



Julio César Álvarez Iglesias

**Development of a digital microscopy system for
automatic classification of hematite types in
iron ore**

Tese de Doutorado

Thesis presented to the Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos.

Advisor : Prof. Sidnei Paciornik
Co-advisor: Dr. Otávio da Fonseca Martins Gomes

Rio de Janeiro
August 2012



Julio César Álvarez Iglesias

**Development of a digital microscopy system for
automatic classification of hematite types in
iron ore**

Thesis presented to the Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos. Approved by the undersigned Examination Committee.

Prof. Sidnei Paciornik

Advisor

Departamento de Engenharia Química e de Materiais – PUC-Rio

Dr. Otávio da Fonseca Martins Gomes

Co-advisor

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Prof. Leonardo Evangelista Lagoeiro

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Dr. Reiner Neumann

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

Dr. Marcos Henrique de Pinho Maurício

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Vice Dean of Graduate Studies – PUC-Rio

Rio de Janeiro, August the 9th, 2012

All rights reserved.

Julio César Álvarez Iglesias

Majored in physics by the University of Havana (Havana, Cuba)...

Bibliographic data

Álvarez Iglesias, Julio César

Development of a digital microscopy system for automatic classification of hematite types in iron ore / Julio César Álvarez Iglesias; advisor: Sidnei Paciornik; co-advisor: Otávio da Fonseca Martins Gomes. – 2012.

v., 18 f: il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química e de Materiais.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Química – Teses. 2. Engenharia de Materiais – Teses. 3. Minério de Ferro;. 4. Cristais de Hematita;. 5. Microscopia Digital;. 6. Análise de Imagens;. 7. Classificação;. 8. Microscopia de Luz Polarizada.. I. Paciornik, Sidnei. II. da Fonseca Martins Gomes, Otávio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Química e de Materiais. IV. Título.

CDD: 620.11

To my parents, for their support
and encouragement.

Acknowledgments

I would like to first thank my advisor ...

Then I wish to thank ...

Abstract

Álvarez Iglesias, Julio César; Paciornik, Sidnei (Advisor); da Fonseca Martins Gomes, Otávio (Co-Advisor). **Development of a digital microscopy system for automatic classification of hematite types in iron ore.** Rio de Janeiro, 2012. 18p. Tese de doutorado – Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Iron ore is a polycrystalline material created by complex natural processes during geological periods, which give rise to ...

Keywords

Iron Ore; Hematite Crystals; Digital Microscopy; Image Analysis; Classification; Polarized Light Microscopy.

Resumo

Álvarez Iglesias, Julio César; Paciornik, Sidnei; da Fonseca Martins Gomes, Otávio. **Desenvolvimento de um sistema de microscopia digital para classificação automática de tipos de hematita em minério de ferro**. Rio de Janeiro, 2012. 18p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O minério de ferro é um material policristalino oriundo de processos naturais complexos durante tempos geológicos, que dão origem ...

Palavras-chave

Minério de Ferro; Cristais de Hematita; Microscopia Digital; Análise de Imagens; Classificação; Microscopia de Luz Polarizada.

Table of contents

1	Introduction	13
2	Review	14
2.1	Hematite	14
2.1.1	Martite	14
2.1.1.1	Globular	14
3	Conclusions	16
	Bibliography	17
A	Published paper	18

List of figures

- 1.1 Example of thresholding: (a) original image; (b) processed image.(74) 13

List of tables

2.1	Main morphologies of hematite.(14)	15
-----	------------------------------------	----

My beautifull epigraph

Wassily Kandinsky, *Regards sur le passé.*

List of Abbreviations

ADI – Análise Digital de Imagens

BIF – *Banded Iron Formation*

... – ...

1

Introduction

This is the first chapter...

In this chapter, let's have a nice image:

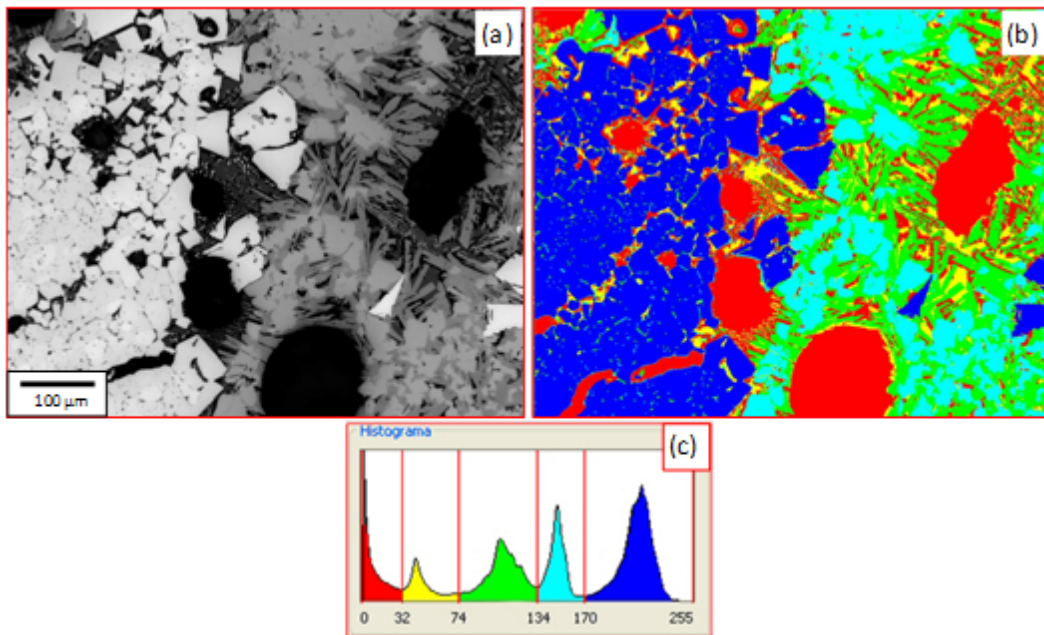


Figure 1.1: Example of thresholding: (a) original image; (b) processed image.(74)

2

Review

This is the second chapter...

In this chapter, let's have a nice table:

2.1

Hematite

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.(30) A composição química deste mineral é Fe_2O_3 , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.(31)

...

2.1.1

Martite

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.(30) A composição química deste mineral é Fe_2O_3 , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.(31)

...

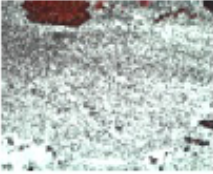

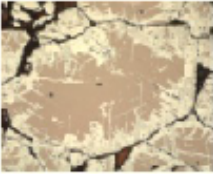
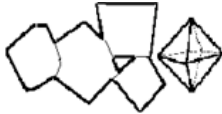
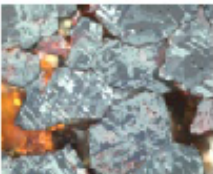

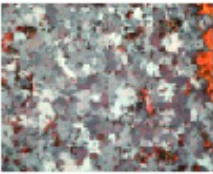

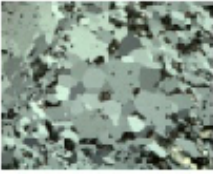
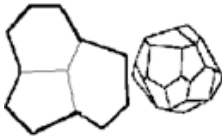
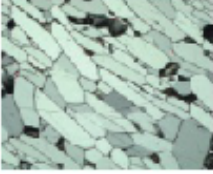



2.1.1.1

Globular

A hematita é o mineral de ferro mais importante devido a sua alta ocorrência em vários tipos de rochas e suas origens diversas.(30) A composição química deste mineral é Fe_2O_3 , com uma fração mássica em ferro de 69,9% e uma fração mássica em oxigênio de 30,1%.(31)

...

Table 2.1: Main morphologies of hematite.(14)

Tipo	Características	Forma Textura	Ilustração Esquemática
Hematita Microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Cristais muito pequenos, < 0.01 mm. ▷ Textura porosa. ▷ Contatos pouco desenvolvidos. 		
Magnetita	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Cristais euédricos isolados ou em agregados. ▷ Cristais compactos. 		
Martita	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Hematita com hábito de magnetita. ▷ Oxidação segundo os planos cristalográficos da magnetita. ▷ Geralmente porosa. 		
Hematita Lobular	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Formatos irregulares inequidimensionais. ▷ Contatos irregulares, geralmente imbricados. 		
Hematita Granular	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Formatos regulares equidimensionais. ▷ Contatos retilíneos e junções triplíceis. ▷ Cristais compactos. 		
Hematita Lamelar	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Cristais inequidimensionais, hábito tabular. ▷ Contato retilíneo. ▷ Cristais compactos. 		
Hidróxidos de Fe (Goethita-Limonita)	<ul style="list-style-type: none"> ▷ Material cripto-cristalino. ▷ Estrutura coloriforme, hábito botrioidal. ▷ Textura porosa. 		

3

Conclusions

Um sistema de microscopia digital com reconhecimento e classificação automática dos cristais de hematita em minérios de ferro foi desenvolvido.

O método utiliza operações tradicionais de processamento digital de imagens e propõe uma segmentação automática de cristais baseada no cálculo da distância espectral, a fim de controlar ...

É fundamental também comentar que ...

Assim, como uma proposta para trabalho futuro, pode-se buscar combinar os dois enfoques...

Bibliography

- [14] VALE. Características estruturais dos finos Seca, SECE, e ALEGRIA que compuseram pilhas de desempenho ruim e excelente na Usiminas. Relatório Interno 1, 22p., Vale, 1998.
- [30] ROSA, M. Segmentação de grãos de hematita em amostras de minério de ferro por análise de imagens de luz polarizada avaliação da qualidade intrínseca de minérios de ferro para uso em altos-fornos. Dissertação mestrado em engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.
- [31] BARTHELMY, D. Mineralogy database. Webmineral, 2010. Acesso em: Abril de 2012.
- [74] ALVAREZ, J. C. Uma metodologia para caracterização de sinter de minério de ferro; microscopia digital e análise de imagens. Dissertação de mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

A

Published paper

The following paper was published ...