



Carlos Alberto Castañeda Olivera

Bioflotação da hematita usando a bactéria

Rhodococcus erythropolis

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Maurício Leonardo Torem

Co-orientador: Dr. Antonio Gutiérrez Merma

Rio de Janeiro

Agosto de 2014



Carlos Alberto Castañeda Olivera

Bioflotação da hematita usando a bactéria

Rhodococcus erythropolis

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Maurício Leonardo Torem

Orientador

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Dr. Antonio Gutiérrez Merma

Co-orientador

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Prof. Eduardo de Albuquerque Brocchi

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

Prof. Julio Carlos Afonso

Departamento de Química Analítica – UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de Agosto de 2014

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Carlos Alberto Castañeda Olivera

Engenheiro Metalúrgico formado pela Universidade Nacional José Faustino Sanchez Carrión em Huacho (Perú) em 2008, e agora Mestre em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio. Tem experiência na área de Processamento de Minérios Polimetálicos, Extração de Ouro e Laboratório Metalúrgico, com ênfase em Hidrometalurgia e Tratamento de Minérios. Atua, principalmente, na área de Tecnologia Mineral e Ambiental.

Ficha Catalográfica

Castañeda Olivera, Carlos Alberto

Bioflotação da hematita usando a bactéria *Rhodococcus erythropolis* / Carlos Alberto Castañeda Olivera ; orientador: Maurício Leonardo Torem; co-orientador: Antonio Gutiérrez Merma. – 2014.

133 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2014.
Inclui bibliografia

1. Engenharia de materiais – Teses. 2. *Rhodococcus erythropolis*. 3. Bioflotação. 4. Biomassa. 5. Hematita. I. Torem, Maurício Leonardo. II. Gutiérrez Merma, Antonio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. IV. Título.

CDD:620.11

*A las personas que más amo,
con todo mi amor y gratitud.*

A Santos (in memoriam) e Dionila.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me iluminar e me dar forças para conseguir andar dia a dia na realização de todos os meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador Dr. Mauricio Leonardo Torem pelo apoio e confiança depositada, e aos professores do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio.

Ao meu co-orientador Dr. Antonio Gutiérrez Merma; pela paciência, ajuda e por ter compartilhado seus conhecimentos em todas as etapas do desenvolvimento de minha dissertação. Muito obrigado, Antonio.

À Dr. Gabriela Huamán Pino; por sua ajuda, orientação e compreensão fornecida no laboratório.

Um grande agradecimento ao Eng. Donaldo Lopez Medina pela motivação e influência de estudar mestrado no Brasil, agradeço-lhe também a Lorgio Valdiviezo Gonzales e Patricia Reynoso Quispe por sua generosa ajuda fornecida no Rio de Janeiro. Obrigado meus amigos.

A minha mãe Dionila, para o meu pai Santos que partiu muito orgulhoso e aos meus irmãos James, Eder, Jessi e Alan por me dar muitas forças para continuar lutando todos os dias.

À Professora Fatima Ventura Pereira Meirelles pelo uso do laboratório de Química da PUC-Rio e conhecimentos fornecidos, também agradeço a Sulamita Dos Santos Girardi Menezes da Silva por seu apoio nele.

Ao Dr. Reiner Neumann e a Antonieta Middea do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela grande colaboração na caracterização das amostras de hematita e bactéria.

Ao professor Rogério Navarro Siqueira e ao professor Roberto Ribeiro de Avillez do Departamento de Materiais da PUC-Rio, pela caracterização em MEV e raios X da amostra hematita.

A Gisllane Oliveira do Laboratório de Caracterização de Fluidos (LCF) do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, pelos ensaios de tensão superficial.

Aos meus queridos amigos da casa XXI do Departamento de Materiais (DEMa) pelo carinho demonstrado e ajuda durante o meu curso de Mestrado.

Meu agradecimento especial à Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro, durante o meu curso de Mestrado.

Ao Brasil, em especial à bela cidade de Rio de Janeiro e as suas pessoas amáveis por ter compartilhado dois anos maravilhosos. Estou eternamente grato com Brasil.

A todos vocês e a todas aquelas pessoas que de alguma outra forma participaram no desenvolvimento da dissertação, tem minha eterna gratidão.

Resumo

Olivera, Carlos Alberto Castañeda; Torem, Maurício Leonardo; Merma, Antonio Gutiérrez. **Bioflotação da hematita usando a bactéria *Rhodococcus erythropolis***. Rio de Janeiro, 2014. 133p. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente demanda mundial por matérias-primas minerais levou ao aumento da exploração mineral e paralelamente novas pesquisas estão sendo dirigidas para a produção de novos reagentes de flotação, a fim de que estes apresentem maior seletividade e não sejam agressivos ao meio ambiente. Nesta pesquisa teve-se como objetivo estudar os aspectos fundamentais da bioflotação da hematita, avaliando a cepa bacteriana *Rhodococcus erythropolis* como biocoletor. Entre os estudos efetuados estão análises química para determinar as proteínas e carboidratos presentes no concentrado bacteriano, estabelecendo-se que é constituída por macromoléculas com características anfipáticas. O balanço entre grupos catiônicos e aniônicos da bactéria atribui um ponto isoelétrico (PIE) equivalente de 2,2. O perfil de potencial zeta da amostra mineral de hematita após interação com a bactéria mostrou uma mudança, onde o PIE mudou de 5,3 para 2,1. Para o estudo dos ensaios de adesão e microflotação, a amostra foi condicionada com a biomassa por meio de agitação sob condições específicas, tais como o tamanho de partícula, a concentração de biomassa, o pH da solução e tempo de condicionamento. A adesão da biomassa na superfície do mineral foi maior em pH 2 e na concentração de 200 mg / L. Os testes de microflotação foram feitos num tubo de Hallimond e foi avaliado a formação de espuma para uma concentração bacteriana de 200 mg / L, onde foi observado que a tensão superficial da solução aumenta à medida que o pH se torna básico. Das três faixas granulométricas utilizadas, a maior flotabilidade (83.86%) foi alcançada na fração granulométrica (53 - 38 μm), num pH 6 e com um tempo de flotação de 10 min. A bioflotação do mineral hematita segue o modelo cinético de segunda ordem, observou-se que as constantes de taxa (K_2) da flotação do mineral aumentam com reduções de tamanho de partícula, mudando de $0,16369 \text{ (g.min)}^{-1}$ para $0,51604 \text{ (g.min)}^{-1}$ quando o tamanho de partícula passou de (150 - 106 μm) para (53 - 38

µm). Os resultados apresentados mostram que o estudo do comportamento da cepa bacteriana *Rhodococcus erythropolis* como bioreagente na flotação de hematita foi viável, demonstrando o seu potencial uso como bioreagente coletor de mineral hematita, e assim projetando-se para uma futura aplicação na indústria da flotação mineral.

Palavras chave

Rhodococcus erythropolis; bioflotação; biomassa; hematita.

Abstract

Olivera, Carlos Alberto Castañeda; Torem, Maurício Leonardo (Advisor); Merma, Antonio Gutiérrez (Co-advisor). **Bioflotation of hematite using the bacteria *Rhodococcus erythropolis***. Rio de Janeiro, 2014. 133p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The growing world demand for raw minerals has led to the increased mineral exploration and at the same time new research is being directed toward the production of new flotation reagents, so that they present higher selectivity and they are environmentally friendly. This research aimed to study the fundamental aspects of bioflotation of hematite, evaluating the bacterial strain *Rhodococcus erythropolis* as biocollector. Among the studies are conducted chemical analyzes to determine the proteins and carbohydrates present in the bacterial concentrate, it was established that is composed of macromolecules with amphipathic characteristics. The balance between cationic and anionic groups of the bacteria assigns an equivalent isoelectric point (IEP) of 2.2. The profile of zeta potential of the sample of hematite mineral after interaction with the bacteria showed a change, where the IEP has changed from 5.3 to 2.1. To study the adhesion and microflotation assays, the mineral sample was conditioned with the biomass by stirring under specific conditions, such as the particle sizes, biomass concentration, the pH of the solution and conditioning time. The biomass adhesion on mineral surface was higher at pH 2 and at the concentration of 200 mg / L. The microflotation tests were carried out in Hallimond tube and was evaluated the foam formation to a bacterial concentration of 200 mg / L, which was observed that the surface tension of the solution increases as the pH becomes basic. Of the three granulometric fractions used, the greatest floatability (83.86%) was achieved in the granulometric fraction (53 - 38 μm), at pH 6 and with a flotation time of 10 min. The hematite mineral bioflotation follows the second-order kinetic model, was observed rate constant (K_2) of the mineral flotation increase with reductions of particle size, moving from $0,16369 \text{ (g.min)}^{-1}$ for $0,51604 \text{ (g.min)}^{-1}$ when the particle size changed from (150 - 106 μm) to (53 - 38 μm). The results presented show that the study of the behavior of the bacterial

strain *Rhodococcus erythropolis* as bioreagent in the flotation of hematite was feasible, demonstrating its potential use as collector bioreagent of mineral hematite, and so projecting into a future application in the mineral flotation industry.

Keywords

Rhodococcus erythropolis; bioflotation; biomass; hematite.

Sumário

1	Introdução	21
2	Objetivos e relevância do trabalho	24
2.1.	Objetivo geral	24
2.2.	Objetivos específicos	24
2.3.	Relevância do trabalho	25
3	Revisão bibliográfica	26
3.1.	Minério de ferro	26
3.1.1.	Aspectos gerais	26
3.1.2.	Principais minerais de ferro	28
3.1.3.	Mineralogia da hematita	30
3.1.4.	Processamento de minério de ferro	32
3.2.	Flotação mineral	35
3.2.1.	Aspectos gerais	35
3.2.2.	Bioflotação mineral	37
3.2.3.	Bioreagentes de flotação	38
3.2.4.	Características das bactérias no bioprocessamento de minerais	39
3.2.5.	Fatores de crescimento e Meios de cultura	42
3.2.6.	Composição superficial dos microrganismos	43
3.2.7.	Cargas elétricas na superfície do microrganismo	46
3.2.8.	Propriedades superficiais do microrganismo	47
3.2.9.	Adesão microbiana	48
3.2.10.	Cinética de flotação mineral	50
3.3.	Gênero <i>Rhodococcus</i>	55
3.3.1.	Aspectos gerais	55
3.3.2.	<i>Rhodococcus erythropolis</i>	56
4	Materiais e métodos	65

4.1. Preparação das amostras minerais	65
4.2. Cultivo e crescimento da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	67
4.3. Caracterização da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	69
4.3.1. Determinação da curva de crescimento da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	70
4.3.2. Determinação de proteínas e carboidratos associados ao concentrado bacteriano.	70
4.4. Comportamento do mineral hematita antes e após interação com a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	71
4.4.1. Medidas de potencial zeta	71
4.4.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	72
4.4.3. Análise no espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier.	73
4.5. Provas de adsorção.	74
4.6. Ensaio de microflotação.	74
5 Resultados e discussão	78
5.1. Preparação e caracterização da amostra de hematita	78
5.2. Caracterização da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	81
5.2.1. Curva de crescimento e caracterização da parede celular da bactéria.	83
5.2.2. Composição do concentrado bacteriano.	85
5.2.3. Análises de infravermelho da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	86
5.2.4. Medidas de potencial zeta da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	87
5.3. Comportamento do mineral hematita antes e após interação com a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>	90
5.3.1. Estudos de potencial zeta	90
5.3.2. Análises de infravermelho	92
5.4. Estudos de adsorção	95
5.4.1. Estudos de efeito do pH	95
5.4.2. Efeito do tempo e da concentração do <i>Rhodococcus erythropolis</i>	97

5.4.3. Imagens através do microscópio eletrônico de varredura	98
5.4.4. Comportamento da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> como espumante	100
5.5. Microflotação usando a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> como bioreagente	102
5.5.1. Ensaio exploratório de microflotação do mineral hematita	102
5.5.2. Influência do pH na flotabilidade da hematita para diferentes concentrações.	104
5.5.3. Influência da concentração da bactéria	107
5.5.4. Influência do tempo de flotação	109
5.5.5. Cinética de flotação mineral	110
6 Conclusões	115
7 Recomendações para futuros trabalhos	118
Referências bibliográficas	119
Anexos	131
1. Resultados de difração de raios X	131
2. Curvas de calibração	132

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura cristalina da hematita (Oliveira <i>et al.</i> , 2013).	30
Figura 2. Espuma de flotação contendo óxidos de ferro (Lopes, 2009).	33
Figura 3. Típica classificação de bactérias, segundo a estrutura da parede celular e requerimentos nutricionais (Merma, 2012).	40
Figura 4. Típica parede celular de uma bactéria Gram-negativa (Sharma, 2001).	41
Figura 5. Típica parede celular de uma bactéria Gram-positiva (Sharma, 2001).	42
Figura 6. Etapas na colonização da superfície mineral por microrganismos (Sharma, 2001).	49
Figura 7. Organização do envelope celular em <i>Rhodococcus</i> : representação esquemática de um modelo proposto. (A) barreira lipídica externa formada por ácidos micólicos e (B) lipídeos anfifílicos (Sutcliffe, 1998).	56
Figura 8. Imagem de MEV da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> (Yang <i>et al.</i> , 2013).	57
Figura 9. Curvas de potencial zeta para <i>Rhodococcus erythropolis</i> , hematita, quartzo, apatita e caulim (Yang <i>et al.</i> , 2013).	58
Figura 10. Curvas de potencial zeta de hematita, quartzo, apatita, caulim após da interação com <i>Rhodococcus erythropolis</i> (Yang <i>et al.</i> , 2013).	59
Figura 11. Espectro de FTIV para <i>Rhodococcus erythropolis</i> (Yang <i>et al.</i> , 2013).	60
Figura 12. Espectro de FTIV para hematita, antes e após da interação com <i>Rhodococcus erythropolis</i> (Yang <i>et al.</i> , 2013).	61
Figura 13. Efeito de pH da polpa na recuperação por flotação numa concentração de <i>Rhodococcus erythropolis</i> de 40 mg / L (Yang <i>et al.</i> , 2013).	62
Figura 14. Efeito de <i>Rhodococcus erythropolis</i> na recuperação por flotação num pH da polpa de 6 (Yang <i>et al.</i> , 2013).	63
Figura 15. Imagem de MEV da adsorção de <i>Rhodococcus erythropolis</i> sobre as superfícies de hematita (Yang <i>et al.</i> , 2013).	64

Figura 16. Esquema gráfico da preparação da amostra mineral de hematita.	66
Figura 17. Colônias da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> em placa de petri.	69
Figura 18. Crescimento bacteriano em incubadora Shaker (Cientec-CT712T)	69
Figura 19. Zeta-Meter +4.0.	71
Figura 20. Espectrofotômetro Nicolet FTIV.	73
Figura 21. Sistema de microflotação em tubo de Hallimond, a) pH-metro, b) Bomba de vácuo-compressora, c) Agitador magnético, d) Tubo de Hallimond, e) Rotâmetro e f) Bolhometro.	75
Figura 22. Imagem em MEV da amostra mineral hematita. a) Frações granulométricas de (53 - 38 µm), b) Partículas com diâmetro em torno de 40 µm.	78
Figura 23. MEV e EDS da partícula de mineral hematita. a) Imagem em MEV, b) Espectro de EDS.	80
Figura 24. Concentrado celular centrifugado da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> . a) Meio de cultura YMA, b) Meio de cultura TSB.	81
Figura 25. Concentrado celular inativado (morto) da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> . a) Meio de cultura YMA, b) Meio de cultura TSB.	82
Figura 26. Imagem em MEV de células da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> .	83
Figura 27. Curva de crescimento da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> no meio de cultura YMA.	84
Figura 28. Curva de crescimento da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> no meio de cultura TSB.	84
Figura 29. Espectrograma de infravermelho da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> e principais bandas de absorbância.	87
Figura 30. Curvas de potencial zeta para as células <i>Rhodococcus erythropolis</i> mortas, em função do pH.	88
Figura 31. Curvas de potencial zeta para as células <i>Rhodococcus erythropolis</i> vivas, em função do pH.	89
Figura 32. Curvas de potencial zeta para o mineral hematita em função do pH.	90
Figura 33. Curvas de potencial zeta para o mineral hematita antes e após a interação com a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> em função do pH (eletrólito de suporte: NaCl 10 ⁻³ M).	91

Figura 34. Espectrograma de infravermelho do mineral hematita e principais bandas de absorvância.	93
Figura 35. Espectrograma de infravermelho do mineral hematita (antes e após da interação com a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i>).	94
Figura 36. Influência do pH na adsorção da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> sobre a superfície do mineral hematita.	96
Figura 37. Efeito do tempo na adsorção da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> sobre a superfície do mineral hematita, pH = 2.	97
Figura 38. Imagem de MEV de células da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> na superfície da hematita, tempo de condicionamento: 2 min.	98
Figura 39. Imagem de MEV de células da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> na superfície da hematita, tempo de condicionamento: 10 min.	99
Figura 40. Imagem de MEV de células da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> na superfície da hematita, tempo de condicionamento: 20 min.	99
Figura 41. Espuma formada pela biomassa a diferentes valores de pH, concentração: 200 mg / L. a) pH 2, b) pH 5, c) pH 8 e c) pH 11.	101
Figura 42. Tensão superficial da biomassa de <i>Rhodococcus erythropolis</i> em função do pH (concentração celular: 200 mg / L).	102
Figura 43. Flotabilidade do mineral hematita.	103
Figura 44. Flotabilidade do mineral hematita com uma concentração celular de 50 mg / L.	104
Figura 45. Flotabilidade da hematita em função do pH; tamanhos de partícula (150 – 106 µm), tempo de flotação: 2 minutos.	105
Figura 46. Flotabilidade da hematita em função do pH; tamanhos de partícula (106 – 75 µm), tempo de flotação: 2 minutos.	106
Figura 47. Flotabilidade da hematita em função do pH; tamanhos de partícula (53 – 38 µm), tempo de flotação: 2 minutos.	107
Figura 48. Flotabilidade da hematita em função da concentração celular: pH 6 e tamanhos de partícula: (150 – 106 µm), (106 – 75 µm) e (53 – 38 µm), tempo de flotação: 2 minutos.	108
Figura 49. Flotabilidade da hematita em função do tempo: pH 6 e tamanhos de partícula: (150 – 106 µm), (106 – 75 µm) e (53 – 38 µm).	109
Figura 50. Modelo de primeira ordem - flotabilidade da hematita: pH 6 e concentração celular de 200 mg / L.	111

Figura 51. Modelo de segunda ordem - flotabilidade da hematita: pH 6 e concentração celular de 200 mg / L.	112
Figura 52. Cinética da flotabilidade da hematita, ajuste do modelo de segunda ordem.	112
Figura 53. Modelo de ordem não integral - flotabilidade da hematita: pH 6 e concentração celular de 200 mg / L.	113
Figura 54. Difratoograma da amostra de hematita, tamanho (38 - 20 μm).	131
Figura 55. Difratoograma da amostra de hematita, tamanho (<20 μm).	131
Figura 56. Curva padrão para carboidratos.	132
Figura 57. Curva padrão para proteínas.	132
Figura 58. Curva de calibração da bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> , relação entre concentração celular e absorvâncias.	133
Figura 59. Curva de calibração do rotâmetro.	133

Lista de Tabelas

Tabela 1. Exportações de minério de ferro no Brasil (MDIC, 2013)	27
Tabela 2. - Reserva e produção mundial de minério de ferro (DNPM, 2013)	28
Tabela 3. Principais minerais de ferro (Lopes , 2009)	29
Tabela 4. Minerais de ganga comumente associados a minério de ferro (Lopes , 2009)	29
Tabela 5. Reagentes convencionais na flotação de minério de ferro.	34
Tabela 6. Algumas bactérias usadas no biobeneficiamento mineral (Merma, 2012).	39
Tabela 7. Grupamentos químicos presentes na superfície celular de microrganismos (De Mesquita <i>et al.</i> , 2002).	43
Tabela 8. Atribuição geral de bandas na bactéria (Garip <i>et al.</i> , 2009).	45
Tabela 9. Pontos isoelétricos para diversas cepas de bactérias (Botero, 2007).	47
Tabela 10. Os principais fatores que determinam a probabilidade de mineralização da bolha (Bulatovic, 2007).	52
Tabela 11. Modelos cinéticos mais comuns da flotação mineral.	53
Tabela 12. Modelos cinéticos mais comuns da bioflotação mineral.	54
Tabela 13. Ensaio e frações granulométricas	66
Tabela 14. Meio de cultura YMA utilizado para o crescimento da cepa bacteriana <i>Rhodococcus erythropolis</i> .	67
Tabela 15. Meio de cultura TSB utilizado para o crescimento da cepa bacteriana <i>Rhodococcus erythropolis</i> .	68
Tabela 16. Condições empregadas na microflotação mineral.	76
Tabela 17. Parâmetros utilizados na determinação da cinética de microflotação mineral usando a bactéria <i>Rhodococcus erythropolis</i> como bioreagente.	77
Tabela 18. Caracterização mineralógica da amostra de mineral hematita via DRX (Difração de Raios X).	79
Tabela 19. Composição mineralógica da amostra mineral via espectrômetro por fluorescência de raios X.	79

Tabela 20. Resultados da análise do espectro de EDS para a área da superfície da partícula de mineral hematita analisada.	81
Tabela 21. Composição do concentrado bacteriano.	85
Tabela 22. Modelos cinéticos empregados para os resultados de flotação.	110
Tabela 23. Constante cinética da microflotação do mineral, usando o modelo de primeira ordem.	111
Tabela 24. Constante cinética da microflotação do mineral, usando o modelo de segunda ordem.	113
Tabela 25. Constante cinética da microflotação do mineral, usando o modelo de ordem não integral.	113

*“Vincit qui tapitit” . / “Quem não sabe sofrer,
não sabe vencer”.*

Provérbio latino