



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS  
EM ESTUDOS DA CINÉTICA DE RECRISTALIZAÇÃO DE LIGAS Al-Mg-X

JULIANO DA SILVA IGNACIO

Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências na Área de Tecnologia  
Nuclear - Materiais

Orientador:  
Prof. Dr. Waldemar Alfredo Monteiro

São Paulo  
2013

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**PROCESSAMENTO E ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS  
EM ESTUDOS DA CINÉTICA DE RECRISTALIZAÇÃO DE LIGAS Al-Mg-X**

**JULIANO DA SILVA IGNACIO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais

Orientador:  
Prof. Dr. Waldemar Alfredo Monteiro

Versão Corrigida  
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo  
2013

*Aos meus pais,  
à minha esposa,  
aos meus filhos.*

## AGRADECIMENTOS

Ao IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares por me dar condições para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Waldemar A. Monteiro pela orientação precisa, pela ajuda e conselhos em diversos momentos, pelo incentivo constante, pela amizade e boas conversas;

Ao Prof. Dr. Sidnei José Buso, em especial, por ter sido a pessoa que me fez acreditar em mim mesmo, que era possível realizar o sonho de fazer um curso *strictu sensu*, um grande amigo para todas as horas;

Ao Prof. Dr. Arnaldo H. Paes de Andrade pelas opiniões e comentários, pela visão apaixonada da área, pela motivação sempre nas horas certas;

Ao Prof. Dr. Antônio C. O. Barroso pelas oportunidades criadas que me inseriram em atividades junto ao IPEN;

Ao Nildemar A. M. Ferreira por compartilhar a sua experiência no uso dos microscópios óticos e eletrônicos onde são geradas as imagens digitais, que são o insumo inicial deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Rodolfo Politano por sua sensibilidade ao assunto e pelos comentários que geraram novos questionamentos e ponderações;

Ao Prof. Dr. Fabio Romeu de Carvalho da UNIP por disponibilizar material farto sobre a Lógica Paraconsistente;

A todos os professores das disciplinas cursadas no IPEN, no IFUSP e no IME-USP que me forneceram a base necessária para pesquisar o assunto de forma consistente e objetiva;

Aos meus familiares por sempre expressarem o reconhecimento dos meus esforços;

Aos meus amigos por serem simplesmente eles;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.



*“O aspecto mais triste da vida de hoje é que a ciência ganha em conhecimento mais rapidamente que a sociedade em sabedoria”*  
(Isaac Asimov)

# PROCESSAMENTO E ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS EM ESTUDOS DA CINÉTICA DE RECRISTALIZAÇÃO DE LIGAS Al-Mg-X

Juliano da Silva Ignacio

## RESUMO

O Processamento e Análise Digital de Imagens é utilizado cada vez mais para agilizar processos, aumentar a precisão, segurança e confiabilidade de dados extraídos de imagens nas mais diversas áreas de pesquisa. No entanto, muitas vezes é necessário que o pesquisador faça, ele próprio, o pré-processamento das imagens, mesmo não sendo um especialista nesta área. Isto coloca em risco o próprio objetivo do uso do Processamento e Análise Digital de Imagens. Este trabalho analisa a relação dos dados extraídos de uma imagem (micrografia) através do software livre ImageJ com relação ao seu processamento final desejado, avaliando assim, a necessidade ou não, de uma ou mais sequencias de pré-processamento para adequar a imagem para o processamento final, indicando ainda quais fatores de influência apresentam informações irrelevantes ou incompletas para o processamento final utilizando ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada. Os resultados obtidos mostram que esta abordagem carece de informações diversificadas sobre a imagem original capturada que possam subsidiar a tomada de decisão quanto aos procedimentos necessários e, para o pré-processamento adequado ao objetivo desejado.

**Palavras-chaves:** PADI, PDI, Processamento Digital de Imagens, Análise de Imagens, LPA, Lógica Paraconsistente Anotada, MPD, Método Paraconsistente de Decisão, Recristalização, Crescimento de Grãos.

# PROCESSING AND ANALYSIS OF DIGITAL IMAGES IN STUDIES OF RECRYSTALLIZATION KINETICS OF AL-MG-X ALLOYS

Juliano da Silva Ignacio

## ABSTRACT

Processing and Analysis of Digital Images is increasingly used to streamline processes, improve accuracy, safety and reliability of data extracted from images in various research areas. However, it is often necessary for the researcher to make himself, the preprocessing of images, although not an expert in this area. This puts at risk the very purpose of using the Processing and Analysis of Digital Images. This paper analyzes the relationship of the data extracted from an image (micrograph) through the free software ImageJ, with respect to its desired final processing. Thus, evaluating the necessity or not, of one or more sequences of preprocessing to adjust the image to the final processing, further indicating which factors influence presents incomplete or irrelevant information for final processing using tools of Annotated Paraconsistent Logic. The results show that this approach lacks diversified information about the original image captured that can support decision making about procedures for appropriate preprocessing to the desired goal.

**Keywords:** PADI, PDI, Digital Image Processing, Image Analysis, LPA, Annotated Paraconsistent Logic, MPD, Paraconsistent Decision Method, Recrystallization, Grain Growth.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 INTRODUÇÃO .....	15
2 OBJETIVO .....	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
3.1 Imagens digitais .....	19
3.2 Processamento e análise digital de imagens (PADI) .....	23
3.3 Características de uma imagem .....	31
3.4 O pré-processamento de imagens .....	31
3.4.1 A escolha dos tipos de arquivos (JPEG, TIFF e PNG) .....	33
3.5 Lógica paraconsistente .....	35
3.6 Caracterização de liga metálica a base de alumínio-magnésio .....	39
3.7 A Cinética de recristalização .....	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	46
4.1 Softwares de processamento digital de imagens .....	46
4.2 Procedimento Experimental .....	47
4.2.1 Definição do fenômeno a ser pesquisado .....	48
4.2.2 Criação da imagem base e obtenção de imagens por microscopia ótica de ligas Al-Mg-X .....	49
4.2.3 Definição de software e equipamentos .....	50
4.2.4 Coleta de dados das imagens de base e da liga Al-Mg-X .....	51
4.2.5 Fatores de influência com base nos dados coletados .....	64
5 RESULTADOS .....	68
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	78
7 CONCLUSÕES .....	80
8 APÊNDICE A – Instalação do software ImageJ .....	82
8.1 Verificar se o sistema operacional é de 32 ou 64 bits .....	82
8.2 Verificar se o computador possui o compilador Java instalado .....	83
8.3 Escolher o software ImageJ adequado .....	85
9 APÊNDICE B – Imagens processadas .....	86
9.1 Processamento da primeira imagem .....	86
9.2 Processamento da segunda imagem .....	89
9.3 Processamento da terceira imagem .....	91
9.4 Processamento da quarta imagem .....	93
9.5 Processamento da quinta imagem .....	95
9.6 Processamento da sexta imagem .....	98
10 ANEXO A – Imagens cedidas para o estudo .....	100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
----------------------------------	-----

## LISTA DE TABELAS

### Página

Tabela 3.1 - Sistemas de crenças Exemplo de 2 Pontos de Vista distintos (A e B), com 4 fatores de influência cada, sobre um mesmo objetivo a ser atingido.....	36
Tabela 3.2 - Fixação das faixas dos fatores de influência Exemplo utilizando o sistema de crenças do Ponto de Vista A.....	36
Tabela 3.3 - Situação ideal constatada Exemplo utilizando o Ponto de Vista A.....	37
Tabela 3.4 - Graus de crença e descrença atribuídos Os valores devem ser atribuídos por especialistas em PADI. Neste exemplo os valores são fictícios .....	37
Tabela 3.5 - Graus de crença e descrença resultantes após a aplicação da LPA .....	38
Tabela 3.6 - Porcentagem de Elementos na Crosta Terrestre.....	40
Tabela 4.2 - Resumo.....	62
Tabela 4.1 - Resultados Dados obtidos da Figura 4.15 com valores médios calculados em seguida. ....	62
Tabela 4.3 - Fatores de Influência Exemplo com dados fictícios para compreensão da montagem da tabela. ....	67
Tabela 5.1 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.2 .....	72
Tabela 5.2 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.3 .....	73
Tabela 5.3 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.4 .....	74
Tabela 5.4 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.5 .....	75
Tabela 5.5 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.6 .....	76
Tabela 5.6 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.7 .....	77

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 3.1 – Uma imagem digital e sua representação numérica .....	20
Figura 3.2 – Uma imagem digital com 256 tons de cinza.....	21
Figura 3.3 – Cubo RGB - CMYK.....	21
Figura 3.4 – Padrões de cores RGB e CMYK.....	22
Figura 3.5 – Padrões (a) HSL, (b) HSV e (c) YCbCr.....	22
Figura 3.6 – Operações matemáticas básicas em PDI .....	23
Figura 3.7 – Relação entre Computação Gráfica, Processamento e Análise Digital de Imagem e Visão Computacional.....	24
Figura 3.8 – Sequencia padrão de PADI .....	25
Figura 3.9 – Filtros de detecção de bordas.....	29
Figura 3.10 – Histogramas: realce de contraste .....	30
Figura 3.11 – Processo de binarização. ....	32
Figura 3.12 – Replicação do processo de binarização apresentado na Figura 12. ....	33
Figura 3.13 – Perdas em imagens JPEG A edição de 2 pixels em (a) força o recálculo de compactação antes do salvamento (b), causando uma perda de veracidade dos dados originais destacadas em amarelo em (c).....	34
Figura 3.14 – Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) onde serão marcados os pontos.....	38
Figura 3.15 – Sistema Cúbico de Face Centrada. ....	41
Figura 3.16 – Estrutura Hexagonal Compacta.....	41
Figura 3.17 – Formação de contornos de alto ângulo por meio de coalescimento de grãos. (a) situação inicial, (b) coalescimento de subgrãos A com B e C com D, (c) coalescimento de B com C e, (d) formação de contornos de alto ângulo.....	42
Figura 3.18 – Diagrama esquemático dos principais processos com tratamento térmico. (a) estado Deformado, (b) Recuperado, (c) parcialmente Recristalizado, (d) completamente Recristalizado, (e) Crescimento de Grãos, (f) Crescimento de Grão Anormal .....	43
Figura 3.19 – Exemplos de micrografias. (a) Bronze trabalhado a frio (laminação, de modo que a área da seção transversal da peça foi reduzida a um terço); (b) após 3 s a 580°C, novos grãos aparecem; (c) após 4 s a 580°C, muito mais grãos novos estão presentes; (d) após 8 s a 580°C, a recristalização completa ocorreu; (e) após 1 hora a 580°C, ocorreu um crescimento de grão substancial. A força motriz para este crescimento é a redução de contornos de grão com altas energias. A redução predominante na dureza para todo este processo ocorreu pela etapa (d). Todas as	

micrografias possuem uma ampliação de 75x (Cortesia de J.E.Burke, General Electric Company, Schenectady, NY).....	43
Figura 4.1 – O software ImageJ. ....	47
Figura 4.2 – Fluxograma do procedimento experimental. ....	48
Figura 4.3 – Imagem base idealizada – Teste.tif Imagem fictícia criada com características que se aproximam de uma metalografia real. ....	50
Figura 4.4 – Ferramenta de linha aplicada à imagem Teste.tif usada neste caso para estabelecer a escala correta para os cálculos futuros ....	53
Figura 4.5 – Configuração da escala.....	53
Figura 4.6 – Recurso de duplicação de imagem.....	54
Figura 4.7 – Transformação da imagem base RGB de 32 bits para 8 bits de tons de cinza (a) conversão direta; (b) separação de cores. ....	54
Figura 4.8 – Histogramas das respectivas imagens apresentadas na figura 4.7.....	55
Figura 4.9 – Recurso de realce de contraste.....	56
Figura 4.10 – Imagens com realce de contraste (equalização) (a) aplicado a imagem de conversão direta; (b) aplicado a imagem de separação de cores. ....	56
Figura 4.11 – Detecção de bordas. ....	57
Figura 4.12 – Limiarização (threshold) .....	58
Figura 4.13 – Caixa de diálogo para analisar partículas (contagem de objetos).....	59
Figura 4.14 – Contagem de objetos - primeira execução Mostrando minúsculos pontos – pontos 5, 14, 16, 19 e 20. ....	60
Figura 4.15 – Análise de Partículas - contagem de objetos.....	61
Figura 4.16 – Recursos existentes no software ImageJ (a) e (b) Filtros de domínio espacial, (c) Brilho e Contraste, (d) Filtros no domínio da frequência.....	63
Figura 4.17 – FFT - Fast Fourier Transform (a) imagem inicial com muitas pequenas variações de tons de cinza e precipitados muito aparentes que se confundem com objetos, (b) FFT da imagem anterior, (c) editar a imagem visando padronizar os sinais, (d) imagem resultante.....	64
Figura 5.1 – Recursos de PADI aplicados à imagem base.....	68
Figura 5.2 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.1.....	69
Figura 5.3 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.2.....	69
Figura 5.4 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.3.....	70
Figura 5.5 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.4.....	70
Figura 5.6 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.5.....	71
Figura 5.7 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.6.....	71
Figura 6.1 – Recursos presentes no software ImageJ para coleta de informações das imagens (a) Menu Image, opção Show Info..., (b) Menu Analyze, opção Histogram, (c) Menu Image, opção Adjust >, opção Color Balance..., (d) Menu Image, opção Adjust >, opção Brightness/Contrast, (e) Menu	



	Image, opção Adjust >, opção Window/Level, (f) Menu Image, opção Adjust >, opção Color Threshold..., (g) Menu Image, opção Adjust >, opção Size..., (h) Menu Image, opção Adjust >, opção Threshold .....	78
Figura 8.1 –	Botão iniciar do Windows 7 .....	82
Figura 8.2 –	Informações do computador e do sistema operacional .....	83
Figura 8.3 –	Abrir o prompt de comando do Windows 7 .....	84
Figura 8.4 –	JRE instalado no computador .....	84
Figura 9.1 –	Redução de número de cores da imagem da Figura 10.1 .....	86
Figura 9.2 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.1 .....	87
Figura 9.3 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.2 .....	89
Figura 9.4 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.3 .....	92
Figura 9.5 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.4 .....	94
Figura 9.6 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.5 .....	96
Figura 9.7 –	Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.6 .....	98
Figura 10.1 –	Redução em área de 30%, tratamento térmico realizado a 423 K por 5400 s, é possível observar a formação de estruturas de grãos recristalizados, apresentando grãos com o tamanho médio de $(36\pm 2,8)\mu\text{m}$ .....	100
Figura 10.2 –	Redução em área de 30%, tratamento térmico realizado a 423 K por 7200 s, é possível observar a formação de estruturas de grãos recristalizados, apresentando grãos com o tamanho médio de $(49\pm 4,81)\mu\text{m}$ .....	101
Figura 10.3 –	Redução em área de 60%, tratamento térmico realizado a 623 K por 5400 s, é possível observar o processo de recristalização em andamento e início do processo de crescimento de grãos, apresentando grãos com o tamanho médio de $(49\pm 9,0)\mu\text{m}$ .....	101
Figura 10.4 –	Redução em área de 60%, tratamento térmico realizado a 623 K por 7200 s, apresenta uma região com grãos recristalizados, possivelmente em crescimento, entre regiões onde o processo de recristalização ainda se apresenta ativo, apresentando grãos com o tamanho médio de $(38\pm 3,0)\mu\text{m}$ .....	102
Figura 10.5 –	Redução em área de 90%, tratamento térmico realizado a 723 K por 5400 s, o processo de crescimento de grão tem continuidade, apresentando grãos com o tamanho médio de $(46\pm 3,0)\mu\text{m}$ .....	102
Figura 10.6 –	Redução em área de 90%, tratamento térmico realizado a 723 K por 7200 s, a micrografia registra grãos totalmente recristalizados e em processo de crescimento de grão, com tamanho médio de $(47\pm 4,0)\mu\text{m}$ .....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

ADI	Análise Digital de Imagens
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
CCTM	Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais
CMYK	Cyan, Magenta, Yellow, Black
GB	Gigabytes ( $10^9$ bytes)
GIS	Geographic Information System
HD	Hard Disk
HSV	Hue, Saturation, Value
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JRE	Java Runtime Environment
JVM	Java Virtual Machine
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
MET	Microscópio Eletrônico de Transmissão
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MFA	Microscópio de Força Atômica
MO	Microscópio Óptico
MPD	Método Paraconsistente de Decisão
PADI	Processamento e Análise Digital de Imagens
PDI	Processamento Digital de Imagens
PDS	Processamento Digital de Sinais
PNG	Portable Network Graphics
RGB	Red, Green, Blue
SR	Sensoriamento Remoto
TB	Terabytes ( $10^{12}$ bytes)
TIFF	Tag Image File Format

## 1 INTRODUÇÃO

De início, este estudo buscava criar um algoritmo baseado numa lógica não clássica para auxílio na tomada de decisão com relação à quanto uma amostra de liga de alumínio estaria ou não recristalizada. Estudos com diversas técnicas já haviam sido publicados utilizando algumas alternativas para este tipo de tomada de decisão [01-04], portanto, seriam coletados uma gama de dados referentes às mudanças de fases resultante de um tratamento térmico aplicado à liga e, também dados sobre a identificação das propriedades do material através da análise de micrografias e testes de dureza.

À medida que pesquisava outros estudos que pudessem fornecer uma quantidade razoável de dados, tornava-se mais claro que o tempo despendido para a coleta efetiva dos dados não agrega valor ao processo de pesquisa, ou seja, é um processo necessário mas não o objetivo do estudo. O conhecimento de estudos comparativos de métodos de coletas de dados automatizados e semiautomatizados mostraram grande viabilidade de aplicação, principalmente pela agilidade apresentada e, ainda assim, mostrando maior precisão quanto aos dados coletados [05]. Notadamente, o cálculo do tamanho médio e a contagem de grãos de uma amostra mostram-se necessários em inúmeros estudos de áreas distintas e, em muitos casos, executados ainda de forma manual ou através de serviços de terceiros que, em ambos os casos, interferem negativamente quanto ao fator tempo da própria pesquisa.

Diversos procedimentos de pesquisa em diferentes áreas do conhecimento, já demonstraram a necessidade intensa da utilização de imagens digitais geradas por microscópios ópticos ou eletrônicos de diferentes tipos, principalmente pela precisão gerada. A pesquisa de materiais utiliza-se dessas imagens, por exemplo, para a caracterização das microestruturas, ou seja, parte dos procedimentos na área de materiais faz uso do Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI), como visto por exemplo em [06], para a caracterização de liga metálica a base de Alumínio-Magnésio. A evolução crescente do poder de aumento e resolução dos microscópios, sejam eles ópticos (MO) ou eletrônicos de varredura

(MEV), de transmissão (MET) ou atômico (MFA), contribuiu diretamente na criação de melhores imagens para o estudo de novos materiais metálicos, cerâmicos, poliméricos e compósitos, acompanhando o tratamento e o comportamento (diagramas de fases, reações, microestruturas) desses materiais e de outros já existentes [07-09].

Apesar de existir a percepção de que o uso de processamento de imagens seja trivial, infelizmente não é. É preciso analisar os dados coletados e tomar decisões complexas diante das imagens a serem trabalhadas, de forma que estes possam ser evidenciados com a menor margem de erro possível. No entanto, a maioria dos pesquisadores de outras áreas que não a computacional, por motivos diversos, possuem conhecimentos limitados sobre Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI), mostrando que, aquilo que deveria ser visto como uma vantagem operacional para a realização das pesquisas (digitalização da imagem adequada, criação e edição de uma determinada imagem necessária, a extração de dados da imagem) acaba se tornando muitas vezes uma nova barreira ou desafio que deve ser superada. Além disso, mesmo em trabalhos anteriores que obtiveram ganhos de desempenho e qualidade nos dados obtidos de forma automática ou semiautomática através do processamento de imagens digitais [10], outros fatores se apresentaram como riscos críticos à veracidade e precisão dos dados obtidos, como o pré-processamento correto das imagens [11-13] e, os tipos de arquivos utilizados pelos pesquisadores [14].

Portanto, a necessidade de tomar decisões quanto ao tratamento inicial da imagem na etapa de pré-processamento se mostra de grande importância, justamente para torná-la adequada para o processamento final desejado, como por exemplo, o cálculo do tamanho médio e a contagem de grãos de uma amostra. Optou-se então por aplicar a Lógica Paraconsistente para este fim, pois, além desta lógica apresentar um grau de possibilidade (e não absoluto) para sim e não ou verdadeiro e falso, também aponta fatores de incerteza e inconsistência referente ao contexto sendo avaliado [15-17], uma informação adicional imprescindível para correção de futuras decisões.

Com isso em mente, neste estudo procurou-se evidenciar métodos auxiliares em Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) na área de ciência e tecnologia de materiais utilizando o software livre ImageJ, visando auxiliar

outros pesquisadores que não têm domínio desses recursos a terem um conhecimento básico sobre o assunto e, a utilizar minimamente tais recursos dentro da necessidade de suas pesquisas, minimizando o tempo de processamento da informação sem colocar em risco a qualidade dos dados sendo analisados. Para tanto, foram utilizados dados de trabalhos anteriores, em especial imagens da liga Alumínio-Magnésio constantes no ANEXO A.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: a introdução, como Capítulo 1 expõe o motivo de realização deste trabalho. O Capítulo 2 define o objetivo, a hipótese deste estudo. No Capítulo 3 são apresentados os conceitos imprescindíveis ao entendimento da pesquisa. O Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos utilizados na realização da pesquisa. Os resultados da pesquisa são explanados sem valor ou juízo de interpretação no Capítulo 5. No Capítulo 6 são analisados e discutidos os resultados. O Capítulo 7 apresenta a conclusão e, Apêndices e Anexos complementam as informações adicionais ao estudo.

## 2 OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo está em coletar informações (uma quantidade mínima de características morfológicas, cromáticas e estruturais) sobre as micrografias de uma liga de alumínio na etapa de pré-processamento da sequência padrão do Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) e, com base nelas, verificar a possibilidade da criação de um algoritmo que crie de forma automática, uma sequência de recursos de processamento de imagens viável para conseguir obter o tamanho médio e a contagem de grãos de uma amostra, sem que seja necessário alto conhecimento especializado para isso.

Como objetivos secundários, pode-se considerar:

- Colocar à disposição de leigos em PADI, o mínimo de informações sobre o assunto como forma de acelerar a curva de aprendizado e, minimizar os riscos da utilização destes recursos de forma inadvertida;
- Expor em detalhes a utilização de recursos de PADI utilizados na etapa de pré-processamento, de onde serão coletadas as informações das imagens;
- Verificar a possibilidade de uso de uma lógica não clássica diante de um conjunto de informações coletadas para obter um sequenciamento de recursos viável para atingir um determinado objetivo;
- Obter a quantidade mínima de características morfológicas, cromáticas e estruturais que possam auxiliar a realizar a análise de uma imagem digital.

Em suma, busca-se responder à seguinte questão, se um pesquisador não tem domínio sobre PADI, como fazer para que ele possa usar esses recursos com o menor esforço e curto espaço de tempo possível?

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 *Imagens digitais*

O uso de imagens digitais iniciou-se na década de 20 do século passado como forma de reduzir o tempo do transporte de imagens entre os jornais de Londres e Nova York. As imagens eram digitalizadas e enviadas por um cabo submarino, reduzindo o tempo de envio de mais de uma semana para menos de três horas [11]. Isso fez com que o interesse na digitalização de imagens aumentasse e chegasse ao ponto em que estamos hoje. A este processo de transformar uma imagem real capturada por equipamentos específicos em uma imagem digital deu-se o nome de Processamento Digital de Imagens (PDI).

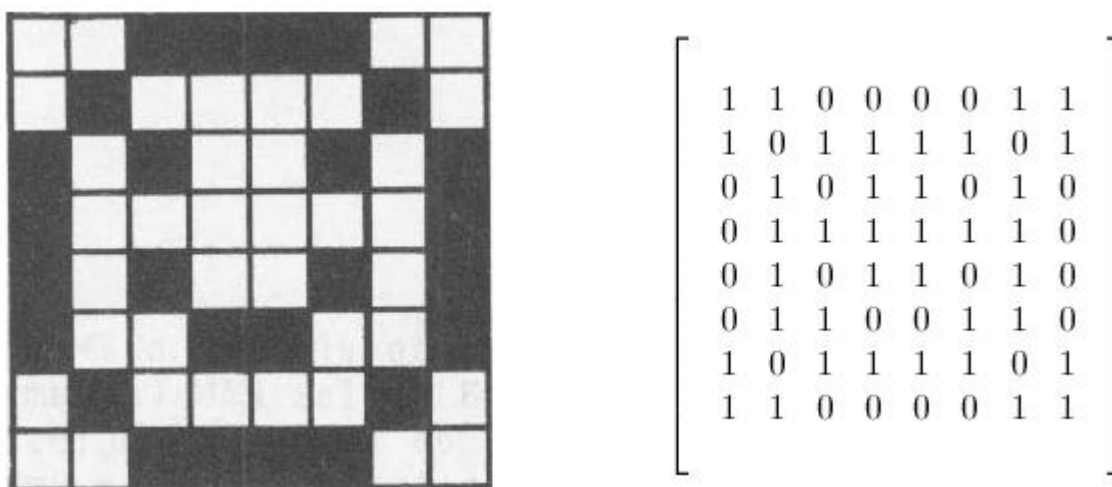
Existem dois tipos de imagens digitais: vetorial e bitmap. A imagem vetorial é definida por meio de vetores matemáticos e permite o redimensionamento da imagem em qualquer escala sem perda de qualidade. Entretanto, quando é necessário que este tipo de imagem seja impressa, por exemplo, ela é convertida no segundo tipo de imagem, o bitmap, que é adequado às características do equipamento. O processo de conversão de vetorial para bitmap é chamado de rasterização. A imagem bitmap é aquela mapeada por bits, ou seja, a imagem está organizada em uma série de linhas e colunas (matriz) formadas por pixels (*picture element*) e, cada pixel possui apenas uma cor (onde cada cor é referenciada por intervalos numérico de 2, 4, 8, 16, 24 ou 32 bits, que determinam a quantidade de cores disponíveis), não possuindo uma dimensão fixa, ou seja, o tamanho será atribuído ao pixel no momento da sua exibição em vídeo ou impressora.

Desta forma, o tipo bitmap é o tipo final de toda imagem apresentada e, sendo assim, é necessário o entendimento de resolução e profundidade digital.

Resolução é a capacidade que um sistema de captura e/ou reprodução de imagens tem para reproduzir detalhes. A resolução é apresentada em pontos por polegada quadrada (dpi – *dots per inch*), quanto maior for a resolução, maiores serão os detalhes reproduzidos durante a captura da imagem. É importante

ressaltar que a resolução do equipamento deve ser maior que a resolução do arquivo bitmap desejado.

Uma imagem digital é definida como um arquivo de dados que armazena uma matriz de valores bidimensional onde o primeiro valor está relacionado ao pixel (um ponto específico da imagem) e, o segundo valor, ao dado representativo deste pixel. Na Figura 3.1 é apresentada uma imagem monocromática de 8 por 8 pontos e sua representação numérica numa matriz 8x8.



**Figura 3.1 - Uma imagem digital e sua representação numérica**

Em uma imagem monocromática existe somente uma cor. Entretanto, sua representação matemática requer dois valores ( $2^1=2$ ). A cor branca é representada na matriz pelo valor 1 (um). Se um ponto (pixel) não possui cor definida, então significa a ausência de cor e é representada pelo valor 0 (zero).

Profundidade é o número máximo de níveis de intensidade que uma imagem pode apresentar. Uma imagem de escala de tons de cinza de 8 bits, por exemplo, significa que cada pixel poderá ter seu valor entre 0 e 255, ou seja, uma profundidade com intervalo de 256 valores diferentes ( $2^8 = 256$ , Figura 3.2). Caso seja de 16 bits, o intervalo passa a ser de 65536 valores diferentes ( $2^{16} = 65536$ ), 24 bits com 16777216 valores diferentes e assim por diante. Uma imagem digital pode ser entendida como uma função  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  são as coordenadas espaciais e a função  $f$  é o nível de cinza (ou de brilho) naquele ponto. Quando  $x$ ,  $y$  e  $f$  estão numa escala finita e discreta, dizemos que temos uma imagem digital.



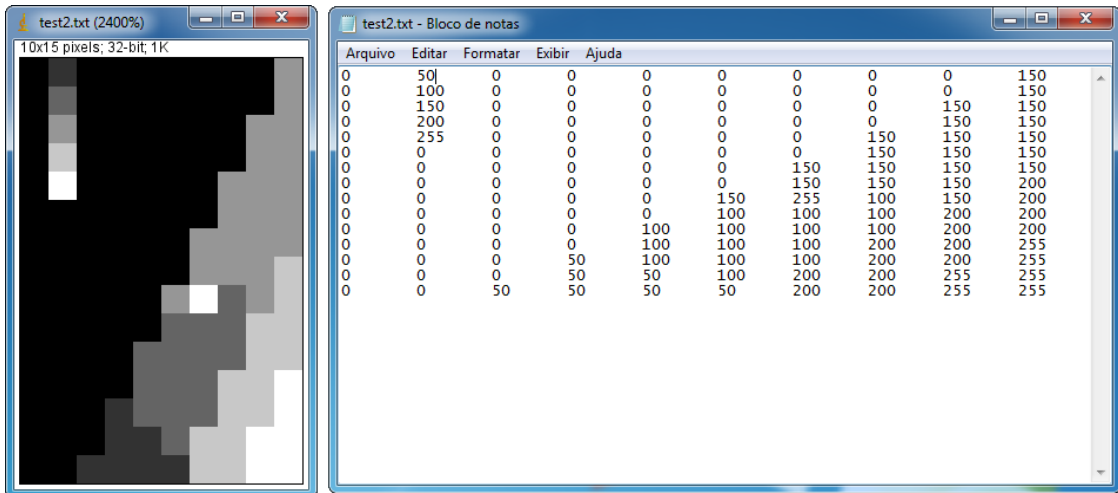


Figura 3.2 - Uma imagem digital com 256 tons de cinza

Se uma imagem é colorida, o valor de cada pixel de uma matriz bidimensional será, na verdade, substituído por um vetor com 3 valores (Figura 3.3) representando as intensidades das cores primárias conhecido como padrão RGB (*Red, Green, Blue* / Vermelho, Verde e Azul). Os aparelhos emissores de luz como televisão, monitores e projetores, por exemplo, utilizam este padrão. Já os aparelhos que não emitem luz, como as impressoras por exemplo, necessitam utilizar o padrão CMYK (*Cyan, Magenta, Yellow, Black* / Ciano, Magenta, Amarelo, Preto) o qual é complementar ao modelo RGB, subtraindo determinados valores de cada componente de cor da luz incidente (Figuras 3.3 e 3.4).

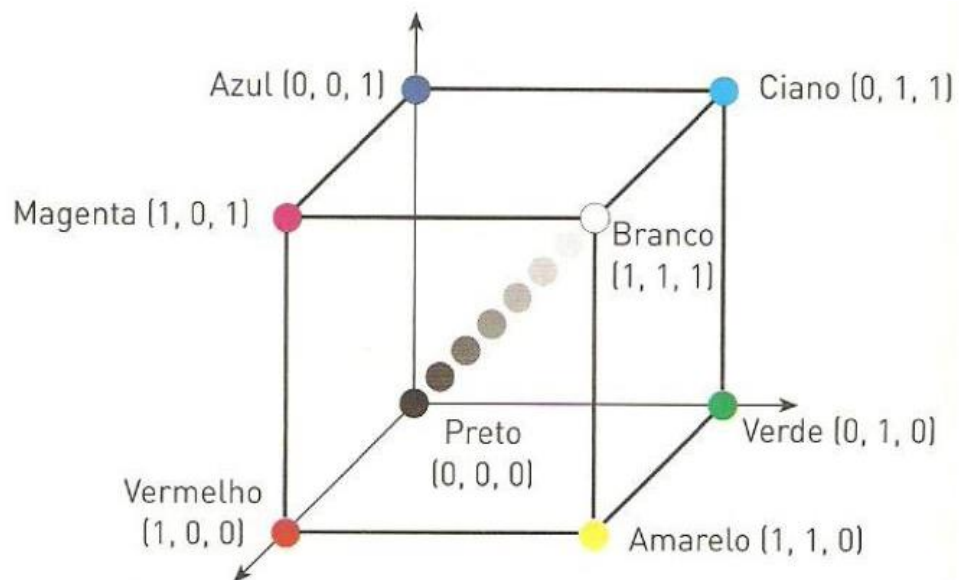
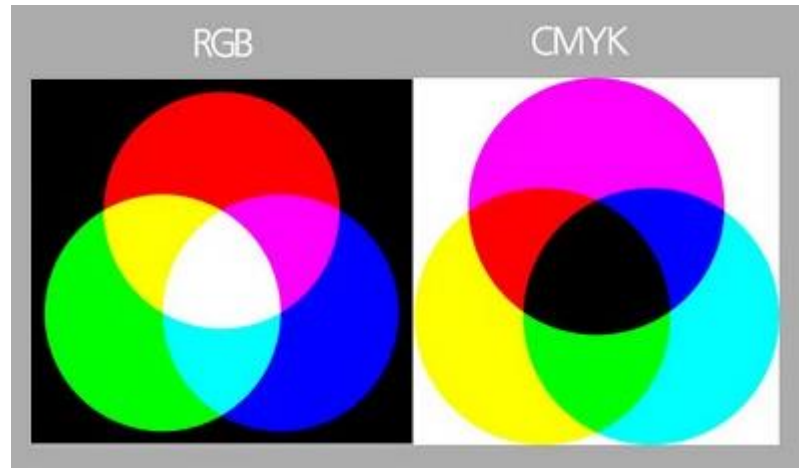
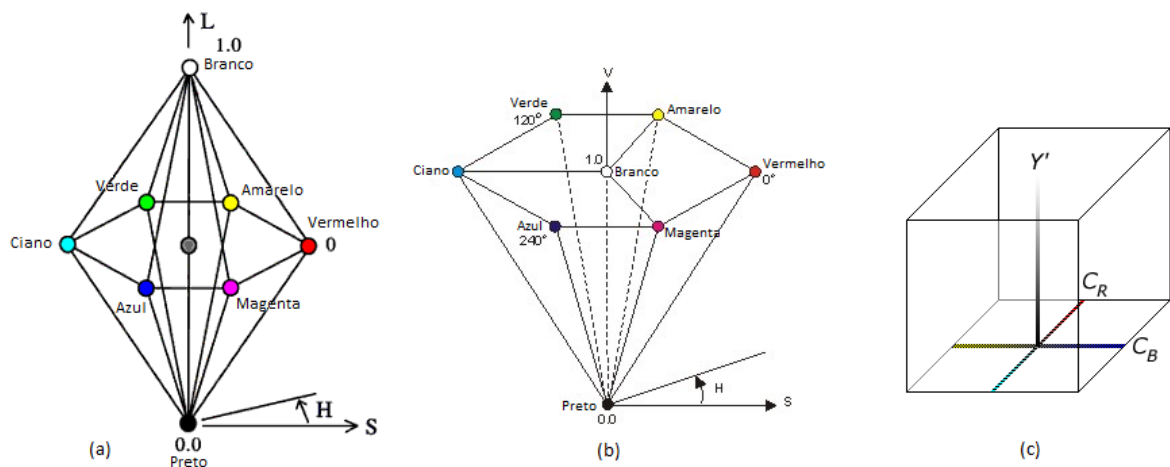


Figura 3.3 - Cubo RGB - CMYK



**Figura 3.4 - Padrões de cores RGB e CMYK**

Os avanços na área de captura, edição e armazenamento de imagens criaram novos padrões de espaços de cores, como por exemplo, HSL (*Hue, Saturation, Luminance* / Tonalidade, Saturação, Luminância), HSV (*Hue, Saturation, Value* / Matiz, Saturação, Valor) e YCbCr, mostrados na Figura 3.5, entre outros.



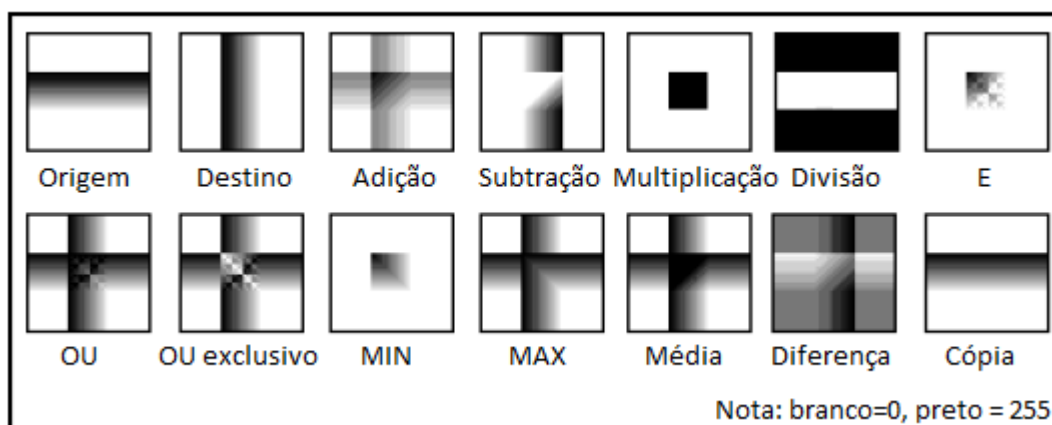
**Figura 3.5 – Padrões (a) HSL, (b) HSV e (c) YCbCr**

A evolução de equipamentos e softwares na área de captura e tratamento de imagens fez com que diversos tipos de arquivos fossem criados para suportarem cada vez mais as exigências do cotidiano. Atualmente é comum as pessoas tirarem fotografias ou filmarem com equipamentos de telefonia móvel que possuam dispositivos de imagem ou com uma câmera fotográfica digital. Em relação a estes avanços da modernidade, e por consequência desta necessidade, houve um sobressalto nos últimos anos com relação aos tipos de arquivos de imagens, para garantir maior velocidade de captura, com mais fidelidade de

detalhes, com o menor espaço de armazenamento possível. Foi neste cenário que surgiu o tipo ou formato de arquivo bitmap que ainda é o dos mais utilizados nos dias de hoje, o JPEG [12].

### 3.2 *Processamento e análise digital de imagens (PADI)*

Além da captura da imagem, o PDI utilizava a representação numérica da imagem para aplicar operações matemáticas aos valores dos seus pixels a fim de melhorar sua visualização (Figura 3.6) [13,18].



**Figura 3.6 - Operações matemáticas básicas em PDI**

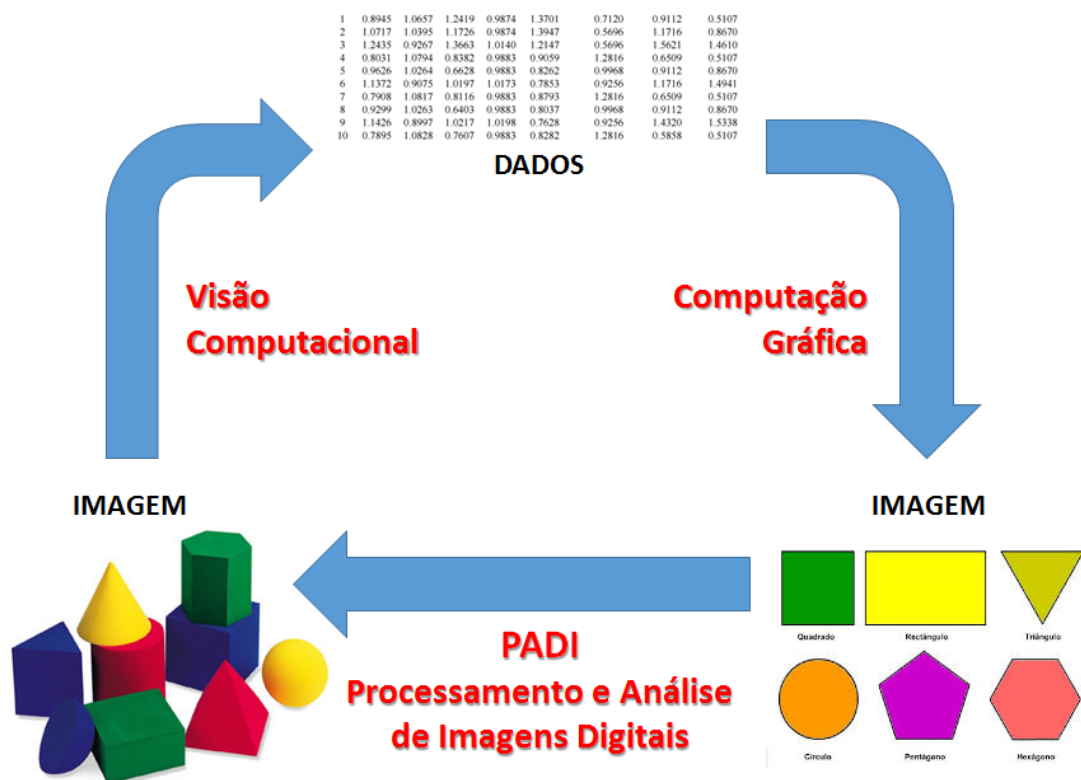
Em 1964, durante os estágios iniciais da exploração espacial, surgiu a análise automática de imagens digitais, com métodos que melhoravam a informação visual para a interpretação e análise humana, de forma ágil e grande precisão, surge então a Análise Digital de Imagens (ADI). Em seguida, diversas outras áreas como medicina, geografia, arqueologia, física, biologia, entre outras, passaram a utilizar de forma progressiva PDI e ADI. Hoje estes processos caminham juntos, sendo identificados como Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) [11, 13].

Com relação aos microscópios eletrônicos em especial, o PADI se tornou essencial justamente porque estes equipamentos capturam informações de amostras sendo analisadas e, transformam estas informações em um arquivo de imagem digital através de tecnologias próprias [14].

Atualmente define-se o PADI como a aplicação de algoritmos matemáticos às representações matemáticas das imagens, portanto, o PADI é uma parte específica do Processamento Digital de Sinais (PDS), que lida com a

representação, transformação e manipulação dos sinais e da informação que eles contêm.

Para um melhor entendimento do Estado-da-Arte da manipulação computacional de imagens, deve-se compreender que há três formas distintas, porém, inter-relacionadas, de trabalhar tais recursos digitais (Figura 3.7) [19]. Observadas as necessidades, os softwares podem até mesmo trabalhar das três formas conjuntamente, no entanto, geralmente somente uma delas é o foco principal de aplicação.



**Figura 3.7 - Relação entre Computação Gráfica, Processamento e Análise Digital de Imagem e Visão Computacional**

Uma primeira forma de manipulação computacional de imagens é através da Computação Gráfica, onde o processamento é feito a partir da descrição (dados de entrada) de um cenário, gerando uma imagem digital. Dentro deste cenário, há uma gama de softwares para modelagem auxiliada por computador (*Computer Aided Design - CAD*) como exemplos: Autocad, Catia, Solidworks e Rhinoceros. Encontram-se também para sistemas de informações geográficas ou georreferenciais (*Geographic Information System – GIS*) como exemplos: Terraview do INPE, MapInfo e ArcGIS, entre outros.

Como uma segunda forma de manipulação computacional de imagens, e contrário da primeira, considera-se a Visão Computacional. Neste caso, o processamento a partir de uma imagem digitalizada gera a descrição (dados de saída) de um cenário. Para estes há uma outra gama de softwares, tais como: para Sensoriamento Remoto (SR) como o SPRING do INPE, Optiks e Envi, para Reconhecimento Facial, para Reconhecimento de Placas de Automóveis, entre outros. [19-20].

A terceira forma de manipulação computacional de imagens é a de interesse desta pesquisa, o Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI), onde tanto a entrada como a saída de dados são imagens digitais. O PADI é cada vez mais utilizado em diversas áreas, aliando características essenciais como agilidade, objetividade e precisão, seja para aplicar filtros de um pré-processamento necessário, seja para aplicar processamentos de coleta, análise ou armazenamento de dados para criação de novas imagens.

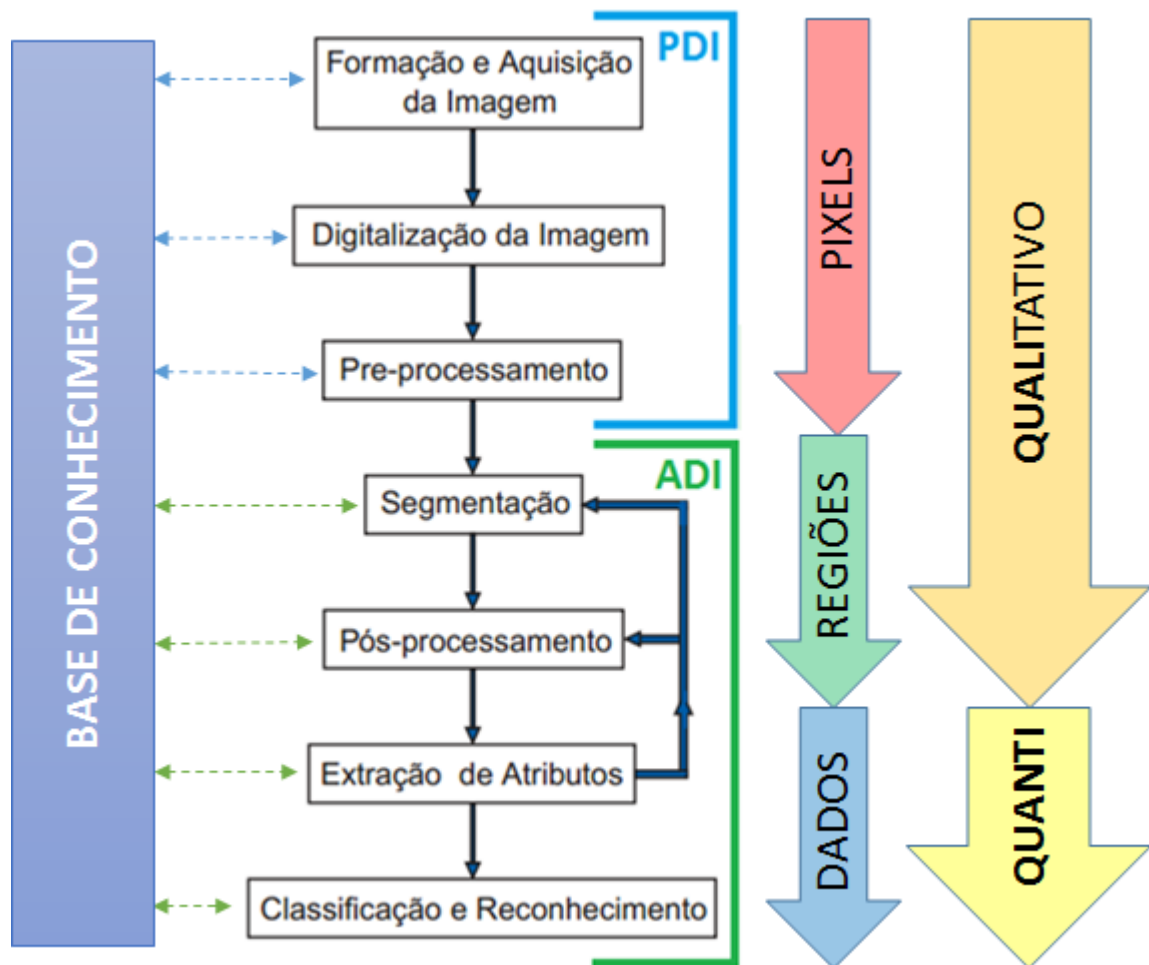


Figura 3.8 - Sequencia padrão de PADI

A Figura 3.8 apresenta a sequência padrão de PADI. Nota-se nesta figura a junção do PDI e da ADI como componentes do PADI. Além disso, todas as etapas devem possuir acesso a uma base de conhecimento única com dados que possam auxiliar toda e qualquer etapa. Porém, cada etapa apresentada tem sua razão de ser [11-12]:

- **Formação da Imagem** – etapa inicial que está relacionada à capacidade e qualidade do equipamento que captura a imagem (lentes e sensores de frequências, por exemplo);
- **Digitalização da Imagem** – etapa em que transforma efetivamente a imagem em sua representação numérica inicial (e original). A partir desta etapa é possível realizar operações em cada pixel da imagem;
- **Pré-Processamento** - nesta etapa a preocupação está em adequar a qualidade dos pixels da imagem para que se possa cumprir com um determinado objetivo;
- **Segmentação** – etapa que se refere ao processo em que a imagem digital é separada, dividida, em uma ou mais partes (segmentos) que a constituem e que se diferenciam entre si de forma automática, através da similaridade e diferença dos pixels. É nesta etapa que são escolhidas uma ou mais regiões de interesse para estudo. Esta etapa é considerada a mais crítica do PADI, pois quaisquer erros ou distorções presentes nesta etapa poderão até mesmo invalidar os resultados do processo;
- **Pós-Processamento** – etapa em que as características definidas na etapa anterior podem ser aumentadas, realçadas, suavizadas e corrigidas de distorções. Aqui toma-se o cuidado de não produzir artefatos que possam interferir com a análise da imagem;
- **Extração de Atributos** – etapa em que se transforma as características da imagem em dados quantitativos a serem utilizados na pesquisa sendo realizada. Caso os dados extraídos não sejam ainda satisfatórios, mas estão coerentes com o objetivo do estudo, estes dados poderão realimentar de maneira independente as duas etapas anteriores;

- **Reconhecimento de Padrões e Classificação** – tem como objetivo realizar de forma automática a identificação e a classificação dos segmentos já destacados na imagem.

Analogamente a processos já existentes de classificação de imagens de satélite utilizando Redes Neurais Artificiais [20], as imagens digitais criadas pela microscopia eletrônica também são imagens passíveis de serem classificadas, por exemplo, por defeitos em relação a microestrutura de materiais (discordâncias, *voids*, etc.) ou qualquer outro fator relevante que seja de interesse para a sua caracterização.

Apesar de uma vasta gama de procedimentos e recursos existentes, destaca-se um breve resumo sobre PADI:

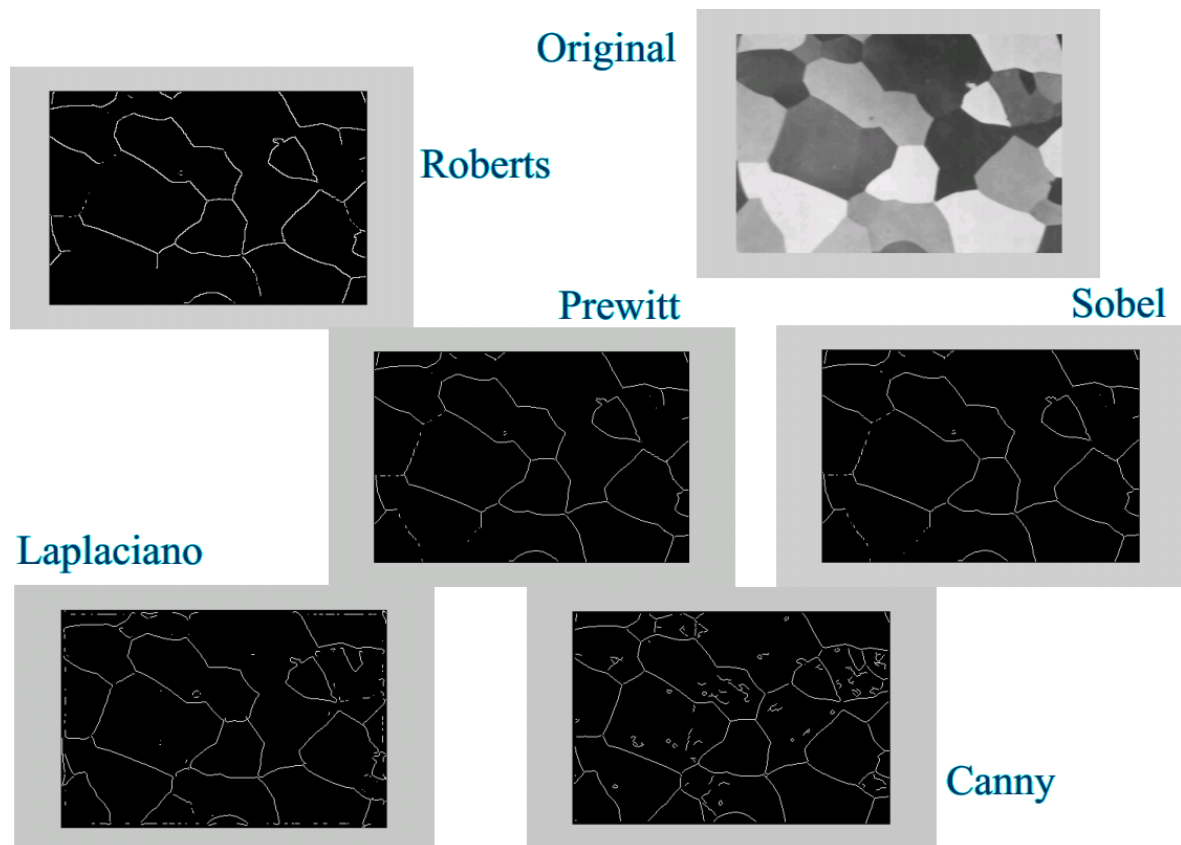
- **Operações aritméticas** – o principal uso da adição é criar a média para redução de ruído na imagem; a subtração é usada para remover informação estática de fundo e, para detectar diferenças entre imagens; a multiplicação faz a calibração do brilho da imagem e; a divisão, a normalização do brilho;
- **Operadores Lógicos** – são aplicados somente em imagens binárias, com uso no mascaramento, detecção de características e, análise de forma;
- **Filtragem** – consiste na aplicação de técnicas de transformações (operadores - máscaras) com o objetivo de corrigir, suavizar ou realçar determinadas características de uma imagem dentro de uma aplicação específica; como correção de uma imagem entende-se que será feita a remoção de características indesejáveis; quanto a suavização e realce, entende-se que haverá uma acentuação de uma ou mais características;
- **Domínios da filtragem** – a filtragem espacial opera diretamente sobre os pixels da imagem na sua forma original; a filtragem de frequência opera sobre a Transformada de Fourier da imagem original;
- **Tipos de filtros** – filtros lineares suavizam, realçam detalhes e minimizam efeitos de ruídos sem alterar o nível médio de cinza da

imagem; filtros não-lineares aplicam transformações sem o compromisso de manterem o nível médio de cinza da imagem original;

- **Filtros lineares no domínio de espaço** – convolução (filtros espaciais), executa a aplicação sucessiva da máscara;
- **Filtros lineares no domínio da frequência** – espectro de Fourier, filtro de Butterworth; uma imagem no domínio da frequência é caracterizada pela variação de tons entre pixels vizinhos, quanto maior for a variação de intensidade, maior é a frequência da imagem;
- **Filtros não-lineares no domínio do espaço** – o filtro de mediana suaviza a imagem sem diminuir a sua resolução, os filtros de ordem capturam o valor da “moda” da vizinhança de um pixel e elimina ruídos pontuais na imagem sem alterar muito as informações originais;
- **Filtros não-lineares no domínio da frequência** – filtro homomórfico, opera sobre as componentes de iluminação e refletância da imagem separadamente;
- **Filtros passa-baixas** – diminui ou elimina altas frequências (alta variação de intensidade entre os pixels); promove o *smoothing* (suavização) que minimiza o efeito de ruído; diminui a resolução da imagem (nitidez e definição);
- **Filtros passa-altas** – diminui ou elimina baixas frequências (baixa variação de intensidade entre os pixels); promove o *sharpening* (realce) dos detalhes da imagem, tornando mais nítidas as transições entre regiões diferentes; aumenta o ruído presente na imagem;
- **Filtros detectores de bordas** – a maioria dos operadores de detecção de bordas se baseia numa filtragem passa-altas seguida de um processo de limiarização; os operadores mais conhecidos são Roberts, Sobel, Prewitt, Laplaciano e Canny; a detecção de bordas não resulta em bordas conectadas, a ligação das bordas e detecção das fronteiras devem ser aplicadas em seguida (Figura 3.9);



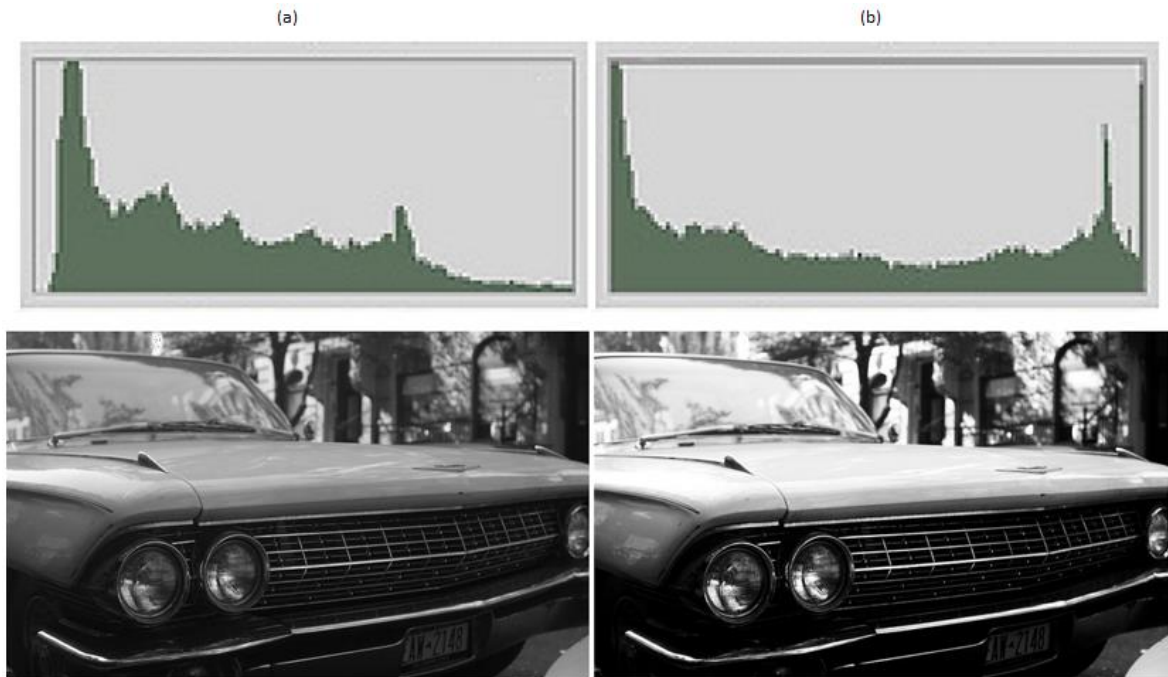
- **Transformações geométricas** – redefinem a relação espacial dos pontos de uma imagem; elimina distorções sistemáticas desde que se tenha conhecimento efetivo das distorções existentes, para escolha adequada do modelo matemático a ser aplicado; podem ser transformações de translação, rotação ou escala; as transformações de escala efetuam o *resampling* (reamostragem) através de interpolações; a interpolação pelo vizinho mais próximo não altera os valores de cinza originais da imagem; a interpolação bilinear altera os valores de cinza originais e; a interpolação bicúbica perde os dados originais da imagem;



**Figura 3.9 - Filtros de detecção de bordas**

- **Transformações radiométricas** – técnicas que modificam a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem preservando os contornos; as operações mais comuns são o realce de contraste (que enfatiza alguma característica de interesse na imagem, mas sem compromisso com a imagem original) e, a restauração (que corrige alguma distorção sofrida pela imagem, tendo compromisso

com a imagem original); o realce de contraste tem como objetivo o pré-processamento da imagem para segmentação; as operações realizadas através dos histogramas (Figura 3.10) são binarização, transformação, expansão, compressão e equalização;



**Figura 3.10 - Histogramas: realce de contraste**

- **Transformações morfológicas** – são transformações que resultam na alteração da forma da imagem original; as operações mais comuns são a dilatação e a erosão que, combinadas, resultam em abertura (erosão seguida de dilatação) e fechamento (dilatação seguida de erosão); os operadores mais comuns são *skeletonization* (esqueletização), *thickening* (espessamento), *thinning* (afinamento), *pruning* (poda) e *shrinking* (compressão da imagem);
- **Segmentação** – detecção de regiões através de discontinuidades (mudanças bruscas nos níveis de cinza) e similaridades (semelhança nos níveis de cinza); as discontinuidades podem ser detectadas por pontos isolados (filtro passa-altas com limiar de aceitação), por linhas (filtros passa-altas direcionais) ou, por bordas na região; as similaridades podem ser detectadas por limiarização global (em ambientes com iluminação controlada) ou dinâmica, por crescimento de regiões (agregação de pixels com base em valores

usados como “sementes”) ou, por divisão e fusão de regiões (processo que termina somente quando nenhuma divisão ou fusão for mais possível);

Muitos autores [10, 12, 18, 20] afirmam que a utilização dos recursos de PADI é um processo empírico e adaptativo, pois depende de cada tipo de imagem, quais características da imagem estão disponíveis e, principalmente, qual objetivo se deseja alcançar. Apesar da existência de diversos procedimentos documentados em trabalhos já publicados, a afirmação feita no início deste parágrafo mostra uma lacuna no PADI de grande interesse, a possibilidade de automatizar de alguma forma a escolha e utilização dos recursos de PADI para um determinado objetivo.

### **3.3 Características de uma imagem**

As características a serem extraídas de uma imagem digital estão agrupadas em quatro grandes categorias [05]:

- **Morfológicas:** São as características obtidas através do perímetro de uma área da imagem, baseadas na medição da forma dos objetos que constituem uma imagem binária, ou seja, não considera a intensidade dos pixels.
- **Cromáticas:** São as características obtidas através das bandas da imagem, baseadas na quantificação da intensidade dos pixels, ou seja, os valores que descrevem a cor ou tons de cinza.
- **Texturais:** São as características obtidas através do processamento complexo e intenso da imagem, baseadas na variabilidade local das intensidades dos pixels, como forma de medir a textura.
- **Estruturais (ou Contextuais):** São as características obtidas da relação entre dois ou mais objetos que constituem a imagem, baseadas em informações já coletadas dos outros grupos.

### **3.4 O pré-processamento de imagens**

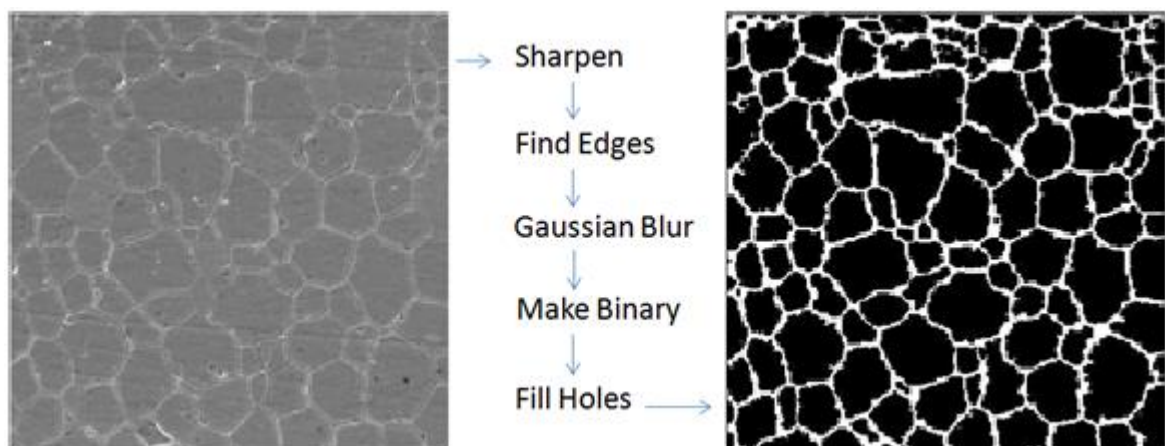
O pré-processamento da imagem se constitui um problema que se mantém recorrente à prática do PADI. Na ADI é preciso, na maioria das vezes, preparar a imagem, neste caso micrografia, para seu processamento e diagnósticos

específicos através da aplicação de recursos de pré-processamento na imagem (geralmente os processos de filtragem) de forma não-automática, ou seja, o pesquisador trata a imagem original através de vários recursos, tomando suas próprias decisões sobre quais recursos aplicar, até o ponto em que julga que a imagem está pronta para o processamento e análise definitivos, portanto, sua própria interpretação do resultado mais adequado é um fator claramente subjetivo, pois depende de conhecimento do pesquisador quanto ao PADI.

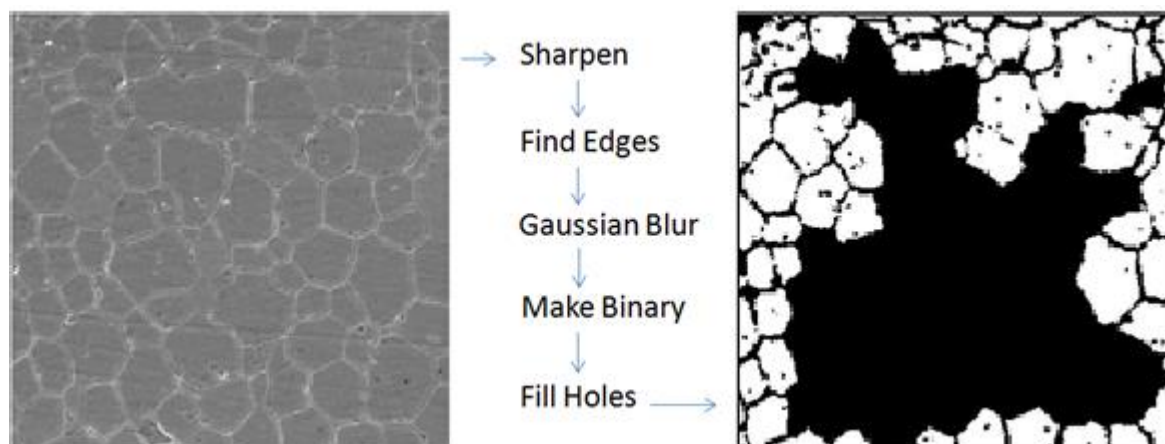
A preparação da imagem (pré-processamento) para um adequado processamento (segmentação) envolve duas categorias de procedimentos distintos:

- **Domínio do Espaço Real:** refere-se à imagem propriamente dita, com a manipulação direta dos pixels da imagem.
- **Domínio da Frequência:** trata-se da modificação da imagem original através da Transformada de Fourier, seguida de sua transformada inversa.

Outro ponto importante é que os recursos a serem utilizados dependem diretamente do recurso ou informação final desejado, logo, uma determinada sequência de procedimentos de pré-processamento para tratar adequadamente uma determinada imagem, não necessariamente (e dificilmente) alcançará os mesmos resultados para outra imagem diferente. Dificuldades já existem com uma mesma imagem, prova disso está na tentativa de replicar procedimentos de PADI em imagens publicadas em artigos e pesquisas (às quais se tem acesso), que geralmente não são as imagens originais (Figuras 3.11 e 3.12).



**Figura 3.11 – Processo de binarização.**  
Imagem original de uma microestrutura de cerâmica dopada baseada em zircônia.



**Figura 3.12 - Replicação do processo de binarização apresentado na Figura 12.**  
*Utilizando a imagem publicada, não a original.*

Um dos fatores que mais contribuem para este problema é a utilização bastante comum de imagens compactadas que apresentam perdas de dados [14].

A literatura especializada parece não evidenciar a etapa de pré-processamento, enaltecendo a etapa de segmentação [13,18-19]. No entanto, para aumentar a confiabilidade e o resultado da segmentação, todo e qualquer conhecimento prévio sobre a imagem em questão deve ser considerado, pois a etapa de segmentação determinará, sim, o eventual sucesso ou fracasso da análise.

#### **3.4.1 A escolha dos tipos de arquivos (JPEG, TIFF e PNG)**

Existem diversos tipos de arquivos de imagem, por exemplo, GIF, BMP, DWG, SVG, TGA, EPS, IMG, PCX, PSD, CDR, VML, entre outros. A diferença entre eles é a definição da estrutura de cada um, à qual é discriminada no cabeçalho do arquivo, depois são descritos os dados da imagem em si. No entanto, através destes três tipos seguintes, muito comuns para diversas finalidades, já é possível demonstrar o risco existente no uso inadequado de algumas imagens no PADI, são eles:

##### **1. Arquivo no formato JPEG**

O arquivo tipo JPEG (ou JPG) é um tipo de arquivo que permite o uso de diversas técnicas de compressão, o que facilita o seu armazenamento e distribuição. Porém, quanto maior for a compressão, maior será a perda de dados, menor será o tamanho do arquivo e, pior será sua qualidade. A imagem comprimida não será exatamente idêntica à imagem original após a

descompressão (visualização), entretanto, muitas vezes tais perdas não são percebidas a olho nu (Figura 3.13), fazendo deste tipo de arquivo um arquivo adequado para captura de imagens a serem vistas desta maneira.

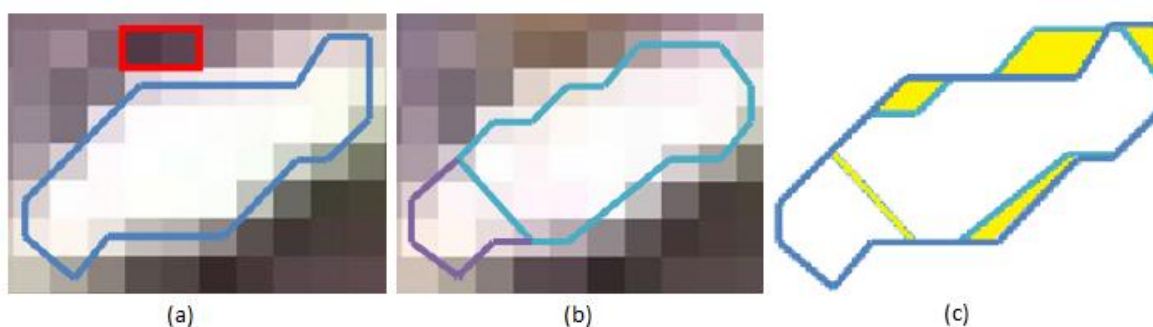
## 2. Arquivo no formato TIFF

O arquivo do tipo TIFF é o tipo de arquivo mais adequado para a captura de imagens. É um dos formatos de arquivo digital que suporta mais cores permitindo dados de transparência e opacidade, além do uso de camadas. Apesar de possibilitar alguns tipos de compressão, não perde qualquer detalhe, porém, seu tamanho é consideravelmente grande.

## 3. Arquivo no formato PNG

O arquivo do tipo PNG surgiu como uma evolução do tipo de arquivo GIF, suportando milhões de cores, transparência e animação. É um tipo de arquivo que possui compressão sem perdas, pois possui algoritmos similares ao utilizados em imagens do tipo TIFF, porém com uma quantidade de detalhes menor que este tipo. Seu tamanho fica entre arquivos do tipo TIFF e do tipo JPEG.

Algumas considerações devem ser feitas. Apesar dos arquivos JPEG serem tão comuns, principalmente em câmeras digitais pela sua velocidade de captura e pouco espaço de armazenamento, sua utilização em edições consecutivas da imagem gera perdas ainda maiores, isto por que, a cada vez que salva a imagem, o cálculo de compressão é executado novamente, modificando sempre os dados do arquivo quando há edição e, perdendo qualidade [14]. Os arquivos PNG não sofrem deste problema, pois o cálculo de compressão é efetuado somente na criação do arquivo.



**Figura 3.13 – Perdas em imagens JPEG**

*A edição de 2 pixels em (a) força o recálculo de compactação antes do salvamento (b), causando uma perda de veracidade dos dados originais destacadas em amarelo em (c)*

Com relação ao tamanho dos arquivos JPEG em comparação com os outros tipos, justamente por conta de espaço de armazenamento em mídia, acabam sendo escolhidas no lugar das imagens TIFF. Isso acarreta problemas de precisão nos estudos, pois como as imagens JPEG possuem muito menos dados do que as imagens TIFF, muitos dados da pesquisa não estarão sendo considerados.

### **3.5 Lógica paraconsistente**

A Lógica Paraconsistente foi criada pelo brasileiro Prof. Dr. Newton Carneiro Affonso da Costa em 1958, com base nos trabalhos de J. Lukasiewicz e S. Jaskowski, além de N. A. Vasiliev [15-17].

Deixando aquém o rigor científico e filosófico da compreensão total da Lógica Paraconsistente, alguns estudos e publicações colocaram em evidência o uso desta lógica principalmente nas áreas de desenvolvimento de software, eletrônica, pesquisa operacional e robótica [17,21], quebrando paradigmas do pensamento humano tradicional.

Portanto, a aplicação desta lógica para tomadas de decisão complexas parece ser – com perdão do trocadilho – lógica.

Outras lógicas não-clássicas têm tido grande exposição tanto em estudos como em aplicações práticas como a lógica Fuzzy (nebulosa) e a lógica Multivalorada.

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma família de lógicas paraconsistentes empregadas inicialmente em programação lógica sob o contexto da Inteligência Artificial [20], mas começou a se tornar mais simples de ser aplicada a partir dos estudos de F. R. Carvalho e J. M. Abe, que desenvolveram o Método Paraconsistente de Decisão (MPD), o qual foi aplicado neste trabalho. O fundamento teórico para o MPD são as regras de maximização e minimização da lógica paraconsistente anotada evidencial [15-17]. Sumariamente, o MPD funciona da seguinte maneira:

1. Cria-se uma lista dos fatores que influem de forma acentuada no sucesso de um objetivo a ser atingido a partir de um ponto de vista específico, ou seja, em condições muito favoráveis faz o resultado da análise ser viável e, em condições desfavoráveis, inviabilizar o ponto analisado. A estes fatores podem



ser atribuídos pesos diferentes caso apresentem importância distinta, um mais que outros, na tomada de decisão (Tabela 3.1);

**Tabela 3.1 - Sistemas de crenças**

Exemplo de 2 Pontos de Vista distintos (A e B), com 4 fatores de influência cada, sobre um mesmo objetivo a ser atingido.

Fatores - Ponto de Vista <b>A</b>		Fatores - Ponto de Vista <b>B</b>	
<b>A1</b>	F1	<b>B1</b>	F1
	F2		F2
	F3		F3
<b>A2</b>	F1	<b>B2</b>	F1
	F2		F2
	F3		F3
<b>A3</b>	F1	<b>B3</b>	F1
	F2		F2
	F3		F3
<b>A4</b>	F1	<b>B4</b>	F1
	F2		F2
	F3		F3

2. Fixa-se para cada fator uma faixa de valores e/ou características determinísticas que variam em seu significado. Pode variar de bastante favorável a bastante desfavorável, apresentando sempre uma posição central de indiferença, ou seja, poderá ter somente uma quantidade ímpar de opções (Tabela 3.2). Por exemplo: A1 é “Quanto mais próximo o tamanho dos grãos estiverem do tamanho do grão médio, a amostra estará completamente recristalizada.”. Como respostas a A1 tem-se F1 (bastante favorável) “ $\geq 90\%$ ”, F2 (indiferente) “ $\geq 50\%$ ” e, F3 (bastante desfavorável) “ $< 50\%$ ”;

**Tabela 3.2 - Fixação das faixas dos fatores de influência**  
Exemplo utilizando o sistema de crenças do Ponto de Vista A

Fatores - Ponto de Vista <b>A</b>			
<b>A1</b>	F1	<i>bastante favorável</i>	$\geq 90\% G'$
	F2	<i>indiferente</i>	$\geq 50\% G'$
	F3	<i>bastante desfavorável</i>	$< 50\% G'$
<b>A2</b>	F1	<i>bastante favorável</i>	$\geq 8$
	F2	<i>indiferente</i>	$\geq 4$
	F3	<i>bastante desfavorável</i>	$< 4$
<b>A3</b>	F1	<i>bastante favorável</i>	$< 2$
	F2	<i>indiferente</i>	$2 \leq x < 3$
	F3	<i>bastante desfavorável</i>	$\geq 3$
<b>A4</b>	F1	<i>bastante favorável</i>	= branco
	F2	<i>Indiferente</i>	$\langle \rangle$ branco ou preto
	F3	<i>bastante desfavorável</i>	= preto



3. Analisando o objetivo dos sistemas de crenças dos pontos de vista A e B, configura-se uma situação constatada ou lógica como base para avaliação (Tabela 3.3);

**Tabela 3.3 – Situação ideal constatada**  
Exemplo utilizando o Ponto de Vista A

Fatores - Ponto de Vista <b>A</b>	
<b>A1</b>	F1
<b>A2</b>	F3
<b>A3</b>	F1
<b>A4</b>	F2

4. Análise com base em informações de confiabilidade (graus de crença e descrença) sobre cada faixa de cada fator (Tabela 3.4);

**Tabela 3.4 - Graus de crença e descrença atribuídos**

Os valores devem ser atribuídos por especialistas em PADI. Neste exemplo os valores são fictícios

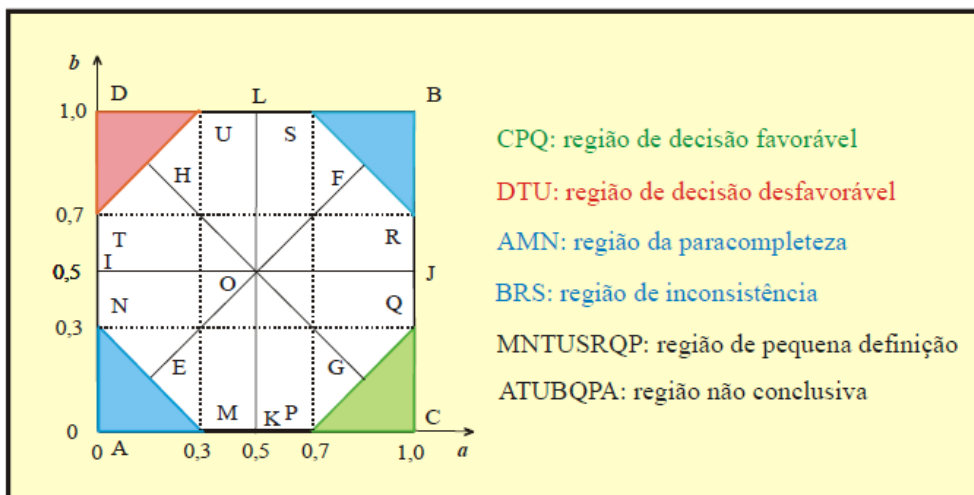
Fator	Faixa	Especialista 1		Especialista 2		Especialista 3	
		Grau crença	Grau descrença	Grau crença	Grau descrença	Grau crença	Grau descrença
A1	F1	1,0	0,0	0,1	0,5	0,1	0,6
	F2	0,5	0,5	0,9	0,1	0,9	0,3
	F3	0,3	0,7	0,4	0,8	0,4	0,8
A2	F1	0,2	0,8	1,0	0,3	1,0	0,4
	F2	0,7	0,3	0,6	0,3	0,6	0,1
	F3	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1	0,7
A3	F1	1,0	0,0	1,0	0,7	1,0	0,2
	F2	0,8	0,2	0,5	0,9	0,8	0,2
	F3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3	0,8
A4	F1	0,9	0,1	0,2	0,6	0,9	0,3
	F2	0,6	0,4	0,7	0,1	0,6	0,4
	F3	0,2	0,8	0,5	0,8	0,2	0,8
B1	F1	0,1	0,9	0,1	0,8	1,0	0,5
	F2	0,3	0,7	0,9	0,3	0,5	0,9
	F3	0,9	0,1	0,4	0,9	0,3	0,8
B2	F1	0,5	0,5	1,0	0,5	0,2	0,8
	F2	0,5	0,5	0,6	0,9	0,7	0,1
	F3	0,8	0,2	0,1	0,6	0,5	0,1
B3	F1	0,1	0,9	1,0	0,5	0,1	0,5
	F2	0,9	0,9	0,8	0,5	0,9	0,3
	F3	0,4	0,4	0,3	0,9	0,4	0,8
B4	F1	1,0	0,0	0,9	0,5	1,0	0,4
	F2	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,9
	F3	0,1	0,9	0,2	0,7	0,1	0,9

5. Aplicando as regras lógicas da LPA chega-se à Tabela 3.5 resultante;

**Tabela 3.5 - Graus de crença e descrença resultantes após a aplicação da LPA**

Fator	Faixa	GRUPO 1		GRUPO 2		MPD	
		Grau crença	Grau descrença	Grau crença	Grau descrença	Grau crença	Grau descrença
A1	F1	1	0	0,1	0,6	0,1	0
	F2	0,5	0,5	0,9	0,3	0,5	0,3
	F3	0,3	0,7	0,4	0,8	0,3	0,7
A2	F1	0,2	0,8	1	0,4	0,2	0,4
	F2	0,7	0,3	0,6	0,3	0,6	0,3
	F3	0,5	0,5	0,1	0,7	0,1	0,5
A3	F1	1	0	1	0,7	1	0
	F2	0,8	0,2	0,8	0,9	0,8	0,2
	F3	0,3	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3
A4	F1	0,9	0,1	0,9	0,6	0,9	0,1
	F2	0,6	0,4	0,7	0,4	0,6	0,4
	F3	0,2	0,8	0,5	0,8	0,2	0,8
B1	F1	0,1	0,9	1	0,8	0,1	0,8
	F2	0,3	0,7	0,9	0,9	0,3	0,7
	F3	0,9	0,1	0,4	0,9	0,4	0,1
B2	F1	0,5	0,5	1	0,8	0,5	0,5
	F2	0,5	0,5	0,7	0,9	0,5	0,5
	F3	0,8	0,2	0,5	0,6	0,5	0,2
B3	F1	0,1	0,9	1	0,5	0,1	0,5
	F2	0,9	0,9	0,9	0,5	0,9	0,5
	F3	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	0,4
B4	F1	1	0	1	0,5	1	0
	F2	0,6	0,4	0,6	0,9	0,6	0,4
	F3	0,1	0,9	0,2	0,9	0,1	0,9
<i>Médias</i>		<i>0,6</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>	<i>0,4</i>

6. Por fim são marcados no QUPC todos os pontos das últimas duas colunas da Tabela 3.4 para obter o valor resultante (Figura 3.14);



**Figura 3.14 - Quadro Unitário do Plano Cartesiano (QUPC) onde serão marcados os pontos**

Por meio da LPA é possível chegar a um veredicto através de informações distintas e não diretamente comparáveis sobre o mesmo problema. Examinando a Figura 3.14, a vantagem do uso da MPD é que, todos os fatores que não se posicionarem perto de C (sim, favorável, verdadeiro) e D (não, desfavorável, falso) estarão definidos como inconsistentes (fatores que não apresentam adequada relevância com o objetivo desejado) ou paracompletos (indeterminados, fatores que possuem informações incompletas). Estas duas informações são de suma importância para correção e acertos futuros.

Esta capacidade da LPA em armazenar sistemas de crenças definidos por especialistas diversos e conhecimentos normatizados, confrontados com respostas de indivíduos, se apresenta como uma proposta interessante em solucionar a lacuna identificada no PADI, pois não se pretende tentar replicar procedimentos prontos (ver item 3.4), mas sim em decidir quais recursos farão parte de um procedimento específico, pontual, momentâneo, para uma imagem específica, para um determinado objetivo.

### **3.6 Caracterização de liga metálica a base de alumínio-magnésio**

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre (Tabela 3.5) [22], mesmo assim, é um metal que só começou a ser utilizado comercialmente a menos de dois séculos, pois seu processo de obtenção é mais complexo do que dos metais já utilizados há mais tempo.

As ligas de alumínio são pesquisadas continuamente devido ao seu equilíbrio entre os benefícios e as limitações de suas propriedades mecânicas como a resistência específica (relação entre a resistência mecânica e a massa específica), resistência à corrosão, eficiente condução térmica e baixa seção de choque (o que propicia o fluxo neutrônico). Por isso, o alumínio e suas ligas são usados em grande parte na construção de reatores nucleares de pesquisa, como por exemplo, o revestimento dos elementos combustíveis e, os recipientes de material de pesquisa que devem ser colocados no interior do reator [23-26].

Há ainda outras características importantes do alumínio e suas ligas que faz este material ser largamente utilizado nas mais diversas áreas e produtos, como por exemplo em componentes de peças e estampos para as indústrias automobilística, naval, aeroespacial, entre outras, com destaque especial não

somente a leveza do material, mas também à sua alta condutividade elétrica e reciclabilidade [27].

**Tabela 3.6 - Porcentagem de Elementos na Crosta Terrestre.**

ELEMENTO QUÍMICO	SÍMBOLO	MACIÇOS CONTINENTAIS (%)	PARTE PROFUNDA DA CROSTA (%)
Oxigênio	O	46,59	44,67
Silício	Si	27,72	22,81
Alumínio	Al	8,13	7,40
Ferro	Fe	5,01	10,11
Cálcio	Ca	3,63	6,70
Sódio	Na	2,85	1,92
Potássio	K	2,60	0,57
Magnésio	Mg	2,09	4,04
Titânio	Ti	0,63	1,31
Hidrogênio	H	0,13	0,20
Fósforo	P	0,13	0,14
Manganês	Mn	0,10	0,13
Enxofre	S	0,052	
Cloro	Cl	0,048	
Cromo	Cr	0,037	
Carbono	C	0,032	
Níquel	Ni	0,020	
Todos os demais		0,20	

A grande maioria das ligas comerciais de alumínio estão divididas em famílias, sendo as mais difundidas as da família do sódio (i.e. Al-Mg, Al-Si e Al-Si-Mg), da sub-família do cobre (i.e. Al-Cu) ou de ambas (i.e. Al-Cu-Mg e Al-Cu-Mg-Si), referenciadas de maneira genérica neste trabalho como ligas Al-Mg-X [26].

O alumínio (que apresenta estrutura cúbica de face centrada, Figura 3.15) e o magnésio (estrutura hexagonal compacta, Figura 3.16), são elementos que estão muito próximos na tabela periódica, o que faz com que as ligas binárias (i.e. Al-x%Mg, onde x% é a porcentagem em peso de magnésio) geradas por estes

dois elementos sejam do tipo de solução sólida substitucional. As ligas Al-Mg-X apresentam boas propriedades mecânicas e boa resistência à corrosão [28].

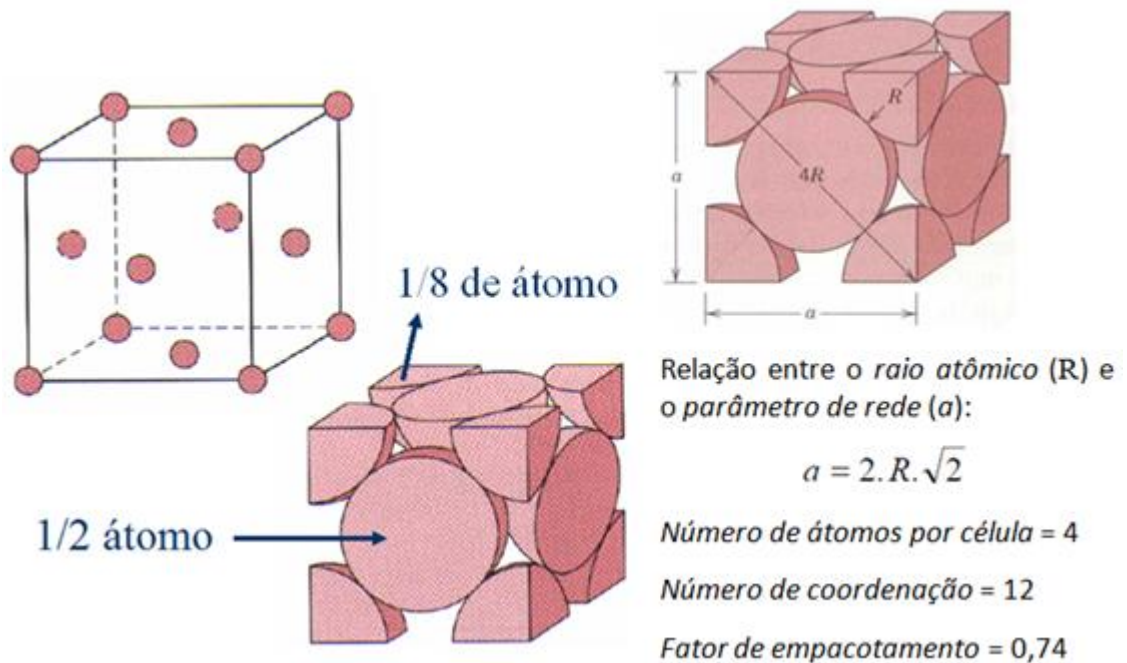


Figura 3.15 - Sistema Cúbico de Face Centrada.

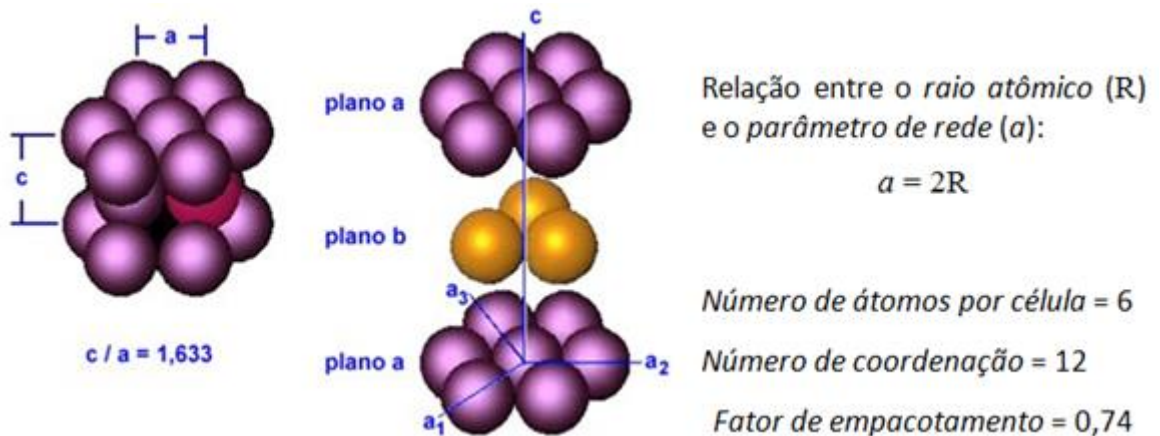


Figura 3.16 - Estrutura Hexagonal Compacta.

É bem estabelecido que a maioria dos materiais metálicos passa em alguma etapa de sua fabricação por processos de deformação a frio e a quente para que sejam obtidos produtos como chapas, arames, tubos e outros.

Em alguns destes processos podem ocorrer duas ou mais alterações microestruturais simultâneas como encruamento, recuperação e recristalização. Os fenômenos supracitados ocorrem simultaneamente à deformação quando o material está sob um campo de tensões e, por vezes, em temperatura elevada

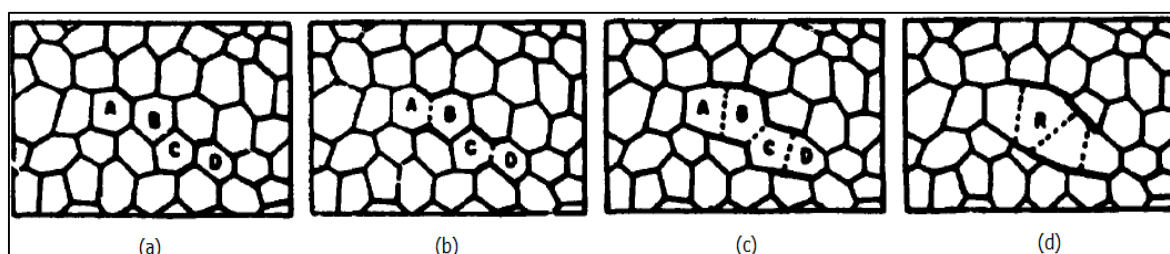
acarretando diferenciações nos materiais dependentes, sem dúvida, de sua própria temperatura de fusão. O acompanhamento destes fenômenos é realizado de forma indireta, isto é, por meio de curvas tensão - deformações obtidas durante ensaios mecânicos a quente (tração, compressão e torção). Nós sabemos que diversas propriedades são fortemente dependentes da microestrutura tais como: limite de escoamento, limite de resistência, alongamento, tenacidade, temperatura de transição dúctil-frágil, resistência ao impacto e resistência ao desgaste [29-30].

As deformações plásticas introduzidas durante os processos de conformação mecânica promovem tanto alterações dimensionais como modificações nas propriedades mecânicas do material. Essas propriedades também são influenciadas pela temperatura, pela taxa de deformação no processamento e como o material é deformado.

Nos processos de análise das condições relativas à cinética de recristalização de ligas metálicas são utilizadas análises matemáticas visando à determinação de equações que auxiliem o aperfeiçoamento do processamento termomecânico. Nas análises matemáticas é comum o uso de PADI com o intuito de extrair as informações necessárias das imagens geradas pelos microscópios.

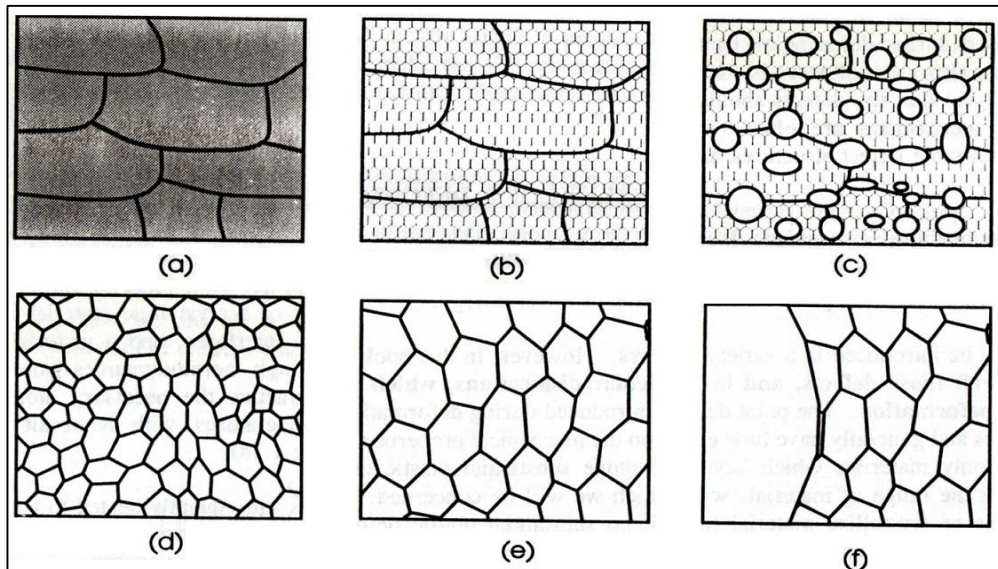
### 3.7 A Cinética de recristalização

As deformações plásticas introduzidas durante os processos de conformação mecânica promovem tanto alterações dimensionais como modificações nas propriedades mecânicas do material (Figuras 3.17 e 3.18). Essas propriedades também são influenciadas pela temperatura, pela taxa de deformação no processamento e como o material é deformado [31-34].

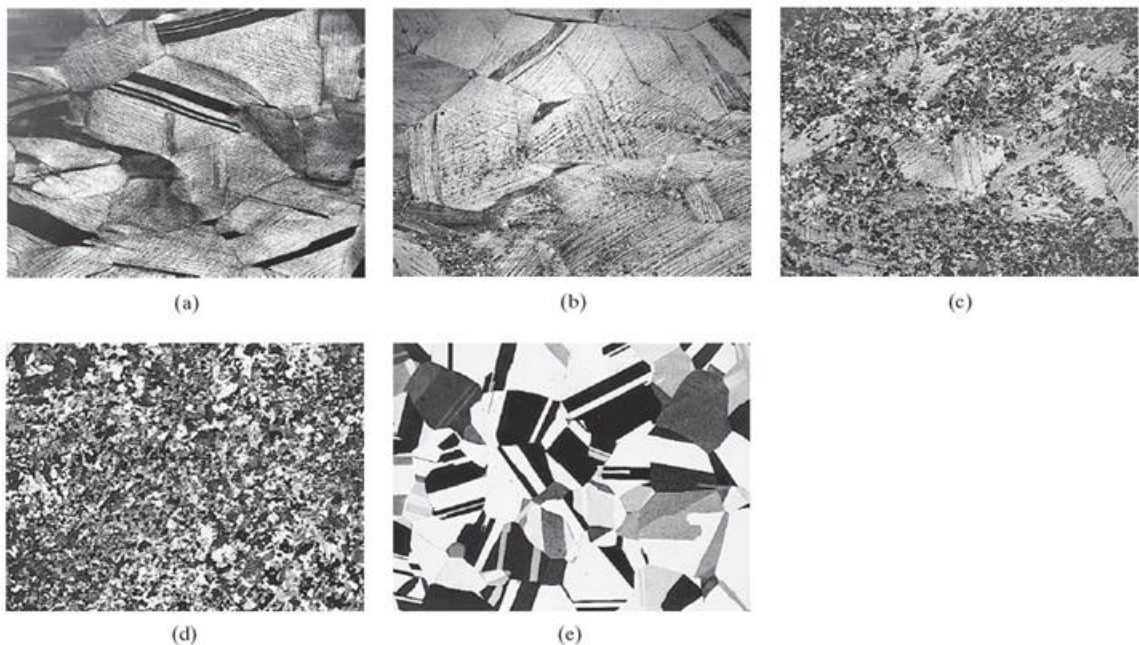


**Figura 3.17 - Formação de contornos de alto ângulo por meio de coalescimento de grãos.**  
 (a) situação inicial, (b) coalescimento de subgrãos A com B e C com D, (c) coalescimento de B com C e,  
 (d) formação de contornos de alto ângulo





**Figura 3.18 - Diagrama esquemático dos principais processos com tratamento térmico.**  
 (a) estado Deformado, (b) Recuperado, (c) parcialmente Recristalizado, (d) completamente Recristalizado, (e) Crescimento de Grãos, (f) Crescimento de Grão Anormal



**Figura 3.19 - Exemplos de micrografias.**

(a) Bronze trabalhado a frio (laminação, de modo que a área da seção transversal da peça foi reduzida a um terço); (b) após 3 s a 580°C, novos grãos aparecem; (c) após 4 s a 580°C, muito mais grãos novos estão presentes; (d) após 8 s a 580°C, a recristalização completa ocorreu; (e) após 1 hora a 580°C, ocorreu um crescimento de grão substancial. A força motriz para este crescimento é a redução de contornos de grão com altas energias. A redução predominante na dureza para todo este processo ocorreu pela etapa (d). Todas as micrografias possuem uma ampliação de 75x (Cortesia de J.E.Burke, General Electric Company, Schenectady, NY).

Verifica-se que a cinética de solução e precipitação de segundas fases é fortemente dependente da temperatura e do tempo e, são também influenciadas pela deformação, obtendo-se diferentes resultados em uma dada liga metálica dependendo da sua história termomecânica e, a consequência disto, é uma

variedade de microestruturas que podem ser favoráveis a estudos por meio de microscopia eletrônica [31,35-37] (Figura 3.19).

O uso da microscopia eletrônica é uma técnica que determina a orientação cristalográfica local com maior precisão implicando também em uma análise relacionada com a heterogeneidade local da deformação plástica e a correspondente subestrutura induzida por discordâncias, de grande importância em relação aos estudos de recuperação e recristalização [32-33]. O aumento da densidade de discordâncias é devido ao contínuo aprisionamento de novas discordâncias e por discordâncias existentes e, sua incorporação nos vários sistemas microestruturais característicos do estado deformado, sendo um dos sistemas mais simples, o formato do grão [38].

As micrografias obtidas por microscópios eletrônicos ópticos, eletrônicos de varredura ou de transmissão - processo padronizado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) conhecido como metalografia [39] - podem ser observadas por especialistas seguindo especificações e métodos manuais padronizados pela ASTM para que seja extraído as características necessárias de tais imagens, como por exemplo, tamanho médio e contagem de grãos (norma E 112 – 96) [40]. No entanto, o avanço na área computacional propiciou em pouco tempo a viabilidade do uso intensivo de PADI principalmente nas áreas de pesquisas. A ASTM publicou uma nova norma para extrair através do PADI o tamanho médio e a contagem de grãos de micrografias de forma automática ou semiautomática, a norma E 1382:2010[41].

Estudos comparativos entre os dois métodos demonstram a viabilidade do uso de PADI, mostrando-se um processo bastante confiável e, principalmente, pela economia do tempo despendido para extrair da imagem os dados necessários [28]. O uso de PADI no contexto específico da metalografia é dificultado no seguinte aspecto, a microscopia de dez amostras que se mostram recristalizadas serão diferentes umas das outras, ou seja, não é possível ter um "*modus operandi*" padrão porque cada imagem é uma imagem diferente e, a abordagem para conseguir mostrar um mesmo dado entre elas, através da aplicação dos diversos recursos de PADI, poderá ser (e na maioria das vezes será) diferente para cada uma delas.



Recursos de PADI ainda neste contexto começaram a ser embutidos nos próprios microscópios eletrônicos ou, desenvolvidos e comercializados como sistemas especializados de alto custo, como Clemex, Imaris, Metamorph, entre outros. Esta abordagem não popularizou o PADI, na verdade restringiu estes recursos a grandes empresas e laboratórios de pesquisa, resultando hoje numa grande limitação de profissionais que possam fazer uso direto e correto destes tipos de equipamentos e programas. Além disso, como os microscópios eletrônicos (em especial de varredura e transmissão) são caros, seu custo-benefício maior está em gerar as imagens (micrografias) para análise posterior.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para auxiliar pesquisadores que desconhecem ou possuem pouca noção sobre PADI foi necessário catalogar o conhecimento básico sobre o assunto o qual deve apresentar uma curva de aprendizado muito curta.

Para demonstrar as operações de contagem e tamanho médio de grão de uma amostra foi utilizada uma imagem fictícia, criada manualmente que apresenta grãos. Nesta imagem aplicou-se diversos recursos de PADI presentes no software ImageJ para demonstrar seus recursos e visualizar quais dados são extraídos da imagem. Estes mesmos procedimentos serão aplicados, revistos e analisados diante de imagens de amostras de ligas de Alumínio-Magnésio criadas em trabalho anterior [06], no intuito de descobrir fatores que possam colaborar para tomadas de decisões futuras sobre quais recursos de PADI utilizar para buscar atingir um resultado específico.

Estes fatores foram combinados e tratados de forma que pudessem se juntar ao MPD da LPA buscando simular as tomadas de decisões que pudessem confirmar a mesma informação existente nas amostras declaradas no estudo original.

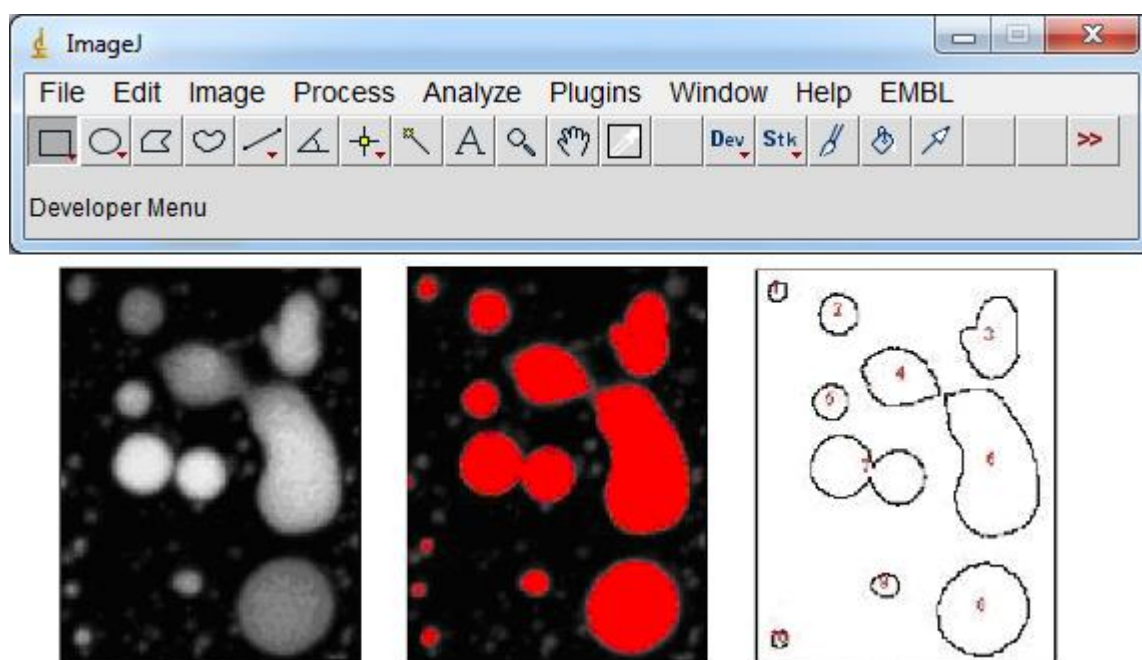
### 4.1 *Softwares de processamento digital de imagens*

Existem diversos softwares de processamento de imagens que realizam análise quantitativa, sejam softwares livres ou não.

Dentre os de uso livre, o ImageJ (Figura 4.1) é um dos mais adotados por diversas instituições de pesquisa em todo o mundo. Este software apresenta diversos recursos para tratamento de imagens que podem ser utilizados para análise de imagens por microscopia, portanto, com grande aplicação em áreas médicas, biológicas e de materiais.

Wayne Rasband, voluntário no Instituto Nacional de Saúde em Maryland nos Estados Unidos, foi quem desenvolveu este software de PADI gratuito, de domínio público e de código aberto, usando a linguagem de programação Java (hoje, uma linguagem não proprietária e de padrão aberto), sendo também um

programa extensível, ou seja, possui um recurso de programação através de macros ou programação direta que permite criar novos algoritmos e tratamentos de imagens quando necessários, e ainda, a inserção de *plugins* de novos recursos, possibilitando não só o processamento como também a análise digital de imagens [18]. Igualmente, com base no núcleo de programação do ImageJ, diversas outras distribuições começaram a ser disponibilizadas com uma organização diferenciada dos recursos ou criadas para utilizações mais específicas: Fiji, MBF ImageJ, Bio7,  $\mu$ Manager, ObjectJ e SalsaJ.



*Figura 4.1 – O software ImageJ.*

Trabalhos anteriores mostraram que é possível a utilização do software ImageJ no trabalho de caracterização microestrutural, porém, o tratamento de imagens digitalizadas requer conhecimento sobre as características e recursos relacionados ao PADI. A utilização inapropriada dos recursos de PADI poderá ter efeito contrário ao seu objetivo, reduzindo a qualidade da análise feita ou, mais grave ainda, dar a impressão de que houve manipulação dos resultados dos obtidos na análise.

#### **4.2 Procedimento Experimental**

O procedimento experimental deste estudo se encontra disposto no fluxograma mostrado na Figura 4.2 e, posteriormente, descrito item a item neste mesmo capítulo.

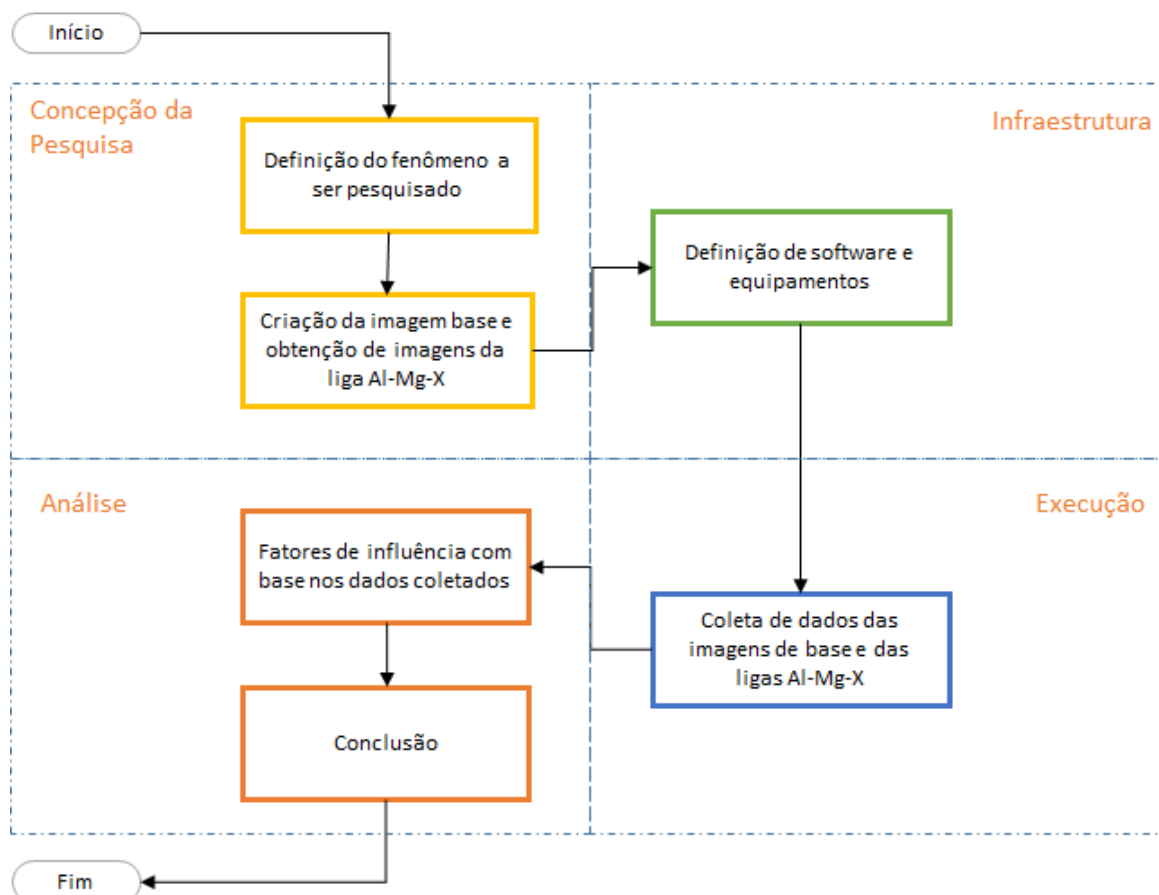


Figura 4.2 - Fluxograma do procedimento experimental.

#### 4.2.1 Definição do fenômeno a ser pesquisado

Dentre as etapas vistas na Figura 3.8 (sequência padrão de PADI), as etapas iniciais de Formação e Aquisição de Imagem, Digitalização da Imagem e, Pré-Processamento são ambas tão críticas quanto à etapa de Segmentação, pois são etapas onde os dados iniciais da imagem são reconhecidos para serem depois processados. Caso estes dados iniciais sejam alterados, modificados, contaminados ou manipulados de forma errada, todo o trabalho restante fica comprometido.

Sobre as etapas de Formação e Aquisição de Imagem e, Digitalização da Imagem, têm-se muito pouco domínio, pois a quase totalidade de seus processos são realizados pelos próprios equipamentos, ou seja, microscópios, onde cada um deles pode executar um algoritmo diferente de captura da imagem, sendo assim possível apresentar diferenças reais entre as imagens de uma mesma amostra capturadas por cada um deles.

No entanto, na etapa de Pré-Processamento, a decisão sobre quais procedimentos utilizados para corrigir defeitos ou realçar detalhes de interesse da imagem são de pleno domínio de quem estiver analisando a imagem. Portanto, para que a próxima etapa – Segmentação – tenha maior probabilidade de obter sucesso, os procedimentos desta etapa devem ser aplicados de maneira adequada.

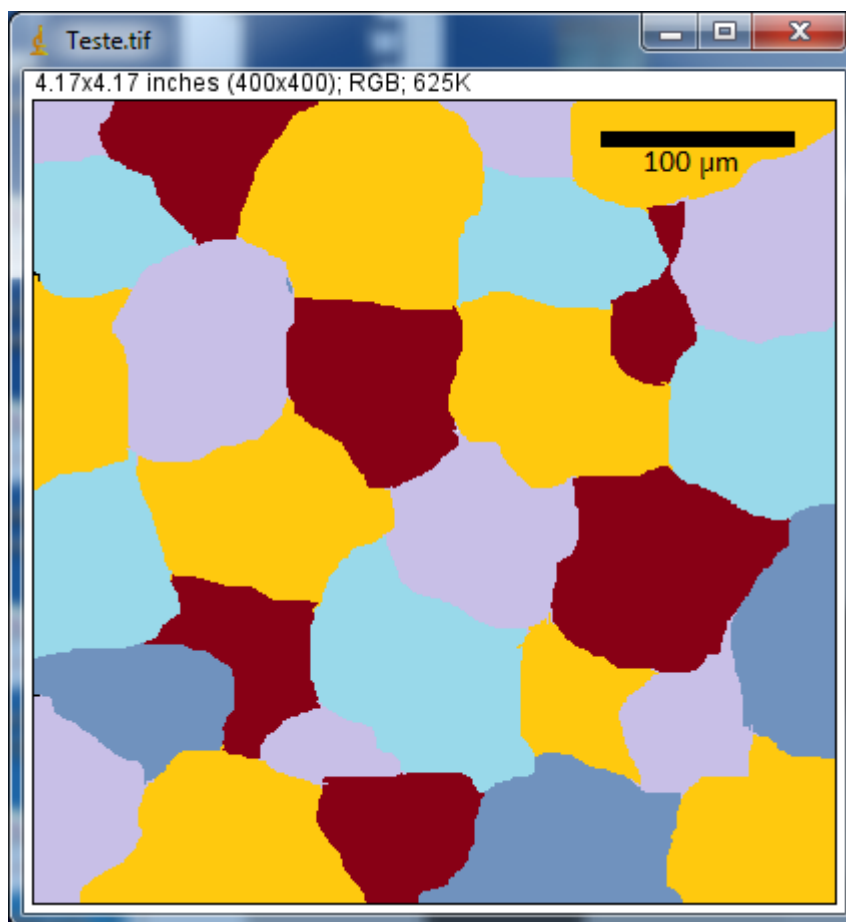
A decisão por quais procedimentos realizar nesta etapa será específica para cada situação ou objetivo que se queira chegar. Além disso, para que procedimentos possam ser aplicados de forma adequada é necessário obter informações da imagem original. A extração de características é definida como todo o conjunto de operações de PADI realizadas com o propósito de obter valores numéricos que caracterizam as imagens digitais ou parte delas.

A pesquisa foi realizada com base nas amostras de um trabalho anterior realizado no próprio CCTM sobre o estudo da cinética de recristalização de ligas Al-Mg-X [06].

Uma das informações (e não a única) cruciais para evidenciar se a amostra foi completamente recristalizada ou não é avaliar o tamanho médio e a quantidade de grãos da amostra [42], entretanto, não de forma manual [40], mas de forma automática [41] objetivando o uso do PADI.

#### **4.2.2 Criação da imagem base e obtenção de imagens por microscopia ótica de ligas Al-Mg-X**

Uma imagem base idealizada foi criada (Figura 4.3) como referência aos procedimentos a serem adotados e analisados junto ao software ImageJ, a fim de que seja possível realizar a contagem de grãos e o cálculo do tamanho médio do grão da amostra. Já as imagens obtidas por microscopia ótica foram obtidas através de pesquisa a trabalhos anteriores. Escolheu-se então um trabalho específico [06] que reproduzisse o fenômeno em ligas de alumínio-magnésio através da observação do pesquisador às imagens geradas. No ANEXO A encontram-se as imagens selecionadas para execução desta pesquisa.



**Figura 4.3 - Imagem base idealizada – Teste.tif**  
*Imagem fictícia criada com características que se aproximam de uma metalografia real.*

### 4.2.3 Definição de software e equipamentos

Entre os equipamentos utilizados neste estudo encontram-se um computador de mesa (*desktop*) do próprio CCTM com processador Intel Core i5, capacidade de 4GB de memória RAM e, 2TB de espaço de armazenamento em disco (Hard Disk - HD), monitor de 20 polegadas com resolução ajustada para 1280 x 1024 pixels, e sistema operacional Windows 7 Professional instalado; e um notebook também com processador Intel Core i5, capacidade de 4GB de memória RAM, 750GB de espaço de armazenamento em disco, monitor de 15 polegadas com resolução ajustada para 1366 x 768 pixels e sistema operacional Windows 7 Ultimate, este último de propriedade do autor do estudo.

Em ambos foram instalados o software ImageJ versão 1.47 (Figura 4.1, APÊNDICE A).

#### 4.2.4 Coleta de dados das imagens de base e da liga Al-Mg-X

O software ImageJ, possui diversos recursos nativos para PADI utilizados neste trabalho, tais como:

- Ferramentas de seleção
- Compatibilidade com vários formatos de imagens
- Ajustes de cor e histograma
- Ferramentas de medição manuais e (algumas) automáticas
- Escala de imagens
- Segmentação
- Processamento de imagens binárias
- Filtros
- Transformada de Fourier

O ImageJ ainda possui a capacidade de incluir macros e *plugins* específicos [18]. São mais de 330 (trezentas e trinta) macros disponíveis no site oficial e, mais de 420 (quatrocentos e vinte) *plugins*. Cada item de menu, macro ou *plugin* é um recurso do ImageJ para pré-processamento, processamento e análise digital de imagens.

No entanto, como o foco está em obter informações para auxiliar a etapa de pré-processamento, das imagens foi possível extrair os seguintes dados:

- Área (*area*): área da imagem ou da seleção em pixel<sup>2</sup>;
- Valor médio de cinza (*mean gray value*): esta é a soma dos valores de cinza de todos os pixels da imagem ou da seleção, dividido pelo número total de pixels;
- Desvio padrão (*standard deviation*): desvio padrão dos valores de cinza usados para gerar o valor médio de cinza;
- Valor moda de cinza (*modal gray value*): o valor de cinza de maior ocorrência na imagem ou seleção, corresponde ao pico mais alto no histograma;
- Níveis Min e Max de cinza (*min & max gray level*): valores mínimo e máximo de cinza na imagem ou seleção;

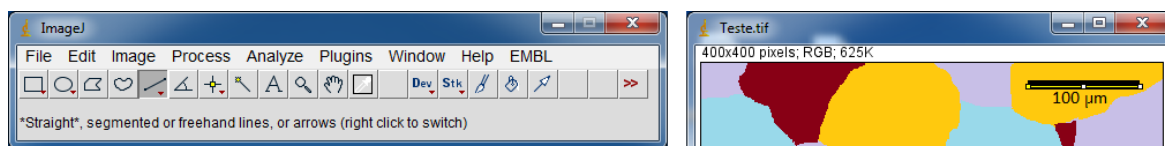
- Centro de massa (*center of mass*): é a média do contraste das coordenadas de x e y de todos os pixels da imagem ou da seleção;
- Perímetro (*perimeter*): é o comprimento contínuo da borda de uma imagem ou segmento;
- Diâmetro de Feret (*Feret's diameter*): é a medida do tamanho de um objeto ao longo de uma direção especificada. Em geral, pode ser definido como a distância entre os dois planos paralelos que limitam o objeto perpendicular a essa direção;
- Densidade integrada (*integrated density*): é o equivalente ao produto da área com o valor médio de cinza;
- Mediana (*median*): o valor da mediana dos pixels da imagem ou da seleção;
- Assimetria (*skewness*): grau de afastamento que uma distribuição apresenta do seu eixo de simetria;
- Curtose (*kurtosis*): grau de achatamento da distribuição;
- Fração da Área (*area fraction*): fração de área total da imagem que representa o objeto;

Estes dados devem ser definidos no ImageJ (Menu *Analyse*, opção *Set Measurements...*) antes de utilizar qualquer recurso que faça a coleta das medidas, pois somente as medidas que estiverem marcadas serão coletadas ou calculadas.

Além disso, é preciso acertar a escala de medida para que os dados coletados façam sentido. A imagem obtida num microscópio eletrônico geralmente possui uma escala definida no canto da imagem, portanto, na imagem base fictícia não poderia ser diferente. No canto superior direito da imagem *Teste.tif* há uma escala de 100  $\mu\text{m}$  (cem micrômetros). No ImageJ é preciso primeiro clicar (escolher) a ferramenta de desenho de linha (*Straight*, Figura 4.4) e, desenhar uma linha reta sobre a escala definida na imagem (após pressionar o botão

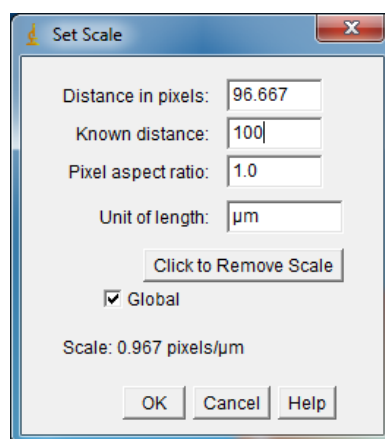


esquerdo do mouse no início da linha da escala, pressione a tecla *Shift* para auxiliar na precisão e solte o botão do mouse no término do tamanho da escala).



**Figura 4.4 - Ferramenta de linha aplicada à imagem Teste.tif**  
usada neste caso para estabelecer a escala correta para os cálculos futuros

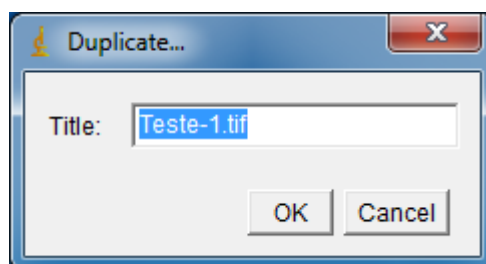
Em seguida, deve-se definir a escala a ser utilizada no ImageJ (Menu *Analyze*, opção *Set Scale...*). A caixa de diálogo que aparece (Figura 4.5) é apresentada com uma informação nova baseada na linha criada: o valor da Distância em pixels (*Distance in pixels*). Qualquer outro campo estará apresentando dados padrões iniciais ou dados antigos, e são estes outros campos que devem ser verificados e atualizados para a escala devida. O campo Distância conhecida (*Known distance*) deve ser preenchido com o valor 100 (cem). O campo de Proporção por pixel (*Pixels aspect ratio*) deve estar com o valor 1. O campo Tamanho da unidade (*Unit of length*) deve ser preenchido com a unidade “ $\mu\text{m}$ ”. Além disso, a caixa de marcação *Global* deve ser marcada, pois esta definição de escala será utilizada para todas as imagens que serão geradas e utilizadas. Caso haja a necessidade de mudar a escala, este procedimento deve ser repetido.



**Figura 4.5 - Configuração da escala**

Por meio destes dados julga-se ser possível criar um processo lógico dinâmico que, a partir de dados iniciais da imagem de amostra, determinar os passos necessários de pré-processamento para possibilitar deixar uma imagem pronta para um determinado processamento final.

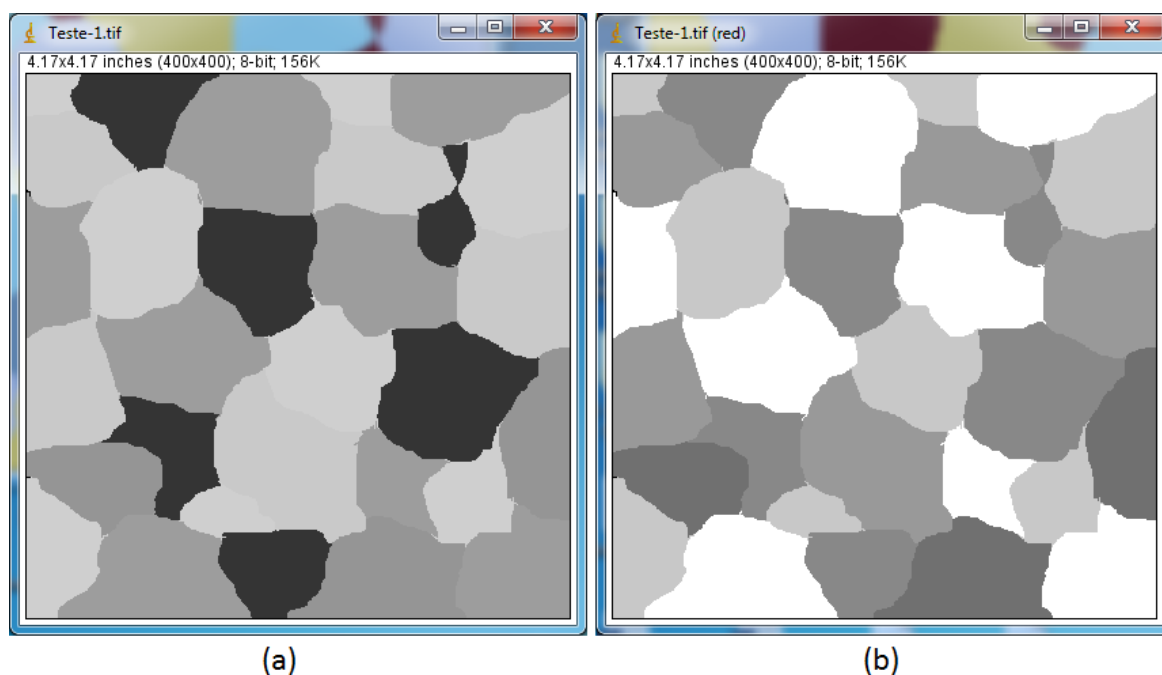
Inicialmente o processo de coleta de dados é aplicado à imagem base criada (arquivo `Teste.tif`). Uma boa prática é duplicar a imagem original antes de aplicar um novo recurso (Menu `Image`, opção `Duplicate...`), desta maneira, sempre a imagem original anterior estará disponível, pois, dependendo do recurso utilizado será impossível reverter o processo, sendo necessário iniciar novamente todo o processo de análise.



**Figura 4.6 - Recurso de duplicação de imagem.**

A nova imagem tem seu nome pré-definido de forma sugestiva. Ao clicar no botão `OK` (Figura 4.6) a nova imagem nomeada `Teste-1.tif` surge exatamente igual a imagem original. E, é nesta imagem duplicada (`Teste-1.tif`) que será executado o próximo passo.

A primeira coisa a ser feita é transformar a imagem RGB de 32 bits em uma imagem de tons de cinzas de 8 bits. Isso pode ser feito de duas maneiras distintas.

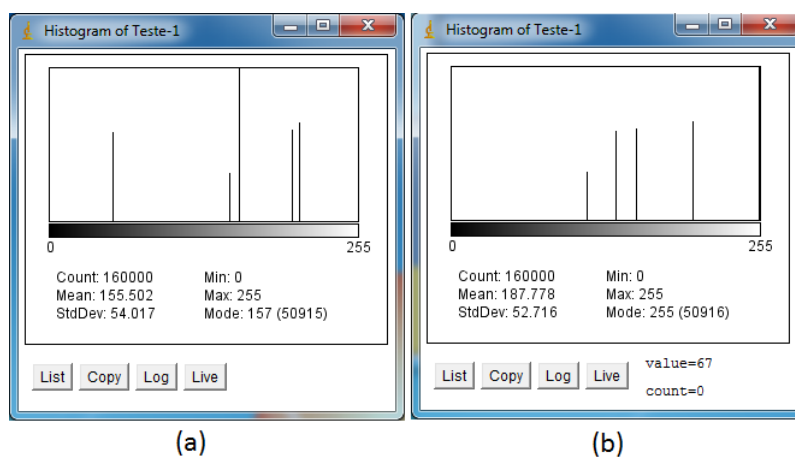


**Figura 4.7 - Transformação da imagem base RGB de 32 bits para 8 bits de tons de cinza**  
(a) conversão direta; (b) separação de cores.

A primeira maneira é uma conversão direta (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8 bits`). A segunda maneira é a separação dos canais RGB (Menu `Image`, opção `Color >`, opção `Split Channels`).

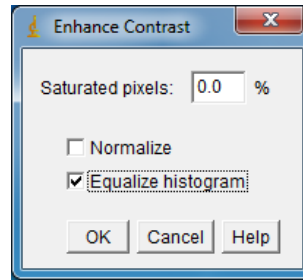
A segunda maneira irá transformar a imagem duplicada `Teste-1.tif` em 3 (três) outras imagens de tons de cinza que refletem a intensidade de cada cor do modelo RGB (vermelho, verde e azul – perceba que cada imagem aparece nomeada com sua cor entre parênteses). Deve-se escolher uma imagem entre as três que apresente o melhor contraste, neste caso, a imagem `Teste-1.tif (red)`.

Nota-se que a imagem gerada na Figura 4.7 – b possui maior contraste entre as duas maneiras apresentadas. Quando comparado os histogramas (Menu `Analyse`, opção `Histogram`) de cada imagem (Figura 4.8) fica claro o motivo da imagem b possuir maior contraste, pois os tons de cinza identificados aparecem mais distantes um dos outros, o que causa o contraste. Mesmo assim, um outro recurso será utilizado para verificar qual das imagens será melhor aproveitada na aplicação de recursos futuros.



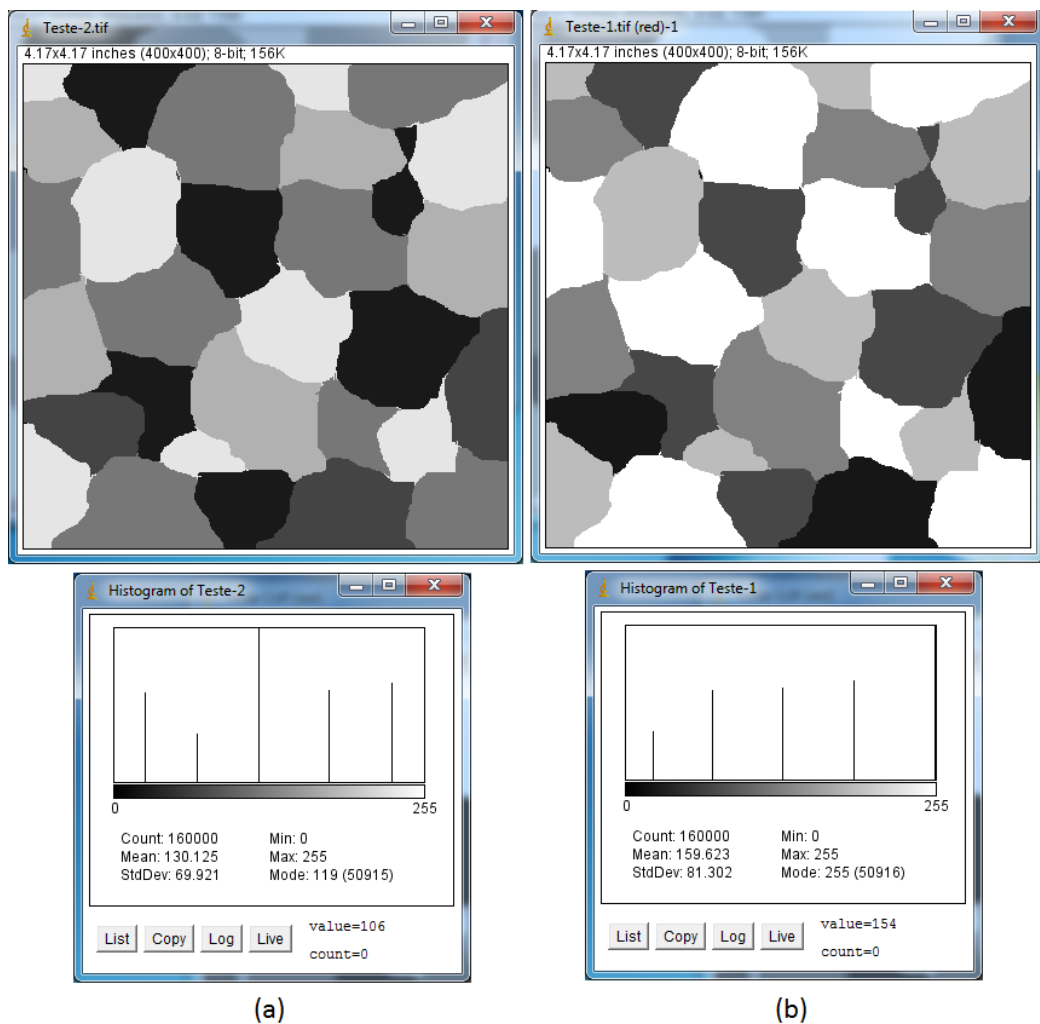
**Figura 4.8 - Histogramas das respectivas imagens apresentadas na figura 4.7.**

Novamente, antes de aplicar qualquer processo ou recurso, é boa prática criar uma nova imagem duplicada. Com a imagem `Teste-1.tif` ativa, crie sua duplicata nomeada `Teste-2.tif`. Aplicando o recurso de realce de contraste (Menu `Process`, opção `Enhance Contrast...`, deixar marcada somente o item `Equalize histogram` – Figura 4.9) a cada uma das imagens, será possível verificar visualmente e através dos seus histogramas qual delas possui o melhor contraste.



**Figura 4.9 - Recurso de realce de contraste.**

A Figura 4.10 apresenta as imagens realçadas e nota-se agora que a imagem obtida pela conversão direta apresenta melhor contraste, principalmente quando se compara os histogramas. Na imagem a, o histograma apresenta melhor divisão dos valores não utilizando valores limites (0 ou 255), o que assegura que os algoritmos aplicados no futuro não deverão confundir os valores de tons de cinza com fundo ou linhas de separação. Portanto, a partir desse ponto, a imagem a ser utilizada definitivamente nos próximos passos será da Figura 4.10 – a.

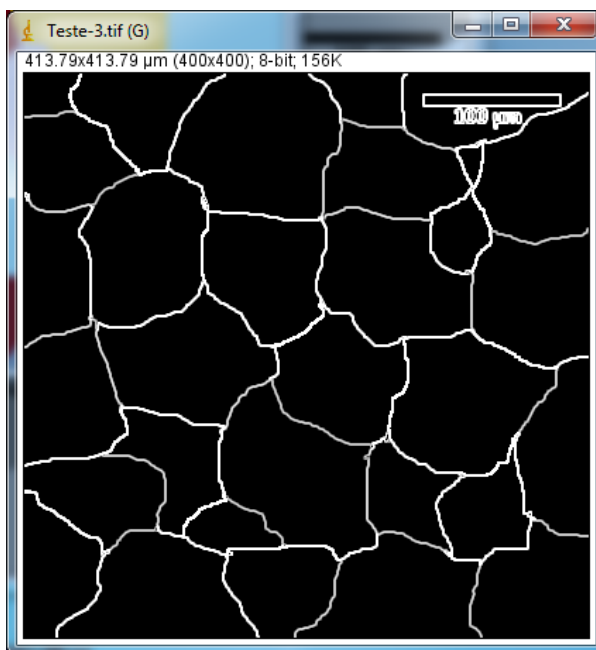


**Figura 4.10 - Imagens com realce de contraste (equalização)**  
 (a) aplicado a imagem de conversão direta; (b) aplicado a imagem de separação de cores.

Novamente, como boa prática, duplica-se a imagem `Teste-2.tif`, gerando a imagem `Teste-3.tif`, onde será aplicado o próximo recurso.

Para conseguir calcular o tamanho médio e contar os grãos da imagem é necessário uma imagem binária (2 bits) em preto e branco, não em tons de cinza.

Acontece que a preparação de maior contraste na imagem auxilia muito o recurso de detecção de bordas, pois quanto maior a diferença entre os tons de cinza, mais satisfatório é o resultado. Aplicando então o recurso de detecção de bordas (Menu `Process`, opção `Find Edges`), a imagem `Teste-3.tif` apresenta agora apenas duas cores, o fundo em branco e os elementos em preto, ou seja, imagine uma folha em branco onde diversos grãos foram desenhados um muito perto dos outros e pintados de preto (Figura 4.11).



*Figura 4.11 - Detecção de bordas.*

Para a aplicação do próximo recurso, gere uma nova duplicata (`Teste-4.tif`). Nesta nova imagem somente em preto e branco, apague a definição da escala na imagem para evitar a confundir com áreas de grãos (basta selecionar com uma das ferramentas de seleção – Retangular, Oval ou Polígono – uma área escura da imagem englobando parte da marcação da escala e em seguida, selecionar no Menu `Edit` a opção `Clear`, que irá apagar o conteúdo da área marcada). A partir deste ponto parece ser possível executar a contagem das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, botão `OK`), no

entanto, uma mensagem aparece reclamando que a imagem precisa passar por um processo de limiarização (*threshold*) antes. Então, é exatamente isso que é feito (Menu Image, opção Adjust >, opção Threshold). A imagem é modificada e uma caixa de diálogo é apresentada (Figura 4.12).

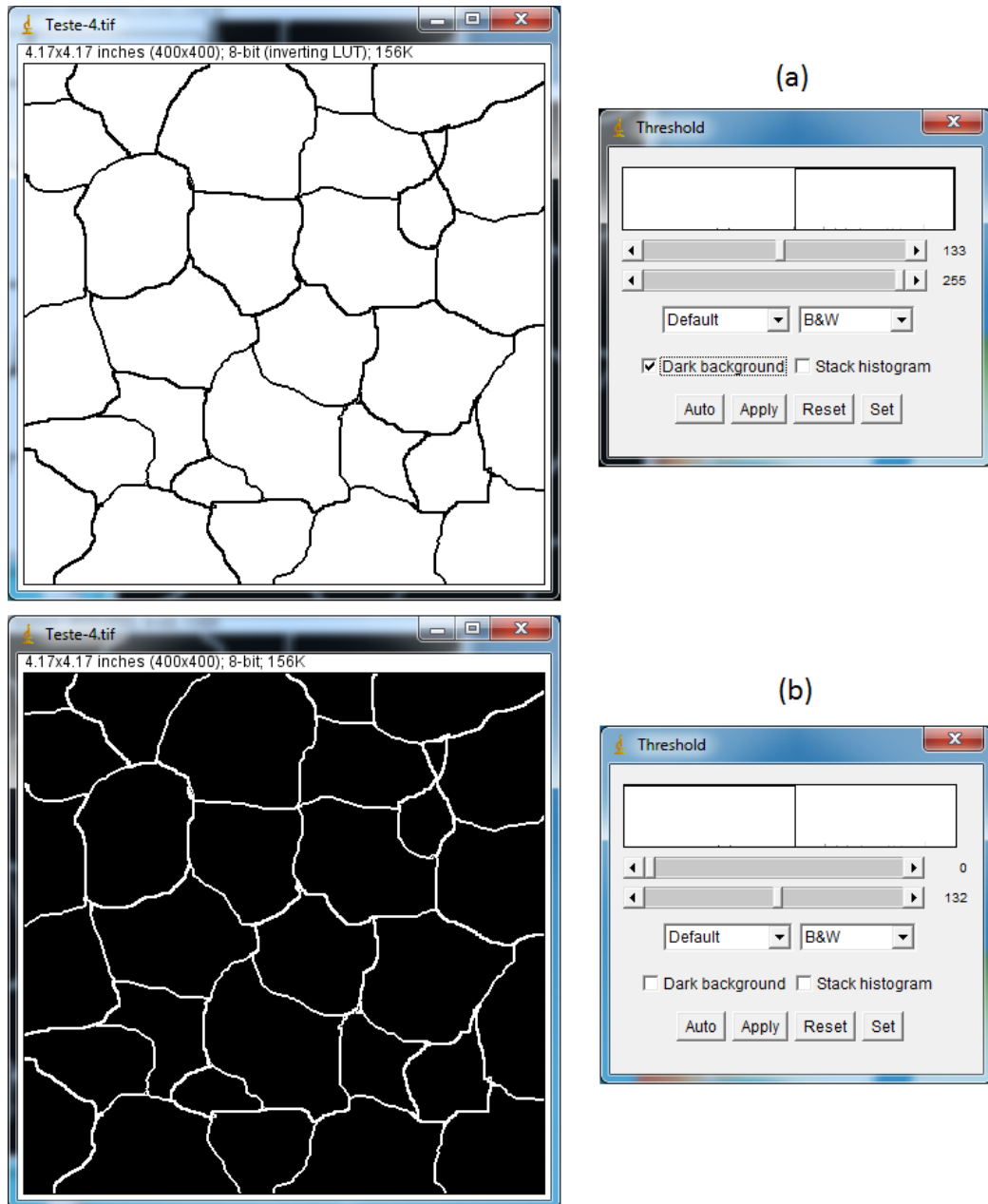
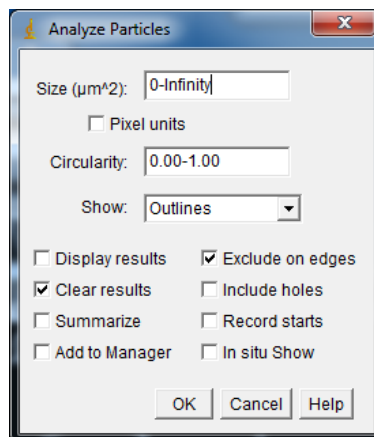


Figura 4.12 - Limiarização (*threshold*)

A imagem gerada foi da Figura 4.12-a. Note que na caixa de diálogo de limiarização, a opção Fundo preto (*Dark background*) encontra-se marcada. Desmarque esta opção e a imagem volta a ser apresentada de modo invertido, fundo branco com objetos em preto (Figura 4.12-b), clique no botão Aplicar (*Apply*), podendo agora fechar a caixa de diálogo da limiarização.

Novamente, crie uma duplicata da última imagem (Teste-5.tif). Agora é possível executar a contagem das partículas (Menu *Analyze*, opção *Analyze Particles...*).



**Figura 4.13 - Caixa de diálogo para analisar partículas (contagem de objetos)**

A caixa de diálogo apresentada (Figura 4.13) contém dados e opções disponíveis, dos quais alguns foram escolhidos e determinados:

*Tamanho (Size)*: filtro de tamanho da partícula. O programa irá desconsiderar as partículas fora do intervalo ou valor determinado. Ao executar este recurso uma primeira vez pode-se deixar o intervalo padrão definido de 0 a infinito. Caso queira determinar outro intervalo ou valor, lembre-se que estes valores irão respeitar a unidade de medida declarada anteriormente no início deste processo.

*Circularidade (Circularity)*: filtro de circularidade da partícula. Os valores variam entre 0 (zero) e 1 (um), sendo 1 o valor de um círculo perfeito. Este parâmetro também aceita um intervalo ou um valor. Ao executar este recurso pela primeira vez deixe o intervalo total padrão definido;

*Mostrar (Show)*: uma caixa de opções que não influencia nos cálculos, mas melhora muito a visualização dos resultados. Para enumerar as partículas encontradas a opção a ser escolhida é *Outlines*;

*Mostrar resultados (Display results)*: mostra os resultados obtidos tabulados para cada objeto detectado na imagem;

*Limpar resultados (Clear results)*: apaga os resultados obtidos anteriormente e mostra apenas os dados da análise atual;

Resumir (*Summarize*): mostra um resumo dos dados obtidos, como número total de partículas, área total, etc.;

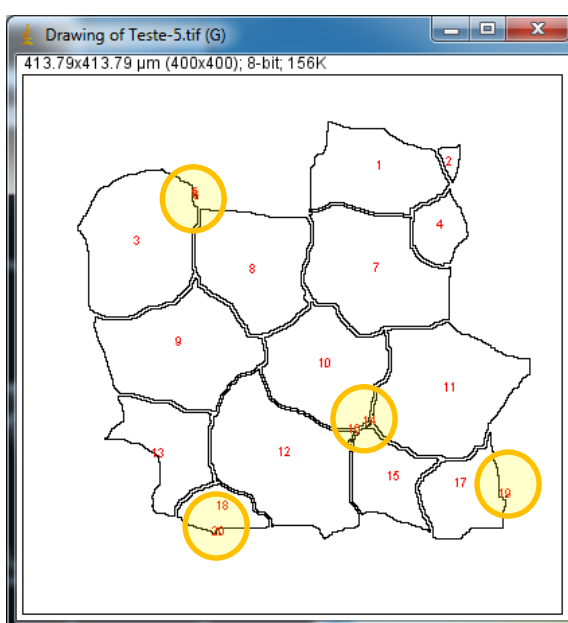
Excluir das bordas (*Exclude on edges*): deixa de contar quaisquer partículas que toquem o limite da figura. No caso da contagem de grãos esta opção é muito importante, pois não se sabe o tamanho restante de cada grão que toca a borda da imagem;

Incluir buracos (*Include Holes*): inclui os buracos (células dentro de células) como parte da partícula. Além de incluir os buracos na medição da área, também faz com que partículas dentro de outras partículas não sejam contadas.

Início de Gravações (*Record Starts*): permite que macros e *plugins* recriem representações das partículas para quaisquer que sejam seus propósitos.

Adicionar ao Gerenciador (*Add to Manager*): inclui as partículas medidas no *ROI Manager* do ImageJ, que é uma forma de trabalhar com várias regiões de interesse, independente da sua localização.

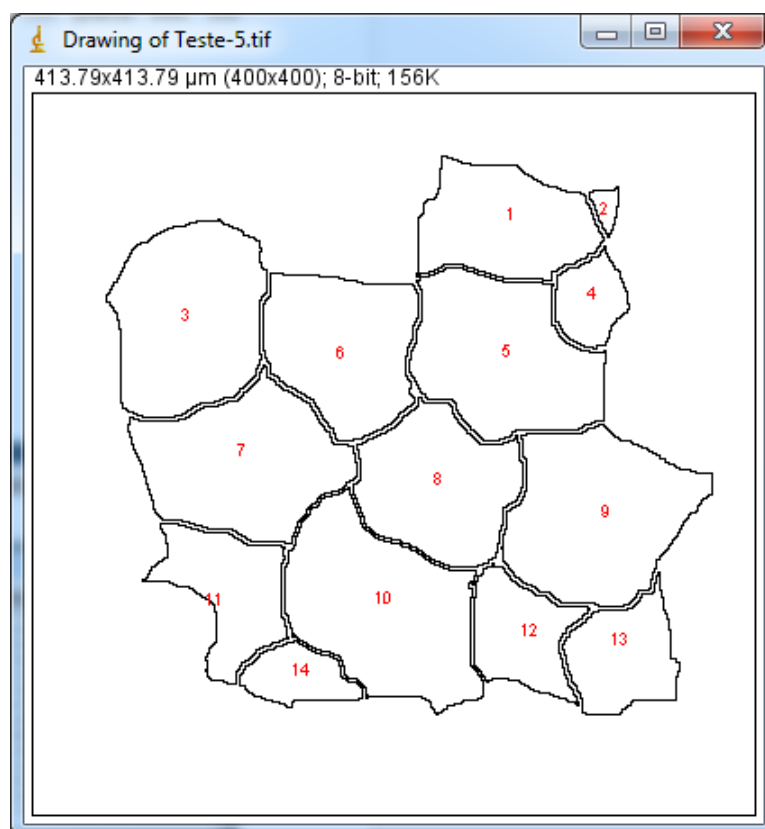
Dois opções importantes estão desmarcadas na primeira execução desta análise: Mostrar resultados (*Display results*) e Resumir (*Summarize*). Após executar a contagem de objetos (*Analyze Particles*), surge a imagem da Figura 4.14.



**Figura 4.14 - Contagem de objetos - primeira execução**  
Mostrando minúsculos pontos – pontos 5, 14, 16, 19 e 20.



Note que na contagem de objetos gerada na Figura 4.14, foram considerados minúsculos pontos como objetos. Sabendo como a escala está definida para fazer as medições de forma adequada, fecha-se a imagem de contagem de objetos gerada e seleciona a imagem *Teste-5.tif* novamente. Aplicando agora pela segunda vez a *Análise de Partículas* (Menu *Analyze*, opção *Analyze Particles...*), na caixa de diálogo, no campo *Tamanho (Size)*, na invés de deixar “0-Infinity”, troque para “10-Infinity” por exemplo. Esta mudança faz com que a análise feita leve em consideração somente os objetos com 10  $\mu\text{m}$  ou mais de tamanho. Sabendo que isso deixará somente os objetos relevantes, marca-se agora as duas opções faltantes: *Mostrar resultados (Display results)* e *Resumir (Summarize)*. Em seguida, basta clicar no botão *OK* para ver os resultados (Figura 4.15).



**Figura 4.15 - Análise de Partículas - contagem de objetos**

A janela de resultados obtidos (*Results*) é apresentada na Tabela 4.1. Nesta janela pode ser adicionado alguns valores médios interessantes para análise, basta acessar o Menu *Results* e escolher a opção *Summarize*. Quatro novas linhas são adicionadas ao fim da lista de dados. A janela de resumo de dados da imagem (*Summary*) é apresentada na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 – Resultados**  
 Dados obtidos da Figura 4.15 com valores médios calculados em segunda.

Label	Area	Mean	StdDev	Mode	Min	Max	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	Median	Skew	Kurt	%Area	RawIntDen	Feret
1	5391.446	255	0	255	255	255	269.332	73.923	269.332	73.923	322.723	109.967	1374818.781	255	NaN	NaN	100	1284690	219.€
2	280.381	255	0	255	255	255	328.085	64.604	328.085	64.604	78.309	29.623	71497.126	255	NaN	NaN	100	66810	328.€
3	8073.257	255	0	255	255	255	88.661	128.275	88.661	128.275	355.870	124.246	2058680.604	255	NaN	NaN	100	1923720	50.6€
4	1642.690	255	0	255	255	255	319.138	118.434	319.138	118.434	167.006	59.409	418885.833	255	NaN	NaN	100	391425	320.€
5	7860.296	255	0	255	255	255	268.786	150.548	268.786	150.548	381.156	134.483	2004375.535	255	NaN	NaN	100	1872975	219.€
6	6474.444	255	0	255	255	255	176.962	145.103	176.962	145.103	330.644	111.340	1650983.252	255	NaN	NaN	100	1542750	135.€
7	7864.577	255	0	255	255	255	119.821	211.796	119.821	211.796	394.158	134.761	2005467.094	255	NaN	NaN	100	1873995	53.7€
8	6347.096	255	0	255	255	255	231.851	225.021	231.851	225.021	338.002	103.371	1618509.367	255	NaN	NaN	100	1512405	220.€
9	8532.354	255	0	255	255	255	322.660	241.886	322.660	241.886	428.725	130.267	2175750.326	255	NaN	NaN	100	2033115	268.€
10	8963.627	255	0	255	255	255	198.912	295.279	198.912	295.279	485.735	147.180	2285724.913	255	NaN	NaN	100	2135880	164.€
11	3888.947	255	0	255	255	255	111.332	285.182	111.332	285.182	327.363	101.806	991681.511	255	NaN	NaN	100	926670	72.41
12	3102.382	255	0	255	255	255	279.211	309.883	279.211	309.883	273.570	95.850	791107.512	255	NaN	NaN	100	739245	257.€
13	3329.255	255	0	255	255	255	337.995	322.720	337.995	322.720	259.148	92.139	848960.148	255	NaN	NaN	100	793305	314.€
14	1667.303	255	0	255	255	255	151.116	334.124	151.116	334.124	182.094	71.619	425162.299	255	NaN	NaN	100	397290	117.€
15	5244.147	255	0	255	255	255	228.847	207.627	228.847	207.627	301.750	103.290	1337257.450	255	NaN	NaN	100	1249591.071	196.€
16	2903.674	0	0	0	0	0	87.475	93.910	87.475	93.910	99.693	32.467	740436.990	0	NaN	NaN	0	691896.277	98.2€
17	280.381	255	0	255	255	255	88.661	64.604	88.661	64.604	78.309	29.623	71497.126	255	1.798E308	1.798E308	100	66810	50.6€
18	8963.627	255	0	255	255	255	337.995	334.124	337.995	334.124	428.725	147.180	2285724.913	255	-1.798E308	-1.798E308	100	2135880	328.€

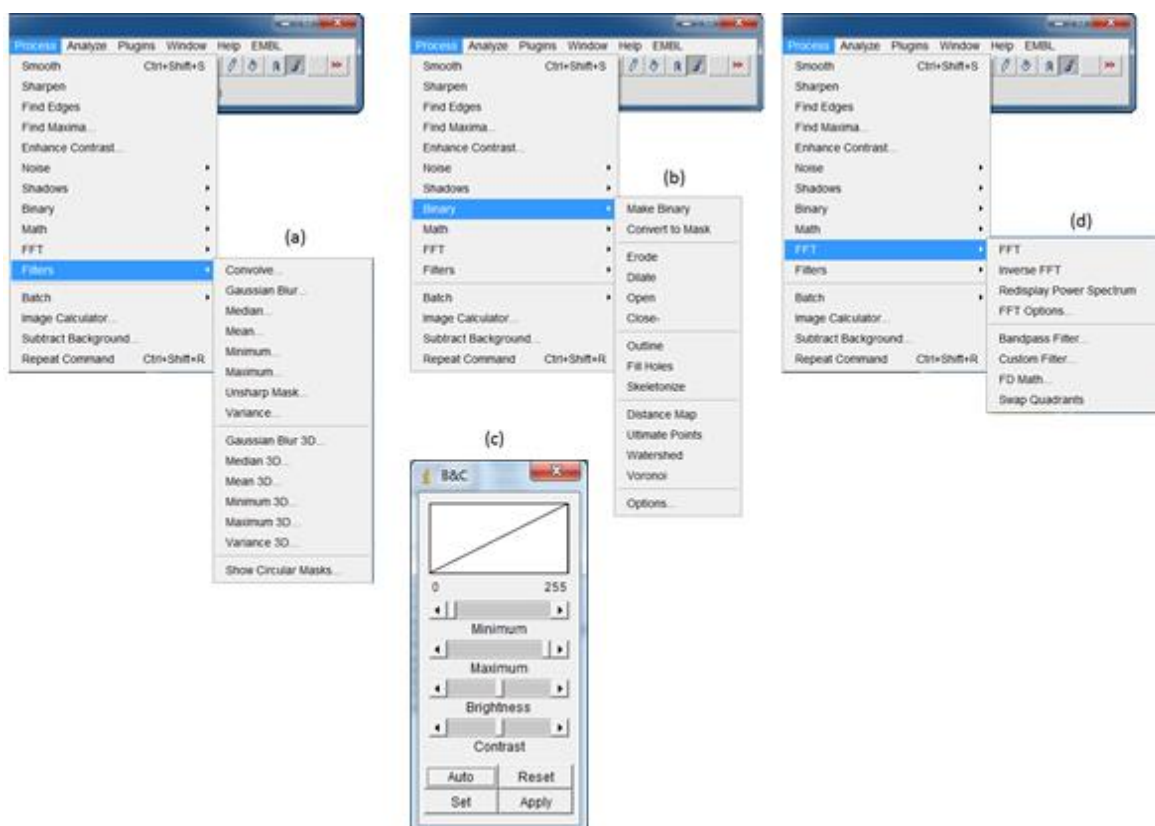
**Tabela 4.1 – Resumo**

Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean	Mode	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngle	MinFerret	IntDen	Median	Skew	Kurt
Teste-5.tif	14	73418.056	5244.147	42.878	255	255	301.750	103.290	196.035	199.286	-2.362	74.056	1337257.449	255	NaN	NaN

Nota-se que a etapa de pré-processamento durou até o momento da definição final da imagem `Teste-4.tif` (Figura 4.12). A partir deste ponto mostrou-se o objetivo (processamento) final, a contagem de grãos e o cálculo do tamanho médio do grão.

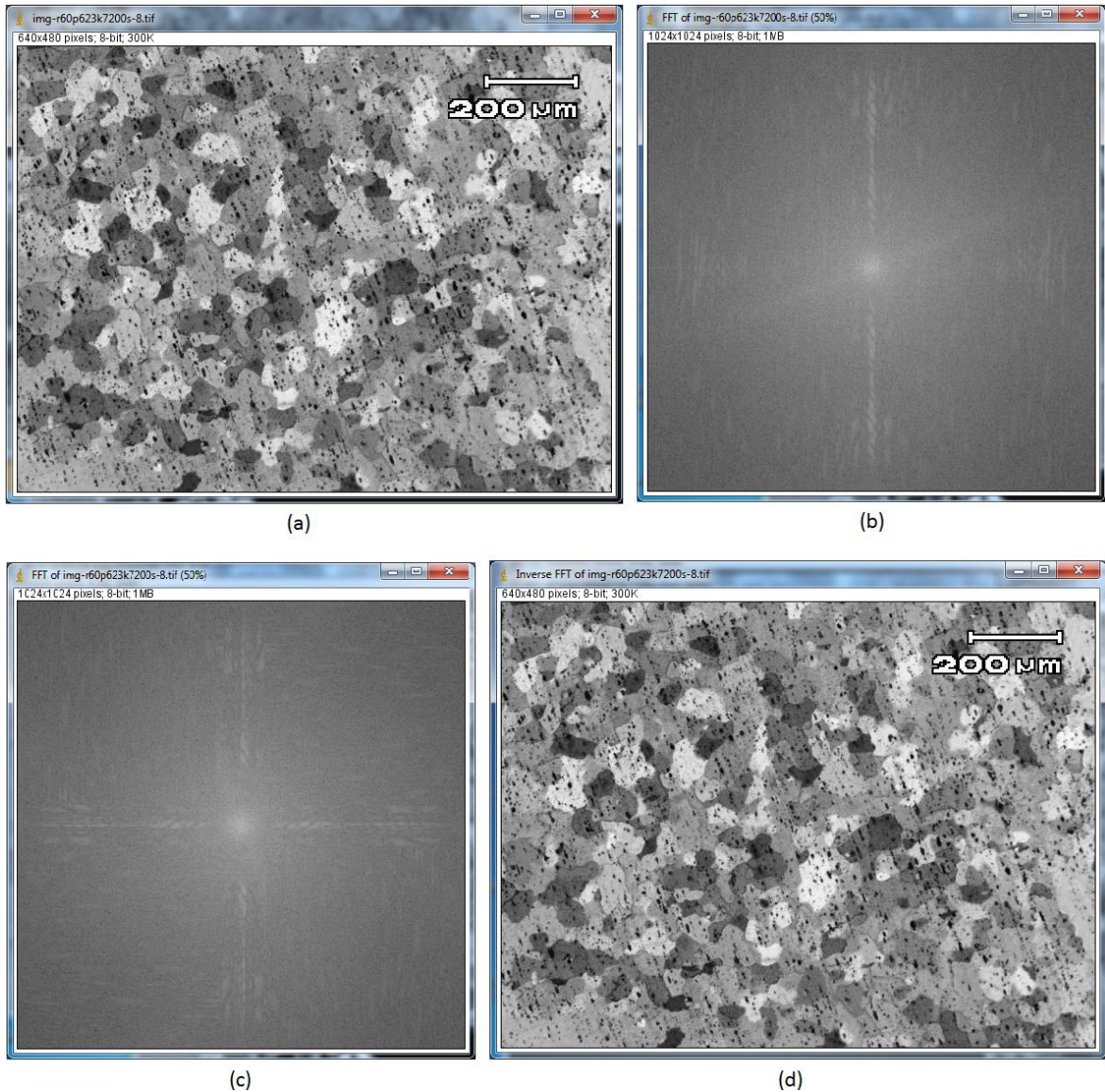
Com as imagens apresentadas no ANEXO A o objetivo é o mesmo, ou seja, executar recursos adequados de pré-processamento possibilitando de forma automática o cálculo do tamanho médio e a contagem de grãos de cada amostra.

Obviamente, os recursos utilizados nas imagens do ANEXO A não serão exatamente os mesmos utilizados na imagem base. Por exemplo, para ajustar o brilho e o contraste (Menu `Image`, opção `Adjust >`, opção `Brightness / Contrast...`) de uma imagem podemos utilizar a caixa de diálogo B&C (Figura 4.16-c), além de uma série de filtros disponíveis, como por exemplo a Transformada Rápida de Fourier (Menu `Process`, opção `FFT >`, opção `FFT`) utilizada de forma alternativa para alterar o contraste da imagem através da remoção de padrões de fundo e diferenças muito pequenas entre tons de cinza (Figura 4.17).



**Figura 4.16 - Recursos existentes no software ImageJ**

(a) e (b) Filtros de domínio espacial, (c) Brilho e Contraste, (d) Filtros no domínio da frequência



**Figura 4.17 - FFT - Fast Fourier Transform**

(a) imagem inicial com muitas pequenas variações de tons de cinza e precipitados muito aparentes que se confundem com objetos, (b) FFT da imagem anterior, (c) editar a imagem visando padronizar os sinais, (d) imagem resultante

Percebe-se então que, dependendo do que deve ser feito com a imagem em cada passo, há recursos diferentes para atingir um determinado resultado. Conforme o recurso escolhido, o resultado pode ser visualmente melhor ou pior.

#### 4.2.5 Fatores de influência com base nos dados coletados

Para atingir o objetivo definido pelo processo final, ou seja, para criar uma imagem da amostra coerente com a interpretação do pesquisador no momento em que este acredita que a imagem está pronta para ser executado o processo final, deve existir um sistema de crenças que justifique a observação do pesquisador. Além disso, justamente por cada imagem ser diferente umas das

outras, a mesma sequência de recursos aplicados no pré-processamento não garantirá um novo sucesso.

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) permite manipular conceitos como o da incerteza e inconsistência, no caso de alguns fatores se apresentarem contraditórios diante dos diversos dados obtidos a partir de uma amostra [15-16].

Cada uma das informações obtidas através do uso do software ImageJ foram consideradas na busca da criação do sistema de crenças da LPA através do Método Paraconsistente de Decisão (MPD) [15-17,21].

A escolha dos fatores de influência para tomada de decisão na etapa de pré-processamento de uma imagem baseou-se no uso dos diferentes recursos presentes no software ImageJ aplicados às imagens contidas no ANEXO A e, demonstrados no APÊNDICE B.

Foram considerados dois grupos de informações distintas:

- GRUPO A – Informações discretas – São as informações possíveis de serem coletadas de uma imagem, geralmente em valores ou indicadores numéricos.
- GRUPO B – Informações visuais – São as informações captadas pelo discernimento humano, geralmente de valores nominais, por exemplo, a visualização de que uma imagem está nítida, clara, escura, borrada, etc.

Com relação ao Grupo A definido acima, os fatores de influência serão divididos em quatro classes:

- CLASSE P – Operações Pontuais – São operações onde a intensidade do pixel  $k$ , na posição  $(x,y)$  da imagem de saída é uma função apenas da intensidade do pixel na mesma posição na imagem de entrada ( $k_{saída}(x,y) = f \{ k_{entrada}(x,y) \}$ ), por exemplo, mudança de brilho ou contraste, mudança de escala de cores e, expansão de contraste.
- CLASSE A – Operações Algébricas e Lógicas – São operações pontuais com mais que uma imagem de entrada, por exemplo, soma, subtração, divisão, operações lógicas (E, OU, etc.) e,

operações de comparação (Max, Min). Muito utilizadas para redução de ruídos, eliminação de fundos e aplicação de máscaras.

- CLASSE L – Operações Locais (ou de Vizinhança) – São operações onde cada operação equivale a uma média ponderada dos pixels em torno do pixel em questão, sendo que cada vizinho tem um peso associado, que multiplica sua intensidade definidos numa matriz. Portanto, a matriz é aplicada a uma vizinhança que se desloca coluna por coluna, linha por linha, até varrer toda a imagem. Para cada posição calcula-se o valor resultante que substitui o pixel central da vizinhança. Muito utilizadas em reduzir detalhes (filtros passa-baixas) e realçar detalhes (filtros passa-altas).
- CLASSE G – Operações Geométricas – São operações que alteram a relação de posição entre pixels. Por exemplo, ampliação e redução, interpolação em tons de cinza e, distorções.

Adequando os grupos e classes como base de dados para criação da MPD, surge a Tabela 4.3. Os fatores de influência serão criados com base nos dados coletados das imagens a serem analisadas. Pode-se tomar como exemplo de fatores de operações pontuais: brilho (P1), contraste (P2), conversão para 8 bits tons de cinza (P3), conversão para 8 bits colorido (P4), conversão para RGB (P5) e assim por diante. As demais classes (A, L e G) também terão seus fatores coletados durante a execução das análises, tendo como base os recursos do software utilizado neste estudo.

A fixação das faixas de cada fator também depende dos dados coletados e da relação entre eles. Após a escolha dos fatores e suas respectivas faixas, os graus de crença e descrença devem ser estabelecidos por especialistas em PADI.



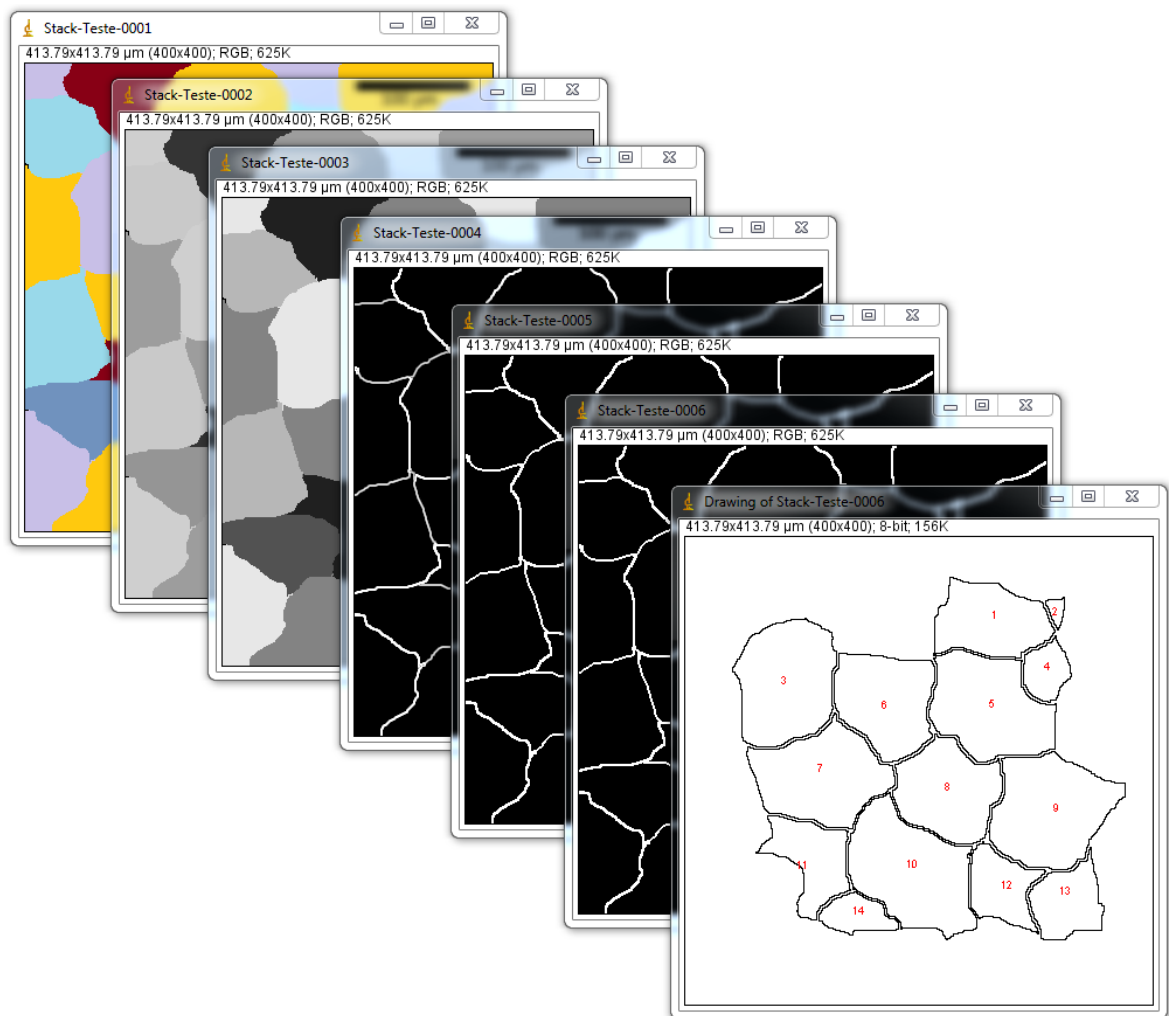
**Tabela 4.3 - Fatores de Influência**  
 Exemplo com dados fictícios para compreensão da montagem da tabela.

Fator	Faixa	Grupo A				Grupo B			
		Espec 1		Espec 2		Espec 3		Espec 4	
		$\mu_{11}$	$\mu_{21}$	$\mu_{12}$	$\mu_{22}$	$\mu_{13}$	$\mu_{23}$	$\mu_{14}$	$\mu_{24}$
P1	F1	1,0	0,0	0,9	0,1	1,0	0,2	0,8	0,3
	F2	0,9	0,2	0,6	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6
	F3	0,7	0,4	0,3	0,8	0,6	0,5	0,2	0,9
P2	F1	0,9	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3	0,8	0,1
	F2	0,8	0,3	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4
	F3	0,3	0,7	0,1	0,9	0,5	0,7	0,0	0,9
P3	F1	0,9	0,1	0,8	0,2	1,0	0,1	0,7	0,3
	F2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5
	F3	0,3	0,6	0,5	0,8	0,4	0,7	0,1	0,9
P4	F1	0,9	0,2	1,0	0,1	0,8	0,3	0,7	0,4
	F2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6
	F3	0,2	0,8	0,3	0,7	0,1	0,8	0,0	0,9
A1	F1	1,0	0,0	0,9	0,1	1,0	0,2	0,8	0,3
	F2	0,9	0,2	0,6	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6
	F3	0,7	0,4	0,3	0,8	0,6	0,5	0,2	0,9
A2	F1	0,9	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3	0,8	0,1
	F2	0,8	0,3	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4
	F3	0,3	0,7	0,1	0,9	0,5	0,7	0,0	0,9
A3	F1	0,9	0,1	0,8	0,2	1,0	0,1	0,7	0,3
	F2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5
	F3	0,3	0,6	0,5	0,8	0,4	0,7	0,1	0,9
A4	F1	0,9	0,2	1,0	0,1	0,8	0,3	0,7	0,4
	F2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6
	F3	0,2	0,8	0,3	0,7	0,1	0,8	0,0	0,9
L1	F1	1,0	0,0	0,9	0,1	1,0	0,2	0,8	0,3
	F2	0,9	0,2	0,6	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6
	F3	0,7	0,4	0,3	0,8	0,6	0,5	0,2	0,9
L2	F1	0,9	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3	0,8	0,1
	F2	0,8	0,3	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4
	F3	0,3	0,7	0,1	0,9	0,5	0,7	0,0	0,9
L3	F1	0,9	0,1	0,8	0,2	1,0	0,1	0,7	0,3
	F2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5
	F3	0,3	0,6	0,5	0,8	0,4	0,7	0,1	0,9
L4	F1	0,9	0,2	1,0	0,1	0,8	0,3	0,7	0,4
	F2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6
	F3	0,2	0,8	0,3	0,7	0,1	0,8	0,0	0,9
G1	F1	1,0	0,0	0,9	0,1	1,0	0,2	0,8	0,3
	F2	0,9	0,2	0,6	0,3	0,8	0,4	0,5	0,6
	F3	0,7	0,4	0,3	0,8	0,6	0,5	0,2	0,9
G2	F1	0,9	0,2	0,8	0,2	1,0	0,3	0,8	0,1
	F2	0,8	0,3	0,6	0,4	0,8	0,4	0,6	0,4
	F3	0,3	0,7	0,1	0,9	0,5	0,7	0,0	0,9
G3	F1	0,9	0,1	0,8	0,2	1,0	0,1	0,7	0,3
	F2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	0,5
	F3	0,3	0,6	0,5	0,8	0,4	0,7	0,1	0,9
G4	F1	0,9	0,2	1,0	0,1	0,8	0,3	0,7	0,4
	F2	0,6	0,3	0,7	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6
	F3	0,2	0,8	0,3	0,7	0,1	0,8	0,0	0,9

## 5 RESULTADOS

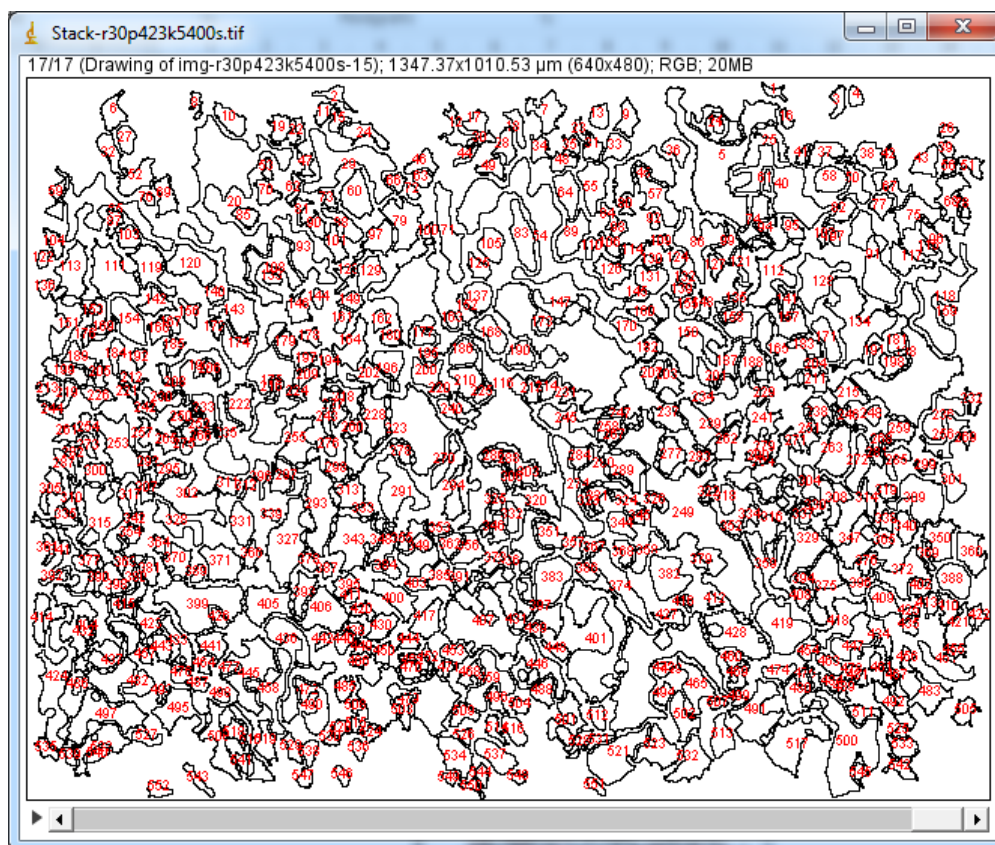
Aqui encontram-se os dados e as medidas obtidas das imagens cedidas (constantes do ANEXO A) e processadas (passo a passo no APÊNDICE B).

Assim como o exemplo criado com a imagem base, cada imagem do ANEXO A foi trabalhada com recursos de PADI (Figura 5.1).

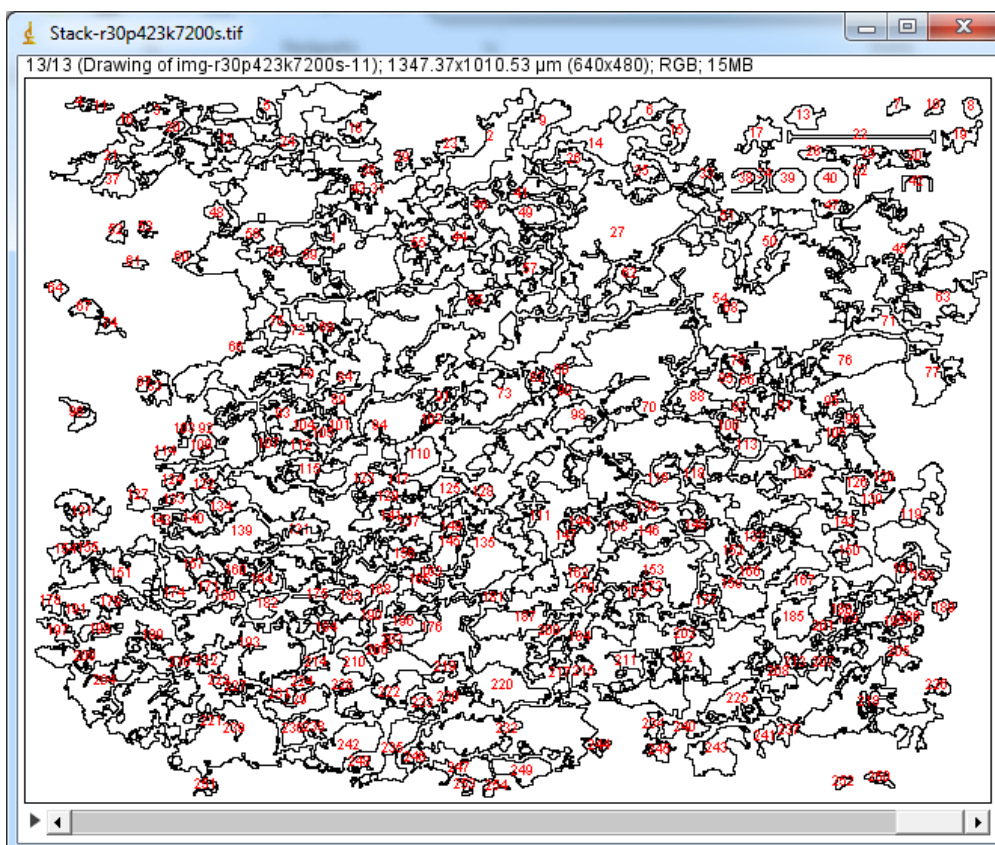


**Figura 5.1 - Recursos de PADI aplicados à imagem base**

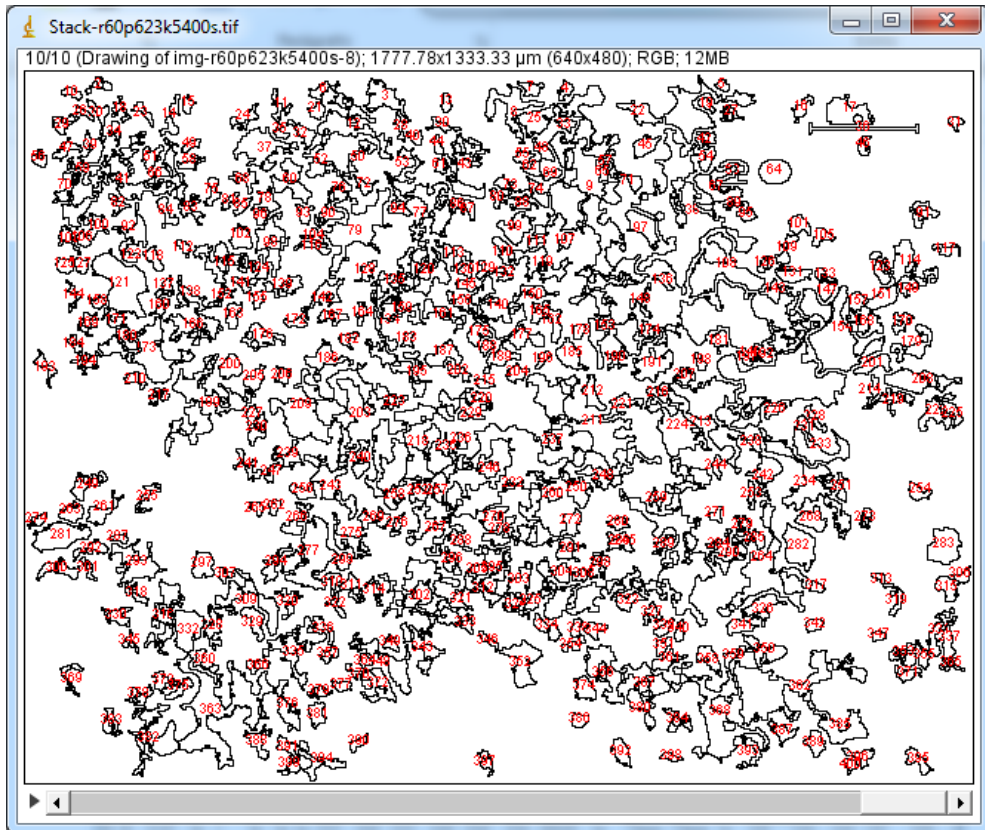




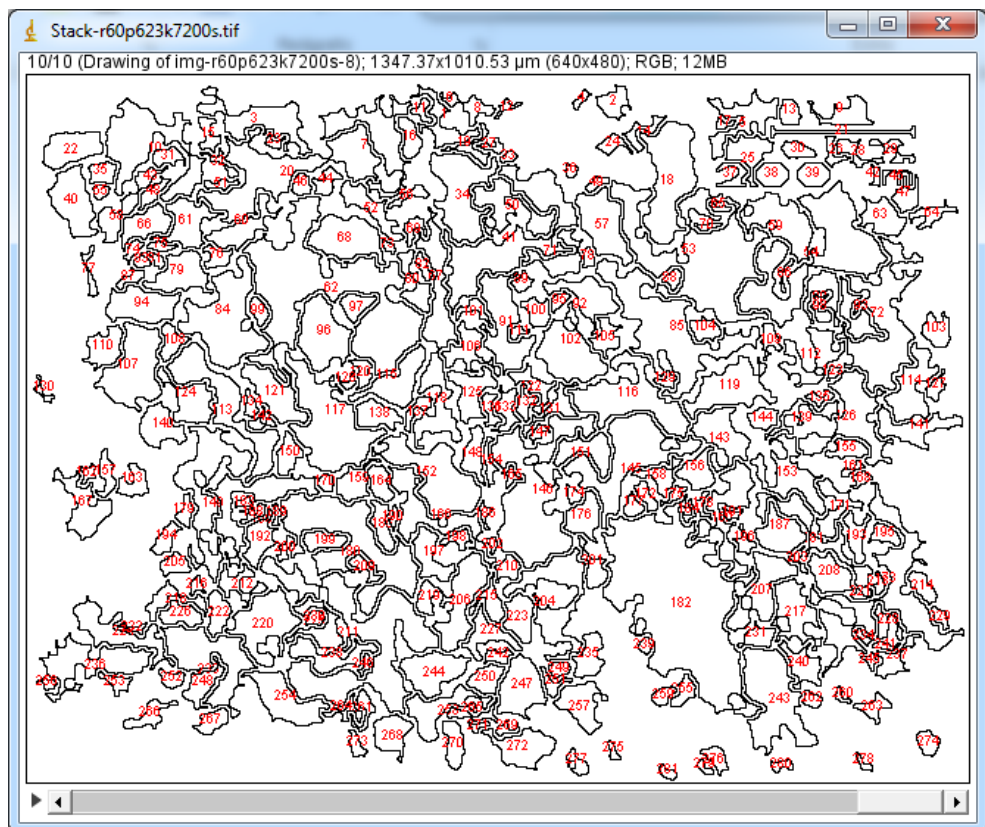
**Figura 5.2 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.1**



**Figura 5.3 - Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.2**

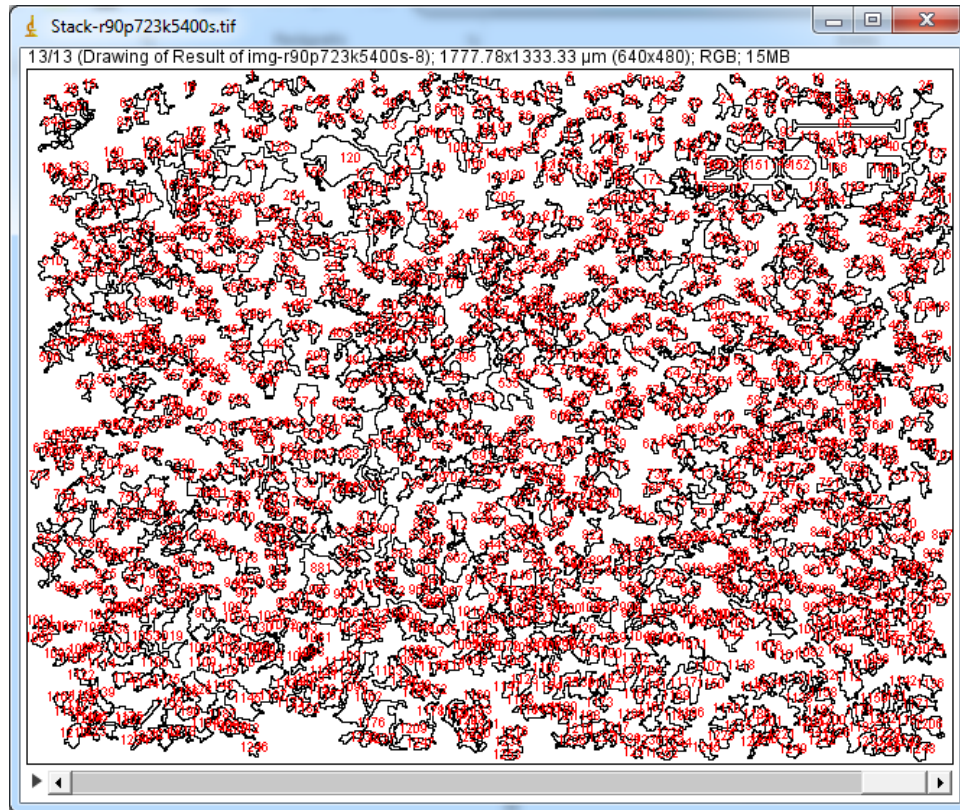


**Figura 5.4 – Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.3**

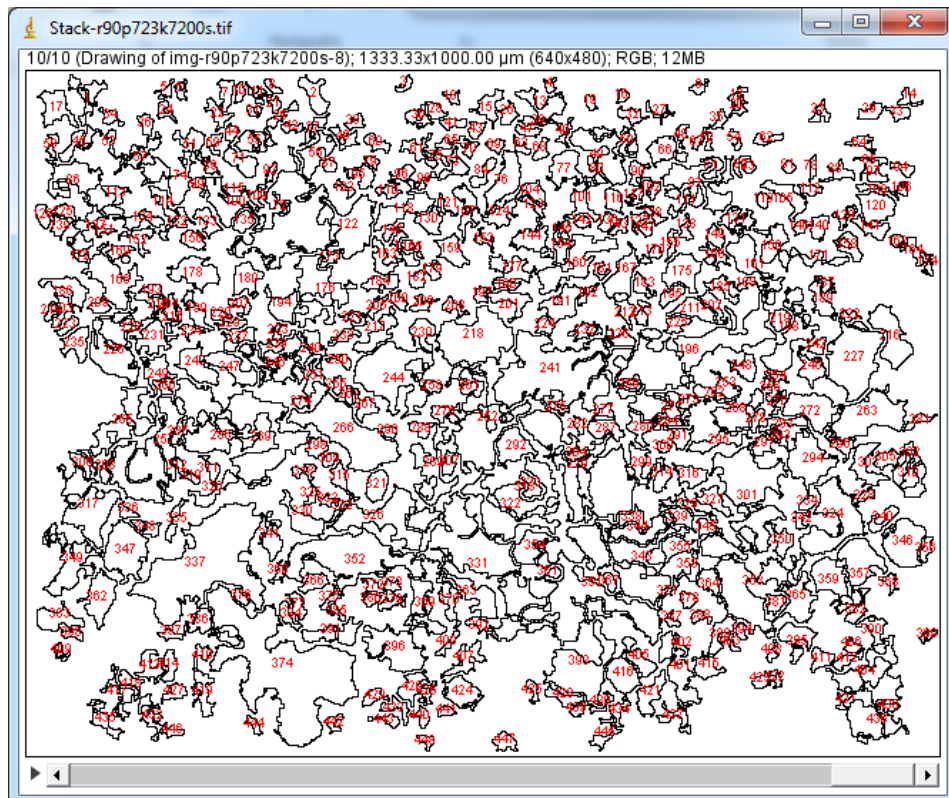


**Figura 5.5 - Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.4**





**Figura 5.6 - Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.5**



**Figura 5.7 - Resultado obtido na aplicação de PADI à imagem da Figura 10.6**

Tabela 5.1 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.2

A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	3,141593	Label	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	r	d
2		1	69,444	882,422	12,109	882,422	12,109	54,253	25,087	17708,33	4080	875	18,75	41,634	8,612	4,702	9,40313
3		2	334,201	1033,942	17,708	1033,942	17,708	119,281	43,351	85221,35	19635	1016,667	4,167	-35,218	21,542	10,314	20,62809
4		3	199,653	214,312	23,777	214,312	23,777	113,388	32,609	50911,46	11730	204,167	6,25	-63,435	22,694	7,972	15,94384
5		4	581,597	424,798	22,59	424,798	22,59	170,501	68,116	148307,3	34170	393,75	18,75	-23,429	28,194	13,606	27,21236
6		5	581,597	1123,041	30,628	1123,041	30,628	133,507	48,77	148307,3	34170	1112,5	54,167	70,017	22,917	13,606	27,21236
7		6	438,368	1146,462	24,495	1146,462	24,495	81,694	30,76	111783,9	25755	1141,667	8,333	-61,699	20,833	11,813	23,62514
8		7	134,549	754,402	17,843	754,402	17,843	55,979	18,634	34309,9	7905	745,833	14,583	-26,565	13,258	6,544	13,08866
9		8	9422,743	958,609	110,882	958,609	110,882	915,353	221,814	2402799	553605	889,583	10,417	-61,991	151,051	54,766	109,5327
10		9	1093,75	117,369	46,809	117,369	46,809	179,427	61,273	278906,3	64260	112,5	72,917	72,181	36,967	18,659	37,31763
11		10	99,826	534,284	27,219	534,284	27,219	78,033	31,801	25455,73	5865	525	41,667	58,392	7,536	5,637	11,27397
12		11	1605,903	719,11	44,381	719,11	44,381	258,68	63,362	409505,2	94350	716,667	77,083	80,538	50,428	22,609	45,21835
13		12	156,25	795,081	24,248	795,081	24,248	56,189	23,754	39843,75	9180	787,5	33,333	52,125	11,869	7,052	14,10474
14		13	338,542	232,879	33,761	232,879	33,761	130,561	40,074	86328,13	19890	227,083	16,667	-81,027	18,75	10,381	20,76162
15		14	117,188	631,52	26,736	631,52	26,736	57,915	23,754	29882,81	6885	622,917	16,667	-52,125	9,878	6,108	12,21509
16		15	117,188	250,193	28,819	250,193	28,819	41,963	16,796	29882,81	6885	247,917	20,833	-82,875	10,417	6,108	12,21509
17		16	186,632	574,007	33,212	574,007	33,212	68,479	22,535	47591,15	10965	570,833	20,833	-56,31	16,271	7,708	15,41516
18		17	108,507	620,125	29,292	620,125	29,292	45,415	17,18	27669,27	6375	618,75	20,833	-75,964	10,252	5,877	11,75395
19		18	138,889	751,628	32,487	751,628	32,487	73,866	33,914	35416,67	8160	739,583	22,917	-42,51	9,177	6,649	13,29808
1011		1010	56,424	594,151	989,503	594,151	989,503	36,576	13,975	14388,02	3315	587,5	985,417	-26,565	8,333	4,238	8,475923
1012		1011 Mean	705,6	653,812	511,362	653,812	511,362	130,582	41,532	179928,1	41455,43	642,331	507,51	-11,11	23,665	14,987	29,97329
1013		1012 SD	1599,4	380,602	271,971	380,602	271,971	161,82	35,134	407847	93967,94	380,631	272,986	54,912	20,837	22,563	45,1267
1014		1013 Min	52,083	9,215	12,109	9,215	12,109	24,285	10,417	13281,25	3060	2,083	4,167	-87,274	5,357	4,072	8,143349
1015		1014 Max	33324,65	1322,292	989,503	1322,292	989,503	3087,619	409,018	849786	1957890	1318,75	997,917	87,879	318,121	102,993	205,9861
1016																	
1017	Image	Count	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	IntDen								
1018	img-r30p423k5400s.tif	1010	130,582	41,532	642,331	507,51	-11,11	23,665	179928,1								
1019																	
1020																	
img1-um-Results																	
r = Area / PI																	
d = 2 * r																	

Tabela 5.2 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.3

A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z
1	3,141593	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	r	d
2	1	73,785	494,547	8,885	494,547	8,885	48,361	17,678	18815,1	4335	489,583	2,083	-45	9,649	4,846	9,692573
3	2	62812,5	387,077	212,347	387,077	212,347	8257,049	508,487	16017188	3690360	208,333	439,583	56,701	350,547	141,400	282,7991
4	3	117,188	902,045	15,471	902,045	15,471	89,103	30,971	29882,81	6885	891,667	4,167	-47,726	10,97	6,108	12,21509
5	4	164,931	68,311	13,596	68,311	13,596	57,915	23,292	42057,29	9690	56,25	10,417	-26,565	13,646	7,246	14,49126
6	5	221,354	230,494	23,019	230,494	23,019	85,651	30,334	56445,31	13005	227,083	35,417	74,055	15,845	8,394	16,78799
7	6	134,549	1104,872	13,206	1104,872	13,206	72,14	30,76	34309,9	7905	1089,583	22,917	28,301	10,068	6,544	13,08866
8	7	5742,188	638,255	88,435	638,255	88,435	746,823	178,548	1464258	337365	579,167	147,917	48,311	79,214	42,753	85,50544
9	8	460,069	928,931	26,022	928,931	26,022	98,151	34,485	117317,7	27030	920,833	8,333	-64,983	24,641	12,101	24,20285
10	9	156,25	1295,023	18,171	1295,023	18,171	57,915	20,833	39843,75	9180	1287,5	25	53,13	13,986	7,052	14,10474
11	10	2747,396	901,94	89,22	901,94	89,22	666,017	136,2	700585,9	161415	887,5	10,417	-83,853	59,209	29,572	59,14468
12	11	73,785	103,37	19,056	103,37	19,056	50,802	17,922	18815,1	4335	95,833	14,583	-35,538	11,785	4,846	9,692573
13	12	190,972	28,741	23,532	28,741	23,532	66,248	24,385	48697,92	11220	14,583	20,833	-19,983	14,583	7,797	15,59337
14	13	78,125	119,676	23,958	119,676	23,958	37,796	13,34	19921,88	4590	116,667	18,75	-51,34	10,417	4,987	9,973557
15	14	598,958	1042,316	35,477	1042,316	35,477	247,105	62,673	152734,4	35190	1012,5	39,583	15,422	31,076	13,808	27,61552
16	15	1302,083	1080,132	49,785	1080,132	49,785	263,771	78,312	332031,3	76500	1050	58,333	28,61	40,054	20,358	40,71687
17	16	716,146	89,122	34,665	89,122	34,665	197,018	64,885	182617,2	42075	56,25	33,333	-5,528	21,476	15,098	30,19645
18	17	186,632	306,08	36,071	306,08	36,071	76,813	23,754	47591,15	10965	300	25	-52,125	17,527	7,708	15,41516
19	18	290,799	334,064	39,101	334,064	39,101	108,001	38,302	74153,65	17085	320,833	25	-45	17,096	9,621	19,24206
688	688	52,083	1143,924	984,028	1143,924	984,028	47,855	13,34	13281,25	3060	1139,583	979,167	-38,66	10,252	4,072	8,143349
690	689 Mean	909,591	658,2091	503,1503	658,2091	503,1503	194,729	44,23358	231945,7	53440,29	641,1519	504,5512	-0,41499	24,94831	11,96103	23,92206
691	690 SD	3078,051	385,5771	276,9148	385,5771	276,9148	422,6936	47,70156	784903	180841,6	386,2188	277,5124	44,11646	28,73898	12,1111	24,2222
692	691 Min	52,083	8,734	8,885	8,734	8,885	24,791	10,417	13281,25	3060	4,167	2,083	-88,512	4,167	4,071675	8,143349
693	692 Max	62812,5	1315,99	984,028	1315,99	984,028	8257,049	508,487	16017188	3690360	1304,167	979,167	83,991	350,547	141,3996	282,7991
694																
695	Image	Count	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret								
696	img-r30p423k7200s.tif	688	194,729	44,234	641,152	504,551	-0,415	24,948	231945,7							
697																
img2-µm-Results																
r = Area / PI																
d = 2 * r																



Tabela 5.3 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.4

A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z
	Label	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFerret	r	d
1	3,141593															
2	1	61,444	351,963	9,007	351,963	9,007	34,601	14,131	15668,12	2040	349,192	2,771	-78,69	8,314	4,422	8,844938
3	2	6198,124	1257,239	70,017	1257,239	70,017	759,21	175,276	1580522	205785	1197,229	96,998	18,435	111,338	44,418	88,83522
4	3	522,271	138,813	25,431	138,813	25,431	184,092	51,773	133179	17340	110,855	36,028	15,524	30,174	12,894	25,78713
5	4	122,887	598,441	15,589	598,441	15,589	47,983	20,176	31336,24	4080	590,3	13,857	-15,945	11,085	6,254	12,50858
6	5	245,774	363,482	22,517	363,482	22,517	87,176	27,714	62672,48	8160	357,506	11,085	-53,13	21,074	8,845	17,6898
7	6	2557,59	669,342	47,284	669,342	47,284	403,457	101,977	652185,5	84915	645,727	11,085	-47,203	63,701	28,533	57,06509
8	7	192,011	1533,395	17,681	1533,395	17,681	48,655	20,176	48962,87	6375	1524,249	13,857	-15,945	13,857	7,818	15,63573
9	8	576,034	1009,977	33,903	1009,977	33,903	133,535	40,352	146888,6	19125	997,691	52,656	74,055	26,5	13,541	27,0819
10	9	391,703	1304,415	24,969	1304,415	24,969	80,96	29,848	99884,26	13005	1288,684	22,171	-21,801	22,171	11,166	22,3323
11	10	176,65	1613,475	25,605	1613,475	25,605	77,041	35,491	45045,84	5865	1601,848	36,028	38,66	12,126	7,499	14,99726
12	11	768,045	554,439	33,339	554,439	33,339	193,275	62,279	195851,5	25500	529,33	44,342	20,854	28,862	15,636	31,27148
13	12	783,406	946,203	30,295	946,203	30,295	161,921	51,101	199768,5	26010	920,092	16,628	-12,529	27,714	15,791	31,58265
14	13	215,053	989,475	24,051	989,475	24,051	54,198	22,343	54838,42	7140	981,062	30,485	29,745	16,628	8,274	16,54733
15	14	61,444	228,291	23,903	228,291	23,903	25,139	11,758	15668,12	2040	224,48	19,4	-45	8,314	4,422	8,844938
16	15	138,248	744,573	27,714	744,573	27,714	52,574	21,106	35253,27	4590	739,954	38,799	66,801	13,638	6,634	13,26736
17	16	84,485	594,709	28,343	594,709	28,343	42,44	16,16	21543,66	2805	590,3	36,028	59,036	8,314	5,186	10,37158
18	17	3317,955	905,645	66,057	905,645	66,057	577,02	120,737	846078,4	110160	870,208	30,485	-58,134	90,533	32,498	64,99655
19	18	176,65	619,52	32,112	619,52	32,112	55,821	19,985	45045,84	5865	612,471	24,942	-56,31	13,857	7,499	14,99726
1349	1348	76,805	1101,617	1321,663	1101,617	1321,663	40,816	17,745	19585,15	2550	1094,688	1327,483	38,66	9,244	4,944	9,888941
1350	1349 Mean	606,385	816,418	659,71	816,418	659,71	134,149	38,092	154628,2	20132,7	803,954	657,504	-7,411	21,654	13,893	27,78621
1351	1350 SD	1778,139	465,45	374,069	465,45	374,069	247,877	38,342	453425,5	59036,32	464,915	374,478	48,563	23,885	23,791	47,58148
1352	1351 Min	53,763	10,046	9,007	10,046	9,007	23,516	9,992	13709,6	1785	5,543	2,771	-85,236	5,378	4,137	8,273644
1353	1352 Max	31635,78	1760,508	1321,663	1760,508	1321,663	3444,61	410,134	8067123	1050345	1757,044	1327,483	85,426	297,032	100,349	200,6986
1354																
1355	Image	Count	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFerret	IntDen							
1356	img-r60p623k5400s.tif	1348	134,149	38,092	803,954	657,504	-7,411	21,654	154628,2							
1357																

Tabela 5.4 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.5

A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z
	Label	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	r	d
1	3,141593															
2	1	73,785	1180,208	13,664	1180,208	13,664	44,404	19,764	18815,1	4335	1177,083	22,917	71,565	7,257	4,846	9,692573
3	2	160,59	387,979	16,357	387,979	16,357	56,189	23,754	40950,52	9435	381,25	8,333	-37,875	11,785	7,150	14,29928
4	3	1979,167	588,414	67,795	588,414	67,795	445,552	112,577	504687,5	116280	552,083	12,5	-38,991	62,905	25,100	50,19914
5	4	1306,424	829,758	37,69	829,758	37,69	186,453	53,4	333138	76755	804,167	29,167	-20,556	45,898	20,392	40,78469
6	5	4778,646	327,722	62,507	327,722	62,507	641,053	179,082	1218555	280755	245,833	20,833	-29,249	72,1	39,001	78,00231
7	6	78,125	808,681	20,833	808,681	20,833	34,85	15,167	19921,88	4590	802,083	18,75	-15,945	8,333	4,987	9,973557
8	7	273,438	783,284	33,35	783,284	33,35	81,99	32,609	69726,56	16065	775	47,917	63,435	13,478	9,329	18,65883
9	8	3255,208	1012,544	61,703	1012,544	61,703	519,837	126,827	830078,1	191250	968,75	116,667	42,337	83,709	32,190	64,37903
10	9	78,125	1157,87	23,264	1157,87	23,264	38,511	17,18	19921,88	4590	1150	20,833	-14,036	6,25	4,987	9,973557
11	10	277,778	598,958	33,333	598,958	33,333	89,818	31,732	70833,33	16320	583,333	25	-23,199	20,195	9,403	18,80633
12	11	212,674	758,822	36,671	758,822	36,671	83,42	36,443	54231,77	12495	752,083	25	-59,036	12,78	8,228	16,45554
13	12	5316,84	491,691	85,212	491,691	85,212	840,512	159,78	1355794	312375	412,5	56,25	-39,71	130,29	41,139	82,27765
14	13	894,097	635,629	47,168	635,629	47,168	154,34	49,036	227994,8	52530	614,583	37,5	-12,265	38,877	16,870	33,74018
15	14	1749,132	1161,324	53,399	1161,324	53,399	296,303	98,821	446028,6	102765	1104,167	35,417	-18,435	41,667	23,596	47,19178
16	15	8320,313	169,349	99,924	169,349	99,924	804,232	166,992	2121680	488835	139,583	31,25	-56,706	136,589	51,463	102,926
17	16	473,09	558,859	49,188	558,859	49,188	114,103	37,558	120638	27795	558,333	31,25	-70,56	29,463	12,271	24,54296
18	17	286,458	678,03	44,35	678,03	44,35	118,27	45,739	73046,88	16830	660,417	60,417	30,069	19,659	9,549	19,0979
19	18	104,167	507,639	42,535	507,639	42,535	46,129	19,764	26562,5	6120	506,25	33,333	-71,565	9,251	5,758	11,51649
20	19	863,715	1078,732	52,204	1078,732	52,204	113,807	42,184	220247,4	50745	1068,75	33,333	-57,095	30,98	16,581	33,16197
500	499 Mean	1374,308	699,967	481,85	699,967	481,85	181,057	55,249	350448,5	80743,34	682,61	477,979	-12,248	31,134	20,915	41,83089
501	500 SD	2944,565	369,687	280,149	369,687	280,149	240,314	53,984	750864	172999,1	370,722	280,593	49,958	32,719	30,615	61,23019
502	501 Min	52,083	16,22	13,664	16,22	13,664	24,285	10,417	13281,25	3060	6,25	8,333	-87,614	5,337	4,072	8,143349
503	502 Max	33233,51	1310,497	985,637	1310,497	985,637	1614,061	347,092	8474544	1952535	1306,25	981,25	86,76	243,089	102,852	205,7042
504																
505	Slice	Count	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	IntDen				r = Area / PI		d = 2 * r	
506	img-r60p623k7200s.tif	498	181,057	55,249	682,61	477,979	-12,248	31,134	350448,5							
507																

img4-µm-Results

Tabela 5.5 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.6

A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z
	Label	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	r	d
1	3,141593															
2	1	192,011	429,173	14,023	429,173	14,023	101,508	26,145	48962,87	6375	418,476	24,942	32,005	19,04	7,818	15,63573
3	2	153,609	664,018	13,303	664,018	13,303	50,278	20,176	39170,3	5100	659,584	2,771	-74,055	13,718	6,993	13,98503
4	3	84,485	1498,173	9,196	1498,173	9,196	62,036	24,788	21543,66	2805	1488,222	16,628	26,565	11,861	5,186	10,37158
5	4	291,857	774,085	16,191	774,085	16,191	101,229	36,028	74423,57	9690	756,582	22,171	22,62	16,132	9,639	19,27703
6	5	253,455	831,535	13,143	831,535	13,143	110,019	36,975	64630,99	8415	814,781	16,628	12,995	16,466	8,982	17,9641
7	6	53,763	981,656	10,492	981,656	10,492	29,059	13,857	13709,6	1785	975,52	5,543	-36,87	7,894	4,137	8,273644
8	7	107,526	954,339	15,44	954,339	15,44	48,655	17,528	27419,21	3570	950,577	24,942	71,565	12,775	5,850	11,7007
9	8	199,692	1039,154	19,506	1039,154	19,506	62,987	22,343	50921,39	6630	1036,49	8,314	-60,255	15,236	7,973	15,9454
10	9	268,816	1160,528	19,043	1160,528	19,043	102,18	38,601	68548,02	8925	1139,03	22,171	21,038	16,507	9,250	18,50046
11	10	168,97	1247,869	17,888	1247,869	17,888	58,117	24,788	43087,33	5610	1236,028	22,171	26,565	12,766	7,334	14,66763
12	11	238,094	1358,638	18,64	1358,638	18,64	87,176	35,491	60713,96	7905	1346,882	8,314	-38,66	16,487	8,706	17,41122
13	12	84,485	411,799	15,746	411,799	15,746	32,978	14,924	21543,66	2805	404,619	13,857	-21,801	8,314	5,186	10,37158
14	13	499,229	525,77	26,626	525,77	26,626	131,911	41,57	127303,5	16575	515,473	13,857	-36,87	29,381	12,606	25,21186
15	14	53,763	1216,034	15,638	1216,034	15,638	35,274	13,857	13709,6	1785	1211,085	11,085	-36,87	8,314	4,137	8,273644
16	15	176,65	1514,911	20,906	1514,911	20,906	60,413	23,84	45045,84	5865	1507,621	11,085	-54,462	15,389	7,499	14,99726
17	16	69,124	1713,164	14,319	1713,164	14,319	36,225	16,858	17626,63	2295	1704,388	13,857	-9,462	5,543	4,691	9,38144
18	17	53,763	221,115	21,577	221,115	21,577	38,521	16,16	13709,6	1785	218,938	13,857	-59,036	9,921	4,137	8,273644
19	18	629,797	878,826	24,604	878,826	24,604	144,899	56,116	160598,2	20910	850,808	16,628	-20,225	20,512	14,159	28,31753
2425	2424	61,444	1132,794	1318,476	1132,794	1318,476	38,521	18,591	15668,12	2040	1125,173	1321,94	26,565	6,726	4,422	8,844938
2426	2425 Mean	327,319	913,16	670,444	913,16	670,444	91,089	31,482	83466,35	10867,38	902,574	670,599	-1,066	17,444	10,207	20,415
2427	2426 SD	529,659	499,53	367,442	499,53	367,442	85,606	21,922	135063	17585,29	499,74	368,028	48,645	12,046	12,984	25,969
2428	2427 Min	53,763	7,544	9,196	7,544	9,196	23,516	9,992	13709,6	1785	5,543	2,771	-87,274	2,771	4,137	8,273644
2429	2428 Max	8463,857	1765,678	1319,4	1765,678	1319,4	1183,099	272,567	2158283	281010	1762,587	1324,711	85,601	126,237	51,905	103,81
2430																
2431	Slice	Count	Perim.	Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	IntDen							
2432	img-r90p723k5400s.tif	2424	91,089	31,482	902,574	670,599	-1,066	17,444	83466,35							
2432																

img5-µm-Results



Tabela 5.6 - Lista de dados, valores médios calculados e, resumo dos dados da Figura 5.7

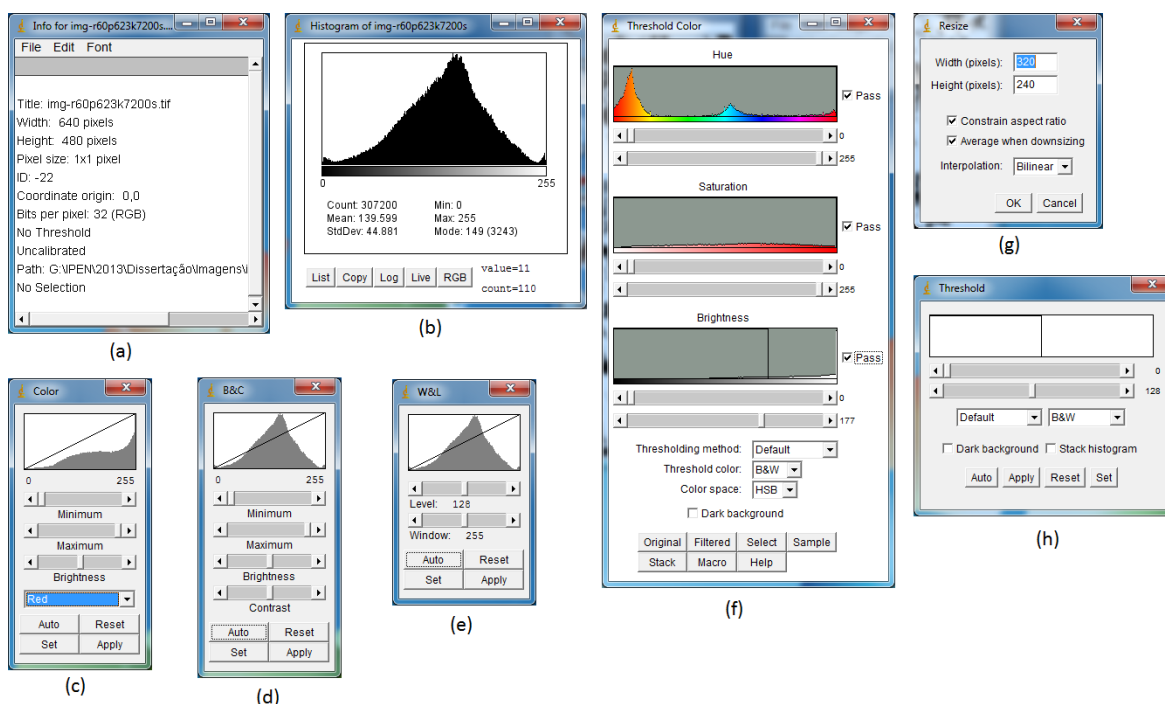
A	B	C	I	X	Y	J	K	L	M	N	O	T	U	V	W	X	Y	Z
1	3,141593	Area	X	Y	XM	YM	Perim.	Feret	IntDen	RawIntDe	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	r	d		
2	1	78,125	650,579	8,449	650,579	8,449	41,963	18,634	19921,88	4590	643,75	4,167	-26,565	8,099	4,987	9,973557		
3	2	186,632	973,377	11,119	973,377	11,119	69,194	26,104	47591,15	10965	964,583	20,833	28,61	16,777	7,708	15,41516		
4	3	82,465	13,432	12,774	13,432	12,774	43,183	19,207	21028,65	4845	6,25	18,75	49,399	9,783	5,123	10,24684		
5	4	1215,278	87,366	33,4	87,366	33,4	369,036	77,84	309895,8	71400	62,5	4,167	-74,476	55,898	19,668	39,33624		
6	5	1219,618	419,858	33,774	419,858	33,774	187,464	64,179	311002,6	71655	397,917	8,333	-54,246	38,65	19,703	39,40642		
7	6	121,528	444,717	14,286	444,717	14,286	49,076	19,764	30989,58	7140	441,667	22,917	71,565	10,225	6,220	12,43922		
8	7	256,076	552,066	19,439	552,066	19,439	91,039	31,25	65299,48	15045	539,583	29,167	53,13	16,984	9,028	18,05675		
9	8	212,674	1306,016	15,668	1306,016	15,668	89,313	31,801	54231,77	12495	1293,75	4,167	-31,608	17,229	8,228	16,45554		
10	9	121,528	1038,244	11,235	1038,244	11,235	40,742	15,167	30989,58	7140	1031,25	8,333	-15,945	12,5	6,220	12,43922		
11	10	208,333	155,99	20,312	155,99	20,312	75,087	26,352	53125	12240	152,083	33,333	71,565	12,5	8,143	16,28674		
12	11	73,785	365,502	13,051	365,502	13,051	36,576	15,023	18815,1	4335	358,333	8,333	-33,69	10,252	4,846	9,692573		
13	12	221,354	763,828	20,527	763,828	20,527	80,979	26,104	56445,31	13005	760,417	31,25	61,39	18,75	8,394	16,78799		
14	13	277,778	203,027	28,125	203,027	28,125	115,324	37,093	70833,33	16320	191,667	39,583	51,843	21,911	9,403	18,80633		
15	14	286,458	224,747	27,652	224,747	27,652	118,27	32,342	73046,88	16830	222,917	41,667	75,069	18,75	9,549	19,0979		
16	15	698,785	290,547	31,282	290,547	31,282	140,829	48,77	178190,1	41055	285,417	58,333	70,017	25	14,914	29,82819		
17	16	256,076	358,21	22,334	358,21	22,334	73,866	32,94	65299,48	15045	345,833	12,5	-34,695	13,123	9,028	18,05675		
18	17	299,479	981,567	23,204	981,567	23,204	88,598	32,609	76367,19	17595	966,667	27,083	26,565	17,935	9,764	19,52712		
19	18	308,16	310,637	30,502	310,637	30,502	80,474	33,657	78580,73	18105	302,083	45,833	68,199	15,592	9,904	19,80812		
1016	1015	52,083	1213,889	985,069	1213,889	985,069	28,957	11,219	13281,25	3060	1208,333	985,417	21,801	8,333	4,072	8,143349		
1017	1016	602,721	682,606	439,278	682,606	439,278	124,733	37,001	153693,9	35411,08	669,986	438,204	-2,724	21,148	13,851	27,702		
1018	1017	1546,275	380,222	288,895	380,222	288,895	174,814	31,889	394300,2	90846,76	380,598	288,527	48,793	20,069	22,185	44,371		
1019	1018	52,083	10,069	8,449	10,069	8,449	24,791	10,417	13281,25	3060	4,167	4,167	-88,898	4,167	4,072	8,143349		
1020	1019	21805,56	1323,542	986,939	1323,542	986,939	1706,284	277,772	5560417	1281120	1320,833	991,667	87,337	177,083	83,312	166,6244		
1021																		
1022	Slice	Total Area Feret	FeretX	FeretY	FeretAngl	MinFeret	IntDen	Median										
1023	img-r90p7	1015	611762,2	37,001	669,986	438,204	-2,724	21,148	153693,9	255								
1024																		

img6-µm-Results

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo deste estudo procurou tentar criar um recurso que auxiliasse um pesquisador que não possui domínio de Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI) a conseguir utilizá-la de forma satisfatória no andamento de sua pesquisa. Para que isso pudesse ser mostrado, buscou-se um contexto de interesse onde esta pesquisa pudesse ser realizada, os estudos da cinética de recristalização de ligas de alumínio-magnésio, procurando replicar o resultado obtido em trabalhos anteriores, porém, agora, através do recurso idealizado.

Foi pesquisado e analisado diversos recursos do software ImageJ para encontrar os mais diversos recursos que retornassem informações pontuais sobre uma imagem logo nas primeiras etapas da sequência padrão de PADI, principalmente na etapa de pré-processamento.



**Figura 6.1 - Recursos presentes no software ImageJ para coleta de informações das imagens**  
 (a) Menu Image, opção Show Info..., (b) Menu Analyze, opção Histogram, (c) Menu Image, opção Adjust >, opção Color Balance..., (d) Menu Image, opção Adjust >, opção Brightness/Contrast, (e) Menu Image, opção Adjust >, opção Window/Level, (f) Menu Image, opção Adjust >, opção Color Threshold..., (g) Menu Image, opção Adjust >, opção Size..., (h) Menu Image, opção Adjust >, opção Threshold

A razão para coletar o máximo de informações possíveis nas etapas iniciais é de fazer uso de todo e qualquer conhecimento prévio para que seja

possível determinar – a partir destes dados – uma sequência de procedimentos de pré-processamento que aumente a confiabilidade e o resultado da segmentação.

A possibilidade do uso da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) para realizar as decisões necessárias para a criação desta sequência de procedimentos pareceu bastante natural de início, devido aos trabalhos anteriores de aplicação da LPA em decisões complexas, principalmente através do Método Paraconsistente de Decisão (MPD).

No entanto, os dados coletados se mostraram insuficientes devido aos recursos de coleta de informação das imagens serem em sua maioria visuais e não descritivos (Figura 6.1 e APÊNDICE B).

Os dados descritivos coletados (Tabelas 5.1 a 5.6) das imagens são na grande maioria, dados de significância da imagem (ou de suas partes), não dados da imagem propriamente dita, ou seja, tais dados foram coletados após a etapa de pré-processamento, durante as etapas de segmentação e análise da imagem.

Durante a aplicação de recursos na etapa de pré-processamento, muitos caminhos foram trilhados até que um deles possibilitasse alcançar a próxima etapa, a segmentação. São os dados exatamente sobre estes passos da etapa de pré-processamento que deveriam ser analisados através do MPD, no entanto, a quantidade de dados coletados elegíveis como fatores de influência é inexpressiva para a aplicação da LPA. Dados estes que não são explorados como os de outras etapas, visto a quantidade de recursos desenvolvidos como *plugins* para softwares como o ImageJ.

## 7 CONCLUSÕES

Esta proposta pretendeu criar uma abordagem original para um problema recorrente, o pré-processamento de imagens e, certamente, uma intenção relevante quanto a disseminação do uso da tecnologia computacional em processamento e análise digital de imagens (PADI).

A agilidade do uso de PADI já foi confirmada em diversos trabalhos anteriores, no entanto, não se encontra ênfase sobre a necessidade de grande conhecimento específico para tal. Esta lacuna de informação é observada na utilização comum de recursos de PADI de forma questionável, ou ainda, na utilização indiscriminada de tais recursos, por exemplo, de arquivos JPEG para armazenamento de imagens para análise.

Quanto à escolha da LPA, na opinião do autor ainda é um caminho a ser explorado, pois o fator limitante não se encontra na lógica, mas sim, na falta de dados descritivos das imagens que possam ser coletados ou extraídos logo após a sua digitalização e, na forma da sua aplicação, pois dentro da ideia inicial de tomar uma decisão sobre o quanto uma amostra estaria recristalizada ou não, diversos fatores seriam considerados ao mesmo tempo para que uma resolução final fosse gerada. No entanto, ao abordar o problema de tomada de decisão ponto a ponto, ou seja, decidir a cada passo, cada recurso utilizado na imagem objetivando chegar a uma determinada situação satisfatória, a LPA deveria também ser aplicada a cada momento

Os métodos metalográficos têm a finalidade de gerar imagens que sejam passíveis de interpretação, que é função do pesquisador experimentado e da LPA, através do armazenamento do conhecimento específico – crença – deste e de outros pesquisadores experimentados, sendo uma opção viável para a Gestão do Conhecimento nesta área.

Porém, por mais que a LPA possa auxiliar estes métodos, sem conseguir a quantidade e qualidade de informação necessária (experimentado neste estudo),

o processo não será convergente e sua utilidade se torna vulnerável a problemas de interpretação.

## 8 APÊNDICE A – Instalação do software ImageJ

Por se tratar de um software livre criado com a linguagem de programação Java, o ImageJ é um sistema multiplataforma, ou seja, consegue ser executado não somente em computadores com o sistema operacional Windows, mas também em qualquer outro sistema operacional que possua a Máquina Virtual Java (JVM) disponível, como por exemplo, Mac OS e Linux.

Entretanto, como o estudo foi efetuado em computadores com Windows 7, este processo de instalação é voltado para este sistema operacional. Portanto, para a instalação do software ImageJ em ambiente Windows 7 são necessários alguns passos.

### 8.1 Verificar se o sistema operacional é de 32 ou 64 bits

Clique no botão iniciar do Windows (Figura 8.1, em destaque) e no menu do lado direito, clique com o botão direito do *mouse* no item “Computador”.

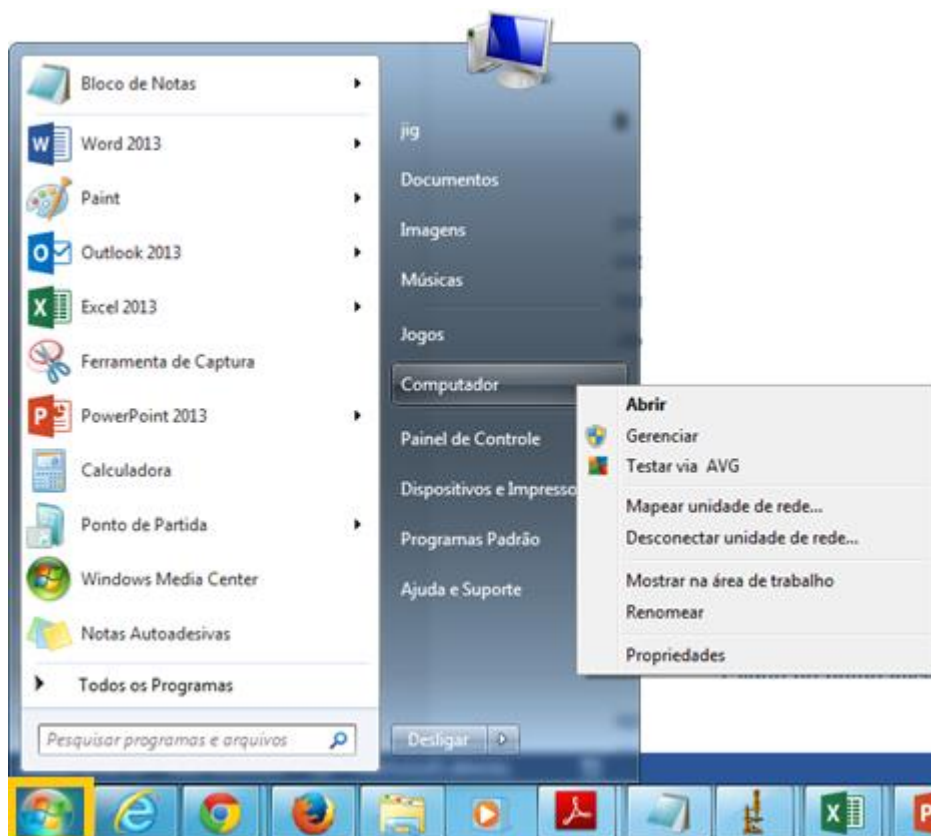
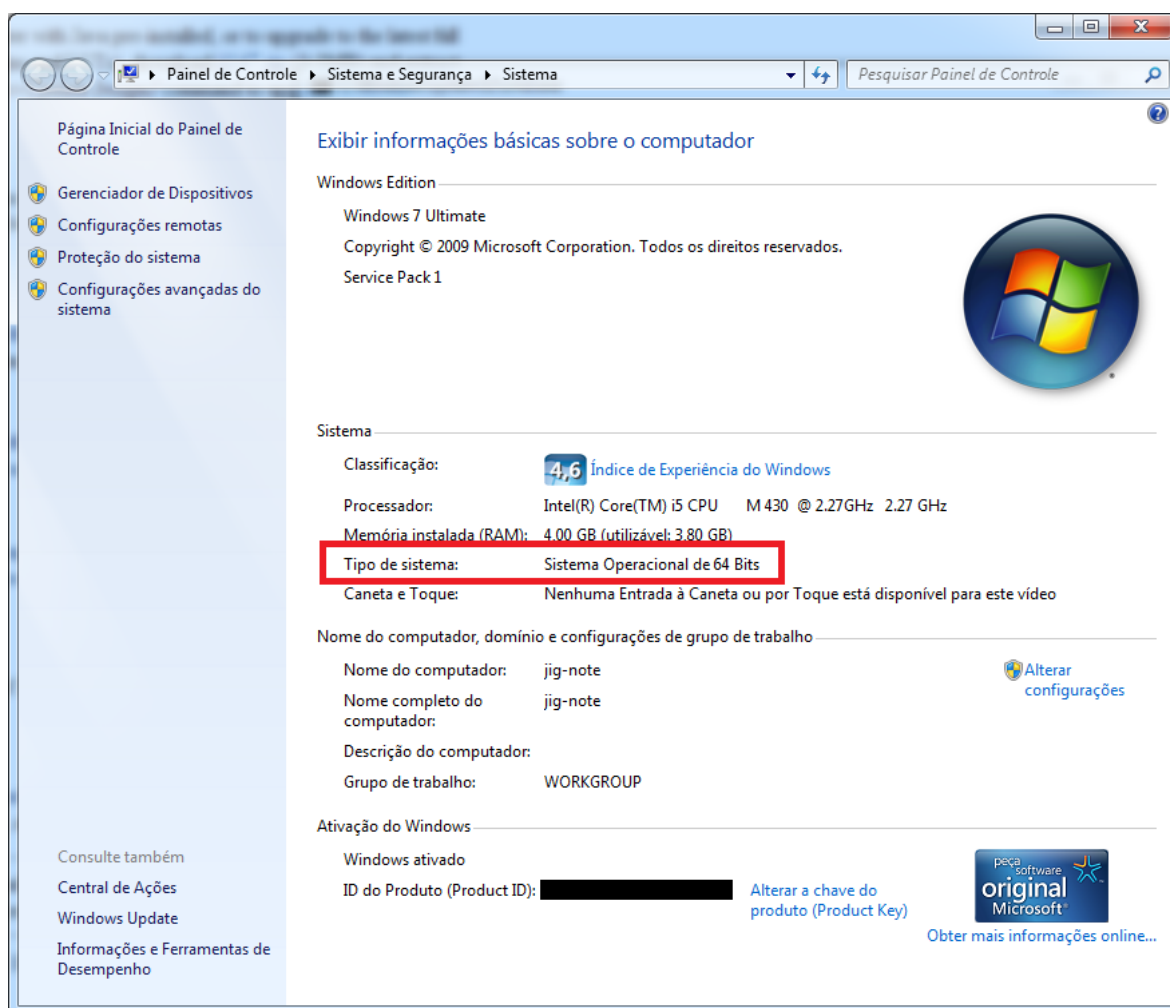


Figura 8.1 - Botão iniciar do Windows 7

No menu de atalho que aparece, clique na opção “Propriedades”. A Figura 8.2 é apresentada.



**Figura 8.2 - Informações do computador e do sistema operacional**

Nesta figura encontra-se em destaque o local que informa se o Windows 7 instalado no computador é de 32 ou de 64 bits. Como será visto adiante, ter esta informação em mãos é de grande importância para a instalação correta do software ImageJ.

## **8.2 Verificar se o computador possui o compilador Java instalado**

Clique no botão iniciar do Windows e digite “cmd” na caixa de texto que aparece logo acima do botão iniciar. O programa “cmd.exe” surge no topo da lista de programas (Figura 8.3). Clique no programa “cmd.exe” para executá-lo.

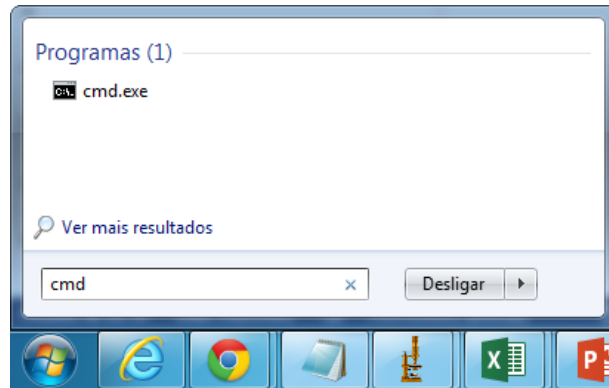


Figura 8.3 - Abrir o prompt de comando do Windows 7

Com o *prompt* de comando aberto, digite “java” e pressione a tecla Enter (Figura 8.4).

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\jig>java
Uso: java [-options] class [args...]
        (para executar uma classe)
    ou java [-options] -jar jarfile [args...]
        (para executar um arquivo jar)
em que as opções incluem:
    -d32      usar um modelo de dados de 32 bits, se estiver disponível
    -d64      usar um modelo de dados de 64 bits, se estiver disponível
    -server   para selecionar a UM "server"
    -hotspot  U um sinônimo da UM "server" [obsoleto]
              A UM default U server.

    -cp <caminho de pesquisa da classe dos diretórios e arquivos zip/jar>
    -classpath <caminho de pesquisa da classe dos diretórios e arquivos zip/jar>
              Uma lista separada por ; de diretórios, arquivos JAR
              e arquivos ZIP nos quais serão procurados os arquivos de classe.
    -D<nome>=<valor>
              define uma propriedade do sistema
    -verbose[:class[:gc[:jni]]
              ativa a saída detalhada
    -version  imprime a versão do produto e sai do programa
    -version:<valor>
              requer a execução da versão especificada
    -showversion
              imprime a versão do produto e continua
    -jre-restrict-search | -no-jre-restrict-search
              inclui/exclui JREs privados do usuário na pesquisa de versão
    -? -help  imprime esta mensagem de ajuda
    -X       imprime a ajuda sobre opções não padronizadas
    -ea[:<nome do pacote>...[:<nome da classe>]]
    -enableassertions[:<nome do pacote>...[:<nome da classe>]]
              ativa asserções com granularidade especificada
    -da[:<nome do pacote>...[:<nome da classe>]]
    -disableassertions[:<nome do pacote>...[:<nome da classe>]]
              desativa asserções com granularidade especificada
    -esa | -enablesystemassertions
              ativa asserções do sistema
    -dsa | -disablesystemassertions
              desativa asserções do sistema
    -agentlib:<nome da biblioteca>[=<opções>]
              carrega a biblioteca de agentes nativa <nome da biblioteca>, e
    .g. -agentlib:hprof
              consulte também, -agentlib:jdwp=help and -agentlib:hprof=help
    -agentpath:<nome do caminho>[=<opções>]
              carrega a biblioteca de agentes nativa com base no nome do cam
    inho completo
    -javaagent:<caminho do arquivo jar>[=<opções>]
              carrega o agente da linguagem de programação Java; consulte ja
    va.lang.instrument
    -splash:<caminho da imagem>
              mostra a tela de abertura com a imagem especificada
    Consulte http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/documentation/index.html
    para ver mais detalhes.

C:\Users\jig>
  
```

Figura 8.4 – JRE instalado no computador



Caso o computador não tenha o Java instalado (pelo menos o Java *Runtime Environment* – JRE), a exibição da tela será diferente da mostrada na Figura 8.4.

### **8.3 Escolher o software ImageJ adequado**

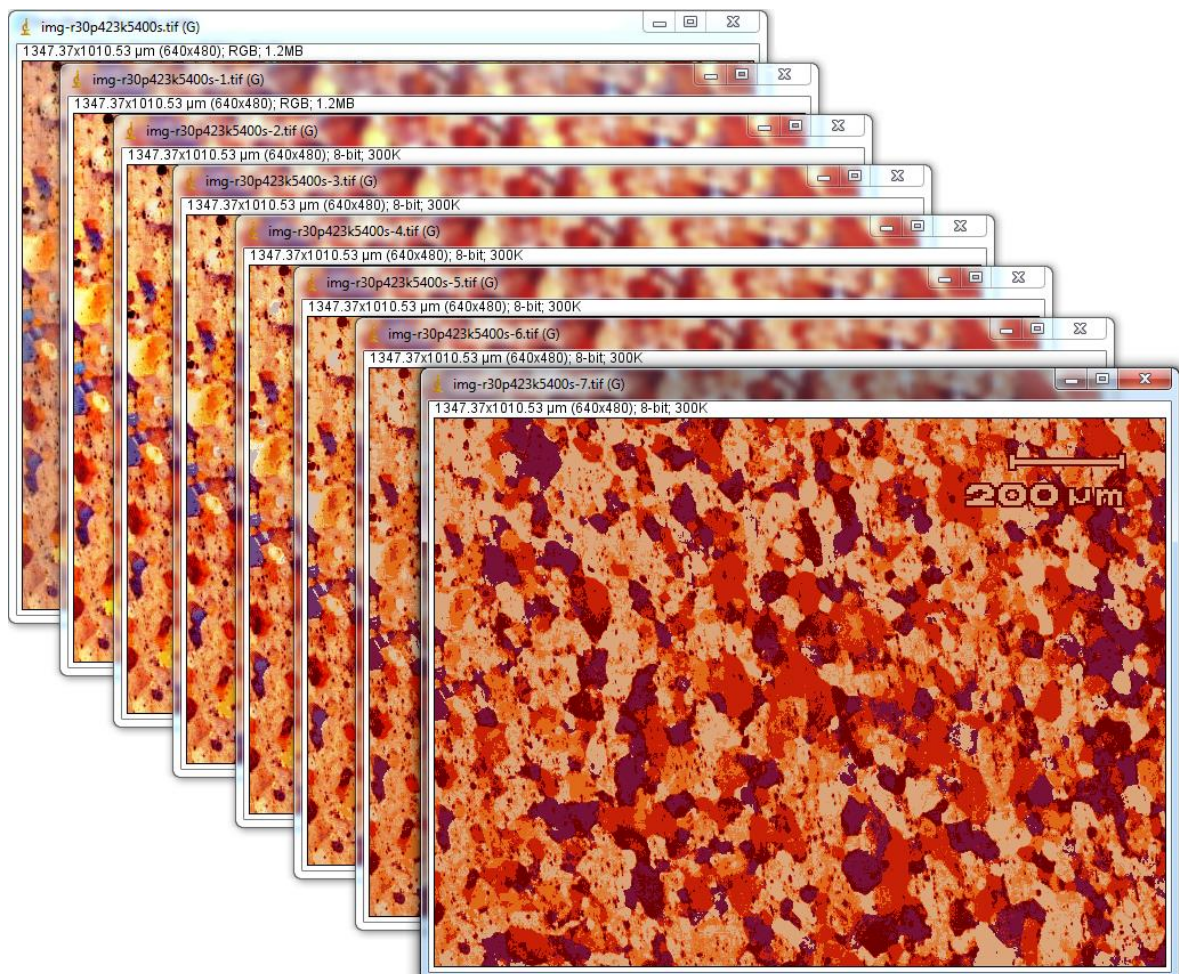
Acessando o endereço da página de download do software ImageJ na internet (<http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html>), no tópico “Windows” são apresentadas três distribuições diferentes. A escolha de cada uma delas depende das informações anteriores já conhecidas:

- Se o computador possuir o sistema operacional de 64 bits e, não apresentar o JRE instalado, neste caso deve-se baixar a distribuição de 25 MB que já contém o JRE de 64 bits (“*bundled with 64-bit Java*”).
- Se o computador possuir o sistema operacional de 32 bits e, não apresentar o JRE instalado, neste caso deve-se baixar a distribuição de 28 MB que já contém o JRE de 32 bits (“*32-bit Java*”).
- Se o computador possuir qualquer versão do sistema operacional (de 32 ou de 64 bits) e, apresentar um ambiente Java já instalado, neste caso, é possível baixar a distribuição de apenas 5 MB (“*without Java*”).

Após baixar qualquer um dos instaladores (arquivos com a terminação .EXE), basta executá-lo através de um duplo clique para que o processo de instalação tenha início. Siga as instruções quando exibidas na tela e, ao término da instalação, o software ImageJ se encontrará pronto para ser utilizado.

## 9 APÊNDICE B – Imagens processadas

Cada uma das imagens do ANEXO A foram processadas de forma a gerar novos os dados para a pesquisa.



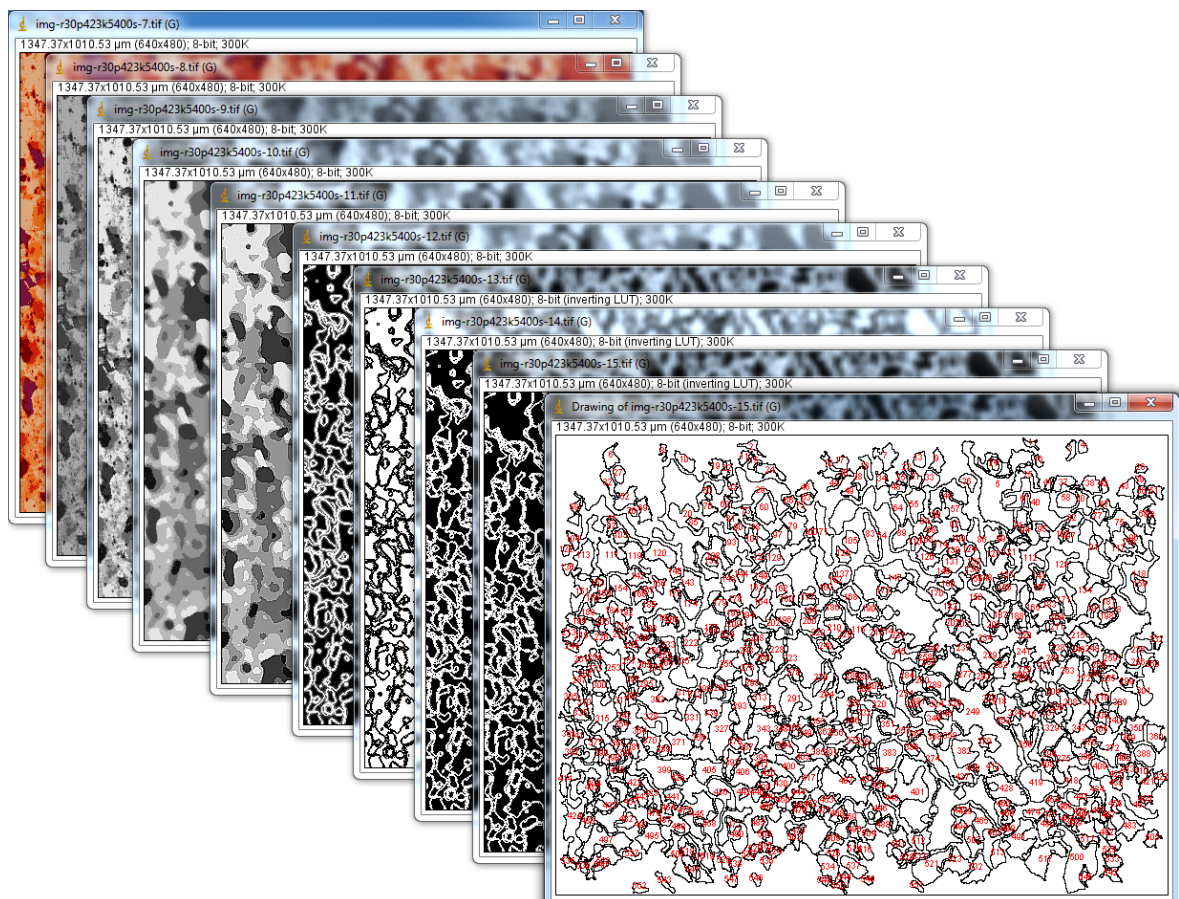
*Figura 9.1 - Redução de número de cores da imagem da Figura 10.1*

### 9.1 Processamento da primeira imagem

1. Percebe-se que na imagem original há uma quantidade maior de tons terra avermelhado, apesar da existência de outras cores pontuais. É preciso inicialmente tentar aumentar o contraste entre estas cores para tentar distinguir melhor as mesmas (Menu Process, opção Enhance Contrast..., preencha o campo Saturated pixels com 0, a caixa

de marcação `Equilize histogram` deve estar marcada – clique no botão `OK`);

- Apesar do maior contraste na nova imagem, ainda predomina tons vermelho terra, porém, fica possível identificar visualmente a predominância de 6 (seis) cores (vermelho, marrom, bege, amarelo, azul e violeta), portanto, deve-se transformar a imagem para que fique com a quantidade de cores predominantes analisadas. No caso de uma transformação direta (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit Color`, entre com o valor 6 no campo apresentado e clique no botão `OK`), surgirá uma problema ao tentar realçar o contraste em seguida, então, deve-se transformar a imagem primeiro num padrão de 128 cores (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit Color`, entre com o valor 128 no campo apresentado e clique no botão `OK`), em seguida, transformar novamente esta imagem no padrão RGB (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `RGB Color`), repetir as transformações para `8-bit Color` e RGB para os valores de `8-bit Color` de 64, 32, 16, 8 e 6 (Figura 9.1);



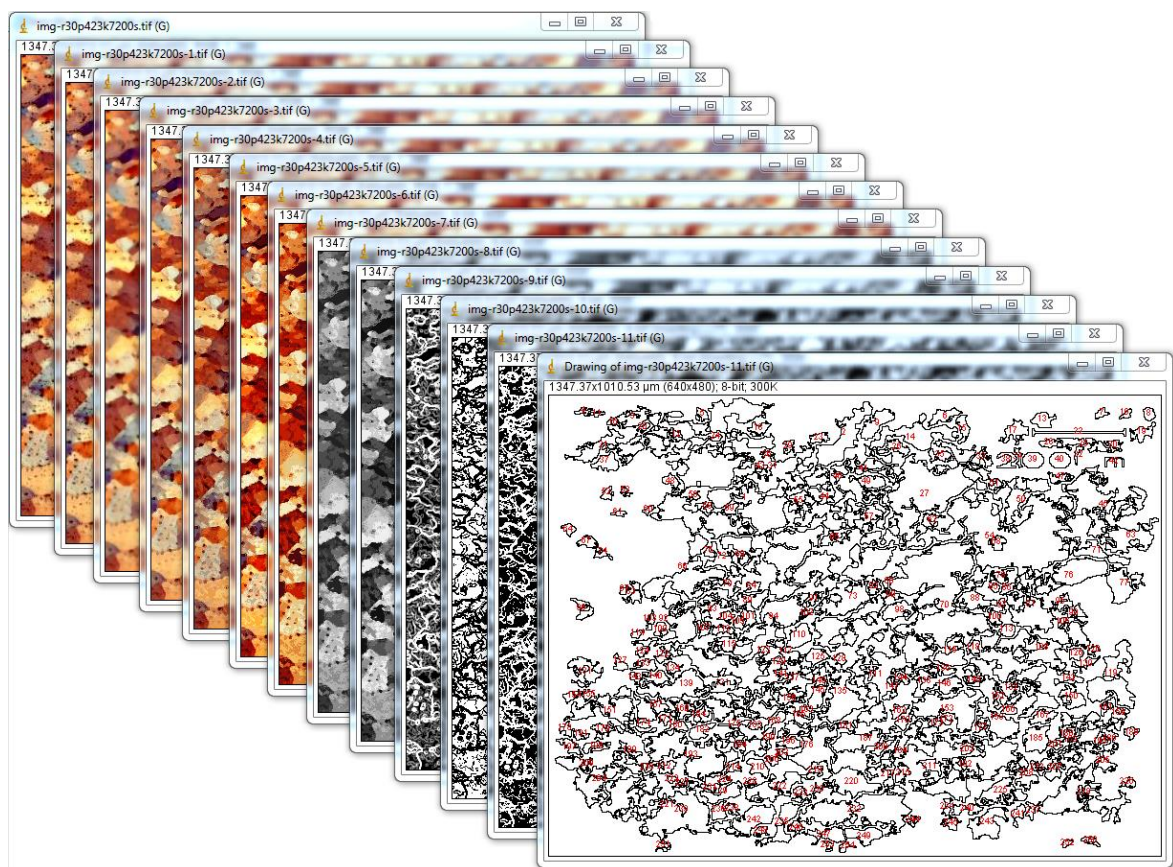
**Figura 9.2 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.1**

3. Agora podemos transformar esta imagem numa imagem de 8 bits de tons de cinza (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit`). Porém, note que alguns tons de cinza parecem muito próximos (é possível verificar isso pelo histograma da imagem);
4. Novamente, para aumentar o contraste da imagem basta equalizar o histograma (Menu `Process`, opção `Enhance Contrast...`, preencha o campo `Saturated pixels` com 0, a caixa de marcação `Normalize` deve estar desmarcada e, a caixa de marcação `Equilize histogram` deve estar marcada – clique no botão `OK`);
5. Na nova imagem formada, nota-se muitos pequenos pontos (ruídos) que dificultam a visualização das bordas entre as cores distintas, então, aplica-se nesta imagem um filtro de mediana para remoção de ruídos na imagem (Menu `Process`, opção `Filters >`, opção `Median...`, preencha o campo `Radius` com o valor 4 e clique no botão `OK`);
6. A imagem agora parece um pouco embaçada, é importante buscar realçar os limites entre os tons de cinza (Menu `Process`, opção `Sharpen`);
7. Com a imagem em alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu `Process`, opção `Find Edges`);
8. No entanto, como a imagem não é ainda uma imagem binária, é preciso transformá-la (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Make Binary`);
9. Após tornar a imagem binária - com fundo preto e objetos brancos - é preciso inverter as cores da imagem (Menu `Edit`, opção `Invert`) para fundo branco com objetos pretos;
10. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
11. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, pois percebe-se que os contornos estão bem delineados, o que possibilita fazer uma análise das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `50-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a



escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo *Circularity* com 0.00–1.00, na caixa de seleção *Show* escolha a opção *Outlines* e, marque as caixas de marcação *Display results*, *Exclude on edges*, *Clear results* e *Summarize*, as outras deixe desmarcadas, clique no botão *OK*);

12. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela *Results*, *Meu Results*, opção *Summarize*).



*Figura 9.3 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.2*

## 9.2 Processamento da segunda imagem

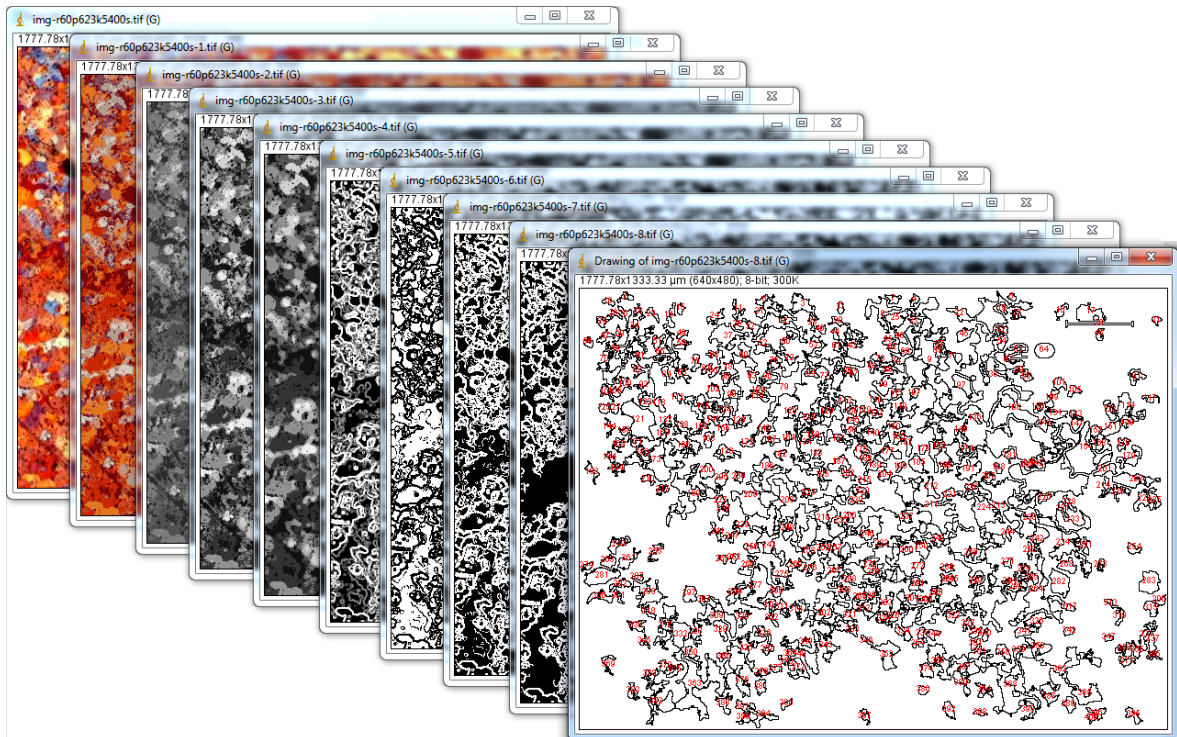
1. Percebe-se que na imagem original há uma grande quantidade de tons de cores, inclusive tons de uma mesma cor. Apesar do tom amarelado da imagem, fica difícil estabelecer uma predominância entre as cores presentes, além de um pouco de ruído (precipitados da amostra), então, em primeiro lugar deve-se aumentar o contraste da imagem (Menu *Process*, opção *Enhance Contrast...*, preencha o campo

- Saturated pixels com 0, marque a caixa de marcação Equilibre histogram e clique no botão OK);
2. A fim de minimizar os ruídos na imagem aplica-se o recurso de Desfoco Seletivo (Menu Process, opção Noise, opção Despeckle) duas vezes seguidas;
  3. A imagem agora um pouco desfocada, embaçada, precisa realçar a diferença entre as cores (Menu Process, opção Sharpen);
  4. Como a imagem ainda apresenta muitos tons de cores, deve-se reduzir somente um pouco a quantidade de tons da imagem colorida (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit Color, entre com o valor 128 no campo apresentado e clique no botão OK, em seguida, Menu Image, opção Type >, opção RGB Color). Repetir este processo para os valores de 64 e 32;
  5. Aumentar novamente o contraste da imagem (Menu Process, opção Enhance Contrast..., preencha o campo Saturated pixels com 0, marque a caixa de marcação Equilibre histogram e clique no botão OK);
  6. Novamente busca-se reduzir os tons de cores (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit Color), repetindo o processo definido no item 4 anterior para os valores 16 e 8;
  7. Agora deve-se transformar esta imagem numa imagem de 8 bits de tons de cinza (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit). Porém, note que alguns tons de cinza parecem muito próximos (é possível verificar isso pelo histograma da imagem);
  8. Para aumentar o contraste da imagem basta equalizar o histograma (Menu Process, opção Enhance Contrast..., preencha o campo Saturated pixels com 0, a caixa de marcação Normalize deve estar desmarcada e, a caixa de marcação Equilibre histogram deve estar marcada – clique no botão OK);
  9. Com a imagem em alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu Process, opção Find Edges);

10. No entanto, como a imagem não é ainda uma imagem binária, é preciso transformá-la (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Make Binary`);
11. Após tornar a imagem binária - com fundo preto e objetos brancos - é preciso inverter as cores da imagem (Menu `Edit`, opção `Invert`) para fundo branco com objetos pretos;
12. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
13. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, vejamos o que aparece numa análise das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `50-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo `Circularity` com `0.00-1.00`, na caixa de seleção `Show` escolha a opção `Outlines` e, marque as caixas de marcação `Display results`, `Exclude on edges`, `Clear results` e `Summarize`, as outras deixe desmarcadas, clique no botão `OK`);
14. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela `Results`, `Meu Results`, opção `Summarize`).

### **9.3 Processamento da terceira imagem**

1. Nesta imagem nota-se diversas cores pontilhadas, ou seja, grãos muito pequenos. Esta imagem também mistura a predominância de cores em três partes: o canto inferior direito apresenta tons terra avermelhado, ao centro na diagonal predomina tons de azul e, no canto superior esquerdo, amarelo avermelhado em tons vivos. O histograma mostra que não há ganho em equalizar as cores neste momento, portanto, em primeiro lugar deve-se reduzir as cores da (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit Color`, entre com o valor `128` no campo apresentado e clique no botão `OK`, em seguida, Menu `Image`, opção `Type >`, opção `RGB Color`). Repetir este processo para os valores de `64`, `32`, `16` e `8`;



**Figura 9.4 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.3**

2. Agora deve-se transformar esta imagem numa imagem de 8 bits de tons de cinza (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit);
3. Para aumentar o contraste da imagem basta equalizar o histograma (Menu Process, opção Enhance Contrast..., preencha o campo Saturated pixels com 0, a caixa de marcação Normalize deve estar desmarcada e, a caixa de marcação Equilibre histogram deve estar marcada – clique no botão OK);
4. A fim de minimizar os pontilhados (ruídos) na imagem aplica-se o recurso de Remoção das Discrepâncias (Menu Process, opção Filters >, opção Remove Outliers..., preencha o campo Radius com o valor 3, preencha o campo Threshold com o valor 1, escolha na caixa de seleção Which outliers a opção Bright e clique no botão OK);
5. Como a imagem já apresenta alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu Process, opção Find Edges);
6. No entanto, como a imagem não é ainda uma imagem binária, é preciso transformá-la (Menu Process, opção Binary >, opção Make Binary);

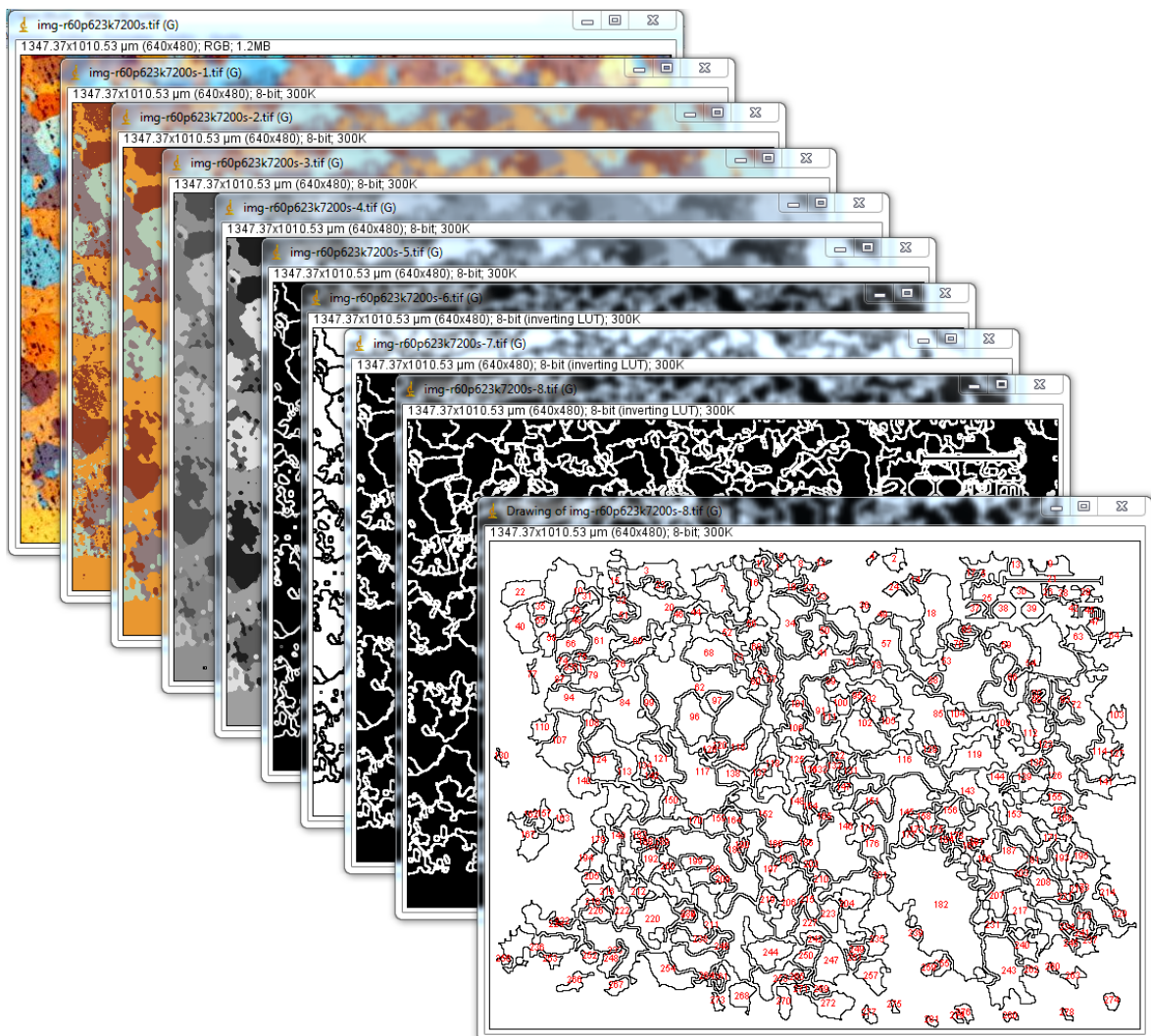


7. Após tornar a imagem binária - com fundo preto e objetos brancos - é preciso inverter as cores da imagem (Menu `Edit`, opção `Invert`) para fundo branco com objetos pretos;
8. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
9. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, vejamos o que aparece numa análise das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `50-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo `Circularity` com `0.00-1.00`, na caixa de seleção `Show` escolha a opção `Outlines` e, marque as caixas de marcação `Display results`, `Exclude on edges`, `Clear results` e `Summarize`, as outras deixe desmarcadas, clique no botão `OK`);
10. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela `Results`, `Meu Results`, opção `Summarize`).

#### **9.4 Processamento da quarta imagem**

1. Percebe-se que na imagem original há uma quantidade grande de tons de cores, inclusive de tons sobre tons (ou seja, vários tons de uma mesma cor). Olhando a imagem percebe-se que há predominantemente 4 (quatro) cores (azul, amarelo, marrom e laranja), então, inicialmente deve-se transformar a imagem original com muitos tons de cores numa imagem com a quantidade de cores predominantes analisadas (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit Color`, entre com o valor 4 no campo apresentado e clique no botão `OK`);
2. Na nova imagem formada, nota-se muitos pequenos pontos (ruídos) que dificultam a visualização das bordas entre as cores distintas, então, aplica-se nesta imagem o recurso de Desfoco Seletivo para remoção de

ruídos na imagem (Menu `Process`, opção `Noise`, opção `Despeckle`).  
Aplica-se este recurso 4 (quatro) vezes seguidas;



**Figura 9.5 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.4**

3. Agora podemos transformar esta imagem numa imagem de 8 bits de tons de cinza (Menu `Image`, opção `Type >`, opção `8-bit`). Porém, note que alguns tons de cinza parecem muito próximos (é possível verificar isso pelo histograma da imagem);
4. Para aumentar o contraste da imagem basta equalizar o histograma (Menu `Process`, opção `Enhance Contrast...`, preencha o campo `Saturated pixels` com `0`, a caixa de marcação `Normalize` deve estar desmarcada e, a caixa de marcação `Equilize histogram` deve estar marcada – clique no botão `OK`);
5. Com a imagem em alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu `Process`, opção `Find Edges`);

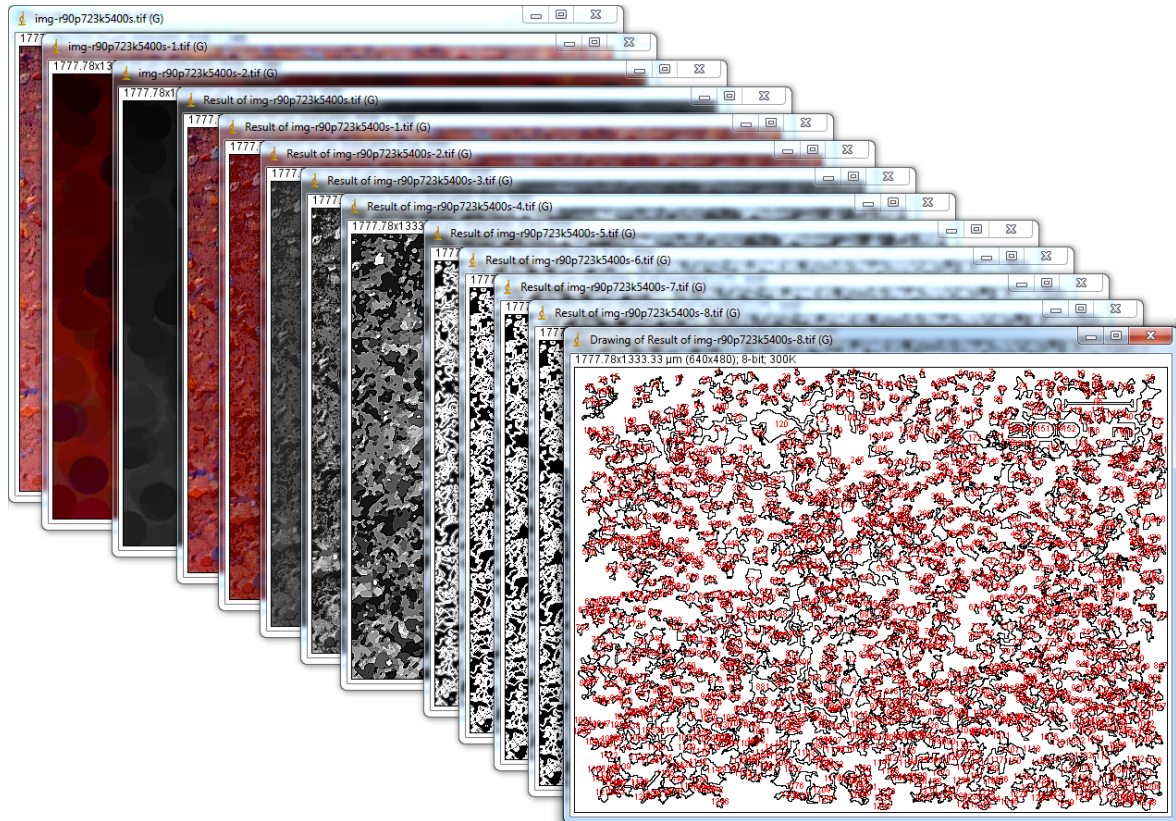
6. No entanto, como a imagem não é ainda uma imagem binária, é preciso transformá-la (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Make Binary`);
7. Após tornar a imagem binária - com fundo preto e objetos brancos - é preciso inverter as cores da imagem (Menu `Edit`, opção `Invert`) para fundo branco com objetos pretos;
8. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
9. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, pois percebe-se que os contornos estão bem delineados, o que possibilita fazer uma análise das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `50-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo `Circularity` com `0.00-1.00`, na caixa de seleção `Show` escolha a opção `Outlines` e, marque as caixas de marcação `Display results`, `Exclude on edges`, `Clear results` e `Summarize`, as outras deixe desmarcadas, clique no botão `OK`);
10. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela `Results`, `Meu Results`, opção `Summarize`).

### **9.5 Processamento da quinta imagem**

1. Na imagem inicial nota-se que o tom terra avermelhado é praticamente o “fundo” da imagem, com pequenos grãos em cores diversas “salpicados” por toda a imagem. Portanto, deve-se buscar homogeneizar este “fundo”. Primeiro cria-se uma duplicata da imagem (Menu `Image`, opção `Duplicate...` e, clique no botão `OK`);
2. Nesta nova imagem aplica-se um filtro passa-baixa (Menu `Process`, opção `Filters >`, opção `Minimum...`, preencha o campo `Radius` com o valor `20` e, clique no botão `OK`);

3. Deve-se converter esta nova imagem para 8 bits (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit);

11.

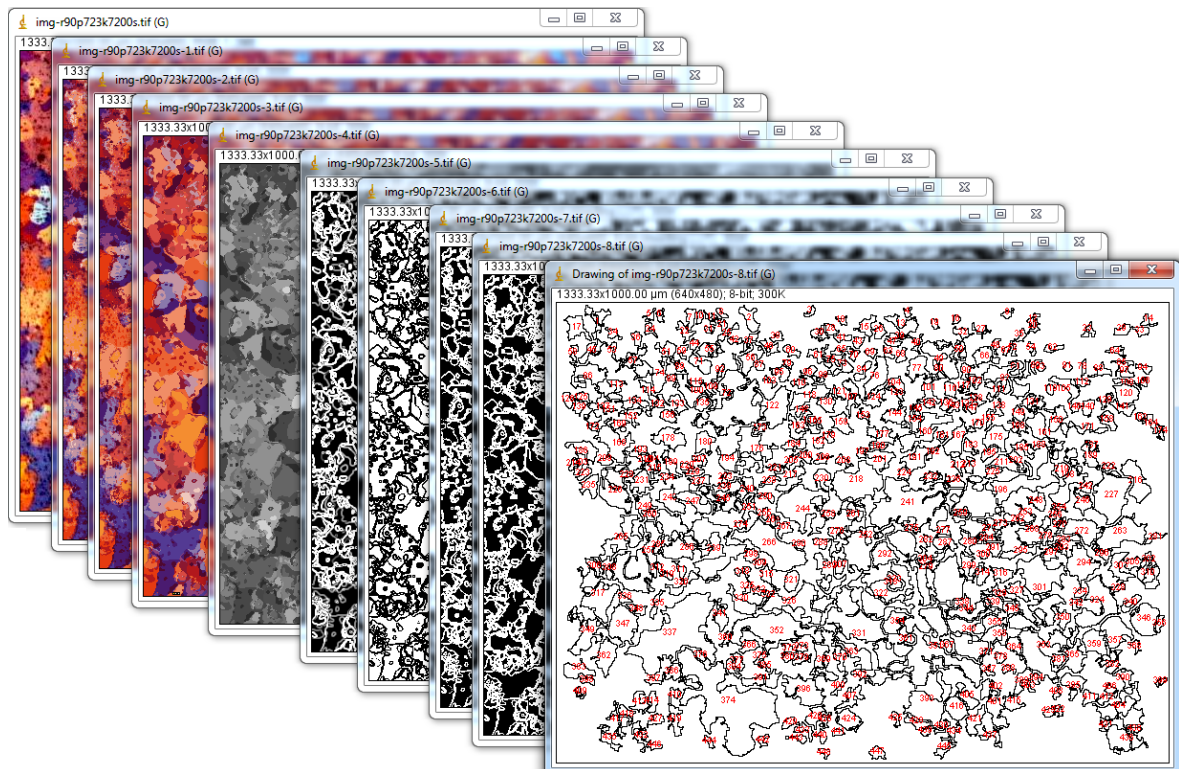


**Figura 9.6 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.5**

4. Agora subtrai-se da imagem original a segunda imagem gerada (Menu Process, opção Image Calculator..., escolha na caixa de seleção Image1 a imagem original, na caixa de seleção Operation escolha a operação Subtract, na caixa de seleção Image2 escolha a nova imagem criada, marque as caixa de marcação Create new window e desmarque 32-bit (float) result, clique no botão OK);
5. Nesta nova imagem com o “fundo” mais homogêneo é necessário transformá-la em 8 bits, reduzindo a quantidade de tons de cinza (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit Color, entre com o valor 128 no campo apresentado e clique no botão OK, em seguida, Menu Image, opção Type >, opção RGB Color). Repetir este processo para os valores de 64, 32, 16 e 8;
6. Agora transforma-se a imagem no padrão de 8 bits de tons de cinza (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit);

7. Para aumentar o contraste da imagem basta equalizar o histograma (Menu `Process`, opção `Enhance Contrast...`, preencha o campo `Saturated pixels` com 0, a caixa de marcação `Normalize` deve estar desmarcada e, a caixa de marcação `Equilize histogram` deve estar marcada – clique no botão `OK`);
8. A fim de minimizar os ruídos na imagem aplica-se o recurso de Desfoco Seletivo (Menu `Process`, opção `Noise`, opção `Despeckle`) duas vezes seguidas;
9. A imagem agora um pouco desfocada, embaçada, precisa realçar a diferença entre as cores (Menu `Process`, opção `Sharpen`);
10. Com a imagem em alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu `Process`, opção `Find Edges`);
11. No entanto, como a imagem não é ainda uma imagem binária, é preciso transformá-la (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Make Binary`);
12. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
13. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, vejamos o que aparece numa análise das partículas, buscando tamanhos menores (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `20-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo `Circularity` com `0.00-1.00`, na caixa de seleção `Show` escolha a opção `Outlines` e, marque as caixas de marcação `Display results`, `Exclude on edges`, `Clear results` e `Summarize`, as outras deixe desmarcadas, clique no botão `OK`);
14. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela `Results`, `Meu Results`, opção `Summarize`).





**Figura 9.7 - Recursos de PADI aplicados à imagem da Figura 10.6**

## **9.6 Processamento da sexta imagem**

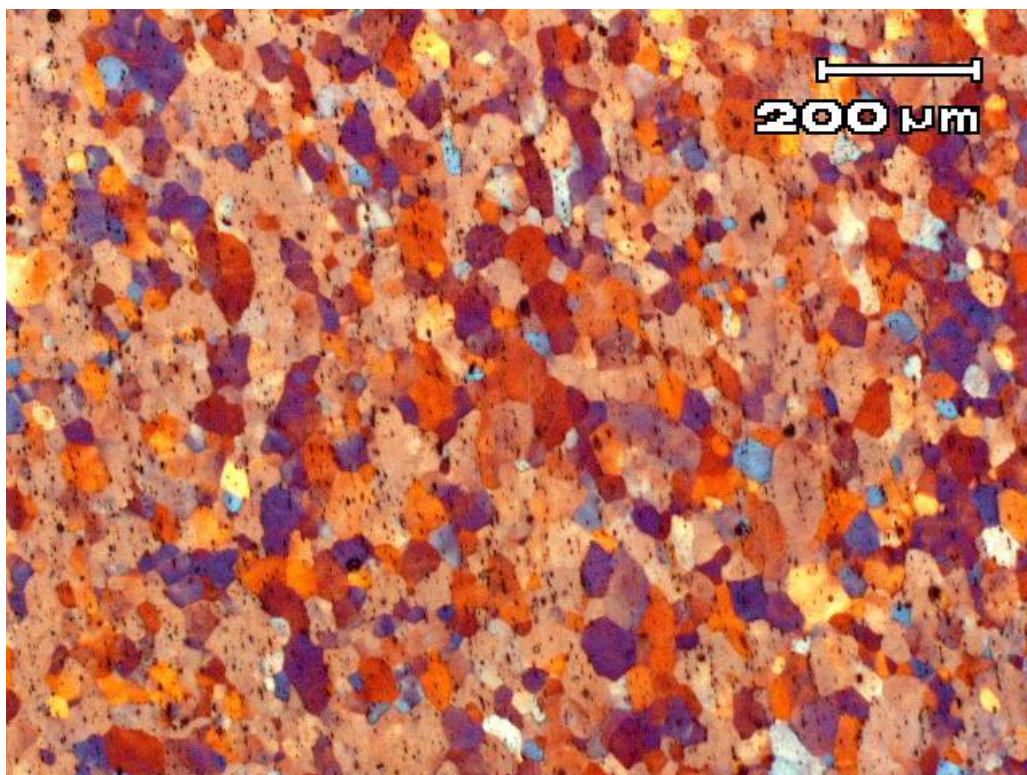
1. Percebe-se que na imagem original há uma grande quantidade de cores, apesar da predominância de tons de vermelho. Nesta imagem, em primeiro lugar deve-se reduzir o número de cores para um padrão de 8 bits (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit Color, entre com o valor 16 no campo apresentado e clique no botão OK);
2. A imagem resultante apresenta muito ruído, deve-se minimizar este ruído (Menu Process, opção Filters >, opção Remove Outliers..., preencha o campo Radius com o valor 6, preencha o campo Threshold com o valor 1, escolha na caixa de seleção Which outliers a opção Bright e clique no botão OK);
3. A fim de minimizar os ruídos na imagem aplica-se o recurso de Desfoco Seletivo (Menu Process, opção Noise, opção Despeckle duas vezes seguidas);
4. A imagem resultante é bem nítida com boa definição dos limites entre as cores, então, converte-se a imagem para o padrão de 8 bits de tons de cinza (Menu Image, opção Type >, opção 8-bit);

5. Verificando o histograma da imagem gerada, é possível criar uma imagem melhor para detecção de bordas aumentando o contraste da imagem (Menu `Process`, opção `Enhance Contrast...`, preencha o campo `Saturated pixels` com 0, a caixa de marcação `Normalize` deve estar desmarcada e, a caixa de marcação `Equilize histogram` deve estar marcada – clique no botão `OK`);
6. Com a imagem em alto contraste é possível encontrar facilmente as bordas (Menu `Process`, opção `Find Edges`);
7. Em seguida é preciso transformar a imagem numa imagem binária (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Make Binary`);
8. Após tornar a imagem binária - com fundo preto e objetos brancos - é preciso inverter as cores da imagem (Menu `Edit`, opção `Invert`) para fundo branco com objetos pretos;
9. Havendo ainda muitos pontos dentro de pontos na imagem, devido aos ruídos e formação da própria imagem, estes pontos internos a outros são como “buracos” na imagem, portanto, deve-se desprezar estes “buracos” (Menu `Process`, opção `Binary >`, opção `Fill Holes`);
10. Esta parece ser a imagem final da etapa de pré-processamento, vejamos o que aparece numa análise das partículas (Menu `Analyze`, opção `Analyze Particles...`, preencha o campo `Size` com `50-Infinity`, marque a caixa de marcação `Pixel units` para que leve em consideração a escala definida em  $\mu\text{m}$ , deixe o campo `Circularity` com `0.00-1.00`, na caixa de seleção `Show` escolha a opção `Outlines` e, marque as caixas de marcação `Display results`, `Exclude on edges`, `Clear results` e `Summarize`, as outras deixe desmarcadas, clique no botão `OK`);
11. Após criar a janela de resultados dos tamanhos de cada grão, deve-se calcular o tamanho de grão médio (na janela `Results`, `Meu Results`, opção `Summarize`).

## 10 ANEXO A – Imagens cedidas para o estudo

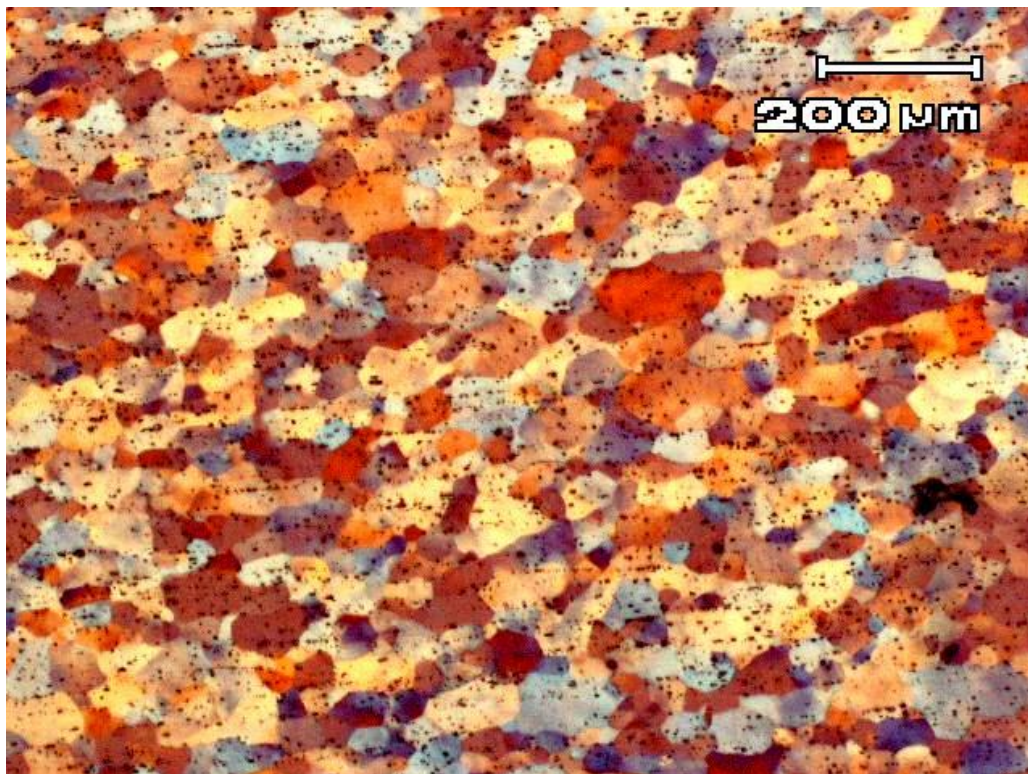
As imagens utilizadas neste estudo foram cedidas pelo Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais (CCTM), parte de trabalho de pesquisa anterior [01] que teve como objetivo a caracterização mecânica e microestrutural da liga comercial de alumínio 6063 utilizando medidas de dureza e microscopia óptica e eletrônica após tratamentos termomecânicos.

Todas as amostras passaram por um ataque metalográfico com uma solução do tipo Barker, sendo observadas com um microscópio Olympus BX51M com filtro polarizador, revelando como se encontram dispostos os grãos das amostras e sua orientação.

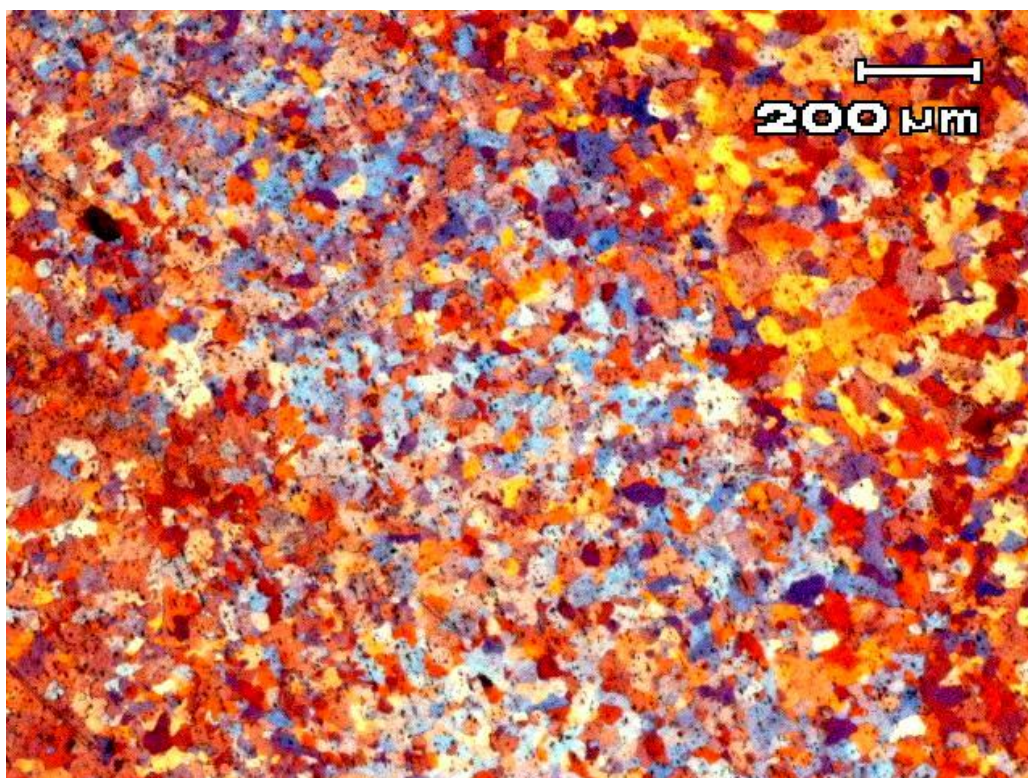


*Figura 10.1 - Redução em área de 30%, tratamento térmico realizado a 423 K por 5400 s, é possível observar a formação de estruturas de grãos recristalizados, apresentando grãos com o tamanho médio de  $(36 \pm 2,8) \mu\text{m}$*



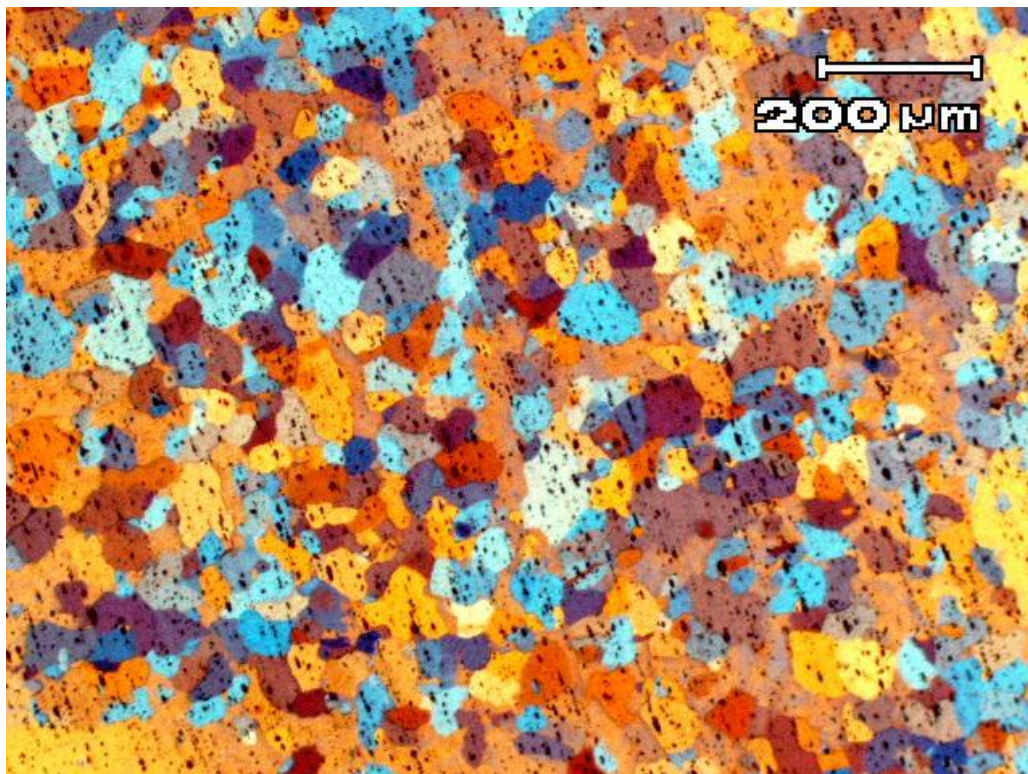


**Figura 10.2** - Redução em área de 30%, tratamento térmico realizado a 423 K por 7200 s, é possível observar a formação de estruturas de grãos recristalizados, apresentando grãos com o tamanho médio de  $(49 \pm 4,81) \mu\text{m}$

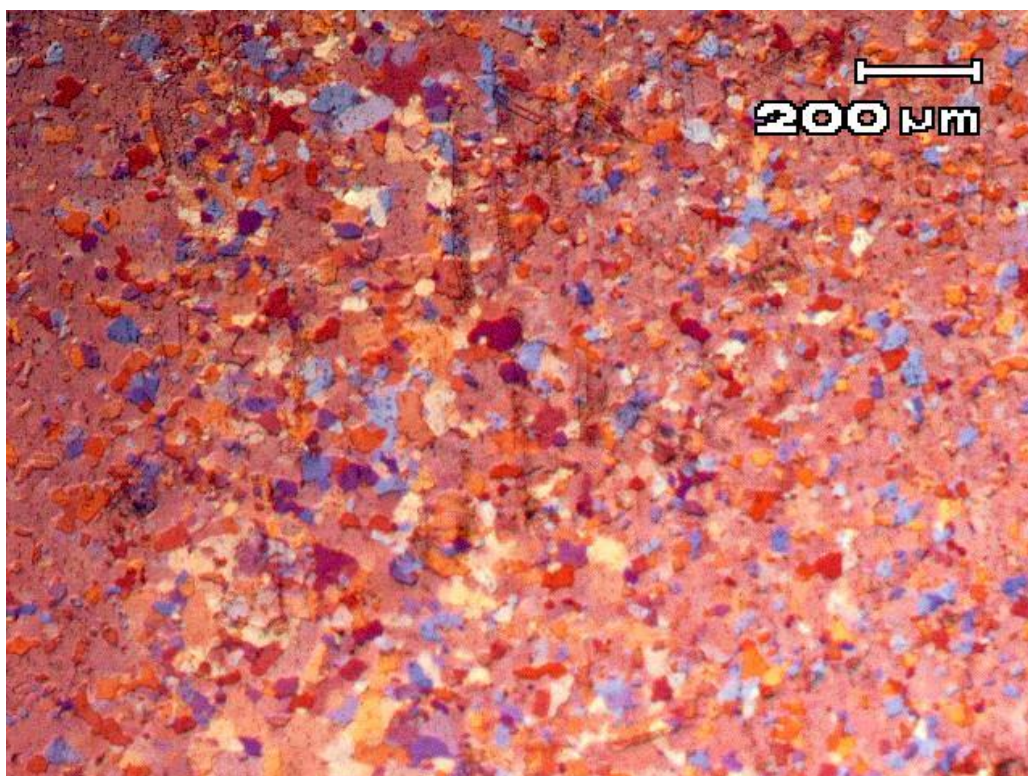


**Figura 10.3** - Redução em área de 60%, tratamento térmico realizado a 623 K por 5400 s, é possível observar o processo de recristalização em andamento e início do processo de crescimento de grãos, apresentando grãos com o tamanho médio de  $(49 \pm 9,0) \mu\text{m}$



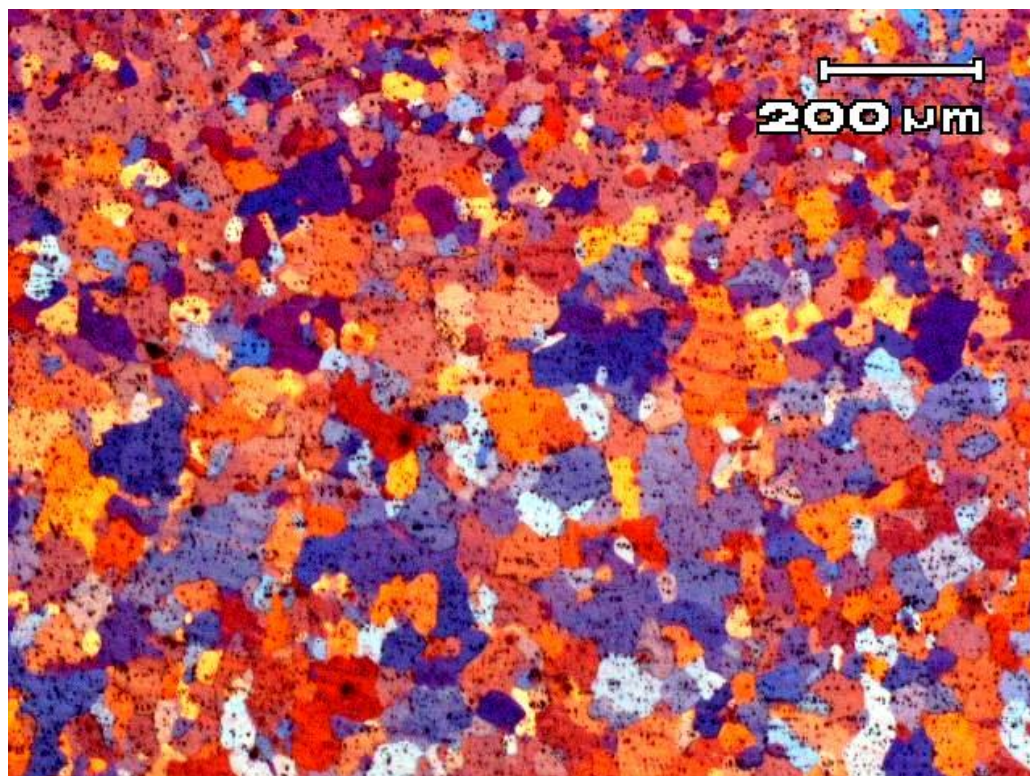


**Figura 10.4** - Redução em área de 60%, tratamento térmico realizado a 623 K por 7200 s, apresenta uma região com grãos recristalizados, possivelmente em crescimento, entre regiões onde o processo de recristalização ainda se apresenta ativo, apresentando grãos com o tamanho médio de  $(38 \pm 3,0) \mu\text{m}$



**Figura 10.5** - Redução em área de 90%, tratamento térmico realizado a 723 K por 5400 s, o processo de crescimento de grão tem continuidade, apresentando grãos com o tamanho médio de  $(46 \pm 3,0) \mu\text{m}$





*Figura 10.6 - Redução em área de 90%, tratamento térmico realizado a 723 K por 7200 s, a micrografia registra grãos totalmente recristalizados e em processo de crescimento de grão, com tamanho médio de  $(47 \pm 4,0) \mu\text{m}$*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] INÁCIO, G. A. et al. **Estudo da Cinética da Recristalização aplicando Redes Neurais**, 67º Congresso ABM Internacional, Rio de Janeiro, 2012.
- [02] LIMA, E. P. R. **Estudo da Cinética de Recristalização da Liga de Alumínio AA 8011 na Condição H18**, Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 2002.
- [03] MITSCHKE, S.; SOMMITSCH, C.; PÖLT, P. **EBSD Analysis of the Recrystallization Behaviour of the Nickel based alloy 80 A during Hot Forming**, University of Leoben, Austria, 2006.
- [04] ASSUNÇÃO, T. L.; FERREIRA, R. A. S. **Estudo da Evolução Microestrutural da Liga de Alumínio AA 8023 para Adequação do Compromisso Formabilidade/Resistência**, XV Congresso de Iniciação Científica da UFPE, Recife, 2007.
- [05] RODENACKER, K.; BENGTSSON, E. **A feature set for cytometry on digitized microscopic images**, Analytical Cellular Pathology - IOS Press, vol.1, nr.25, p.1–36, 2003.
- [06] FERRARI, R. B. **Caracterização de Liga Metálica a base de Al-Mg obtida por Método Convencional após Tratamentos Termomecânicos visando Estruturas Cristalinas**, Dissertação de Mestrado, IPEN, São Paulo, 2008.
- [07] PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia – microestrutura e propriedades**, ed Hemus, Curitiba, 2000.
- [08] CALLISTER, W. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**, 5ª edição, ed LTC, Rio de Janeiro, 2002.
- [09] VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**, 17ª edição, ed Blucher, São Paulo, 2008.
- [10] DIAS, F. C. **Uso do software Image J para análise quantitativa de imagens de microestruturas de materiais**, Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 2008.
- [11] GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**, ed Edgar Blucher, ISBN: 9788521202646, São Paulo, 2000.
- [12] FILHO, O. M.; NETO, H. V. **Processamento Digital de Imagens**, Brasport, ISBN 8574520098, Rio de Janeiro, 1999.
- [13] GOMES, O.F.M. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais**, Dissertação de Mestrado, PUC/Rio, Rio de Janeiro, 2001.
- [14] IGNACIO, J. S.; BUSO, S. J.; MONTEIRO, W. A. **Processing and Analysis of Digital Images: How to Ensure the Quality of Data Captured?** International

Journal of Recent advances in Mechanical Engineering – IJMECH, vol.2, n.2, Maio 2013. Acessado em 22/06/2013, <<http://wireilla.com/engg/ijmech/papers/2213ijmech01.pdf>>.

- [15] CARVALHO, F. R. **Lógica paraconsistente aplicada em tomadas de decisão: uma abordagem para administração de universidades**, ed Aleph, São Paulo, 2002.
- [16] CARVALHO, F. R. **Aplicação de lógica paraconsistente anotada em tomada de decisão na Engenharia de Produção**, Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2006.
- [17] CARVALHO, F. R.; ABE, J. M. **Tomadas de Decisão com Ferramentas da Lógica Paraconsistente Anotada: Método Paraconsistente de Decisão – MPD**, ed Blucher, São Paulo, 2011.
- [18] FERREIRA, T., RASBAND, W. **ImageJ User Guide 1.46**. Disponível em: <<http://imagej.nih.gov/ij/docs/guide>>. Acessado em 13/11/2012.
- [19] VAN DER HEIJDEN, F. **Image based measurement systems**, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [20] REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações**, ed Manole, Barueri, 2005.
- [21] MASOTTI, P.H.F. **Metodologia de monitoração e diagnóstico automatizado de rolamentos utilizando lógica paraconsistente, transformada de wavelet e processamento de sinais de imagens**, Tese de Doutorado, IPEN, São Paulo, 2006.
- [22] SALES, C.G. **Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Minérios: Notas de Aulas**. UEMG – Engenharia de Minas, João Monlevade, 2009.
- [23] HAJEWSKA, E. **Investigation of the Properties of Aluminium Alloys used in the construction of Nuclear Research Reactors**. Institute of Atomic Energy – Department of Reactor Materials, Poland, 1993.
- [24] WEEKS, J.R.; CZAJKOWSKI, C.J.; FARRELL, K. **Effects of High Thermal Neutron Fluences on Type 6061 Aluminum**. Effects of Radiation on Materials: 16th. International Symposium. ASTM STP 1175, Arvind S. Kumar, David S. Gelles, and Randy K. Nanstad, Editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1993.
- [25] ZANGIROLAMI, D.M. **Fluxo Neutrônico a 100 KW nos Terminais de Irradiação do Reator Triga IPR-R1**. Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares – UFMG – Departamento de Engenharia Nuclear da Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2009.
- [26] PERROTA, J.A. **Curso de Introdução à Engenharia do Núcleo de Reatores**. IPEN. São Paulo, 1999.
- [27] STØREN, S. **Understanding Aluminium as a Material** – TALAT Lecture 2101.01. The Norwegian Institute of Technology, Oslo, 1994.
- [28] CAETANO, F.R.L., SANTOS, M.M., QUEIROZ-NETO, J.P. **Desenvolvimento de um programa computacional para medição do tamanho do grão de materiais metálicos**, CEFET-AM, 2008.

- [29] VAN LANCKER, M., **Metallurgy of Aluminium Alloys**, John Wiley & Sons Inc., New York, 1967.
- [30] HORNBOGEN, E., **Fundamental Aspects of Structural Alloy Design**, ed. R.I. Jaffee, Plenum ,N.Y. 1976, 389.
- [31] STEVENS, R. H. **ASM Handbook – Metallography and Microstructures: Quantitative Metallography**, vol.9, p.187.
- [32] CAHN, R. W. **Recrystallization, Grain Growth and Textures**, ed H. Margolin, p.109, Ohio, 1966.
- [33] PADILHA, F.A. **Encruamento, Recuperação e Recristalização de Ligas contendo Dispersão de Precipitados**, IPEN, São Paulo, 1989.
- [34] HUMPHREYS, F. J., HATHERLY, M. **Recrystallization and related annealing phenomena**, ed Elsevier, 1996.
- [35] FILHO, A. A. **Elaboração e estudos de recristalização de ligas Alumínio-Magnésio-Tório e Alumínio Magnésio-Nióbio**, Tese de Doutorado, IPEN, 2005.
- [36] ESPÓSITO, I. M. **Caracterização e cinética de recristalização da liga de Alumínio 6063 após tratamentos termomecânicos**, Dissertação de Mestrado IPEN, 2006.
- [37] SHACKELFORD, J.F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2008.
- [38] BUSO, S. J. **Estudos do efeito da composição química e da conformação mecânica na cinética de recristalização de ligas Al-Mg-Zr**, Tese de Doutorado, IPEN, 2004.
- [39] LOUTHAN, Jr. M.R., VOORT, G.F.V. **ASM Handbook - Materials Characterization: Optical Metallography and Image Analysis**, vol.10, p.634.
- [40] **E 112 - Standard Test Methods for Determining Average Grain Size**, ASTM - American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1996.
- [41] **E 1382 - Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis**, ASTM - American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1997.
- [42] DIÓGENES, A.N., HOFF, E.A., FERNANDES, C.P. **Grain size measurement by image analysis: An application in the ceramic and in the metallic industries**. 18th International Congress of Mechanical Engineering. Ouro Preto, MG, 2005.