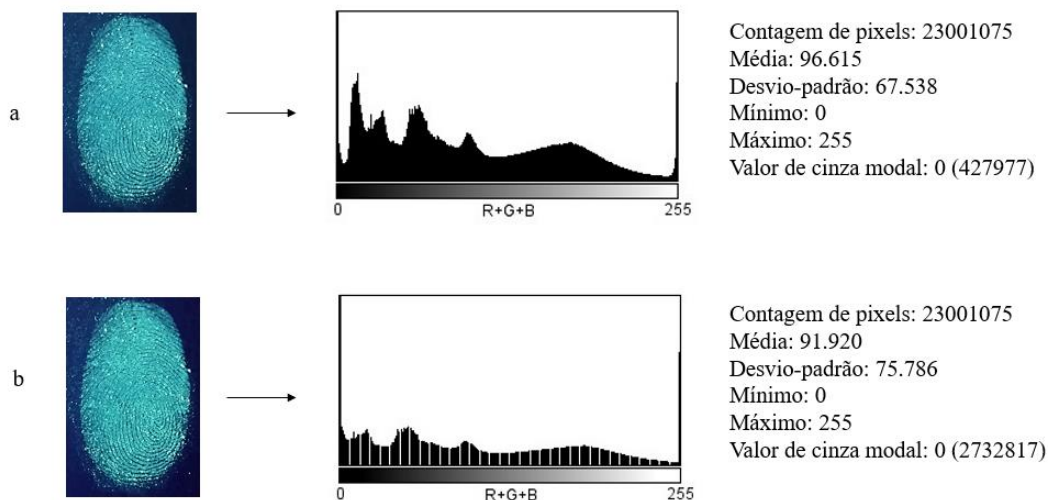
No programa *ImageJ* existe uma função para ajustar o brilho e o contraste em todos os pixels de uma imagem, sendo possível gerar o histograma de imagem. A análise foi realizada a partir dos histogramas de imagem e a forma destes, antes e depois do realce de contraste, foi analisada. O histograma apresenta a distribuição dos níveis de cinza na imagem. Lembrando que no eixo x tem-se os níveis de cinza que variam de 0 a 255, e no eixo y tem-se o número de pixels. Nele constam a contagem de pixels, a média, o desvio-padrão, o mínimo, o máximo e o valor de cinza modal.

#### 5.1.1. Avaliação para o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Na figura 28 tem-se as imagens das impressões digitais reveladas utilizando o pó com maior quantidade de fluoróforo, antes (a) e depois (b) do realce de imagem e os seus respectivos histogramas de imagem.

Nesse caso, foi possível observar como o realce de contraste na imagem RGB melhorou o contraste na imagem final. Esta possui pixels mais bem distribuídos ao longo dos níveis de cinza, o que indica alto contraste e brilho normal.

Figura 28: Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.



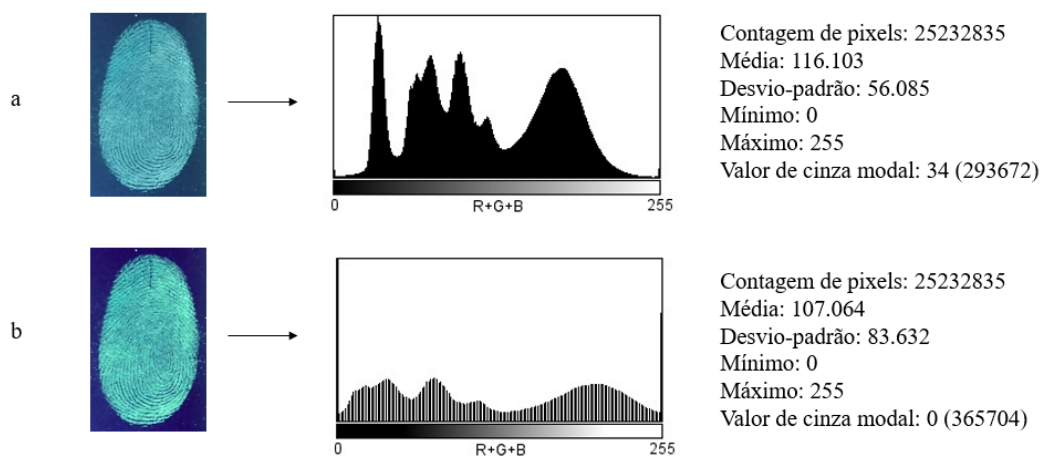
### 5.1.2. Avaliação para o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Na figura 29 tem-se as imagens das impressões digitais reveladas utilizando o pó com quantidade intermediária de fluoróforo, (a) e depois (b) do realce de imagem e os seus respectivos histogramas de imagem.

Com esse pó revelador foi possível observar como o realce de contraste na imagem RGB melhorou a imagem final. Os pixels estão ocupando toda a escala de nível de cinza, além de estarem mais uniformemente distribuídos quando comparados a imagem antes do realce. Isso indica que a imagem da impressão digital final terá uma boa correspondência dos detalhes dos níveis de cinza e uma faixa dinâmica ampla.



Figura 29 Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.

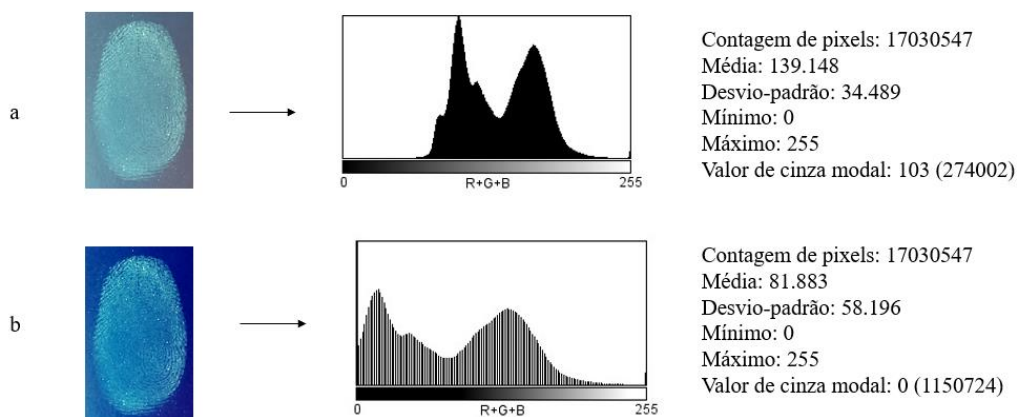


### 5.1.3. Avaliação para o pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Na figura 30 tem-se as imagens das impressões digitais reveladas utilizando o pó com menor quantidade de fluoróforo, antes (a) e depois (b) do realce de imagem e os seus respectivos histogramas de imagem.

O resultado da análise indicou que antes do realce de contraste, a imagem RGB não possuía uma boa qualidade, que foi melhorada ao se aplicar o realce. A imagem final possui pixels bem distribuídos ao longo dos níveis de cinza, o que indica alto contraste.

Figura 30: Histograma de imagem do pó revelador preparado com carbonato de cálcio impregnado com a solução de fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  em metanol antes (a) e depois (b) do realce de imagem.



## 5.2. Limiarização

No programa *ImageJ* existem métodos para limiarização, a global e a local, ambos testados nesse trabalho. Quando não se sabe a melhor limiarização e método, pode-se testar todas as opções, para avaliar qual a mais indicada para determinada imagem. A resposta produz uma montagem com resultados de todos os métodos, permitindo explorar como os diferentes algoritmos se comportam em uma determinada imagem.

### 5.2.1. Limiarização local

Todos os nove métodos para a limiarização local foram testados. São eles: Bernsen, Contrast, Mean, Median, MidGrey, Niblack, Otsu, Phansalkar e Sauvola. Para a realização dos testes, a imagem é convertida de RGB para 8-bits, com um tempo de processamento mínimo de 120 s. Imagens com profundidade de 8-bits possuem 256 valores de níveis de cinza disponíveis, as imagens RGB possuem 3 canais (Red-Green-Blue), então esta imagem possui mais de 16 milhões de cores possíveis.

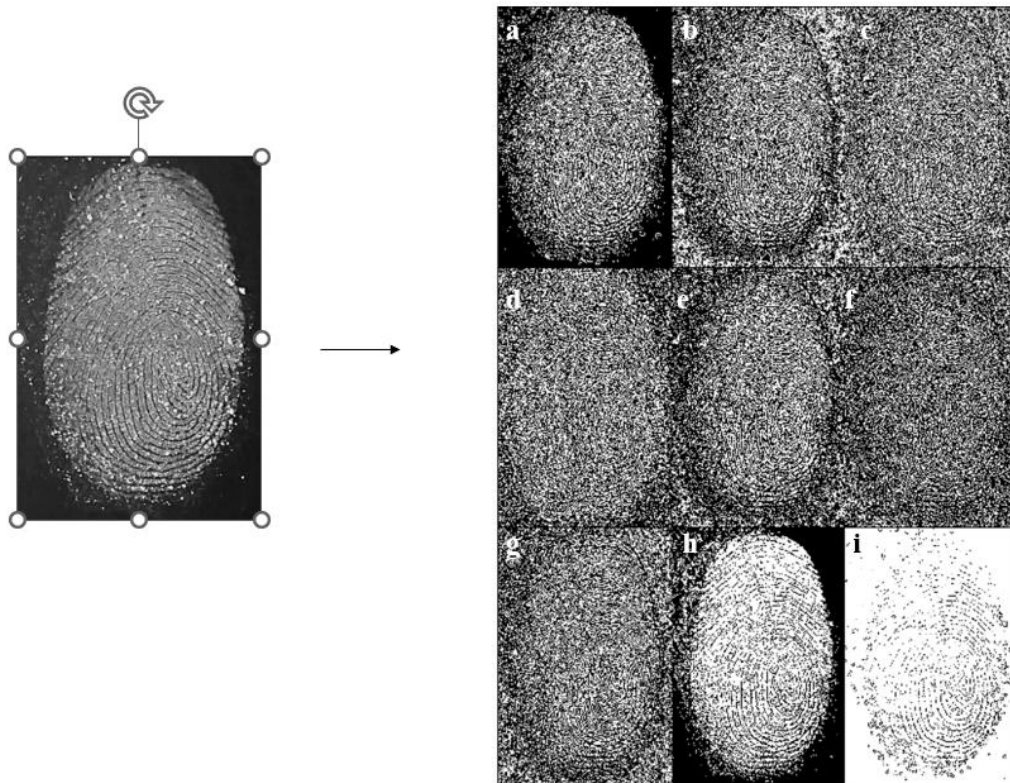
As imagens de ID utilizadas foram aquelas obtidas com uso dos pós reveladores contendo as três diferentes quantidades de fluoróforo na matriz de

carbonato de cálcio e que se encontra destacada à esquerda das figuras que se seguirão.

### 5.2.1.1. Limiarização local dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Para as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a maior carga de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização testados se encontra na figura 31.

Figura 31: Limiarização local do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Bernsen (b) Contrast (c) Mean (d) Median (e) MidGrey (f) Niblack (g) Otsu (h) Phansalkar (i) Sauvola.

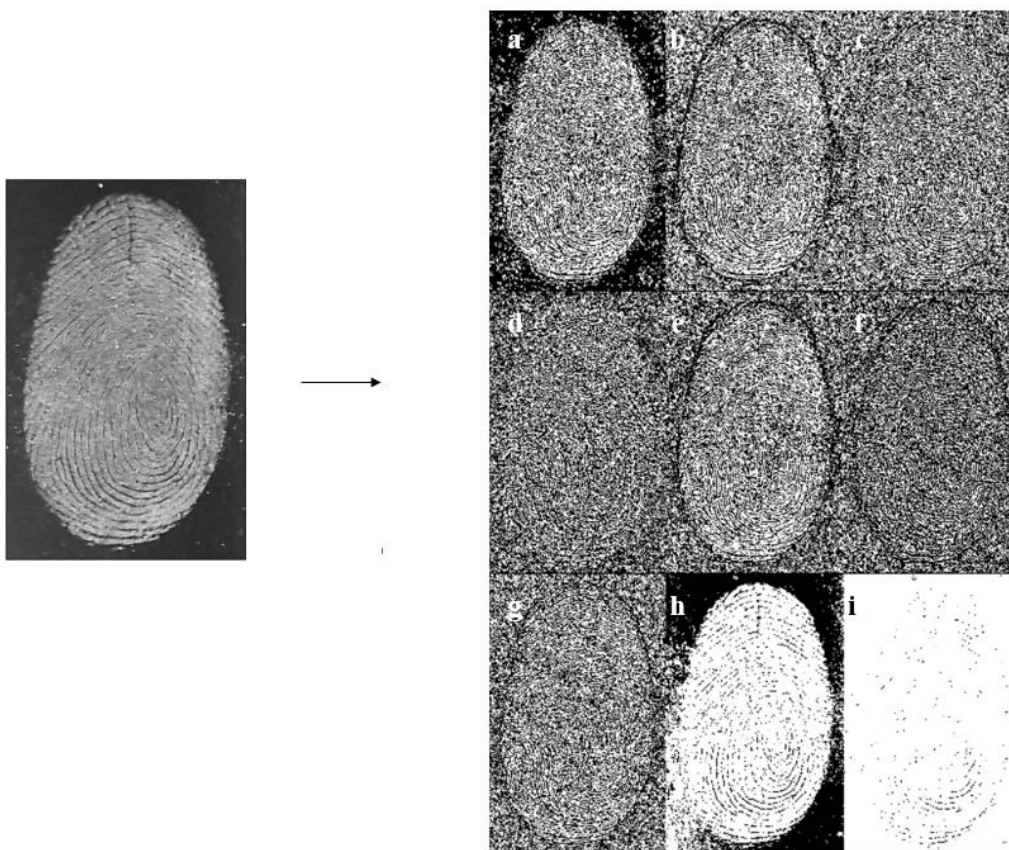


A partir dos resultados pode-se observar claramente que a aplicação do método Phansalkar (h), produziu um desempenho melhor frente aos outros métodos de limiarização local, já que, consegue-se a melhor diferenciação do objeto de interesse da região do fundo.

### 5.2.1.2. Limiarização local dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

No caso as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a carga intermediária de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização testados pode ser vista na figura 32.

Figura 32: Limiarização local do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Bernsen (b) Contrast (c) Mean (d) Median (e) MidGrey (f) Niblack (g) Otsu (h) Phansalkar (i) Sauvola.

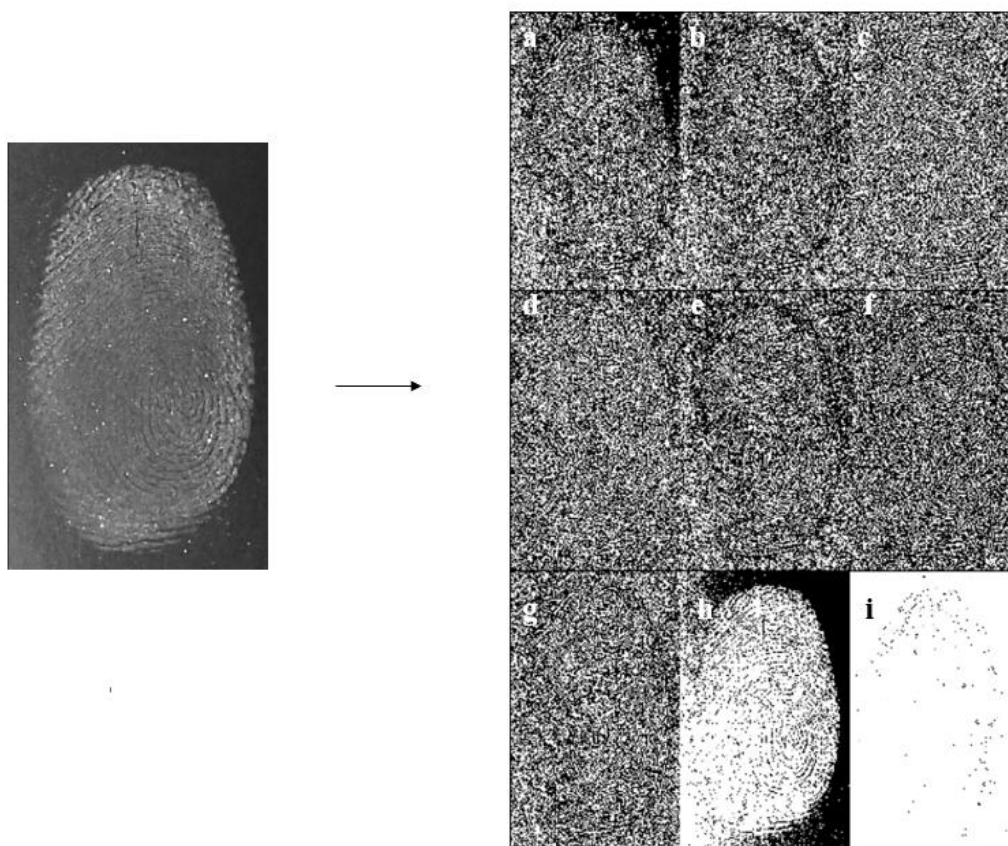


Novamente, a aplicação do método Phansalkar (h) produziu um desempenho melhor frente aos outros métodos de limiarização local, já que, a diferenciação do objeto de interesse (linhas e sulcos da ID) foram melhor destacados em relação à região do fundo.

### 5.2.1.3. Limiarização local dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

No caso as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a menor carga de de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização testados pode ser vista na figura 32.

Figura 32: Limiarização local do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Bernsen (b) Contrast (c) Mean (d) Median (e) MidGrey (f) Niblack (g) Otsu (h) Phansalkar (i) Sauvola.



Comparativamente, a aplicação do método Phansalkar (h) teve um desempenho melhor frente aos outros métodos de limiarização local, diferenciando o objeto de interesse da região do fundo, porém, quando comparado com a qualidade das imagens de ID obtidas com os pós com cargas maiores de fluoróforo, a ID apareceu menos nítida e parte da informação da ID é perdida (em especial na região esquerda na parte de baixo da digital).

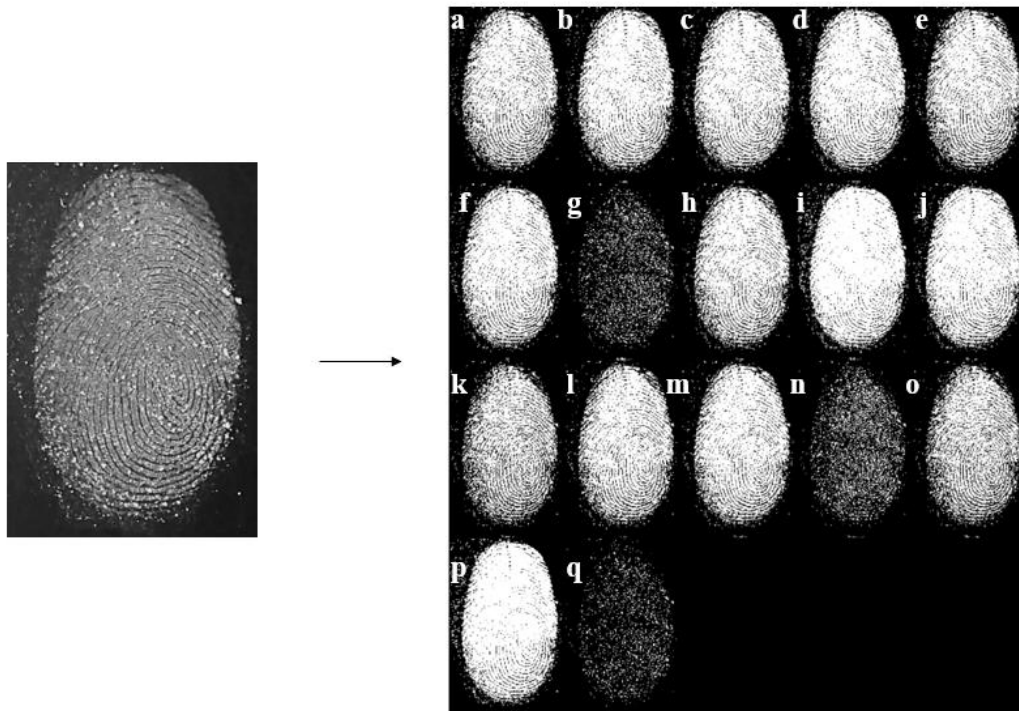
## 5.2.2. Limiarização global

Todos os dezessete métodos para a limiarização global, disponíveis no software *Image J*, foram testados. Os métodos são: Default, Huang, Huang 2, Intermodes, IsoData, Li, MaxEntropy, Mean, MinError, Minimum, Moments, Otsu, Percentile, RenyiEntropy, Shanbhag, Triangle e Yen. Para a realização dos testes, a imagem também foi convertida de RGB para 8-bits. Imagens com profundidade de 8-bits possuem 256 valores de níveis de cinza disponíveis, as imagens RGB possuem 3 canais (Red-Green-Blue), então esta imagem possui mais de 16 milhões de cores possíveis. As imagens utilizadas foram aquelas IDs reveladas com os pós preparados com as três diferentes cargas de fluoróforo e que se encontra destacada à esquerda das figuras que se seguirão.

### 5.2.2.1. Limiarização global dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Para as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a maior carga de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização global testados se encontra na figura 34.

Figura 32: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodos (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu (m) Percentile (n) RenyiEntropy (o) Shanbhag (p) Triangle (q) Yen.

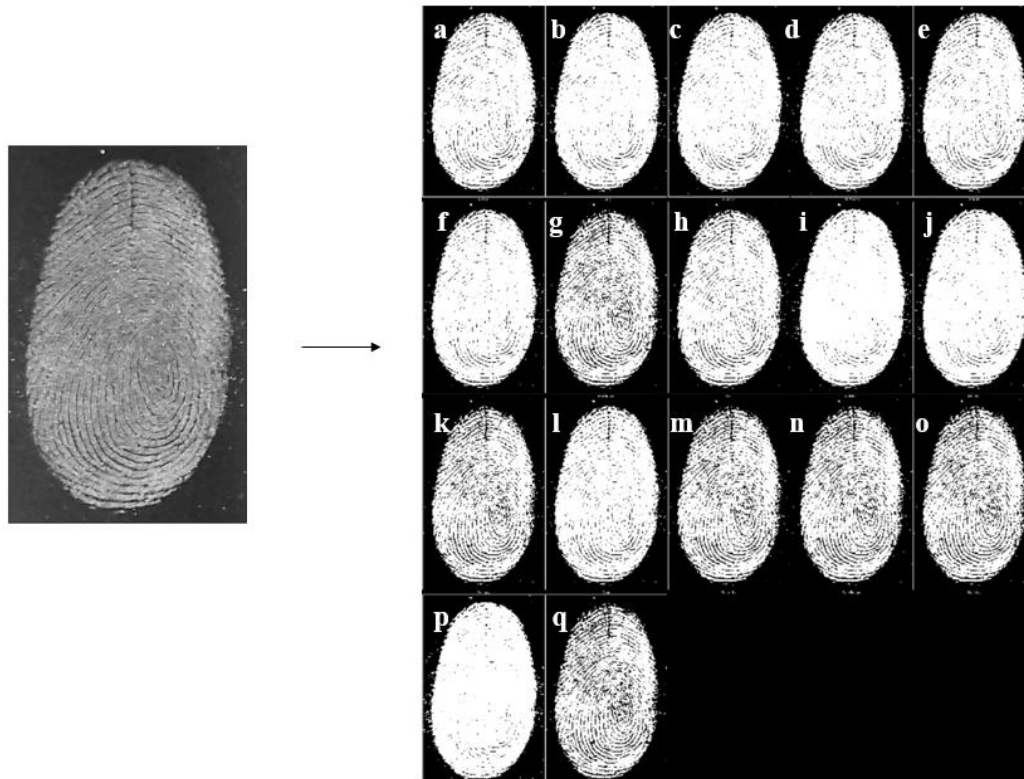


O desempenho obtido com os algoritmos *a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n* e *o* produziram boa resolução de imagem, porém, aparentemente o tratamento Otsu (l) produziu um desempenho melhor frente aos outros métodos de limiarização global, já que se consegue melhor diferenciar o objeto de interesse da região do fundo, apesar de algumas regiões apagadas (brancas). Outra constatação é que a limiarização global foi bem mais efetiva na melhoria da qualidade das imagens.

#### 5.2.2.2. Limiarização global dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Para as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a carga intermediária de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização global testados se encontra na figura 35.

Figura 33: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodos (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu (m) Percentile (n) RenyiEntropy (o) Shanbhag (p) Triangle (q) Yen.



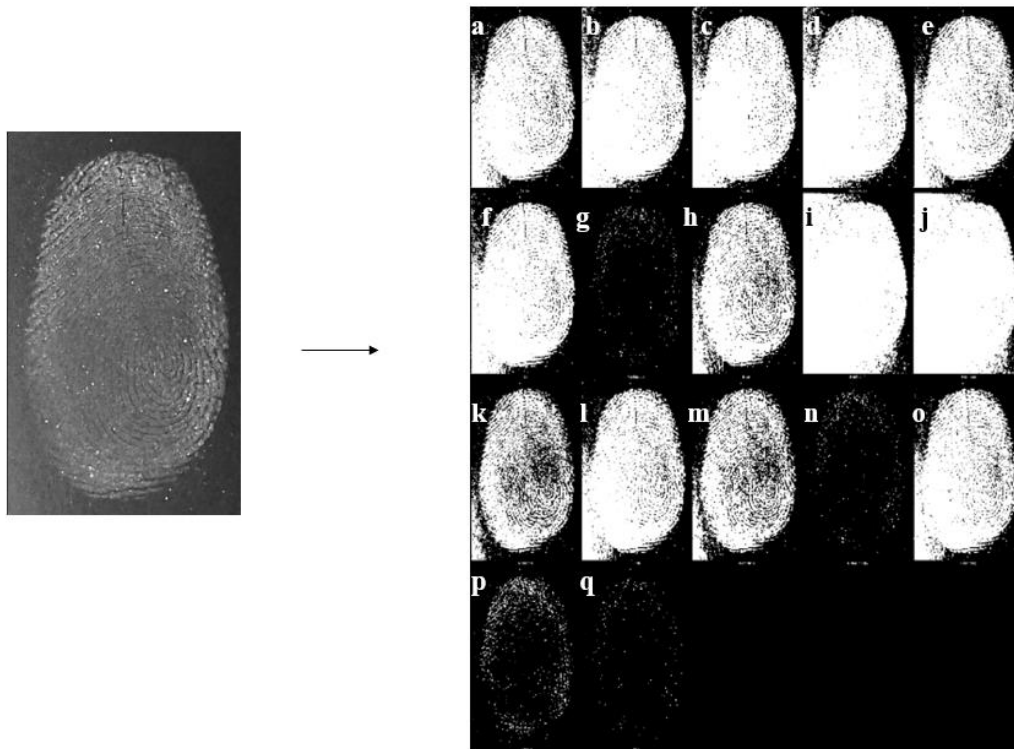
Nesse caso, a diminuição da carga de fluoróforo produziu também a diminuição das manchas (saturação de imagem), trazendo à tona detalhes de imagem. Pode-se destacar o desempenho dos algoritmos Percentile (m), RenyiEntropy (n) e Shanbhag (o) que produziram ótimas imagens com clara definição de detalhes da ID (maior detalhamento das linhas papilares) e diferenciação do sinal de fundo.

### 5.2.2.3. Limiarização global dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio



Para as imagens de ID obtida com o pó revelador contendo a menor carga de fluoróforo, a montagem de todos os métodos de limiarização global testados se encontra na figura 36.

Figura 34: Limiarização global do pó revelador de carbonato de cálcio preparado com fluoróforo na concentração de  $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ : (a) Default (b) Huang (c) Huang 2 (d) Intermodes (e) IsoData (f) Li (g) MaxEntropy (h) Mean (i) MinError (j) Minimum (k) Moments (l) Otsu (m) Percentile (n) RenyiEntropy (o) Shanbhag (p) Triangle (q) Yen.



De um modo geral, o uso de pó revelador com a menor carga de fluoróforo afetou o desempenho dos algoritmos de limiarização global. Nesse caso, os melhores desempenhos foram conseguidos com Mean (h), Moments (k) e Percentile (m) tiveram um bom desempenho frente aos outros métodos, com maior detalhamento das linhas papilares. Em outros, Default (a), Huang (b), Huang 2 (c), Intermodes (d), IsoData (e) Li (f), MinError (i), Minimum (j), Otsu (l) e Shanbhag (o), não se conseguiu diferenciar o objeto de interesse do fundo da imagem, devido a muitas regiões apagadas (brancas). Nos métodos MaxEntropy (g), RenyiEntropy (n), Triangle (p) e Yen (q) nem se visualiza a ID.

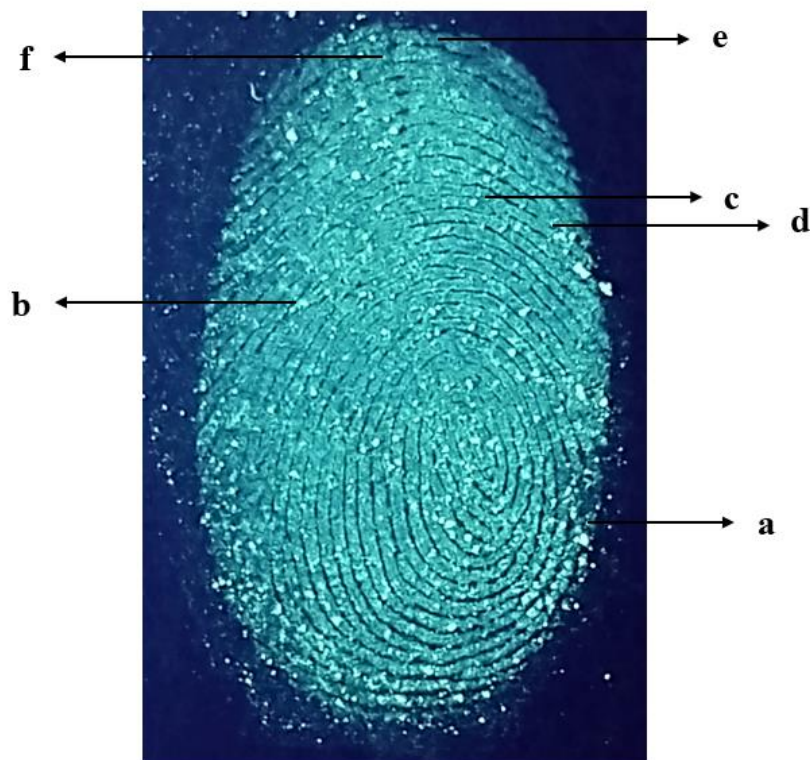
### 5.3. Nível de informação

A análise dos níveis de informação da impressão digital revelada foi realizada. A imagem utilizada é da impressão digital revelada com o pó revelador, cuja matriz é o carbonato de cálcio, e com as três diferentes cargas do fluoróforo BTD 206.

### 5.3.1. Níveis de informação dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $1,3 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Algumas características identificadas na impressão digital revelada com o pó revelador contendo a maior carga de fluoróforo são mostradas na figura 37.

Figura 35: ID revelada com o pó revelador de maior carga de fluoróforo.



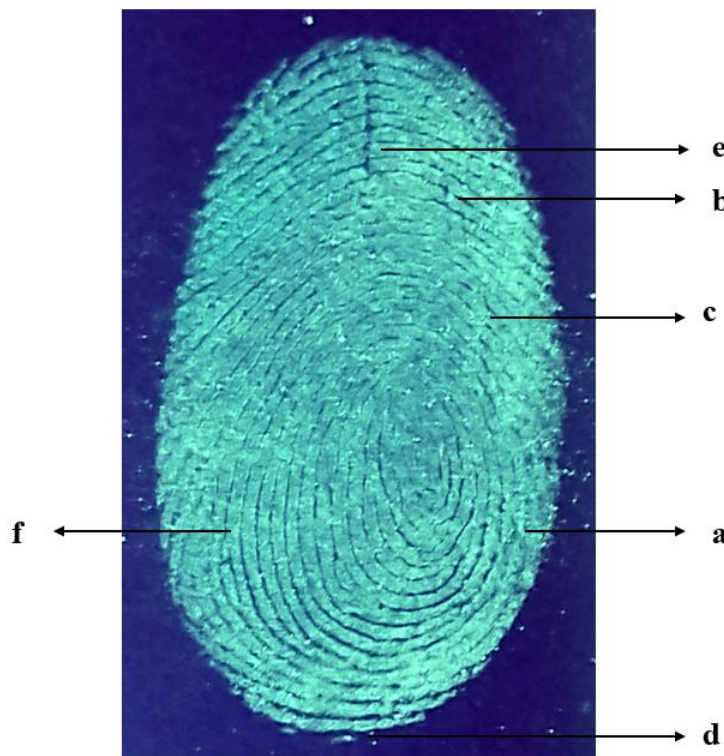
Em (a) é tem-se o norteador dos grupos fundamentais, o delta, que é uma característica de primeiro nível. Tem-se também o tridente (b), a forquilha (c), a

confluência (d), o desvio (e) e a ponta de linha (f), que são minúncias, características de segundo nível.

### 5.3.2. Níveis de informação dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Na figura 38 são destacadas as principais características identificadas na impressão digital revelada com o pó contendo carga intermediária de fluoróforo.

Figura 36: ID revelada com o pó revelador de carga intermediária de fluoróforo.

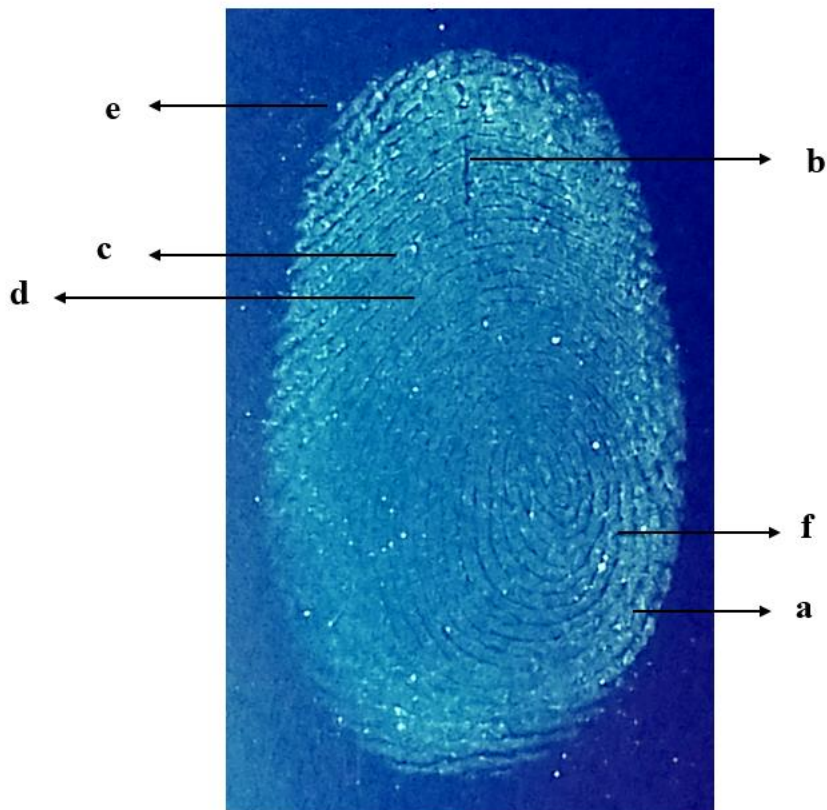


Em (a) é tem-se o norteador dos grupos fundamentais, o delta, que é uma característica de primeiro nível. Identifica-se também: (b) o desvio, (c) a forquilha, (d) a ilha, (e) a laguma e (f) a bifurcação que são minúncias, características de segundo nível.

### 5.3.3. Níveis de informação dos resultados obtidos com pó revelador produzido com fluoróforo na concentração de $3,2 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ em carbonato de cálcio

Mesmo com a menor carga de fluoróforo, o pó revelador conseguiu produzir imagem com características identificáveis, que são apresentadas na figura 39.

Figura 37: ID revelada com o pó revelador de menor carga de fluoróforo.



Mesmo com menores brilho e definição, consegue-se observar o delta, norteador dos grupos fundamentais e que é uma característica de primeiro nível; além de: (b) a laguma, (c) o desvio, (d) o bicúspide, (e) a ilha e (f) a forquilha que são minúncias, características de segundo nível.

## 6 Conclusões e recomendações

O desenvolvimento de um novo pó revelador fluorescente para fins forenses possui muitas vantagens. No entanto, para se chegar a esse produto, algumas etapas críticas precisam ser vencidas, como a escolha da melhor matriz, que deve possuir boa aderência a impressão digital, além de fornecer bom contraste entre a ID e o substrato. Um pó revelador que não que possua esteja compatível com a qualidade encontrada em pós comerciais inviabiliza seu sucesso comercial. O presente trabalho desenvolveu um novo pó revelador, tendo a BTM 206 como luminóforo. Considerando-se todos os parâmetros avaliados, a matriz carbonato de cálcio, tendo uma concentração de  $6,3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  de fluoróforo levou aos melhores resultados em termos de contraste e possibilidade de visualização das nuances das IDs. Nessas condições, boas diferenciações entre cristas e sulcos papilares foram observados quando a visualização foi feita em uma superfície escura. Com esse material, nuances de segundo nível como desvio, forquilha, a ilhota, laguma e bifurcação foram identificadas. A principal limitação desse material é aplicação em superfícies brancas ou coloridas, onde baixo contraste foi observado. Para esses, a modulação das propriedades da BTM pode ser feita, para o desenvolvimento de fluoróforos que emitam em comprimentos de onda mais altos.

Toda a análise de dados foi realizada no programa *Image J*, que é utilizado para a análise de imagem, a partir deste algumas técnicas foram utilizadas para melhorar a qualidade em relação ao contraste das imagens de impressões digitais latentes reveladas, através do histograma de imagem. Na segmentação de imagens observou-se que diferentes algoritmos podem melhorar as regiões de análise da ID. E entende-se que para a análise do pó com menor concentração de BTM a combinação de diferentes algoritmos traz ganhos para o detalhamento da ID. Com isso, conseguiu-se fazer a extração de informações importantes em relação a características de primeiro e segundo nível. Assim sendo, os objetivos deste trabalho foram alcançados.

### 6.1. Trabalhos futuros

- Utilização de outras BTDs para o desenvolvimento de novos pós reveladores.
- Avaliação de outras matrizes, podendo ser a combinação de matrizes já utilizadas, a proporção de cada uma destas deve ser avaliada de uma forma mais efetiva.
- Utilização de limiarização combinada para que seja possível o isolamento das regiões de pixels e a extração de detalhes das impressões digitais reveladas seja feita de forma mais efetiva.
- Utilização de outras ferramentas de programas, como o *Image J* para a melhoria de imagens de impressões digitais latentes, como filtros e operações matemáticas na imagem.

## 7 Referências bibliográficas

ANGST, E. Procédés pour la détermination de l'âge d'empreintes dactyloscopiques sur le papier, **Revue Internationale Criminologie Police Technique**, v. 16, p. 134–146, 1962.

ALBANI, J. R. **Principles and Applications of Fluorescence Spectroscopy**. United Kingdom: Blackwell Publishing company Editorial, 2007.

ARAÚJO, C. J. **Papiloscopia 1**. Brasília, Distrito Federal: Ministério da Justiça, Secretaria Nacional de Segurança Pública, Fábrica de Cursos, 2009.

ARAÚJO, M. E. C.; PASQUALI, L. **Datilosopia: a determinação dos dedos**. Brasília, Distrito Federal: LabPam, 2006.

ASSUMPCÃO, P. S. S. L. **Detecção de pontos característicos em um datilograma**. Rio de Janeiro, 2014. 224p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BENFICA, F. S.; VAZ, M. **Medicina Legal**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Livraria do Advogado Editora, 2012.

BERTINO, J. A.; **Forensic Science: Fundamentals & Investigation**. South-Western: Cengage Learning, 2012.

BRUNI, A. T.; VELHO, J. A.; OLIVEIRA, M. F. **Fundamentos de Química Forense**. Campinas, São Paulo: Millennium Editora, 2019.

CHAMPOD, C. et al. **Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions**. Florida: CRC Press LLC, 2004.

CHEN, H. et al. Covalent Patterning and Rapid Visualization of Latent Fingerprints with Photo-Cross-Linkable Semiconductor Polymer Dots. **American Chemical Society**, v. 7 (26), p. 14477–14484, 2015.

CHEN, Y. et al. Dual Colorimetric and Fluorescent Imaging of Latent Fingerprints on Both Porous and Nonporous Surfaces with Near-Infrared Fluorescent Semiconducting Polymer Dots. **Analytical Chemistry**, v. 88 (23), p. 11616-11623, 2016.

CHEN, H. et al. Fluorescence Development of Latent Fingerprint with Conjugated Polymer Nanoparticles in Aqueous Colloidal Solution. **American Chemical Society**, v. 9, p. 4908–4915, 2017.

CHOI, M. J. et al. Fluorescent TiO<sub>2</sub> powders prepared using a new perylene diimide dye: Applications in latent fingermark detection. **Forensic Science International**, v. 173, p. 154-160, 2007

CHOI, M. J. et al. Metal- containing nanoparticles and nano-structured particles in fingermark detection. **Forensic Science International**, v. 179, p. 87-97, 2008.

CHRISTOFIDIS, G.; MORRISSEY, J.; BIRKETT, J. W. Detection of Fingermarks—Applicability to Metallic Surfaces: A Literature Review. **Journal of Forensic Sciences**, v. 63, n. 6, p. 1616–1627, 2018.

COELHO, L. C. **Prospecção e Implantação de Tecnologia de Identificação Biométrica**. 2009. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/IstRio/prospeco-e-implantao-de-tecnologia-de-identificao-biomtrica>>. Acesso em: 26 abr. 2022.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, São Paulo: UNICAMP, 1992.

DIAS, F. C. **Uso do software Image J para análise quantitativa de imagens de microestruturas de materiais**. São José dos Campos, 2008. 145p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

DILAG, J.; KOBUS, H.; ELLIS, A. V. Cadmium sulfide quantum dot/chitosan nanocomposites for latent fingermark detection. **Forensic Science International**, v. 187, p. 97-102, 2009.

DOYLE, W. Operations Useful for Similarity-Invariant Pattern Recognition. **Journal of the ACM**, v. 9 (2), p. 259–267, 1962.

EIE (ESCOLA DE INSTRUÇÃO ESPECIALIZADA). **Datilosopia**. 2009. Disponível em: <[www.esie.eb.mil.br/images/material-didatico/Datilosopia.pdf](http://www.esie.eb.mil.br/images/material-didatico/Datilosopia.pdf)>.



Acesso em: 21 set. 2020.

FIUZA, R. M. et al. A styryl-benzothiadiazole derivative with aggregation-induced enhanced emission for latent fingerprint recognition. **Journal of Luminescence**, v. 248, p. 118920, 2022.

FORENSICS BRASIL. **Introdução às impressões digitais latentes**. Disponível em: <<https://www.forensicsbrasil.com.br/catalogos/sirchie/impressoeslatentes.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

GONZALES, R.; WOODS, R. **Processamento digital de imagens**. 3.ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GSMA Latin America. **The Mobile Economy Latin America 2021**. Disponível em: <<https://www.gsma.com/latinamerica/resources/the-mobile-economy-latin-america-2021/>>. Acesso em: 07 jun 2022.

HUMPHREYS, J. D.; PORTER, G.; BELL, M. The quantification of fingerprint quality using a relative contrast index. **Forensic Science International**, v. 178, n. 1, p. 46–53, 10 jun. 2008.

IBIA (International Biometrics+Identity Association). **Fingerprint Biometrics**. Disponível em: <<https://www.ibia.org/biometrics-and-identity/biometric-technologies/fingerprints>>. Acesso em: 26 abr. 2022.

IFRG (INTERNACIONAL FINGERPRINT RESEARCH GROUP). Guidelines for the assessment of fingermark detection techniques. **Journal Forensic**, v. 64, p. 174– 200, 2014.

JABLONSKI, A. Über den Mechanismus des Photolumineszenz von Farbstoffphosphoren. **Zeitschrift fur Physik**, 94, p. 38–64, 1935.

JACKSON, Andrew; JACKSON, Julie. **Forensic science**. Harlow, England; Boston: Pearson Education, 2017.

KEHDY, C. **Exercícios de Dactiloscopia**. Sugestões Literárias, 1968.

LAKOWICZ, J. R. **Principles of Fluorescence Spectroscopy**. 3.ed. Boston: Springer Science+Business Media, LLC, 2006.

LAVIS, L.D.; RAINES, R.T. Bright Building Blocks for Chemical Biology. **ACS Chemical Biology**, v. 9, p. 855–866, 2014.

LEE, H.C; GAENSSLEN, R.E. **Advances in Fingerprint Technology**. New York. CRC Press LLC, 2013.

MOENSSENS, ANDRE. **Fingerprint Techniques**. Chilton Book Company, London, 1971.

MOREIRA, Christiano Gomes. **DACTILOSCOPIA: IMPRESSÃO DIGITAL**. Disponível em: <<https://nova-criminologia.jusbrasil.com.br/noticias/2543988/dactiloscopia-impressao-digital-parte-1-de-2>>. Acesso em: 26 abr. 2022.

LI, H. et al. A synthesis of fluorescent starch based on carbon nanoparticles for fingerprints detection. **Optical Materials**, v. 60, p. 404-410, 2016.

LI, Y.; XU, L.; SU, B. Aggregation induced emission for the recognition of latent fingerprints. **Chemical Communication**, v. 48, p. 4109-4111, 2012.

NETO, B. A. D.; CARVALHO, P. H. P. R.; CORREA, J. R. Benzothiadiazole Derivatives as Fluorescence Imaging Probes: Beyond Classical Scaffolds. **Accounts Chemical Research**, v. 48, p. 1560– 1569, 2015.

ODÉN, S.; VON HOFSTEN, B. Detection of fingerprints by the ninhydrin reaction. **Nature**, v. 173, p. 449–450, 1954.

OTSU, N. Um método de seleção de limiares de histogramas de nível cinza. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, p. 62-66, 1979.

PAZINI, A. **Derivados de benzotiadiazola arilóxi-substituídos: uma nova classe de emissores orgânicos para OLEDs**. Rio de Janeiro, 2019. 119 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

PAZINI, A. et al. Designing highly luminescent aryloxy-benzothiadiazole derivatives with aggregation-induced enhanced emission. **Dyes and Pigments**, v.178, p. 108377, 2020.

POUNDS, C. A.; GRIGGS, R.; MONGKOLAUSSAVARATANA, T. The use of 1,8-diazafluoren-9-one (DFO) for the fluorescent detection of latent fingerprints on

paper: a preliminary evaluation, **Journal Forensic Sciences**, v. 35, p. 169-175, 1990.

SAHOO, P. K. et al. A Survey of Thresholding Techniques. **Computer Vision, Graphics and Image Processing.**, v. 4, p. 233-260, 1998.

SILVA, R. C. M. **Estudo preliminar do desempenho de pigmentos à base de pontos quânticos de grafeno e benzotiadiazolas como marcadores químicos fotoluminescentes em tintas de segurança.** Rio de Janeiro, 2019. 104 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SINGH, P. et al. Diphenylpyrimidinone–salicylideneamine – new ESIPT based AIEgens with applications in latent fingerprinting. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 4 (47), p. 11180-11189, 2016.

SOBRINHO, Mário Sérgio. **Identificação Criminal.** São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003.

SWOFFORD, H. J. et al. A method for the statistical interpretation of friction ridge skin impression evidence: Method development and validation. **Forensic Science International**, v. 287, p. 113-126, 2018.

TSAI, W. H. Moment-preserving thresholding: A new approach. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 29 (3), p. 377–393, 1985.

VANDERWEE, J. et al. The investigation of a relative contrast index model for fingerprint quantification. **Forensic Science International**, v. 204, n. 1, p. 74–79, 2011.

VENOSA, Silvio de Salvo. **Direito Civil.** 3ª edição. São Paulo. Editora Atlas, 2003.

WANG, M. et al. NIR-induced highly sensitive detection of latent fingermarks by NaYF<sub>4</sub>:Yb, Er upconversion nanoparticles in a dry powder state. **Nano Research**, v. 8 (6), p. 1800–1810, 2015.

WANG, Y. et al. Recent progress in background-free latent fingerprint imaging. **Nano Research**, v. 11, n. 10, p. 5499–5518, 2018.

WU, J. et al. Novel 2,1,3-benzothiadiazole derivatives used as selective fluorescent and colorimetric sensors for fluoride ion. **Dye Pigment**, v. 124, p. 268–276, 2016.

YAN, F. et al. Benzothiazole applications as fluorescent probes for analyte detection. **Journal of the Iranian Chemical Society**, v. 17, n. 12, p. 3179–3203, 2020.

ZANG, Z. et al. Charge transfer processes via tandem modification of efficient non-fullerene acceptors for organic solar cells. **Solar Energy**, v. 231, p. 503– 515, 2022.