

## **Caracterização de aços BH através de análise de imagens: classificação de inclusões de acordo com seu tamanho e forma**

### **Alysson Nunes Diógenes**

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas – LMPT – Depto. de Eng. Mecânica – UFSC – Florianópolis – SC – CEP 88040-900 – C. Postal 476.

[nunes@lmpt.ufsc.br](mailto:nunes@lmpt.ufsc.br)

### **Celso Peres Fernandes**

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas – LMPT – Depto. de Eng. Mecânica – UFSC – Florianópolis – SC – CEP 88040-900 – C. Postal 476.

[celso@lmpt.ufsc.br](mailto:celso@lmpt.ufsc.br)

### **Eduardo Augusto Hoff**

ESSS – Engineering Simulation and Scientific Software, Rod SC401 – Km 001 – Saco Grande, ParqTec ALFA – CELTA – Sala 5.01, Florianópolis - SC – Brasil. CEP: 88030-000

[hoff@esss.com.br](mailto:hoff@esss.com.br)

### **Ana Maria Maliska**

LCM – Laboratório Caracterização Microestrutural, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina – Trindade – Florianópolis SC Brasil - CEP 88040-900 Caixa Postal 476

[ana@materiais.ufsc.br](mailto:ana@materiais.ufsc.br)

***Resumo.** Os aços Bake Hardening (BH) são elaborados e tratados para que se obtenha um aumento significativo do limite de elasticidade durante um tratamento térmico a baixa temperatura. Isto permite alcançar níveis de resistência mais altos em peças acabadas, com um desempenho constante do ponto de vista da conformabilidade, sendo muito utilizado nos chamados painéis de cobertura pela indústria automobilística. As empresas fabricantes do BH tem o interesse em verificar a limpeza deste aço de maneira automática, pois tal processo, feito manualmente, requer um operador altamente qualificado e fornece resultados com elevado grau de subjetividade, além de ser exaustiva e possuir um desvio padrão nas análises maior que 5% de um operador para outro, enquanto o recomendado em normas da área é de aproximadamente 2%. O objetivo deste trabalho é classificar as inclusões em aço BH através da plataforma IMAGO utilizando o método de Yawata como critério de classificação para tamanho e forma. As amostras foram preparadas pelo Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina (LABMAT/UFSC) através de lixamento e polimento para eliminar riscos. Para a análise de imagens, primeiramente estimou-se o número de imagens a ser adquirido através de métodos estatísticos e adotou-se a seguinte metodologia: conversão para tons de cinza, binarização por limiar de Bernsen e filtragem BDRE. Por fim, classificou-se a forma e o tamanho das inclusões. A pesquisa, mesmo em sua fase inicial, mostra resultados promissores. Foi possível, para três amostras, classificar as inclusões nas faixas de tamanho e forma determinadas pelo método.*

**Palavras-chave:** aço BH, caracterização microestrutural, inclusões, análise de imagens.

## 1. INTRODUÇÃO

Os aços *Bake Hardening* (BH) são elaborados e tratados para que se obtenha um aumento significativo do limite de elasticidade durante um tratamento térmico a baixa temperatura. Isto permite alcançar níveis de resistência mais altos em peças acabadas, com um desempenho constante do ponto de vista da conformabilidade. Os ganhos proporcionados pelo tratamento de cozimento chamado “efeito *Bake Hardening*” são, em geral, superior a 40 MPa. Este efeito é um fenômeno de envelhecimento controlado, conhecido como envelhecimento por deformação estática, ligado à presença de carbono e/ou nitrogênio em solução sólida no aço, impedindo a movimentação das discordâncias através da segregação de átomos intersticiais (JEONG, 1998).

É um aço muito utilizado na nos chamados painéis de cobertura (teto, capô, etc.) pela indústria automobilística. As empresas fabricantes do BH têm o interesse em verificar a limpidez deste aço de maneira automática, pois tal processo, feito manualmente, requer um operador altamente qualificado e fornece resultados com elevado grau de subjetividade, além de ser exaustiva e possuir um desvio padrão nas análises maior que 5% (DEHMESHKI *et.al.*, 1995) de um operador para outro, enquanto o recomendado pela norma ASTM E1383-97 é de aproximadamente 2%.

Para verificar a limpidez deste tipo de aços, algumas empresas utilizam o método de Yawata como critério de classificação, técnica desenvolvida na década de 70 por profissionais da usina de Yawata, no Japão.

Este método classifica as inclusões de acordo com seu tamanho e forma. Para o primeiro, são adotadas faixas de:

- Menores que 10 $\mu$ m são desprezados;
- 10 $\mu$ m a 20 $\mu$ m;
- 20 $\mu$ m a 40 $\mu$ m;
- 40 $\mu$ m a 100 $\mu$ m;
- 100 $\mu$ m a 400 $\mu$ m;
- Maiores do que 400 $\mu$ m.

Para forma, são utilizadas quatro classes:

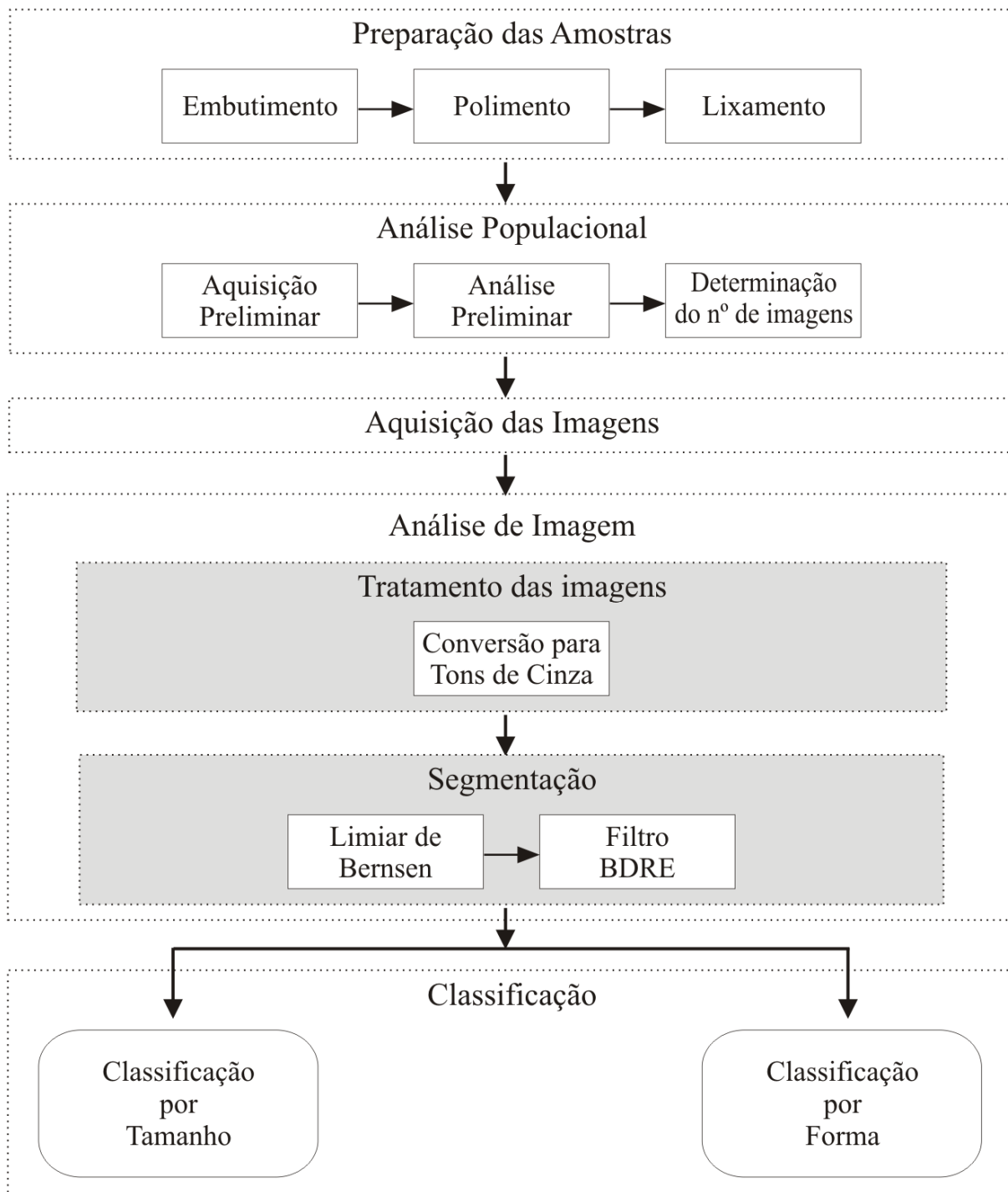
- Alumina (inclusões de cor escura e pode apresentar variadas morfologias);
- Globulares (todas as inclusões de formato circular);
- Clusters (agrupamentos de quatro ou mais inclusões próximas entre si);
- Outros (inclusões que não se enquadram em nenhuma das demais categorias).

Além disso, os *clusters* são subdivididos em dois grupos: os de aluminas (inclusões escuras) e os de sulfeto (cinza claro).

O objetivo deste trabalho é verificar a limpidez do aço BH através da plataforma IMAGO, classificando as inclusões de acordo com o método de Yawata. Além disso, pretende-se ampliar a faixa de classificação por tamanho, adotando-se mais quatro classes entre 1 $\mu$ m e 10 $\mu$ m.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar as inclusões em aço BH não é necessário atacar a amostra, de modo que a etapa de preparação da amostra constituiu-se apenas de lixamento e polimento, utilizados para reduzir a ocorrência de riscos. Foram utilizadas lixas de 100 a 1200Mesh e abrasivos de 2,1 a 0,5 $\mu$ m, seguindo as recomendações da norma ASTM E1383-97. Esta norma, apesar de ser a norma padrão para contagem de tamanho de grão, foi utilizada por estabelecer boas práticas para a preparação de amostras metálicas que serão analisadas através de imagens. A metodologia adotada para este trabalho está exposta no fluxograma da Figura 1.



**Figura 1.** Fluxograma expondo a metodologia adotada neste trabalho

O processo seguinte à preparação foi a determinação do número de imagens a ser adquirido para representar estatisticamente cada amostra. De acordo com SHIMAKURA (2002), uma população qualquer pode ser determinada, caso seja conhecido o seu desvio padrão amostral através da equação (1).

$$n = \left( \frac{zS}{d} \right)^2 \tag{1}$$

Onde:

- $n$  é o número de imagens a ser adquirido;
- $z$  é equivalente ao  $t$  da tabela  $t$  de *Student*, que é igual a 2,576 para pequenas amostras;
- $s$  é o desvio padrão amostral do parâmetro adotado como referência;
- $d$  é o erro estipulado. Neste caso, 2% da média do número de classes encontradas em cada imagem.

Para determinar o desvio padrão amostral, selecionou-se o parâmetro de interesse, neste caso o número de classes encontrado em cada imagem por tamanho e forma, e realizou-se uma aquisição preliminar de cinco imagens por amostra. A aquisição e a análise preliminares mostraram que cada lâmina possui um baixo desvio padrão, sendo suficientes sete imagens por lâmina para um erro de até 2% da média do número de classes encontradas em cada imagem.

Após esta análise estatística, realizou-se a aquisição das imagens, utilizando para isto um microscópio BX-41M acoplado a uma câmera *Moticam* 1300. Adquiriu-se sete imagens por amostra em ampliação de 500x e resolução de 1280x1024. Pode-se ver uma imagem resultante do processo de aquisição na Figura 2.



Figura 2. Imagem de aço BH adquirida em 500x

Concluída a aquisição, iniciou-se a análise de imagens, primeiramente com a conversão para tons de cinza da imagem, objetivando garantir um bom processo de binarização, que foi realizado através do limiar de Bernsen (BERNSEN, 1986). Um exemplo de imagem resultante pode ser vista na Figura 3. Observa-se que, apesar dos riscos remanescentes do processo de preparação, o método isolou apenas as inclusões.



Figura 3. Imagem de aço BH binarizada através do limiar de Bernsen

Após a segmentação foi necessário, ainda, filtrar a imagem resultante para eliminar eventuais objetos isolados menores que  $2 \times 2$  pixels, que poderiam prejudicar a correta classificação das inclusões. Para isto, utilizou-se o filtro morfológico BDRE desenvolvido por KHER e MITRA (1994).

Realizadas as etapas já descritas, o processo de classificação foi separado em duas partes distintas. Para efetuar a classificação por tamanho, adotou-se medidas de corda máxima dos objetos. Além da adoção das classes definidas pelo método de Yawata, utilizou-se mais quatro classes, visando adaptar a técnica desenvolvida na década de 70 aos padrões atuais de limpeza do aço BH:

- Menores que  $1\mu\text{m}$ ;
- $1\mu\text{m}$  a  $3\mu\text{m}$ ;
- $3\mu\text{m}$  a  $5\mu\text{m}$ ;
- $5\mu\text{m}$  a  $10\mu\text{m}$ .

Para classificar as inclusões de acordo com sua forma, utilizou-se critérios de circularidade e distância entre os objetos. O critério de circularidade é calculado de acordo com a equação (2) e determina se a inclusão é globular, alumina ou “outra”. Este parâmetro varia de 0, para um objeto pouco circular ou próximo a uma reta, a 1, para um círculo perfeito. Adotou-se os seguintes limites:

- Objetos com circularidade menor que 0,5 são inclusões de alumina;
- Objetos com circularidade entre 0,5 e 0,7 são inclusões do tipo “outra”;
- Objetos com circularidade maiores que 0,7 são inclusões globulares.

$$c = \left( \frac{4\pi A}{P^2} \right) \quad (2)$$

O critério de distância determina se a inclusão faz parte de um *cluster*. Caso quatro ou mais inclusões possuam distância entre si menor ou igual a  $1\mu\text{m}$ , estas inclusões formam um *cluster*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação por tamanho de um corte da Figura 3 está exposta na Figura 4. Observa-se que foram adicionadas quatro classes de classificação para o critério de tamanho. Estas novas classes

proporcionam uma melhor observação da limpeza do aço, visto que as inclusões menores que 10 $\mu$ m seriam desconsideradas pelo método de Yawata convencional.

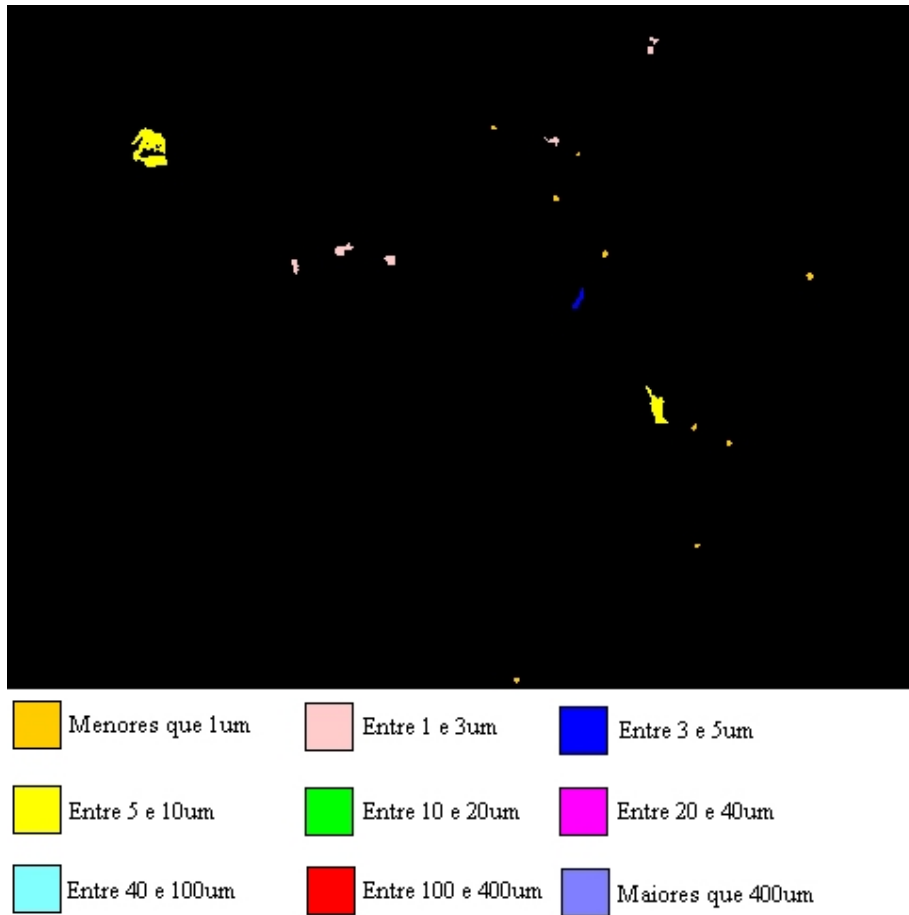


Figura 4. Corte da imagem da Figura 2 com inclusões classificadas por tamanho de acordo com a legenda

Para a classificação por forma, a imagem classificada encontra-se na Figura 5. Observa-se que o método de Yawata adota um critério subjetivo de proximidade para classificar uma inclusão como *cluster*. O critério de distância utilizado neste trabalho, por outro lado, mostrou-se satisfatório.

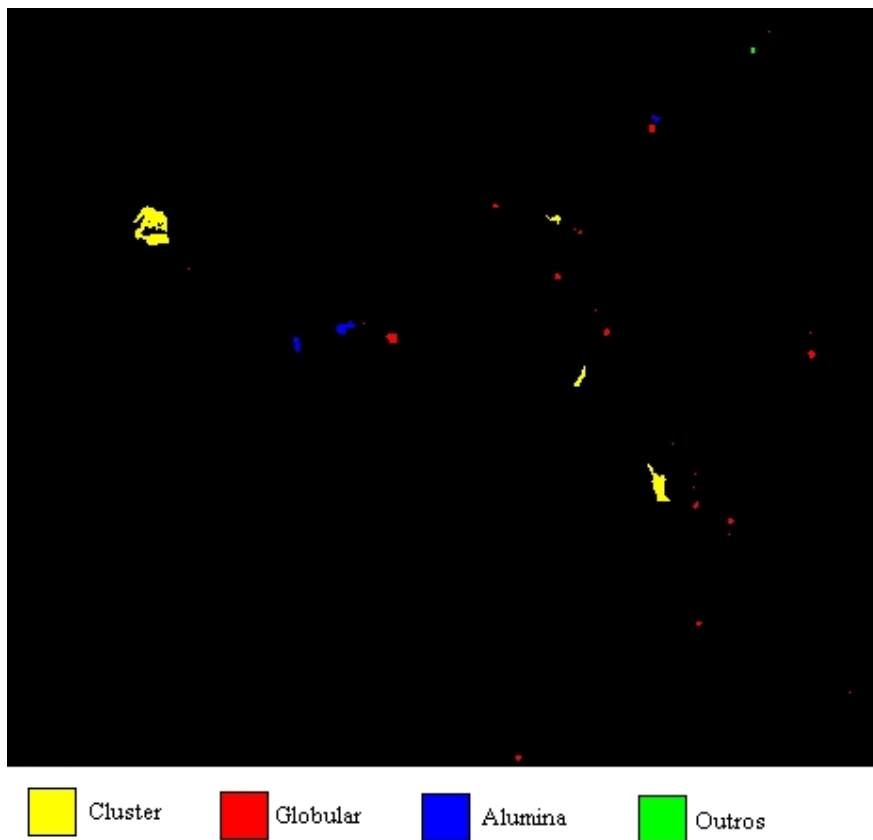


Figura 5. Corte da imagem da Figura 2 com inclusões classificadas por forma de acordo com a legenda **Error! Reference source not found.**

Apesar dos resultados apresentados, a classificação por forma ainda necessita de ajustes no parâmetro de separação das classes e de comparar este procedimento com uma classificação realizada pelos técnicos da empresa Usiminas para que a metodologia possa ser certificada.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho ainda está no início, mas os resultados encontrados são incentivadores. Conseguiu-se classificar as inclusões de aço BH de acordo com seu tamanho e forma para três amostras. Os critérios de classificação seguiram a metodologia adotada pela técnica de Yawata, porém fez-se considerações relativas ao tamanho, aumentando o número de classes analisadas e definiu-se um critério de proximidade para classificar conjuntos de inclusões como *clusters*. A próxima etapa desta pesquisa é comparar os resultados com classificações manuais.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ASTM DESIGNATION: E1382-97, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis.
- BERNSEN, J., **Dynamic Thresholding of gray-level images**, Proc. Eighth International Conference on Pattern Recognition, Paris, France, October 1986, pp 1251-1255,
- DEHMESHKI, J., DAEMI, M. F., MILES N. J., **Classification of coal images by a multi-scale segmentation techniques** IEEE 1995, 271-276.
- JEONG, W. C. Effect of Prestrain on Aging and Bake Hardening of Cold-Rolled, Continuously Annealed Steel Sheets. **Metallurgical and Materials Transactions A**. VOLUME 29A, FEBRUARY 1998 – 463

KHER, A., MITRA, S.; New morphological operators: BERD and BDRE. **Symposium on Image Analysis and Interpretation**, Proceedings of the IEEE Southwest, 1994.

SHIMAKURA, S., **Apostila de aula Estatística II**; Departamento de Estatística – UFPR. 09/2002.