

9 Referências Bibliográficas

1. OTAVIANO, M. M. **Estudo Fenomenológico da Deposição de Carbono em Ferro Esponja Produzido a partir de Pelotas de Minério de Ferro.** Ouro Preto, 2003, 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto.
2. CRU Group. Iron Ore Market Outlook Report.
3. COSTA e SILVA, A. L. V. e MEI, P. R. **Aços e Ligas especiais.** 2. ed. Cidade: editora, 2006. 664 p.
4. BLOOM, T.A; FOSNACHT, D.R. e HAEZEBROUCK D.M. The Influence of phosphorus on the properties of Sheet Steel Products and Methods Used to Control Steel Phosphorus levels in Steel Product Manufacturing – part I, set 1990.p 35-38.
5. BELLON, J. Material didático apresentado em aula de Transformação de Fases. Curso de graduação em engenharia de metalurgia e materiais, UVV, ES, jun, 2010.
6. SOUZA JÚNIOR, M. **Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Minério de Ferro Itabirítico Anfibolítico da Jazida de Alegria Mariana MG.** Belo Horizonte: UFMG, 1994, 200p. Dissertação de Mestrado (Curso de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
7. PENA, E. Q. Pelotização de Minérios de Ferro. Fundação Gorceix – NUPEC, ago 2008
8. DE ARAUJO, M. A. C. **Investigação sobre a Localização Mineralógica do Fósforo nos Sínteres e Pelotas de Minério de Ferro.** Belo Horizonte: UFMG, 1994, 158p. Dissertação de Mestrado (Curso de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
9. CURI, A. **Estudos para Redução do Teor de Fósforo em Minérios de Ferro.** Belo Horizonte: UFMG, 1991, 111p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
10. COELHO, E. M.; ARAUJO, A. C. e SILVA, J. M. **Estudos do Fósforo no Minério de Ferro da Mina de Alegria** – Relatório Final. Belo Horizonte, Fundação Cristiano Ottoni, 1988, 137p.
11. COUTO, M. L. F. **Caracterização de Alumínio e Fósforo em Minério de Ferro.** Ouro Preto, 2009, 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
12. SAMARCO TECHNICAL INFORMATION. Anchieta: Samarco Mineração S.A., 2010.

13. MEYER, K. **Pelletizing of Iron Ores**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 1980. 302p.
14. GERMAN ", R. M. **Fundamentals of Sintering "**; Materials Handbook Ceramics and Glasses, Vol 4, U.S., 1991.
15. FONSECA, V. O. **Envelhecimento de Pelotas de Minério de Ferro com Diferentes Basicidades e Teores de MgO**. Ouro Preto, 2003, 240p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto.
16. NEKRASOV, Z. I.; DROZDOV, G.M.; SHMELEV, Y. S.; BOLDENKO, M. G. e DAN’KO, Y. G. Nature of slag bong in iron-ore pellets. *Stal’*. Ago 1978.p.688-695.
17. OAIKHINAN, E. P.; WALKER, R. D.; RALPH, B. The Application of Scanning Electron Microscopy to the Identification of Calcium Ferrites in Iron Oxide Pellets. Institute of Materials, University College, Cardiff, U. K. 1986. Vol 23, p. 441-449.
18. SAMARCO. Disponível em: <<http://www.samarco.com.br/modules/system/viewPage.asp?P=11114&VID=default&SID=521018070737084&S=1&A=closeall&C=2863>> acessado em 22 nov 2010.
19. BUENO, P.G. Relatório Técnico de Desenvolvimento de Produto. Gerência de Assistência Técnica, Gerência Geral de Marketing e Vendas da SAMARCO. Anchieta, ES, 2010.
20. FONSECA, D. C. **Estudo Mineralógico de “Pellet Feed Fines” visando Redução de Teor de Fósforo**. Belo Horizonte: UFMG, 1992, 141p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
21. RABELO, P. J. B. **Estudos de Caracterização e Redução do Teor em Fósforo do Minério de Ferro da Mina de Alegria, Mariana, MG**. Belo Horizonte: UFMG, 1994, 305p. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
22. ARAÚJO, D. R. **Desenvolvimento de um Modelo Computacional de Otimização e Predição do Valor de uso de Pelotas de Minério de Ferro na Rota Redução Direta** – Aciaria Elétrica. Rio de Janeiro: PUC, 2007, 340p. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais e Metalurgia) - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-RJ.
23. CUNHA, A. F. **Caracterização, Beneficiamento e Reciclagem de Carepas Geradas em Processos Siderúrgicos**. Ouro Preto, 2006, 91p. Dissertação (Mestrado e Engenharia de materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto. 18-20p.
24. PACO, L. J. M. **Cinética da Redução de Pelotas de Minério de Ferro em Condições Simuladas de um Reator Midrex**. Rio de Janeiro: PUC, 2005, 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais e Metalurgia) - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-RJ.
25. HYL Technology from Hylsamex. Site desenvolvido pela Hylsamex. 2001. Apresenta varias informações sobre o processo HYL de redução direta. Disponível em: <<http://www.hylsamex.com/hyl/default.htm>>.

26. NOLDIN JÚNIOR, J. H. **Modelo termoquímico da auto-redução em fornos de cuba**. Rio de Janeiro: Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC/RJ, 2007.(Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais).
27. DE CASTRO, L. F. A.; SAMPAIO, R. S.; TAVARES, R. P. Termodinâmica Metalúrgica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Escola de Engenharia da UFMG). Belo Horizonte, 2004. 488p.
28. GONÇALVES, W. M. **Adequação do Processo de Fabricação de Aço LD, Utilizando Ferro-Gusa Líquido com Baixo Teor de Silício**. Belo Horizonte, 2005, 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia da UFMG.
29. RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Convertedores a Oxigênio**. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Matérias. São Paulo, 2006. 56-102p.
30. MARTINS, A. A. R. 6º Curso de Refino de Aço em Fornos Básico a Oxigênio – ABM. Vitória, ES, 2010.
31. LEE, M.; TROTTER, D.; MAZZEI, O. e FRUEHAN, R. **Processing High Phosphorus HBI in Steelmaking**. Ironmaking Conference Proceedings, 1997, p 571-573.
32. THE BOODARIE™ IRON (HBI) User Manual was developed and produced by the BHP Steel Technology Support Group using various acknowledged resources. BHP Billiton Direct Reduced Iron Pty Ltd, 2003, rev 4.
33. ABM. Fabricação de Aço em Forno Básico a Oxigênio – LD. 2008
34. FRUEHAN, R. J.; MANNING C. P. – **Behavior of phosphorous in DRI/HBI during electric furnace steelmaking**. AISI/DOE Technology Roadmap Program. Pittsburgh, PA. Outubro, 2006.
35. ELECTRIC ARC FURNACE. Site desenvolvido em parceria entre o International Iron and Steel Institute e MATTER ©, 2002-2007. Apresenta os elementos chaves para o funcionamento do forno elétrico a arco. Disponível em: [HTTP://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=25&pageid=2081271928](http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=25&pageid=2081271928)
36. RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Preparação de Matérias-Primas para o Refino do Aço**. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Matérias. São Paulo, 2005.69p.
37. MIDREX TECHNOLOGIES, INC. Site desenvolvido pela MIDREX. Apresenta várias informações sobre o processo MIDREX de redução direta. Disponível em: < <http://www.midrex.com>>.
38. MOREIRA, M. F. Siderurgia. Disponível em: < http://www.dalmolim.com.br/EDUCACAO/MATERIAIS/Biblimat/siderurgia_2.pdf >. Acessado em: 18 mar 2011.
39. RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos Fornos Elétricos a Arco**. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Matérias. São Paulo, 2006. 84p.
40. JONES, J. A. T. **EAF Steelmaking – Current State of the Art Technology and Future Developments**. IAS – 18th Steelmaking Conference. Rosario, Santa Fe, Argentina. 2011.

41. ATSUSHI, M.; UEMURA, H.; SAKAGUCHI, T. **MIDREX Processes**. IAS – 18th Steelmaking Conference. Rosario, Santa Fe, Argentina. 2011.
42. ENERGIRON HyL. The Innovative Direct Reduction Technology. Disponível em < <http://www.energiron.com/> >. Acessado em: 10 nov 2011.
43. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17^o, 2006, Foz do Iguaçu. **Nanoestruturas e Nanopartículas Naturais em Argilas**: Métodos de concentração, caracterização morfológica e estrutural. São Paulo: UNESP, 2006,12p.
44. MEHRA, O. P. e JACKSON, M. L. **Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate**. Departamento dos Solos. Universidade de Wisconsin, Madison. p. 317-327.
45. NWOYE, C. I. Model for Evaluation of the Concentration of Dissolved Phosphorus during Leaching of Iron Oxide Ore in Oxalic Acid Solution. **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**. v.8, n. 3, p. 181-188, 2009.
46. LEITE, S. Q. M.; COLOLETE, C. H. A. e DIEGUEZ, L. C. **Extração de ferro de esmectita brasileira com emprego do método ditionito-citrato-bicarbonato**.1998. Departamento de Química Orgânica. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999, 6p.
47. RUTTENBERG, K. C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. Department of Marine Chemistry and Geochemistry, Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts. Vol 37(7), p. 1460-1482. Jun 1992.
48. INDA JUNIOR, A. V. e KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. Vol 27, p. 1139-1147,2003.
49. CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; FABRIS, J. D. e OLIVEIRA, L. C. A. Espectroscopia Mössbauer na Caracterização de Compostos Ferrosos em Solos e sua Relação com Retenção de Fósforo. Química Nova, vol XY, N 00. Jun 2008.
50. RIBEIRO, D. C.; MARTINS, G.; NOGUEIRA, R.; CRUZ, J. V. e BRITO, A. G. Phosphorus fractionation in volcanic lake sediments (Azores - Portugal). ScienceDirect. Vol 70, p. 1256-1263. Set 2007.
51. MARTINS, E. S.; LINHARES, N. W. e GIUSTINA, C. Método de Referência para Caracterização de Rochas Utilizadas como Corretivo de Acidez do Solo. Comunicado técnico. N 38. Nov 2000.
52. BENIQUE, F.B. **Carburização do DRI nas Zonas de Transição e Resfriamento de Reatores Tipo Midrex**. Rio de Janeiro: PUC, 2011, 173p. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais e Metalurgia) - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-RJ.

ANEXO A – Procedimento para Calibração e Aumento da Precisão da Análise do Fósforo no ICP

Para construção das curvas de calibração do plasma foram preparadas cinco soluções de calibração, utilizando materiais de referência certificados de minério de ferro (SAM 05, SAM 04, SAM 06, SAM 03 e IPT 123), vide anexo B com concentrações variadas de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO e P. Foi preparada também, uma solução de calibração em Branco (Solução química sem a presença de elemento a ser medido), contendo todos os reagentes utilizados na preparação dos padrões.

Para determinar as curvas de regressão, foi feita a leitura do Branco e das soluções de calibração no espectrômetro de plasma. Traçou-se as curvas de calibração com os valores de intensidade obtidos nas leituras do ICP das soluções de calibração contra as respectivas concentrações certificadas dos elementos. O software do instrumento determina a regressão linear e todos dados estatísticos (limite de detecção, BEC, erro padrão e coeficiente de correlação) para cada elemento.

As soluções padrões e as amostras para análise no ICP foram preparadas de acordo com os seguintes procedimentos:

Pesar em cadinho de platina 0,8 g de carbonato de sódio e 0,4 g de tetraborato de sódio ou 1,2 g da mistura carbonato de sódio + tetraborato de sódio (2:1) previamente preparada.

Pesar $0,400 \pm 0,001$ g da amostra, previamente seca e pulverizada, transferir para o cadinho de platina do item anterior e homogeneizar.

Colocar o cadinho em mufla à temperatura de 1000 ± 20 °C por um tempo de 5 a 10 minutos.

Retirar o cadinho da mufla agitando suavemente, à medida que a massa fundida se solidifica. Deixar resfriar.

Colocar em um Becker e adicionar 30 ml de ácido clorídrico diluído (1:1) no cadinho, aquecendo o conjunto em chapa até completa dissolução da massa fundida.

Transferir, com auxílio de um funil, o conteúdo do Becker para balão volumétrico de 100 ml, lavando com água destilada o cadinho de platina, as

paredes do Becker e o funil. Resfriar, aferir o balão com água destilada e homogeneizar a solução.

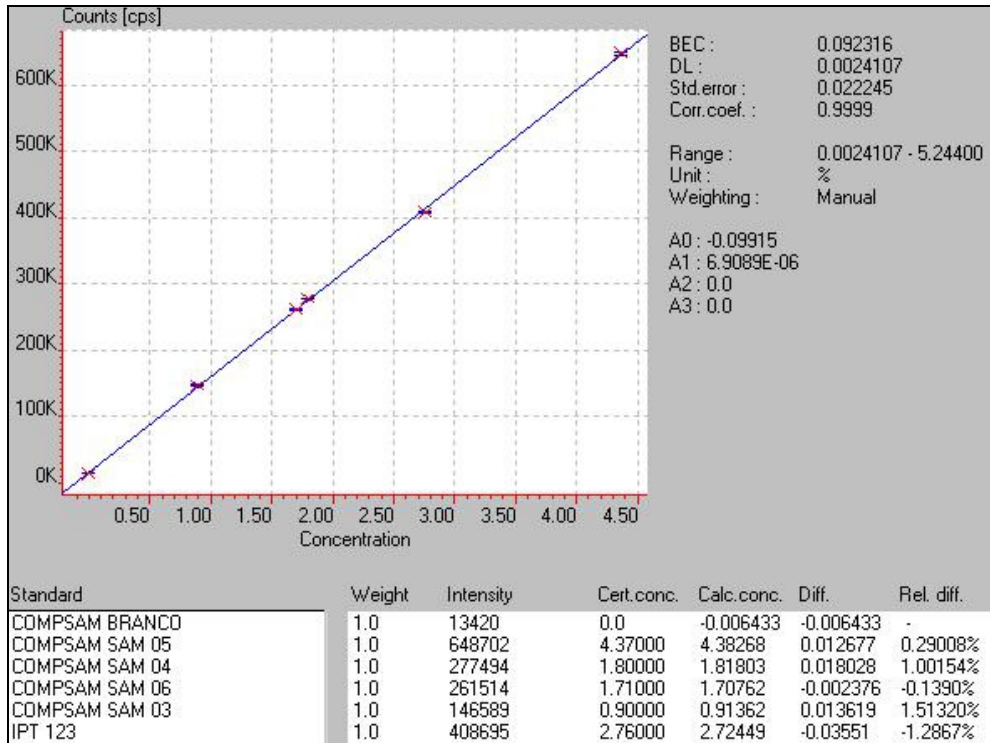
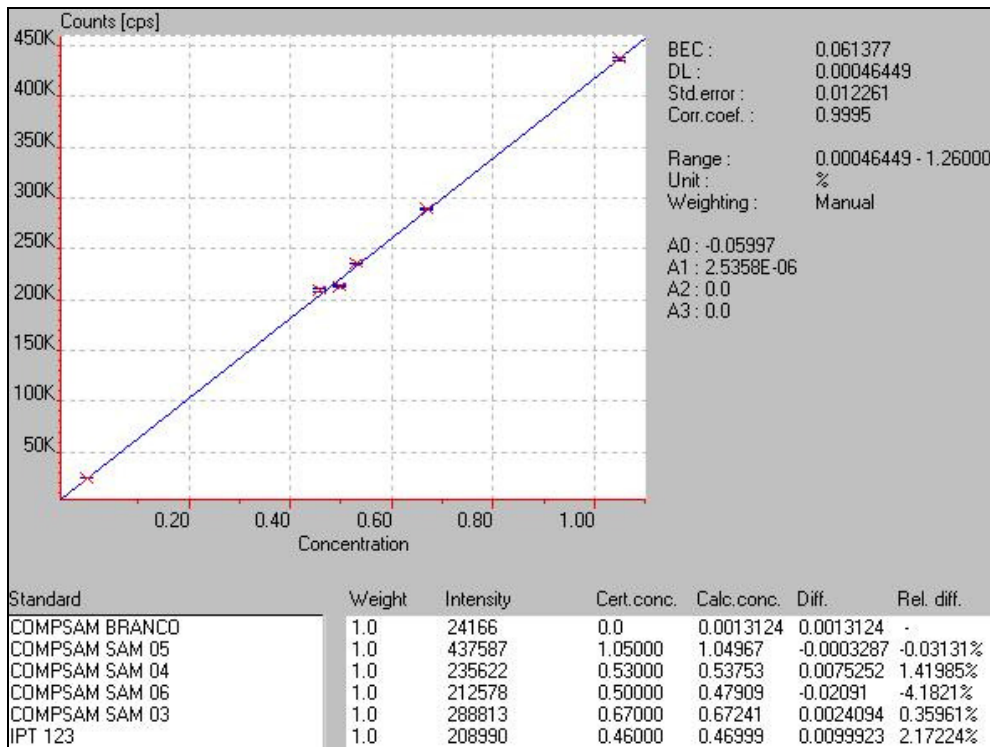
Análise do ICP:

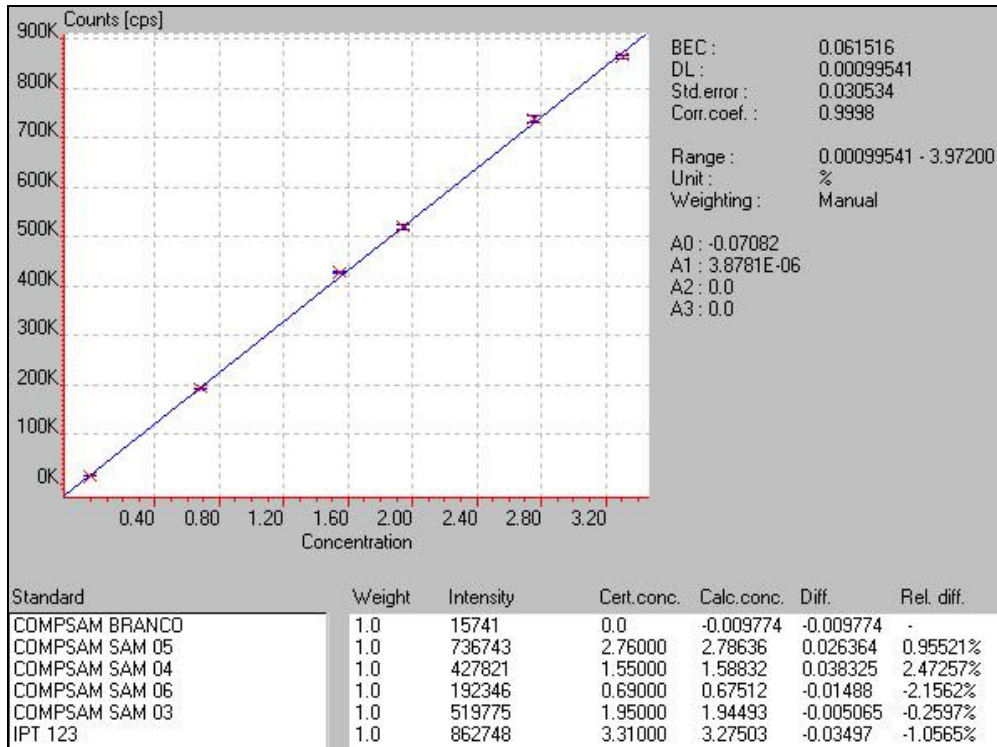
Fazer a leitura no espectrômetro de plasma do material de referência certificado IPT 123 e verificar se a diferença entre os valores lidos e certificados estão dentro dos limites de tolerância que constam no certificado de análise do padrão. Se estiver dentro da tolerância, fazer a leitura da amostra no espectrômetro de plasma, realizando no mínimo 5 (cinco) medições e anotar a média aritmética dos valores das concentrações dos elementos. Se a diferença for maior que a aceitável realizar a recalibração do instrumento, fazendo a leitura no espectrômetro de plasma das soluções de calibração que correspondam ao teor mais baixo e ao teor mais alto de cada elemento, medindo suas respectivas intensidades. Determinando os fatores de correção das intensidades e corrigindo, conseqüentemente, as curvas de calibração e as concentrações dos elementos.

Os erros experimentais e curvas de regressões, obtidos nas determinações da aplicação do procedimento de calibração dos ICP, encontram a seguir.

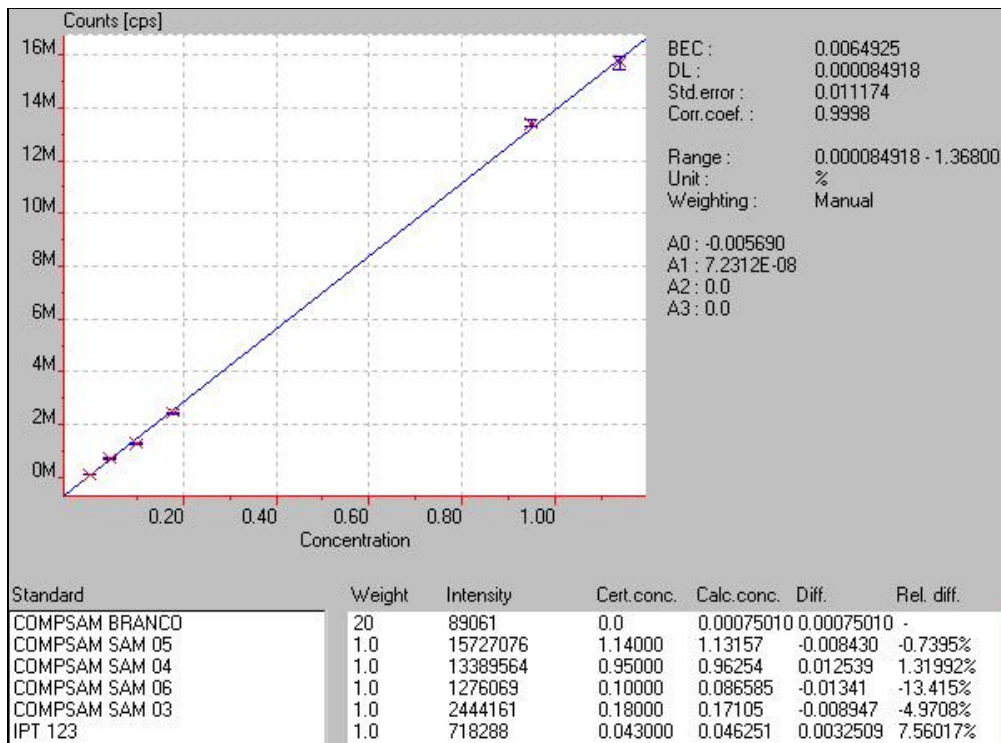
Erros de determinação dos elementos químicos e coeficientes de linearidades das curvas de calibração do ICP.

	Resultados da Calibração do ICP				
	SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	P
Δε (%)	0,0222	0,0123	0,0305	0,0112	0,0015
Coefficiente de correlação	0,9999	0,9995	0,9998	0,9998	0,9985

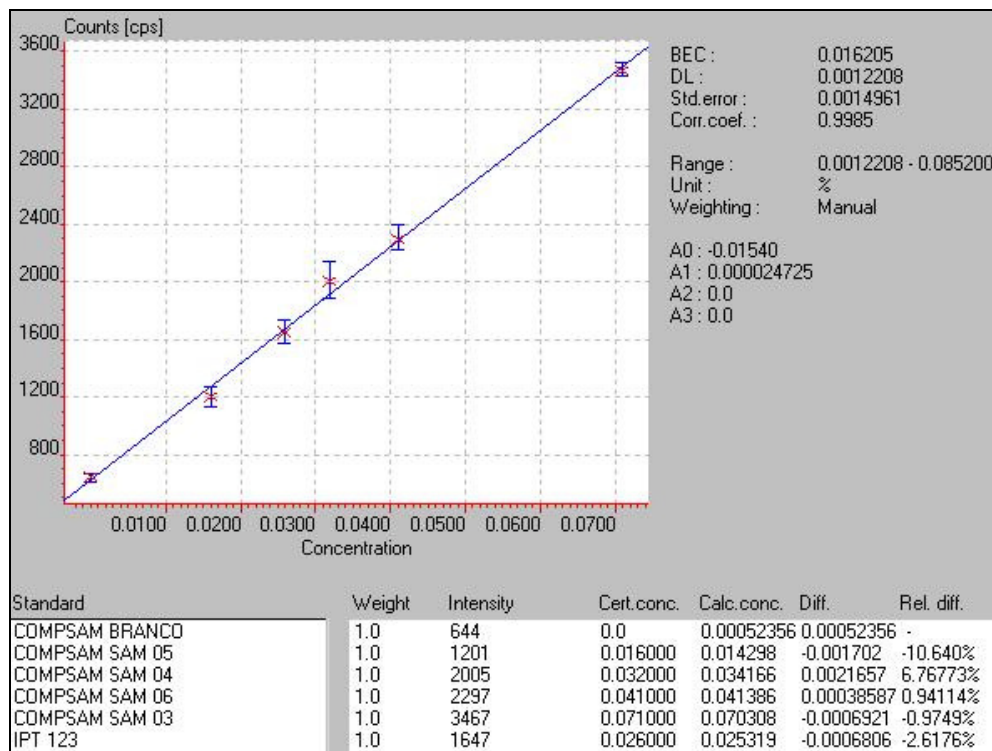
Curva de linearidade do plasma para análise do SiO₂.Curva de linearidade do plasma para análise do Al₂O₃.



Curva de linearidade do plasma para análise do CaO.



Curva de linearidade do plasma para análise do MgO.



Curva de linearidade do plasma para análise do P.

ANEXO B – Certificados dos Materiais de Referência de Minério de Ferro Samarco e IPT para a Calibração do ICP

VALORES CERTIFICADOS (%)					
COMPONENTE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
MÉDIA	0,9	0,67	1,95	0,18	0,071
DESVIO PADRÃO	0,0076	0,0069	0,0174	0,0109	0,0006
COMPONENTES					
PARTICIPANTES	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
1*	0,89	0,67	1,95	0,18	0,071
1*	0,89	0,67	1,95	0,18	0,071
1**	0,91	0,66	1,99	0,16	0,071
2*	0,9	0,66	1,95	0,17	0,07
2*	0,89	0,68	1,94	0,17	0,071
2**	0,9	0,67	1,93	0,17	0,07
3*	0,89	0,68	1,93	0,16	0,071
3*	0,89	0,67	1,94	0,16	0,072
3**	0,91	0,67	1,93	0,18	0,071
4*	0,9	0,67	1,94	0,16	0,071
4*	0,89	0,68	1,93	0,19	0,069
4**	0,89	0,68	1,95	0,19	0,071
5*	0,91	0,67	1,99	0,19	0,071
5*	0,89	0,67	1,95	0,18	0,071
5**	0,89	0,66	1,94	0,18	0,07
6*	0,9	0,66	1,95	0,19	0,071
6*	0,9	0,67	1,94	0,18	0,071

VALORES CERTIFICADOS (%)					
COMPONENTE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
MÉDIA	1,8	0,53	1,55	0,95	0,032
DESVIO PADRÃO	0,0108	0,0084	0,0174	0,009	0,0008
COMPONENTES					
PARTICIPANTES	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
1*	1,8	0,53	1,55	0,94	0,032
1*	1,79	0,54	1,55	0,94	0,031
1**	1,78	0,54	1,56	0,95	0,032
2*	1,82	0,54	1,55	0,94	0,031
2*	1,81	0,53	1,56	0,94	0,031
2**	1,8	0,53	1,54	0,95	0,03
3*	1,8	0,52	1,55	0,95	0,032
3*	1,8	0,52	1,55	0,97	0,032
3**	1,8	0,52	1,55	0,97	0,031
4*	1,8	0,53	1,54	0,95	0,032
4*	1,8	0,53	1,57	0,95	0,032
4**	1,8	0,55	1,54	0,94	0,033
5*	1,78	0,53	1,55	0,94	0,031
5*	1,79	0,52	1,54	0,95	0,032
5**	1,8	0,52	1,54	0,95	0,032
6*	1,82	0,53	1,56	0,95	0,031
6*	1,81	0,53	1,55	0,95	0,033

VALORES CERTIFICADOS (%)					
COMPONENTE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
MÉDIA	4,37	1,05	2,76	1,14	0,016
DESVIO PADRÃO	0,0091	0,0097	0,0097	0,009	0,0005
COMPONENTES					
PARTICIPANTES	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
1*	4,37	1,05	2,78	1,12	0,016
1*	4,37	1,05	2,78	1,12	0,017
1**	4,37	1,06	2,76	1,16	0,016
2*	4,39	1,06	2,76	1,15	0,016
2*	4,39	1,04	2,76	1,15	0,015
2**	4,37	1,05	2,76	1,13	0,017
3*	4,36	1,05	2,75	1,14	0,017
3*	4,37	1,04	2,75	1,14	0,017
3**	4,36	1,04	2,74	1,13	0,016
4*	4,37	1,04	2,76	1,16	0,017
4*	4,37	1,07	2,76	1,14	0,017
4**	4,36	1,05	2,77	1,14	0,017
5*	4,36	1,05	2,75	1,14	0,017
5*	4,37	1,07	2,76	1,13	0,016
5**	4,38	1,05	2,76	1,14	0,016
6*	4,36	1,04	2,76	1,15	0,016
6*	4,37	1,04	2,76	1,14	0,016

VALORES CERTIFICADOS (%)					
COMPONENTE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
MÉDIA	1,71	0,5	0,69	0,1	0,041
DESVIO PADRÃO	0,013	0,012	0,013	0,016	0,0005
COMPONENTES					
PARTICIPANTES	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
1*	1,72	0,48	0,67	0,09	0,042
1*	1,71	0,5	0,66	0,09	0,042
1**	1,73	0,49	0,68	0,09	0,041
2*	1,69	0,5	0,69	0,12	0,041
2*	1,72	0,48	0,68	0,09	0,041
2**	1,71	0,49	0,7	0,13	0,041
3*	1,72	0,5	0,7	0,12	0,042
3*	1,72	0,49	0,7	0,09	0,042
3**	1,71	0,49	0,68	0,09	0,041
4*	1,69	0,5	0,7	0,11	0,041
4*	1,7	0,53	0,7	0,11	0,041
4**	1,72	0,5	0,69	0,12	0,042
5*	1,69	0,51	0,71	0,09	0,041
5*	1,7	0,5	0,68	0,1	0,04
5**	1,7	0,5	0,69	0,13	0,041
6*	1,71	0,49	0,69	0,1	0,041
6*	1,69	0,51	0,7	0,1	0,041

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/2

**CERTIFICADO DE MATERIAL DE REFERÊNCIA Nº 1146
MINÉRIO DE FERRO PELOTIZADO**

IPT 123

Este material é utilizado na avaliação e na garantia da rastreabilidade em métodos de análise química por via úmida e instrumental.
O material foi passado em peneira de abertura de 75 µm (200 mesh).
Os resultados referem-se ao material seco a 110°C.

COMPONENTE	F _{total}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P	S	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Ba	Zn	Cu	Co	Cr	Pb	Ni	V	
	(%)											(mg/kg)							
VALOR CERTIFICADO¹	65,1	2,76	0,46	0,056	0,026	0,003	0,094	3,31	0,043	0,013	0,004	13	10	12	56	15	14	48	
LIMITE DO INTERVALO DE CONFIANÇA ²	SUPERIOR	65,2	2,78	0,47	0,058	0,027	0,004	0,097	3,34	0,045	0,015	0,006	16	12	17	61	20	18	54
	INFERIOR	65,0	2,74	0,45	0,054	0,025	0,002	0,091	3,28	0,041	0,011	0,002	10	8	7	51	10	10	42
INCRÉDULO DO VALOR CERTIFICADO ³	0,1	0,02	0,01	0,002	0,001	0,001	0,003	0,05	0,002	0,002	0,002	3	2	5	5	5	4	6	
DESVIO PADRÃO INTRALABORATORIAL ³ (σ _i)	0,1	0,03	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,02	0,002	0,001	0,001	1	1	1	2	1	1	1	
DESVIO PADRÃO INTERLABORATORIAL ³ (σ _j)	0,2	0,05	0,03	0,007	0,003	0,002	0,011	0,12	0,008	0,004	0,004	8	5	12	16	10	11	12	
MÉTODO ANALÍTICO	VOLUMETRIA (CORRETO DE TITULO II - DETERMINAÇÃO DE FERRO) (EM LABORATÓRIO INDICADO) A 110°C, ADIÇÃO ALIQUOTA																		
	ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISSÃO (PLAQUEAS ADIQUOTADAS INSTRUMENTALMENTE)																		
RESULTADOS	65,1 ^a	2,76 ^b	-	-	-	0,003	0,092 ^c	3,26 ^d	0,040 ^e	0,011	-	12	12	-	59 ^f	-	10	-	
	65,1	2,77	0,47	0,055	0,026	-	0,094	3,28	0,043	-	-	14 ^g	9 ^h	-	4 ⁱ	-	-	54 ^j	
	65,1	2,76 ^d	0,46 ^d	0,056 ^d	0,027 ^d	-	0,086 ^d	3,29 ^d	0,040 ^d	-	-	17 ^e	-	-	50 ^f	-	-	-	-
	64,9 ^a	2,73 ^a	0,46	0,055	0,024 ^a	0,004	0,092	3,33	0,043	0,015 ^a	0,005	-	-	18	43	-	18 ^b	45	
	65,0	2,75	0,46 ^a	0,054 ^a	0,027	0,003	0,103 ^a	3,34 ^a	0,042 ^a	0,013	0,002 ^a	11 ^a	9 ^a	13 ^a	56 ^a	18 ^a	9 ^a	-	
	65,2	2,75	0,44 ^a	0,057 ^a	0,025	0,002	0,102 ^a	3,37 ^a	0,044 ^a	0,014	0,002 ^a	11 ^a	9 ^a	13 ^a	56 ^a	18 ^a	9 ^a	-	
	65,1	2,77 ^c	0,47	0,057	0,026 ^c	-	0,096	3,31	0,041	-	-	7 ^a	12 ^a	7 ^a	54 ^a	-	-	-	
	65,1 ^a	2,77 ^d	0,46 ^a	0,057 ^d	0,026 ^d	0,004	0,090 ^d	3,30 ^d	0,036 ^d	0,011	-	10 ^b	11 ^b	11 ^b	67 ^b	18 ^b	10 ^b	48 ^b	
	64,9	2,80 ^c	0,46	0,054	0,027 ^c	-	0,091	3,24	0,049	0,013 ^c	0,004	-	15 ^c	18	60	-	22 ^c	41	
	65,1	2,78	0,46 ^c	0,053 ^c	0,027	-	0,095 ^c	3,33 ^c	0,041 ^c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	65,2	2,76 ^c	0,44	0,052	-	0,001	0,098	3,27	0,044	-	0,006	-	8 ^c	-	50	10 ^c	-	49	
	65,0 ^a	2,77	0,44	0,056	0,026	0,004	0,094	3,28	0,041	0,013	0,004	14 ^d	10	10 ^d	8 ^m	62 ^d	11 ^d	14	54 ^d
	65,1	2,76 ^d	0,47 ^d	0,054 ^d	0,025	-	0,092 ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹O valor certificado do elemento é a melhor estimativa do valor verdadeiro, baseado na média das médias de 6 resultados de cada laboratório participante do Programa Interlaboratorial para Certificação.

²A incerteza dos resultados e os limites dos intervalos de confiança foram calculados utilizando a distribuição t de Student com 95% de confiança (conforme ISO Guide 35-1989 - Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles - International Organization for Standardization).

³Os desvios padrão σ_i e σ_j foram calculados conforme a ISO 5725-Part 3 - Intermediate measures of the precision of a standard measurement method, e sua utilização é prescrita pela ISO Guide 33-1989 - Uses of Certified Reference Materials.

Informação Adicional: Alguns dos laboratórios determinaram, também, o teor de óxido de sódio (Na₂O) por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama, obtendo o valor médio de 0,01 %. A informação obtida foi insuficiente para o estabelecimento do valor certificado definitivo.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT - Cidade Universitária - CEP 05508-900 - São Paulo - SP
ou Caixa Postal 0141 - CEP 01024-900 - São Paulo - SP - Telefone: (011) 5287-4000 - Fax: (011) 5287-4000 - www.ipt.br
Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC - Telefone: (011) 3207-4124 e 3207-4400

FORM. 100

MÉTODOS UTILIZADOS

- | | |
|---|--|
| a. Volumetria (cloreto de estanho II – dicromato de potássio) | h. Espectrofotometria UV-Visível (peróxido de potássio) |
| b. Gravimetria (ácido perclórico – ácido fluorídrico) | i. Espectrometria de emissão (após extração do ferro com óxido etano) |
| c. Espectrometria de emissão (plasma acoplado indutivamente) | j. Espectrofotometria de absorção atômica (após extração do ferro com 4-metil-2-pentanona) |
| d. Espectrometria de fluorescência de raios X | k. Espectrometria de emissão (após extração do ferro com 4-metil-2-pentanona) |
| e. Espectrofotometria de absorção atômica | l. Espectrofotometria UV-Visível (1-nitroso 2-naftol) |
| f. Espectrofotometria UV-Visível (dianilpirimetano) | |
| g. Espectrofotometria UV-Visível (ácido cromotrópico) | |

LABORATÓRIOS PARTICIPANTES

- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM/MCT – Rio de Janeiro, RJ – Nilza Maria Miranda de Oliveira, Gabriel Oliver Gonçalves, Sandra Helena Ribeiro, Alex de Aguir Novo, Cleonice Martins, Marcos Paulo Lavatori, Maria Alice Cabral de Goes.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE ALEGRIA – Mariana, MG – Belmiro Postififer Pereira, Marco Antônio Veissai, Renata Gonçalves Penna.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE CARAJÁS – Paraupebas, PA – Sandra Marin Penha Dutra, José Carlos Ferreira, Eliane Cristina Rodrigues Silva.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DO CENTRO DE DESENVOLVIMENTO MINERAL – Santa Luzia, MG – Fátima Beatriz de Melo, Ruy Campos Oliveira, Gislayne Andrade Mathias da Luz, Luciano de Souza Braga, Márcio Veicosa de Castilho.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE GONGO SOCO – Barão de Cocais, MG – Maria Aparecida da Silva, Francisco Carlos de Araújo Simões, Márcio Rafael D'Ángelo.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE ITABIRA – Itabira, MG – Maria Aparecida da Silva, Márcio Rafael D'Ángelo.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DO COMPLEXO ÁGUA LIMPA – Rio Piracicaba, MG – Carlos Roberto Lino, Selmir Sebastião Magalhães Silva, Edmirson Marcos Cota.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – DEPARTAMENTO DE PELOTIZAÇÃO – GERÊNCIA DE LABORATÓRIOS E PLANTAS PILOTO – Vitória, ES – Geraldo Gonçalves Freitas, Eloy Pedroni Carpanedo, Edmar Augusto Campagna Filho, José Domingos de Castro, Ercilides Nascimento Filho, Simeony Faria Guschalla.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE SÃO LUÍS – São Luis, MA – Inocência Alves, Ana Emília de Mendonça Dantas.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE TIMBOPEBA – Mariana, MG – Rosilene Goulada Santos Braga, Rui Alves Barbosa, Flávio Tadeu Rodrigues Vieira.
- COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – LABORATÓRIO DE FÁBRICA – Congonhas, MG – Fernando Davi de Castro, Solange Cereia Nemes.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT – São Paulo, SP – Maria Salete de Lima Franco Soares, Marcos Antonio Pariso, Alcides Carneiro.
- MINAS DA SERRA GERAL S.A. – Itabirito, MG – Antônio Zecarias Muziz, Virgílio José Araújo Neto, Ilum Pontes Domingues Martins Coura.

A matéria-prima para a preparação deste material de referência foi doada pela Companhia Vale do Rio Doce – Vitória, ES.

A preparação deste material de referência foi coordenada pela Química Celina Omene Iamashita e a certificação foi coordenada pelo Químico João Marcos de Almeida Bispo – IPT

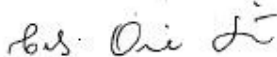
Material de referência certificado em Outubro de 2003 sob a responsabilidade da Química Celina Omene Iamashita – IPT

A certificação deste material de referência é válida até: **31/OUTUBRO/2013**

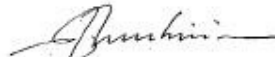
São Paulo, 31 de Outubro de 2003.

Divisão de Química
Agrupamento de Materiais de Referência
Laboratório de Materiais de Referência Inorgânicos

Divisão de Química
Agrupamento de Materiais de Referência



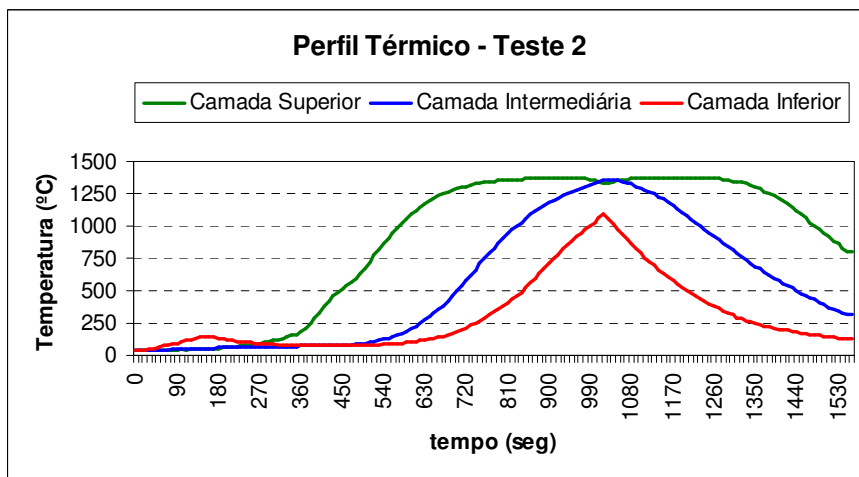
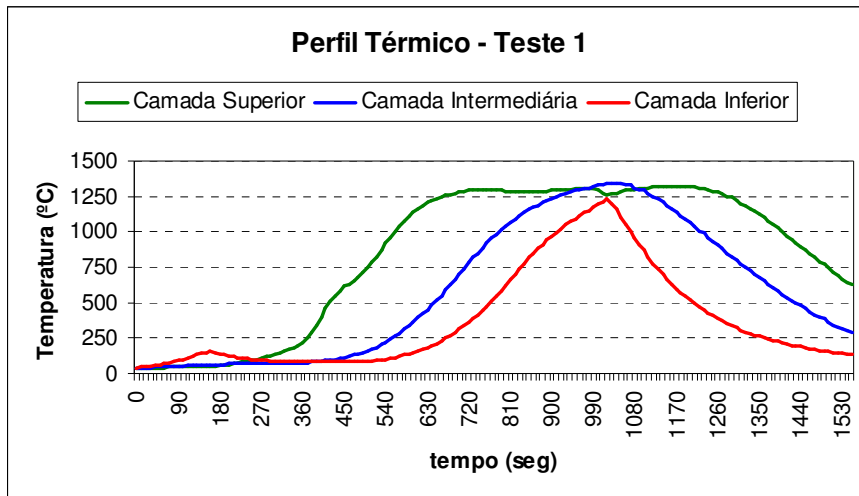
Quím. Celina Omene Iamashita
Responsável pelo Laboratório
CRQ nº 04225988 – RE nº 6610.1



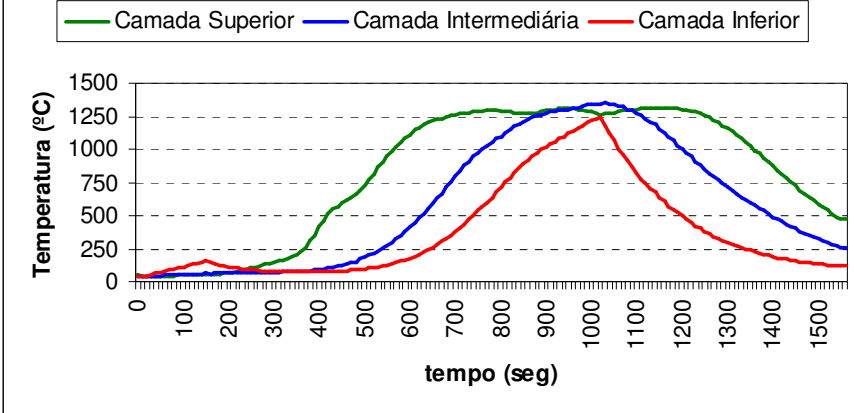
Eng. MSc. Ricardo Rezende Zucchi
Chefe de Agrupamento
CREA nº 195776 – RE nº 8272.7

Revisão: Setembro, 2004

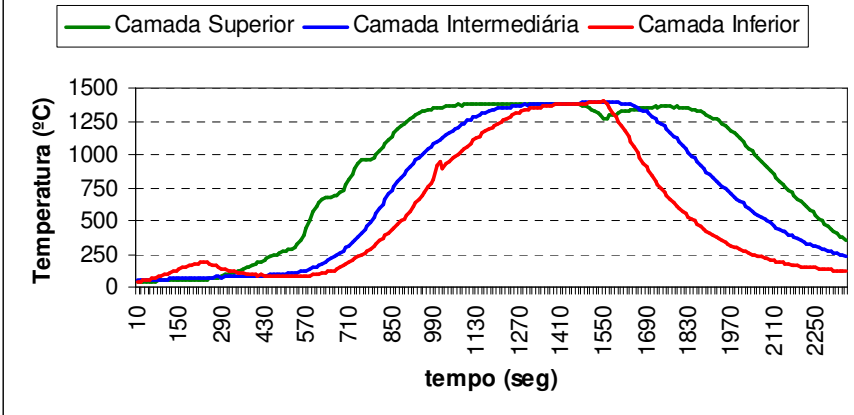
ANEXO C – Perfis Térmicos dos Experimentos Fatoriais para Produção de Pelotas em *Pot grate*



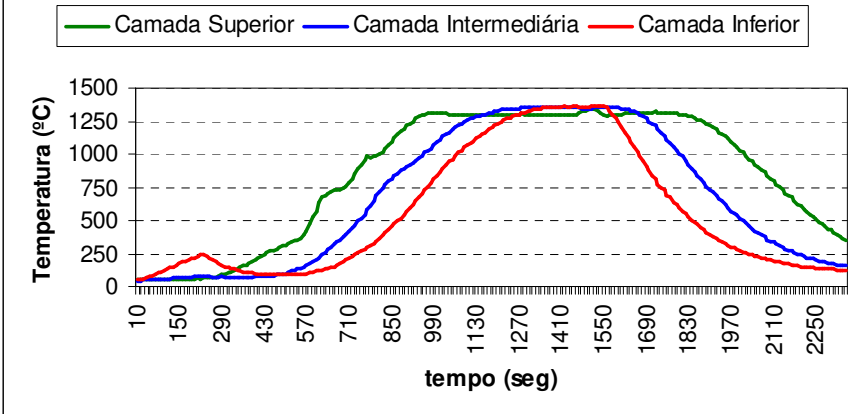
Perfil Térmico - Teste 3

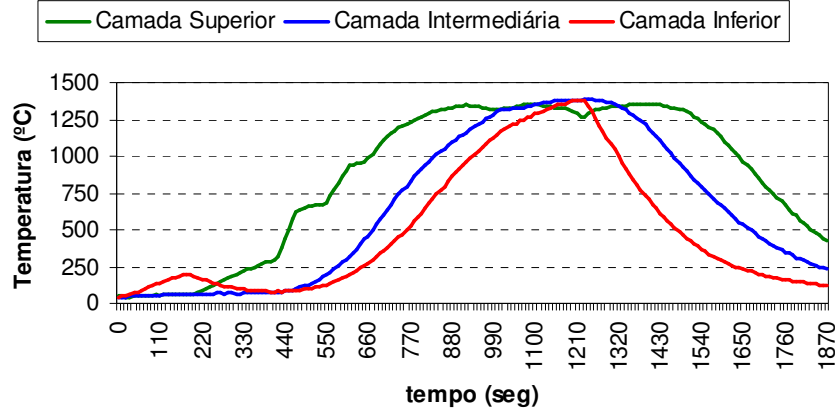
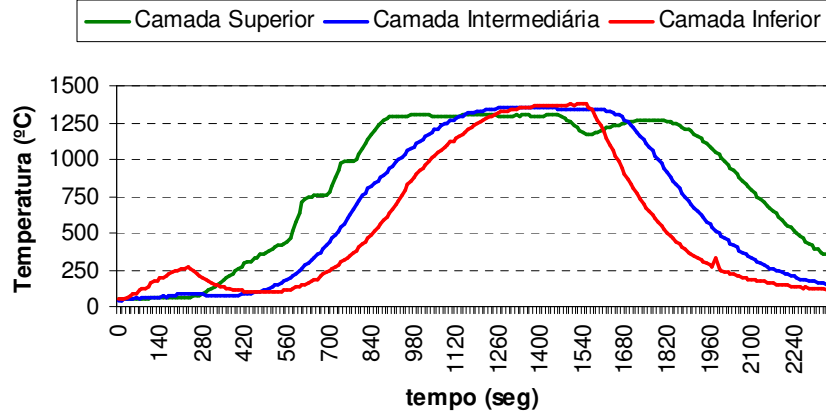
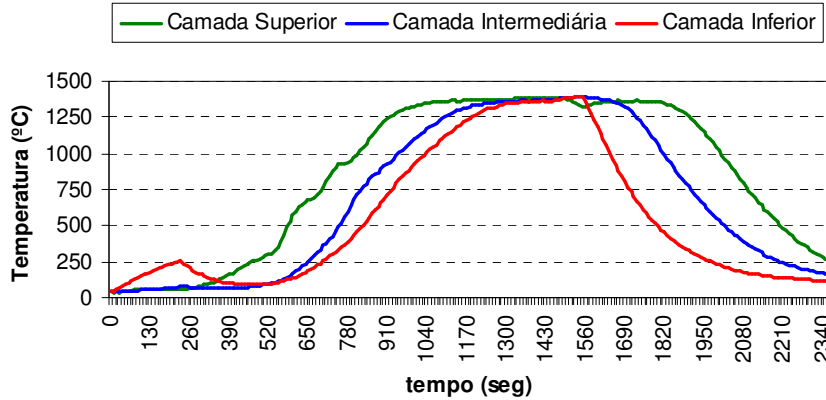


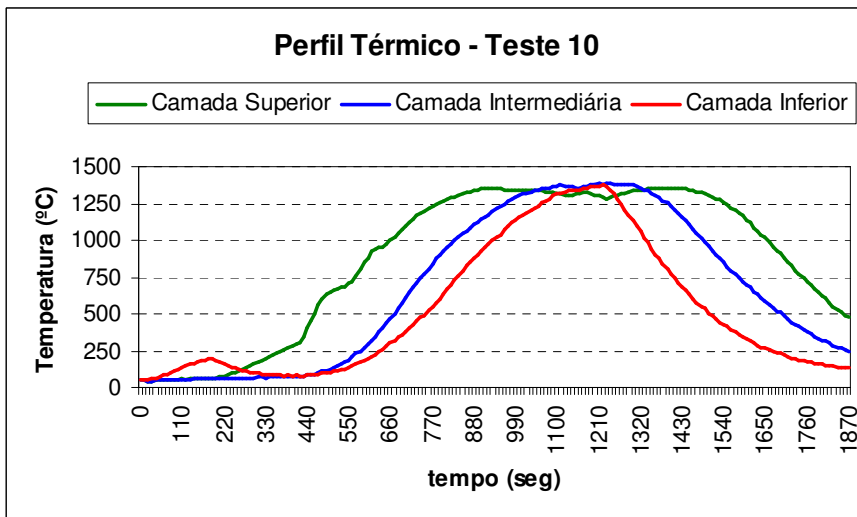
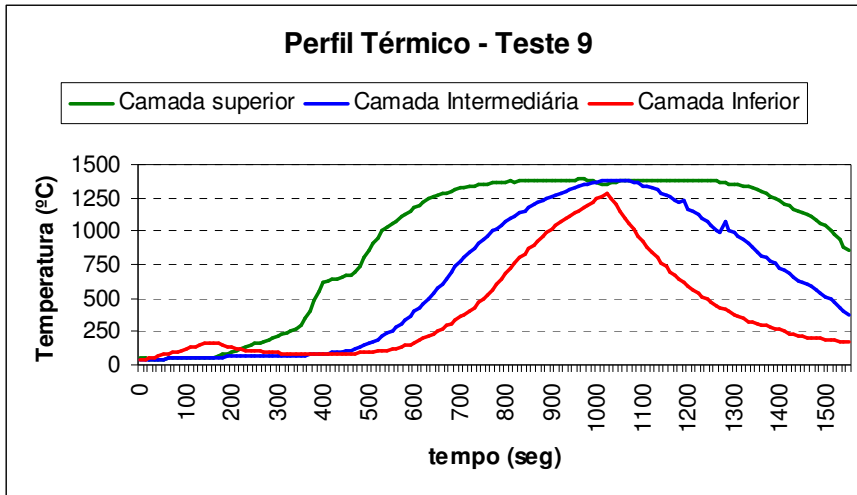
Perfil Térmico - Teste 4



Perfil Térmico - Teste 5



Perfil Térmico - Teste 6**Perfil Térmico - Teste 7****Perfil Térmico - Teste 8**



ANEXO D – Análise fatorial do projeto de experimentos

Camada Superior						
		Eff	tStud		F	
t curto	T	4,9	2,29	n = 3	1,11	n = (2,2)
6,8	B	2,95	1,37	p=0,894	4,17	p=0,171
min	S(TB)	-6,4	2,99	tStud,crit	1,17	FSnedec,crt
				2,29		4,84
t longo	T	7,67	4,59		1,9	
10,23	B	-1,18	0,7		4,84	
min	S(TB)	6,53	3,89		4,84	
Camada Intermediária						
		Eff	tStud		F	
t curto	T	1,8	0,884		1,018	
6,8	B	3,3	1,62		3,91	
min	S(TB)	-9,95	4,89	p=0,971	1,055	p=0,286
				3,93		2,5
t longo	T	6,6	3,98		2,5	
10,23	B	-2,9	1,73		2,5	
min	S(TB)	6,6	3,93		2,5	
Camada Inferior						
		Eff	tStud		F	
t curto	T	3,18	2,76		2	
6,8	B	3,78	3,28		1,76	
min	S(TB)	-2,78	2,24	p=0,889	2,28	p=0,333
				2,24		2
t longo	T	2,85	2,59		2	
10,23	B	-1,05	0,95		2	
min	S(TB)	5,45	4,95		2	
GERAL		sig	0,917917			
		hom(sigErro)	0,087809			

ANEXO E – Dados de liberação do fósforo obtidos através do modelamento dos dados experimentais.

Camada Superior - B2=0,1											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	62,9	64,2	65,3	66,4	67,3	68,2	69,0	69,7	70,4	71,0
	1305	63,0	64,3	65,4	66,5	67,5	68,3	69,1	69,9	70,6	71,2
	1310	63,1	64,4	65,5	66,6	67,6	68,5	69,3	70,0	70,7	71,3
	1315	63,3	64,5	65,7	66,7	67,7	68,6	69,4	70,2	70,8	71,4
	1320	63,4	64,6	65,8	66,9	67,8	68,7	69,6	70,3	71,0	71,6
	1325	63,5	64,8	65,9	67,0	68,0	68,9	69,7	70,4	71,1	71,7
	1330	63,6	64,9	66,0	67,1	68,1	69,0	69,8	70,6	71,3	71,9
	1335	63,7	65,0	66,2	67,2	68,2	69,1	70,0	70,7	71,4	72,0
	1340	63,8	65,1	66,3	67,4	68,4	69,3	70,1	70,9	71,5	72,2
	1345	64,0	65,2	66,4	67,5	68,5	69,4	70,2	71,0	71,7	72,3
	1350	64,1	65,4	66,5	67,6	68,6	69,5	70,4	71,1	71,8	72,5
	1355	64,2	65,5	66,7	67,7	68,7	69,7	70,5	71,3	72,0	72,6
	1360	64,3	65,6	66,8	67,9	68,9	69,8	70,6	71,4	72,1	72,8
	1365	64,4	65,7	66,9	68,0	69,0	69,9	70,8	71,6	72,3	72,9
	1370	64,5	65,8	67,0	68,1	69,1	70,1	70,9	71,7	72,4	73,0
	1375	64,7	66,0	67,1	68,3	69,3	70,2	71,1	71,8	72,5	73,2
1380	64,8	66,1	67,3	68,4	69,4	70,3	71,2	72,0	72,7	73,3	
1385	64,9	66,2	67,4	68,5	69,5	70,5	71,3	72,1	72,8	73,5	
1390	65,0	66,3	67,5	68,6	69,7	70,6	71,5	72,3	73,0	73,6	
1395	65,1	66,4	67,6	68,8	69,8	70,7	71,6	72,4	73,1	73,8	
1400	65,2	66,5	67,8	68,9	69,9	70,9	71,7	72,5	73,3	73,9	

Camada Superior - B2=0,5											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	69,2	70,6	72,0	73,2	74,4	75,4	76,4	77,3	78,1	78,9
	1305	69,2	70,7	72,0	73,3	74,4	75,5	76,4	77,3	78,2	78,9
	1310	69,3	70,7	72,1	73,3	74,5	75,5	76,5	77,4	78,2	79,0
	1315	69,3	70,8	72,1	73,4	74,5	75,6	76,6	77,5	78,3	79,1
	1320	69,4	70,8	72,2	73,4	74,6	75,6	76,6	77,5	78,4	79,1
	1325	69,4	70,9	72,2	73,5	74,6	75,7	76,7	77,6	78,4	79,2
	1330	69,5	70,9	72,3	73,5	74,7	75,7	76,7	77,6	78,5	79,2
	1335	69,5	71,0	72,3	73,6	74,7	75,8	76,8	77,7	78,5	79,3
	1340	69,6	71,0	72,4	73,6	74,8	75,9	76,8	77,8	78,6	79,4
	1345	69,6	71,1	72,4	73,7	74,8	75,9	76,9	77,8	78,6	79,4
	1350	69,7	71,1	72,5	73,7	74,9	76,0	77,0	77,9	78,7	79,5
	1355	69,7	71,2	72,5	73,8	74,9	76,0	77,0	77,9	78,8	79,5
	1360	69,8	71,2	72,6	73,8	75,0	76,1	77,1	78,0	78,8	79,6
	1365	69,8	71,3	72,6	73,9	75,0	76,1	77,1	78,0	78,9	79,7
	1370	69,9	71,3	72,7	73,9	75,1	76,2	77,2	78,1	78,9	79,7
	1375	69,9	71,4	72,7	74,0	75,2	76,2	77,2	78,2	79,0	79,8
1380	70,0	71,4	72,8	74,0	75,2	76,3	77,3	78,2	79,1	79,8	
1385	70,0	71,5	72,8	74,1	75,3	76,3	77,3	78,3	79,1	79,9	
1390	70,1	71,5	72,9	74,1	75,3	76,4	77,4	78,3	79,2	80,0	
1395	70,1	71,6	72,9	74,2	75,4	76,5	77,5	78,4	79,2	80,0	
1400	70,2	71,6	73,0	74,3	75,4	76,5	77,5	78,4	79,3	80,1	
Camada Superior - B2=1,0											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	75,5	77,1	78,6	80,1	81,4	82,6	83,8	84,8	85,8	86,7
	1305	75,5	77,1	78,6	80,0	81,4	82,6	83,7	84,8	85,8	86,7
	1310	75,4	77,1	78,6	80,0	81,3	82,6	83,7	84,8	85,8	86,7
	1315	75,4	77,1	78,6	80,0	81,3	82,5	83,7	84,8	85,8	86,7
	1320	75,4	77,0	78,6	80,0	81,3	82,5	83,7	84,7	85,7	86,6
	1325	75,4	77,0	78,5	80,0	81,3	82,5	83,6	84,7	85,7	86,6
	1330	75,4	77,0	78,5	79,9	81,2	82,5	83,6	84,7	85,7	86,6
	1335	75,3	77,0	78,5	79,9	81,2	82,5	83,6	84,7	85,7	86,6
	1340	75,3	77,0	78,5	79,9	81,2	82,4	83,6	84,6	85,6	86,5
	1345	75,3	76,9	78,4	79,9	81,2	82,4	83,6	84,6	85,6	86,5
	1350	75,3	76,9	78,4	79,8	81,2	82,4	83,5	84,6	85,6	86,5
	1355	75,3	76,9	78,4	79,8	81,1	82,4	83,5	84,6	85,6	86,5
	1360	75,2	76,9	78,4	79,8	81,1	82,3	83,5	84,5	85,5	86,4
	1365	75,2	76,8	78,4	79,8	81,1	82,3	83,5	84,5	85,5	86,4
	1370	75,2	76,8	78,3	79,8	81,1	82,3	83,4	84,5	85,5	86,4
	1375	75,2	76,8	78,3	79,7	81,0	82,3	83,4	84,5	85,5	86,4
1380	75,2	76,8	78,3	79,7	81,0	82,2	83,4	84,4	85,4	86,3	
1385	75,1	76,8	78,3	79,7	81,0	82,2	83,4	84,4	85,4	86,3	
1390	75,1	76,7	78,3	79,7	81,0	82,2	83,3	84,4	85,4	86,3	
1395	75,1	76,7	78,2	79,6	81,0	82,2	83,3	84,4	85,4	86,3	
1400	75,1	76,7	78,2	79,6	80,9	82,2	83,3	84,4	85,3	86,2	

Camada Intermediária - B2=0,1											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	63,4	64,6	65,8	66,8	67,8	68,7	69,5	70,2	70,9	71,5
	1305	63,5	64,8	65,9	67,0	67,9	68,8	69,6	70,4	71,0	71,6
	1310	63,6	64,9	66,0	67,1	68,1	69,0	69,8	70,5	71,2	71,8
	1315	63,7	65,0	66,1	67,2	68,2	69,1	69,9	70,6	71,3	71,9
	1320	63,8	65,1	66,3	67,3	68,3	69,2	70,0	70,8	71,4	72,1
	1325	63,9	65,2	66,4	67,4	68,4	69,3	70,1	70,9	71,6	72,2
	1330	64,0	65,3	66,5	67,6	68,5	69,5	70,3	71,0	71,7	72,3
	1335	64,2	65,4	66,6	67,7	68,7	69,6	70,4	71,2	71,8	72,5
	1340	64,3	65,5	66,7	67,8	68,8	69,7	70,5	71,3	72,0	72,6
	1345	64,4	65,6	66,8	67,9	68,9	69,8	70,7	71,4	72,1	72,7
	1350	64,5	65,8	66,9	68,0	69,0	69,9	70,8	71,6	72,2	72,9
	1355	64,6	65,9	67,1	68,2	69,2	70,1	70,9	71,7	72,4	73,0
	1360	64,7	66,0	67,2	68,3	69,3	70,2	71,0	71,8	72,5	73,1
	1365	64,8	66,1	67,3	68,4	69,4	70,3	71,2	71,9	72,6	73,3
	1370	64,9	66,2	67,4	68,5	69,5	70,4	71,3	72,1	72,8	73,4
	1375	65,0	66,3	67,5	68,6	69,6	70,6	71,4	72,2	72,9	73,6
1380	65,1	66,4	67,6	68,7	69,8	70,7	71,6	72,3	73,0	73,7	
1385	65,2	66,5	67,8	68,9	69,9	70,8	71,7	72,5	73,2	73,8	
1390	65,3	66,7	67,9	69,0	70,0	70,9	71,8	72,6	73,3	74,0	
1395	65,5	66,8	68,0	69,1	70,1	71,1	71,9	72,7	73,4	74,1	
1400	65,6	66,9	68,1	69,2	70,3	71,2	72,1	72,9	73,6	74,2	

Camada Intermediária - B2=0,5											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	70,0	71,5	72,8	74,1	75,2	76,3	77,3	78,2	79,0	79,8
	1305	70,0	71,5	72,9	74,1	75,3	76,3	77,3	78,2	79,1	79,8
	1310	70,1	71,5	72,9	74,1	75,3	76,4	77,4	78,3	79,1	79,9
	1315	70,1	71,6	72,9	74,2	75,3	76,4	77,4	78,3	79,2	79,9
	1320	70,2	71,6	73,0	74,2	75,4	76,5	77,5	78,4	79,2	80,0
	1325	70,2	71,7	73,0	74,3	75,4	76,5	77,5	78,4	79,3	80,0
	1330	70,2	71,7	73,1	74,3	75,5	76,6	77,5	78,5	79,3	80,1
	1335	70,3	71,7	73,1	74,4	75,5	76,6	77,6	78,5	79,4	80,1
	1340	70,3	71,8	73,1	74,4	75,6	76,6	77,6	78,6	79,4	80,2
	1345	70,4	71,8	73,2	74,4	75,6	76,7	77,7	78,6	79,4	80,2
	1350	70,4	71,9	73,2	74,5	75,6	76,7	77,7	78,6	79,5	80,3
	1355	70,4	71,9	73,3	74,5	75,7	76,8	77,8	78,7	79,5	80,3
	1360	70,5	71,9	73,3	74,6	75,7	76,8	77,8	78,7	79,6	80,4
	1365	70,5	72,0	73,3	74,6	75,8	76,9	77,9	78,8	79,6	80,4
	1370	70,5	72,0	73,4	74,6	75,8	76,9	77,9	78,8	79,7	80,5
	1375	70,6	72,0	73,4	74,7	75,9	76,9	77,9	78,9	79,7	80,5
1380	70,6	72,1	73,5	74,7	75,9	77,0	78,0	78,9	79,8	80,6	
1385	70,7	72,1	73,5	74,8	75,9	77,0	78,0	79,0	79,8	80,6	
1390	70,7	72,2	73,5	74,8	76,0	77,1	78,1	79,0	79,9	80,6	
1395	70,7	72,2	73,6	74,8	76,0	77,1	78,1	79,1	79,9	80,7	
1400	70,8	72,2	73,6	74,9	76,1	77,2	78,2	79,1	80,0	80,7	

Camada Intermediária - B2=1,0											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	76,6	78,3	79,8	81,3	82,6	83,9	85,1	86,1	87,2	88,1
	1305	76,6	78,3	79,8	81,2	82,6	83,8	85,0	86,1	87,1	88,0
	1310	76,6	78,2	79,8	81,2	82,6	83,8	85,0	86,1	87,1	88,0
	1315	76,5	78,2	79,7	81,2	82,5	83,8	84,9	86,0	87,0	88,0
	1320	76,5	78,2	79,7	81,1	82,5	83,7	84,9	86,0	87,0	87,9
	1325	76,5	78,1	79,7	81,1	82,4	83,7	84,9	85,9	86,9	87,9
	1330	76,4	78,1	79,6	81,1	82,4	83,7	84,8	85,9	86,9	87,8
	1335	76,4	78,1	79,6	81,0	82,4	83,6	84,8	85,9	86,9	87,8
	1340	76,4	78,0	79,6	81,0	82,3	83,6	84,7	85,8	86,8	87,8
	1345	76,3	78,0	79,5	81,0	82,3	83,5	84,7	85,8	86,8	87,7
	1350	76,3	77,9	79,5	80,9	82,3	83,5	84,7	85,7	86,7	87,7
	1355	76,3	77,9	79,5	80,9	82,2	83,5	84,6	85,7	86,7	87,6
	1360	76,2	77,9	79,4	80,8	82,2	83,4	84,6	85,7	86,7	87,6
	1365	76,2	77,8	79,4	80,8	82,1	83,4	84,5	85,6	86,6	87,5
	1370	76,2	77,8	79,3	80,8	82,1	83,4	84,5	85,6	86,6	87,5
	1375	76,1	77,8	79,3	80,7	82,1	83,3	84,5	85,5	86,5	87,5
1380	76,1	77,7	79,3	80,7	82,0	83,3	84,4	85,5	86,5	87,4	
1385	76,1	77,7	79,2	80,7	82,0	83,2	84,4	85,5	86,5	87,4	
1390	76,0	77,7	79,2	80,6	82,0	83,2	84,4	85,4	86,4	87,3	
1395	76,0	77,6	79,2	80,6	81,9	83,2	84,3	85,4	86,4	87,3	
1400	76,0	77,6	79,1	80,6	81,9	83,1	84,3	85,3	86,3	87,3	

Camada Inferior - B2=0,1											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	63,7	64,9	66,1	67,1	68,1	69,0	69,8	70,5	71,2	71,8
	1305	63,8	65,0	66,2	67,2	68,2	69,1	69,9	70,6	71,3	71,9
	1310	63,9	65,1	66,3	67,4	68,3	69,2	70,0	70,8	71,4	72,0
	1315	64,0	65,3	66,4	67,5	68,4	69,3	70,1	70,9	71,5	72,1
	1320	64,1	65,4	66,5	67,6	68,6	69,5	70,3	71,0	71,7	72,3
	1325	64,2	65,5	66,6	67,7	68,7	69,6	70,4	71,1	71,8	72,4
	1330	64,3	65,6	66,7	67,8	68,8	69,7	70,5	71,3	71,9	72,5
	1335	64,4	65,7	66,9	67,9	68,9	69,8	70,6	71,4	72,1	72,7
	1340	64,5	65,8	67,0	68,0	69,0	69,9	70,8	71,5	72,2	72,8
	1345	64,6	65,9	67,1	68,2	69,1	70,0	70,9	71,6	72,3	72,9
	1350	64,7	66,0	67,2	68,3	69,3	70,2	71,0	71,8	72,4	73,1
	1355	64,8	66,1	67,3	68,4	69,4	70,3	71,1	71,9	72,6	73,2
	1360	64,9	66,2	67,4	68,5	69,5	70,4	71,2	72,0	72,7	73,3
	1365	65,0	66,3	67,5	68,6	69,6	70,5	71,4	72,1	72,8	73,4
	1370	65,1	66,4	67,6	68,7	69,7	70,6	71,5	72,3	72,9	73,6
	1375	65,2	66,5	67,7	68,8	69,8	70,8	71,6	72,4	73,1	73,7
1380	65,3	66,6	67,8	68,9	70,0	70,9	71,7	72,5	73,2	73,8	
1385	65,5	66,8	68,0	69,1	70,1	71,0	71,9	72,6	73,3	74,0	
1390	65,6	66,9	68,1	69,2	70,2	71,1	72,0	72,8	73,5	74,1	
1395	65,7	67,0	68,2	69,3	70,3	71,2	72,1	72,9	73,6	74,2	
1400	65,8	67,1	68,3	69,4	70,4	71,4	72,2	73,0	73,7	74,4	

Camada Inferior - B2=0,5											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	70,7	72,2	73,5	74,8	75,9	77,0	78,0	78,9	79,8	80,5
	1305	70,7	72,2	73,6	74,8	76,0	77,1	78,0	79,0	79,8	80,6
	1310	70,8	72,2	73,6	74,8	76,0	77,1	78,1	79,0	79,8	80,6
	1315	70,8	72,3	73,6	74,9	76,0	77,1	78,1	79,0	79,9	80,6
	1320	70,8	72,3	73,6	74,9	76,1	77,2	78,2	79,1	79,9	80,7
	1325	70,8	72,3	73,7	74,9	76,1	77,2	78,2	79,1	79,9	80,7
	1330	70,9	72,3	73,7	75,0	76,1	77,2	78,2	79,1	80,0	80,8
	1335	70,9	72,4	73,7	75,0	76,2	77,3	78,3	79,2	80,0	80,8
	1340	70,9	72,4	73,8	75,0	76,2	77,3	78,3	79,2	80,1	80,8
	1345	71,0	72,4	73,8	75,1	76,2	77,3	78,3	79,2	80,1	80,9
	1350	71,0	72,5	73,8	75,1	76,3	77,4	78,4	79,3	80,1	80,9
	1355	71,0	72,5	73,9	75,1	76,3	77,4	78,4	79,3	80,2	80,9
	1360	71,1	72,5	73,9	75,2	76,3	77,4	78,4	79,4	80,2	81,0
	1365	71,1	72,6	73,9	75,2	76,4	77,5	78,5	79,4	80,2	81,0
	1370	71,1	72,6	74,0	75,2	76,4	77,5	78,5	79,4	80,3	81,1
	1375	71,1	72,6	74,0	75,3	76,4	77,5	78,5	79,5	80,3	81,1
1380	71,2	72,7	74,0	75,3	76,5	77,6	78,6	79,5	80,3	81,1	
1385	71,2	72,7	74,1	75,3	76,5	77,6	78,6	79,5	80,4	81,2	
1390	71,2	72,7	74,1	75,4	76,5	77,6	78,6	79,6	80,4	81,2	
1395	71,3	72,7	74,1	75,4	76,6	77,7	78,7	79,6	80,5	81,2	
1400	71,3	72,8	74,1	75,4	76,6	77,7	78,7	79,6	80,5	81,3	

Camada Inferior - B2=1,0											
T (°C)	t (min)	6,80	7,23	7,66	8,09	8,52	8,94	9,37	9,80	10,23	10,66
	1300	77,7	79,4	81,0	82,4	83,8	85,1	86,2	87,3	88,4	89,3
	1305	77,7	79,3	80,9	82,4	83,7	85,0	86,2	87,3	88,3	89,3
	1310	77,6	79,3	80,9	82,3	83,7	85,0	86,1	87,2	88,3	89,2
	1315	77,6	79,3	80,8	82,3	83,6	84,9	86,1	87,2	88,2	89,1
	1320	77,5	79,2	80,8	82,2	83,6	84,9	86,0	87,1	88,1	89,1
	1325	77,5	79,2	80,7	82,2	83,5	84,8	86,0	87,1	88,1	89,0
	1330	77,4	79,1	80,7	82,1	83,5	84,8	85,9	87,0	88,0	89,0
	1335	77,4	79,1	80,6	82,1	83,4	84,7	85,9	87,0	88,0	88,9
	1340	77,4	79,0	80,6	82,0	83,4	84,7	85,8	86,9	87,9	88,9
	1345	77,3	79,0	80,5	82,0	83,3	84,6	85,8	86,9	87,9	88,8
	1350	77,3	78,9	80,5	81,9	83,3	84,6	85,7	86,8	87,8	88,8
	1355	77,2	78,9	80,4	81,9	83,2	84,5	85,7	86,8	87,8	88,7
	1360	77,2	78,8	80,4	81,8	83,2	84,4	85,6	86,7	87,7	88,6
	1365	77,1	78,8	80,3	81,8	83,1	84,4	85,6	86,6	87,7	88,6
	1370	77,1	78,7	80,3	81,7	83,1	84,3	85,5	86,6	87,6	88,5
	1375	77,0	78,7	80,3	81,7	83,0	84,3	85,5	86,5	87,5	88,5
1380	77,0	78,7	80,2	81,6	83,0	84,2	85,4	86,5	87,5	88,4	
1385	77,0	78,6	80,2	81,6	82,9	84,2	85,4	86,4	87,4	88,4	
1390	76,9	78,6	80,1	81,5	82,9	84,1	85,3	86,4	87,4	88,3	
1395	76,9	78,5	80,1	81,5	82,8	84,1	85,2	86,3	87,3	88,2	
1400	76,8	78,5	80,0	81,5	82,8	84,0	85,2	86,3	87,3	88,2	

ANEXO F – Análise Estatística e Parâmetros das Equações Quadráticas do Projeto Experimento

CAMADA SUPERIOR														
t = 6,8 min							t = 10,23 min							
0,82	0,00	0,54	0,00	0,00	70,24	0	(l)	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	70,24	c
0,82	0,82	0,54	0,00	0,00	72,09	0	a	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	78,05	ac
0,82	0,00	0,54	0,82	0,00	79,55	0	b	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	77,91	bc
0,82	0,82	0,54	0,82	0,82	81,52	3	ab	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	84,44	abc
0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	79,07	5	i	0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	79,07	i
Po	a(T)	b(t)	c(B)	d(TB)										
2,43	1,21	1,21	1,21	-4,30	70,24	93,6	Ind	-0,50	-1,50	-1,50	-1,50	6,59	124,0	I
-1,23	1,23	0,00	0,00	0,00	72,09	2,28	(T)	-1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	7,81	(T)
-1,81	-1,81	-1,81	-1,81	6,48	79,55	-11,2	(t)	1,50	1,50	1,50	1,50	-6,59	-53,7	(t)
-1,23	0,00	1,23	0,00	0,00	84,52	11,42	(B)	-1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	7,87	(B)
1,23	-1,23	-1,23	1,23	0,00	84,07	3,8	(TB)	1,00	-1,00	-1,00	1,00	0,00	-1,27	(TB)
t ^{1/2}														
CAMADA INTERMEDIARIA														
t = 6,8 min							t = 10,23 min							
0,82	0,00	0,54	0,00	0,00	70,45	0,0	(l)	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	71,59	c
0,82	0,82	0,54	0,00	0,00	73,26	0,0	a	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	75,58	ac
0,82	0,00	0,54	0,82	0,00	83,70	0,0	b	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	81,11	bc
0,82	0,82	0,54	0,82	0,82	82,22	2,0	ab	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	84,78	abc
0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	79,76	4,5	i	0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	81,11	i
Po	a(T)	b(t)	c(B)	d(TB)										
2,43	1,21	1,21	1,21	-4,30	70,45	99,31	Ind	-0,50	-1,50	-1,50	-1,50	6,59	135,14	I
-1,23	1,23	0,00	0,00	0,00	73,26	3,44	(T)	-1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	3,99	(T)
-1,81	-1,81	-1,81	-1,81	6,48	83,70	-19,40	(t)	1,50	1,50	1,50	1,50	-6,59	-63,55	(t)
-1,23	0,00	1,23	0,00	0,00	84,22	16,24	(B)	-1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	9,52	(B)
1,23	-1,23	-1,23	1,23	0,00	84,26	-2,79	(TB)	1,00	-1,00	-1,00	1,00	0,00	-0,32	(TB)
CAMADA INFERIOR														
t = 6,8 min							t = 10,23 min							
0,82	0,00	0,54	0,00	0,00	69,77	0,0	(l)	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	75,00	c
0,82	0,82	0,54	0,00	0,00	71,43	0,0	a	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	77,91	ac
0,82	0,00	0,54	0,82	0,00	77,27	0,0	b	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	81,52	bc
0,82	0,82	0,54	0,82	0,82	75,56	1,0	ab	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	83,33	abc
0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	78,65	4,0	i	0,91	0,46	0,76	0,46	0,23	78,89	i
Po	a(T)	b(t)	c(B)	d(TB)										
2,43	1,21	1,21	1,21	-4,30	69,77	85,39	Ind	-0,50	-1,50	-1,50	-1,50	6,59	116,84	I
-1,23	1,23	0,00	0,00	0,00	71,43	2,04	(T)	-1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,91	(T)
-1,81	-1,81	-1,81	-1,81	6,48	77,27	0,27	(t)	1,50	1,50	1,50	1,50	-6,59	-41,84	(t)
-1,23	0,00	1,23	0,00	0,00	76,56	9,21	(B)	-1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	6,52	(B)
1,23	-1,23	-1,23	1,23	0,00	82,65	-2,92	(TB)	1,00	-1,00	-1,00	1,00	0,00	-1,10	(TB)

ANEXO G – Determinação dos erros obtidos no modelamento dos dados experimentais

Pontos Experimentais e Modelados											
B		0,1				0,5		1			
t		6,80		10,23		8,52		6,80		10,23	
T		mod	exp	mod	exp	mod	exp	mod	exp	mod	exp
Camada Superior	1300	62,91	70,24	70,41	70,24			75,48	79,55	85,83	77,91
	1340					74,78	79,07				
	1380	64,77	72,09	72,69	78,05			75,16	81,52	85,43	84,44
Camada Intermediária	1300	63,39	70,45	70,91	71,59			76,63	83,70	87,15	81,11
	1340					75,56	79,76				
	1380	65,13	73,26	73,05	75,58			76,10	75,56	86,50	83,33
Camada Inferior	1300	63,69	69,77	71,16	75,00			77,71	77,27	88,37	81,52
	1340					76,21	78,65				
	1380	65,35	71,43	73,20	77,91			77,00	75,56	87,49	83,33
Devios (Erros)											
B		0,1		0,5		1,0		$\Delta\epsilon\%$, média			
t		6,80	10,23	8,52	6,80	10,23	5,92%				
T											
Camada Superior	1300	10,43%	0,25%		5,11%	10,17%	Diagrama de Erro				
	1340			5,42%							
	1380	10,16%	6,87%		7,80%	1,17%					
Camada Intermediária	1300	10,03%	0,95%		8,44%	7,45%	9,51%				
	1340			5,26%			0,0		0,0		
	1380	11,09%	3,35%		0,72%	3,80%	100,0		100,0		
Camada Inferior	1300	8,72%	5,12%		0,57%	8,40%	100,0		90,5		
	1340			3,10%			0,0		0,0		
	1380	8,51%	6,04%		1,91%	4,99%	100,0		109,5		

ANEXO H – Corridas realizadas em um forno elétrico experimental

Forno em marcha, em detalhe calha de alimentação.



Basculamento do forno para vazamento do metal líquido.



Lingotamento.



ANEXO I – Determinação da variação do poder redutor dos gases de processo ao longo da zona de redução de um reator Midrex

1. Determinação do fator B para os gases de Topo e Bustle, sob as diversas temperaturas de trabalho de acordo com o levantamento experimental e modelamento segundo:

$$B = b(R) \times [1 - \exp\{-\beta(T - T_0)\}] \quad | \quad b(R) = A + CR$$

Com a, c, b e T_0 determinados experimentalmente (para o caso, periferia do forno, as temperaturas de interesse foram: 800, 700, 650 e 600 °C - que se situam entre a temperatura de topo, 500 °C e a de sopro, 900 °C).

2. Levantamento das curvas de redução (remoção de oxigênio, em percentuais, %R) para o gás de topo e de sopro nas temperaturas de interesse nos tempos entre zero e t de residência = t_{res} .

3. Cálculo dos valores de $B = (\Omega, T, t)$, interpolados entre os valores Ω_{topgas} e $\Omega_{bustlegas}$ segundo a relação:

$$B(\Omega, T, t) = B_{topgas} + \Delta B_{bustle - topgas} \times [R(\Omega, T, t) - R_{topgas}] / \Delta R_{bustle - topgas}$$

- linearidade devida a ordem reacional 1 com respeito as composições gasosas:

$$B\alpha = (P_{CO} + P_{H_2})^1$$

- a aplicação desta relação permite obter $B = (\Omega, T, t)$ para o cálculo de $R = (\Omega, T, t)$.

- o parâmetro t é determinado pela aproximação:

$$\tau(\Omega, T, t) = \tau_{\text{topgas}} + \Delta\tau_{\text{bustle}} - \tau_{\text{topgas}} \times \text{média}\{R(\Omega, T, t); R_{\text{topgas}}\} / \text{média}\{R_{\text{bustle}}/R_{\text{topgas}}\}$$

4. Com estes valores de B calcula-se a marcha da redução isotérmica, %R, com tempo e sob composição variável do gás, que vai desde Ω_{topgas} até $\Omega_{\text{bustlegas}}$, segundo a cinética:

$$R(\Omega, T, t) = B(\Omega, T, t) \times [1 - \exp\{-t/\tau\}]$$

O parâmetro experimental τ , como B, foi levantado experimentalmente.

5. Supondo-se que os sólidos desçam na zona de redução sólida do forno em regime pistonado sob vazão constante, a redução de interesse (Ro) para qualquer das temperaturas de trabalho ocorre num tempo de interesse t_o , para uma altura do forno, dado por:

$$t_o = (T_o - T_{\text{topo}}) / (T_{\text{topo}} - T_{\text{ref}}) \times t_{\text{ref}}$$

$$R(t_o, T_o, \Omega_o) = B_o \times [1 - \exp\{-t/\tau\}]$$

T_{ref} e t_{ref} são valores do perfil térmico do forno.

8. Ω é uma função linear da redução pela própria definição desta função:

$$\Omega = (P_{\text{CO}} + P_{\text{H}_2}) / (P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}}) = \\ [(P_{\text{CO}} + P_{\text{H}_2})_{\text{inicial}} + (O_{\text{remov Fe}}/100) * \%R] / \text{cte} = \Omega_{\text{inicial}} + N \times \%R$$

Sendo N determinado sabendo-se que para o top gas $R = 0$ e para o bustle gás a composição é aquela de sopro e a redução, aquela dos sólidos no fim da zona de redução sólida. NB que a redução é acompanhada pelo enriquecimento do gás em CO e H₂ visto que este está em contra-corrente em relação aos sólidos, conforme tabela abaixo.

<i>Parâmetro</i>	<i>Gás de Topo</i>	<i>Gás de Processo</i>	
Temperatura (°C)	500	900	
Pressão (atm)	1,2	2,5	
Composição gasosa (%)	CO	19%	32%
	CO ₂	15%	3%
	H ₂	39%	53%
	H ₂ O	23%	7%
	CH ₄	4%	5%
Ω	0,59	0,975	