

CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA APLICADA A MINÉRIOS GOETHÍTICOS

A.S.Cabral¹, A.E.C.Peres²

¹ECMSA

Rua Rio de Janeiro, 1462, Belo Horizonte, MG, 30160-041. e-mail: aloisiosa@ecmsa.com.br

²Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais
Avenida Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia Bloco 2, Belo Horizonte, MG, 31270-901.
e-mail: aecperes@demet.ufmg.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados e discutidos dados de um projeto para produção de *pellet feed* em um circuito de concentração magnética de baixa e alta intensidade. O objetivo da investigação foi o estudo de um corpo de minério de ferro contendo hematita, magnetita, goethita e hematita martítica, sendo usada a fração entre 1,0 e 0,15 mm. Houve redução significativa nos teores de SiO₂, Al₂O₃, P e PPC. Ensaios em escala piloto produziram recuperação mássica de 9,97% no circuito de baixa intensidade e 71,78% no circuito de alta intensidade.

PALAVRAS-CHAVE: separação magnética; minérios goethíticos; produção de *pellet feed*.

1. INTRODUÇÃO

A concentração gravítica, a separação magnética e a flotação são métodos empregados em separado ou, mais comumente, combinados, para a concentração de minérios de ferro. A concentração magnética é mais empregada para as frações com granulometria entre 1,0 e 0,15 mm. A combinação de concentração magnética de baixa intensidade com alta intensidade é justificada pela presença de magnetita no corpo de minério a ser concentrado (Queiroz, 2008).

O estudo proposto tem como objetivo desenvolver um circuito de concentração magnética de baixa e alta intensidade capaz de absorver uma variação granulométrica e química de um corpo de minério de ferro, contendo hematita, magnetita, goethita e hematita martítica, localizado no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais, Brasil. O estudo restringe-se à fração entre 1,0 e 0,15 mm.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (Araujo *et al.*, 2003; Vieira, 2008; Queiroz, 2008; Barros, 2006)

As mais recentes inovações em beneficiamento mineral para produção de *pellet feed* incluem a utilização do equipamento *ferrous wheel* (concentrador magnético de alto gradiente de imã permanente - FWMS), implementado no ano 2000 na antiga MBR - Mina da Mutuca, e um separador magnético de terras raras na mina de Córrego do Feijão, pertencente à antiga Ferteco. A seleção do método de concentração é baseada principalmente na assembléia mineralógica.

Minério de ferro silicoso é o mais simples para concentrar e pode geralmente ser beneficiado por uma combinação de métodos gravíticos para a fração granulométrica mais grosseira, concentração magnética para uma granulometria intermediária e flotação reversa para a produção de *pellet feed*.

Em determinados minérios contendo um teor acima de 10% de magnetita é usada uma concentração magnética de baixa intensidade antes da concentração de alta intensidade (WHIMS) com a finalidade de reter a magnetita e garantir uma operação eficiente da concentração magnética de alta intensidade.

Prevê-se que, em um futuro próximo, os concentradores de minério de ferro estarão aplicando uma combinação apropriada de métodos específicos para cada minério, buscando a maximização da recuperação e a redução de custos operacionais.

3. METODOLOGIA

As análises granulométricas foram efetuadas por peneiramento a úmido, em peneiras de laboratório, malhas de 2,0 mm a 0,044 mm (série Tyler).

As análises químicas quantitativas foram executadas em amostras globais, bem como por faixas granulométricas, utilizando a fluorescência de raios-X. Foram efetuadas análises de: Fe total, SiO₂, Al₂O₃, P, Mn e PPC.

Os ensaios em escala piloto foram realizados em concentradores magnéticos de baixa intensidade, tipo WDRE e o concentrador magnético de alta intensidade empregado foi o modelo L4-INBRAS, com placas de 2,5 mm e campo magnético em 1,5 T.

4. RESULTADOS

Neste item, são apresentados os resultados obtidos referentes às análises de caracterização mineralógica, testes em bancada e testes piloto (Cabral, 2010).

4.1. Caracterização Mineralógica

A Tabela I contém os teores globais das amostras de pequeno volume das jazidas.

Tabela I. Teores globais das amostras de pequeno volume comparados aos teores apresentados pelo modelo geológico preliminar

Teores máximos e mínimos do corpo de mineral						
Teores	% Fe	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% P	% Mn	% PPC
Mínimos	59,79	0,71	0,53	0,023	0,032	0,78
Máximos	65,63	7,56	2,33	0,032	0,0154	4,90
Média	63,86	2,77	1,40	0,081	0,068	2,86

A constituição mineralógica é basicamente formada por: hematita 10,4%; magnetita 16,0%; hematita martítica 60,6%; goethita 13,0%.

4.2. Concentração Magnética

A caracterização mineralógica definiu a aplicação de dois estágios de concentração magnética para garantir uma operação contínua do circuito em função da presença da magnetita.

A aplicação da concentração magnética de baixa intensidade tem por finalidade reter as partículas de magnetita presentes no ROM e proteger a operação da concentração magnética de alta intensidade. Foram selecionadas 80 amostras para estudo de variabilidade, sendo caracterizadas da seguinte forma: hematita compacta – HC; hematita friável - HF; itabirito compacto - IC; itabirito friável - IF; itabirito goethítico – IGO.

4.2.1. Concentração magnética de baixa intensidade: Após a caracterização mineralógica foram realizados estudos de quantificação de massa magnética e testes de recuperação em massa em escala de bancada em concentrador magnético de baixa intensidade. A Tabela II indica os valores de massa magnética e recuperação em massa de cada litologia.

XXIV ENTMME - 2011 - Salvador/Bahia

Tabela II. Resultados de testes em bancada de concentração magnética de baixa intensidade

Amostras	Litologia	M. Magnética	HM + MA	RM / Peso	%Fe AL	%Fe conc	%Fe Rejeito	RM Calculado	Pontuação
EVMQ 31	HC	68,36	65,96	82,40	62,17	65,64	46,68	81,70%	1
EVMQ 32	HC	64,26	65,73	83,59	63,54	66,09	46,64	86,9%	1
EVMQ 33	HC	27,00	1,54	73,30	66,32	66,99	64,48	73,3%	1
EVMQ 36	HC	77,72	82,65	93,43	66,17	66,68	60,51	91,7%	1
EVMQ 37	HC	95,58	87,15	95,83	67,29	68,25	59,42	89,1%	1
EVMQ 25	HF	5,26	50,78	17,60	64,54	65,57	64,32	17,60%	1
EVMQ 38	HF	82,28	53,11	94,59	64,55	66,45	29,03	94,9%	1
EVMQ 39	HF	92,45	55,21	94,60	66,20	67,03	58,13	90,7%	1
EVMQ 40	HF	24,73	48,26	57,17	62,74	66,54	57,61	57,4%	1
EVMQ 41	HF	74,53	57,39	81,11	64,91	66,75	58,50	77,7%	1
EVMQ 42	HF	57,02	72,18	68,30	64,75	65,39	63,75	61,0%	1
EVMQ 43	HF	92,69	82,51	96,74	65,11	65,93	27,98	97,8%	1
EVMQ 44	HF	53,91	61,47	72,33	64,72	66,68	56,71	80,3%	1
EVMQ 45	HF	56,74	58,64	83,62	67,44	67,58	63,26	96,8%	1
EVMQ 46	HF	51,94	75,21	93,99	65,01	66,39	60,00	78,4%	1
EVMQ 53	HF	56,91	52,43	75,61	46,36	52,59	41,84	42,0%	1
EVMQ 56	HF	28,60	27,43	44,48	34,38	44,67	30,24	28,7%	1
EVMQ 57	HF	4,36	11,10	12,96	42,41	49,42	42,08	4,5%	0
EVMQ 58	HF	40,61	29,06	57,11	36,89	40,95	34,55	36,6%	1
EVMQ 64	HF	57,71	34,15	52,49	39,90	50,41	28,87	51,2%	1
EVMQ 65	HF	58,67	52,12	88,07	62,68	65,46	39,12	89,4%	1
EVMQ 66	IC	14,23	36,71	8,31	40,36	60,96	40,12	1,2%	0
EVMQ 68	IC	7,96	52,20	17,68	49,55	57,93	48,73	8,9%	0
EVMQ 70	IC	0,60	6,92	25,05	57,61	67,74	49,98	43,0%	1
EVMQ 71	IC	6,09	66,88	78,76	63,84	66,15	57,44	73,5%	1
EVMQ 72	IC	1,81	62,21	79,54	60,19	65,93	41,18	76,8%	1
EVMQ 03	IF	4,37	33,92	32,57	64,31	67,21	63,94	11,3%	1
EVMQ 04	IF	6,63	51,55	59,94	60,43	66,12	49,03	66,7%	1
EVMQ 10	IF	13,40	37,08	9,74	49,48	62,71	46,55	18,1%	1
EVMQ 18	IF	24,21	36,40	32,13	59,02	63,48	57,36	27,1%	1
EVMQ 19	IF	60,30	28,69	78,27	57,87	62,68	44,31	73,8%	1
EVMQ 27	IF	58,21	37,56	80,85	61,05	62,61	52,68	84,3%	1
EVMQ 28	IF	7,05	41,01	38,90	64,16	67,03	62,52	36,4%	1
EVMQ 29	IF	90,51	93,70	98,52	66,75	67,66	14,87	98,3%	1
EVMQ 73	IF	39,40	34,12	38,10	44,18	49,84	40,69	38,1%	1
EVMQ 74	IF	21,69	61,33	81,48	58,54	60,51	41,10	89,9%	1
EVMQ 75	IF	50,54	68,69	86,81	63,01	65,35	47,14	87,1%	1
EVMQ 77	IF	80,49	76,32	95,47	62,12	64,77	29,37	92,5%	1
EVMQ 78	IF	76,96	64,01	87,03	59,18	63,57	23,16	89,1%	1
EVMQ 79	IF	85,35	77,82	95,95	65,10	67,68	49,47	85,8%	1
EVMQ 81	IF	91,49	60,73	91,95	49,11	51,47	15,77	93,4%	1
EVMQ 82	IF	57,65	83,57	94,41	66,52	66,69	46,37	99,2%	1
EVMQ 83	IF	27,24	76,65	82,91	59,95	63,91	39,94	83,5%	1
EVMQ 84	IF	10,92	56,05	28,39	60,23	67,42	58,26	21,5%	1
EVMQ 85	IF	31,54	37,01	42,99	60,45	64,42	56,88	47,3%	1
EVMQ 86	IF	29,95	63,47	58,14	58,97	66,02	45,33	65,9%	1
EVMQ 87	IF	97,50	50,43	94,88	65,45	67,10	26,67	95,9%	1
EVMQ 90	IF	54,55	63,11	93,49	65,73	67,48	38,86	93,9%	1
EVMQ 17	IF / IC	36,91	16,61	36,24	62,28	65,38	61,61	17,8%	1
EVMQ 01	IGO	14,86	14,87	41,67	62,83	65,19	59,58	57,9%	1
EVMQ 02	IGO	29,13	34,61	60,87	63,09	64,94	60,49	58,4%	1
EVMQ 06	IGO	3,84	35,04	9,55	62,99	68,12	62,42	10,0%	1
EVMQ 07	IGO	14,56	53,91	17,48	63,31	66,55	63,11	5,8%	0
EVMQ 08	IGO	3,20	10,71	3,83	60,19	66,12	59,32	12,8%	1
EVMQ 11	IGO	21,26	34,05	9,06	41,12	51,05	38,05	23,6%	1
EVMQ 12	IGO	11,06	30,27	9,63	36,71	54,11	34,05	13,3%	1
EVMQ 13	IGO	2,05	40,64	14,20	49,55	65,98	45,60	19,4%	1
EVMQ 14	IGO	0,00	36,07	1,43	61,09	62,53	60,10	40,7%	1
EVMQ 15	IGO	19,16	24,13	23,64	61,36	64,27	60,31	26,5%	1
EVMQ 16	IGO	19,71	14,70	34,77	60,58	63,57	60,50	2,6%	0
EVMQ 20	IGO	0,00	57,61	17,04	57,45	64,65	50,84	47,9%	1
EVMQ 21	IGO	36,23	62,08	75,78	55,77	60,34	38,98	78,6%	1
EVMQ 23	IGO	90,42	84,78	98,71	67,03	68,14	42,45	95,7%	1
EVMQ 26	IGO	85,01	49,73	96,00	63,38	63,59	47,20	98,7%	1
EVMQ 91	IGO	64,67	73,76	95,26	68,00	68,89	50,06	95,3%	1
EVMQ 92	IGO	27,98	47,42	34,31	58,97	66,91	58,74	2,8%	0
EVMQ 93	IGO	32,46	38,18	44,29	58,32	64,61	54,04	40,5%	1
EVMQ 94	IGO	16,58	25,86	12,04	58,54	63,47	46,99	70,1%	1
EVMQ 96	IGO	72,00	31,10	87,81	59,02	60,76	54,17	73,6%	1
EVMQ 97	IGO	22,45	56,35	28,30	63,30	66,10	61,27	42,0%	1
EVMQ 98	IGO	23,96	38,63	31,37	55,72	65,09	48,30	44,2%	1
EVMQ 99	IGO	88,81	57,02	91,28	65,79	66,39	57,28	93,4%	1
EVMQ 101	IGO	47,76	45,15	54,67	56,73	60,48	51,99	55,8%	1
EVMQ 102	IGO	32,87	33,07	34,23	40,43	62,08	32,10	27,8%	1
EVMQ 104	IGO	29,94	38,66	35,76	47,37	56,61	45,29	18,4%	1
EVMQ 105	IGO	72,33	11,73	63,30	57,45	63,28	54,65	32,4%	1
EVMQ 106	IGO	4,84	11,65	16,36	50,44	63,77	50,01	3,1%	0
EVMQ 107	IGO	11,13	32,13	40,77	47,44	65,19	39,45	31,0%	1
EVMQ 05	IGO / IF	17,57	48,27	49,21	55,02	65,12	41,02	58,1%	1
EVMQ 09	IGO / IF	14,49	49,84	15,98	60,51	65,52	58,95	23,7%	1
Mínimo		0,00	1,54	1,43	34,38	40,95	14,87	1,15%	
Média		40,53	47,80	56,46	58,43	63,18	48,47	55,66%	
Máximo		97,50	93,70	98,71	68,00	68,89	64,54	99,16%	

O estudo de variabilidade visou quantificar a recuperação em massa em relação à presença de massa magnética da amostra em concentração magnética de baixa intensidade, para adotar um valor de referência no balanço de massas. Nota-se correlação entre recuperação em massa e percentual de massa magnética e variação na recuperação em massa de 10% a 99%, ilustrada pela Figura 1.

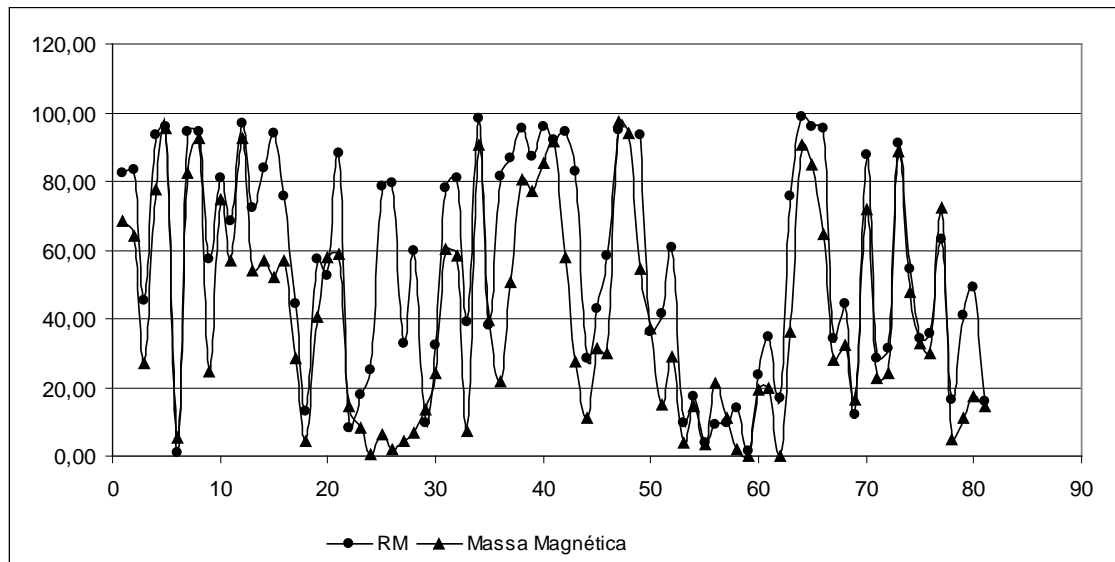


Figura 1. Recuperação em massa e porcentagem de massa magnética.

A correlação entre as duas variáveis pode ser quantificada na Figura 2. Pode-se observar que a porcentagem da massa magnética da amostra tende a acompanhar a recuperação em massa.

Para adotar um valor de recuperação em massa como referência foi feito um estudo estatístico tomando como base o resultado do teste piloto, mostrado na Tabela III, onde a recuperação foi de 9,97%.

Tabela III. Resultado piloto da concentração magnética de baixa intensidade-WDRE

Fluxos	% Fe	% SiO ₂	%P	% Al ₂ O ₃	% PPC	% Recuperação
Alimentação	62,40	3,78	0,087	2,29	3,59	100,00
Concentrado	65,76	2,17	0,053	1,66	1,51	9,97
Rejeito	62,03	3,96	0,090	2,36	3,82	90,03

Foi adotado peso 1 para valores de recuperação em massa acima de 9,97% e peso zero para valores inferiores a 9,97%, mostrados na Tabela II. Dessa forma, foram contabilizados 7 valores de zero e 75 valores acima do valor obtido no teste piloto. Os valores de recuperação em massa encontrados nos testes de variabilidade contabilizam 93,75% maiores que o valor do teste piloto. A Tabela IV indica os valores do fator de enriquecimento obtido.

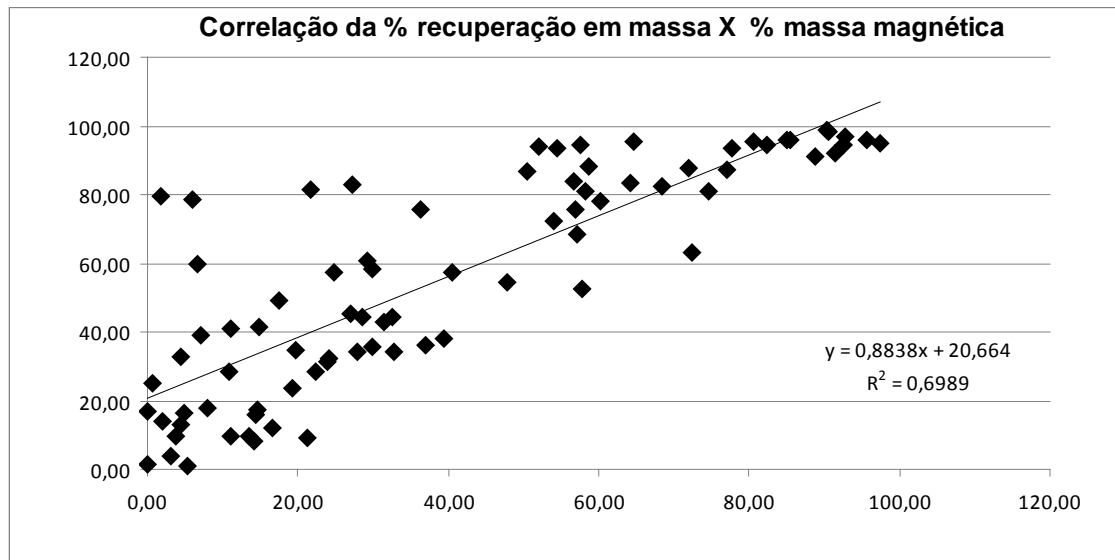


Figura 2. Correlação entre recuperação em massa e massa magnética.

Tabela IV. Fator de enriquecimento na concentração magnética de baixa intensidade

Teores	% Fe	% SiO ₂	% P	% Al ₂ O ₃	% PPC
Fator de enriquecimento	1,053	0,574	0,609	0,725	0,421

Os resultados acima justificam a necessidade de uma concentração magnética de baixa intensidade para fazer o desbaste da magnetita e também garantir um teor de ferro mais rico para o concentrado. O rejeito deste estágio de concentração foi destinado à concentração magnética de alta intensidade.

4.2.2. Concentração magnética de alta intensidade: Os testes de concentração magnética de baixa intensidade mostraram uma grande variabilidade na recuperação em massa, dessa forma, a concentração magnética de alta intensidade também foi afetada por essa variação. Foram adotadas como premissa as seguintes variáveis de processo para o concentrador magnético de alta intensidade: (i) *gap* - 2,5mm; (ii) campo magnético - 1,5 T; (iii) densidade na alimentação - 1,5 t.m⁻³.

Foram executados dois testes para servir como referência e os resultados são mostrados nas Tabelas V e VI. A Tabela V é referente a uma amostra mais pobre para refletir uma possível variação do ROM e a Tabela VI se refere a uma amostra coerente com os resultados obtidos na concentração magnética de baixa intensidade.

Tabela V. Resultados de teste piloto de concentração magnética de alta intensidade (amostra mais pobre)

Fluxos	% Fe	% SiO ₂	% P	% Al ₂ O ₃	% PPC	% Recuperação
Alimentação	58,62	6,35	0,107	3,08	5,34	100,00
Concentrado	63,89	1,92	0,084	1,88	3,67	66,66
Rejeito	55,99	8,57	0,118	3,69	6,17	33,34

Tabela VI. Resultados de teste piloto de concentração magnética de alta intensidade (amostra com teor médio)

Fluxos	% Fe	% SiO ₂	% P	% Al ₂ O ₃	% PPC	% Recuperação
Alimentação	62,16	3,84	0,090	2,34	3,78	100,00
Concentrado	65,07	2,15	0,070	1,42	2,58	71,78
Rejeito	54,76	8,16	0,140	4,69	6,82	28,22

Notou-se que em ambos os testes os valores de porcentagem de ferro no rejeito ficaram bem elevados. A princípio, pensou-se em uma moagem seguida de flotação. Concluiu-se que o alto teor de Al₂O₃ elevaria o teor final de Al₂O₃ do *pellet feed* para níveis não compatíveis com o mercado.

Valores do fator de enriquecimento (concentração magnética de alta intensidade) estão na Tabela VII.

Tabela VII. Fator de enriquecimento na concentração magnética de alta intensidade

Amostra	% Fe	% SiO ₂	% P	% Al ₂ O ₃	% PPC
Pobre	1,089	0,302	0,785	0,6103	0,687
Rica	1,047	0,559	0,777	0,6068	0,6825

5. CONCLUSÕES

Os circuitos de concentração magnética de baixa e alta intensidade viabilizam a redução nos teores de SiO₂, Al₂O₃, P e PPC agregando valor metálico ao concentrado final. Os resultados são compatíveis com a necessidade de mercado.

Para o dimensionamento do circuito industrial, prevaleceu o valor de 9,97% para a recuperação em massa da concentração magnética de baixa intensidade posto que foram contabilizados 7 valores inferiores ao indicado e 75 valores superiores. Os valores de recuperação em massa encontrados nos testes de variabilidade contabilizam 93,75% maiores que os do teste piloto.

O circuito adotado foi conjugado com as duas concentrações magnéticas, baixa e alta intensidade. Prevaleceu a recuperação em massa de 9,97% para o circuito de baixa intensidade e 71,78% para o circuito de alta intensidade. Estes valores servirão de base para o dimensionamento do circuito industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, A.C., Amarante, S.C., Souza, C.C., Silva, R.R.R. Ore mineralogy and its relevance for selection of concentration methods in processing of Brazilian iron ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 112:4, p.54-63, 2003.
- Barros, L.A.F. Caracterização tecnológica de minério fosfático de Salitre – Patrocínio – MG. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 468 p., 2006.
- Cabral, A.S. Rotas de processo para minérios goethíticos. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 85 p., 2010.
- Queiroz, L.A. Caracterização de minérios da mina de Brucutu, VALE, focada na previsibilidade das operações de concentração mineral. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 351 p., 2008.
- Vieira, M.G. Produção de um pellet feed a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da Samarco. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 90 p., 2008.