



Clarissa Moschiar Fontelles

**Estudo das propriedades eletrocinéticas e de
espectroscopia no campo do infra-
vermelho da estirpe R. Ruber na presença
de cátions metálicos**

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 do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Mauricio Leonardo Torem

Rio de Janeiro
Setembro 2014



Clarissa Moschiar Fontelles

**Estudo das propriedades eletrocinéticas e de
espectroscopia no campo do infra-
vermelho da estirpe R. Ruber na presença
de cátions metálicos**

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 do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Mauricio Leonardo Torem

Orientador e Presidente
Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

Dr. Antonio Gutiérrez Merma

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

Prof. Eduardo de Albuquerque Brocchi

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

Profa. Luciene Stivanin Garcia

Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico da
PUC- Rio

Rio de Janeiro, 10 de setembro 2014.

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

Clarissa Moschiar Fontelles

Graduou-se em Engenharia Ambiental na Universidade Severino Sombra em 2012.

Ficha Catalográfica

Fontelles, Clarissa Moschiar

Estudos das propriedades eletrocinéticas e de espectroscopia no campo do infra-vermelho da estirpe *Rhodococcus ruber* na presença de cátions metálicos / Clarissa Moschiar Fontelles; orientador: Mauricio Leonardo Torem. – 2014.

122 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. Efluente líquido. 3. Metais pesados. 4. *Rhodococcus ruber*. 5. Potencial zeta. I. Torem, Mauricio Leonardo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia de Materiais. III. Título.

CDD: 620.11

Agradecimentos

Ao meu orientador Mauricio Leonardo Torem pelo apoio, paciência, compreensão, sugestões, conselhos e confiança depositados durante a realização deste trabalho.

Ao CNPq e PUC-Rio pelo auxílio financeiro concedido.

Aos Amigos Antonio e Ronald por toda paciência, força, conselhos e orientações durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos, em especial a Elayne, da PUC-Rio, aos professores, pesquisadores e funcionários do Departamento de Engenharia dos Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos da PUC-Rio pelos ensinamentos e valiosas sugestões durante a realização deste trabalho.

Ao Daniel, Aline, Paula, Carol, Camila, Ricardinho e Rafael que me incentivaram e me deram força em momentos cruciais durante a realização deste trabalho.

A minha família por todo apoio, confiança, compreensão e carinho.

E em especial a Deus, que me guia todo tempo e que me proporcionou chegar até aqui.

Resumo

Fontelles, Clarissa Moschiar; Torem, Mauricio Leonardo. **Estudo das propriedades eletrocinéticas e de espectroscopia no campo do infra-vermelho da estirpe *R. Ruber* na presença de cátions metálicos.** Rio de Janeiro, 2014. 122p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste estudo, as propriedades bacterianas da estirpe *Rhodococcus ruber in natura* e ativada com NaOH 0,1M, foram analisadas. O estudo avaliou a influência dos cátions metálicos (Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Mg^{2+} e Ni^{2+}) sob o comportamento da estirpe bacteriana, no intervalo de concentração entre 10^{-3} a 10^{-6} mol/L. As amostras bacterianas foram caracterizadas por espectroscopia na faixa do infra-vermelho com transformada de Fourier (FTIR). O ponto isoelétrico (PIE) da estirpe *R. Ruber* foi obtido através das análises de potencial zeta. Os resultados demonstraram um PIE com pH = 2,4 para a estirpe *in natura*, já quando ativada com NaOH 0,1M o PIE não foi evidenciado. A superfície bacteriana da estirpe ativada se apresentou levemente mais negativa do que a superfície da bactéria *in natura*. Para todas as amostras, observou-se alteração no potencial zeta durante a interação bacteriana com os íons estudados. Os resultados não apresentam diferenças significativas entre a bactéria *in natura* e ativada. As amostras permaneceram carregadas negativamente nos pH estudados, para todos os cátions, exceto Fe^{3+} . Por fim, diante dos resultados apresentados, acredita-se que a estirpe *Rhodococcus ruber* é uma opção viável para estudos voltados ao tratamento de efluentes contaminados por metais.

Palavras-chave

Efluente líquido; metais pesados; *Rhodococcus ruber*; potencial zeta.

Abstract

Fontelles, Clarissa Moschiar; Torem, Mauricio Leonardo (Advisor). **Studies of the electromagnetic properties and spectroscopy in the infra-red field of *R. Ruber* strain in the presence of metal ions.** Rio de Janeiro, 2014. 122p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this study, the *Rhodococcus ruber* bacterial strain properties of *in nature* and activated with 0.1M NaOH were analyzed. The study evaluated the influence of metal ions (Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Mg^{2+} and Ni^{2+}) on the behavior of the bacterial strain in the concentration range from 10^{-3} to 10^{-6} mol/L. Bacterial samples were characterized by infra-red spectroscopy - Fourier transform Infra-red (FTIR). The isoelectric point (IEP) of the bacterium *R. ruber* was obtained by analysis of zeta potential. The results showed an IEP at pH = 2.4 to strain in nature, in the other hand the IEP of activated strain (0.1M NaOH) was not observed. Bacterial surface-active strain showed slightly more negative than the surface of the bacterium *in nature*. All samples demonstrated changes in pH zeta potential during bacterial interaction with the analyzed ions. Samples remained negatively charged at the pH studied to all cations except Fe^{3+} . Finally, it's believed that the bacterium *Rhodococcus ruber* is a viable option for the treatment of metal contaminated wastewater.

Keywords

Liquids effluents; Heavy metals; *Rhodococcus ruber*; Zeta potential.

Sumário

1.	Introdução	17
2.	Objetivos	20
2.1.	Objetivo geral	20
2.2.	Objetivos específicos	20
3.	Revisão Bibliográfica	21
3.1.	Metais no meio aquoso	21
3.1.1.	Níquel (Ni)	21
3.1.2.	Cobalto (Co)	22
3.1.3.	Magnésio (Mg)	23
3.1.4.	Alumínio (Al)	23
3.1.5.	Cromo (Cr)	24
3.1.6.	Ferro (Fe)	25
3.2.	Métodos de Remoção de Metais	25
3.2.1.	Biossorção	26
3.2.1.1.	Mecanismos de Ligação	27
3.2.2.	Adsorção	28
3.3.	Potenciais Biossorventes	30
3.3.1.	Bactérias	31
3.3.2.	Estirpe <i>Rhodococcus</i>	34
3.3.3.	Estirpe <i>Rhodococcus ruber</i>	35
3.4.	Dupla Camada Elétrica	35
3.5.	Potencial Zeta	38
3.6.	Infra-vermelho	40
4.	Materiais e Métodos	42
4.1.	Preparo da biomassa	42
4.1.1.	Ativação da biomassa com NaOH	43
4.2.	Preparo das soluções estoques dos diferentes íons metálicos	43
4.2.1.	Solução de Alumínio	43

4.2.2.	Solução de Cobalto	43
4.2.3.	Solução de Cromo	44
4.2.4.	Solução de Ferro	44
4.2.5.	Solução de Magnésio	44
4.2.6.	Solução de Níquel	44
4.2.7.	Soluções para ajuste de pH	44
4.3.	Diagramas de Especiação	44
4.4.	Medidas de Potencial Zeta	45
4.4.1.	Curvas Bacterianas	45
4.4.2.	Curvas da Biomassa com metal	46
4.5.	Espectroscopia de Infra-vermelho	46
4.5.1.	Espectroscopia das biomassas	47
4.5.2.	Espectroscopia da biomassa com metal	47
5.	Resultados e Discussão	48
5.1.	Diagrama Termodinâmico de Especiação Química	48
5.1.1.	Especiação química do Níquel	48
5.1.2.	Reações de hidrólise do Cobalto	50
5.1.3.	Reações de hidrólise do Magnésio	53
5.1.4.	Reações de hidrólise do Alumínio	55
5.1.5.	Reações de hidrólise do Cromo	57
5.1.6.	Reações de hidrólise do Ferro	59
5.2.	Potencial Zeta	61
5.2.1.	Potencial zeta das biomassas	62
5.2.2.	Efeito da concentração bacteriana após a interação metálica nas medidas do Potencial Zeta	64
5.2.3.	Efeito da concentração metálica nas medidas do Potencial Zeta	67
5.2.4.	Potencial Zeta das interações bacterianas com os íons metálicos	74
5.2.4.1.	Níquel (II)	74
5.2.4.2.	Cobalto (II)	75
5.2.4.3.	Magnésio (II)	77
5.2.4.4.	Alumínio (III)	79
5.2.4.5.	Cromo (III)	81

5.2.4.6.	Ferro (III)	83
5.3.	Espectroscopia de Infra-vermelho	86
5.3.1.	Espectros das biomassas	86
5.3.2.	Espectros das interações bacterianas com os íons metálicos	88
5.3.2.1.	Níquel (II)	89
5.3.2.2.	Cobalto (II)	92
5.3.2.3.	Magnésio (II)	95
5.3.2.4.	Alumínio (III)	98
5.3.2.5.	Cromo (III)	102
5.3.2.6.	Ferro (III)	106
6.	Conclusão	110
7.	Referências Bibliográficas	112

Lista de Figuras

Figura 1. Classificação do mecanismo de biossorção: dependência do metabolismo celular.	28
Figura 2. Classificação do mecanismo de biossorção: sítio onde o metal é removido.	29
Figura 3. Esquema da estrutura celular de bactérias gram-positivas (Volesky, 2007).	33
Figura 4. Esquema da estrutura celular de bactérias gram-negativas (Volesky, 2007).	34
Figura 5. Dupla Camada Elétrica de Helmholtz e Perrin	36
Figura 6. Dupla Camada Elétrica de Gouy - Chapman	37
Figura 7. Modelo de Stern. (Adaptado Pino, 2007).	38
Figura 8. Diagrama de hidrólise do níquel, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-3} M.	49
Figura 9. Diagrama de hidrólise do níquel, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-4} M.	49
Figura 10. Diagrama de hidrólise do níquel, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-5} M.	50
Figura 11. Diagrama de hidrólise do níquel, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-6} M.	50
Figura 12. Diagrama de hidrólise do cobalto, em solução aquosa, considerando a concentração 10^{-3} M.	51
Figura 13. Diagrama de hidrólise do cobalto, em solução aquosa, considerando a concentração 10^{-4} M.	52
Figura 14. Diagrama de hidrólise do cobalto, em solução aquosa, considerando a concentração 10^{-5} M.	52
Figura 15. Diagrama de hidrólise do cobalto, em solução aquosa, considerando a concentração 10^{-6} M.	53
Figura 16. Diagrama de hidrólise do magnésio, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-3} M.	54
Figura 17. Diagrama de hidrólise do magnésio, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-4} M.	54
Figura 18. Diagrama de hidrólise do magnésio, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-5} M.	55
Figura 19. Diagrama de hidrólise do magnésio, em solução aquosa, considerando a concentração de 10^{-6} M.	55

Figura 20. Diagrama de hidrólise do alumínio, em solução aquosa, concentração 10^{-4} M.	56
Figura 21. Diagrama de especiação do alumínio, em solução aquosa, na concentração 10^{-5} M.	56
Figura 22. Diagrama de especiação do alumínio, em solução aquosa concentração 10^{-6} M.	57
Figura 23. Diagrama de hidrólise do cromo, em solução aquosa, para a concentração 10^{-4} M.	58
Figura 24. Diagrama de hidrólise do cromo, em solução aquosa, para a concentração 10^{-5} M.	58
Figura 25. Diagrama de especiação do cromo, em solução aquosa, para a concentração 10^{-6} M.	59
Figura 26. Diagrama de hidrólise do ferro, em solução aquosa, concentração 10^{-4} M.	60
Figura 27. Diagrama de hidrólise do ferro, em solução aquosa, concentração 10^{-5} M.	60
Figura 28. Diagrama de hidrólise do ferro, em solução aquosa, concentração 10^{-6} M.	61
Figura 29. Curvas de Potencial Zeta da estirpe <i>R. Ruber in natura</i> , na presença de KCl, em função do pH.	62
Figura 30. Curvas de Potencial zeta da estirpe <i>R. ruber</i> ativada, na presença de KCl, em função do pH.	64
Figura 31. Efeitos da concentração bacteriana no potencial zeta.	65
Figura 32. Imagem do potencial zeta da <i>R. ruber</i> na concentração de 100 ppm.	66
Figura 33. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de níquel.	68
Figura 34. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de níquel.	68
Figura 35. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de cobalto.	69
Figura 36. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de cobalto.	69
Figura 37. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de magnésio.	70
Figura 38. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de magnésio.	70
Figura 39. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de alumínio.	71
Figura 40. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de alumínio.	71

Figura 41. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de cromo.	72
Figura 42. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de cromo.	72
Figura 43. Potencial Zeta da bactéria <i>in natura</i> na presença de ferro.	73
Figura 44. Potencial Zeta da bactéria ativada na presença de ferro.	73
Figura 45. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o níquel; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	75
Figura 46. Potencial Zeta do <i>R. ruber</i> ativada antes e após interação com o níquel; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	75
Figura 47. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o cobalto; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	77
Figura 48. Potencial Zeta do <i>R. ruber</i> ativada antes e após interação com o cobalto; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	77
Figura 49. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o magnésio; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	78
Figura 50. Potencial Zeta do <i>R. Ruber</i> ativada antes e após interação com o magnésio; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	79
Figura 51. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o alumínio; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	81
Figura 52. Potencial Zeta do <i>R. Ruber</i> ativada antes e após interação com o alumínio; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	81
Figura 53. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o cromo; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	83
Figura 54. Potencial Zeta do <i>R. ruber</i> ativada antes e após interação com o cromo; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	83
Figura 55. Potencial Zeta do <i>R. ruber in natura</i> antes e após interação com o ferro; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	85
Figura 56. Potencial Zeta do <i>R. Ruber</i> ativada antes e após interação com o ferro; concentração de eletrólito indiferente de 10^{-3} M de KCl.	85
Figura 57. Espectro de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> .	87
Figura 58. Espectro de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada.	88
Figura 59. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> e ativada.	88

Figura 60. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o níquel.	89
Figura 61. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> antes e depois da interação com o níquel, intervalo entre os comprimentos de onda entre 4000 e 2000cm ⁻¹ .	90
Figura 62. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> antes e depois da interação com o níquel, intervalo entre os comprimentos de onda entre 2000 e 400cm ⁻¹ .	90
Figura 63. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o níquel.	91
Figura 64. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber</i> ativada antes e depois da interação com o níquel, intervalo entre os comprimentos de onda entre 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	91
Figura 65. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber</i> ativada antes e depois da interação com o níquel, intervalo entre os comprimentos de onda entre 2000cm ⁻¹ e 400cm ⁻¹ .	92
Figura 66. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o cobalto.	92
Figura 67. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cobalto, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	93
Figura 68. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cobalto, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm ⁻¹ e 400cm ⁻¹ .	94
Figura 69. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o cobalto.	94
Figura 70. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber</i> ativada e depois da interação com o cobalto, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	95
Figura 71. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber</i> ativada e depois da interação com o cobalto, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm ⁻¹ e 400cm ⁻¹ .	95
Figura 72. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o magnésio.	96
Figura 73. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o magnésio.	96
Figura 74. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	97

Figura 75. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	97
Figura 76. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm^{-1} e 2000cm^{-1} .	98
Figura 77. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	98
Figura 78. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o alumínio.	99
Figura 79. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm^{-1} e 2000cm^{-1} .	100
Figura 80. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o magnésio, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	100
Figura 81. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o alumínio.	101
Figura 82. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o alumínio, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm^{-1} e 2000cm^{-1} .	102
Figura 83. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o alumínio, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	102
Figura 84. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o cromo.	103
Figura 85. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cromo, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm^{-1} e 2000cm^{-1} .	103
Figura 86. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cromo, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	104
Figura 87. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o cromo.	105
Figura 88. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cromo, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm^{-1} e 2000cm^{-1} .	105
Figura 89. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o cromo, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm^{-1} e 400cm^{-1} .	106

Figura 90. Espectros de FTIR para <i>R. ruber in natura</i> antes e depois da interação com o ferro.	106
Figura 91. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o ferro, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	107
Figura 92. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o ferro, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm ⁻¹ e 400cm ⁻¹ .	107
Figura 93. Espectros de FTIR para <i>R. ruber</i> ativada antes e depois da interação com o ferro.	108
Figura 94. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o ferro, intervalo entre os comprimentos de onda 4000cm ⁻¹ e 2000cm ⁻¹ .	109
Figura 95. Espectros ampliados de FTIR da <i>R. Ruber in natura</i> e depois da interação com o ferro, intervalo entre os comprimentos de onda 2000cm ⁻¹ e 400cm ⁻¹ .	109

Lista de tabelas

Tabela 1. Fontes de Exposição Ambiental do Cobalto	22
Tabela 2. Limites Máximos Aceitáveis de Alguns Metais em água segundo CONAMA 357/05	25
Tabela 3. Grupos químicos de ligação envolvidos na biossorção.	32
Tabela 4. Valores de PIE para diferentes espécies de bactérias (Rijnaarts et al., 1995).	40
Tabela 5. Concentrações de pH utilizados nas análises de Infra-vermelho.	44
Tabela 6. Faixa de pH com maior predominância de Ni^{2+}	50
Tabela 7. Faixa de pH com maior predominância de Co^{2+}	53
Tabela 8. Faixa de pH com maior predominância de Mg^{2+}	55
Tabela 9. Faixa de pH com maior predominância de Al^{3+}	57
Tabela 10. Faixa de pH com maior predominância de Cr^{3+}	59
Tabela 11. Faixa de pH com maior predominância de Fe^{3+}	61
Tabela 12. Resumo das faixas ideais de pH	61
Tabela 13. Valores de desvio padrão da <i>R. ruber</i> nas concentrações 50ppm e 75ppm.	63
Tabela 14. Bandas de absorção IR e possíveis grupos correspondentes.	86