

## 7

### Referências Bibliográficas.

ADAMIAN, R. **Termoquímica Metalúrgica**. São Paulo: ABM, Associação Brasileira de Metais, 1995. Vol. 1.

ADAMIAN, R.; ALMENDRA, E. **Físico-Química: uma aplicação aos materiais**. Rio de Janeiro: UFRJ, COOPE, 2002.

AKIYAMA, T.; TAKAHASHI, R.; YAGI, J. **Measurements of heat transfer coefficients between gas and particles for a single sphere and for moving beds**. ISIJ International, 33: 703-710. 1993.

ANDUZE, A.; MOURAO, M. B.; TAKANO, C. **Pelotas Auto-Redutoras com escoria de alta temperatura liquidus como possível alternativa tecnológica no processo de redução de minério de ferro**. Trabalho apresentado no XXXV Seminário de Redução e Matérias Primas de ABM, realizado em Florianópolis SC de 30 de Agosto ao 2 de Setembro de 2005.

BISWAS, A. K. **Principles of Blast Furnace Ironmaking**. Brisbane, Australia: Cootha Publishing House, 1981.

**BLAS, L. J. M. de** . Pollutant Formation and Interaction in the Combustion of Heavy Liquid Fuels. **University of London. Ph.D. Thesis, England, 2000.**

CASTRO, J.A., **A multi-dimensional transient mathematical model of blast furnace based on mult-fluid model**, Institute for advanced material processing, Tohoku University, Japan, Doctoral Thesis, 2000.

CASTRO, J. A.; SOUZA, A.; SILVA, A. J. (a) **Estudo da operação do alto forno com injeção simultânea de gás natural e carvão pulverizado utilizando o modelo total do alto forno**. Trabalho apresentado no XXXV Seminário de Redução e Matérias Primas de ABM, realizado em Florianópolis SC de 30 de Agosto ao 2 de Setembro de 2005.

CASTRO, J.A., D'ABREU, J.C. e SILVA, A. J. (b) **Modelamento e Simulação Computacional por Volumes Finitos da Auto-redução na Zona Superior do Forno Tecnoled.** 60<sup>th</sup> Congresso Anual da ABM, Belo Horizonte MG, 19-22 de Julho, 2005.

CASTRO, J.A., MAMANI, P., L.J.; D'ABREU, J.C. **Modelamento matemático 3D multifásico multicomponentes do forno de cuba para auto-redução.** 61<sup>th</sup> Congresso Anual da ABM – Rio de Janeiro –RJ- 24 a 27 de Julho de 2006.

CASTRO, J. A., SILVA, A. J., NOGAMI, H. e YAGI, J **Simulação Computacional da Injeção de Carvão Pulverizado nas Ventaneiras de Mini Altos-fornos.** Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v 1, n 2, p 59-62, out.-dez. São Paulo, 2004.

CHEELEY, ROB. **Combining gasifiers with the Midrex Direct Reduction Process.** Gasification 4 Conference, Amsterdam, Netherlands, 11-13 Abril 2000.

CHEN, J. ; AKIYAMA, T. ; NOGAMI, H.; YAGI, J. E TAKAHASHI, H. **Modelling of solid flow in moving beds.** ISIJ International, 33: 664-671. 1993.

D'ABREU, J.C. **Siderurgia, Notas de Aula.** DCMM, PUC-Rio, 2002.

D'ABREU, J.C.; KOHLER, H.; NOLDIN JR.; CARPINETTI, P. H.; MARCHEZE, E. S.; JACOMINI, N. **Modelamento Matemático do Processo Tecnoled – Cuba Superior.** Contribuição técnica ao XXXVI Seminário de Redução e Matérias-Primas de ABM- Ouro Preto - MG - 30 de agosto a 02 de Setembro de 2006.

D'ABREU, J.C.; KOHLER, H.; TANURE DE CASTRO, L.; CRISTINE DE SOUZA, C.; ESPINOZA, M. **Contribuição à simulação matemática do processo de redução direta em fornos de cuba.** Trabalho apresentado no 55<sup>o</sup> Congresso Annual da ABM, realizado no Rio de Janeiro de 25 a 27 de Julho de 2000.

D'ABREU, J.C., MARTINS, K. M. and JUNIOR, J.H.N. **The iron morphology of self-reducing briquettes, 4th Brazil-Japan Symposium on Dust Processing-Energy-Environment in Metallurgical Industries,** São Paulo 23-24, September, (2002), pp 89-102.

ELKASABGY, T. **Efeito do Enxofre no comportamento dos aglomerados de minério de ferro e do coque durante a redução e combustão no interior do alto forno.** 4º Congresso CBE CIMAT Anais 2, 1980. p 515.

ELKASABGY, T. E D`ABREU. **Transferência de Silício e Enxofre para o metal líquido dentro do Alto-Forno.** Trabalho a ser apresentado no XXXVI Congresso Anual da ABM. Comissão Técnica COMIN, Recife, Julho 1981.

FOGLER, H.S. **Elements of Chemical Reaction Engineering.** Second Edition, Prentice-Hall International Editions, 1992.

GRABKE, H. J. E MARINE, E. *Steel Res.*, **66** (1995), 254.

HARA, Y.; TSUCHIYA, M.; KONDO, S. **Intraparticle temperature of iron-oxide pellet during the reduction.** *Tetsu to Hagané*, 60: 1261-1270. 1974

HATANO, M.; KURITA, K. **A mathematical model of Blast Furnace considering radial distribution of gas flow, heat transfer and reactions.** *Tetsu to Hagané*, 66: 1898-1907. 1980

HAYASHI, S. E IGUCHI, Y. **Influence of Gaseous Sulfur on Hydrogen Reduction of Wustite Added with Foreign Oxides.** *ISIJ International*, Vol. 32 No. 10, pp. 1066-1075. 1992.

HAYASHI, S. E IGUCHI, Y. **Influence of Gaseous Sulfur on CO Reduction of Wustite Added with Foreign Oxides.** *ISIJ International*, Vol, 36 No, 8, pp. 1000-1008. 1996.

IGUCHI, Y.; MENG, F. : *Proc.Third Japan-Brazil Symp. on Dust Processing-Energy-Environment in Metallurgical Industries*, University of Sao Paulo, S.P., Brazil, 2001, 75.

IGUCHI, Y. E ITOH, Y. **Sulfur Sorption Rate and Equilibrium Content of Reduced Iron in H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S Mixtures.** *ISIJ International*, Vol. 44 (2004), No. 2, pp. 250-256.

IRITA, T; ISOYAMA, T; HARA, Y.; OKUNO, Y.; KANAYAMAAND, Y; TASHIRO, K. *Tetsu-to-Hagané*, 68, 2295. 1982.

ISHII, KUNIYOSHI. *Advanced Pulverized Coal Injection Technology and Blast Furnace Operation*. Elsevier Science. First Edition, Oxford UK. 2000.

JIANG, T.; QIU, G.; ZHU, D; HUANG, Z; FAN, X E XU, J. *Proc. Ironmaking Conf.* 60, ISS, Warrendale PA, 2001, 803.

KUDO, J. e YAGI, J. *Tetsu-to-Hagané*, 73 . 2020. 1987.

KUIPERS, J. A. M.; PRINGS, W; E SWAAJI, W. P. M. **Numerical calculation of wall to bed heat transfer coefficients in gas-fluidized beds**. *AIChE Journal*, 38: 1079-1091. 1992.

KURITA, K. Dr. Thesis, **Study on the Elucidation of the Phenomena in Blast Furnace by Mathematical Model**, Tokyo University, 50. 1986.

KUWABARA, M.; ISOBE, K.; MIO, K. E MUCHI, I. *Tetsu-to-Hagané*, 74. 1734. 1988.

MACKEY, P. J. E WARNER, N. A. **Heat transfer between dispersed liquid metal and gases in packed beds**. *Metallurgical Transactions*. 3: 1807-1816. 1972.

MANTOVANI, M. C. E TAKANO, C. *ISIJ Int.*, 40. 224. 2000.

MARTINS, K. M. **Morfologia do ferro metálico em briquetes auto-redutores**. Dissertação de mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio. Rio de Janeiro 2002.

MATOS, U. F. **Análise da injeção simultânea de gás natural e diferentes misturas de carvões pulverizados (PCI) utilizando o modelo total do alto-forno**. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, 2006.

MATOS, U. F., de; CASTRO, J.A., SILVA, A. J. **Análise da injeção de carvões de diferentes teores de enxofre simultâneo ao gás natural utilizando o modelo total do AF à coque**. XXXVI Seminário de Redução e Matérias- Primas de ABM- Ouro Preto - MG - 30 de agosto a 02 de Setembro de 2006.

MIDREX TECHNOLOGIES, 2003. Publicação eletrônica. Disponível em: <www.midrex.com> Acesso em: 10 mar. 2003.

MINAKAMI, S. E TOYAMA, S. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 18 (1992), 205.

MOON, J.P.; SAHAJWALLA, V.; BULTITUDE-PAULL, J. **Reduction of ultra fine iron oxide by carbon in a briquetted form**. In: \_\_Ironmaking conference, 58<sup>th</sup>, proceedings, USA, ISS. pp. 591-597. Chicago, 1999.

NABI, G.; LU, W-K. **Reduction Kinetics of Hematite to Magnetite in Hydrogen-Water Vapor mixtures**. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, Vol. 242, December 1968.

NETTO, P. G. Q. ; D'ABREU, J.C; DE CARVALHO, R. J. **Cinética da redução de pelotas auto-redutoras de minério de ferro e carbono**. Dissertação de mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio. Rio de Janeiro 1991.

NETTO, P. G. Q. ; D'ABREU, J.C; DE CARVALHO, R. J. **Kinetics of reduction of composite pellets containing iron ore and carbon**. Canadian Metallurgical Quarterly, vol. 33, N<sup>o</sup> 3, pp. 217-225. 1994.

NOGUEIRA, P. F.; FRUEHAN, R. J. **Blast furnace burden softening and melting phenomena**. Pittsburgh, 2003. Tese de doutorado – Carnegie Mellon University

NOGAMI, H.; MIURA, T. E FURUKAWA, T. Tetsu to Hagané, 78 (1992), 1222.

NOLDIN JUNIOR, JOSE HENRIQUE. **Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquettes auto-redutores**. Dissertação de mestrado, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio. Rio de Janeiro 2002.

NOLDIN JUNIOR, JOSE HENRIQUE. **Modelo termoquímico da auto-redução em fornos de cuba**. Tese de Doutorado. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio. Rio de Janeiro 2007.

NOLDIN JR., PACIORNIK, S., D'ABREU, J.C., PINHO M., M.E., MAMANI P., L.J., ARI. S, M. **Quantificação da Fase Ferro Metálico através de Microscopia Digital**. 59º Congresso da ABM, São Paulo SP, 19-22 de julho, 2004.

NOLDIN Jr., J. H.; CONTRUCCI, M. A.; D'ABREU, J. C.; JACOMINI, N. Processo TecnoRed™: **Flexibilidade no uso de combustível**. Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo, vol 2, n.1, Julho-Setembro 2005, pp. 40-44.

OHNO, Y. E KONDO, K. Tetsu-to-Hagané, 73. 2088 e 2036. 1987.

OLIVEIRA, R. N.; D'ABREU, J. C. **Efeito da atmosfera na fenomenologia de redução de pelotas auto-redutoras de minério de ferro e carbono**. Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1996.

OMORI, Y. **Blast Furnace Phenomena and Modelling**. Japan: Elsevier Applied Science, 631p. 1987.

OTAVIANO, M.M.; DE ARAÚJO, D.R.; FONSECA, M.C.; D'ABREU, J.C. E MARCHEZE, E.S. Proc. Annual Congress of 90.

OZTURK, B.; ROTH, R. e FRUEHAN, R.J. **Formation of H<sub>2</sub>S in the Bath Smelting Process**. ISIJ International, Vol, 34 (1994), No. 8, pp. 663-669.

PATANKAR, S.V. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. McGraw-Hill, New York. 1980.

POIRIER, D.R. E GEIGER, G.H. Transport Phenomena in Materials Processing. A publication of the Minerals, Metals and Materials Society. Pennsylvania, 1994.

RANZ, W. E. E MARSHALL, R. W. **Evaporation from drops**, Chemical Engineering Progress, 48: 141-146; 173. 1952.

RAIPALA, K. **On Hearth Phenomena and Hot Metal Carbon Content in Blast Furnace**. Doctoral Thesis - Helsinki University of Technology Publications in Materials Science and Metallurgy. Helsinki, 2003.

RODRIGUES FILHO, R. N.; D'ABREU, J. C. **Efeito da atmosfera na fenomenologia de redução de pelotas auto-redutoras de minério de ferro e**

**carbono.** Dissertação de mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1995.

ROSENQVIST, T. Principles of Extractive Metallurgy. Second Edition, McGraw-Hill, pp. 239-243, 1983.

ROSS, H.U.; ADAMS, D. Mc.; MARSHALL, T. **Physical Chemistry. Direct Reduced Iron. Technology and Economics of Production Use, Chapter 3.** AIME, USA, 1980.

SANTOS, D. M.; MOURÃO, M. B.; TAKANO, C. **Effect of the binder and of the type of reductant on the high temperature carbothermic reduction of iron oxides in the form of composite pellets.** In: \_\_Japan-Brazil symposium on dust processing-energy-environment in metallurgical industries, 4th, proceedings, Brazil, USP. pp. 37-46. São Paulo, 2001.

SAWAI, S.; IGUCHI, Y. E HAYASHI, S. Tetsu-to-Hagané, 84 (1998), 844.

**SCHÜTTE, K.; ROTZOLL, G.; SCHÜGERL, K.** Simultaneous measurement of weight loss by DTG combustion and SO<sub>2</sub>-formation for different coals. **Fuel, Germany. vol.68, p.1499-1502. 1989.**

SHIBATA, K.; SHIMIZU, M.; INABA, S.; TAKAHASHI, R E YAGI, J. **One-Dimensional flow characteristics of gas-powder two phase flow in packed beds.** Tetsu to Hagané, 77: 236-243. 1991

SHIMIZU, M. ; YAMAGUCHI, A.; INABA, S. E NARITA, K. Tetsu to Hagané, 68. 936. 1982.

SOUZA, F. T.; CASTRO, J. A. E SILVA, A. J. (a) **Operação do Alto Forno a oxigênio com altas taxas de injeção de carvão e recirculação de gás de topo em dois níveis de ventaneiras.** Trabalho apresentado no XXXV Seminário de Redução e Matérias Primas de ABM, realizado em Florianópolis SC de 30 de Agosto ao 2 de Setembro de 2005.

SOUZA, A. W.; CASTRO, J. A. E SILVA, A. J. (b) **Modelamento matemático e simulação computacional de um ensaio de combustão de carvão pulverizado.** Trabalho apresentado no XXXV Seminário de Redução e Matérias

Primas de ABM, realizado em Florianópolis SC de 30 de Agosto ao 2 de Setembro de 2005.

SUGIYAMA, T. E SUGATA, M. **Development of two-dimensional mathematical model of Blast Furnace.** Seitetsu Kenkyu, 325:34-43. 1987

SUGIYAMA, T.; NAKAGAWA, T.; SHIBAIKE, H. E ODA, Y. **Analysis of liquid flow in the dripping zone of Blast Furnace.** Tetsu to Hagané, 73:2044-2051. 1987.

TAKAHASHI, R.; TAKAHASHI, Y.; YAGI, J. (a) **Operation and simulation of pressurized shaft furnace for Direct Reduction.** 43<sup>rd</sup>. Ironmaking Conference by support of the Hyuga Fund of ISIJ. April, Chicago, 1984.

TAKAHASHI, R.; TAKAHASHI, Y.; YAGI, J. E OMORI, Y. (b) Ironmaking Conf. Proc., 43, 485. 1984.

TAKANO, C. E MOURAO, M.B. ISIJ Int. 41 Suppl. 22. 2000.

TAKANO, C.; MOURÃO, M. B.; NOLDIN Jr.; D'ABREU, J. C. **Physical and chemical behavior of self-reducing agglomerates.** In:\_\_\_International workshop on science and technology of innovative ironmaking for aiming at energy half consumption, 1, Tokyo, proceedings, Japan. pp. 109-117. 2003.

TAKATANI, K.; INADA, T. E UJISAWA, Y. **Three-dimensional dynamic mathematical simulator of blast furnace,** Current Advances in Materials and Processes, 7:50-53. 1994.

VON BOGDANDY, L.; ENGEL. H. **The reduction of iron ores: scientific basis and technology** Berlin : Springer, 1971

WANG, J.; TAKAHASHI, R. E YAGI, J. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 16 (1990), 723.

WANG, J.; TAKAHASHI, R. E YAGI, J. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 17 (1991), 179.

YAGI, JUN-ICHIRO, **Mathematical Modeling of the Flow of Four Fluids in a Packed Bed.** ISIJ International, Vol. 33. No. 6, pp. 619-639. 1993.

YAGI, J.; MANSHEG, C.; E NOGAMI, H. **Numerical Analysis on Innovative Operations of Blast Furnace by Mathematical Model Based on Multi-Fluid Theory**. Trabalho apresentado no XXXV Seminário de Redução e Matérias Primas de ABM, realizado em Florianópolis SC do 30 de Agosto ao 2 de Setembro de 2005.

YAGI, J.; NOGAMI, H.; AKIYAMA, T. E DE CASTRO, J. A. **Transient Mathematical Model of Blast Furnace Based on Multi-Fluid Concept**. Melbourne, Vic, 11-13 September. MINPREX, 2000.

YAGI, J. E OHMORI, Y. Res, Inst. Min. Dress. Met.. Tohoku University, 35 (1979), 115.

YAGI, J.; TAKAHASHI, R.; OMORI, Y. **Process Simulation of Nonisothermal Fixed Bed**. The Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, 1973.

YAGI, J.; TAKAHASHI, R.; OMORI, Y. **Study on the reduction process of iron oxide pellets in isothermal fixed bed**. The Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, 1971.

YAMAOKA, H. Tetsu-to-Hagané, 77. 1633. 1991.

YAMAOKA, H.; MIYAZAKI, T. E KAMEI, Y. CAMP-ISIJ, I, 14. 1988.

## APÊNDICE A - Dados Termo-físicos

Tabela A1 Pesos atômicos (kg/kmol).

$M_{Fe}$	55,85
$M_O$	16,00
$M_N$	14,01
$M_S$	32,07
$M_H$	1,008
$M_C$	12,01

Tabela A2: Coeficientes para as equações de capacitância térmica das duas fases gasosas (gás exterior, gás interior).

Espécies	$a_j$ [kJ/kmol K]	$b_j$ [kJ/kmol K <sup>2</sup> ]	$c_j$ [kJ/kmol K <sup>-1</sup> ]
O <sub>2</sub> (g)	25,5940	12,2510x10 <sup>-3</sup>	-4,2050x10 <sup>-6</sup>
CO(g)	26,5366	7,6831x10 <sup>-3</sup>	-1,1719x10 <sup>-6</sup>
CO <sub>2</sub> (g)	26,7480	42,2580x10 <sup>-3</sup>	-14,2470x10 <sup>-6</sup>
H <sub>2</sub> (g)	29,0620	-0,8200x10 <sup>-3</sup>	1,9903x10 <sup>-6</sup>
H <sub>2</sub> O(g)	30,2040	9,9330x10 <sup>-3</sup>	1,1170x10 <sup>-6</sup>
N <sub>2</sub> (g)	27,0160	5,8120x10 <sup>-3</sup>	-0,2890x10 <sup>-6</sup>
SO <sub>2</sub> (g)	43,1860	10,15x10 <sup>-3</sup>	-50,6940x10 <sup>-6</sup>
SO(g)	32,1860	22,15x10 <sup>-3</sup>	-34,6940x10 <sup>-6</sup>
H <sub>2</sub> S (g)	25,354	24,518 x10 <sup>-3</sup>	0

Onde  $g$  = gás exterior, gás interior

Tabela A3: Coeficientes para as equações de capacitância térmica das fases sólido (briquete e booster).

Espécies	$a_j$ [kcal/kmol K]	$b_j$ [kcal/kmol K <sup>2</sup> ]	$c_j$ [kcal/kmol K <sup>-1</sup> ]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( <i>i</i> )	24,72	0,01604	-423400
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ( <i>i</i> )	41,17	0,01882	-979500
Fe <sub>w</sub> O ( <i>i</i> )	12,62	0,00149	-76200
Fe ( <i>i</i> )	8,40	0	0
SiO <sub>2</sub> ( <i>i</i> )	10,95	0,00550	0
S ( <i>i</i> )	4,38	4.40	0
FeS ( <i>i</i> )	12,05	0.00273	0
C ( <i>i</i> )	4,03	0,00114	-204000
H <sub>2</sub> O ( <i>i</i> )	18,16	0	0
Voláteis ( <i>i</i> )	4,03	0,00114	-204000
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> ( <i>i</i> )	417.6	0	0

Onde *i* = briquete, booster

Tabela A4: Calor de formação (kcal/kmol),

Espécies	$\Delta H_j^{298K}$	Espécies	$\Delta H_j^{298K}$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( <i>i</i> )	-198500	O <sub>2</sub> (g)	0
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ( <i>i</i> )	-266900	CO(g)	-26416
Fe <sub>w</sub> O ( <i>i</i> )	-64620	CO <sub>2</sub> (g)	-94052
Fe ( <i>i</i> )	0	H <sub>2</sub> (g)	0
FeS ( <i>i</i> )	22640	H <sub>2</sub> O(g)	-57798
S( <i>i</i> )	0	N <sub>2</sub> (g)	0
C ( <i>i</i> )	-1000	SO <sub>2</sub> (g)	-70940
H <sub>2</sub> O ( <i>i</i> )	-68317	SO(g)	19020
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> ( <i>i</i> )	-2214160	H <sub>2</sub> S (g)	-4770
Onde <i>i</i> = briquete, booster; <i>g</i> = gás exterior, gás interior			

## APÊNDICE B – Cálculos dos dados de entrada

### B1: Cálculo dos volumes dos gases constituintes do gás de baixo:

Considerando dados industriais:

$$\text{Sopro na V1} = 1350 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$\text{Umidade do ar} = 2,44\%$$

$$\text{Volume ar seco} = 97,56\%$$

Têm-se:

$$V_{\text{ar seco}} = 0,9756 * 1350 = 1317,06 \text{ Nm}^3_{\text{ar seco}}/\text{t}_{\text{gusa}}$$

$$V_{\text{N}_2} = 1317,06 * 0,79 = 1040,5 \text{ Nm}^3_{\text{N}_2}/\text{t}_{\text{gusa}}$$

$$V_{\text{O}_2} = 1317,06 * 0,21 = 276,6 \text{ Nm}^3_{\text{O}_2}/\text{t}_{\text{gusa}}$$

Assumindo que 1% do gás de baixo é SO<sub>2</sub> e o volume total do gás de baixo é a divisão entre 1040,5 Nm<sup>3</sup> N<sub>2</sub>/t<sub>gusa</sub> e a fração volumétrica do nitrogênio (0,N<sub>2</sub>) construiu-se a seguinte equação:

Volume CO + volume CO<sub>2</sub> + volume SO<sub>2</sub> + volume N<sub>2</sub> = volume do gás de baixo

$$V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} + 0,01 [1040,5 / 0, \text{N}_2] + 1040,5 = 1040,5 / 0, \text{N}_2$$

Se:

$$V_{\text{CO}} / V_{\text{CO}_2} = X$$

Têm-se duas equações:

$$V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} = 1040,5 \left( \frac{(-0,01)}{0, \text{N}_2} - 1 \right) V_{\text{gásbaixo}}$$

$$\frac{V_{\text{CO}}}{V_{\text{CO}_2}} = X$$

Por outro lado, assumindo que o gusa produzido contenha 0,5%Si e 0,8% Mn, e considerando a redução dos seus óxidos pelo C se tem uma geração de CO de 112,6 Nm<sup>3</sup>/t<sub>gusa</sub>

Com as informações anteriores a seguinte Tabela pode ser construída:

Tabela B1: Cálculo dos volumes dos gases de baixo

	V <sub>N2</sub>	V <sub>CO</sub> + V <sub>CO<sub>2</sub></sub>	CO/CO <sub>2</sub>	V <sub>CO<sub>2</sub></sub>	V <sub>CO (Si+Mn)</sub>	V <sub>CO (Ar)</sub>	V <sub>O<sub>2</sub> do CO (ar)</sub>	V <sub>O<sub>2</sub> do CO (ar) + O<sub>2</sub> do CO<sub>2</sub> (ar)</sub>
1	0.6	673.33	3	169.1	112.6	394.6	197.3	366.4
2	0.6	673.33	10	61.5	112.6	502.2	251.1	312.6
3	0.6	673.33	20	32.2	112.6	531.5	265.8	298.0
4	0.65	544.26	3	136.1	112.6	295.6	147.8	283.9
5	0.65	544.26	10	49.5	112.6	382.2	191.1	240.6
6	0.65	544.26	20	25.9	112.6	405.7	202.9	228.8

\*Todos os volumes estão em Nm<sup>3</sup>/t

Observa-se na Tabela anterior que o caso 4 é o que mais se assemelha à realidade porque é o valor mais próximo a Volume do oxigênio do ar soprado na V1 (283,9 Nm<sup>3</sup>/t é o mais próximo a 276,6 Nm<sup>3</sup>/t).

A partir deste dado têm-se:

$$V_{CO_2} = 135 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

V<sub>CO total</sub> :

$$V_{O_2 (ar)} = (276,6 - 135) = 141,6 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{CO (ar)} = 141,6 * 2 = 283,2 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{CO (Si + Mn)} = 112,6 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{CO total} = 283,2 + 112,6 = 395,8 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{N_2} = 1040,5 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{SO_2} = 15,87 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$V_{gas\ baixo} = 1587,2 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$CO/CO_2 = 2,93$$

$$\%N_2 = 65,58\%$$

## B.2. Volume ar soprado na V2:

Para a queima total de 395,8 Nm<sup>3</sup> de CO vindo do gás de baixo precisa-se estequiometricamente de 198 Nm<sup>3</sup> de oxigênio.

Se o ar tem uma umidade de 2,44% o volume de ar seco e:

$$V_{ar\ seco} = 0,9756 * V_{ar\ úmido}$$

$$V_{ar\ seco} = V_{O_2} / 0,21 = 198 / 0,21 = 942,4 \text{ Nm}^3_{ar\ seco}/\text{t}$$

$$V_{ar\ úmido} = 942,4 / 0,9756 = 966,4 \text{ Nm}^3_{ar\ úmido}/\text{t}$$

### B.3. Taxa de alimentação média do briquete:

Para uma produção de  $10 t_{\text{gusa}}/\text{h}$  e uma metalização de 94%, considerando que a escoria gerada é de 2,5 t/h com 0,64% de FeO têm-se que a taxa de Fe total no briquete tem que ser de 9412,5 kg/h.

	Produção	% Fe metálico	t/h	Fe
gusa	10 ton gusa/h	94	9.4	9400 kg/h
escoria	2.5 ton escoria/h	FeO 0,64% (0.5%Fe)	0.0125	12.5 kg/h
briquete (Fe total)				9412.5 kg/h

O briquete alimentado conte hematita e wustita com as seguintes composições:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 66.44 \%$$

$$\text{FeO} = 1.09 \%$$

Cálculo da percentagem de Fe no aglomerado

$$\begin{aligned} \text{Fe vindo do Fe}_2\text{O}_3 &= 112 / 160 * \% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ no aglomerado} \\ &= 46.51 \% \text{ Fe vindo Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fe vindo do FeO} &= 56 / 72 * \% \text{ FeO no aglomerado} \\ &= 0.84 \% \text{ Fe vindo FeO} \end{aligned}$$

$$\text{Percentagem de Fe total no aglomerado} = 47.35 \%$$

A Taxa de alimentação média do briquete =

$$\text{Fe total (gusa+escoria) / \% Fe total no aglomerado alimentado} = 19877.4 \text{ kg/h}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 9938.7 \text{ kg/h de aglomerado}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 2.7608 \text{ kg/s aglomerado}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 9.94 \text{ ton/h de aglomerado}$$

### B. 4. Taxa de alimentação média do booster:

$$10950 \text{ kg/h de aglomerado} \rightarrow 195 \text{ kg/h de booster}$$

$$\text{Taxa alimentação aglomerado} \rightarrow X$$

$$\text{Taxa de alimentação média do booster} = 353.9811527 \text{ kg/h de booster}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 176.9905763 \text{ kg/h de booster}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 0.0492 \text{ kg/s de booster}$$

$$1/2 \text{ do reator} = 0.18 \text{ ton/h de booster}$$

**B. 5. Cálculo dos dados para o modelo da V2:**

$$V2 = 966.4 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

*umidade:*

$$\text{Vazão Nm}^3/\text{t} * (\% \text{ umidade}) * \text{Produção t/h} * 1\text{h}/3600 \text{ s} * 18 \text{ kg} / 22,4\text{Nm}^3 = 0.0263 \text{ kg/s H}_2\text{O}$$

*Oxigênio:*

$$\text{Vazão Nm}^3/\text{t} * (\% \text{ ar seco}) * 0,21 (\% \text{O}_2) * \text{Produção t/h} * 1\text{h}/3600 \text{ s} * 32\text{kg} / 22,4\text{Nm}^3 = 0.392 \text{ kg/s O}_2$$

*Nitrogênio:*

$$\text{Vazão Nm}^3/\text{t} * (\% \text{ ar seco}) * 0,79 (\% \text{N}_2) * \text{Produção t/h} * 1\text{h}/3600 \text{ s} * 28\text{kg} / 22,4\text{Nm}^3 = 1.2931 \text{ kg/s N}_2$$

**B. 6. Cálculo dos dados para o modelo da alimentação do gás de baixo:**

CASO BASE

$$\text{Produção} = 5 \text{ t/h}$$

$$\text{Vazão} = 1587.2 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

$$\text{CO/CO} = 2.93$$

$$\text{SO}_2 = 1 \%$$

Composição gasosa

$$\text{N}_2 \quad 1040.5 \text{ Nm}^3/\text{t} = 65.56 \%$$

$$\text{CO} \quad 395.8 \text{ Nm}^3/\text{t} = 24.94 \%$$

$$\text{CO}_2 \quad 135 \text{ Nm}^3/\text{t} = 8.51 \%$$

$$\text{SO}_2 \quad 15.87 \text{ Nm}^3/\text{t} = 1.00 \%$$

$$\text{N}_2 = \text{Vazão Nm}^3/\text{t} * \text{Prod t/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s} * 28\text{kg} / 22,4 \text{ Nm}^3 = 1.8064 \text{ kg/s N}_2$$

$$\text{CO} = \text{Vazão Nm}^3/\text{t} * \text{Prod t/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s} * 28\text{kg} / 22,4 \text{ Nm}^3 = 0.6872 \text{ kg/s CO}$$

$$\text{CO}_2 = \text{Vazão Nm}^3/\text{t} * \text{Prod t/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s} * 44\text{kg} / 22,4 \text{ Nm}^3 = 0.3683\text{kg/s CO}_2$$

$$\text{SO}_2 = \text{Vazão o Nm}^3/\text{t} * \text{Prod t/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s} * 64\text{kg} / 22,4 \text{ Nm}^3 = 0.0630\text{kg/s SO}_2$$