

**UNESP**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**Guaratinguetá**

**2012**

**FERNANDO HENRIQUE DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DE FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE AUSTENITA RETIDA E  
MARTENSITA EM AÇO TRIP 800 UTILIZANDO TRÊS MÉTODOS DIFERENTES**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira

**Guaratinguetá**

**2012**

C837a Costa, Fernando Henrique da  
Avaliação de fração volumétrica de austenita retida e martensita em  
aço trip 800 utilizando três métodos diferentes / Fernando Henrique da  
Costa – Guaratinguetá : [s.n], 2012.  
54 f. : il.  
Bibliografia: f. 48-52

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.  
Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira

1. Aço I. Título

CDU 669.14

AVALIAÇÃO DE FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE AUSTENITA RETIDA E  
MARTENSITA EM AÇO TRIP 800 UTILIZANDO TRÊS MÉTODOS  
DIFERENTES

FERNANDO HENRIQUE DA COSTA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA  
DE GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro  
Coordenador

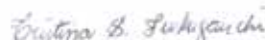
**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. MARCELO DOS SANTOS PEREIRA  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO  
Docente/UNESP-FEG



Eng. MSc. CRISTINA SÁYURI FUKUGAUCHI  
Engenheira

Dezembro de 2012

**Novembro de 2012**

## **DADOS CURRICULARES**

### **FERNANDO HENRIQUE DA COSTA**

Nascimento	22.12.1989 – Jesuítas/SP
Filiação	Malsiva Teixeira da Costa José da Costa Sobrinho
2008/2012	Curso de Graduação em Engenharia de Materiais Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá UNESP-FEG

## **AGRADECIMENTOS**

Um trabalho dificilmente é fruto única e exclusivamente das realizações de uma única pessoa, portanto fica difícil nomear todos que me auxiliaram. Todos que me ajudaram, considerem minha gratidão.

Posso, contudo, citar algumas pessoas diretamente ligadas ao trabalho: ao Marcelo, meu orientador e que me apoiou e deu o rumo para que o trabalho fosse possível, à Cristina, por também me orientar em todos os aspectos, à Flávia por me auxiliar com a revisão, ao Renato da mesma forma, ao Antônio pelas fotos que aqui foram utilizadas.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus pais Malsiva e José e ao meu irmão Fábio por me apoiarem e permitirem que isso fosse possível.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar...”

Martin Luther King

**COSTA, F. H. Avaliação De Fração Volumétrica De Austenita Retida E Martensita Em Aço TRIP 800 Utilizando Três Métodos Diferentes** . 2012. 54 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

## **RESUMO**

Durante a segunda metade do século passado as montadoras automobilísticas sofreram com as crises do petróleo, principalmente causadas por guerras no Oriente Médio. Estas crises levaram as montadoras a repensar em seus veículos. Um dos avanços mais importantes nesse sentido foi a utilização de novos aços por parte da indústria, como, o aço TRIP (*Transformation-induced plasticity*). Como o comportamento macroscópico dos materiais é fortemente dependente da microestrutura, a metalografia quantitativa é importante para se entender e relacionar as propriedades do metal com sua microestrutura. Neste trabalho diferentes amostras de aço TRIP foram atacadas com reagente LePera. As imagens obtidas via microscopia óptica foram analisadas por processamento digital. Com o uso do software ImageJ foram estudados os métodos de Limiarização (*Threshold*) e Watershed, bem como foi realizada uma comparação com a norma ASTM E562. Os métodos foram comparados e por fim foram analisadas as características morfológicas e fração volumétrica das fases Austenita Retida e Martensita. Os resultados mostraram que a Limiarização levou a identificação de um número maior de grãos e menor área média e fração volumétrica que o método Watershed e a norma ASTM.

**PALAVRAS-CHAVES:** Aços TRIP, LePera, Limiarização, Watershed.

**COSTA, F. H. Avaliação De Fração Volumétrica De Austenita Retida E Martensita Em Aço TRIP 800 Utilizando Três Métodos Diferentes.** 2012. 54 f. Graduate Work (Graduate in Materials Engeneering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

### **ABSTRACT**

In the second half of the last century the automobile industries suffered from the petroleum crisis caused mainly by the wars in the Middle East. These crises led the automakers rethink their vehicles. One of the most important events after that was the adoption of new steels by the industry. One example is the TRIP steels (Transformation-induced plasticity). It is known that the macroscopic behavior of a material is strongly dependent on its microstructure and therefore the quantitative metallography is important to understand and relate the material properties to its microstructure. In this work, different specimens of TRIP steels were etched using LePera reagent. The obtained images were analyzed using digital processing. Using the ImageJ software the methods threshold and watershed were studied as well as a comparison with the ASTM E562 standard. The methods were compared and finally the morphological characteristics and volumetric fraction of the retained austenite and martensite phases were analyzed. The results showed that the threshold led to a higher number of identified grains with lower mean area and total area fraction than the watershed method and ASTM standard.

**KEYWORDS:** TRIP Steel, LePera, Threshold, Watershed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo da formação de um filme na superfície do metal durante o ataque químico colorido (ANGELI; FÜREDER; KNEILSSL, 2006). .....	21
Figura 2: Demonstração de uma imagem digital e seus pixels (COSTA, 2012). .....	22
Figura 3: Representação em três dimensões do sistema RGB e ainda é indicada a posição de algumas outras cores para exemplificação. (Adaptada de BURGUER; BURGE, 2009). .....	24
Figura 4: Sistema de cores HSB representado de duas maneiras, em forma de um sólido (esquerda) e na forma de coordenadas cilíndricas (direita) (Adaptada de BURGUER; BURGE, 2009). .....	25
Figura 5- Representação de uma imagem 3x7 (COSTA, 2012). .....	26
Figura 6 – Posição inicial da matriz de mediana (COSTA, 2012). .....	27
Figura 7 – Segunda iteração da matriz (COSTA, 2012).....	27
Figura 8 – Resultado parcial do filtro de mediana (COSTA, 2012). .....	27
Figura 9: Exemplificação de um filtro passa baixa (Adaptada de SCURI, 1994). .....	29
Figura 10: exemplo de funcionamento do Watershed (LABORATORIO DE PROCESSAMENTO INTELIGENTE DE IMAGENS, 2012). .....	31
Figura 12: Na figura são identificados os microconstituintes do Aço TRIP estudado .....	34
Figura 11: Aço TRIP, reagente LePera, aumento de 1000x. ....	34
Figura 14: Gráfico de contorno entre bainita e a ferrita. No eixo vertical são dados os valores de intensidade dos componentes RGB dos pixels ao longo do segmento de reta amarelo na imagem à esquerda .....	35

Figura 13: Gráfico do contorno ferrita-ferrita. No eixo vertical são dados os valores de intensidade dos componentes RGB dos pixels ao longo do segmento de reta amarelo mostrado na imagem à esquerda.....	35
Figura 15: Representação tridimensional da imagem 6 em 8 bits. ....	36
Figura 16: Recorte da Figura 11 apresentando um grão branco no centro. Em vermelho a região selecionada usando a limiarização. ....	37
Figura 17 - Resumo das etapas de trabalho do plugin Watershed modificado. ....	39
Figura 18: Janela de definição de parâmetros do plugin Watershed .....	39
Figura 19: Recorte apresentando o resultado do Watershed para o mesmo grão branco da Figura 11. ....	40
Figura 20: Contornos das seleções obtidas utilizando o método: a) Watershed; b) Limiarização. ....	40
Figura 21: Resultado da Limiarização na Figura 11. Os grãos aparecem delineados. O programa gera automaticamente um número (em vermelho) que identifica cada grão. ....	42
Figura 22: Resultado do Watershed ABA na Figura 11. Os grãos aparecem delineados. O programa gera automaticamente um número (em vermelho) que identifica cada grão. ....	43
Figura 23: Imagem da segunda análise. Aço TRIP, reagente Le Pera e aumento de 1000x. ....	44
Figura 24: Grade e pontos obtidos segundo norma ASTM E 562.....	45
Figura 25: Detalhe da contagem. ....	45
Figura 26: Resultado da limiarização. ....	46
Figura 27: Contornos resultantes do Watershed. ....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do método de limiarização. ....	41
Tabela 2: Características do método Watershed.....	41
Tabela 3: Contagem dos grãos, área média e fração de área da imagem via Threshold e Watershed. ....	43
Tabela 4: Resultados Norma ASTM, limiarização, Watershed.....	47

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 Considerações Iniciais .....	16
1.2 Objetivo .....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 Projetos ULSAB e ULSAB-AVC e Aços Avançados .....	18
2.1.1 Advanced High Strength Steel .....	19
2.1.2 Aços TRIP .....	19
2.2 Mecanismo do processo de ataques químicos utilizados em metalografia .....	20
2.3 Imagens digitais .....	21
2.3.1 Sistemas de cores .....	22
2.3.2 Imagem binária .....	22
2.3.3 Imagem em oito bits .....	23
2.3.4 Sistema RGB .....	23
2.3.5 Sistema HSB .....	24
2.4 Processamento de Imagens .....	25
2.4.1 Filtros .....	26
2.4.2 Filtro de mediana .....	26
2.4.3 Filtro de Média .....	28
2.4.4 Filtros de Máximo e Mínimo .....	28
2.4.5 Convolução em geral .....	28
2.4.6 Transformada de Fourier e domínio da frequência .....	29
3.4.7 Histograma .....	30
3.4.8 Limiarização (Threshold) .....	30
3.4.9 Watershed .....	31
2.5 Análise de imagens .....	32
2.6 ImageJ .....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
3.1 Materiais .....	32
3.2 Métodos .....	33

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
4.1 Análise de um resultado típico de ataque LePera .....	33
4.2 Comparação entre limiarização e Watershed .....	36
4.2.1 Limiarização .....	37
4.2.2 Watershed .....	38
4.3 Comparação entre limiarização, Watershed e contagem por grade segundo norma ASTM E 562 .....	43
5 CONCLUSÕES .....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
ANEXO A – Macro Para O Desenho De Uma Grade Segundo O Número De Linhas Verticais Indicado Pelo Usuário. ....	53
ANEXO B – Etapas Para Um Procedimento Típico Utilizando Threshold Color. ....	54

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Historicamente o avanço dos materiais está relacionado às necessidades econômicas e também ao avanço natural das tecnologias empregadas nos processamentos utilizados. É evidente que para tanto é necessário que as técnicas de caracterização avancem também. Segundo DAER et al (2010) o comportamento macroscópico dos materiais é fortemente dependente da microestrutura. No caso dos aços, foco deste trabalho, a metalografia quantitativa é importante para se entender e relacionar as propriedades do metal com sua microestrutura.

A fim de melhor revelar as fases e conseguir maior precisão na identificação destas, nos ensaios são utilizados métodos para obtenção de metalografias coloridas, que proporcionam maiores informações sobre a microestrutura das amostras (BEHARA; SHPIGLER, 1977).

Na análise de imagens de metais, bem como pode ser estendido para todos os materiais, pode-se realizar uma contagem de grãos, medição do tamanho dos mesmos, além de determinar sua fração volumétrica utilizando abordagens relativamente simples.

A norma ASTM E562 (2011) define as diretrizes para se determinar a fração volumétrica manualmente. Em resumo a norma determina que se trace uma grade na imagem a ser analisada. A grade terá um determinado número de retas verticais e horizontais. A contagem é feita a partir do número de grãos da fase de interesse que interceptam os pontos de intersecção das retas traçadas. Para o cálculo da fração volumétrica divide-se o número de grãos pelo número total de intersecções (JACQUES ET AL, 2009).

O tamanho de grão pode ser obtido desenhando-se uma reta sobre a imagem. Então se divide o total de grãos que interceptam a reta pelo comprimento da mesma.

Com a ajuda de programas de processamento e análise de imagens é possível facilitar o trabalho de análise metalográfica bem como expandir as opções dos parâmetros de estudo.

Para a análise digital é necessário selecionar um programa de computador adequado. Há atualmente vários programas muito úteis para o tratamento e análise digital de imagens tais como: Matlab, Photoshop, ImageJ (IMAGEJ, 2010), Fiji (FIJI, 2010). Destes exemplos é

interessante notar que o ImageJ e o Fiji são programas de código aberto e com a possibilidade do usuário modificá-los ou criar complementos para os mesmos.

Ao selecionar o software a ser utilizado é importante considerar que uma correta segmentação necessita da escolha de um procedimento que se adéque as características da imagem. Cada método de segmentação existente possui tanto pontos fortes quanto pontos fracos, isto porque características tais como cor, textura, presença de sombras e ruídos necessitam ser tratados de formas diferentes.

## **1.2 Objetivo**

Analisar a Limiarização, o Watershed e a norma ASTM E562, três métodos que podem ser utilizados para análise de imagens de aços, demonstrando seus pontos de interesse bem como a teoria. Para a discussão, será usado o programa ImageJ juntamente com complementos criados por usuários do mesmo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão tem a finalidade de apresentar a teoria dos métodos usados no trabalho de maneira sucinta e de fácil compreensão. Primeiramente são apresentados os tópicos referentes aos materiais utilizados e aos aspectos teóricos dos procedimentos de análise metalográfica. Logo após são apresentados os tópicos referentes a imagens digitais, processamento e análise.

### 2.1 Projetos ULSAB e ULSAB-AVC e Aços Avançados

Durante a segunda metade do século passado as montadoras automobilísticas sofreram com as crises do petróleo, principalmente causadas por guerras no Oriente Médio. Estas crises levaram as montadoras a repensar em seus veículos, pois na época os carros estavam cada vez maiores e mais pesados, sem haver uma preocupação com segurança e consumo tanto por parte das montadoras quanto dos consumidores.

A conseqüência natural das crises foi a necessidade de se repensar os projetos de até então. Em vista destes fatos no início da década de 90 foi realizado um consórcio de 35 produtoras de aço a fim de se reduzir o peso dos veículos, contudo ainda mantendo sua segurança. Foi dado o nome de ULSAB ( *Ultra light Steel Autobody* ) e durante quatro anos todas as empresas ligadas se dedicaram ao projeto. O intuito foi apresentar uma estrutura de um veículo conceito com peso menor do que os carros da época. Essa estrutura foi mostrada em 1998, apresentando um peso 36% menor e ainda assim possuindo melhores propriedades mecânicas que o os carros padrão neste quesito (ULTRALIGHT STEEL AUTO BODY CONSORTIUM, 1998)

O sucesso deste projeto levou a criação de novos projetos focados em outras partes dos veículos tais como o ULSAC ( *Ultra light Steel Auto Closures* ) e o ULSAS ( *Ultra light Steel Auto Suspension* ).

O mais recente projeto na área foi denominado ULSAB-AVC ( *Ultra light Steel Auto Body – Advance Vehicle Concepts* ) e visava à concepção de veículos voltados para as necessidades deste século: segurança, viabilidade, eficiência no consumo de combustíveis e reciclabilidade (ULTRALIGHT STEEL AUTO BODY CONSORTIUM, 2002).

### 2.1.1 Advanced High Strength Steel

Um dos avanços mais importantes no projeto ULSAB e seus sucessores foi a utilização novos aços por parte da indústria. Destacam-se os aços bifásicos (DP), de plasticidade induzida por deformação (TRIP - *transformation induced plasticity*) e de fases complexas (CP).

### 2.1.2 Aços TRIP

São aços que possuem composição e processamento tais que sua microestrutura final possui a fase austenita. A austenita por meio de deformação da estrutura cristalina pode sofrer uma transformação de fase e se tornar martensita, essa transformação de fase possibilita um ganho de resistência mecânica e ductilidade ao aço. Também essa transformação aumenta a deformação possível no material antes da estrição, vem daí o nome, traduzido, plasticidade induzida por deformação (FUKUGAUCHI, 2010).

Aços TRIP possuem em sua composição típica valores próximos a 1,5% de Manganês e 1,5% de Silício e/ou Alumínio. O manganês adicionado no material tem por fim estabilizar a fase austenítica. Ele diminui a temperatura necessária para a formação dessa fase no material e também aumenta a solubilidade do carbono na estrutura. O silício é um elemento pouco solúvel em cementita, ele favorece a segregação de átomos de carbono da ferrita para a austenita remanescente, o alumínio por sua vez vem sendo estudado como uma alternativa ao silício, pois possui características compatíveis. A concentração de Carbono varia de 0,2 a 0,3%. O carbono é um elemento muito importante na estabilização da Austenita e como podem ser observados os outros elementos de liga tem por finalidade exatamente aumentar e facilitar a solubilização de carbono na Austenita (ANNIBAL, 2005).

Com relação à microestrutura aços com efeito TRIP são multifásicos. Estes possuem quatro fases diferentes: ferrita e bainita presentes como matriz e austenita retida e martensita nos seus contornos.

Uma rota para a obtenção dessa estrutura consiste no aquecimento do aço até uma temperatura suficiente para a formação de Austenita seguida de um resfriamento contínuo. Primeiro ocorre a formação de Ferrita e depois a temperatura segue diminuindo até a faixa de formação bainítica, durante essas formações de fases o carbono não solúvel nessas novas estruturas migra para a Austenita assim no final do processo um resfriamento rápido para a formação de Martensita não será capaz de transformar toda a Austenita. Portanto no final do processo uma parte da Austenita permanecerá presente na microestrutura do material.

Suas propriedades principais são boa resistência a tração aliada a um bom alongamento, vale lembrar que estas duas são propriedades antagônicas e é difícil aumentar uma sem diminuir os valores da outra. Fazendo uma breve pesquisa na literatura encontram-se valores que vão de 500 e chegam a 1100 MPa para a resistência a tração e um alongamento de 30 a 40% (SIERRA; NEMES, 2008), estes são valores encontrados em artigos, ainda não se pode esperar encontrar facilmente valores de 50% de alongamento em aços TRIP comerciais.

## **2.2 Mecanismo do processo de ataques químicos utilizados em metalografia**

Os ataques químicos utilizados em metalografia podem ser divididos em dois grupos: os corrosivos e os coloridos (*Tint Etching*).

Segundo a definição de VANDER VOORT (1999) um ataque químico corrosivo acontece devido um processo de corrosão diferenciado para cada área de potencial químico diferente, isto é, o ataque ocorre de forma preferencial seguindo as áreas mais propensas.

Os ataques químicos coloridos formam películas ou filmes na superfície do metal. As variações físicas e químicas de cada fase definem a espessura do filme e assim são observadas cores diferentes para cada uma dos microconstituintes presentes no material (GIRAULT ET AL, 1998).

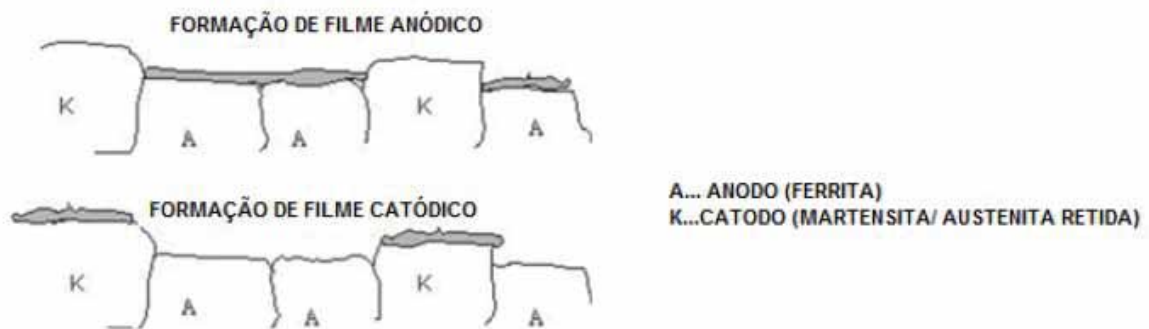


Figura 1, retirada do trabalho de ANGELI, FÜREDER, KNEILSSL (2006), ilustra a formação de dois diferentes filmes para diferentes fases (FUKUGAUCHI, 2010).

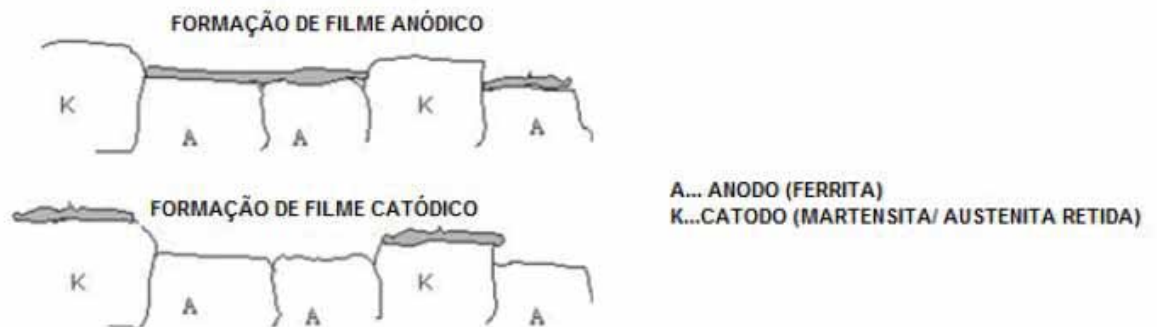


Figura 1: Modelo da formação de um filme na superfície do metal durante o ataque químico colorido (ANGELI; FÜREDER; KNEILSSL, 2006).

### 2.3 Imagens digitais

Imagens digitais são formadas por pontos chamados de pixel, nome que vem da contração do termo em inglês “ *pixel element* ” (TRIGO JUNIOR, 2007). Cada ponto na imagem possui uma localização dada por suas coordenadas  $x$  e  $y$ . Por ser formada por elementos discretos uma imagem é então uma função discreta.

Por fim, cada ponto apresenta uma cor, indicado como o valor  $z$  na Figura 2. Esta característica por sua vez é identificada seguindo um sistema de cores. Em cada sistema de cores uma cor em específico é determinada e especificada de maneiras diferentes. Em sistemas com poucas cores, cada cor, por exemplo, possui um valor específico enquanto que sistemas com muitas cores seguem um sistema baseado em componentes, isto é, as cores podem ser obtidas misturando-se componentes básicos.

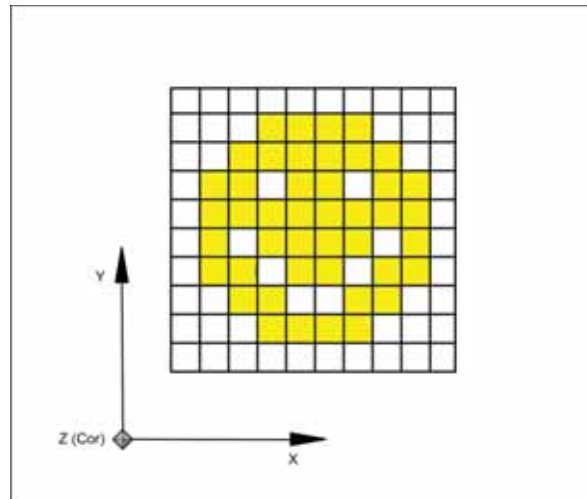


Figura 2: Demonstração de uma imagem digital e seus pixels ((COSTA, 2012)).

### 2.3.1 Sistemas de cores

Nesta seção serão mostrados alguns modelos de representação das cores em imagens digitais. Atualmente são utilizados diversos sistemas de cores. É através deles que, impressoras, monitores e outros se comunicam com o computador identificando as cores e então executando suas tarefas. No caso da análise digital de imagens seu domínio se torna importante para a execução de algumas etapas, por exemplo, no caso da limiarização que será explicada posteriormente.

### 2.3.2 Imagem binária

Antes de se explicar a representação das cores da imagem binária é importante neste momento explicar o conceito de bit. Computadores usam o sistema de numeração binário como base em seus cálculos e bit é a contração de binary digit. Assim a menor unidade de informação guardada e processada em um computador é um bit, ou seja, dois valores possíveis. Deve-se também notar que em imagens digitais são armazenados números

correlacionados às diferentes cores, quando as imagens são apresentadas por monitores ou impressas ocorre então uma conversão dos valores para uma determinada cor.

Uma imagem representada por um sistema de cores binário (usualmente identificada usando-se preto e branco) é muito útil no processamento de imagens, pois facilita o trabalho de análise tanto do operador quanto do programa de computador. Muitos métodos de análise de imagens necessitam que se transforme uma imagem de um determinado sistema de cores mais complexo para imagem binária para que se possam ser realizadas operações que visam à segmentação dos objetos da imagem (NEVES, 2001).

### **2.3.3 Imagem em oito bits**

Um agrupamento de oito bits permite o armazenamento de 256 valores.

Geralmente estas imagens são apresentadas usando tons de cinza assim a gama de cores da imagem vai do preto (valor zero) até o branco (valor 255), mas também é possível denotar cores como azul, vermelho e tantas outras que um monitor possa exibir para cada valor. Cores representadas assim são chamadas pseudo cores (FERREIRA; RASBAND, 2010).

### **2.3.4 Sistema RGB**

Nesse sistema uma cor é formada a partir de três componentes básicos: vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*). Esse sistema pode ser descrito em coordenadas cartesianas no espaço tridimensional como mostra a Figura 3:

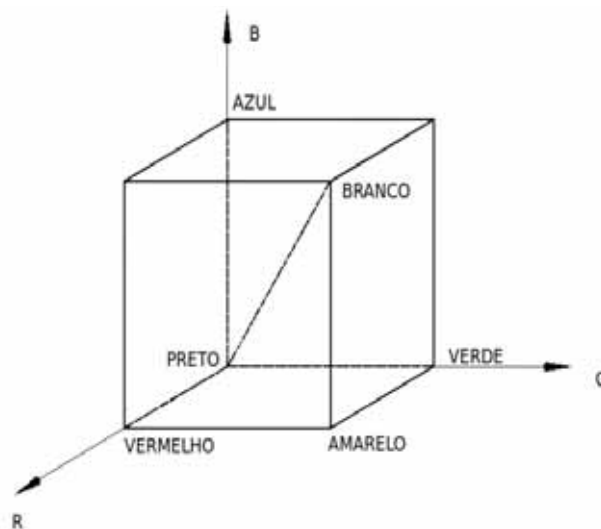


Figura 3: Representação em três dimensões do sistema RGB e ainda é indicada a posição de algumas outras cores para exemplificação. (Adaptada de BURGUER; BURGE, 2009).

Os componentes básicos mencionados são as três cores primárias de um sistema de cores aditivas, isto é, somando-se essas cores pode-se obter qualquer outra cor dentro da faixa possível de armazenagem. Como cada componente básico pode possuir 256 tons diferentes então a quantidade possível de cores resultantes é  $2^{3 \times 8}$  (GONZALES, 1993).

### 2.3.5 Sistema HSB

O nome HSB vem da abreviação das palavras hue (matiz), saturation (saturação) e brightness (brilho). Matiz é uma característica ligada ao componente primário básico predominante que dá a característica de cor. A saturação está ligada à diluição da cor em branco. Para um melhor entendimento pode-se pensar que uma cor com pouca saturação está desbotada. Por fim o brilho pode ser entendido como a quantidade de luz refletida, logo se não há nenhuma cor refletida a cor resultante é preta (GONZALES, 1993). A Figura 4 mostra duas maneiras semelhantes de se representar este sistema. De modo simples a saturação é o

componente radial no sistema de coordenadas cilíndricas, a matiz o angular e por fim o brilho no eixo z.

Devido a certas inconsistências na definição dos termos usados às vezes esse sistema é chamado de HSI, sendo I indicando intensidade.

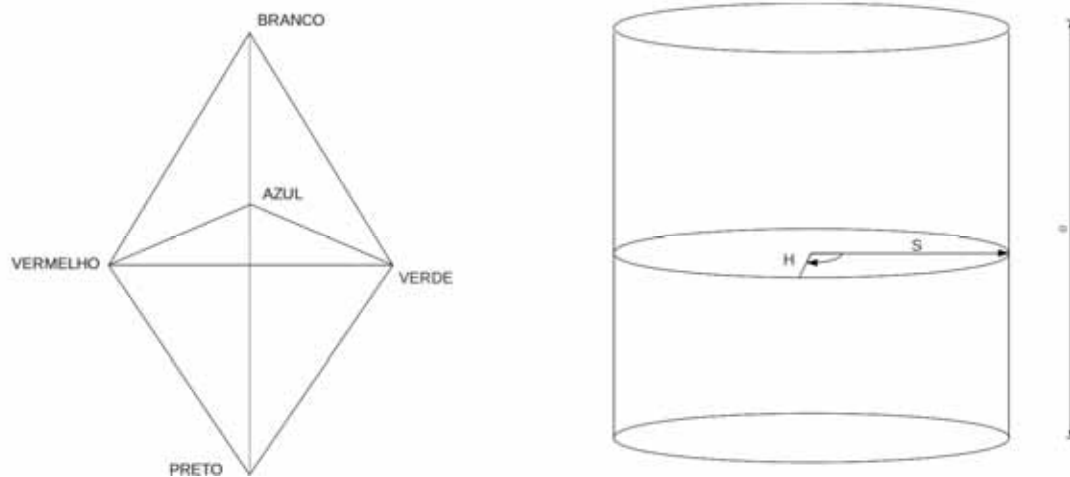


Figura 4: Sistema de cores HSB representado de duas maneiras, em forma de um sólido (esquerda) e na forma de coordenadas cilíndricas (direita) (Adaptada de BURGUER; BURGE, 2009).

## 2.4 Processamento de Imagens

O processamento de imagens compreende todas as etapas da manipulação da mesma desde a aquisição até a formação da imagem final usada na análise (GONZALES, 1993; LEGAL-AYALA, 2004).

### 2.4.1 Filtros

Filtros são operações realizadas na imagem com o intuito de modificar a intensidade dos pixels para uma melhora na sua visualização ou análise. A operação pode ser feita tanto no domínio do espaço quanto no domínio da frequência. A seguir serão explicados sucintamente alguns filtros.

### 2.4.2 Filtro de mediana

Dada uma imagem de  $N \times M$  pixels é escolhido um tamanho de matriz quadrada de raio  $A$  pixels. Esta matriz é posicionada no início da imagem, ou seja, na posição  $(A, A)$  na prática ocorre da matriz ser posicionada na posição  $(0,0)$ . Os valores colocados na matriz são os valores da imagem sobreposta. Desses valores é retirada a mediana. O valor da imagem posicionado no centro da matriz de filtragem é substituído pela mediana. Esta substituição explica o porquê da matriz ser posicionada no ponto  $(0,0)$ , dessa maneira todos os pixels da imagem sofrem a operação. Aquelas posições da matriz que se situarem fora da imagem são tomadas como zero. O exemplo a seguir ilustra esse processo:

Dada uma imagem de  $3 \times 7$  com os seguintes valores:

1	5	7	8	9	0	0
1	1	1	1	2	5	5
1	2	3	4	5	6	7

Figura 5- Representação de uma imagem  $3 \times 7$  (COSTA, 2012).

Posicionando-se a matriz da mediana no começo da imagem, isto é, tomando os valores das colunas e linhas 1, 2 e 3 temos:

1	5	7	-	-	-	-
1	1	1	-	-	-	-
1	2	3	-	-	-	-

Figura 6 – Posição inicial da matriz de mediana (COSTA, 2012).

Alinhando-se os valores em ordem crescente temos a seqüência: 1, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 5, 7, logo a mediana é 1.

Como o valor no centro da imagem original era 1 a nova imagem permanece igual.

Posiciona-se a matriz agora uma casa a frente, isto é, uma coluna à frente, mantendo as mesmas linhas. Temos:

-	5	7	8	-	-	-
-	1	1	1	-	-	-
-	2	3	4	-	-	-

Figura 7 – Segunda iteração da matriz (COSTA, 2012).

Alinhando fica: 1 1 1 2 3 4 5 7 8, logo a mediana é 3.

A nova imagem agora recebe o valor 3 onde na antiga seria o valor 1.

Até este momento a nova imagem é da forma:

-	-	-	-	-	-	-
-	1	3	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

Figura 8 – Resultado parcial do filtro de mediana (COSTA, 2012).

Segue-se assim até ser obtida a nova imagem. Este exemplo também mostra que se a matriz for posicionada sempre totalmente dentro da imagem as linhas e colunas da lateral serão perdidas ou terão os mesmos valores. Para não haver perda de tamanho da imagem é comum os programas de análise de imagem criarem colunas e linhas a mais nas laterais

preenchendo-as com zeros para que se possa inicial a operação a partir do ponto 0,0 e não 1,1 como foi exemplificado.

### **2.4.3 Filtro de Média**

Funciona de modo análogo à mediana, a diferença reside no fato do pixel central ser substituído pelo valor médio dos pixels na matriz.

### **2.4.4 Filtros de Máximo e Mínimo**

No filtro de máximo o pixel central é substituído pelo valor mais alto na matriz; No de mínimo é o de menor valor.

### **2.4.5 Convolução em geral**

Os filtros apresentados são operações de convolução. No geral operações assim seguem a mesma idéia de se varrer a imagem com uma matriz. Essa operação no domínio do espaço pode ser linear ou não linear. Exemplo de operação não linear é o filtro de mediana. Em geral pode-se construir uma matriz quadrada de raio  $A$  e definir valores a cada elemento dessa matriz. Essa matriz é multiplicada pela matriz da imagem e a soma dos valores dos pixels resultantes da multiplicação é colocada no lugar do pixel do meio da matriz da imagem (FISHER, 2003).

### 2.4.6 Transformada de Fourier e domínio da frequência

Uma transformada de Fourier numa imagem converte a mesma do domínio espacial que é caracterizada pela posição dos seus pixels para o domínio da frequência, ou seja, a imagem passa a ser caracterizada pela frequência dos valores dos pixels (SCURI, 1994).

Usando o domínio da frequência podem ser realizadas operações a fim de ser atenuar ruídos ou melhorar o contraste da imagem. Como pode ser visto na imagem abaixo, adaptada de SCURI (1994), os ruídos num sinal possuem frequências altas e aparecem nas extremidades da imagem transformada no domínio da frequência, se as frequências altas forem atenuadas e depois de feita a transformada inversa o resultado é o sinal apenas com frequências baixas.

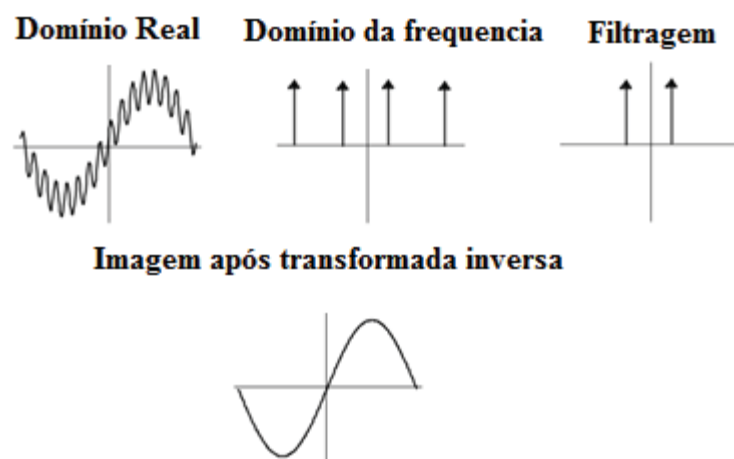


Figura 9: Exemplificação de um filtro passa baixa (Adaptada de SCURI, 1994).

O exemplo apresentado na Figura 9 é chamado de filtro passa baixa. Um filtro passa alta por sua vez reduz as frequências baixas e permite a passagem de frequências altas. Contornos de objetos em imagem, por exemplo, são caracterizados por possuírem frequências altas e, portanto se tornam mais visíveis com a passagem desse filtro.

### 3.4.7 Histograma

Um histograma de uma imagem é um gráfico que apresenta o intervalo de valores de cor pela frequência em que estes ocorrem na mesma.

É através do histograma que se obtêm indicações da imagem tais como valor médio de pixel, contraste, se há populações bem definidas de objetos na imagem entre outros indicativos (NEVES, 2001).

### 3.4.8 Limiarização (Threshold)

O processo de limiarização pode ser utilizado tanto em imagens coloridas (32 bit RGB, por exemplo) quanto em imagens em tons de cinza (oito bit), resultando em uma imagem binarizada.

Seguindo um intervalo de valores de intensidade definido, isto é, o grupo de interesse, os pixels da imagem de entrada são divididos em dois grupos. Valores dentro do intervalo de interesse se tornam pretos; os fora, brancos (IMAGEJ, 2012; NEVES, 2001). A equação (1) a seguir resume o funcionamento desta operação no caso de um único valor divisor:

$$f_{\text{threshold}}(a) = \begin{cases} a_0 & \text{se } a < a_{\text{th}} \\ a_1 & \text{se } a \geq a_{\text{th}} \end{cases} \quad (1)$$

Sendo 'a' o valor do brilho em questão;  $a_0$  e  $a_1$  os dois valores finais (geralmente zero e 255) e  $a_{\text{th}}$  o valor de limiarização.

Em imagens coloridas todos os componentes de cor são limiarizados separadamente. O intervalo de interesse final possui apenas os pixels incluídos nos intervalos de interesse dos componentes.

### 3.4.9 Watershed

Watershed é um algoritmo de segmentação de imagens que se baseia em topologia digital. Foi introduzido por S. Beucher e C. Lantuejoul (1979), a partir de então vários estudos vem sendo feitos nesse assunto. Vincent e Soile (1991) publicaram um algoritmo para a segmentação de imagens em oito bits digitalizado, isto é, utilizam os processos acima para realizar o procedimento, este algoritmo é ainda muito utilizado em vários trabalhos.

O método utilizado é eficiente computacionalmente e simples de ser operado, necessitando apenas que a imagem seja invertida ou que seja utilizada o seu gradiente. O problema deste método reside no fato de que devido à grande quantidade de variação presente em qualquer imagem digital, seja por ruído, seja pela própria complexidade do objeto fotografado ocorre a super segmentação das imagens inviabilizando por muitas vezes o uso deste método.

Andrade (1998) apresentou um método de se diminuir a super segmentação utilizando parâmetros definidos pelo usuário que são utilizados para verificar e unir regiões contexas da imagem resultante do Watershed, suprimindo assim a super segmentação.

Deve-se lembrar que a cor de uma imagem digital pode ser considerada a variável  $z$  em função da posição  $(x, y)$  de cada ponto. No caso do estudo é mais simples verificar a intensidade da cor dos pontos (coordenada  $z$ ) em função de sua coordenada  $x$  como apresentado na Figura 2.

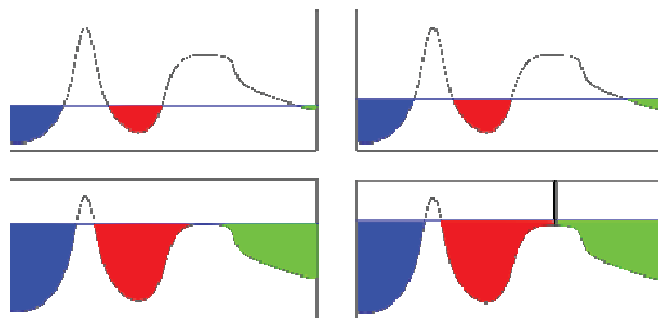


Figura 10: exemplo de funcionamento do Watershed (LABORATORIO DE PROCESSAMENTO INTELIGENTE DE IMAGENS, 2012).

O método Watershed simula a inundação de uma função tomada como um relevo topológico. No momento que duas águas se encontram uma linha divisória é formada e assim a imagem é dividida em suas varias partes constituintes (Figura 10).

## 2.5 Análise de imagens

Esta etapa compreende a parte de retirada de informações a partir da imagem. Informações como classificação dos constituintes da imagem, contagem de objetos, medição, entre outros. Esta parte é bem visualizada na prática na seção resultados e discussão.

## 2.6 ImageJ

ImageJ é um programa de análise de imagens criado por Wayne Rasband, pesquisador do *Research Services Branch do National Institute of Mental Health* nos Estados Unidos. Originalmente voltado para o auxílio na medicina este programa rapidamente se espalhou por outras áreas com diversos profissionais e pesquisadores interessados utilizando e desenvolvendo novos *plugins* para o mesmo. É um programa de código aberto, sendo assim qualquer usuário pode modificá-lo ou mesmo apenas entender seu funcionamento, para um melhor esclarecimento e clareza na discussão do seu trabalho. O programa roda na máquina virtual Java, ou seja, ele roda em qualquer sistema operacional necessitando apenas que o computador possua o Java virtual machine instalado (RASBAND, 2012).

# 3 MATERIAIS E MÉTODOS

## 3.1 Materiais

Para o seguinte estudo foram utilizadas imagens de um aço TRIP atacado utilizando reagente LePera nas seguintes proporções:

- Metabissulfito de Sódio 1% e Picral 4%.

As imagens foram tiradas em microscópio óptico Zeiss Axioscop 200 com aumento de 1000x.

### 3.2 Métodos

As imagens utilizadas foram analisadas utilizando o programa ImageJ. Foram utilizados *plugins* presentes no site do programa.

Para a programação e compilação do plugin Watershed foi utilizado o ambiente de desenvolvimento Eclipse<sup>1</sup>.

Análise feita se concentrou na identificação dos grãos, seus contornos e posteriormente as ferramentas de contagem e medição do ImageJ foram utilizadas para se realizar uma caracterização dos grãos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de um resultado típico de ataque LePera

Primeiramente foi realizada uma análise em uma foto de ataque químico LePera. O ataque químico realizado apresenta como resultado a fase ferrítica em azul, a bainítica em marrom e as fases martensítica e austenítica em branco. Sendo assim não é possível apenas com esse ataque diferenciar essas duas últimas.

A Figura 11 apresenta a imagem utilizada.

---

<sup>1</sup> Site do ambiente de desenvolvimento: <http://www.eclipse.org/>. Como integrar o ambiente com o ImageJ e como desenvolver plugins usando essa ferramenta: [http://imagejdocu.tudor.lu/doku.php?id=howto:plugins:the\\_imagej\\_eclipse\\_howto](http://imagejdocu.tudor.lu/doku.php?id=howto:plugins:the_imagej_eclipse_howto).

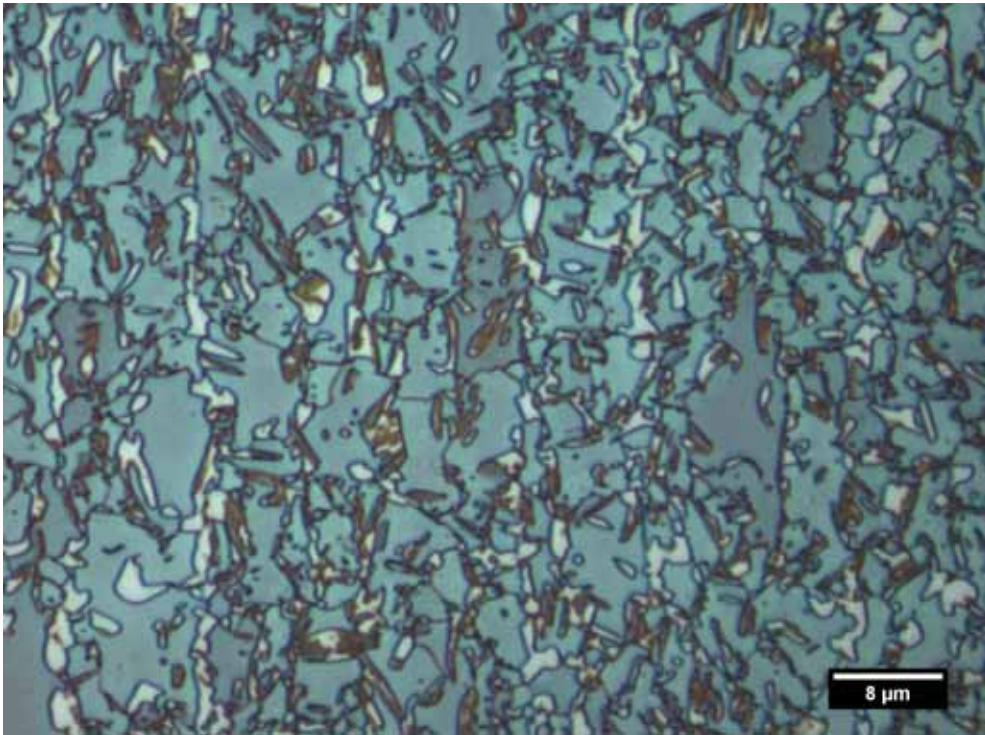


Figura 11: Aço TRIP, reagente LePera, aumento de 1000x.

A Figura 12 apresenta a indicação das fases e suas respectivas cores.

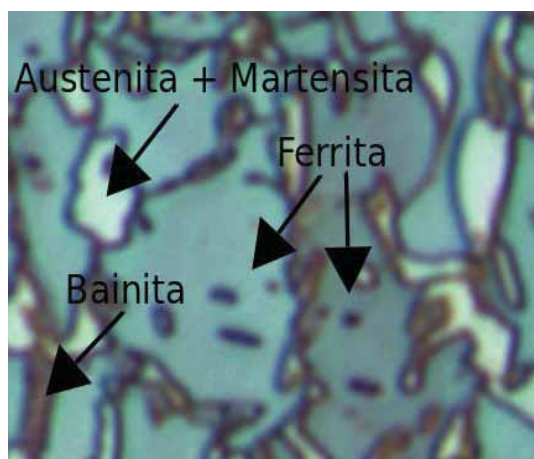


Figura 12: Na figura são identificados os microconstituintes do Aço TRIP estudado

Da Figura 12 notam-se distintos tons de azul para a fase ferrítica. Essa diferença ocorre, pois o reagente utilizado é sensível à direção cristalográfica do grão, essa característica conduza diferentes espessuras no filme formado o que leva a tais diferenças de cor. Essa característica do reagente também acontece com as outras fases.

É também possível observar que a região dos contornos de grãos apresenta uma parte escura. Essa região é caracterizada por possuir um ponto de mínimo durante a transição entre grãos. A Figura 13 mostra bem esse ponto. Utilizando a ferramenta *Plot Profile*<sup>2</sup>. Aproximadamente na distancia 0,3 polegadas os três componentes das cores atingem um mínimo.

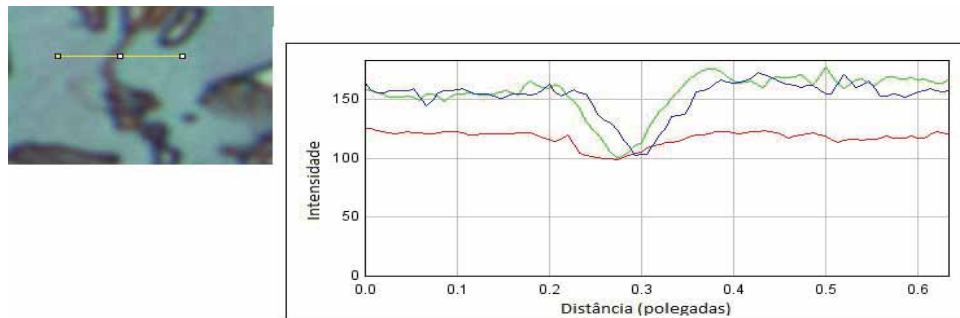


Figura 13: Gráfico do contorno ferrita-ferrita. No eixo vertical são dados os valores de intensidade dos componentes RGB dos pixels ao longo do segmento de reta amarelo mostrado na imagem à esquerda

De maneira semelhante, mas com menor intensidade também se percebe esse fato no contorno entre a Bainita e as outras fases como mostra a Figura 14.

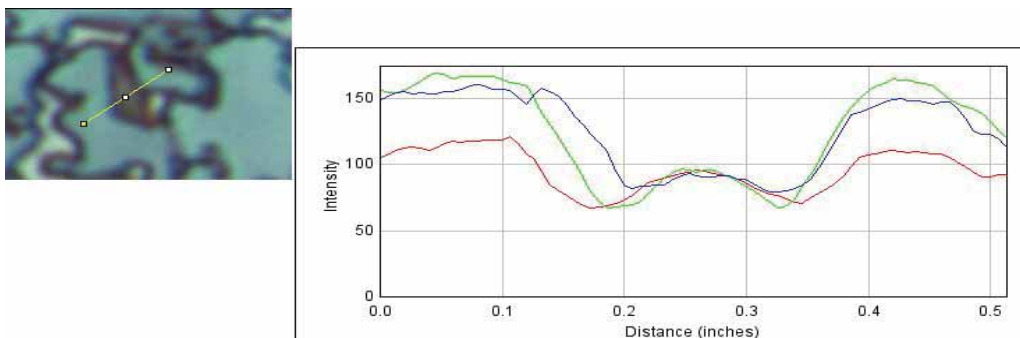


Figura 14: Gráfico de contorno entre bainita e a ferrita. No eixo vertical são dados os valores de intensidade dos componentes RGB dos pixels ao longo do segmento de reta amarelo na imagem à esquerda

Para melhor percepção dessa variação na cor dos grãos na região de contorno é apresentada a Figura 15.

<sup>2</sup> Informações sobre seu funcionamento em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/menus/analyze.html#plot>.

A Figura 11, que é originalmente colorida foi transformada em uma imagem em oito bits. A seguir foi usado o *plugin Interactive 3D Viewer* (SCHMID, 2007) para representar a imagem em três dimensões. O eixo vertical representa a intensidade de cor. Na figura, os grãos têm o formato de picos ou elevações com uma superfície plana. Os contornos são os pontos de menor intensidade. Na figura eles aparecem como vales.

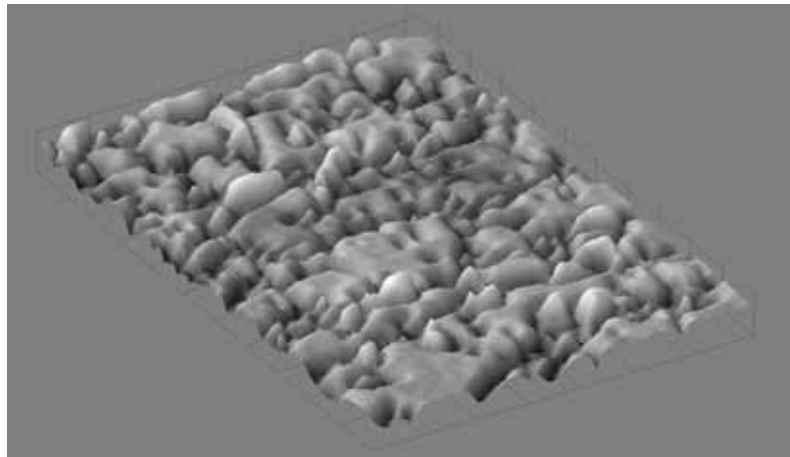


Figura 15: Representação tridimensional da imagem 6 em 8 bits.

A partir das imagens e gráficos apresentados e da teoria do ataque químico colorido, neste trabalho será considerado contorno de grãos a região de mínimo durante a transição de cor entre dois grãos.

#### **4.2 Comparação entre limiarização e Watershed**

O próximo passo na análise quantitativa metalográfica é a separação das regiões de interesse da imagem, isto é, é realizado um processamento seguido de uma análise digital da imagem. O processamento mais utilizado em análise é a limiarização. Como a limiarização utiliza apenas a informação referente à cor da imagem, neste caso específico onde foi mostrado que há uma variação de cor nos contornos de grão é de se esperar que haja uma

dificuldade em se selecionar completamente um grão, ou, no caso, todos os grãos de uma fase na imagem inteira.

Para um melhor entendimento das características dos métodos de segmentação foram realizados dois procedimentos: um via limiarização e outro via Watershed para identificar as diferenças.

#### 4.2.1 Limiarização

O processo de limiarização é feito utilizando o plugin já presente no ImageJ<sup>3</sup>. Não foi necessária nenhuma modificação no programa. O procedimento seguiu a ordem indicada no anexo B.

A Figura 16 apresenta o resultado de uma limiarização colorida com o objetivo de se selecionar o microconstituente branco.

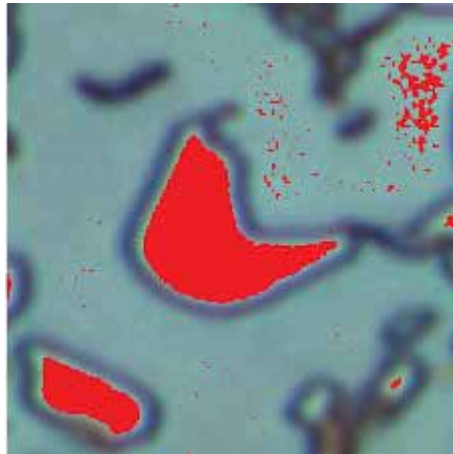


Figura 16: Recorte da Figura 11 apresentando um grão branco no centro. Em vermelho a região selecionada usando a limiarização.

No centro da Figura 16 está um grão branco e em vermelho está indicada a área selecionada deste grão usando a limiarização. Pode-se notar que a partir deste ponto a seleção começa a incluir partes azuis da imagem, sendo este um fato indesejado.

---

<sup>3</sup> Informações sobre seu funcionamento em: <http://rsb.info.nih.gov/ij/docs/guide/146-28.html#sec:Image>, seção 28.2.5.

#### 4.2.2 Watershed

O segundo método estudado foi baseado no trabalho de Andrade (1998). Onde partindo do principio e das limitações do Watershed modificou o algoritmo descrito no trabalho de Vincent e Soile (1991). Com base nestes dois trabalhos e após serem realizadas algumas modificações para melhor uso do algoritmo em açõs foi feito um plugin para ImageJ. Este plugin foi construído em cima do plugin Watershed feito por CHRISTOFER MEI (2003). O trabalho de desenvolvimento e compilação foi feitos no ambiente de desenvolvimento Eclipse.

O plugin existente para Imagej possui quatro arquivos, sendo eles:

- O arquivo principal que possui a rotina baseada no trabalho de VINCENT e SOILE;

- Arquivo que contém a classe de armazenamento das características de cada ponto da imagem;

- Arquivo de gerenciamento da ordem com que os pontos serão analisados e;

- Arquivo que gerencia uma fila de espera dos pontos e que é carregada durante a execução da rotina.

Foram adicionados mais dois arquivos: um contendo a classe que armazena as regiões segmentadas e o segundo que verifica a necessidade de agregação de áreas adjacentes que porventura foram super segmentadas durante a rotina original do Watershed. Também foram realizadas modificações no arquivo principal que cuida da rotina do plugin.

O plugin utiliza duas versões da imagem durante o processamento, sendo elas:

- Imagem original, colorida, e que pode ser processada para melhor evidenciar as cores dos grãos e;

- Duplicata da imagem original sem tratamento, transformada em oito bits com as cores invertidas;

Durante o processamento a segunda imagem é utilizada pela rotina principal do plugin e a primeira é utilizada para identificar os grãos com cores. A Figura 17 resume o processo:

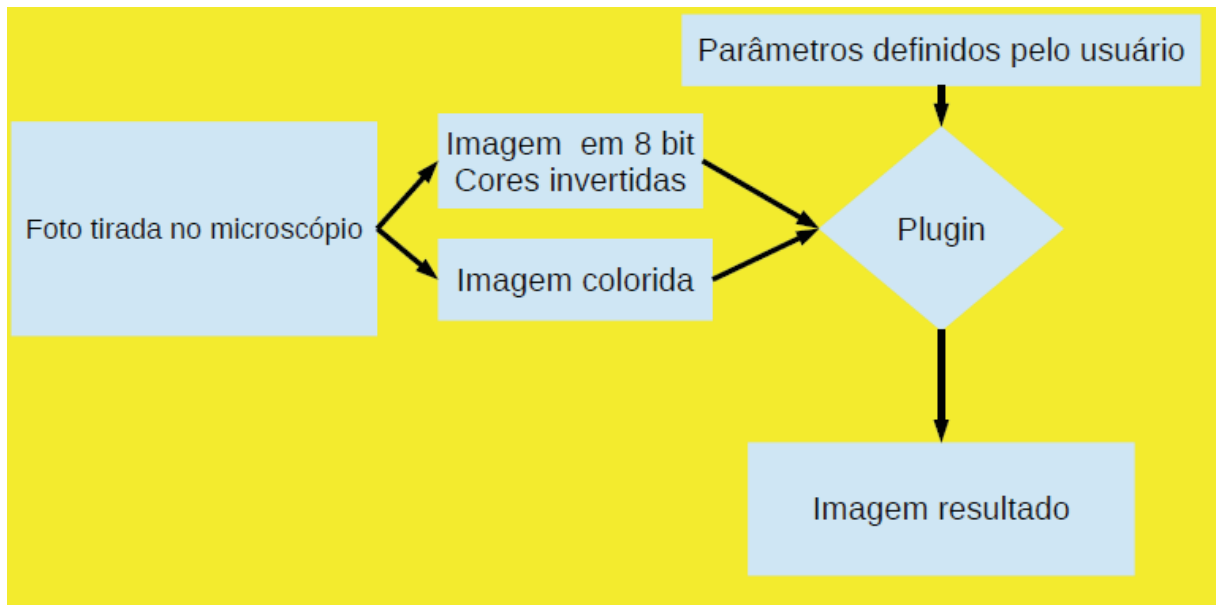


Figura 17 - Resumo das etapas de trabalho do plugin Watershed **modificado**.

A imagem **colorida é utilizada** no momento de identificação das áreas finais obtidas pelo plugin. A cada região segmentada será atribuída a cor média da área correspondente na imagem original colorida.

A Figura 18 apresenta a tela de definições de parâmetros do plugin.

Figura 18: Janela de definição de parâmetros do plugin **Watershed**

Usando-se os parâmetros mostrados na Figura 18 obteve-se uma seleção do grão branco da Figura 11 diferente da do método de limiarização. Neste caso a seleção do grão está indicada pela linha branca no contorno. Como se vê a linha que define a seleção se aproxima com muita fidelidade do esperado (Figura 19).



Figura 19: Recorte apresentando o resultado do Watershed para o mesmo grão branco da Figura 11.

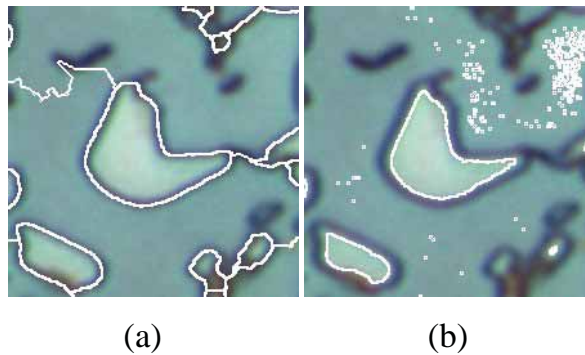


Figura 20: Contornos das seleções obtidas utilizando o método: a) Watershed; b) Limiarização.

As fotos da Figura 20 apresentam a principal diferença entre os métodos, contudo existem outros fatores prós e contras. As tabelas a seguir resumem outros pontos verificados

Tabela 1: Características do método de limiarização.

Prós	Contras
Plugin simples, com muitas opções Fácil de usar Rápido Produz bons resultados quando usada uma boa imagem de contraste e contornos bem delineados	No caso de imagens com grande gradiente de cor, isto é, sem boa definição de contornos os resultados podem se tornar dependentes do operador

Tabela 2: Características do método Watershed

Prós	Contras
O método utiliza mais parâmetros para a segmentação do que a limiarização, o que leva a uma diminuição do problema dos contornos.	Fases com cores escuras tendem a ser tomadas como contornos e, portanto não são bem separadas das regiões brancas (Austenita mais Martensita), como é o caso da Bainita. Presença de super segmentação em algumas partes mesmo com um ajuste fino O ajuste dos parâmetros do plugin é demorado. Pouco usado em metalografia e com poucos resultados para serem comparados.

Após testes foi possível melhorar a qualidade dos resultados utilizando-se uma rota de processamento das imagens antes de se fazer a segmentação.

Para tanto foram traçadas duas rotas de processamento nas imagens, uma para cada método de segmentação.

Como a característica utilizada pela limiarização neste caso é a cor foi realizado um aumento do contraste seguindo o procedimento mais comum.

Para a imagem segmentada por Watershed foi realizado um filtro passa banda (*Bandpass Filter*) para filtrar estruturas maiores que sessenta e menores que três pixels. Depois foi feita uma cópia desta imagem, com a qual foram retirados os contornos com o comando *Find Edges* e por fim foi feita uma soma das duas imagens resultando numa imagem com maior contraste. Este procedimento é interessante, pois o importante neste caso não é manter perfeitamente o aspecto original da imagem, mas sim melhorar o contraste entre as fases já que esta imagem será utilizada no momento da pintura e não como entrada para o Watershed.

Uma segunda imagem foi aberta e esta foi transformada em imagem oito bits e depois suas cores foram invertidas

Primeiramente foi realizada uma análise detalhada da Figura 11 para se comparar os dois métodos. A análise foi feita visando selecionar o microconstituente branco, formado por Austenita e Martensita. As Figuras 21 e 22 mostram a contagem dos grãos. O resultado está resumido na Tabela 3.



Figura 21: Resultado da Limiarização na Figura 11. Os grãos aparecem delineados. O programa gera automaticamente um número (em vermelho) que identifica cada grão.

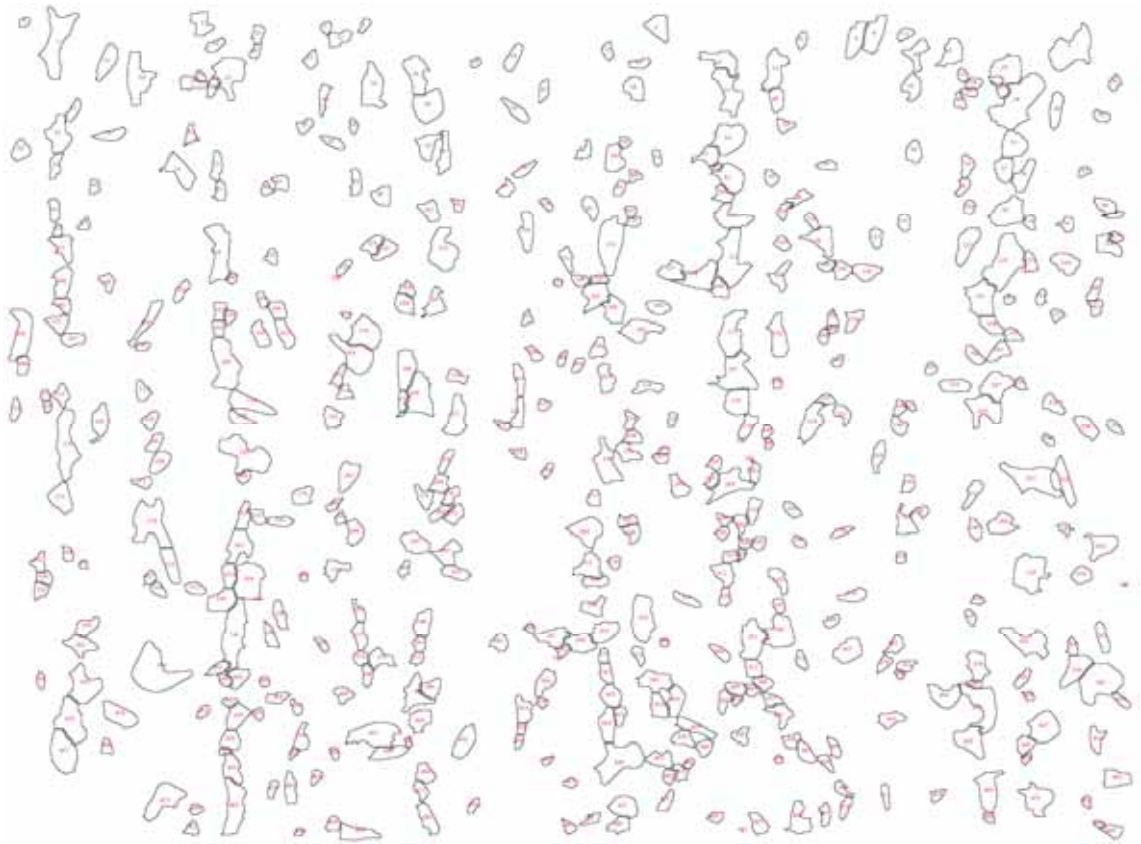


Figura 22: Resultado do Watershed ABA na Figura 11. Os grãos aparecem delineados. O programa gera automaticamente um número (em vermelho) que identifica cada grão.

Tabela 3: Contagem dos grãos, área média e fração de área da imagem via Threshold e Watershed.

Método	Contagem de Grãos	Área Média (pixels <sup>2</sup> )	Fração de Área (%)
Limiarização	795	194, 927	4, 833
Watershed	497	985, 054	15,3

### 4.3 Comparação entre limiarização, Watershed e contagem por grade segundo norma ASTM E 562

Novamente foi utilizada uma imagem (Figura 23) de um aço TRIP atacado com reagente LePera e aumento de 1000x. A análise mais uma vez se deu em cima da parte branca que é constituída de austenita e martensita.

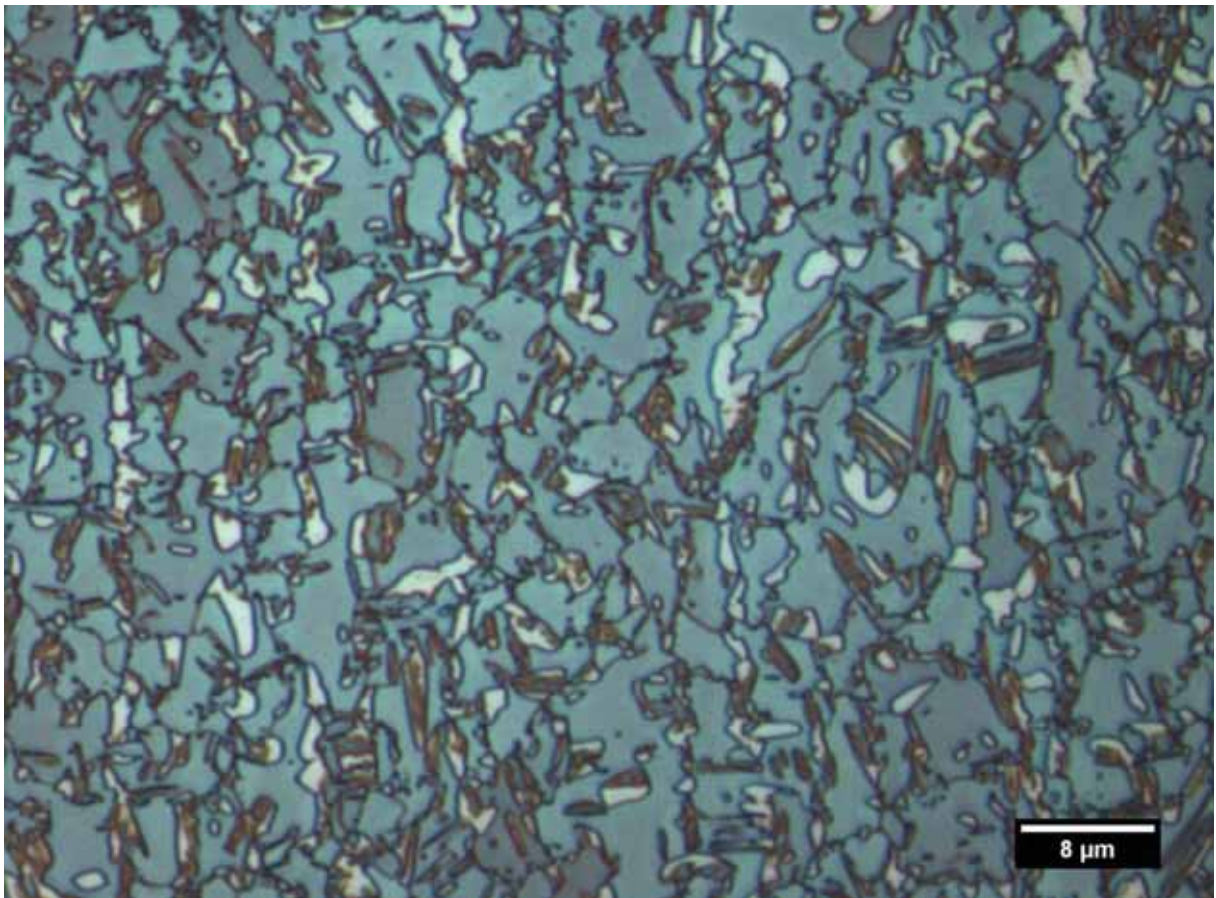


Figura 23: Imagem da segunda análise. Aço TRIP, reagente Le Pera e aumento de 1000x.

Seguindo a norma ASTM, foi construída uma grade com 120 pontos de intersecção (Figura 24 e detalhe na Figura 25). Para isso foi feita uma pequena modificação na macro Grid Overlay<sup>4</sup> para que esta desenhe uma grade seguindo o número de linhas indicado pelo usuário (Anexo A). Para a contagem foi usada a ferramenta ROI Manager. O resultado foi oito pontos de um total 120. O que representa 16,66% da área total.

---

<sup>4</sup> Encontrada em: [http://rsb.info.nih.gov/ij/macros/examples/Grid\\_Overlay.txt](http://rsb.info.nih.gov/ij/macros/examples/Grid_Overlay.txt).

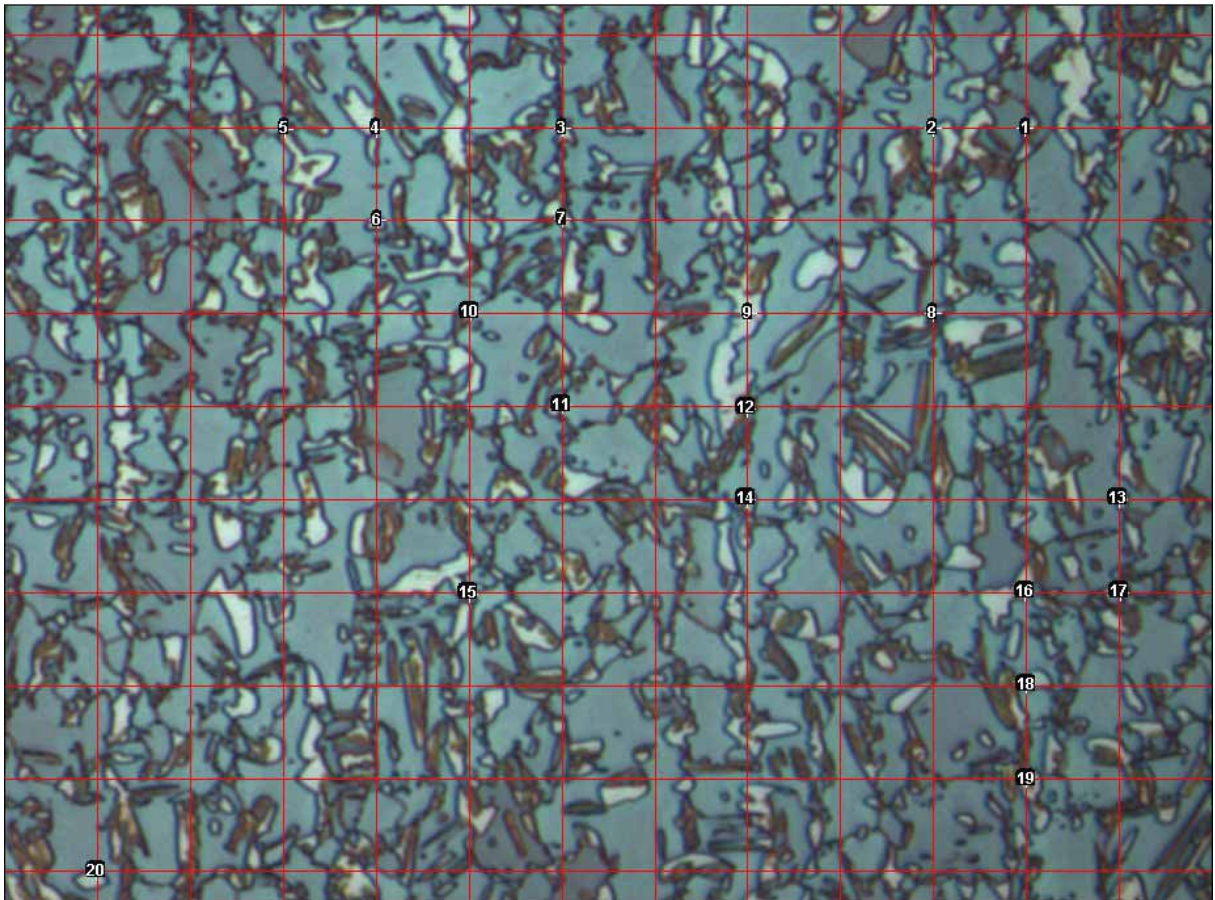


Figura 24: Grade e pontos obtidos segundo norma ASTM E 562.

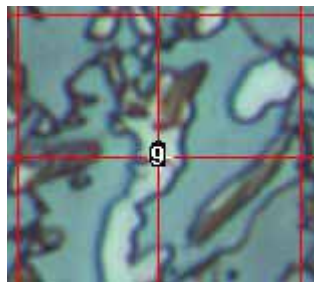


Figura 25: Detalhe da contagem.

A limiarização colorida foi feita seguindo os procedimentos já discutidos. Neste caso o procedimento foi simples e não foram realizados pré-processamentos. O resultado visto na Figura 26 foi de 4,51%.

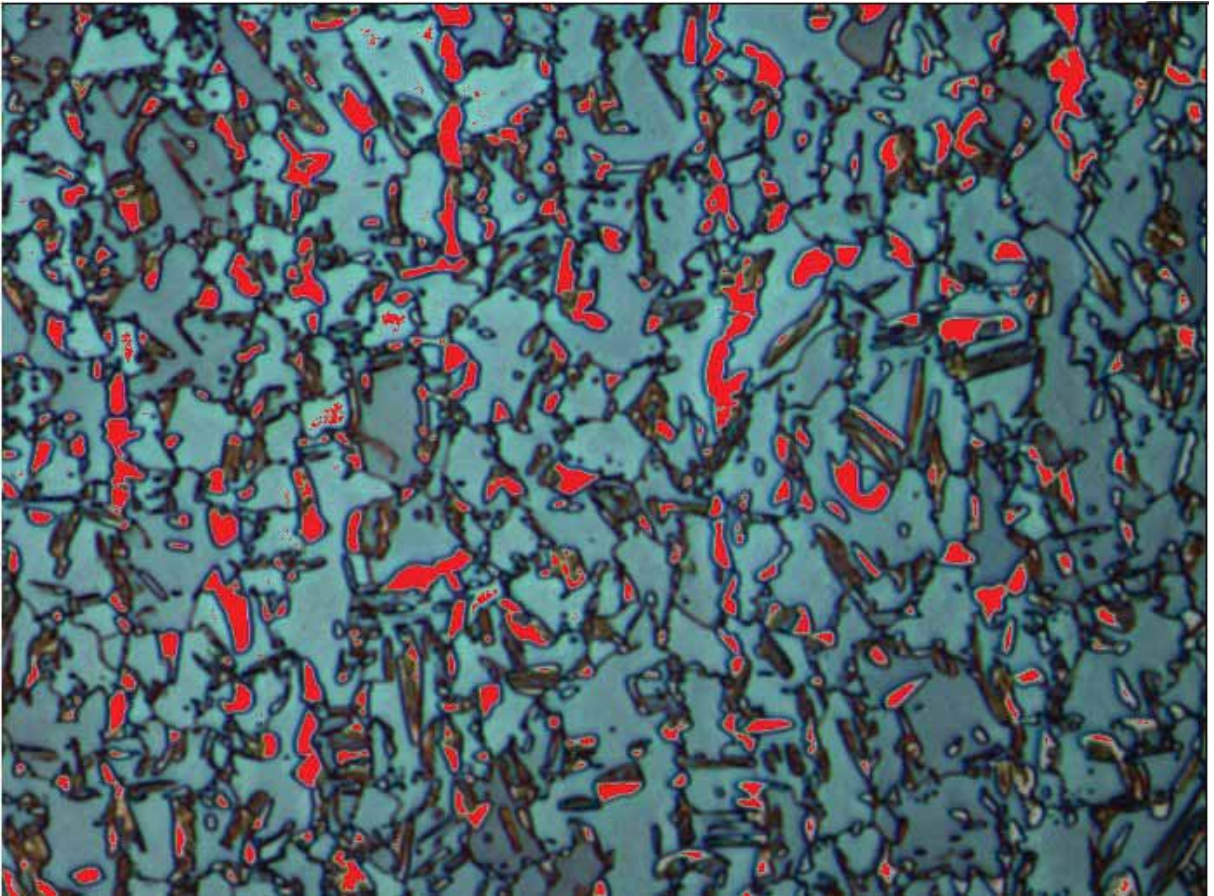


Figura 26: Resultado da limiarização.

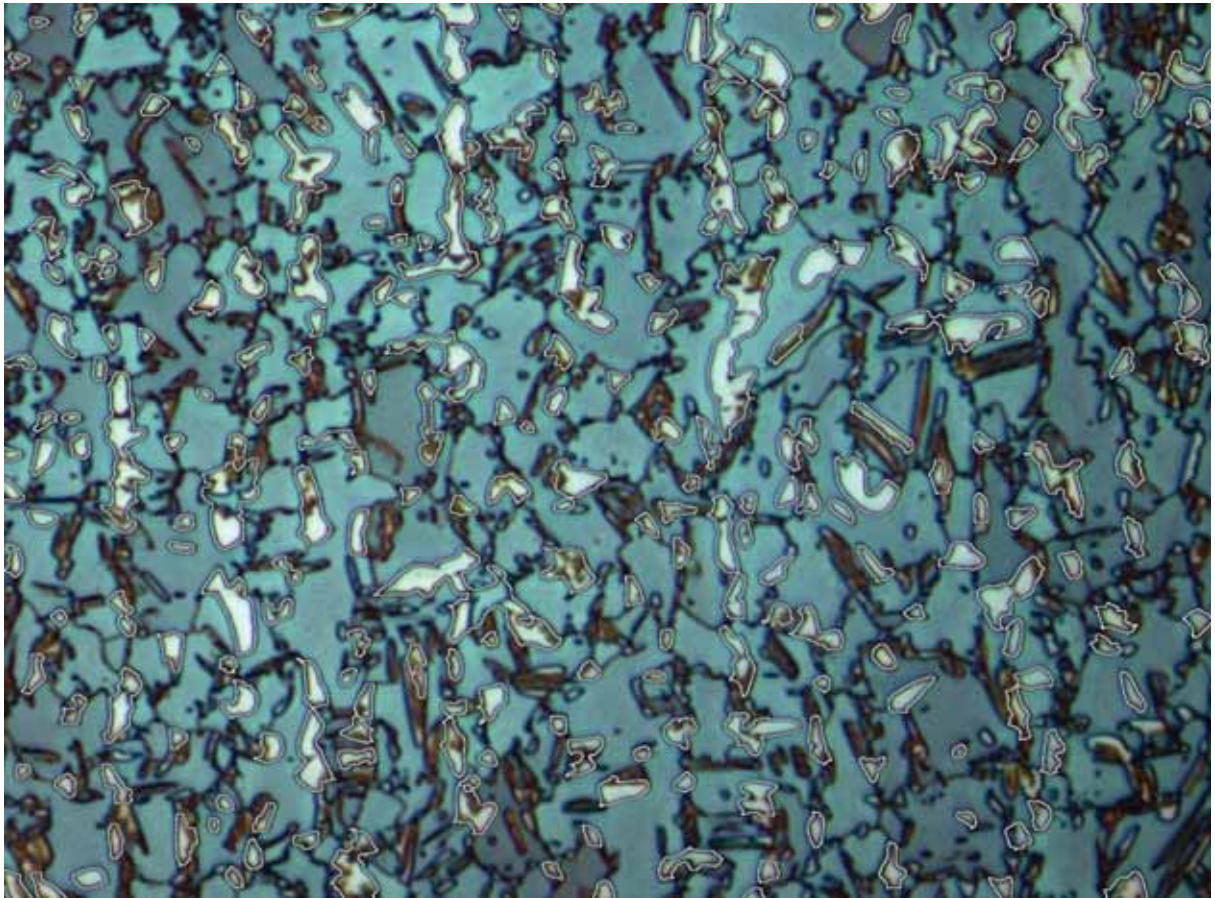


Figura 27: Contornos resultantes do Watershed.

O método Watershed melhorou a identificação dos grãos pequenos, mas ainda se nota que é preciso melhorar a separação deles na etapa seguinte que é a limiarização. O resultado do Watershed visto na Figura 27 mesmo assim foi de 15,70%.

Tabela 4: Resultados Norma ASTM, limiarização, Watershed.

Método	Fração (%)
Norma ASTM E562	16,66
Limiarização	4,51
Watershed	15,70

## 5 CONCLUSÕES

Os três métodos estudados possuem tanto pontos fortes quanto pontos fracos. Foi verificado que nenhum dos métodos de análise é adequado para todos os tipos de imagens. Sendo assim, é necessário tanto um conhecimento da imagem analisada quanto dos métodos empregados.

Verificou-se que o método Watershed seleciona com grande precisão os contornos austeníticos, contudo há problemas com a separação da bainita. Esta última devido a sua cor e muitas vezes tomada como sendo contorno de grãos e não sendo, portanto, separadas da região branca.

O método de limiarização é mais fácil de ser utilizado, contudo mostrou problemas nos contornos de grãos e seleção de grande quantidade de ruídos.

A norma ASTM E562 é um método simples de ser realizado, contudo a norma é antiga e, apesar de revisada, possui limitações em relação aos métodos computacionais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E562-11**: Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count. West Conshohocken, 2011.

ANDRADE, M. C. **Um método Topológico de Segmentação de Imagens por Atributos**. Belo Horizonte: UFMG (Tese de Doutorado), 1998.

ANNIBAL, E. G. et al. **Desenvolvimentos Recentes em Aços TRIP Aplicáveis Na Indústria Automobilística: Uma Revisão**. Ilha Solteira: XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, 2005.

BEHARA, E.; SHPIGLER, B. **Color Metallography**. Metals Park, Ohio, American Society for Metals, 1977. 248p.

BEUCHER, Serge, LANTUEJOUL, Christian. **Use Of Watersheds In Contour Detection**. Rennes: International Workshop On Image Processing, Real-Time Edge And Motion Detection, 1979.

BURGER, Wilhehem, BURGE, Mark J. **Principles of Digital Image Processing**. Londres: Springer-Verlag.

MEI, Christopher. **Watershed Algorithm**. 2003.  
<http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/watershed.html>. Acesso em: 10 de out. de 2011.

DAER, Shimeni Batista Ribeiro et al. **A Metalografia quantitativa automática utilizada como ferramenta no controle de qualidade de aços para estruturas metálicas**. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/a-metalografia-no-controle-de-qualidade-de-acos-para-estruturas-metalicas>. Acesso em: 05 de ago. de 2010.

FERREIRA, Tiago A., RASBAND, Wayne. **The ImageJ User Guide Version 1.43**. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf>. Acesso em: 20 de abr. de 2010.

FII. **Fiji Is Just ImageJ**. Disponível em: <http://pacific.mpi-cbg.de/wiki/index.php/Fiji>. Acesso em: 05 de ago. de 2010.

FISHER, R. et al. **Digital Filters**. Disponível em: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/filtops.htm>. Acesso em: 14 de nov. de 2010.

FUKUGAUCHI, C.S. **Metodologia para caracterização metalográfica de um aço TRIP por microscopia óptica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) – UNESP, Campus de Guaratinguetá, 2010.

GIRAULT, E., ET AL. **Metallographic Methods for Revealing the Multiphase Microstructure of TRIP-Assisted Steels**. *Materials Characterization*, 1998. v. 40. p.111-118.

GONZALES, Rafael C. **Digital Image Processing** . Addison-Wesley Publishing Company, 1993. 716p.

IMAGEJ. **ImageJFeatures**. Disponível em: <http://rsb.info.nih.gov/ij/features.html>. Acesso em: 05 de ago. de 2010.

IMAGEJ. **ImageJ Menu** . Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/menus/image.html>. Acesso em: 15 de maio de 2012.

JACQUES et al. **On Measurement Of Retained Austenite In Multiphase Trip Steels** . *Materials Science And Technology Mater. Sci. Technol.*, vol 25 issue 5, p567-574.

TRIGO JUNIOR, Thales Waltenior. **Medida Da Qualidade De Imagens Em Câmeras Digitais Usando Entropia Informacional** . São Paulo: Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007. 140p

LABORATORIO DE PROCESSAMENTO INTELIGENTE DE IMAGENS.  
**Researchmaintopics**. 2012. Disponível em  
<http://parati.dca.fee.unicamp.br/adesso/wiki/L2I/view/>. Acesso em: 21 de nov. de 2012.

LEGAL-AYALA, Horacio Andrés. **Uma Abordagem de Segmentação de Imagens por Aprendizagem**. Curitiba: 2004. 151p.

NEVES, Samuel C. M. **Estudo e Implementação de Técnicas de Segmentação de Imagens**. Belém: Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA, v. 1, No 2, 2001. Disponível em: [http://www2.ufpa.br/rcientifica/ed\\_anteriores/pdf/ed\\_02\\_scmn.pdf](http://www2.ufpa.br/rcientifica/ed_anteriores/pdf/ed_02_scmn.pdf). Acesso em: 20 de nov. de 2012.

RASBAND, Wayne. **Introduction**. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/intro.html>, acesso em: 05 de mar. de 2012.

SCHMID, Benjamin. **ImageJ 3D Viewer**. 2007. Disponível em: <http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/3d-viewer/>. Acesso em: 20 de nov. de 2012.

SCURI, Antonio E. **Filtros Interativos para Imagens Digitais no Domínio da Frequência**. Rio de Janeiro: Departamento de Informática Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1994.56p.

SIERRA, R., NEMES, J.A. **Investigation of the mechanical behaviour of multi-phase TRIP steels using finite element methods**. International Journal of Mechanical Sciences, 2008. v. 50. p. 649–665.

ULTRALIGHT STEEL AUTO BODY CONSORTIUM. **ULSAB-AVC Advanced Vehicle Concepts Overview Report**. American Iron and Steel Institute, 2002. Disponível em: [http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB-AVC/avc\\_overview\\_rpt\\_complete.aspx](http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB-AVC/avc_overview_rpt_complete.aspx). Acesso em: 05 de mar. de 2012.

ULTRALIGHT STEEL AUTO BODY CONSORTIUM. **Ultra Light Steel Auto Body Final Report**. Washington: American Iron and Steel Institute. 1ªEd, 1998. Disponível em [http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB/ulsab\\_final\\_report.ashx](http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Programs/ULSAB/ulsab_final_report.ashx). Acesso em: 05 de mar. de 2012.

VANDER VOORT, G. F. **Metallography, Principles and Practice** . Nova Iorque: McGraw-Hill, 1999. 752p.

VINCENT, Lee, SOILLE, Pierre. **Watersheds In Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based On Immersion Simulations**. IEEE PAMI, 1991.v. 13.

**ANEXO A – Macro Para O Desenho De Uma Grade Segundo O Número De Linhas Verticais Indicado Pelo Usuário.**

```

requires("1.43j");
Dialog.create("Desenhar Grade");
    Dialog.addNumber("Número de Linhas: ", 0);
    Dialog.show();
    nLines=Dialog.getNumber();

color = "red";
    //nLines = 20;
if (nImages==0) run("Boats (356K)");
run("Remove Overlay");
width = getWidth;
height = getHeight;
tileWidth = width/(nLines+1);
tileHeight = tileWidth;
xoff=tileWidth;
while (true &&xoff<width) { // draw vertical lines
makeLine(xoff, 0, xoff, height);
run("Add Selection...", "stroke="+color);
xoff += tileWidth;
}
yoff=(height-tileHeight*(nLines-1))/2;
while (true &&yoff<height) { // draw horizontal lines
makeLine(0, yoff, width, yoff);
run("Add Selection...", "stroke="+color);
yoff += tileHeight;
}
run("Select None");

```

**ANEXO B – Etapas Para Um Procedimento Típico Utilizando Threshold Color.**

1. File
  1. Open (Selecionar a imagem)
2. Process
  1. EnhanceContrast; Saturated Pixels 0%
3. Image
  1. Adjust
    1. Color Threshold

Selecionar RGB no campo Color space e ajustar os valores necessários para separar a fase branca da imagem.