

## **Desenvolvimento de um Programa Computacional para Medição do Tamanho de Grãos de Materiais Metálicos**

**Francisco Roger L. CAETANO; Magnaura M. dos SANTOS  
José P. QUEIROZ-NETO; Jorge A. Sosa CARDOZA; Alberto C. MONTEIRO.**

Unidade de Ensino Descentralizada de Manaus / CEFET-AM  
Av. Governador Danilo Areosa, sn – Distrito Industrial  
CEP: 69075-350 – Manaus/Amazonas, FAX (92) 3613-3530

[rogerl.caetano@gmail.com](mailto:rogerl.caetano@gmail.com), [magnaurasantos@gmail.com](mailto:magnaurasantos@gmail.com), [pinheiro@cefetam.edu.br](mailto:pinheiro@cefetam.edu.br),  
[jcardoz@cefetam.edu.br](mailto:jcardoz@cefetam.edu.br), [amonteiro@cefetam.edu.br](mailto:amonteiro@cefetam.edu.br)

### **RESUMO**

Nos metais, parte das suas propriedades macroscópicas tem forte ligação com sua microestrutura e para relacioná-los utiliza-se a metalografia quantitativa (estereologia quantitativa) que incide em técnicas de análise microestrutural da constituição do material metálico. A precisão destas análises está conectada à medição correta dos grãos, que são pequenos cristais com diferentes orientações cristalográficas com formato de um poliedro. As medições devem seguir as normas técnicas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Contudo, a quantificação manual da medição dos grãos é uma tarefa lenta, trabalhosa e sujeita a falhas e fadiga humana. Com o auxílio da visão computacional e métodos de processamento digital de imagens, é possível automatizar o processo de maneira a torná-lo mais rápido, preciso e confiável. Portanto, este trabalho tem o objetivo de desenvolver um programa computacional para a medição do tamanho do grão de materiais metálicos, cujas informações podem ser utilizadas posteriormente para identificação do tipo e características do material. Como resultado obteve-se uma redução do tempo de medição dos grãos de materiais metálicos, aumentando a eficiência de serviços e pesquisas que utilizem desta prática. O aplicativo será disponibilizado para uso nos laboratórios da UNED Manaus nas práticas de ensino da instituição.

**Palavras-chave:** metalografia quantitativa, tamanho do grão, visão computacional.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a estabilização da economia, o Brasil iniciou um processo de avanço nas pesquisas de diversas áreas tecnológicas, principalmente nos materiais semicondutores, na Microeletrônica, Nanotecnologia e também na Metalografia, que é a ciência que estuda a morfologia dos metais e está inserida na metalurgia física, com forte crescimento nos últimos anos. Com a evolução dessas tecnologias, atualmente convivemos com os Monitores de Plasma, Monitores de Cristal Líquido - LCD, celulares de alto desempenho e equipamentos industriais (REZENDE, 2004).

A Metalografia é um conjunto de métodos e técnicas utilizados na análise de materiais, proporcionando identificar um dado tipo de material a um custo relativamente baixo. Basicamente este ensaio consiste em: corte da amostra, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e a observação microscópica que revela as interfaces entre os diferentes cristais (PADILHA e AMBROZIO, 2004). Esta observação microscópica é desenvolvida, em geral, de maneira não automática, levando o pesquisador à utilização de um tempo considerável para identificar uma amostra de determinado material.

A microestrutura de um material é constituída, entre outras características, principalmente dos tamanhos de grão que a compõe, e tais medições são realizadas com muita frequência tanto nas indústrias como nas instituições de pesquisa. Contudo, a quantificação manual da medida do grão é uma tarefa lenta, trabalhosa e sujeita a falhas e fadiga humana.

Alguns pesquisadores têm utilizado a Visão Computacional para automatizar o processo de medição do grão. Visão Computacional é a área da ciência que se dedica a desenvolver teorias e métodos voltados à extração automática de informações úteis contidas em imagens, geralmente capturadas por dispositivos imageadores, tais como câmera de vídeo, scanner, etc., e a recente evolução tecnológica dos computadores e dispositivos, a preços acessíveis, tem possibilitado a crescente aplicação de visão computacional nas mais diversas áreas do conhecimento (TRUCCO e VERRI, 1998).

Podemos observar em (DIOGENES, 2005), que técnicas de visão computacional e processamento digital de imagens são utilizados para propor uma metodologia semi-automática de análise e medição do tamanho do grão, através de análise em imagens obtidas em um sistema microscópio/câmera, e processadas de tal maneira a permitir uma visualização segmentada das características que se deseja fazer a medição.

Nos trabalhos de Fazano (2005,2007), a visão computacional é utilizada para fazer a medição do grão automaticamente, porém o autor não se preocupou em explicitar maiores detalhes quanto às técnicas utilizadas no processamento da imagem e no método de contagem, limitando-se a informar que o sistema efetua as medições conforme a norma ASTM-E112 (ASM, 1985). O método proposto neste trabalho se baseia nos trabalhos de Fazano (2005,2007), utilizando técnicas mais simples para efetuar a medição.

Em (ALBUQUERQUE, 2007), é apresentada uma análise comparativa entre o método convencional e um método que emprega Redes Neurais Artificiais para a quantificação de microestruturas, em amostras de ferro fundido nodular e dos aços ABNT 1020 e 1045. O trabalho quantifica os percentuais de ferrita e perlita que caracterizam os tipos de aço, e se mostra bastante consistente em relação aos seus resultados. Contudo, este trabalho não efetua a medição do grão.

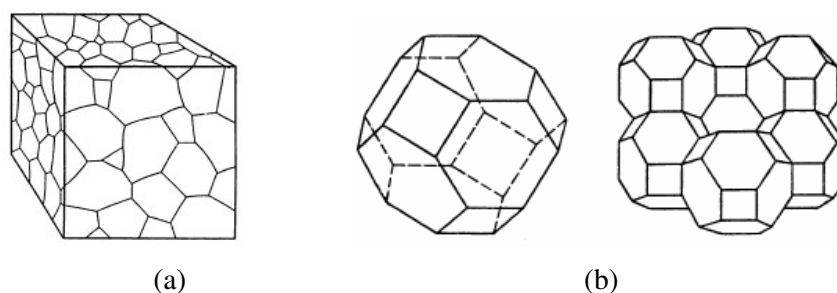
O proposto neste artigo visa, portanto, contribuir para o processo automático de medição de grão de materiais metálicos, utilizando conceitos de visão computacional e um sistema que inclui uma câmera acoplada a um microscópio para aquisição da imagem. Como resultado, este trabalho desenvolveu um aplicativo para medição automática dos grãos, similar ao apresentado em (FAZANO 2005, 2007), cujos resultados são apresentados e visam reduzir o tempo de análise e o erro introduzido por fatores humanos na medição manual do grão.

## 2. OS GRÃOS E AS MICROESTRUTURAS

Materiais são substâncias com propriedades que as tornam úteis na construção de máquinas, estruturas, dispositivos e produtos. A microestrutura esta profundamente ligada com essas propriedades e é de fundamental importância o conhecimento das propriedades dos materiais, pois delas dependem a aplicação e a utilização de cada equipamento desenvolvido com um ou mais tipos de materiais. Cada área da engenharia é especializada em alguns materiais, propriedades e conseqüentemente a um tipo de microestrutura; como a engenharia mecânica que geralmente utiliza materiais metálicos como liga de alumínio e aço e é

especializada nas propriedades mecânicas dos materiais que, por sua vez, estão subordinados às características dos grãos, que é um tipo importante de microestrutura.

Os materiais metálicos são cristalinos, isto é, têm suas ligações atômicas organizadas formando arranjos que assumem uma configuração geométrica que, dependendo do elemento, pode formar diversas geometrias. Nos metais, a configuração mais comum é a cúbica de face centrada (CFC) ou a hexagonal centrada (HC), respectivamente as Figuras 1(a) e 1(b). A estrutura cristalina é a grande rede atômica formada pelos arranjos, e o ideal seria que os eles se repetissem ordenadamente, igualmente e apenas numa única direção ou orientação por todo o material como um grande conjunto de arranjos. Porém, por inúmeras razões ocorrem defeitos espaciais em alguns arranjos e em grupos de arranjos, quebrando a harmonia e organização da rede. Dos diversos tipos de defeitos na estrutura cristalina destacam-se os grãos, que são pequenos cristais poliédricos com diferentes orientações cristalográficas, isto é, numa rede cristalina, não alinhada, existem inúmeras orientações, onde cada uma constitui um cristal poliédrico ou grão. O conjunto de todas as imperfeições, em especial os grãos, forma a microestrutura, e a visualização é alcançada através da metalografia.



**Figura 1 – Estruturas cristalinas dos materiais metálicos. Extraída de (RANGEL e PADILHA, 2004).**

### **3. METALOGRAFIA**

A Metalografia é a ciência que estuda a morfologia dos metais, e nesta se encontra o processo de preparação da amostra do material que pode ser resumido em etapas. A primeira etapa é o Corte, que é a escolha e localização da seção a ser estudada que ficará a critério do analista que será guiado pela forma e dados que se quer obter e outras considerações da peça em estudo. O corte transversal permite verificar a natureza do material, se seção homogênea ou não, posição, forma e dimensões das bolhas, e o corte longitudinal será preferível quando queremos analisar se uma peça foi fundida, forjada ou laminada, e se a peça foi estampada ou torneada (FAZANO, 1980). O Embutimento pode ser a quente ou a frio dependendo do ponto de fusão e dureza do material que se irá trabalhar, para não alterar suas características microestruturais. Para materiais que se fundem a temperatura superior ou igual a 50°C ou são maleáveis o melhor a ser utilizado é o embutimento a frio, pois, o embutimento a quente consiste na compressão em grande temperatura do material com a resina acrílica. O Lixamento é uma etapa em que se retiram as impurezas mais grosseiras do material como defeitos de corte e defeito de fabricação. Todas as etapas do lixamento devem ser seguidas sem esquecer e nem ignorar qualquer uma delas, e respeitando a granulometria de cada lixa usando sempre a menor granulometria para a maior, e não se pode trocar de lixa sem que a peça esteja totalmente plana e tenha eliminado todos os riscos da lixa anterior. Polimento é a etapa em que se eliminam os riscos da ultima lixa e deixa a peça espelhada e pronta para o ataque químico, o polimento pode ser feito com pasta diamantada para materiais não ferrosos, pasta de alumina ou alumina líquida para metais ferrosos. Deve-se respeitar a granulométrica sendo que no polimento se inicia da maior granulometria para o menor.

#### **3.1. Ataque Químico**

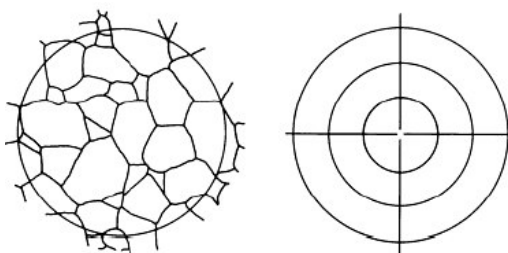
O Ataque químico é a etapa mais importante do processo metalografico, pois, é nessa etapa que as microestruturas do material são reveladas e também nessa fase que são verificadas se as etapas anteriores foram realizadas com êxito. O ataque químico consiste no contato do material com o ácido que reage com o elemento que envolve todos os grãos, formando profundos sulcos ou depressões delineando os grãos e revelando-os pelo seu contorno. O tipo de reagente, o tempo de reação e a temperatura aplicada, dependem muito do tipo de elemento que envolve os grãos, para as microestruturas serem visivelmente expostas. Esta etapa é importante também, pois grãos bem definidos facilitam a visualização através do microscópio metalografico e a aquisição por meio da câmera acoplada.

### 3.2. Microscopia Óptica

A Microscopia é a fase onde se visualiza, identifica e analisa as microestruturas dos metais qualitativamente, isto é, por suas características visuais. Há três tipos de microscopia que são utilizados em grande extensão na metalografia: a microscopia óptica (MO), a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microscopia eletrônica de transmissão (MET), e desses tipos de microscopia se destaca o microscópio óptico metalografico por sua simplicidade e custo em comparação com os demais. Para analisar especificamente os metais utiliza-se o microscópio óptico de reflexão por sua baixa interação com o metal, formado por uma lente objetiva próxima a amostra e uma lente projetiva próxima à tela ocular e uma adequada fonte de luz incidindo sobre a amostra. Durante a análise é de suma importância possuir condições para uma boa visualização como posicionamento, fixação e firmeza do microscópio, a amostra deve estar plana e bem focada. Todo este processo é para reduzir os ruídos na imagem, que são pontos indesejáveis na micrografia, e aumentar a definição dos grãos garantindo uma boa precisão na análise. A nitidez é essencial para uma boa visualização sendo o ponto mais importante, uma micrografia nítida significa uma ótima análise.

## 4. MÉTODO DE MEDIÇÃO DOS GRÃOS

A microestrutura tem grande influência nas propriedades macroscópicas do material, e para relacioná-las quantitativamente, isto é, através de números, utiliza-se a estereologia quantitativa, mais especificamente a metalografia quantitativa, que consiste em técnicas de análise microestrutural fundamentadas na estatística, aplicada a uma imagem do microscópio ou micrografia de uma amostra plana ou transversal do material, com o objetivo de representar numericamente as características da micrografia com as propriedades. O processo de quantificação de cada característica da microestrutura é padronizado pela ASTM (*American Society Testing and Material*), com normas que incluem a medição do grão, pois muitas propriedades mecânicas dependem das características do grão como formato, distribuição das fases, tamanho, quantidades, dentre outras. A norma técnica ASTM E-112 padroniza a quantificação do tamanho médio do grão, que consiste em traçar três círculos concêntricos sobre a micrografia ampliada em 100 vezes seguindo a condição de que deve haver no mínimo 50 grãos em cada círculo (Figura 2).



**Figura 2 – Exemplo do uso da norma ASTM E112. Obtida de (PADILHA e AMBROZIO, 2004).**

Desta forma calcula-se a razão da quantidade de grãos contidos no círculo pela área do círculo, de cada círculo em polegadas quadradas, e em seguida é calculado a média dos resultados. O valor obtido representa o número de objetos da microestrutura por unidade de área, dado por  $N_a$  que é utilizado na Equação 1:

$$N = ( \text{Log} N_a / \text{Log} 2 ) + 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $N$  é o número da ASTM que, através de uma tabela e figura padrão, indica um valor percentual entre 0 e 1 que representa uma micrografia com grãos semelhantes para comparação a um valor de referência em micrometros e determinação do tamanho do grão. Entretanto se para alcançar a condição da norma que estabelece um ou dois círculos para ultrapassarem a fronteira da imagem deve-se apenas utilizar os círculos dentro da imagem, porém, se o diâmetro do primeiro círculo exceder o tamanho da imagem, então deve-se utilizar o Método de Hilliard (FAZANO, 2007), que consiste em traçar três círculos concêntricos, como na Figura 2, de comprimento conhecido, em centímetros, sobre a micrografia de qualquer ampliação e contar o número de fronteiras de grãos interceptados pela linha para substituir na Equação 2. Contudo, é importante que obedeça à condição de que deve haver mais de 6 interseções do círculo com os grãos.

$$D = \text{Comprimento da Circunferência} / (\text{Contagem. Ampliação}) \quad (\text{Equação 2})$$

O resultado da Equação 2 é substituído em  $D$  na Equação 3:

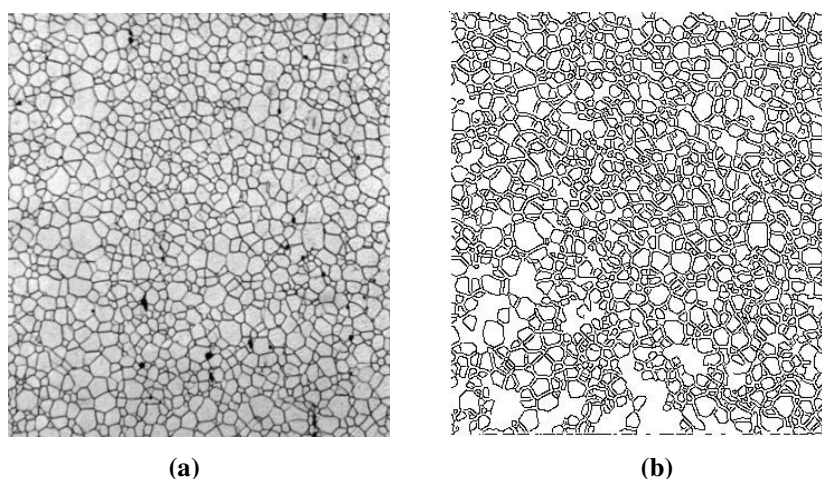
$$G = -10,00 + 6,64 \log(D) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde  $G$  é o número da ASTM em micrometros do tamanho médio do grão pelo Método de Hilliard.

Apesar de simples, a quantificação manual é trabalhosa, porque é necessário quantificar diferentes áreas da micrografia e diferentes micrografias do mesmo material obedecendo às restrições para um bom nível de confiança e precisão dos resultados através de uma média. Também na análise está sujeita a falha humana, pois, com o avanço contínuo da repetição do processo, cresce os erros causados por fadiga. Mas o maior problema é a demora no tempo de análise causado pela necessidade de repetição do processo, em indústrias de grande porte é de sobremaneira inviável o tempo de análise manual.

## 5. MÉTODOS, IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS.

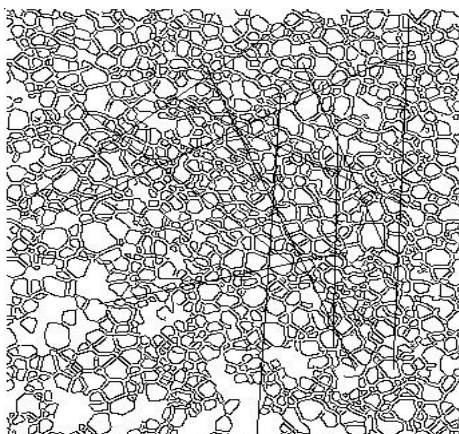
Utilizando o que recomenda a Norma da ASTM E-112, o processo de automatização da quantização inicia a partir da digitalização da micrografia através de uma câmera acoplada a um microscópio óptico metalografico, e também conectado ao computador, no Laboratório de Materiais e Componentes Eletrônicos do CEFET-AM. Para o início do sistema é de suma importante que a micrografia tenha excelente iluminação, contraste, foco e, sobretudo, nitidez. Sugere-se um processo de tratamento digital de realce nas micrografias para um bom desempenho do sistema. Em micrografias com ampliação até 100 vezes os cuidados são dobrados para não confundir o sistema, por causa da minúscula dimensão do grão. Após selecionar a micrografia, a imagem é quantizada para tons monocromáticos, e em seguida suas linhas são segmentadas através do algoritmo de CANNY EDGE, que se baseia na varredura de pixel a pixel em busca de mudanças bruscas de cinza para traçar linhas resultando numa imagem preta e branca, sendo preta nas bordas de objetos e branca em todo o resto da imagem (Figura 3). Até esta etapa o sistema apenas prepara a micrografia para análise.



**Figura 3 – Micrografia A - Exemplo da imagem adquirida de (ASM, 1985) e tratada para extração de bordas. Em (a) Imagem metalográfica adquirida pela câmera. Em (b) Imagem segmentada pelo método de CANNY-EDGE.**

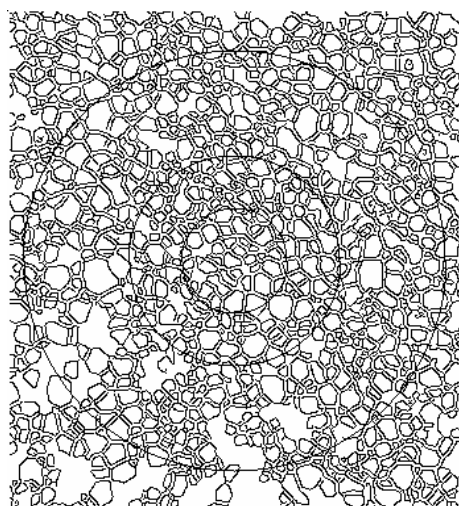
O sistema obedece à condição de que deve haver no mínimo 50 grãos por círculo, exigida pela norma técnica, porém, os grãos não são uniformes e variam muito de material para material, então, o sistema ajusta o raio de acordo com o tamanho de grão através do algoritmo de ajuste, desenvolvido neste trabalho como um software livre em linguagem C++. O algoritmo baseia-se em duas medições de grãos, a primeira é a medição grosseira do grão que consiste na varredura linear de pixel a pixel contando o número de fronteiras de grãos encontradas (Figura 5), utilizado para cálculo da razão entre o comprimento da linha e da contagem conforme a Equação 4. O método irá se repetir 10 vezes aleatoriamente, para obter um resultado médio preciso.

$$D = \text{Comprimento da linha} / \text{Contagem} \quad (\text{Equação 4})$$



**Figura 4 – Linhas aleatórias usadas para o Método de Medição Grosseira do Grão traçada pelo sistema.**

A segunda é a medição simples do grão que consiste na varredura circular de pixel a pixel de três círculos concêntricos (Figura 2) de cada vez, no qual o raio do primeiro círculo é o resultado da Equação 4 e os demais são 50% e 150% do primeiro círculo. Conta-se o número de contorno de grãos interceptados durante a varredura para utilizar na Equação 2, porém, considera-se a ampliação igual a 1. O processo repete-se para os demais círculo para uma média dos resultados dos três círculos.

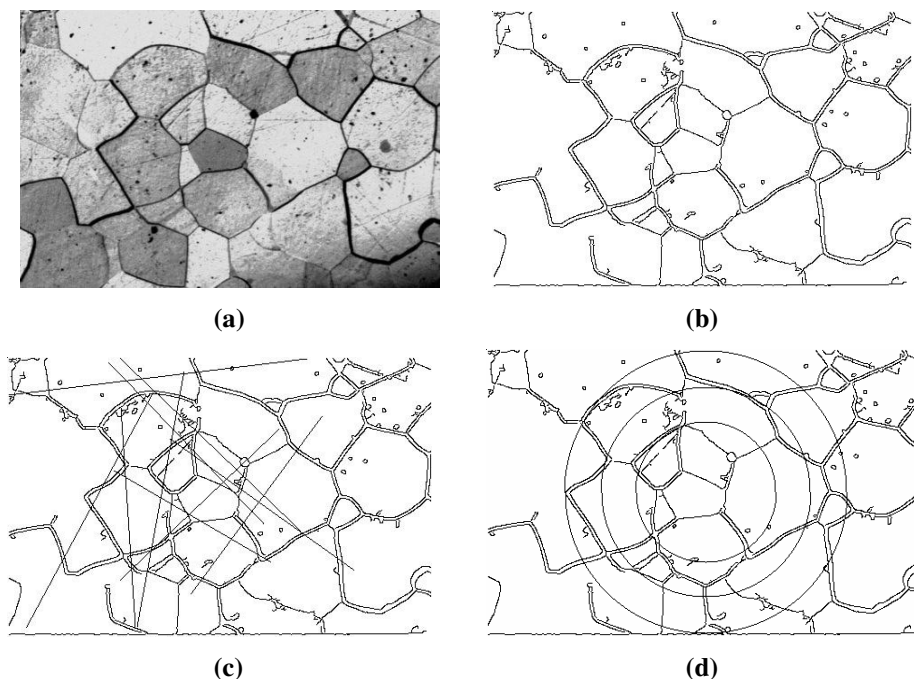


**Figura 5 – Os círculos interceptam os grãos para o Método da Medição Simples do grão desenhada pelo sistema.**

O resultado da Equação 2, com ampliação igual a 1, é o valor mínimo do raio para o ajuste, o qual consiste no aumento aritmético do raio na razão de 50% do raio mínimo até a condição verdadeira da restrição da norma ASTM. No entanto se o diâmetro do primeiro raio ultrapassar o tamanho da figura o sistema adota o procedimento do Método de Hilliard. Até esta etapa o sistema interpreta e descreve a micrografia para a quantificação.

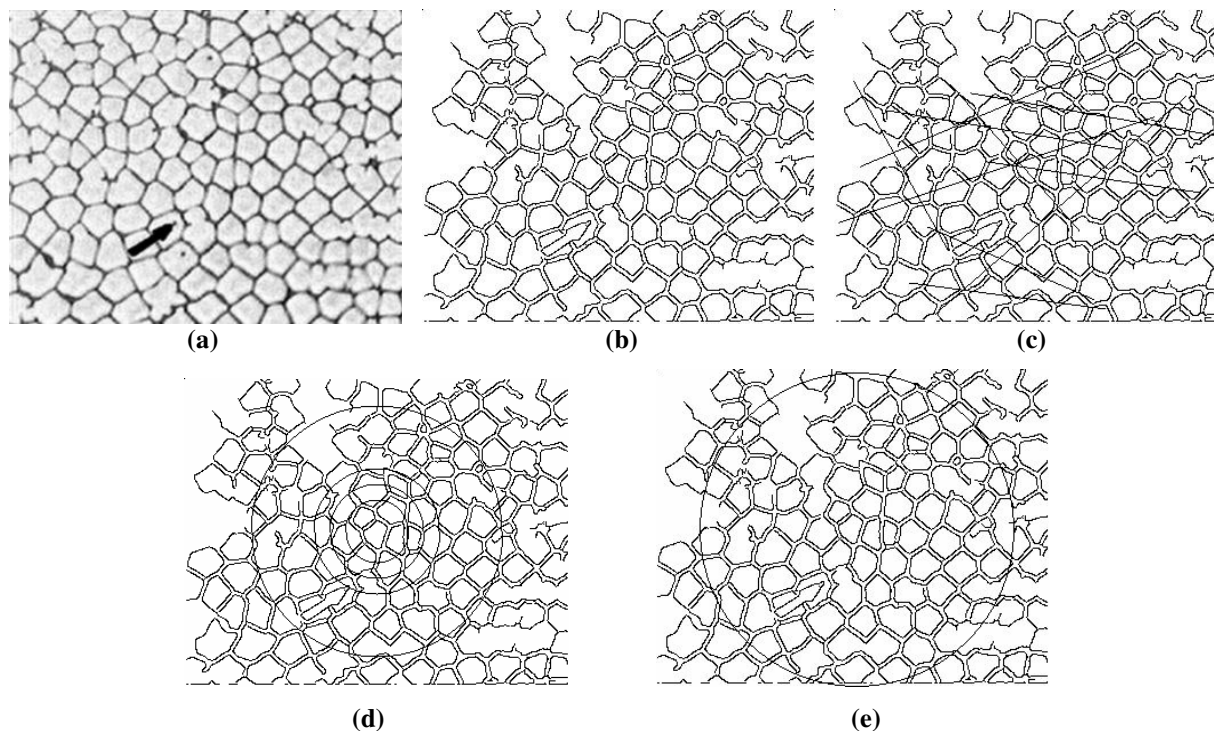
Na condição verdadeira de haver 50 grãos, ao menos no primeiro círculo, o sistema inicia a quantificação do grão calculando a razão entre o número de grãos e a área do círculo, de cada um dos três círculo concêntricos para um resultado médio. Em seguida o resultado é substituído por  $N_a$  na Equação 1. O valor de  $N_a$  acessa, na tabela, o valor do tamanho médio do grão e micrografia correspondente. Como saída do sistema obtêm-se a micrografia segmentada por bordas, o número da ASTM, o tamanho médio do grão e a micrografia padrão, ambos correspondente ao número da ASTM. Na condição falsa o programa aproveita o resultado da Equação 2 obtida através do processo de varredura circular, porém agora com o valor da ampliação da micrografia aplicada na formula, para substituí-la na Equação 3 e obter o tamanho médio do grão. Em micrografias com o número total de grãos inferior a 50, como na Figura 6, o sistema adota a medição de  $G$  (Equação 3) que é indicada para a situação, indicando a condição falsa do sistema. Nesta restrição, obtêm-se como saída do programa a imagem segmentada, a micrografia com os círculos concêntricos e o tamanho médio do grão.





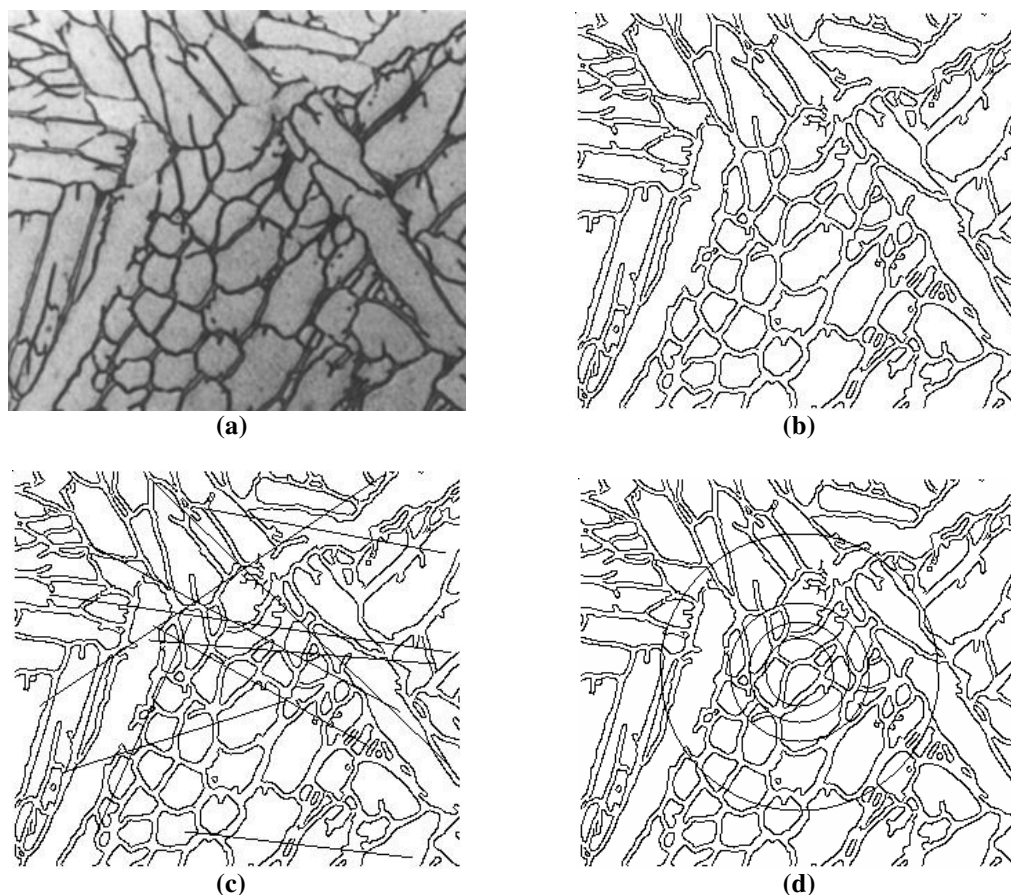
**Figura 6 – Micrografia B - Exemplo com numero total de grãos inferior a 50. Em (a) Aquisição da imagem, extraída de (ASM, 1985). Em (b) Segmentação da imagem. Em (c) Método da linha. E em (d) Método dos círculos com a restrição de Hilliard. Em (b), (c) e (d) temos os resultados do sistema proposto neste trabalho.**

Para o teste e comprovação do sistema utilizamos micrografias extraídas de (ASM, 1985) em um primeiro experimento, que são imagens modelo para comparação. Inicialmente o tempo de processamento do sistema foi comparado com o tempo manual, utilizando a Figura 6 que é uma amostra de uma liga Pb20% e Sb80%. Notou-se uma extrema diferença no tempo a favor do sistema. A seguir o tamanho médio do grão, retirado de (ASM, 1985 ) e com alta precisão, foi comparado ao resultado do programa, observou-se que há uma pequena diferença, porém justificável, pois a precisão do programa é fundamentada na repetição do método em varias micrografias do mesmo material e não apenas em uma.



**Figura 7 - Micrografia C - Amostra do material Pb-2Sb-8 obtida de (ASM, 1985). Imagens resumindo o processo (a) Imagem Monocromática (b) Micrografia Segmentada (c) 10 Linha Aleatórias para Analise Linear (d) Três Círculos Concêntricos Para Analise Circular (e) Contagem de 50 grãos para a Norma ASTM E112.**

Para o teste da quantização pelo Método de Hilliard foi feito um segundo experimento, cujo resultado das diversas etapas é apresentado na Figura 8.



**Figura 8 – Micrografia D - Obtida de (ASM, 1985). Amostra do material Ti-60%Al-40%. Resumo da Quantificação. (a) Imagem em Tons de Cinza (b) Imagem Segmentada pelo método de CANNY-EDGE (c) Linhas Aleatórias (d) Círculos Concêntricos na condição de Hilliard.**

Os resultados dos cálculos de tamanho dos grãos são apresentados na Tabela 1. Para verificar os resultados, a medição manual (análise a olho nu na imagem) foi efetuada por um professor do CEFET-AM com 23 anos de experiência na área e confrontada com os valores obtidos pelo sistema desenvolvido neste trabalho. Os experimentos utilizaram as imagens de amostras que foram denominadas Micrografias A, B, C e D, que podem ser observadas nas Figura 3, Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Amostra	Tamanho Médio do Grão Micrometro (Manual)	Tamanho Médio do Grão Micrometro (Automático)	Erro
Micrografia A	22,05	26,278	19%
Micrografia B	60,88	66,852	9%
Micrografia C	108,33	122,47	13%
Micrografia D	33,09	30,36	8%

**Tabela 1 – Resultados obtidos com o método manual de medição e com o sistema automático desenvolvido. A coluna de erro é a relação percentual entre o tamanho do método manual e do automático.**



Como resultado principal, obtivemos uma extrema redução no tempo de análise, comparando-se o método manual e o sistema proposto neste trabalho. Não é possível afirmar quanto ao grau de certeza da medição, uma vez que a quantidade de amostra foi pequena, e considerando que a medição manual não configura um valor exato, pois está sujeito a erros. Entretanto, os resultados sugerem uma medição com maior confiabilidade nos resultados, causado pela automação, e maior precisão, pela repetição do processo. Em indústrias, reduz tempo e pessoal e aumenta a eficácia e agilidade.

## 6. CONCLUSÃO

Nos materiais metálicos, parte das suas propriedades macroscópicas está conectada com sua microestrutura, e para discriminá-la utiliza-se a metalografia quantitativa. A precisão destas análises está conectada à medição correta dos grãos. A quantificação manual das medidas dos grãos é uma tarefa lenta e sujeita a falhas. Com o auxílio da visão computacional e métodos de processamento da imagem digital, este trabalho demonstrou que é possível automatizar o processo de medição dos grãos de maneira a torná-lo mais rápido e confiável. As técnicas utilizadas permitem a medição do tamanho do grão de maneira simples e eficaz, contudo este ainda é um resultado que precisa ser validado através de uma quantidade maior de amostras com mais experimentos e diferentes tipos de micrografias. Para os testes efetuados, os resultados mostraram um bom desempenho do programa, o que certamente pode ser melhorado com a continuação da pesquisa e o uso de outras técnicas que permitam melhorias na imagem de entrada, reduzindo ruídos que possam comprometer os resultados.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPEAM (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas) pelo auxílio através do Programa de Apoio a Iniciação Científica (PAIC) e ao CEFET-AM pelo uso dos laboratórios e equipamentos.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, V. H. C., Cortez, P. C., Alexandria, A. R., Aguiar, W. M., Silva, E. M., **Sistema de segmentação de imagens para quantificação de microestruturas em metais utilizando redes neurais artificiais**. Matéria (Rio J.) v.12 n.2 Rio de Janeiro, 2007.

**ASM Metals HandBook - Metallography and Microstructures - Volume 09**, Editora Metals Handbook 1985.

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**, Proceedings of 18th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM, November 6-11, 2005, Ouro Preto, MG.

FAZANO, C. A. **A Aplicação da Análise de imagem na quantificação das características microestruturais de materiais**, Revista Analytica • Outubro/Novembro 2005 • Nº19.

FAZANO, C. A. **Determinando-se o tamanho de grãos em ligas de cobre-zinco através da análise de imagem**, Revista Analytica • Fevereiro/Março 2007 • Nº27.

FAZANO, C. A. **A prática metalografica**, Editora Hemus livraria, LTDA 1980.

REZENDE, Sérgio. **Materiais e dispositivos**. Ed. Livraria da Física, 2ed, ISBN 8588325276, 2004.

PADILHA, F. A e Ambrozio filho, F. **Técnicas de análises microestrutural**, Hemus livraria, distribuidora e editora 2004.

TRUCCO, Emanuelle e VERRI, Andréa. **Introductory Techniques for 3D Computer Vision**. Ed. Prentice Hall, 1998.