

Alvarez, J.C.; Wagner, D.T.; Schinazi, G.; Gomes, O.; Maurício, M. H. P.; Paciornik, S.; Vieira, M. B. Qualitative and Quantitative Evaluation of Iron Ore Sinters Through Digital Microscopy. In: **9th International Congress for Applied Mineralogy - ICAM 2008**, Brisbane. in press, 2008.

Bish, D. L.; Post, J. E. Quantitative mineralogical analysis using the Rietveld full-pattern fitting method. *American Mineralogist*, n. 78, p. 932-940, 1993.

Bradley, A.; Wildermoth, M.; Mills, P. Virtual Microscopy with Extended Depth of Field. In: **Proceedings of the International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications**, p. 235-242. International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA 2005), Cairns (Australia), 2005.

Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 8, n. 6, p 679-698, 1986.

Carl Zeiss Vision (1998). **KS400**, v. 3.0 [software].

Carl Zeiss Vision (2004). **Axiovision**, v. 4.7 [software].

Craig, J. R.; Vaughan, D. J. **Ore microscopy and ore petrography**. 2. ed. New York (NY, USA): John Wiley & Sons, 1994. 434 p.

Criddle, A. J. Ore microscopy and photometry (1890 – 1998). In: Cabri, L. J.; Vaughan, D. J. (Ed.) **Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy**. Short Course Series, 27. Ottawa (Canada): Mineralogical Association of Canada, 1998.

Danielsson, P. E. Euclidean Distance Mapping. **Computer Graphics and Image Processing**, v. 14, p. 227-248, 1980.

Egundebi, G. O.; Whiteman, J. A. Evolution of microstructure in Iron Ore Sinters. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 16, n. 6, p. 379-385, 1989.

Esquef, I. A.; Albuquerque, M. P.; Albuquerque, M. P. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro, 2003. p. 12. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

Friel, J. J. Measurements. In: ASM International. **Practical Guide to Image Analysis**. Materials Park (OH, USA), 2000. p. 101-128.

Galopin, R.; Henry, N. F. M. **Microscopic study of opaque minerals**. Cambridge (UK): W. Heffers and Sons, 1972. 322 p.

Goldsmith, N. T. Deep Focus: a digital image processing technique to produce improved focal depth in light microscopy. **Image Anal. Stereol.**, v. 19, p. 163-167, 2000.

Gomes, O. F. M. **Processamento e Análise de Imagens Aplicada à Caracterização Automática de Materiais**. Rio de Janeiro, 2001. 141 p.

Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Gomes, O. F. M. **Microscopia Co-Localizada: Novas Possibilidades na Caracterização de Minérios**. Rio de Janeiro, 2007. 103 p. Tese de Doutorado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Digital Image Processing**. 2. ed. Upper Saddle River (NJ, USA): Prentice-Hall, 2002.

Grande, C. J. Principles of Image Analysis, Practical Guide to Image Analysis, ASM International, 2000.

Groen, F. C. A.; Young, I. T.; Ligthart, G. A Comparison of Different Focus Functions for Use in Autofocus Algorithms. **Cytometry**, v. 6, p. 81-91, 1985.

Haralick, R. M. Textural features for image classification. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-3, p. 610-621, 1973.

Haralick, R. M. Statistical and Structural Approaches to Texture. **Proceedings of the IEEE**, v. 67, n. 5, p. 786-808, 1979.

Hida, Y.; Miyazaki, T.; Sasaki, M.; Soma, H.; Sato, K.; Naito, H.; Kagawa, M.; Taniguchi, M. Study on sintering of iron ore with advanced analyzers. **Nippon Steel Technical Report**, n. 35, p. 59-67, 1987.

Hsieh, L. H.; Whiteman, J. A. Effect of Oxygen potential on mineral formation in lime-fluxed iron ore sinter. **ISIJ International**, v. 29, p. 625-634, 1989.

Ineson, P. **Introduction to practical ore microscopy**. London (UK): Longman Scientific & Technical, 1989.

Ishikawa, Y.; Shimomura, Y.; Sasaki, M.; Hida, Y.; Toda, H. Improvement of sinter quality based on mineralogical properties of ores. **Ironmaking Conference Proceedings, AIME**. v. 42, p. 17-29, 1983.

Kokubu, H.; Kodama, T.; Itaya, H.; Oguchi, Y. Formation of pores in iron ore sinter. **Transaction ISIJ**, v. 26, p. 182-185, 1986.

Marques, O.; Vieira, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda, 1999.

Marr, D.; Hildreth, E. Theory of Edge Detection. **Proceedings of the Royal Society of London Series B**, v. 207, n. 1167, p. 187-217, 1980.

Neumann, R.; Schneider, C. L.; Alcover-Neto, A. Caracterização Tecnológica de Minérios. In: Luz, A. B. et al. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2004. p. 53-109.

Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-9, n. 1, p. 62-66, 1979.

Paciornik, S.; Maurício, M. H. P. Digital Imaging. In: Vander-Voort, G. F. (Ed.). **ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures**. Materials Park (OH, USA): ASM International, 2004. p. 368-402.

- Pimenta, H. P. **Estudo básico do fenômeno de degradação sob redução a baixas temperaturas em sínters auto-fundentes**. Minas Gerais, 1992. 411 p. Dissertação de Mestrado – Metalurgia Extrativa, Escola de Engenharia da UFMG.
- Pirard, E.; Lebrun, V.; Nivart, J.-F. Optimal Acquisition of Video Images in Reflected Light Microscopy. **Microscopy and Analysis**, v. 37, p. 19–21, 1999.
- Pirard, E. Multispectral imaging of ore minerals in optical microscopy. **Mineralogical Magazine**, v. 68, n. 2, p. 323-333, 2004.
- Pun, T. Entropic thresholding, a new approach. **Computer Graphics and Image Processing**, v. 16, n. 3, p. 210-239, 1981.
- Rietveld, B. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. **Journal of Applied Crystallography** 2, p. 65-71. 1969.
- Rosière, C. A. Um modelo para evolução microestrutural de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte II - Trama, textura e anisotropia de susceptibilidade magnética. **Geonomos**, v.4 , n.1, p.61-75, 1996.
- Rosière, C. A. ; Vieira, C. B. ; Seshadri, Varadarajan ; Chemale Jr., F. Classificação genética de minérios de ferro - problemas e vícios - Proposta de uma classificação tipológica para indústria. In: **Seminário de Redução de Minério de Ferro da ABM**, 28, p. 295-302. Vitória. Anais. São Paulo, 1997.
- Russ, J. C. **Computer-Assisted Microscopy: The Measurement and Analysis of Images**. New York (NY, USA): Plenum Publishing Corporation, 1990.
- Russ, J. C. **The Image Processing Handbook**. 3. ed. Boca Raton (FL, USA): CRC Press, 1998.
- Russ, J. C. **The Image Processing Handbook**. 4th ed. CRC Press, Boca Raton, 2002.
- Sanbongi, K.; Omori, Y.; Ikeno, T.; Watanabe, S.; Nishida, N. Standard Methods for Identifying the Microstructure of Iron Ore Sinters and Pellets. In: **The 54th (Iron-making) Committee, Japan Society for the Promotion of Science**, p. 126-133. Presented at the 71st ISIJ Meeting, Tokyo (Japan), 1966.
- Serra, J. **Image Analysis and Mathematical Morphology**. London (UK): Academic Press, 1982.
- Serra, J. **Image Analysis and Mathematical Morphology: Volume 2**. London (UK): Academic Press, 1988.
- Sasaki, M.; Hida, Y. Consideration on the properties of sinter from the point of view of sintering reactions. **Tetsu-to-Hagané**, n 68, p. 563, 1982.
- Soft Imaging System (2006). **SIS Scandium** [software].
- Sun, Y.; Duthaler, S.; Nelson, B. J. Autofocusing in Computer Microscopy: Selecting the Optimal Focus Algorithm. **Microscopy Research and Technique**, v. 65, p.139-149, 2004.
- Sutherland, D.; Gottlieb, P. Application of automated quantitative mineralogy in mineral processing. **Minerals Engineering**, v. 4, p. 753-762, 1991.
- Vieira. C.B. **Avaliação da qualidade intrínseca de minérios de ferro para uso em altos-fornos**. Belo Horizonte, 1996. 248p. Tese de doutorado – CPGEM, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Vieira, P. R. M.; Paciornik, S. Uncertainty evaluation of metallographic measurements by image analysis and thermodynamic modeling. **Materials Characterization**, v. 47, p. 219-226, 2001.

Vieira, C. B.; Rosière, C. A.; Pena, E. Q.; Seshadri, V.; Assis, P. S. Avaliação técnica de minérios de ferro para sinterização nas siderúrgicas e minerações brasileiras: uma análise crítica. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, n. 2, p. 97-102, 2003.

Weeks, A. R., Jr. **Fundamentals of Electronic Image Processing**. Bellingham (WA, USA): SPIE Optical Engineering Press, 1996.

Wolf, P. R. **Elements of Photogrammetry**, Singapure: McGraw-Hill Book Company, 1983.

Yang, Y. H.; Standish, N. Fundamental mechanisms of pore formation in iron ore sinter and pellets. **ISJJ International**, v. 31, n. 5, p. 468-477, 1991.

Zitová, B.; Flusser J. Image registration methods: a survey. **Image and Vision Computing**, v. 21, p. 977-1000. 2003.

## Apêndice A – Rotina Desenvolvida

Uma rotina básica foi desenvolvida no AxioVision para a medição das frações de fase. A rotina foi muito parecida para os dois aumentos. Segue uma descrição resumida da rotina a qual deve ser acompanhada passo a passo com o script da Figura 31:

1. É realizado um realce das bordas. A imagem de entrada é a imagem ativa, e a imagem de saída é chamada “DelineateImage”.
2. Os três canais são extraídos, gerando três imagens em escala de cinza. Destas três imagens, só vai ser de utilidade o canal vermelho.
  - a. Foi escolhido o canal vermelho, pois é o que apresenta o maior contraste entre magnetita e ferrito, quase impossíveis de se discriminar nos canais azul e verde.
3. Cada uma das cinco fases é segmentada.
  - a. Para a segmentação de uma fase, são definidos tons de corte mínimo e máximo.
  - b. Para cada amostra, esses tons de corte são definidos a priori, através da análise de algumas imagens da amostra, e mantidos constantes para todas as imagens, já que todas as imagens de uma mesma amostra são capturadas sob as mesmas condições de aquisição.
  - c. São geradas cinco imagens binárias, cada uma correspondendo a uma fase. Aqui só é mostrado o caso da “Hematita”.
8. As propriedades de medida são carregadas, nelas se encontram as equações para o cálculo das fases.
9. Cada uma das imagens binárias é medida, gerando-se cinco tabelas, cada uma contendo a área total de uma fase. Aqui só é mostrado o caso da “Hematita”.
14. Cada uma das tabelas correspondentes a cada fase (ex. HematitaTable) é anexada a uma tabela geral correspondente ao

sínter (SínterTable) que vai conter as 5 fases de todas as imagens processadas.

15. Um arquivo em formato CSV (pode ser lido pelo Excel) é gerado com a área das 5 fases (5 colunas, cada fase em uma coluna) já medidas.
16. Finalmente são fechados os arquivos e imagem abertos no AxioVision.

É bom comentar que esta mesma rotina pode ser aplicada a uma imagem ou a um conjunto de imagens. No caso que seja uma imagem é só carregar a imagem e rodar o script. Já no caso de um conjunto de imagem deve-se usar a opção *Repeat Script* do AxioVision, selecionar as imagens a ser processadas e rodar o script.

1 ☒ Automatic

2 ☒ Automatic

3 ☒ Automatic

8 ☒ Automatic

9 ☒ Automatic

14 ☒ Automatic

19 ☒ Interactive Once

20 ☒ Automatic

**Delineate** Comment

**Parameters**

Input	ActiveImage	...
Output	DelineateImage	
Threshold	3	< > ...
Size	3	< > ...

**Split RGB Extractions** Comment

**Parameters**

Input	DelineateImage	...
OutputR	RedChannel	
OutputG	GreenChannel	
OutputB	BlueChannel	
PixelFormat	8bit	▼

**Thresholds interactive** Comment

**Parameters**

Input	RedChannel	...
Output	Hematita	
LevelLowRed	128	< > ...
LevelHighRed	255	< > ...
LevelLowGreen	128	< > ...
LevelHighGreen	255	< > ...
LevelLowBlue	128	< > ...
LevelHighBlue	255	< > ...
Create binary image	Yes	▼
Invert result	No	▼
Remove unsegmented channels	No	▼
Automatic	No	▼
Mode	Automatic	▼
ColorModel	RGB	▼

**Load Measurement Properties** Comment

**Parameters**

Measurement properties file	AreaS Sínter.zma	...
-----------------------------	------------------	-----

**Start Measurement** Comment

**Parameters**

DensImage	RedChannel	...
MaskImage	Hematita	...
DrawImage	DrawImage	
Region-specific table	RegionTable	
Field-specific table	HematitaTable	
Mode	Index	▼

**Join table columns** Comment

**Parameters**

Input table 1	SínterTable	...
Input table 2	HematitaTable	...
Output table	SínterTable	
Column selection 1		...
Column selection 2	1	...

**Append Data Table** Comment

**Parameters**

<input type="checkbox"/> Data Table	SínterTable	...
<input checked="" type="checkbox"/> Folder	X:\Sidnei\CVRD\Sinter\Relatorios\Medidas	...
<input checked="" type="checkbox"/> File name	Julio SinterDataTable	
<input type="checkbox"/> Name definition	Custom	▼

**Close all** Comment

**Parameters**

Force close	Yes	▼
-------------	-----	---

Figura 31 – Script com a rotina de PADI usada.