

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**UMA FERRAMENTA PARA
CASAMENTO DE IMAGENS DE
MICROSCOPIA DE LUZ POLARIZADA**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Cristiano Albiero Berni

Santa Maria, RS, Brasil

2010

UMA FERRAMENTA PARA CASAMENTO DE IMAGENS DE MICROSCOPIA DE LUZ POLARIZADA

por

Cristiano Albiero Berni

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Ciência da Computação
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciência da Computação

**Orientador: Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa
(UFSM)**

Co-orientador: Msc. Jean Carlo Albiero Berni (UFSM)

**Trabalho de Graduação Nº 287
Santa Maria, RS, Brasil**

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Curso de Ciência da Computação**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Graduação

**UMA FERRAMENTA PARA CASAMENTO DE IMAGENS DE
MICROSCOPIA DE LUZ POLARIZADA**

elaborado por
Cristiano Albiero Berni

como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciência da Computação

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Profa. Dra. Lisandra Manzoni Fontoura (UFSM)

Prof. Dr. Marcos Cordeiro d'Ornellas (UFSM)

Santa Maria, 04 de janeiro de 2010.

“Boa sorte é o que acontece quando a oportunidade encontra o planejamento.”

— THOMAS ALVA EDISON

RESUMO

Trabalho de Graduação
Curso de Ciência da Computação
Universidade Federal de Santa Maria

UMA FERRAMENTA PARA CASAMENTO DE IMAGENS DE MICROSCOPIA DE LUZ POLARIZADA

Autor: Cristiano Albiero Berni

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa (UFSM)

Co-orientador: Msc. Jean Carlo Albiero Berni (UFSM)

Local e data da defesa: Santa Maria, 04 de janeiro de 2010.

Este trabalho descreve a implementação de um método para casamento de imagens de microscopia de luz polarizada. O casamento é um processo pelo qual as representações existentes para um mesmo objeto são colocadas em correspondência espacial, e tem como finalidade compensar os deslocamentos e mudanças de orientação no momento de sua aquisição. Estes defeitos de imageamento estão relacionados ao sistema de aquisição de imagens, incluindo o posicionamento da amostra, o posicionamento da câmera fotográfica, o uso de filtros de cor e de polarização. O método desenvolvido foi implementado utilizando a linguagem Java e a biblioteca *Java Advanced Imaging* (JAI), e integrado ao sistema de processamento e análise de imagens Anima, desenvolvido pela empresa Animati Computação Aplicada em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada (LaCA).

Palavras-chave: Casamento de imagens, microscopia de luz polarizada.

ABSTRACT

Graduation Work
Undergraduate Program in Computer Science
Federal University of Santa Maria

A METHOD FOR IMAGE MATCHING OF POLARIZED LIGHT MICROSCOPY

Author: Cristiano Albiero Berni
Advisor: Prof. Dr. José Antônio Trindade Borges da Costa (UFSM)
Coadvisor: Msc. Jean Carlo Albiero Berni (UFSM)

In the present work the implementation of a method for the matching of polarized light microscopy images is described. The matching is a process by which the existing representations of the same object are put into spatial correspondence and in order to compensate for shifting and rotation during acquisition. These artifacts are related to the imaging system, including the positioning of both sample and camera, and the use of color or polarization filters. The method was implemented using the Java language and the Java Advanced Imaging (JAI) library and it was integrated to the image processing and analysis system Anima, developed by the Animati Computação Aplicada company on a partnership with the Laboratório de Computação Aplicada (LaCA).

Keywords: Image matching, polarized light microscopy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Arraste de imagens de uma mesma amostra obtidas ao microscópio ótico com diferentes ângulos de polarização da luz incidente (após processamento para evidenciar as bordas).	11
Figura 2.1 – Polarização das ondas de luz por absorção. O primeiro polarizador, orientado na vertical, permite a passagem apenas de ondas que oscilam nesta direção. Essas ondas são bloqueadas pelo segundo polarizador, orientado na horizontal.	14
Figura 2.2 – Transmissão da luz polarizada através do analisador.	15
Figura 2.3 – Polarização das ondas de luz por reflexão.	16
Figura 2.4 – Polarização da luz solar por espalhamento em uma molécula de água. A luz é reirradiada em ângulos retos em relação a direção de incidência da luz solar.	17
Figura 2.5 – Polarização das ondas de luz em um material birrefringente.	18
Figura 2.6 – Microscópio de luz refletida ou transmitida.	19
Figura 2.7 – Microscópio petrográfico. As amostras adquirem aspectos distintos ao girar a platina.	20
Figura 2.8 – Amostras de turmalina em diferentes ângulos.	21
Figura 2.9 – Translação de um triângulo em 4 unidades na horizontal e 3 na vertical.	23
Figura 2.10 – Rotação de um triângulo em 90° (anti-horário) em torno da origem.	23
Figura 2.11 – Mudança de escala em 1,5 na horizontal e 2 na vertical.	24
Figura 3.1 – Diagrama de pacotes do Anima. Em <i>features</i> encontra-se o <i>plugin imageMatching</i> (casamento de imagens) desenvolvido neste trabalho.	28
Figura 3.2 – Padrão <i>State</i> utilizado no Anima para a utilização de diferentes comportamentos na manipulação de imagens.	29
Figura 3.3 – Diagrama de sequência da função principal da ferramenta implementada. Nela é chamado o operador da JAI que executa as transformações Afim a partir de uma equação polinomial de grau 1.	31
Figura 3.4 – Diagrama de sequência da operação de <i>selectband</i> . Se a imagem for do tipo RGB, apenas o canal G é selecionado.	33
Figura 3.5 – Diagrama de classes do método de casamento de imagens (<i>image-Matching</i>).	34
Figura 3.6 – Execução de uma operação de casamento de imagens no Anima. O ponto em vermelho representa um dos pontos de bifurcação a serem selecionados na imagem.	35

Figura 4.1 – Comparação da diferença entre duas imagens antes e depois do casamento..... 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application Programming Interface
BMP	Windows Bitmap
GUI	Graphical User Interface
IDE	Integrated Development Environment
JAI	Java Advanced Imaging
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LaCA	Laboratório de Computação Aplicada da Universidade Federal de Santa Maria
PNG	Portable Network Graphics
RGB	Red, Green, Blue
UML	Unified Modeling Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Petrografia	13
2.2	Luz polarizada	14
2.2.1	Polarização por absorção	14
2.2.2	Polarização por reflexão	16
2.2.3	Polarização por espalhamento	16
2.2.4	Polarização por birrefringência	17
2.3	Microscopia de luz polarizada	18
2.3.1	Microscopia de luz refletida	18
2.3.2	Microscopia de luz transmitida	19
2.4	Processamento de Imagens e Casamento 2D	20
2.4.1	Translação	22
2.4.2	Rotação	22
2.4.3	Escala	23
2.4.4	Translação, Rotação e Escala Combinadas	24
3	APRESENTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA	26
3.1	Anima	27
3.2	GUI para seleção de pontos	27
3.3	<i>Java Advanced Imaging (JAI)</i>	29
3.3.1	Operador <i>warp</i>	30
3.3.2	Operador <i>bandselect</i>	32
3.4	Modelagem	32
3.5	Apresentação da interface	33
4	RESULTADOS	36
5	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A CÓDIGO FONTE	41

1 INTRODUÇÃO

Sistemas onde câmeras digitais são acopladas a microscópios óticos tornaram-se padrão nos domínios de aplicação da microscopia quantitativa. Essa configuração conquistou espaço, favorecida pelos baixos custos das câmeras digitais (BERNI, 2008). Entretanto, as imagens obtidas das amostras em análise são normalmente afetadas pelas condições de aquisição. Luz, vibração, ajuste de foco, interposição de filtros, posicionamento da amostra e da câmera influenciam no resultado do imageamento através do microscópio (WENTING; CHAI; SHACKLOCK, 2005; WENTING; SHACKLOCK, 2005). A variação das condições de aquisição produz alterações que incluem translação, rotação, ampliação ou redução.

Dentre as alterações que ocorrem em imagens obtidas de um mesmo campo foi tratado do arraste ocorrido durante a aquisição de imagens com diferentes ângulos de polarização da luz incidente, conforme ilustrado na Figura 1.1.



Figura 1.1: Arraste de imagens de uma mesma amostra obtidas ao microscópio ótico com diferentes ângulos de polarização da luz incidente (após processamento para evidenciar as bordas).

Métodos de análise que utilizam a informação contida em imagens obtidas sob diferentes condições dependem da exata correspondência das coordenadas dos pixels e as coordenadas espaciais do objeto representado. Para garantir essa correspondência, deve-se

realizar um pré-processamento chamado casamento de imagens. Esse processo estabelece uma interpretação dos dados de entrada, que produz uma correspondência entre as imagens obtidas do mundo real (BALLARD; BROWN, 1982).

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um método para o casamento de imagens, que resultou em uma ferramenta para a correção em lote dos deslocamentos e rotações de imagens de uma mesma cena.

A utilidade desta ferramenta reside na possibilidade de realizar o pré-processamento de uma grande quantidade de imagens de maneira automática, pois isto representa ganho de tempo e produtividade. Além disso, é desejável que a interface através da qual o usuário ajusta o método de correção às suas amostras seja de fácil compreensão e que permita que este possa interagir com a ferramenta de forma intuitiva.

O método de casamento de imagens foi implementado na linguagem de programação Java, utilizando a biblioteca para processamento de imagens *Java Advanced Imaging* (JAI). A ferramenta produzida foi incorporada ao sistema de processamento e análise de imagens Anima, desenvolvido pela empresa Animati Computação Aplicada em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada (LaCA). Esta implementação é parte do esforço que já vem sendo empreendido por um grupo de pesquisa no LaCA para o desenvolvimento de um processo de caracterização automática de minérios de ferro (ROSA, 2008; FRICK, 2008).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica da base de conhecimento necessária à realização deste trabalho. Primeiramente são introduzidos a área de aplicação e o problema específico que motivaram o trabalho. A seguir, são descritos o tipo de imagem analisada, os meios pelos quais imagens deste tipo são adquiridas e os tipos de deslocamento que podem resultar destas formas de aquisição. Finalmente, são explicadas as regras utilizadas para a criação do método de casamento de imagens.

2.1 Petrografia

No dicionário Houaiss (HOUAISS, 2002), a petrografia é definida como o “ramo da geologia que trata da descrição e classificação sistemática das rochas, especialmente através do exame microscópico de seções delgadas”.

Com o constante crescimento da extração de rochas e minerais, o processo de análise e caracterização torna-se inviável sem a utilização de ferramentas de ajuda e automatização.

Uma aplicação importante é a classificação de minérios de ferro (rochas das quais pode ser obtido ferro metálico de maneira economicamente viável). Esta classificação, feita com base na quantidade, distribuição e morfologia dos minerais presentes é de fundamental importância na produtividade do processo siderúrgico realizado após a extração. O rendimento deste processo, assim como o consumo de insumos e de energia dependem em grande parte da qualidade do minério utilizado, a qual é determinada por suas características geológicas, metalúrgicas e morfológicas (ROSA, 2008).

A petrografia faz o uso da microscopia de luz polarizada para a identificação dos minerais. Nesta técnica a mesma rocha é observada sob diferentes orientações relativas entre o plano de polarização da luz e os minerais que a compõem. A variação desta orientação pode produzir o deslocamento das imagens registradas por câmeras fotográficas montadas

no microscópio petrográfico. Por isso, esta forma de imageamento é descrita na próxima seção.

2.2 Luz polarizada

Quase todas as formas de iluminação natural e artificial produzem ondas de luz com campos eletromagnéticos oscilando em todas as direções. Com a utilização de materiais e especiais, pode-se filtrar essas ondas de forma que os campos eletromagnéticos oscilem em uma mesma direção. Dispositivos construídos com essa finalidade são conhecidos como polarizadores.

São quatro fenômenos que produzem ondas polarizadas a partir de ondas não-polarizadas: absorção, reflexão, espalhamento e birrefringência.

O uso de dois polarizadores, do modo representado na Figura 2.1, é geralmente chamado de polarização cruzada e é fundamental no conceito de microscopia de luz polarizada (NIKON, 2009).

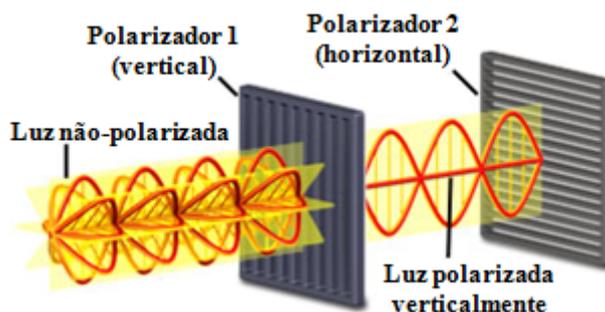


Figura 2.1: Polarização das ondas de luz por absorção. O primeiro polarizador, orientado na vertical, permite a passagem apenas de ondas que oscilam nesta direção. Essas ondas são bloqueadas pelo segundo polarizador, orientado na horizontal.

O bloqueio total ou parcial da luz polarizada proveniente dos diferentes minerais que compõem uma rocha, observada em um microscópio petrográfico é usado para a sua identificação e segmentação.

2.2.1 Polarização por absorção

Diversos cristais naturais, quando cortados na forma apropriada, absorvem e transmitem luz diferentemente dependendo da polarização da luz, os quais podem ser utilizados para produzir luz linearmente polarizada. Essa também pode ser produzida utilizando uma película polarizadora, chamada Polaroid, inventada em 1938 por Edwin H. Land. Esse material contém uma longa cadeia de moléculas alinhadas durante seu processo de

manufatura e que se tornam condutoras em frequências óticas quando a película é mergulhada em uma solução contendo iodo. Quando a luz incide com seu campo elétrico paralelo às cadeias, corrente elétrica são geradas ao longo desta direção e a energia luminosa é absorvida. Se o campo elétrico é perpendicular às cadeias, nenhuma corrente é gerada e a luz é transmitida (TIPLER; MOSCA, 2006).

Na Figura 2.2 (NIKON, 2009) é representada a intensidade da luz transmitida através deste tipo de filtro, utilizado em microscópios de luz polarizada. Dois polarizadores são colocados no caminho ótico de modo que o segundo, normalmente denominado analisador, serve para controlar a quantidade de luz que atravessa o par. Na Figura 2.2 (a) polarizador e analisador possuem seus eixos de transmissão orientados paralelamente, ou seja, as ondas de luz que atravessam o polarizador são totalmente transmitidas através do analisador. Ao girar o analisador, é alterado seu ângulo de polarização, bloqueando parte da luz transmitida pelo polarizador (Figura 2.2 (b) e (c)). Na situação final (Figura 2.2 (d)), os polarizadores estão cruzados, seus eixos estão orientados perpendicularmente e a luz que atravessa o primeiro polarizador é totalmente bloqueada.

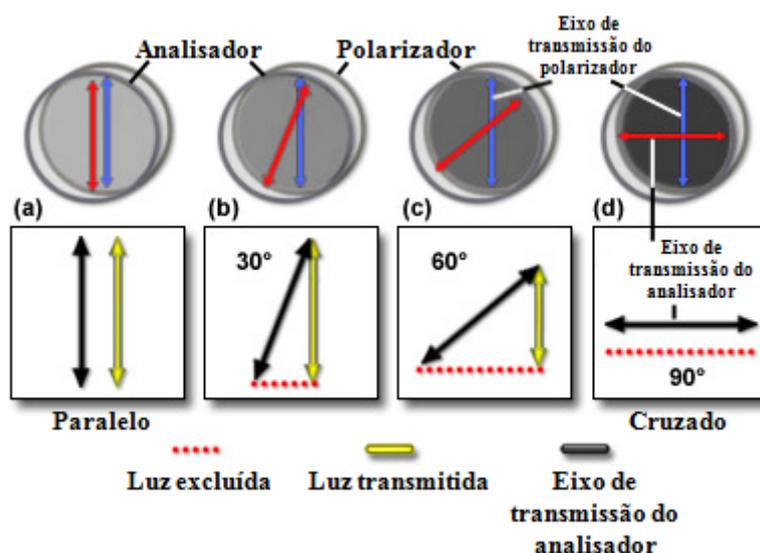


Figura 2.2: Transmissão da luz polarizada através do analisador.

Assim, se a luz transmitida ou refletida pelos minerais que compõem uma rocha tem ângulos de polarização bem definidos para cada um deles, o analisador produzirá contraste bloqueando total ou parcialmente a luz proveniente de cada um deles.

2.2.2 Polarização por reflexão

Quando a luz não-polarizada é refletida por uma superfície plana na fronteira entre dois meios transparentes, tal como ar e vidro ou ar e água, a luz refletida é parcialmente polarizada. O grau de polarização depende do ângulo de incidência e da razão das velocidades da onda nos dois meios, ou índice de refração. Como o grau de polarização pode ser detectado por um analisador, da forma descrita na seção anterior, diferenças de índice de refração são mapeadas com o microscópio de luz polarizada.

Conforme é representado na Figura 2.3 (NIKON, 2009), para certo ângulo de incidência, chamado de ângulo polarizante θ_p , a luz refletida é completamente polarizada. No ângulo polarizante, os raios refletidos e refratados são perpendiculares um ao outro (TIPLER; MOSCA, 2006).

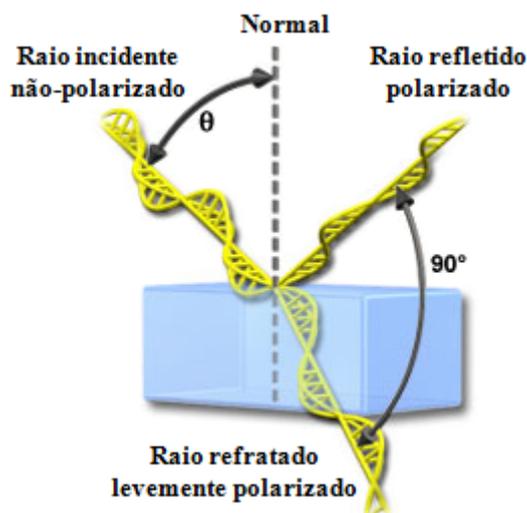


Figura 2.3: Polarização das ondas de luz por reflexão.

2.2.3 Polarização por espalhamento

É um fenômeno pelo qual a luz é absorvida por um meio e depois reirradiada. O espalhamento pode ser observado ao passar um feixe de luz através de um recipiente de água onde uma pequena quantidade de leite em pó foi adicionada. As partículas de leite absorvem luz e a reirradiam, fazendo a luz ser visível. Da mesma maneira, feixes de laser podem se tornar visíveis pela introdução de partículas de pó ou fumaça no ar para espalhar a luz (TIPLER; MOSCA, 2006).

Na Figura 2.4 (NIKON, 2009) é ilustrado o processo de polarização da luz solar por espalhamento em uma molécula de água.

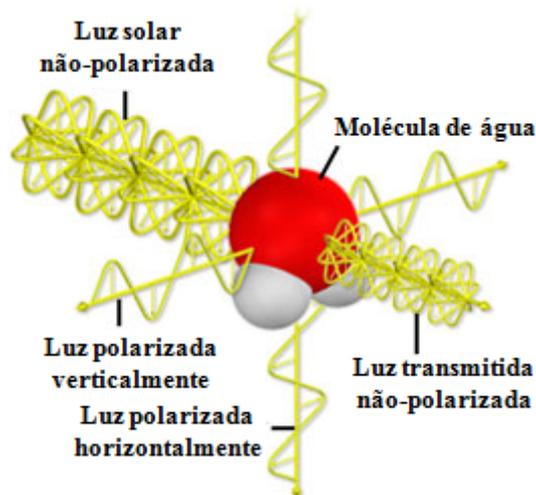


Figura 2.4: Polarização da luz solar por espalhamento em uma molécula de água. A luz é reirradiada em ângulos retos em relação a direção de incidência da luz solar.

2.2.4 Polarização por birrefringência

Também conhecido como dupla refração, a birrefringência ocorre na calcita e em outros cristais não-cúbicos e em alguns plásticos sob tensão, tal como o celofane. Muitos materiais são isotrópicos, isto é, a velocidade da luz passando através do material é a mesma em todas as direções. Por causa da sua estrutura atômica, materiais birrefringentes são anisotrópicos, ou seja, a velocidade e o plano de polarização da luz dependem da sua direção de propagação. Quando um raio de luz incide sobre tais materiais, ele pode ser separado em dois raios chamados raio ordinário e raio extraordinário. Esses raios são polarizados em direções perpendiculares, podem se deslocar com velocidades diferentes e, dependendo da orientação relativa do material e do feixe de luz incidente, também podem se deslocar em direções diferentes (TIPLER; MOSCA, 2006).

Tendo como base a Figura 2.5 (NIKON, 2009), existe uma direção específica em um material birrefringente na qual ambos os raios se propagam com a mesma velocidade. Essa direção é chamada de eixo ótico e nada de diferente ocorre quando a luz se desloca na mesma direção desse eixo (Figura 2.5 (c)). Se a luz incide perpendicularmente ao eixo ótico, os dois raios se deslocam na mesma direção, mas com velocidades diferentes (Figura 2.5 (b)). O último caso (Figura 2.5 (a)), quando a luz incide em um ângulo com o eixo ótico, os raios se deslocam em direções diferentes e emergem separadamente no espaço e, se o material for girado, o raio extraordinário acompanha o movimento de rotação em torno do raio ordinário (TIPLER; MOSCA, 2006).

Esse tipo de polarização é evidenciado na microscopia de luz transmitida.

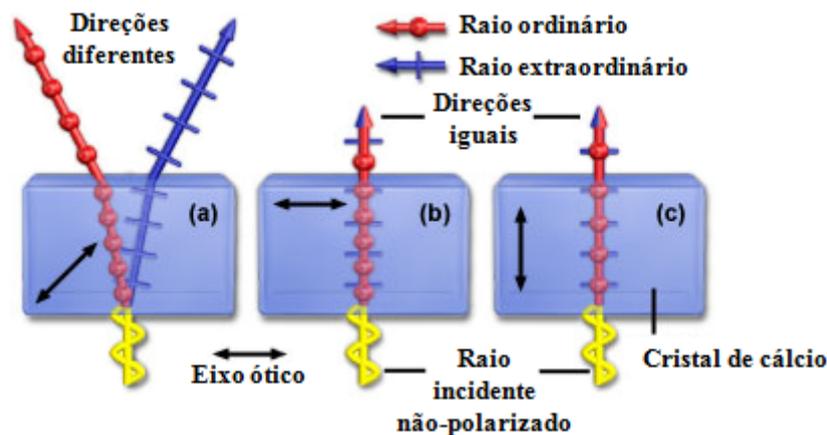


Figura 2.5: Polarização das ondas de luz em um material birrefringente.

2.3 Microscopia de luz polarizada

O uso da luz polarizada é conhecido como uma técnica de aumento de contraste que resulta no melhor método de análise petrográfica: a microscopia de luz polarizada. Esse método possui um alto grau de sensibilidade podendo ser usado de maneira qualitativa ou quantitativa dependendo do objetivo. Assim, por exemplo, grãos cristalinos refletem a luz com polarização bem definida. Quando as orientações cristalográficas dos grãos são diferentes, as direções de polarização também são diferentes. Dessa forma, o polarizador é utilizado para mapear a distribuição de grãos cristalinos.

Um microscópio de luz polarizada pode assumir duas formas de análise, a saber, por luz transmitida ou por luz refletida. Ambas as configurações do microscópio possuem dois polarizadores, um posicionado entre a fonte de luz e a amostra, e o outro, conhecido como analisador, localizado entre as objetivas e o tubo de observação (ver Figuras 2.6 e 2.7).

2.3.1 Microscopia de luz refletida

Também conhecida como microscopia de luz incidente ou microscopia metalúrgica, esta técnica é escolhida para realizar a análise de materiais que permanecem opacos mesmo com espessuras em torno de 30 microns (NIKON, 2009). Como a luz é incapaz de atravessar amostras destes materiais, ela deve ser direcionada sobre sua superfície polida e enviada de volta para as objetivas do microscópio. Na reflexão ocorrem os fenômenos descritos na seção 2.2 produzindo contrastes entre os objetos examinados.

Esse tipo de microscopia é utilizado na maioria dos metais, minerais, cerâmicas, polímeros, semicondutores, carvão, plástico, papel, madeira, couro, vidro e muitos outros.

Na Figura 2.6 é mostrado o esquema de um modelo de microscópio que permite ao usuário escolher o tipo de iluminação utilizada (NIKON, 2009).

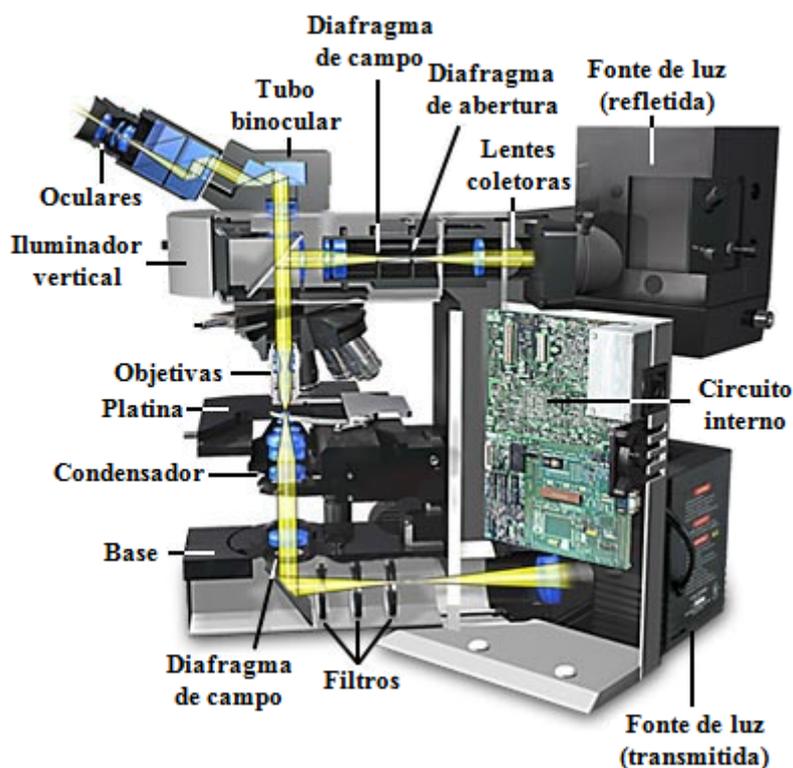


Figura 2.6: Microscópio de luz refletida ou transmitida.

2.3.2 Microscopia de luz transmitida

Este modelo, conhecido como microscópio petrográfico, é projetado para observar amostras birrefringentes, que são visíveis principalmente por possuírem características anisotrópicas, conforme descrito na subseção 2.2.4 sobre polarização por birrefringência. As amostras para este tipo de microscopia são preparadas tomando-se uma seção extremamente fina (cerca de 30 microns) de uma rocha, solo ou mineral, denominadas lâminas delgadas. Conforme é ilustrado na Figura 2.7 (NIKON, 2009), a luz polarizada incide na parte inferior da amostra gerando duas ondas individuais perpendiculares, ou seja, tornando a luz incidente fora de fase. Porém, são recombinadas com interferência construtiva e destrutiva ao passar pelo analisador.

Além de ser muito utilizado na petrografia, no estudo de minerais e rochas, o microscópio petrográfico pode ser usado para analisar uma grande variedade de materiais,

incluindo materiais cerâmicos, fibras minerais, polímeros e estruturas semelhantes. Esta é uma excelente ferramenta para as ciências materiais, química, biologia, metalurgia e medicina (NIKON, 2009).

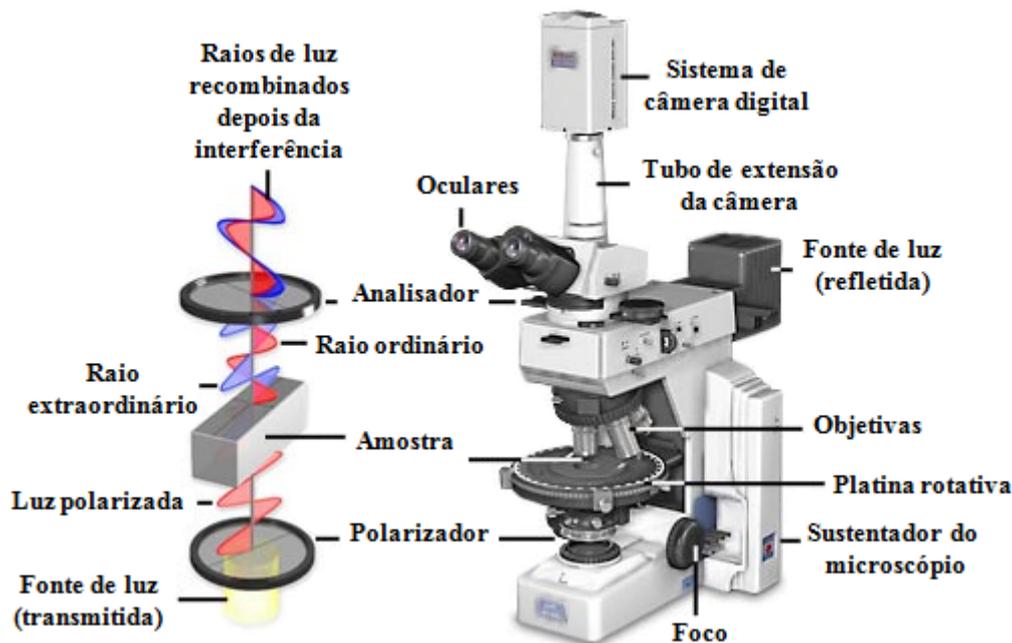


Figura 2.7: Microscópio petrográfico. As amostras adquirem aspectos distintos ao girar a platina.

Na Figura 2.8 é mostrado um conjunto de imagens adquiridas ao microscópio petrográfico com diferentes orientações da platina, as quais produzem diferentes ângulos de polarização da luz transmitida.

Como se vê, enquanto produz contraste, o movimento da platina desloca os objetos observados sobre o campo de observação de modo que um mesmo ponto na superfície do material é mapeado em pixels com coordenadas diferentes nas diversas imagens. Para usar a informação complementar contida nestas imagens, é preciso primeiro colocá-las em correspondência espacial.

2.4 Processamento de Imagens e Casamento 2D

Processamento de imagens pode ser definido como qualquer forma de processamento digital de dados onde a entrada e saída são imagens. O interesse em métodos de processamento de imagens digitais tem duas grandes motivações: melhoria da informação visual para a interpretação humana e o processamento dos dados das imagens para armazenamento, transmissão, e a representação para a percepção automática por máquinas ou

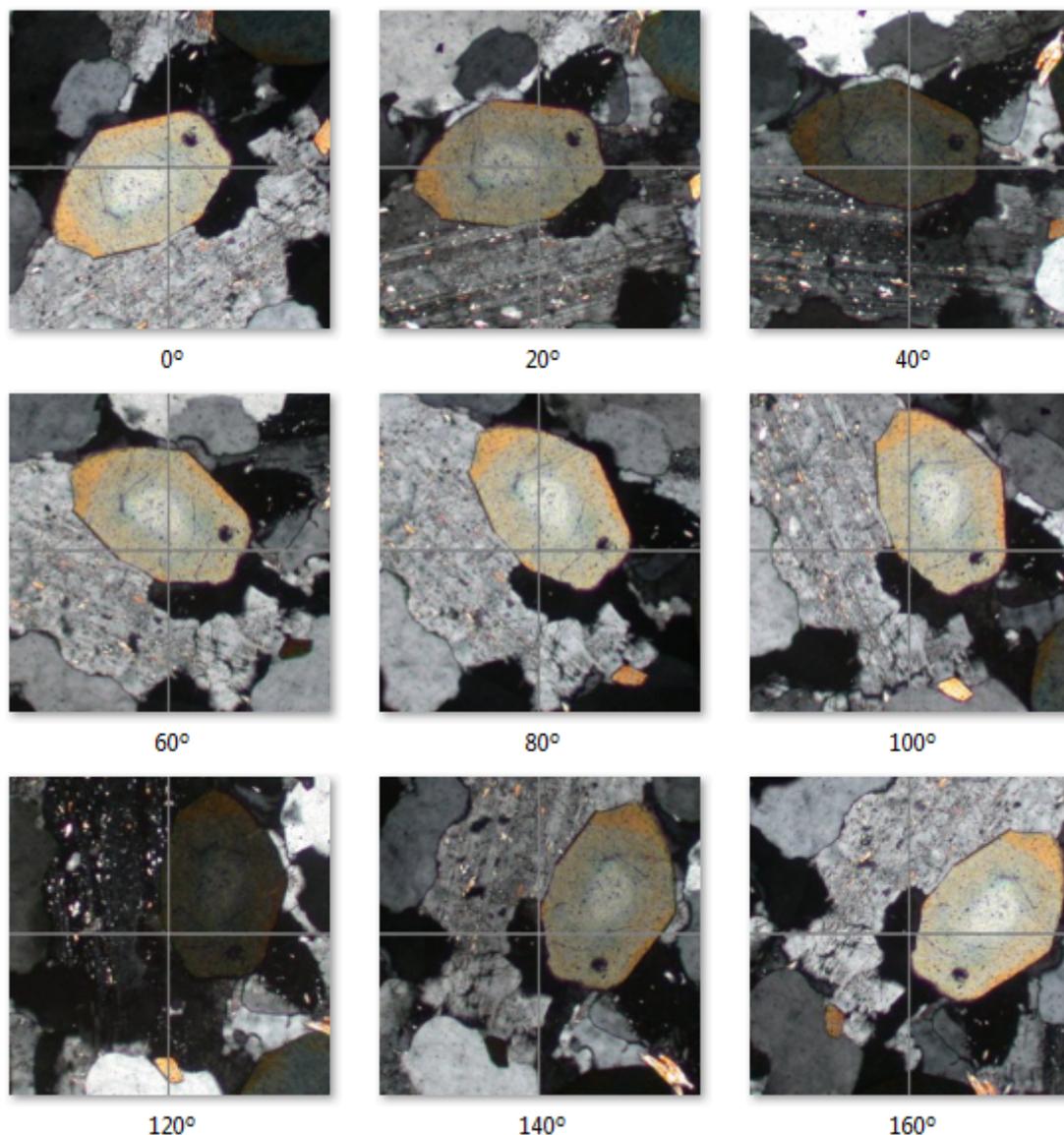


Figura 2.8: Amostras de turmalina em diferentes ângulos.

avaliações quantitativas (GONZALES; WOODS, 2008).

Conforme observamos nas seções anteriores, quando uma amostra é imageada sob diversas condições podem ocorrer deformações e/ou deslocamentos nas representações dos objetos observados. Nesse conjunto de imagens deve ser aplicado um método para colocar os objetos das imagens em correspondência espacial para futuro processamento. Para executar a operação de casamento dessas imagens bidimensionais utiliza-se um conjunto de métodos de processamento de imagens chamados transformações Afim 2D.

Na geometria, que é a parte da matemática que estuda tamanho, forma e posição das figuras, uma transformação Afim consiste em uma combinação linear de translação, rotação e mudança de escala. Uma transformação Afim preserva as proporções da imagem,

sendo portanto adequada para o pré-processamento de imagens usadas em análises quantitativas.

As transformações Afim 2D são efetuadas a partir da representação dos pontos que formam um objeto bidimensional por coordenadas cartesianas. Neste sistema, um ponto P no plano é representado por um par de coordenadas, $P = [x, y]$. A convenção usada é que as coordenadas correspondem às distâncias em relação a cada um dos eixos do sistema de coordenadas (AZEVEDO; CONCI, 2003). Este par ordenado constitui um vetor posição do respectivo ponto.

Várias transformações espaciais podem ser representadas a partir da multiplicação do vetor posição de um ponto por uma matriz (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001). Ou seja, um pixel na posição (x_1, y_1) é multiplicado por uma matriz de transformação gerando uma nova posição (x_2, y_2) . Dessa forma um objeto pode ser realocado em várias posições no espaço.

As seguir descreve-se com maiores detalhes as transformações Afim de translação, rotação e escala, bem como a combinação das três transformações em uma única operação.

2.4.1 Translação

Translações são frequentemente utilizadas quando pontos precisam ser deslocados por um valor constante em uma direção, o que é equivalente ao mudar a origem do sistema de coordenadas (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001). Na equação 2.1 cada ponto (X, Y) pode ser movido por T_x unidades em relação ao eixo X, e por T_y unidades em relação ao eixo y. É uma soma de vetores posição, em que são adicionadas quantidades nas coordenadas do ponto (ver Figura 2.9).

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X + T_x \\ Y + T_y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.4.2 Rotação

Rotações podem ser aplicadas em qualquer ponto em um plano em torno de um ponto fixo (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001). Isto corresponde a mudar a direção do vetor posição ao redor de um eixo de rotação. O eixo de rotação é um vetor perpendicular ao plano e passa pelo centro de rotação. A rotação é especificada por um ângulo θ . Valores positivos de θ geram uma rotação no sentido anti-horário. A equação 2.2 mostra como uma rotação

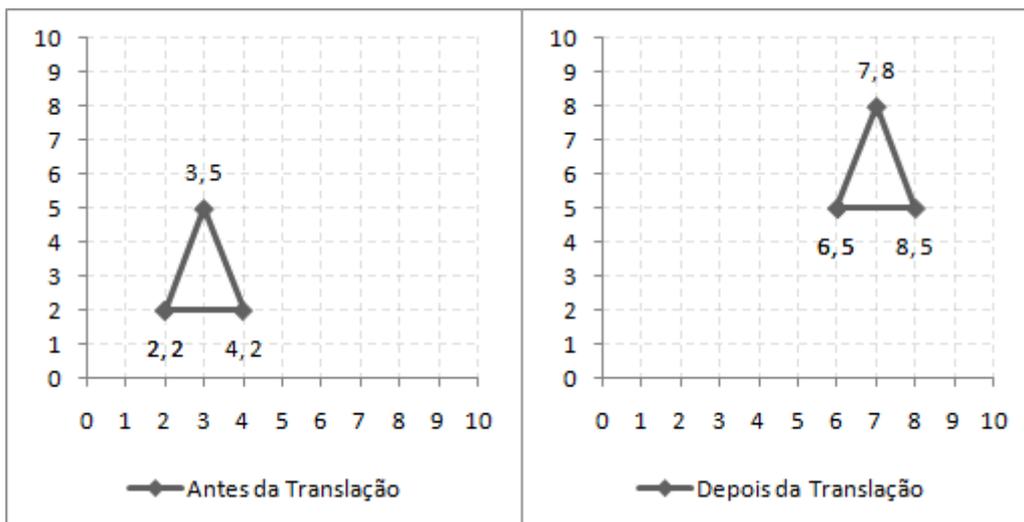


Figura 2.9: Translação de um triângulo em 4 unidades na horizontal e 3 na vertical.

2D em relação ao ponto de origem é representada usando uma multiplicação por matriz simples. Na Figura 2.10 foi aplicada uma rotação de 90° em um triângulo isósceles.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X\cos\theta - Y\sin\theta \\ X\sin\theta + Y\cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

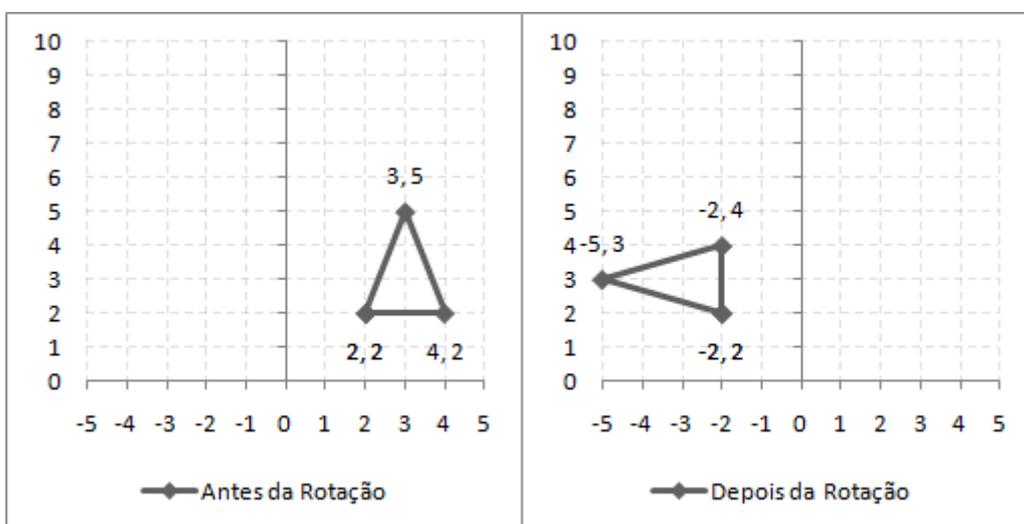


Figura 2.10: Rotação de um triângulo em 90° (anti-horário) em torno da origem.

2.4.3 Escala

Uma transformação de escala uniforme muda o tamanho dos objetos, alterando por um fator fixo todas as coordenadas em uma direção (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001). Esta transformação é obtida por uma multiplicação de matrizes simples, onde as coordenadas de um ponto são multiplicadas pelos respectivos fatores de escala, conforme a equação

2.3. Utilizando a regra usual de multiplicação de matrizes, os fatores de escala E_x e E_y , na diagonal da matriz de transformação, multiplicam as coordenadas X e Y do ponto. A Figura 2.11 mostra um triângulo isósceles onde foi aplicado fator de escala 1,5 na horizontal e 2 na vertical.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_x & 0 \\ 0 & E_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_x X \\ E_y Y \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

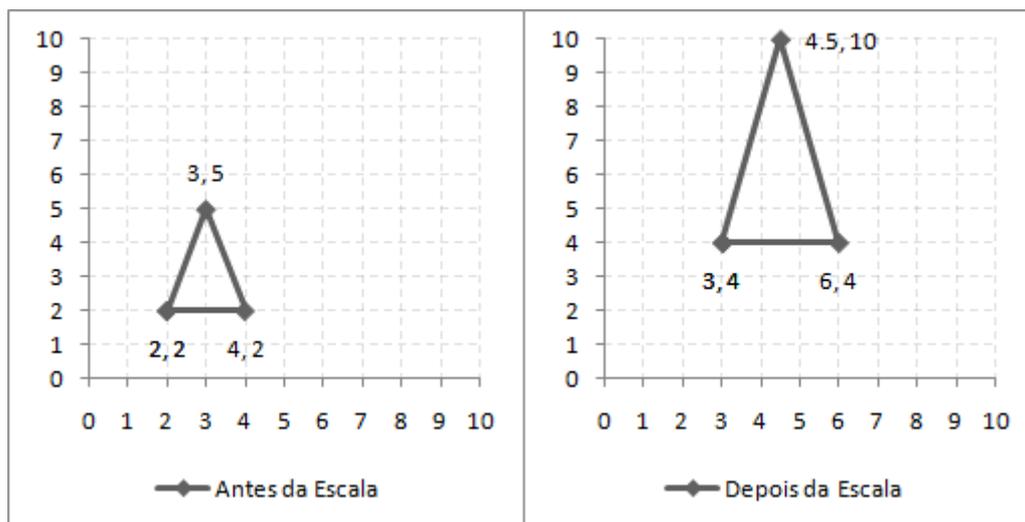


Figura 2.11: Mudança de escala em 1,5 na horizontal e 2 na vertical.

2.4.4 Translação, Rotação e Escala Combinadas

Para duas imagens serem colocadas em correspondência espacial, normalmente uma delas deverá sofrer alguma translação, rotação e possivelmente uma mudança de escala. É possível combinar todas essas transformações em uma única matriz que multiplica os vetores posição de todos os pontos que formam a imagem.

As operações Afim de rotação e de mudança de escala podem ser facilmente concatenadas numa única matriz pela multiplicação prévia das matrizes que representam essas operações separadamente. Porém, as operações de translação ainda têm de ser conduzidas em separado, uma vez que sua aplicação depende de uma soma ou uma subtração vetorial.

Com o objetivo de otimizar essas operações, e a translação também poder ser concatenada, é usado o sistema de coordenadas homogêneas (AZEVEDO; CONCI, 2003). Esse sistema de coordenadas utiliza 3 valores para representar um ponto 2D, que será descrito por (x', y', M) , em que M é uma constante. A transformação do sistema homogêneo para o cartesiano se dá pela seguinte relação: $(x, y) = (x'/M, y'/M, M)$. Dois conjuntos

de coordenadas homogêneas (x, y, M) e (x', y', M') , representam o mesmo ponto se, e somente se, um é múltiplo do outro. Dessa forma, $(1, 2, 2)$ e $(2, 4, 4)$ são o mesmo ponto com diferentes representações (AZEVEDO; CONCI, 2003).

Na equação 2.4 é realizada uma concatenação de matrizes utilizando coordenadas homogêneas. Quando $M=1$, a transformação entre os espaços é direta de modo que, $(x, y, 1)$, no sistema homogêneo, tem os mesmos valores no espaço cartesiano 2D: (x, y) . A equação 2.5 é o resultado desta concatenação, ou seja, uma equação polinomial de grau 1.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Tx \\ 0 & 1 & Ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ex & 0 & 0 \\ 0 & Ey & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} X' &= ExX\cos\theta - ExY\sin\theta + Tx \\ Y' &= EyX\sin\theta + EyY\cos\theta + Ty \end{aligned} \quad (2.5)$$

3 APRESENTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA

A equação 2.5 realiza uma transformação Afim quando são conhecidos os parâmetros E_x , E_y , θ , T_x e T_y . Entretanto, estes parâmetros não são conhecidos quando são afetados por causas aleatórias, como a falta de precisão no posicionamento da amostra e da câmera, ou alterações na ótica do sistema de aquisição. Neste caso, é preciso que sejam determinados pela comparação entre as coordenadas atribuídas aos mesmos pontos do objeto em duas imagens diferentes. Como são cinco os parâmetros a determinar e duas as coordenadas de cada ponto, é necessário fornecer a correspondência entre pelo menos três pontos nas duas imagens.

Na equação 2.5, os pares ordenados (X', Y') correspondem às coordenadas dos pontos sobre a imagem “destino”, que é tomada como referência, para as quais devem ser transformadas as coordenadas (X, Y) da imagem “origem”, que deve ser colocada em correspondência espacial com a imagem “destino”.

Para fornecer os três conjuntos de pares ordenados (X, Y) , (X', Y') necessários para determinar os parâmetros da transformação Afim foi implementada uma ferramenta através da qual o usuário seleciona estes pontos operando diretamente sobre as imagens, isto é, apontando os pontos correspondentes nas duas imagens.

Os pontos de referência escolhidos devem ter características singulares, que permitam a sua identificação em imagens diferentes. Nas amostras que motivaram a realização deste trabalho, a saber, de minério de ferro hematítico, os pontos recomendados são as “bifurcações” que ocorrem quando as fronteiras dos grãos de hematita se encontram (ver Figura 3.6).

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para a implementação da ferramenta de casamento de imagens. É apresentado o sistema de processamento e análise

de imagens utilizado, suas adaptações necessárias e os operadores utilizados no desenvolvimento do método. Também é descrita a modelagem do sistema e a interface com o usuário.

Toda a implementação desse trabalho foi desenvolvida utilizando o IDE NetBeans (IDE, do inglês *Integrated Development Environment* ou Ambiente Integrado de Desenvolvimento, é um programa de computador que fornece facilidades para programadores desenvolverem software (SUN, 2009)). Os diagramas apresentados a seguir foram gerados a partir de um *plugin* para *Unified Modeling Language* (UML) instalado no NetBeans.

3.1 Anima

O Anima é um software de processamento e análise de imagens desenvolvido pela empresa Animati Computação Aplicada em parceria com o Laboratório de Computação Aplicada (LaCA). Voltado às necessidades das aplicações da microscopia ótica e eletrônica, este software tem o objetivo de reunir métodos avançados de processamento e análise de imagens em um ambiente integrado a um banco de dados de imagens (ANIMATI, 2009).

Esse sistema possui várias ferramentas como, por exemplo, abertura e salvamento de imagens, *zoom*, seleção de áreas, obtenção de uma imagem ou grupo de imagens abertas no sistema, habilitação de componentes na interface gráfica de acordo com as imagens abertas, entre outros. Além desses componentes, o Anima permite facilmente a inserção de novos métodos de processamento e análise de imagens no formato de *plugins*, integrando os novos métodos criados pelos grupos de pesquisa do LaCA e da empresa Animati.

Na Figura 3.1, é representado o diagrama de pacotes do Anima, que mostra como o sistema está estruturado. Assim como todos os outros métodos, o casamento de imagens desenvolvido neste projeto é incluído no sistema na forma de *plugin* dentro do pacote *features*.

3.2 GUI para seleção de pontos

Para o desenvolvimento do método de casamento, foi necessário adicionar uma *Graphical User Interface* (GUI) de seleção de pontos na imagem. O Anima segue um padrão de projeto comportamental chamado *State* para a implementação desse tipo de ferramenta.

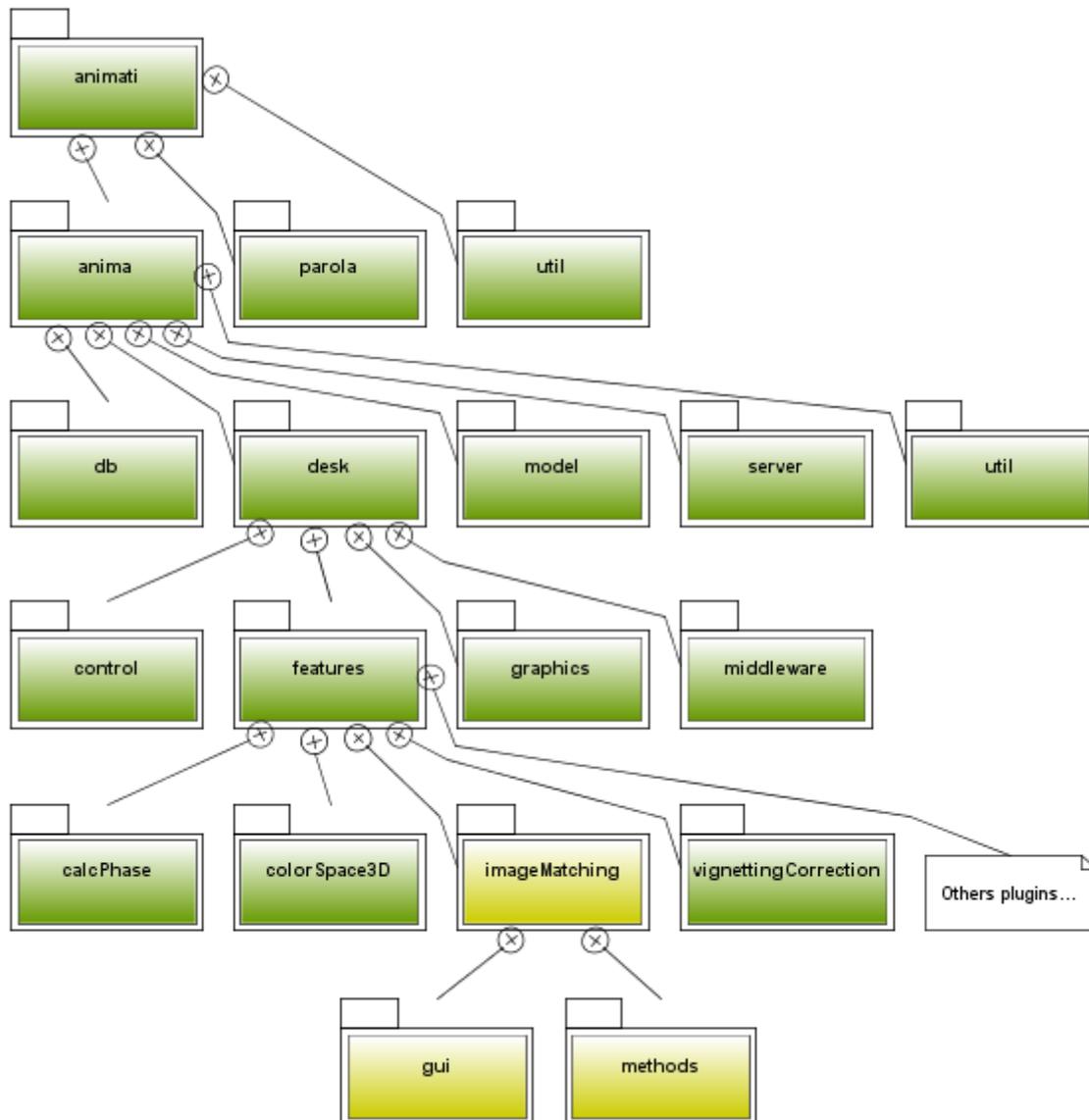


Figura 3.1: Diagrama de pacotes do Anima. Em *features* encontra-se o *plugin imageMatching* (casamento de imagens) desenvolvido neste trabalho.

O padrão *State* permite que o objeto altere seu comportamento quando seu estado interno muda. O objeto parecerá ter mudado sua classe (GAMMA et al., 2000). Conforme a Figura 3.2, o *Context* define a interface de interesse para os clientes e mantém uma instância de uma das subclasses *ConcreteState* que define o estado corrente. O *State* define uma interface encapsulamento associado com determinado estado do *Context*. As subclasses *ConcreteState* implementam o comportamento associado aos estados.

Esse padrão é utilizado no componente para visualizar imagens do Anima. Através dele pode-se definir o contexto do método de visualização para cada aplicação. A partir da classe abstrata são criadas as classes que irão implementar as ferramentas como *zoom* e seleção de área, que representam os estados para os quais a interação do mouse sobre

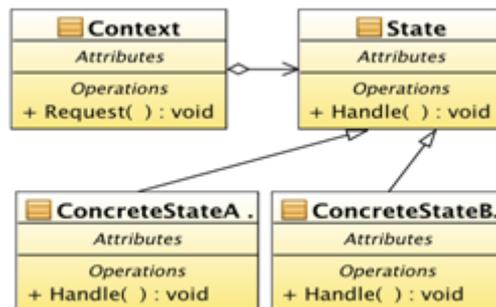


Figura 3.2: Padrão *State* utilizado no Anima para a utilização de diferentes comportamentos na manipulação de imagens.

a imagem corresponde. Quando o contexto do visualizador é marcado para seleção de pontos, que foi desenvolvido para este projeto, as ações do *mouse* sobre a imagem irão chamar os métodos implementados pela classe de seleções.

3.3 *Java Advanced Imaging (JAI)*

Java foi a linguagem de programação utilizada para implementar o método apresentado nesse trabalho. É uma linguagem orientada a objetos desenvolvida pela empresa Sun Microsystems. Um pouco diferente das linguagens convencionais, que são compiladas para código nativo, Java é compilada em “*bytecode*” que posteriormente é interpretado por uma máquina virtual, tornando as aplicações multiplataformas (SUN, 2009).

A JAI é uma *Application Programming Interface* (API) Java para trabalhar com processamento de imagens digitais. Ela permite que desenvolvedores criem suas próprias rotinas de manipulação de imagens facilmente em aplicações Java. A JAI vai além das funcionalidades tradicionais de APIs de imagem, fornecendo alto desempenho e independência de plataforma (SUN, 2009).

Essa biblioteca possui um *framework* extensível com centenas de operações, onde a grande maioria são nativamente aceleradas. Por ser extensível, o *framework* possibilita a criação de novos operadores e inclusão destes na API de modo que passem a ser nativos da biblioteca. Isso torna as chamadas a estes novos operadores exatamente iguais às chamadas aos operadores já disponibilizados com a JAI.

A JAI também apresenta um modelo simples de programação e pode ser facilmente utilizada em qualquer aplicação de processamento e análise de imagens sem a necessidade de códigos complexos ou que o programador conheça todas as suas funcionalidades previamente. Nesse trabalho são utilizados os operadores *bandselect* e *warp*, descritos a

seguir.

3.3.1 Operador *warp*

Conforme sua tradução, *warp* significa distorcer. Além das transformações Afim descritas na seção 2.4, esse operador também pode introduzir curvatura em seu processo de mapeamento. A introdução de curvatura é importante quando uma imagem está distorcida por algum efeito causado pela lente ou por outros processos não lineares (SUN, 2009).

Entre as diversas funções disponibilizadas pelo operador *warp*, utiliza-se somente a função *WarpPolynomial* de grau 1, que corresponde a uma transformação Afim, conforme descrita pela equação 2.5. Na tabela 3.1 são descritos os parâmetros dessa função.

<i>sourceCoords</i>	Vetor de ponto flutuante contendo as coordenadas originais de x e y.
<i>sourceOffset</i>	Entrada inicial de <i>sourceCoords</i> a ser utilizada.
<i>destCoords</i>	Vetor de ponto flutuante contendo as novas coordenadas de x e y.
<i>destOffset</i>	Entrada inicial de <i>destCoords</i> a ser utilizada.
<i>numCoords</i>	Número de coordenadas <i>sourceCoords</i> e <i>destCoords</i> a ser utilizada.
<i>preScaleX</i>	Fator de escala aplicado as posições x de <i>sourceCoords</i> .
<i>preScaleY</i>	Fator de escala aplicado as posições y de <i>sourceCoords</i> .
<i>postScaleX</i>	Fator de escala aplicado as posições x de <i>destCoords</i> .
<i>postScaleY</i>	Fator de escala aplicado as posições y de <i>destCoords</i> .
<i>degree</i>	Grau desejado do <i>WarpPolynomial</i> .

Tabela 3.1: Parâmetros da função *WarpPolynomial* (SUN, 2009).

A Figura 3.3 descreve a função principal do método de casamento que recebe como parâmetro o *index* (índice) da imagem a ser casada com a imagem base. Essa imagem é associada a uma variável *PlanarImage* que é um tipo abstrato de dados para representar imagens que são operadas pela biblioteca JAI. Qualquer imagem que é carregada pela JAI, independente do seu formato (JPEG, PNG, BMP, ...), responde pelo tipo *PlanarImage*, e implementa os métodos de acesso a seu modelo de cor e pixels conforme o padrão estabelecido pela biblioteca. O código dessa função pode ser encontrado no apêndice A Figura A.1.

A variável *warpPolynomial* armazena todos os parâmetros para executar uma transformação Afim. Para isso, é necessário selecionar no mínimo três pontos de cada imagem que são adicionados nos vetores *srcCoords* (coordenadas da imagem “origem”) e *dstCoords* (coordenadas da imagem “destino”) por outra etapa do programa. As constantes 0 indicam que os pontos iniciam na posição 0 dos vetores *srcCoords* e *dstCoords*, e a variável *dstCoords.length* significa que todos os pontos desses vetores serão utilizados. O

valor 1.0f é definido para todos os fatores de escala, pois todas as imagens devem possuir o mesmo tamanho. Finalmente, a constante 1 indica que os pontos são aplicados a uma equação polinomial de grau 1.

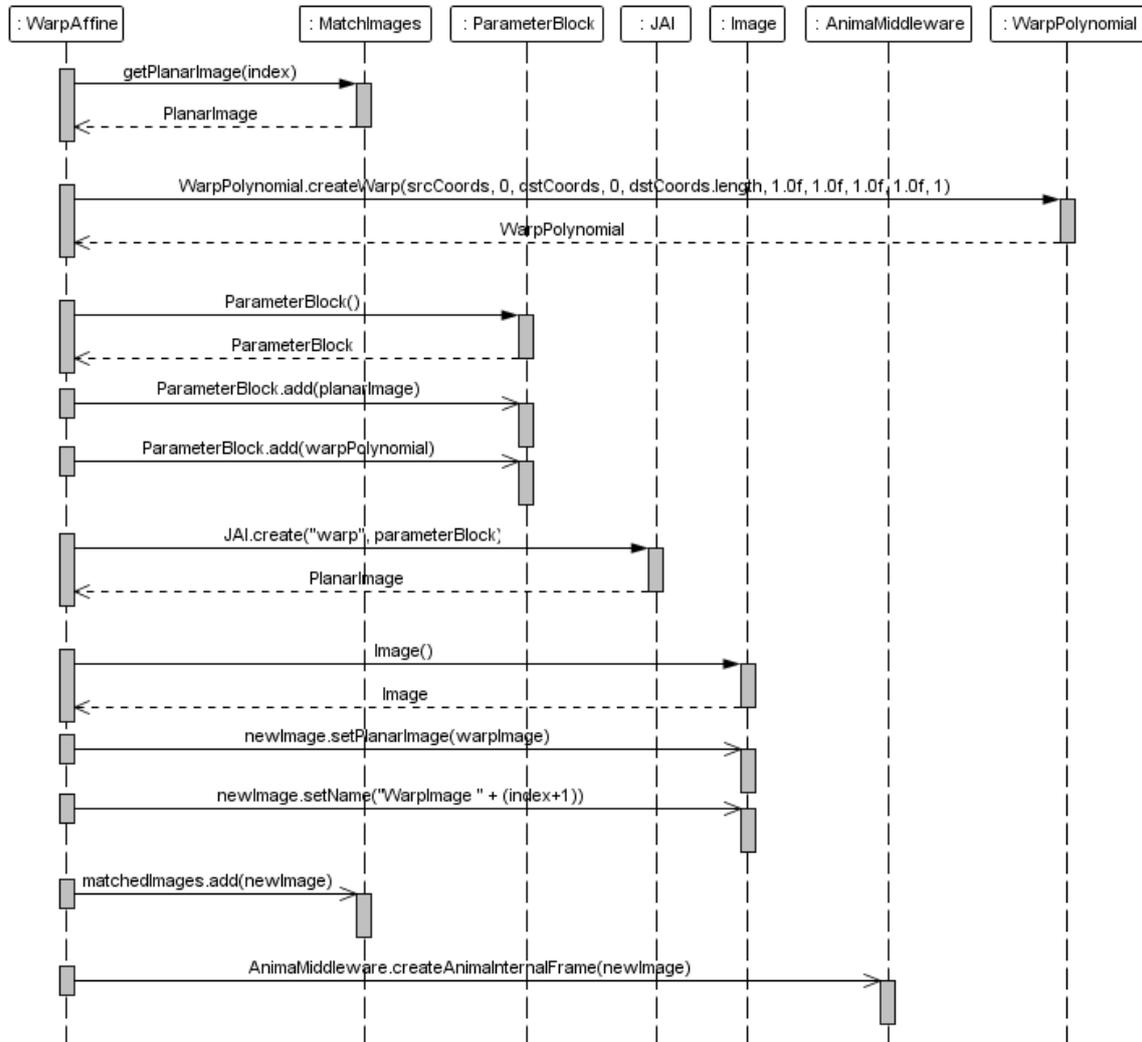


Figura 3.3: Diagrama de sequência da função principal da ferramenta implementada. Nela é chamado o operador da JAI que executa as transformações Afim a partir de uma equação polinomial de grau 1.

Seguindo o diagrama de sequência da Figura 3.3, as variáveis *planarImage* e *warpPolynomial* são adicionados a uma classe *ParameterBlock* que tem como objetivo encapsular todas as informações necessárias para executar uma operação. Assim, é gerada uma nova imagem (*warpImage*) a partir do resultado da operação de *warp*, chamada através do método *JAI.create* e os parâmetros “*warp*” e *parameterBlock*.

A classe *Image* é a classe padrão do Anima para salvar e mostrar imagens. A nova imagem gerada *warpImage* é adicionada a essa classe, bem como seu nome. Para finalizar a função *WarpAffine*, é adicionada a variável com a imagem final (*newImage*) na

lista de imagens casadas e, posteriormente, apresentada na aplicação Anima através do *AnimaMiddleware*.

3.3.2 Operador *bandselect*

Conforme a tradução, *bandselect* significa selecionar canal. Esse operador escolhe N canais de uma imagem e copia os dados dos pixels desses canais para uma nova imagem na ordem especificada (SUN, 2009).

O método implementado suporta três tipos de espaço de cores de uma imagem: RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), *Gray* (escala de cinza) e *Binary* (imagem binária). Se a imagem for do tipo RGB, então é necessário selecionar apenas um de seus canais, pois apenas um canal de cada imagem casada é utilizado para posterior análise. O canal escolhido é o *Green*, visto que no filtro de Bayer utilizado para organizar os filtros de cores RGB, o canal que possui maior número de elementos é o *Green* (50% *Green*, 25% *Red* e 25% *Blue*).

A Figura 3.4 representa o diagrama de sequência da função *selectGBand* que executa a tarefa acima descrita. O código dessa função é analisado no apêndice A Figura A.2. Durante a execução, se o espaço de cores for do tipo RGB, a imagem e o canal *Green* são os dados coletados pelo *parameterBlock* que, juntamente com o parâmetro “*bandselect*” é executado a operação de *bandselect* através da chamada do método *JAI.create*. Finalmente, a nova imagem é adicionada a classe de imagem padrão do Anima (classe *Image*), nomeada e retornada para a execução normal dos outros métodos. Caso a imagem não seja RGB, a imagem original é retornada.

3.4 Modelagem

A Figura 3.5 é um diagrama de classes UML que representa a arquitetura do método de casamento implementado (*imageMatching*). Esse método está dividido em dois pacotes: *gui* e *methods*.

O pacote *methods* possui a classe *MatchImage* que é responsável por armazenar uma imagem a ser casada e seus pontos de referência, isto é, os pontos em comum com a imagem de referência. Nas imagens usadas no desenvolvimento desta ferramenta, foram escolhidos como referência os pontos de “bifurcação” em que as bordas de dois grãos hematíticos se encontram (ver Figura 3.6). A seguir, as classes *ImageMatching* e *Select-*

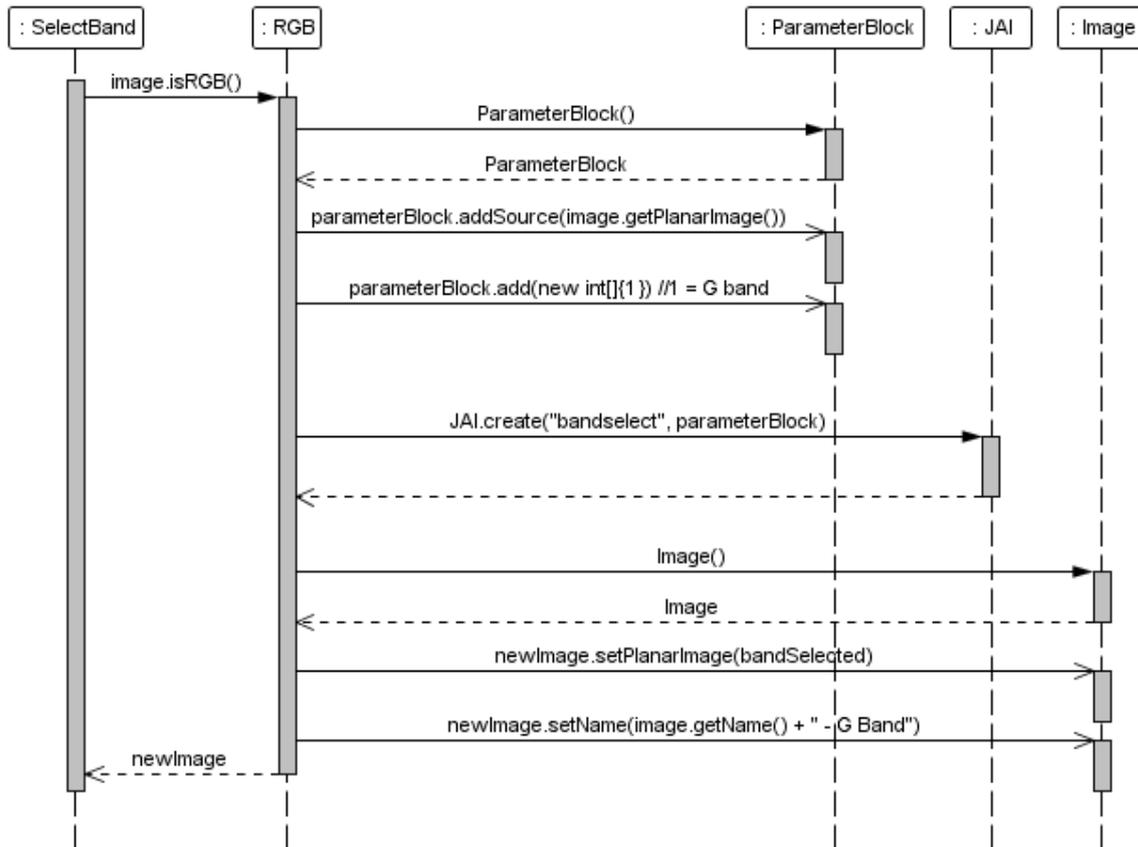


Figura 3.4: Diagrama de sequência da operação de *selectband*. Se a imagem for do tipo RGB, apenas o canal G é selecionado.

Band executam, respectivamente, os operadores *warp* e *selectband* da JAI descritos na seção 3.3.

Em *gui* encontra-se toda a implementação gráfica. A classe *Main* é a interface principal e responsável por chamar a interface *SelectPoints* que possui a ferramenta de seleção de pontos descrito na seção 3.2 e os métodos do pacote *methods*. Finalmente a classe *ImagesTableModel* é um modelo de tabela criado para representar o nome da imagem e seus pontos na interface principal.

3.5 Apresentação da interface

Toda a interface do método de casamento, assim como o Anima, utiliza o padrão *Java Swing* que é uma API do Java para desenvolver interfaces gráficas. A Figura 3.6 mostra a execução de um casamento entre duas imagens no Anima. A janela “Casamento de imagens” representa a interface principal do método e a janela “Selecionar pontos na imagem” representa a interface para seleção dos pontos de bifurcação.

Para executar uma operação de casamento, as imagens que se deseja colocar em cor-

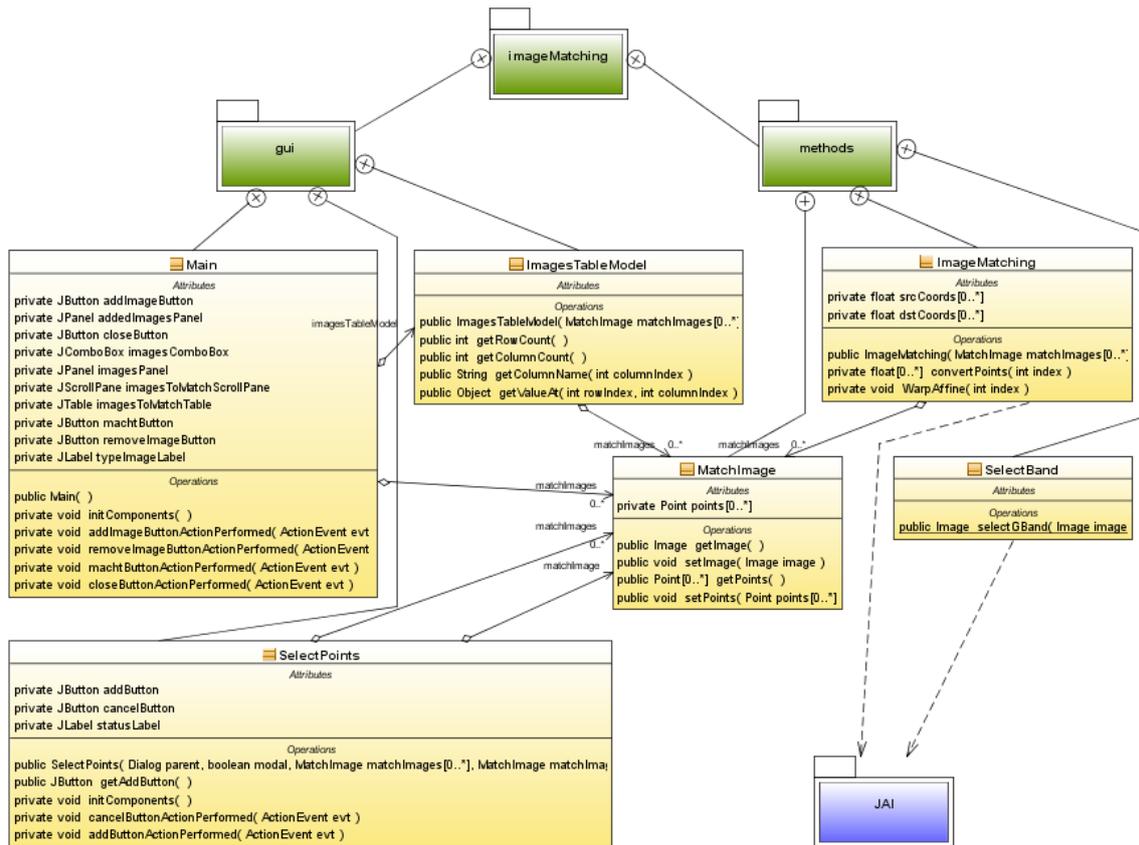


Figura 3.5: Diagrama de classes do método de casamento de imagens (*imageMatching*).

resposta devem ser abertas no Anima através do menu *Arquivo>Abrir*. Posteriormente, pode-se acessar o método através do item *Casamento de imagens* que se localiza dentro do menu *Ferramentas*.

Na interface principal deve-se selecionar os pontos correspondentes das imagens através do botão *Adicionar*. Ao pressionar esse botão, uma nova janela com a imagem selecionada será iniciada, onde a seleção dos pontos poderá ser efetuada através do clique do *mouse*. Após selecionar esses pontos, as imagens são incluídas em uma lista chamada *Imagens adicionadas*, que serão processadas ao acionar o botão *Casar*. A primeira imagem incluída nessa lista será a imagem base, ou seja, é a imagem que servirá de referência para o casamento de todas as outras.

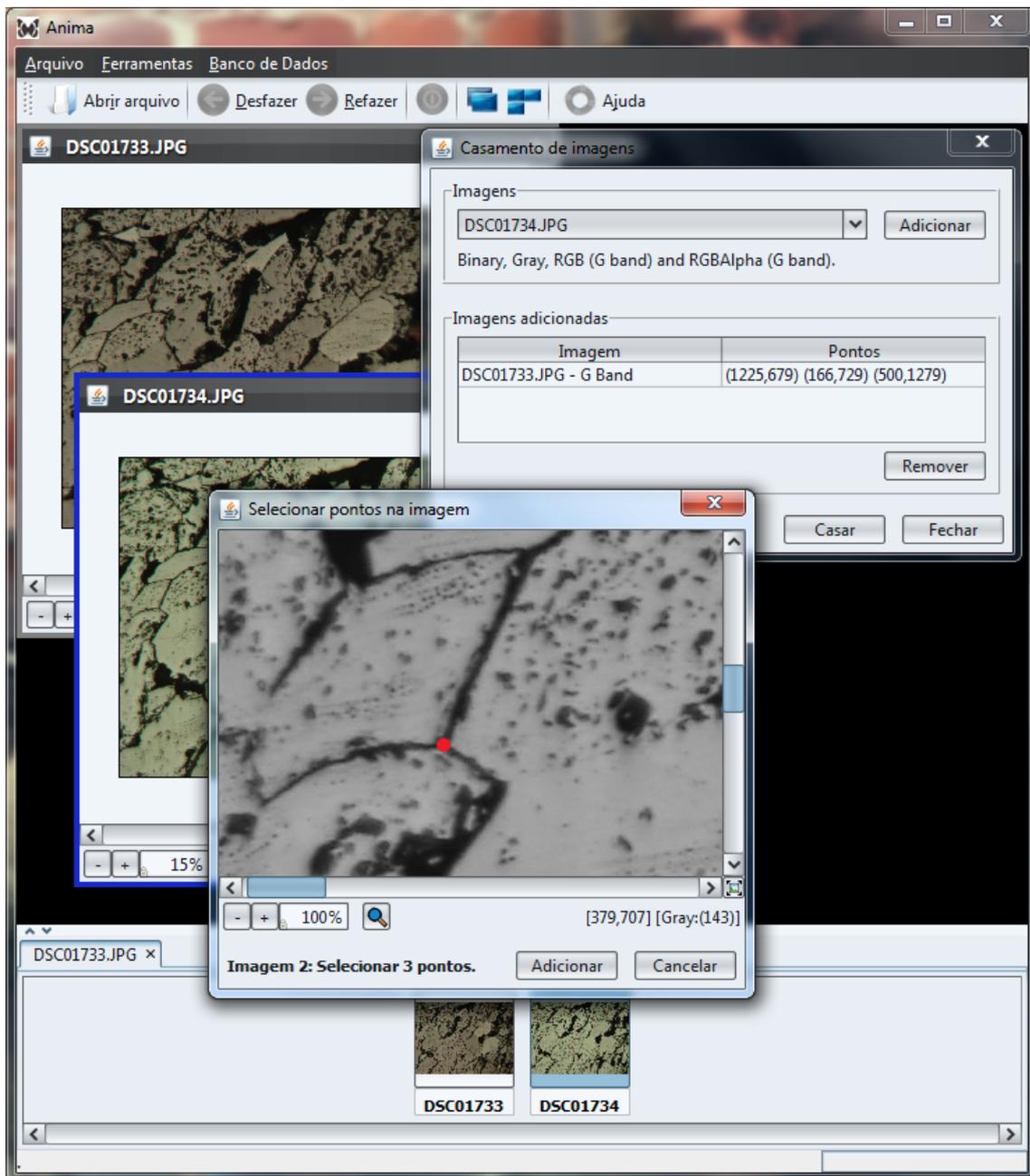


Figura 3.6: Execução de uma operação de casamento de imagens no Anima. O ponto em vermelho representa um dos pontos de bifurcação a serem selecionados na imagem.

4 RESULTADOS

O método descrito nas seções anteriores foi implementado e incluído no sistemas de processamento e análise de imagens Anima. Durante os testes, observa-se que o método de casamento das imagens apresenta resultados satisfatórios em relação a correspondência espacial entre uma imagem e outra.

Na Figura 4.1, Imagem 1 e Imagem 2 foram obtidas de uma mesma amostra com diferentes ângulos de polarização por um microscópio de luz refletida. Ao comparar a Imagem 2 (imagem “origem”) com a Imagem 1 (imagem “destino”) pode-se notar um pequeno deslocamento para o lado esquerdo e para baixo. Esse deslocamento também pode ser observado ao calcular a diferença entre a Imagem 1 e a Imagem 2. A imagem da diferença mostra uma “sombra” na direção do deslocamento relativo das imagens. Já a diferença entre a Imagem 1 e a Imagem 2 casada é praticamente nula, conforme evidenciado pela ausência de “sombas”, indicando uma correspondência espacial quase perfeita. De fato, alguma diferença é esperada, uma vez que, ao alterar o ângulo de polarização da luz incidente, mudam as intensidades refletidas por cada grão cristalino, no ângulo de polarização detectado pelo analisador.

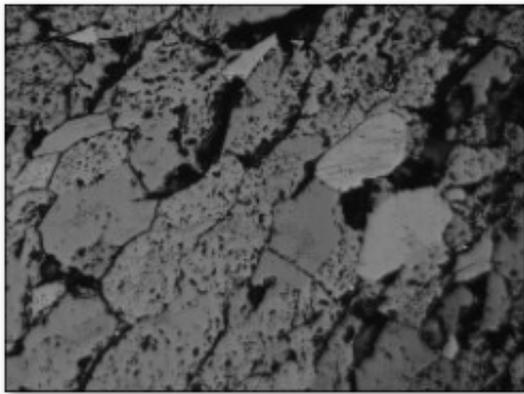


Imagem 1

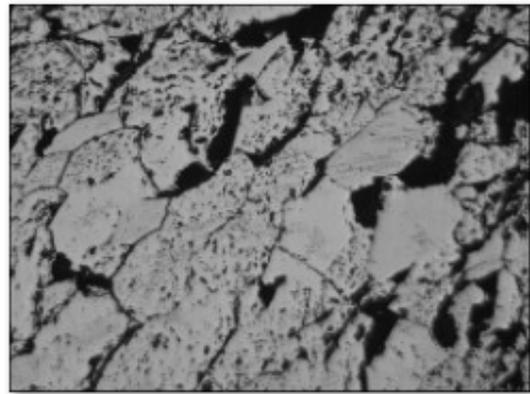


Imagem 2

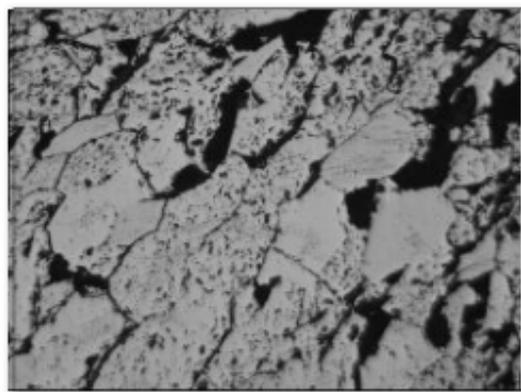
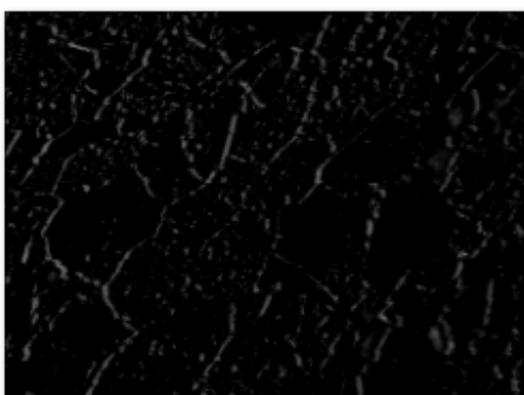


Imagem 2 casada em relação a imagem 1



Diferença entre imagem 1 e imagem 2



Diferença entre imagem 1 e imagem 2 casada

Figura 4.1: Comparação da diferença entre duas imagens antes e depois do casamento.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi implementado um método para casamento de imagens voltado às necessidades encontradas na microscopia de luz polarizada. Esse método se caracteriza como um pré-processamento destinado a preparar um conjunto de imagens para posterior processamento e análise.

Podemos classificar a ferramenta implementada como um método assistido pelo usuário, uma vez que os pontos em comum entre as imagens são selecionados manualmente. Para isso foi desenvolvida uma interface gráfica que torna mais fácil e intuitiva a definição desses parâmetros de entrada.

Uma vez que estes parâmetros tenham sido determinados, se os deslocamentos entre as imagens forem sistemáticos, isto é, se para a mesma diferença entre ângulos de polarização correspondem sempre os mesmos parâmetros para a transformação Afim, então o método pode ser usado para realizar o casamento de imagens em lote. Entretanto, na medida em que causas aleatórias interferem no deslocamento relativo das imagens, é preciso incluir técnicas para encontrar automaticamente os pontos de referência, a fim de que as imagens possam ser processadas sem a intervenção do usuário, além de aumentar a precisão do método e a prevenção de erros. Estas técnicas, que exploram características singulares de alguns pontos, como as “bifurcações”, observadas nas imagens usadas neste trabalho, serão implementadas em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ANIMATI, C. A. **Framework Anima**. Disponível em: <<http://www.animati.com.br/>>. Acesso em: novembro de 2009.

AZEVEDO, E.; CONCI, A. **Computação Gráfica: teoria e prática**. Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Elsevier, 2003.

BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. **Computer Vision**. Englewood Cliffs, NJ - USA: Prentice Hall, 1982.

BERNI, J. C. A. **Desenvolvimento e Implementação de Métodos de Correção de Iluminação para Imagens Digitais**. Santa Maria: Curso de Ciência da Computação. Universidade Federal de Santa Maria., 2008.

FRICK, M. A. D. **Caracterização de Minério de Ferro por Visão Computacional**. Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria., 2008.

GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R.; VLISSIDES, J. **Padrões de Projeto: soluções reutilizáveis de software orientado a objetos**. Porto Alegre, RS - Brasil: Bookman, 2000.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing. Third Edition**. Upper Saddle River, NJ - USA: Pearson Prentice Hall, 2008.

HOUAISS, I. A. **Dicionário Eletrônico Houaiss da Língua Portuguesa. Versão 1.05a**. Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Editora Objetiva, 2002.

NIKON, M. **Fundamental Concepts in Polarized Light Microscopy**. Disponível em: <<http://www.microscopyu.com/articles/polarized/index.html>>. Acesso em: novembro de 2009.

ROSA, M. **Segmentação de Grãos de Hematita em Amostras de Minério de Ferro por Análise de Imagens de Luz Polarizada**. Santa Maria: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria., 2008.

SHAPIRO, L. G.; STOCKMAN, G. C. **Computer Vision**. Upper Saddle River, NJ - USA: Prentice Hall, 2001.

SUN, M. **Programming in Java Advanced Imaging e Sun Developer Network (SDN)**. Disponível em: <<http://java.sun.com/>>. Acesso em: novembro de 2009.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física Volume 2: eletricidade e magnetismo, Ótica**. Rio de Janeiro, RJ - Brasil: LTC, 2006.

WENTING, S.; CHAI, C. T.; SHACKLOCK, A. Micro Image Matching With Grouped Features. **Proceedings of 2005 IEEE International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science**, Nagoya - Japan, p.297–302, 2005.

WENTING, S.; SHACKLOCK, A. Line Segments Matching Across Micro Images. **4th Asian Conference on Industrial Automation and Robotics**, Bangkok - Thailand, p.329–334, 2005.

APÊNDICE A CÓDIGO FONTE

```

private void WarpAffine(int index) {
    // pega a imagem a ser casada
    PlanarImage planarImage =
        matchImages.get(index).getImage().getPlanarImage();

    // cria uma variável warpPolynomial com todos seus parâmetros
    WarpPolynomial warpPolynomial = WarpPolynomial.createWarp(
        srcCoords, 0,
        dstCoords, 0,
        dstCoords.length,
        1.0f, 1.0f,
        1.0f, 1.0f,
        1);

    // cria uma variável parameterBlock que armazena os parâmetros
    ParameterBlock parameterBlock = new ParameterBlock();
    // adiciona a imagem a ser casada
    parameterBlock.addSource(planarImage);
    // adiciona a variável warpPolynomial
    parameterBlock.add(warpPolynomial);

    // cria uma nova imagem a com o resultado da operação warp
    PlanarImage warpImage = JAI.create("warp", parameterBlock);

    // cria uma variável de imagem padrão do Anima
    Image newImage = new Image();
    // adiciona a imagem nova criada
    newImage.setPlanarImage(warpImage);
    // adiciona um nome para a imagem
    newImage.setName("WarpImage " + (index+1));

    // adiciona a imagem na lista de imagens casadas
    matchedImages.add(newImage);
    // mostra a imagem no Anima
    AnimaMiddleware.createAnimaInternalFrame(newImage);
}

```

Figura A.1: Código da função principal da ferramenta implementada (*warp*).

```

public static Image selectGBand(Image image) {
    // se a imagem não é binária e é do tipo RGB
    if (!ImageUtil.isBinary(image.getPlanarImage().getSampleModel()) &&
        image.getPlanarImage().getColorModel().getColorSpace().getType()
        == ColorSpace.TYPE_RGB) {
        // cria uma variável parameterBlock que armazena os parâmetros
        ParameterBlock parameterBlock = new ParameterBlock();
        // adiciona a imagem para selecionar o canal
        parameterBlock.addSource(image.getPlanarImage());
        // adiciona o canal a ser selecionado: 1 = G band (canal verde)
        parameterBlock.add(new int[]{1});

        // cria uma nova imagem somente com o canal G
        PlanarImage bandSelected = JAI.create("bandselect", parameterBlock);

        // cria uma variável de imagem padrão do Anima
        Image newImage = new Image();
        // adiciona a imagem nova criada
        newImage.setPlanarImage(bandSelected);
        // adiciona um nome para a imagem (mesmo nome + " - G Band")
        newImage.setName(image.getName() + " - G Band");

        // retorna a nova imagem
        return newImage;
    }
    // se não entrar no if, retorna a mesma imagem
    return image;
}

```

Figura A.2: Código da operação de *selectband*.