



Ferry Sabel Belisario Benique

**Contribuição à Auto-redução Carbotérmica de
Aglomerados contendo Óxidos de Manganês**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Orientador: José Carlos D'Abreu

Rio de Janeiro, abril de 2007.



Ferry Sabel Belisario Benique

Contribuição à Auto-redução Carbotérmica de aglomerados contendo Óxidos de Manganês

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

José Carlos D'Abreu

Orientador

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – PUC – Rio

Francisco José Moura

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – PUC – Rio

Hélio Marques Kohler

Consultor

José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, abril de 2007.

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

Ferry Sabel Belisario Benique

Graduou-se em Engenharia Metalúrgica na Universidade Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú.

Ficha Catalográfica

Belisario Benique, Ferry Sabel

Contribuição à auto-redução carbotérmica de aglomerados contendo óxidos de manganês / Ferry Sabel Belisario Benique ; orientador: José Carlos D'Abreu. – 2007.

161 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Metalurgia – Teses. 2. Manganês. 3. Auto-redução. 4. Cinética. 5. Aglomerados auto-redutores. I. D'Abreu, José Carlos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. III. Título.

CDD: 669

A Deus.
A meus Pais e irmãos, pela motivação e confiança. Principalmente pela dignidade
e equilíbrio ensinados, essenciais para afrontar qualquer situação.

Agradecimentos

Ao Professor José Carlos D'Abreu pelo estímulo e orientação, fundamentais na realização deste trabalho.

Ao Professor Hélio Márquez Kohler pelo apoio e orientações.

Ao Eng. Raimundo Nonato Rodriguez, pelo desprendimento e apoio na realização dos testes experimentais e ao técnico Maurício Oliveira Tupim, pelo auxílio nas análises químicas.

À Companhia Vale do Rio Doce - CVRD, pela delicadeza em ceder o minério de manganês.

Ao CNPq e a universidade PUC-Rio, pelos auxílios concedidos no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio pela destreza nos ensinamentos e aos funcionários do DCMM, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A meus Pais e irmãos pelo apoio incentivo e carinho em todo momento.

A Deus, pela minha saúde. Aos meus amigos pela colaboração, amizade e sugestões dadas ao longo do trabalho.

Resumo

Belisario Benique, Ferry Sabel; D'Abreu, José Carlos. **Contribuição à Auto-redução Carbotérmica de Aglomerados contendo Óxidos de Manganês**. Rio de Janeiro, 2007. 161p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho, foram feitas experiências de redução em temperaturas na faixa de 900°C a 1300°C, usando briquetes auto-redutores contendo óxidos de manganês e carvão vegetal, visando investigar o processo de redução de MnO_2 para MnO . É apresentado um panorama geral do manganês, indicando os principais produtos, entre eles, o MnO para uso agropecuário e a liga $FeMn$, insumo siderúrgico e evidenciando os aspectos termodinâmicos e cinéticos no processamento para a obtenção destes produtos. Cabe assinalar que o MnO é um produto intermediário no processo de fabricação da liga ferro-manganês. Mostram-se também detalhes do procedimento experimental, caracterização dos materiais utilizados e as discussões sobre os resultados obtidos. Na determinação das conversões de MnO foi utilizado o método de análise química de titulação por complexometria com EDTA. A partir dos resultados experimentais foi proposto um modelo para determinação dos parâmetros cinéticos. Pelos resultados da redução de Mn^{+4} para Mn^{+2} , foi possível distinguir dois estágios nas temperaturas ensaiadas. O primeiro estágio foi marcado por altas velocidades de reação, a até aproximadamente 10 minutos de experimentação, alcançando conversões elevadas de MnO ; como foi o caso dos ensaios nas temperaturas de 1000°C e 1200°C, que já indicavam em 10 minutos valores de conversões iguais a 0.94. Já para o segundo estágio, após os 10 minutos iniciais de experimentação, as velocidades e os valores da conversão apresentaram uma queda, sugerindo que o produto do primeiro estágio, o MnO , poderia estar começando a se transformar em outra substância (provavelmente o Mn_3C). Por não ser objetivo desta dissertação determinar a natureza da citada transformação, apenas a evidência de sua ocorrência foi aqui explicitada, ficando os estudos mais detalhados para outro trabalho. O modelo cinético concluiu que o processo se passava essencialmente em duas etapas: uma para tempos curtos e outra para tempos longos, sendo o tempo de experimentação em torno de 10 minutos a fronteira destas etapas. O

valor da energia de ativação para a etapa em tempos menores, ou seja, inferiores a 10 minutos, foi, nas temperaturas estudadas, 1000, 1100, 1150 e 1200°C, de 11,50 KJ/mol e o fator de frequência pré-exponencial 0,057 mHz, sugerindo um controle difusional.. Já para os tempos maiores que 10 minutos, os experimentos nas temperaturas de 900, 1000, 1100, 1150, 1200 e 1300°C, muito embora não se tenha pesquisado a natureza do novo composto (possivelmente o carboneto de manganês), forneceu para a energia de ativação o valor de 46,10 KJ/mol e para o fator de frequência pré-exponencial 48,045 Hz, sugerindo, em consequência, um mecanismo predominantemente misto, ou seja, equilibradamente difusional e químico.

Palavras-chave

Manganês; Auto-redução; Cinética; Aglomerados Auto-redutores.

Abstract

Belisario Benique, Ferry Sabel; D'Abreu, José Carlos. **Contribution at Carbothermic Self-reduction of Agglomerates of Manganese Oxides.** Rio de Janeiro, 2007. 161p, Master Dissertation – Department of Materials Science and Metallurgy, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

In this work, aiming at the investigation on the reduction process of manganese dioxide to manganese oxide, experiments were made using self-reducing briquettes containing manganese oxides and charcoal, at temperatures ranging from 900 to 1300°C. A general overview of the manganese is presented, indicating its principal products such as, the farming usage of MnO and the steelmaking application of the FeMn alloys, also emphasizing the thermodynamical and kinetical aspects of their productions. It is worthwhile to emphasize that MnO is an intermediary product in the production of the FeMn alloy. Experimental details concerning materials characterization and discussion on the obtained results, are also presented. In the determination of the MnO conversion the complexometric titration with EDTA chemical procedure was applied. From these determinations a model was proposed for the calculation of the kinetic parameters. The experimental results of reduction, from Mn^{+4} towards Mn^{+2} , it was possible to identify two stages for the reactions in the temperature range from 900 to 1300 C. An onset stage was marked by high reaction rates, lasting for the first 10 minutes, achieving high MnO conversions. In the experiments carried out in the range of 1000 to 1200°C, for instance, a 0,94 conversion was attained within just 10 minutes. As for the second stage, beginning after 10 minutes, the conversion showed a decrease, suggesting that the product of the first stage, the MnO, could be suffering a transformation, generating an other substance — probably Mn_3C . Being this a new process, out of the scope of this work, its elucidation is left here as a suggestion for later works. Wrapping up the kinetic model, a time frontier between the two processes, around 10 minutes, was considered. Below this limit, i.e., in the temperatures — 1000, 1100, 1150 and 1200°C —, the process exhibited an apparent activation energy of 11.50 kJ x mol⁻¹ and a pre-exponential frequency factor of 57 μHz, inferring a

diffusion control. As for times beyond 10 minutes, in experiments at 900, 1000, 1100, 1150, 1200 e 1300°C, though the nature of a new compound was not probed — possibly a manganese carbide — it was possible to measure a new apparent activation energy, $46.10 \text{ kJ x mol}^{-1}$, with a pre-exponential frequency factor of 48 Hz, values coherent with a mixed control, i.e., between the diffusional and the chemical mechanisms.

Keywords

Manganese; Self-reduction; Kinetics; Self-reducing Agglomerates.

Sumário

1	Introdução	19
2	Objetivos e relevância do trabalho	21
3	Justificativa	22
4	Panorama Geral do Manganês	23
4.1.	Historia do Manganês	23
4.2.	Minério de Manganês	25
4.2.1.	Ocorrências e tipos	25
4.2.2.	Mineração	27
4.3.	Produção de ferro-liga de manganês	29
4.3.1.	Ferro-manganês	31
4.3.1.1.	Cadeia Produtiva	33
4.3.1.2.	Consumo de ferro-liga de manganês	38
4.3.2.	Produtos químicos	39
4.3.2.1.	Agronomia	41
4.3.2.1.1.	Fungicidas	41
4.3.2.1.2.	Nutrientes e micro-nutrientes animais	41
4.3.3.	Papel biológico do manganês	41
4.3.4.	Dióxido de manganês eletrolítico (EMD)	42
5	Tecnologia de auto-redução	44
5.1.	Aglomerados auto-redutores	46
5.2.	Processos de auto-redução	46
5.2.1.	Processo TecnoRed	47
6	Redução carbotérmica dos óxidos de manganês e de ferro	49
6.1.	O processo de fabricação do ferro manganês alto carbono	49

6.1.1. O processo no forno elétrico a arco	55
6.2. Termodinâmica da redução carbotérmica de óxidos de manganês	58
6.2.1. Diagrama de equilíbrio Ferro – Manganês	69
6.2.2. Redução dos óxidos de manganês e de ferro pelo monóxido de carbono	73
6.2.3. A gaseificação do carbono (reação de Boudouard)	78
6.2.3.1. Efeito da pressão sobre a reação de Boudouard	81
6.2.4. Diagrama Operacional de Predominância de Fases Fe – C – O	82
6.3. Cinética da redução carbotérmica dos óxidos de manganês e de ferro	84
6.3.1. Mecanismos da reação de Boudouard (gaseificação do carbono)	84
6.3.2. Cinética das reações de auto-redução	86
6.3.2.1. Etapas da auto-redução	87
6.3.3. Cinética das reações de redução dos óxidos de ferro	88
6.3.4. Cinética das reações de redução dos óxidos de manganês	89
7 Desenvolvimento experimental	110
7.1. Caracterização dos materiais utilizados	110
7.1.1. Minério de manganês	110
7.1.2. Carvão vegetal	111
7.2. Materiais e equipamentos utilizados	111
7.2.1. Materiais de laboratório	111
7.2.2. Equipamentos e aparelhos utilizados	112
7.3. Preparação das amostras	113
7.3.1. Relação carbono / óxido	115
7.4. Testes de redução e análise química	115
7.4.1. Experimentos de redução	115
7.4.1.1. Parâmetros experimentais	116
7.4.1.2. Fontes de manganês	116
7.4.1.3. Material carbonáceo	117
7.4.1.4. Vazão de gás inerte e tipo de atmosfera	117
7.4.1.5. Temperatura	117
7.4.2. Ciclo experimental	117

7.4.3. Análise química para a determinação de Mn^{+2} e Mn_{total}	118
7.4.3.1. Método de Análise química	118
8 Apresentação e discussão dos resultados	120
8.1. Levantamento termodinâmico dos Diagramas Operacionais de Predominância de Fases Mn-C-O.	120
8.1.1. Diagrama Operacional de Predominância de Fases Mn – C – O	120
8.1.2. Atividades dos reagentes e dos produtos	122
8.1.2.1. Atividades de MnO e de Mn	123
8.1.3. Formação de Carbetos de manganês	126
8.2. Redução dos Briquetes de Minério de Manganês e Carvão Vegetal	128
8.2.1. Modelo utilizado	128
8.2.1.1. Resultados obtidos	129
8.2.2. Efeito da temperatura	141
8.2.3. Diminuição na velocidade de reação no segundo estágio	144
8.2.4. Avaliação dos parâmetros cinéticos	144
8.2.4.1. Determinação de E_a e K_0 para o briquete de Minério de Manganês + Carvão Vegetal (20%exc C)	144
9 Conclusões e sugestões	148
10 Referências Bibliográficas	150
Apêndice I – Cálculo da relação Carbono / Óxido nos briquetes	158
Apêndice II – Análise Química	159

Lista de figuras

- Figura 1 – Produção por países de minério de manganês (em milhões de toneladas métricas de manganês contido no minério), segundo o International Manganese Institute – IMnI 2005 ⁽²⁷⁾. 28
- Figura 2 – Cadeia produtiva dos principais produtos a base de manganês. Fonte Companhia Vale do Rio Doce - CVRD. 33
- Figura 3 - Processo produtivo das ligas de manganês. Fonte Companhia Vale do Rio Doce - CVRD. 34
- Figura 4 - Produção global por Produto de ferro-liga de manganês (in million mt), segundo o International Manganese Institute - IMnI, 2005 ⁽²⁷⁾. 35
- Figura 5 - Produção de ferro-ligas de manganês por região em 2005 (em porcentagens de produção total global: 10.7 million mt), segundo o International Manganese Institute - IMnI ⁽²⁷⁾. 36
- Figura 6 - Evolução da produção de ligas a base de manganês no Brasil. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Ferro-ligas e de Silício Metálico - ABRAFE 2004 ⁽⁴⁸⁾. 37
- Figura 7 – Seção transversal do Forno Tecnoled ⁽⁷²⁾. 48
- Figura 8 - Comparação de reações metalúrgicas entre o “Forno de Cuba para Fusão de ferro-manganês” e o “Alto Forno para ferro gusa” ⁽⁵³⁾. 52
- Figura 9 - Forno elétrico fechado à arco submerso para fusão de ferro-manganês, modificado da Clark and Martin ⁽⁵⁾. 56
- Figura 10 - Diagrama de estabilidade para o sistema Mn-O-C a 1000°C ⁽⁹⁾. 62
- Figura 11 - Pressão parcial de oxigênio em equilíbrio com óxidos puros de manganês e de ferro e a reação de Boudouard para a pressão de 1 atm. 64
- Figura 12 - Diagrama de Ellingham para o sistema Mn-O-C, para 1 atm de pressão total ⁽²¹⁾. 66

Figura 13 - Composição de equilíbrio termodinâmico da mistura de MnO_2 e Carbono, como função da quantidade de C a 25°C, 75°C e 105°C e a pressão de 1 atm ⁽²¹⁾ .	67
Figura 14 - Diagrama de Ellingham para óxidos de Manganês, Ferro e Carbono ⁽⁵⁾ .	68
Figura 15 - Diagrama de equilíbrio do sistema Fe- Mn ⁽⁴⁵⁾ .	70
Figura 16 - Efeito de alguns metais comuns sobre a temperatura e composição eutetóide nos aços ⁽⁴⁵⁾ .	71
Figura 17 - Sistema Fe-Mn-C, mostrando a seção vertical do diagrama ternário em 13% Mn ⁽⁴⁵⁾ .	72
Figura 18 - Curva de equilíbrio da reação de Boudouard.	81
Figura 19 - Efeito da variação na pressão sobre o equilíbrio da reação de Boudouard.	82
Figura 20 - Diagrama de Predominância Operacional Fe-C-O. Equilíbrio entre os óxidos de ferro, o CO, o CO ₂ e C. $P_{CO(g)} + P_{CO_2(g)} = 1$ atm.	83
Figura 21 – Etapas da auto-redução.	87
Figura 22 - Partícula de Fe ₂ O ₃ parcialmente reduzida, baseado em fotomicrografia ⁽³⁸⁾ .	88
Figura 23 - Redução de MnO por grafita a 1300°C, em atmosfera de Ar-CO com concentrações variadas de CO (%vol) no percurso da redução ⁽¹⁶⁾ .	90
Figura 24 - Redução de MnO por grafita em atmosfera de CO a diferentes temperaturas ⁽¹⁶⁾ .	91
Figura 25 - Efeito do CO na redução do Minério de Manganês por grafita ⁽¹⁶⁾ .	91
Figura 26 – Perda de massa e evolução de CO na redução de minério de manganês por grafita, em atmosferas de Ar e He a 1400°C ⁽¹⁶⁾ .	92
Figura 27 - Redução de minério de manganês silicoso a 900, 1200 e 1400°C ⁽¹⁷⁾ .	97
Figura 28 - Minério de Manganês submetido a 9 min de redução a 1400°C, 500 X ⁽¹⁷⁾ .	103
Figura 29 - Efeito da temperatura na redução de minério WH ⁽⁶⁹⁾ .	108

Figura 30 - Curva redução versus tempo para três diferentes minérios de manganês reduzidos a 1300°C ⁽⁶⁹⁾ .	109
Figura 31 - Gral de porcelana e Gral de ágata.	113
Figura 32 - Matriz de aço indeformável.	114
Figura 33 - Prensa Pavitest.	114
Figura 34 - Balança digital.	114
Figura 35 - Forno elétrico tubular.	116
Figura 36 - Briquete de minério de manganês após redução. T= 900°C, 1 h.	118
Figura 37 - Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O. Equilíbrio entre os óxidos de manganês, o CO, o CO ₂ e C. $P_{CO(g)} + P_{CO_2(g)} = 1 \text{ atm.}$	121
Figura 38 - Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O, mostrando o equilíbrio entre o MnO com o Mn e a curva de Boudouard.	123
Figura 39 - Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O, mostrando o equilíbrio entre o MnO, o Mn e a curva de Boudouard, além da influência na variação das suas atividades.	125
Figura 40 - Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O, mostrando o equilíbrio entre o MnO, o Mn ₃ C, e a curva de Boudouard, com variação das atividades.	126
Figura 41- Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O, mostrando o equilíbrio entre o MnO, o Mn ₃ C, o Mn e a curva de Boudouard, com atividades unitárias dos reagentes e produtos.	127
Figura 42 - Diagrama de Predominância Operacional Mn-C-O, mostrando o equilíbrio entre o MnO, o Mn ₃ C, Mn e a curva de Boudouard, e a influência na variação das atividades dos produtos.	127
Figura 43 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1000°C, Minério de Mn, 20% exc C.	131
Figura 44 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1200°C, Minério de Mn, 20% exc C.	132
Figura 45 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e	

modelados para tempos curtos. T = 1100°C, Minério de Mn, 20% exc C.	133
Figura 46 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1150°C, Minério de Mn, 20% exc C.	134
Figura 47 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 1000°C, Minério de Mn, 20% exc C.	135
Figura 48 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 1200°C, Minério de Mn, 20% exc C.	136
Figura 49 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 900°C, Minério de Mn, 20% exc C.	137
Figura 50 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 1100°C, Minério de Mn, 20% exc C.	138
Figura 51 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 1150°C, Minério de Mn, 20% exc C.	139
Figura 52 - Graus de conversão de Mn ⁺⁴ para Mn ⁺² , experimentais e modelados para tempos longos. T = 1300°C, Minério de Mn, 20% exc C.	140
Figura 53 - Conversões de MnO ₂ para MnO em tempos curtos. Para as temperaturas 1000, 1100, 1150 e 1200°C. Minério de Manganês com 20% de excesso estequiométrico do redutor carbono.	141
Figura 54 - Conversões de MnO ₂ para MnO em tempos longos. Para as temperaturas 900, 1000, 1100, 1150 e 1200 e 1300°C. Minério de Manganês com 20% de excesso estequiométrico do redutor carbono.	143
Figura 55 - Gráfico de Arrhenius para o mecanismo em tempos curtos.	146
Figura 56 - Gráfico de Arrhenius para o mecanismo em tempos longos.	147

Lista de tabelas

Tabela 1- Minerais de manganês mais comuns ⁽³⁰⁾ .	26
Tabela 2 - Produção e reserva de manganês em metal contido no minério ⁽³⁰⁾ .	27
Tabela 3 - Reservas de manganês do Brasil em 1996 ⁽³⁰⁾ .	29
Tabela 4 - Composições químicas típicas das principais ferro-ligas de manganês produzidas no Brasil ⁽³⁰⁾ .	37
Tabela 5 - Índices médios de consumo de ligas a base de manganês no Brasil, segundo ABRAFE, 2004 ⁽⁴⁸⁾ .	38
Tabela 6 - Principais especificações de operação do Forno de Cuba para Fusão de Ferro-manganês ⁽⁵³⁾ .	50
Tabela 7 - Comparação de consumos de coque e KWh, na produção de ferro gusa e ferro-manganês em alto forno e forno elétrico, segundo Rosenqvist ⁽²⁹⁾ .	54
Tabela 8 - Efeito da composição química na redução de minério de manganês de Wessel, reduzidos a 1300°C durante 60 min ⁽⁶⁹⁾ .	108
Tabela 9 - Características químicas e físicas do Sinter Feed de Carajás – CVRD.	110
Tabela 10 - Análise Imediata do Carvão Vegetal (base seca)	111
Tabela 11 - Resultados experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1000°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	131
Tabela 12 - Resultados experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1200°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	132
Tabela 13 - Resultados experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1100°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	133
Tabela 14 - Resultados experimentais e modelados para tempos curtos. T = 1150°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	134
Tabela 15 - Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 1000°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	135

Tabela 16 - Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 1200°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	136
Tabela 17- Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 900°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	137
Tabela 18 – Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 1100°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	138
Tabela 19 - Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 1150°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	139
Tabela 20 - Resultados experimentais e modelados para tempos longos. T = 1300°C, Minério de Mn, 20% exc C. N ₂ = 2 NI/min.	140
Tabela 21 - Valores dos parâmetros cinéticos para os tempos curtos.	145
Tabela 22 - Valores dos parâmetros cinéticos para os tempos longos.	145