5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TRATAMENTO DO MINÉRIO MAGNETÍTICO

5.1.1. Análise Química

Os resultados da análise química via fluorescência de Raios-X, realizada no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Poli/USP para o minério ROM (Amostra G), utilizada nos testes de caracterização tecnológica, estão indicados na **Tabela 27**.

Tabela 27 – Análise química do minério ROM (Amostra G)

Fe _{total}	SiO2	A_2O_3	Na ₂ O	MgO	Р	SO ₃	K ₂ 0	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Co ₃ O ₄	PF
37,1	44,91	0,26	nd	1,23	0,065	0,02	0,01	0,11	0,02	0,04	0,24	0,02	0,64

Vale ressaltar a qualidade química do ROM, sem passar por nenhuma etapa de concentração, o minério apresenta uma baixa quantidade de elementos deletérios, tais como, alumina (Al₂O₃), fósforo (P) e álcalis (Na e K).

5.1.2. Distribuição %Fe por Faixa Granulométrica

A **Tabela 28** e a **Figura 52** apresentam a distribuição do material bruto de mina (ROM) nas diferentes faixas granulométricas após sofrer uma cominuição a ¼[°], conforme descrição anterior no item **4.2.1.1 – Preparação da Amostra**.

		ALIMENTA	ÇÃO (moído a	baixo de 1/4")	- Amostra G				
	Distribuição da Granulometria Corrigida - ROSIN RAMMLER								
Abertura (µm)	Mesh (#)	Log Abertura	% Acum. Retido	% Passante	% Acum. Passante Calc	Log % Acum. Passante			
6.350	3	3,80	0,00	100,00	63,21	1,207			
4.000	5	3,60	31,59	68,41	63,21	0,062			
2.000	9	3,30	60,23	39,77	63,21	-0,295			
1.000	16	3,00	74,92	25,08	63,21	-0,539			
500	32	2,70	80,46	19,54	63,21	-0,663			
210	65	2,32	87,57	12,43	63,21	-0,877			
150	100	2,18	90,70	9,30	63,21	-1,011			
106	150	2,03	92,33	7,67	63,21	-1,098			
75	200	1,88	93,30	6,70	63,21	-1,159			
44	325	1,64	96,80	3,20	63,21	-1,488			
37	400	1,57	98,05	1,95	63,21	-1,705			
- 37	- 400		100,00	0,00	63,21				
MASSA	A (g):	3.931,60							
			coef.âng.=	0,96	coef.corr.=	0,94			
			coef.linear=	-3,14	d ₈₀ (μm) =	2.986			
					d ₅₀ (μm) =	1.246			

Tabela 28 - Distribuição granulométrica corrigida



Figura 52 - Curva de distribuição granulométrica corrigida

Distribuição %Fe por Faixa Granulométrica

A **Tabela 29** mostra a análise química (teor) e a distribuição do ferro no material bruto de mina (ROM), pelas diferentes faixas granulométricas, após sofrer uma cominuição a ¼", em britador de mandíbulas, conforme descrição anterior.

DISTRIBL	JIÇÃO GRAN	ULOMÉTRIC	A	FER	RO
MALHAS (mesh Tyler)	MASSA (g)	Massa (%)	RET. (%)	TEOR (%)	DIST. (%)
-1/4" +5#	1.242,08	31,59	31,59	35,35	30,91
-5# +9#	1.125,97	28,64	60,23	36,23	28,72
-9# +16#	577,39	14,69	74,92	35,86	14,58
-16# +32#	218,00	5,54	80,46	35,68	5,48
-32# +65#	279,51	7,11	87,57	40,49	7,97
-65# +100#	123,14	3,13	90,70	41,93	3,64
-100# +150#	64,13	1,63	92,33	40,13	1,81
-150# +200#	38,09	0,97	93,30	39,08	1,05
-200# +325#	137,56	3,50	96,80	34,39	3,33
-325# +400#	48,87	1,24	98,05	29,90	1,03
-400#	76,86	1,95	100,00	27,58	1,49
TOTAL CALC.	3.931,60	100,00		36,13	100,00
A	ANÁLISE QUÍ	MICA		36,06	

Tabela 29 – Distribuição %Fe por faixa granulométrica

Fonte: NOMOS Análise Mineral Ltda

5.1.3. Grau de Liberação

A **Figura 53** apresenta a curva do grau de liberação das partículas do minério em função do tamanho dos grãos. Observa-se que cerca de 80% de liberação já é obtida em torno de 0,15 mm (100 mesh Tyler). Assim este tamanho é o mais adequado para o tratamento deste minério magnetítico.



Figura 53 – Curva de grau de liberação

5.1.4. Índice de Trabalho (WI)

Índice de Trabalho para Moagem (BWI)

A **Tabela 30** apresenta os dados do teste para determinação do índice de trabalho para moagem.

Tabela 30 – Dados para determinação do índice de trabalho para moagem de Bond

% passante na análise granulométrica:	0,06
Massa da Alimentação (g):	1520,1
AAR:	434,31

			Pr	oduto do M	oinho (g)		
Ciclos	Nº de Rotações	Massa (g) de Alimentação Passante s/ moer	Massa Retida	Massa Passante	Massa Líquido de Produto Passante	Desvio	Mob (g/rot)
1	150	91,64	1.110,30	409,80	318,16	-24,51	2,12
2	193	24,70	1.150,88	369,22	344,52	-65,09	1,78
3	231	22,26	1.095,20	424,90	402,64	-9,41	1,74
4	234	25,61	1.108,62	411,48	385,87	-22,83	1,65
5	249	24,81	1.059,40	460,70	435,89	26,39	1,75
Total						29,40	1,71

 $BWI = \frac{44,5}{Am^{0,23}GBP^{0,82}\left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}\right)}$

Onde:

- BWI Índice de Trabtestealho para moagem (kWh/ tonelada curta)
- Am Abertura da malha de classificação do ensaio (μm) = 150 μm
- P Abertura da peneira pela qual passam 80% da massa dos produtos (μ m) = 111,2 μ m.
- F Abertura da peneira pela qual passam 80% da massa da alimentação (μm) = 2.785,5 μm.
- GBP Média dos três índices de moabilidade no estado de equilíbrio. =
 1,71 g/ rotação.

O Índice de Trabalho para moagem (BWI) é:

$$BWI = 13,10\frac{kWh}{t} = 11,91\frac{kWh}{st}$$

O resultado obtido esta na faixa superior para a moagem primária dos itabiritos friáveis que ocorrem na região do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, que apresentam valores em torno de 7,3 kWh/ toneladas curta (st). Entretanto, esses valores são compatíveis com os que vêm sendo obtidos para os diversos minérios de ferro compactos que ocorrem tanto em Minas Gerais como em outras regiões do país.

Índice de Britagem (CWI)

A **Tabela 31** apresenta os dados do teste para determinação do índice de britagem.

Teste	Ângulo (º)	Espessura (mm)	Ângulo inicial (º)	Variações de ângulo (º)
1	24	38,60	10	3
2	28	36,95	20	2
3	26	34,83	22	2
4	38	36,23	20	2
5	22	24,47	20	2
6	24	26,27	20	2
7	24	41,34	20	2
8	26	40,35	20	2
9	28	29,38	20	2

Tabela 31 – Dados para determinação do índice de britagem de Bond

O índice de britabilidade (CWI) é:

$$CWI = 7,68 \frac{kWh}{t} = 6,98 \frac{kWh}{st}$$

5.1.5. Ensaio de Moagem

Para cada um dos seis tempos de moagem (1, 2, 4, 8, 16 e 32 minutos) foram traçadas as curvas granulométricas abaixo apresentadas (**Figura 55** até a **Figura 60**) e determinados os P80 de cada um desses tempos de moagem.

A curva da **Figura 54** não foi obtida através da moagem, sendo referente à curva do material britado no britador de rolos e que serviu de alimentação para os demais ensaios de moagem.



Figura 54 – Distribuição granulométrica do material de alimentação do ensaio de moagem



Figura 55 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 1 minuto



Figura 56 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 2 minutos



Figura 57 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 4 minutos



Figura 58 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 8 minutos



Figura 59 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 16 minutos



Figura 60 – Distribuição granulométrica para o produto da moagem a 32 minutos

Assim, a partir das curvas de distribuição granulométricas apresentadas nas **Figuras 55** a **60**, a curva dos tempos de moagem em função dos P80 foi construída e é apresentada na **Figura 61**.



Figura 61 – Curva tempo de moagem vs P80

5.1.6. Ensaio de Concentração Física

5.1.6.1. Análise Granulométrica

As **Tabelas 32** a **36** apresentam os resultados das distribuições granulométricas para os produtos de moagem dos P80 iguais a 35, 42, 60, 100 e 150 mesh Tyler.

Para os produtos de moagem com P80 iguais a 35, 42 e 60 mesh Tyler foi realizado ainda uma análise da distribuição do teor de ferro por faixa granulométrica, apresentado juntamente com os resultados da distribuição granulométrica nas **Tabelas 32**, **33** e **34**.

P ₈₀ :	35#	417 µm			
Granulometria	Retido (%)	Acumulado Retido (%)	Acumulado Passante (%)	Teor de Fe (%)	Teor Acumulado de Fe (%)
-16# +28#	21.65	21.65	78.35	35.20	35.20
-28# +32#	9.02	30.67	69.33	34.73	35.06
-32# +65#	29.58	60.25	39.75	38.68	36.84
-65# +100#	11.42	71.67	28.33	39.78	37.31
-100#+150#	4.64	76.31	23.69	39.28	37.43
-150# +200#	3.60	79.91	20.09	37.06	37.41
-200#+325#	10.78	90.69	9.31	34.38	37.05
-325# +600#	5.88	96.57	3.43	29.53	36.59
-600#	3.43	100.00	-	27.15	36.27

Tabela 32 – Distribuição granulométrica P80 = 35#

P ₈₀ :	42#	354 µm			
Granulometria	Retido (%)	Acumulado Retido (%)	Acumulado Passante (%)	Teor de Fe (%)	Teor Acumulado de Fe (%)
-16# +28#	11.78	11.78	88.22	35.01	35.01
-28#+32#	6.90	18.67	81.33	34.58	34.85
-32# +65#	31.49	50.16	49.84	37.55	36.55
-65# +100#	12.07	62.23	37.77	39.87	37.19
-100#+150#	9.92	72.15	27.85	39.44	37.50
-150#+200#	8.59	80.74	19.26	36.80	37.43
-200#+325#	8.57	89.31	10.69	33.59	37.06
-325#+600#	6.57	95.88	4.12	30.09	36.58
-600#	4.12	100.00	-	27.93	36.22

Tabela 33 – Distribuição granulométrica P80 = 42#

Tabela 34 – Distribuição granulométrica P80 = 60#

P ₈₀ :	60#	250 µm			
Granulometria	Retido (%)	Acumulado Retido (%)	Acumulado Passante (%)	Teor de Fe (%)	Teor Acumulado de Fe (%)
-16# +28#	2.08	2.08	97.92	37.21	37.21
-28#+32#	2.24	4.32	95.68	35.25	36.19
-32# +65#	27.67	31.99	68.01	40.72	40.11
-65# +100#	16.65	48.63	51.37	41.31	40.52
-100#+150#	8.66	57.29	42.71	39.57	40.37
-150# +200#	9.27	66.56	33.44	37.78	40.01
-200#+325#	13.64	80.20	19.80	33.93	38.98
-325#+600#	11.82	92.02	7.98	32.12	38.10
-600#	7.98	100.00	-	28.25	37.31

P ₈₀ :	100#	149 µm	
Granulometria	Retido	Acumulado	Acumulado
Grandiometria	(%)	Retido (%)	Passante (%)
-16# +28#	-	-	100.00
-28# +32#	0.04	0.04	99.96
-32# +65#	6.66	6.70	93.30
-65# +100#	16.17	22.87	77.13
-100#+150#	9.70	32.57	67.43
-150# +600#	52.56	85.13	14.87
-600#	14.87	100.00	-

Tabela 35 – Distribuição granulométrica P80 = 100#

Tabela 36 – Distribuição granulométrica P80 = 150#

P ₈₀ :	150#	105 µm	
Granulomotria	Retido	Acumulado	Acumulado
Granulometha	(%)	Retido (%)	Passante (%)
-16# +28#	-	-	100.00
-28# +32#	0.00	0.00	100.00
-32# +65#	1.47	1.48	98.52
-65# +100#	9.66	11.13	88.87
-100# +150#	8.44	19.57	80.43
-150# +600#	60.12	79.70	20.30
-600#	20.30	100.00	-

Observa-se que a partir da moagem para um P_{80} de 100#, a fração retida acumulada até 150# diminui significativamente (da faixa de 80% a 60% para a de 30% a 20%), o que inviabilizaria a possibilidade de obtenção de uma massa

significativa de rejeito a partir de uma concentração gravítica com o material moído a um *top size* mais alto.

Dessa forma, os ensaios em meio denso foram realizados somente para os produtos de moagem com P_{80} de 35#, 42# e 60#. Os resultados desses ensaios são apresentados no item a seguir.

5.1.6.2. Separação em Meio Denso

Os resultados dos ensaios em meio denso (bromofórmio, $\rho = 2,8$) dos produtos das moagens com os diferentes P₈₀ de 35, 42 e 60 mesh Tyler, são apresentados nas **Tabelas 37** a **39**.

Tabela 37 – Resultado separação meio denso (Amostra G, P80 = 35#)

			Sepa	aração en	n Meio D	enso		
Granulamatria		Pes	ado			Le	ve	
Granulometria	Ma	issa	Fe	rro	Ma	issa	Fe	rro
	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum
-16# +28#	76,01	76,01	43,41	43,41	23,99	23,99	9,20	9,20
-28# +32#	73,12	75,16	44,18	43,79	26,88	24,84	9,04	9,12
-32# +65#	73,32	74,26	49,85	45,78	26,68	25,74	7,99	8,73
-65# +100#	67,80	73,23	55,35	48,02	32,20	26,77	6,98	8,22
-100# +150#	65,23	72,74	56,74	49,62	34,77	27,26	6,51	7,80
-150# +200#	61,17	72,22	56,19	50,58	38,83	27,78	6,93	7,62
-200# +325#	57,01	70,41	55,27	51,15	42,99	29,59	6,66	7,44

P₈₀: 35# 417 μm

Tabela 38 – Resultado separação meio denso (Amostra G, P80 = 42#)

P ₈₀ :	42#	354 µm

	Separação em Meio Denso							
Cronulomotrio		Pes	ado		ve	2		
Granulometria	Ma	issa	Fe	rro	Ma	issa	Fe	rro
	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum.
-16# +28#	75,19	75,19	43,54	43,54	24,81	24,81	9,17	9,17
-28# +32#	73,27	74,48	44,15	43,84	26,73	25,52	8,34	8,74
-32# +65#	73,20	73,68	48,57	45,40	26,80	26,32	7,44	8,30
-65# +100#	69,53	72,87	54,70	47,62	30,47	27,13	6,03	7,66
-100# +150#	66,07	71,94	57,07	49,37	33,93	28,06	5,12	7,06
-150# +200#	61,35	70,81	56,85	50,47	38,65	29,19	4,99	6,62
-200# +325#	56,59	69,45	54,12	50,90	43,41	30,55	6,84	6,66

Tabela 39 - Resultado separação meio denso (Amostra G, P80 = 60#)

P₈₀: 60# 250 μm

	Separação em Meio Denso							
Granulamatria		Pes	ado		Leve			
Granufornetria	Ma	issa	Fe	rro	Ma	issa	Fe	rro
	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum.	%	% Acum.
-16# +28#	75,65	75,65	46,27	46,27	24,35	24,35	9,07	9,07
-28# +32#	72,04	73,78	45,62	45,95	27,96	26,22	8,52	8,78
-32# +65#	72,76	72,90	53,19	48,34	27,24	27,10	7,41	8,31
-65# +100#	68,17	71,28	57,79	50,57	31,83	28,72	6,02	7,65
-100# +150#	63,84	70,16	58,91	52,08	36,16	29,84	5,41	7,10
-150# +200#	62,29	69,06	57,85	52,95	37,71	30,94	4,62	6,60
-200# +325#	57,45	67,09	55,35	53,24	42,55	32,91	5,03	6,30

A comparação entre as massas e teores obtidos para as frações leves na fração granulométrica de -16# +150# para os produtos de moagem a diferentes P_{80} , conforme apresentado na **Tabela 40**, permite concluir que uma moagem com P80 de 35# (0,420 mm) poderá obter um rejeito final (teor de Fe = 7,8%) de cerca de 21% do ROM reduzindo a carga a ser alimentada no moinho de bolas que deverá cominuir o material até 100# (0,150 mm), granulometria de liberação determinada anteriormente.

Por remover silicatos na fração Leve, a adoção de um fluxograma que faça essa pré-concentração gravítica a uma granulometria de moagem mais grosseira (P₈₀ = 35#) permitirá não apenas reduzir a carga, como o WI do material ("Pesado") que alimentará o moinho de bolas.

	Massa ¹	LE\	/ES	PESADOS		
P80	Acum. Retida (%)	Massa ¹ Acum. (%)	Fe % Acum.	Massa ¹ Acum. (%)	Fe % Acum.	
35#	76,31	20,80	7,80	55,51	49,62	
42#	72,15	20,25	7,06	51,90	49,37	
60#	57,29	17,10	7,10	40,20	52,08	

Tabela 40 – Comparação de produtos leves e pesados até a fração +150#para diferentes P₈₀

(1) - % de Massas referentes ao ROM.

5.1.6.3. Mineralogia

Para as frações de Leve e Pesado resultantes da separação em meio denso por faixa granulométrica do material moído com P_{80} igual a 35# (0,420 mm), foi realizado uma análise mineralógica detalhada, submetendo-se cada fração granulométrica a uma progressiva separação magnética no equipamento "*Frantz*", iniciada com 0,05 até 1,0 ampere.

As principais espécies minerais presentes são magnetita, hematita, quartzo e anfibólio (principalmente a grunerita). Nas **Tabelas 41** e **42**, apresenta-se um resumo da análise mineralógica para as frações de pesados e leves da Amostra G com P80 igual a 35# (0,420 mm) e mostra que a realização de uma operação de concentração gravítica para as frações de -16# a +325# indica possibilidade de eliminação de um rejeito final (leve) com 26,8% da massa de alimentação e teor de ferro de cerca de 3%.

Os grãos mistos estão representados nas tabelas com os minerais presentes entre parêntesis, isto é, no caso de um grão misto com N minerais a representação é (Mineral 1 + Mineral 2 +...+ Mineral N).

Tabela 41 – Resumo da mineralogia da fração de pesado do *ROM* (Amostra G, P80 = 35#)

FRAÇÃO PESADO	PRINCIPAIS GRÃOS	MASSA (% na Fração)	MASSA Acum. (%)	TEOR ESTIMADO* Fe (%)	ESTIMATIVA TEOR Fe ACUM. (%)
-16# +28#	Magnetita; Hematita; Anfibólio; e (Magnetita + Quartzo + Anfibólio)	76,01	16,45	48,21	48,21
-28# +32#	Magnetita; (Magnetita + Quartzo); e (Magnetita + Quartzo + Anfibólio)	73,12	23,05	52,93	49,56
-32# +65#	Magnetita; Anfibólio; e (Magnetita + Quartzo)	73,32	44,74	44,67	47,19
-65# +100#	Magnetita; Hematita; Anfibólio; e (Magnetita + Quartzo)	67,80	52,48	56,84	48,61
-100# +150#	Magnetita; Anfibólio; e (Magnetita + Anfibólio)	65,23	55,51	54,38	48,93
-150# +200#	Magnetita; e Anfibólio	61,17	57,71	56,09	49,20
-200# +325#	Magnetita; Hematita; e Anfibólio	57,01	63,86	59,71	50,21

*valores estimados a partir da mineralogia.

FRAÇÃO LEVE	PRINCIPAIS GRÃOS	MASSA (% na Fração)	MASSA ACUM. (%)	TEOR ESTIMADO* Fe (%)	ESTIMATIVA TEOR Fe ACUM. (%)
-16# +28#	Quartzo; (Quartzo + Anfibólio); e (Quartzo + Anfibólio + Sílica Amorfa)	23,99	5,19	4,09	4,09
-28# +32#	Quartzo; e (Quartzo + Anfibólio)	25,90	7,62	1,45	3,25
-32# +65#	Quartzo; e Anfibólio	26,68	15,51	3,10	3,17
-65# +100#	Quartzo; e Anfibólio	32,20	19,19	1,66	2,88
-100# +150#	Quartzo	34,77	20,80	1,55	2,78
-150# +200#	Quartzo; e Anfibólio	38,83	22,20	1,92	2,73
-200# +325#	Quartzo; e Anfibólio	42,99	26,83	4,17	2,98

Tabela 42 – Resumo da mineralogia da fração de leve do *ROM* (Amostra G, P80 = 35#)

*valores estimados a partir da mineralogia.

Em relação à susceptibilidade do minério, a **Tabela 43** apresenta o resultado da separação magnética realizada no "*Frantz*" com a fração pesado em baixa intensidade de campo magnético (0,05 A e 0,10 A). É possível observar que após a concentração gravítica, a aplicação de uma separação magnética de baixa intensidade na fração pesado eleva ainda mais o teor de ferro acumulado, principalmente para as granulometrias abaixo de 100# (0,150 mm), tamanho onde 80% das partículas encontram-se liberadas. Em algumas destas frações granulométricas são estimados teores de ferro superior a 70%.

Corrente "Franz"	Granulometria	Massa ROM (%)	Massa Acum. (%)	Teor Estimado Fe(%)*	Teor Estimado Fe Acum. (%)
	-16# +28#	3,36	3,36	54,93	54,93
-	-28# +32#	3,08	6,43	60,22	57,46
21	-32# +65#	11,00	17,43	51,74	53,85
0,0	-65# +100#	3,58	21,01	62,20	55,27
ıté	-100# +150#	1,18	22,19	62,19	55,64
.0	-150# +200#	0,69	22,89	70,12	56,08
	-200# +325#	1,76	24,65	68,38	56,96
	-16# +28#	6,61	6,61	49,23	49,23
V. 05	-28# +32#	0,85	7,46	49,63	49,28
6 0 / 0	-32# +65#	2,03	9,50	34,39	46,09
a d 0,1	-65# +100#	0,81	10,30	56,87	46,94
lté m	-100# +150#	0,41	10,71	56,64	47,31
Aci	-150# +200#	0,34	11,05	55,74	47,56
	-200# +325#	0,71	11,76	70,25	48,93
тот	AL (até 0,10 A)		36,41		54,37

Tabela 43 – Separação magnética "Frantz" da fração de pesado do *ROM* (Amostra G, P80 = 35#)

*valores estimados a partir da mineralogia.

Finalmente, os resultados da caracterização tecnológica indicam que uma rota de beneficiamento para este minério magnetítico deve aproveitar as características principais do minério como grau de liberação, diferença de densidade e susceptibilidade magnética do mineral de interesse, além de possuir um baixo custo. Assim, o fluxograma de tratamento proposto encontra-se adequado e atendeu as expectativas produzindo concentrados (*pellet feed*) de boa qualídade química.

Adicionalmente aos concentrados *pellet feed*, desejados neste trabalho para produção das pelotas. O fluxograma proposto também produz em *sinter feed* especial. Uma amostra de superfície, coletada na área *Shear Zone* com um teor médio de 52,8% Fe e gerou um *sinter feed* especial com 63,59% Fe e recuperação de massa de 50,47%.

A **Tabela 44** apresenta a distribuição granulométrica para o *sinter feed* especial.

GRANULOMETRIA	DISTRIBUIÇÃO
-1,00 mm +0,500 mm	25,66%
-0,500 mm +0,297 mm	20,32%
-0,297 mm +0,210 mm	17,88%
-0,210 mm +0,149 mm	15,36%
-0,149 mm +0,105 mm	20,78%
TOTAL	100,00%

Tabela 44 – Distribuição granulométrica do sinter feed

5.2. PELOTIZAÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de pelotização para cada um dos três tipos de pelotas produzidas, que utilizaram dois tipos de aglomerantes e foram submetidas a dois diferentes processos de queima, conforme relembrado:

- Amostra RD
 - ✓ Aglomerante: Peridur (carboximetilcelulose);
 - ✓ Processo de Queima: grelha reta + rotativo (BSIET);
- Amostra AF I
 - ✓ Aglomerante: Bentonita;
 - ✓ Processo de Queima: grelha reta + rotativo (BSIET);
- Amostra AF II
 - ✓ Aglomerante: Bentonita;
 - ✓ Processo de Queima: grelha reta (Lurgi-Dravo/Outotec)

Foram utilizados dois tipos de aglomerantes para as misturas de pelotização. A amostra RD utilizou aglomerante orgânico (Peridur) para pelotização em disco, e as pelotas produzidas apresentaram um acabamento superficial ruim, ficaram enrugadas, provavelmente, devido à alta densidade do material e baixa ganga da mistura, que com pouca porosidade expulsa água para fora da pelota carreando ultrafinos e, assim, ocorre formação de uma lama que dá o aspecto de rugosidade. As amostras AF I e AF II utilizaram bentonita como aglomerante e produziram pelotas com a superfície lisa e bom acabamento superfícia.

Analisando a influência do processo de queima na qualidade superficial das pelotas, foi observado que a pelota AF I produzida pelo processo grelha móvel + forno rotativo apresentou um acabamento superficial muito bom e isso é devido ao movimento de rolamento que as pelotas têm dentro do forno rotativo e com isso elas vão ficando mais esféricas e lisas porque em cada volta vão perdendo as arestas e imperfeições do processo de pelotamento no disco. Por outro lado isso pode gerar depositos nas paredes internas do forno rotativo. Por este motivo é sempre bom ter uma alta eficiencia de acabamento no disco para que as pelotas rolem sem deixar depositos nas paredes internas do forno.

A **Tabela 45** apresenta o resultado da análise química via método de fluorescência de Raios-X e titulação (FeO) para cada um dos três tipos pelotas (queimadas) produzidas.

PELOTA	Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Р	Bas2 ^a
AF I	63,15%	3,16%	5,03%	0,44%	2,78%	0,57%	0,045%	0,55
AF II	63,52%	12,99%	4,49%	0,49%	2,68%	0,47%	0,049%	0,60
RD	66,30%	7,14%	3,26%	0,32%	1,25%	0,48%	0,035%	0,38

Tabela 45 – Análise química das pelotas queimadas

5.2.1. Ensaios Físicos

De maneira geral, os três tipos de mistura apresentaram condições favoráveis para formar pelotas nos discos de pelotização. Quanto aos aspectos físicos da pelota queimada, a pelota AF I e a RD apresentaram boas propriedades físicas enquanto a pelota AF II apresentou uma qualidade física marginal. Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios físicos realizados.

5.2.1.1. Umidade (Pelota Crua)

A **Tabela 46** apresenta o percentual de umidade em cada um dos três tipos de pelotas cruas produzidas.

PELOTA	Umidade
AF I	7,12%
AF II	7,39%
RD	7,10%

Tabela 46 – Umidade	(pelota crua)
---------------------	---------------

Os resultados indicam que o minério não necessita de grande quantidade de água para palotizar.

5.2.1.2. Número de Quedas (Pelota Crua)

A **Tabela 47** apresenta os resultados, para cada um dos três tipos de pelotas, do ensaio de número de quedas a partir de uma altura de 46 cm que uma pelota crua (-12,5 mm +9,5 mm) resiste sem degradar-se.

PELOTA	Número de Quedas
AF I	4,1
AF II	3,6
RD	4,4

Tabela 47 – Número de quedas (pelota crua)

As pelotas AF I e RD apresentaram resultados superiores a 4 (quatro) quedas, valor mínimo exigido, enquanto a pelota AF II apresentou valor um pouco abaixo do mínimo.

Observação⁽³⁴⁾:

De acordo com experiência, o valor mínimo é quatro quedas. Como resultado, uma pelota deve resistir, sem danos, a pelo menos, quatro quedas de uma altura de 46 cm. Se os valores necessários não forem alcançados com apenas o minério, ligantes são adicionados. O diâmetro das pelotas também deve ser indicado para a determinação do número de queda, pois, nesse caso, também existem correlações.

5.2.1.3. Resistência à Compressão (Pelota Crua)

A **Tabela 48** apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão da pelota crua, para cada um dos três tipos de pelotas produzidos.

PELOTA	Resistência à Compressão (daN/pel)
AF I	2,17
AF II	2,35
RD	2,21

Tabela 48 – Resistência à compressão (pelota crua)

5.2.1.4. Resistência à Compressão (Pelota Seca)

A **Tabela 48** apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão da pelota seca, para cada um dos três tipos de pelotas produzidos.

PELOTA	Resistência à Compressão (daN/pel)
AF I	2,23
AF II	3,01
RD	1,83

Tabela 49 – Resistência à compressão (pelota seca)

O normal é que as pelotas secas fiquem mais resistentes do que as pelotas úmidas, como apresentado nos resultados das pelotas AF I e AF II. No caso das pelotas RD, as pelotas secas ficaram mais fracas, com compressão menor do que as pelotas úmidas, o que se acredita ser devido à baixa ganga adicionada.

Observação⁽³⁴⁾:

Devido à baixa resistência mecânica das pelotas cruas, os projetistas de plantas de pelotização buscam fazer o trajeto pelotamento – forno o mais curto possível com um número mínimo de pontos de transferência e menores alturas de queda.

Em modernas plantas de grelha móvel, por exemplo, os tempos de transporte são entre 2 e, no máximo, 4 minutos com 4 a 5 pontos de transferência e altura de queda entre 60 e 100 cm.

As pelotas cruas não devem degradar-se durante o manuseio, requer uma resistência à compressão da ordem de 3 a 4 daN/pelota e, também, não pode degradar-se durante a secagem, efeito este causado pelos aglomerantes e a precipitação de sais.

5.2.1.5. Resistência à Compressão (Pelota Queimada)

Foram utilizadas nos testes de resistência à compressão, pelotas com granulometria entre 9,5 mm até 12,5 mm. Para as pelotas AF II, queimadas pelo processo de grelha reta foram analisadas a diferença entre as pelotas da camada superior e inferior. Já para as pelotas AF I e RD que foram queimadas no processo grelha reta + rotativo, foi feito ainda uma análise da resistência à compressão para as pelotas pré-queimadas na grelha reta, verificando as resistências das camadas superior e inferior. As **Tabelas 50**, **51** e **52** apresentam os resultados desse teste.

Tabela 50 – Resistência à compressão – Pelotas AF I (-12,5 mm +9,5 mm)

ΡΕΙ ΟΤΑ	PELOTA PRÉ	ΡΕΙ ΟΤΑ	
AFI	CAMADA SUPERIOR	CAMADA CAMADA SUPERIOR INFERIOR	
daN/ pelota	140,72	122,6	339,1
<100 kg (%)	30	48	2
<200 kg (%)	70	82	6

|--|

ΡΕΙ ΟΤΑ	PELOTA QUEIMADA				
AF II	CAMADA SUPERIOR	CAMADA INFERIOR	MÉDIA DA PELOTA		
daN/ pelota	149	113	126		
<100 kg (%)	36	46	43		
<200 kg (%)	70	92	83		

Tabela 52 –	Resistência	à com	pressão –	Pelotas	RD	(-12,5)	mm	+9,5	mm)
-------------	-------------	-------	-----------	---------	----	---------	----	------	-----

ΡΕΙ ΟΤΑ	PELOTA PRÉ	ΡΕΙ ΟΤΑ		
RD	CAMADA SUPERIOR	CAMADA INFERIOR	QUEIMADA	
daN/ pelota	235	191	291	
<100 kg (%)	6	16	6	
<200 kg (%)	26	64	26	

Analisando os resultados de resistência à compressão da pelota queimada, observamos que as pelotas AF I e RD apresentaram uma boa resistência, mas foi baixa para as pelotas AF II, que teve queima atrapalhada

devido à perda de permeabilidade no leito na manobra da secagem ascendente/ secagem descendente causado pela desintegração de cerca de 2% das pelotas dentro da panela.

A resistência à compressão esta relacionada ao teor de FeO nas pelotas. Quanto maior é o teor de FeO na pelota queimada, menor é sua resistência à compressão.

A **Tabela 53** apresenta o teor (%) de FeO presente nas pelotas antes e após a queima nos fornos. Observa-se que as pelotas queimadas apresentaram um alto teor de FeO, principalmente as pelotas RD e AF II, não obstante ter sido utilizada mistura gasosa com oxigênio em excesso em todos os testes para garantir a oxidação da magnetita. O ideal é que as pelotas queimadas possuam menos de 1% de FeO. No caso das pelotas AF II, provavelmente devido a perda de permeabilidade no leito foi gerado um problema operacional na atmosfera do forno, tornando-a redutora, o que elevou o teor de FeO nas pelotas após a queima.

	Teor (%) de FeO		
PELOTA	Pelota Crua	Pelota Queimada	
AF I	17,45	3,16	
AF II	6,90	12,99	
RD	25,91	7,14	

Tabela 53 – Variação do teor de FeO na pelota com a queima

A **Figura 62** mostra uma fotografia das pelotas quebradas nos testes de compressão indicando que ocorreu a formação de um fenômeno conhecido como núcleo-casca, onde as pelotas de magnetita apresentam núcleos formados preferencialmente por magnetita e uma casca formada preferencialmente por hematita.



Figura 62 – Fotografia das pelotas quebradas no teste de resistência à compressão

Este fenômeno núcleo-casca foi observado em todos os três testes de pelotização realizados, sendo em menor intensidade para as pelotas AF I, onde a maior parte das pelotas não ficou magnética, mesmo as que tinham casca. Já no caso das pelotas RD e AF II, praticamente todas as pelotas ficaram magnéticas.

Segundo trabalhos publicados, o fenômeno núcleo-casca é causado principalmente, pela diferença de temperatura no núcleo e na superfície da pelota durante a queima, resultado do desequilíbrio de duas fontes de energia, isto é, adição de combustível sólido e magnetita (calor interno) e os gases usados para pelotização (calor externo) ⁽³⁵⁾. Alta quantidade de magnetita no núcleo da pelota indica alta temperatura no núcleo da pelota e/ou condições de redução devido à presença de carbono.

Além disso, existe a questão da granulometria do pellet feed que não precisa ser muito pequena. Quando a pelota começa a oxidar, uma casca de hematita é formada enquanto o núcleo ainda é magnetita. A sinterização da fase magnetita começa primeiro (950°C) comparado com a fase hematita (1.100°C). A taxa de sinterização de ambas as fases aumenta quanto menor for a granulometria do concentrado magnetítico. Por tanto, a moagem mais fina do pellet feed promove a indesejável formação de uma estrutura com um núcleo de magnetita e uma casca de hematita, causando uma diminuição da taxa de oxidação e produzindo pelotas com menor resistência mecânica e qualidade metalúrgica ⁽³⁶⁾.

5.2.1.6. Porosidade

O grau de porosidade (P) das pelotas é obtido através da seguinte fórmula:

$$P = \left(\frac{D_{verd} - D_{apar}}{D_{verd}}\right) * 100$$

A Densidade Verdadeira (D_{verd}) foi medida por um picnômetro a hélio. Para o cálculo da Densidade Aparente (D_{apar}), o volume da pelota foi medido com o auxílio de um paquímetro e considerando que a pelota é uma esfera perfeita.

$$D_{apar} = rac{Peso}{Volume}$$
 e $Volume = rac{4}{3}\pi r^3$

Conforme apresentado na **Tabela 54** a porosidade média das pelotas AF I, AF II e RD apresentaram porosidade média igual a 23,80%, 24,97% e 40,74%, respectivamente; o que são considerados bons resultados.

Pelota	Peso (g)	Diâmetro (mm)	Volume (cm³)	Densidade Aparente (g/cm³)	Densidade Verdadeira (g/cm³)	Porosidade (%)
	2,312	10,68	0,638	3,625	4,659	22,20
AFI	2,011	10,26	0,566	3,556	4,659	23,67
AFT	2,014	10,35	0,581	3,469	4,659	25,54
		23,80				
	2,978	11,90	0,882	3,375	4,404	23,36
AF II	2,856	11,78	0,856	3,337	4,404	24,23
	3,014	12,16	0,941	3,201	4,404	27,31
					Média:	24,97
	3,404	12,06	0,918	3,706	6,158	39,81
PD	3,284	12,10	0,928	3,540	6,158	42,51
ND	3,374	12,03	0,912	3,701	6,158	39,90
					Média:	40,74

Tabela 54 - Porosidade das pelotas

Vale destacar que a pelota RD difere-se das demais por possuir baixa ganga (3%) e ter utilizado aglomerante orgânico, que com a temperatura dos fornos se queima, contribuindo para uma maior porosidade.

Observação⁽³⁴⁾:

Atualmente, não é atribuída grande importância para a determinação da microporosidade, que há algum tempo foi considerada tão importante para evolução da velocidade de redução das pelotas. De acordo com experiências, esta velocidade é na prática, sempre tão grande quanto à variação de porosidade entre cerca 10 – 30%, dificilmente causam grandes diferenças e a maior parte das pelotas de qualidades é dentro da parte superior deste intervalo. Apenas as pelotas de uma estrutura muito vítrea podem ser mais densas, mas tais pelotas são exceções.

5.2.1.7. Granulometria

A **Tabela 55** apresenta a distribuição granulométrica para cada um dos três tipos de pelotas produzidas.

FAIXA GRANULOMÉTRICA	PELOTA AF I	PELOTA AF II	PELOTA RD
+16 mm	0,00%	0,00%	2,08%
-16 mm +12,5 mm	56,23%	33,18%	55,11%
-12,5 mm +9,5 mm	42,10%	66,82%	40,74%
-9,5 mm	1,67%	0,00%	2,07%
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 55 - Distribuição granulométrica das pelotas

5.2.1.8. Abrasão / Tamboramento

A **Tabela 56** apresenta o resultado dos ensaios de abrasão e tamboramento para cada um dos três tipos de pelotas produzidas.

Tabela 56 – Índice de abrasão e tamboramento das pelotas

PELOTA	Abrasão (-0,5 mm)	Tamboramento (+6,3 mm)
AF I	5,0%	94,9%
AF II	3,7%	67,7%
RD	7,8%	92,2%

A pelota AF I apresenta um tamboramento de 94,9% e abrasão de 5,0% que demonstram uma qualidade muito boa. A pelota RD possui um tamboramento baixo de 92,2% e abrasão de 7,8%. Para ambas as pelotas houve preferencialmente geração de pó fino (abaixo de 0,5 mm) durante o teste de tamboramento.

Para pelota AF II o índice de tamboramento e abrasão foram de 67,7% e 3,7%, respectivamente, demonstrando que apenas 3,7% de pó fino foi gerado durante o teste, mas por outro lado, houve 28,6% de material granulado na faixa entre 0,5 mm e 6,3 mm, ou seja, sob ação de manuseio estas pelotas se partem em pedaços formados principalmente por cascas que se desprenderam da pelota e depois se partiram em partes menores. O alto teor de FeO (12,99%) é outro indicativo da qualidade marginal dessas pelotas.

5.3. REDUÇÃO

Os ensaios de redução realizados com as pelotas de minério magnetítico indicaram a importância de se oxidar toda a magnetita presente na pelota durante o processo de queima. Essa heterogeneidade causada pela formação de núcleos de magnetita e casca de hematita dificulta a redução.

Conforme disponível na literatura ^(28, 29, 30), é de grande importância à reação de redução da hematita para magnetita, onde nessa transformação anisotrópica da estrutura hexagonal compacta (HC) para estrutura de espinélio invertido cúbica de face centrada (CFC), normalmente, formam-se microfissuras no minério que aumentam a área superficial e permitem uma cinética mais favorável. Logo, é necessário durante a queima de pelotas magnetíticas, que se crie um ambiente propicio a esta oxidação.

5.3.1. Grau de Redução

O grau de redução (GR) é calculado a partir da fração oxigênio removido sobre o oxigênio inicial.

$$GR = \frac{(O_{2,i} - O_{2,t})}{O_{2,i}} * 100$$

A **Tabela 57** apresenta os resultados do grau de redução para as pelotas AF I. Foram realizados dois ensaios: o primeiro com três pelotas aleatórias (pelotas 1, 2 e 3) e o segundo, com três pelotas (pelotas 4, 5 e 6) selecionadas com menor susceptibilidade magnética, onde foi utilizado um imã como ferramenta de seleção. É possível observar um aumento significativo no grau de redução das pelotas menos magnéticas, que apresentaram um GR médio de 85,4% contra um de 73,8% das outras três pelotas aleatórias. Dentre as pelotas aleatórias, acredita-se que a pelota 3 possua baixa susceptibilidade magnética, isso justifica o valor do GR, mais próximo ao das pelotas 4, 5 e 6.

Pelota AF I	%(O _{2,i} - O _{2,t})	%O _{2,i}	GR (%)
Pelota 1	11,33		65,55
Pelota 2	11,29	17,29	65,31
Pelota 3	15,64		90,48
Pelota 4 ¹	13,46		77,87
Pelota 5 ¹	14,99	17,29	86,72
Pelota 6 ¹	15,81		91,46

Tabela 57 - Grau de redução das pelotas AF I

¹ - pelotas selecionadas com menor susceptibilidade magnética.

Para as pelotas AF II, devido estarem fortemente magnéticas (FeO = 12,99%), foi realizado um único ensaio de redução com três pelotas aleatórias. A **Tabela 58** apresenta os resultados do grau de redução para as pelotas AF II.

Tabela 58 – Grau de redução das pelotas AF II

Pelota AF II	%(O _{2,i} - O _{2,t})	%O _{2,i}	GR (%)
Pelota 1	13,12		77,82
Pelota 2	13,38	16,86	79,36
Pelota 3	17,05		100,00

Por último, a **Tabela 59** apresenta o grau de redução para as pelotas RD. Os resultados mostram que a pelota RD foi a que obteve melhor grau de redução, variando de 91,74 a 92,85%.

Pelota RD	%(O _{2,i} - O _{2,t})	%O _{2,i}	GR (%)
Pelota 1	16,61		92,57
Pelota 2	16,46	17,94	91,74
Pelota 3	16,66		92,85

Tabela 59 - Grau de redução das pelotas RD

Ainda com as pelotas RD foi realizado um ensaio de redução para pelotas com mais baixa susceptibilidade magnética (4, 5 e 6), mas com diferentes condições operacionais do teste. Foram modificadas a temperatura para 1.050° C e a atmosfera redutora, agora com 60% N₂ e 40% CO, mantendo a vazão de 1,5 L/min e o tempo de 180 minutos. Os resultados são apresentados na **Tabela 60**.

Tabela 60 – Grau de redução das pelotas RD (diferente condição operacional)

Pelota RD	%(O _{2,i} - O _{2,t})	%O _{2,i}	GR (%)
Pelota 4 ¹	12,27		68,39
Pelota 5 ¹	12,65	17,94	70,50
Pelota 6 ¹	14,64		81,59

¹ - pelotas selecionadas com menor susceptibilidade magnética.

5.3.2. Grau de Metalização

O grau de metalização (GM) é a quantidade de ferro metálico (Fe_M) sobre o ferro total (Fe_T) da pelota reduzida. A **Tabela 61** apresenta o resultado do grau de metalização obtido para cada um dos três tipos de pelotas após o ensaio de redução.

$$GM = \frac{Fe_M}{Fe_T} * 100$$

Tabela 61 - Grau de met	talização das	pelotas
-------------------------	---------------	---------

PELOTA	Grau de Metalização
AF I	29,55%
AF II	40,86%
RD	57,42%

De maneira geral, todos os três tipos de pelotas apresentaram baixo grau de metalização.

Posteriormente, para as pelotas AF I foi novamente realizado o ensaio de redução, mas com três pelotas selecionadas de baixa intensidade magnética. O resultado do grau de metalização para as estas pelotas é apresentado na **Tabela** 62.

Tabela 62 – Grau de metalização da pelota AF I (não magnética)

PELOTA	Grau de Metalização
AF I	74,45%

Pode se perceber que o grau de metalização da pelota AF I melhorou sensivelmente, isto indica que a presença de magnetita prejudica a redução das pelotas.

5.3.3. Análise Metalográfica

As micrografias abaixo têm como objetivo apresentar a distribuição de ferro metálico (coloração branca) no núcleo, meio raio e superfície das pelotas reduzidas.

A pelota AF II não foi analisada microscopicamente, devido à má redução obtida.

A pelota AF I é sem dúvidas a que apresenta melhor qualidade física e metalúrgica. Observando as micrografias com aumento de 100x, é perceptível o gradual aumento da presença de ferro metálico a partir do núcleo (**Figura 63**), passando pela posição de maio raio (**Figura 64**) e finalizando, na área próxima a superfície (**Figura 65**) da pelota AF I reduzida.



Figura 63 - Pelota AF I; posição: núcleo; aumento: 100x



Figura 64 – Pelota AF I; posição: meio raio; aumento: 100x



Figura 65 - Pelota AF I; posição: superfície; aumento: 100x

Este gradiente de metalização apresentado pelas pelotas AF I, com uma maior distribuição da fase ferro metálica na superfície e diminuindo a medida que se aproxima do centro, configura uma cinética de redução topoquímica.

Para a pelota RD, as micrografias de análise da redução na região do núcleo (**Figura 66**), meio raio (**Figura 67**) e superfície (**Figura 68**), mostram uma maior distribuição do ferro metálico nas posições da superfície e de meio raio da pelota, e uma grande quantidade de poros (coloração preta), principalmente no núcleo da pelota.

As micrografias da pelota RD confirmam a elevada porosidade (40,74%) obtida por estas que foram pelotizadas utilizando aglomerante orgânico.



Figura 66 - Pelota RD; posição: núcleo; aumento: 100x



Figura 67 - Pelota RD; posição: meio raio; aumento: 100x



Figura 68 - Pelota RD; posição: superfície; aumento: 100x

5.4. QUALIDADE DAS PELOTAS

Uma análise comparativa entre as pelotas produzidas neste trabalho e as produzidas por três grandes pelotizadoras de minério de ferro, sendo duas nacionais e uma estrangeira, foi realizada buscando aferir as qualidades químicas, físicas e metalúrgicas. A **Tabela 63** mostra a comparação da qualidade das pelotas.

A pelotizadora estrangeira escolhida para comparação é uma sueca com tradição em pelotização de minério de ferro magnetítico, diferentemente das nacionais que trabalham com minérios de hematita.

Na análise química observa-se que as pelotas produzidas apresentaram baixos teores de elementos deletérios, com alumina e fósforo inferiores a 0,49% e 0,049%, respectivamente. Quanto a sílica, as pelotas apresentaram teores um pouco elevados (3 a 5% de SiO₂), mas com ajustes na etapa de beneficiamento devem diminuir e assim, representa um potêncial de elevação do teor de ferro nas pelotas, que ainda assim é considerado bom (63 a 66% de Fe).

Nos testes físicos, a pelota AF I mostrou qualidade superior as duas pelotizadoras nacionais, com índice de tamboreamento de 94,9%, índice de abrasão igual a 5,0% e resistência a compressão superior a todas as três, com 339,1 kg por pelota.

Por último, os testes metalúrgicos indicaram a necessidade de reduzir o teor de FeO nas pelotas produzidas (3,16% a 12,99% de FeO) para melhoria de qualidade. A pelotizadora sueca produz pelotas de minério magnetítico com teores inferiores a 0,5% de FeO.

É interessante lembrar que foram realizados apenas 3 (três) testes exploratórios de pelotização, que demostraram desde já potencial para produção de pelotas de qualidade. Dentre as pelotas produzidas, considerando-se os testes físicos e metalúrgicos aplicados, a pelota AF I foi a que apresentou melhores resultados.

				PEL	OTIZADO	RAA		PELOTIZADORA B				PELOTIZ	ADORAC									
		Pe Tul	lota P RD parão Tu	Pelota AF ubarão	Pelota AF Fabrica	Pelota AF Carajás	Pelota AF Vg Grande		Pelota RD1	Pelota RD2	Pelota AF1	Pelota AF2	Pelota AF3		КРВА	КРВО	МРВО	KPRS		Pelota AF I	Pelota AF II	Pelota RD
	Fe	67	,80% 6	65,70%	64,80%	65,34%	65,20%		67,90%	67,80%	66,72%	67,26%	66,34%		66,90%	66,60%	66,70%	67,90%		63,15%	63,52%	66,30%
	SiO ₂	1	,25%	2,45%	3,50%	1,80%	2,55%		1,23%	1,28%	2,00%	2,00%	2,00%		2,50%	2,10%	1,80%	0,70%		5,03%	4,49%	3,26%
	Al ₂ O ₃	(,55%	0,65%	0,95%	1,40%	0,95%		0,49%	0,49%	0,50%	0,60%	0,51%		0,25%	0,25%	0,35%	0,17%		0,44% 🗸	0,49% 🗸	✓ 0,32% ✓
ANÁLISE _	CaO	(,65%	2,64%	2,60%	1,80%	2,55%		0,76%	0,91%	1,64%	0,90%	2,09%		0,55%	0,46%	0,45%	0,90%		2,78%	2,68%	1,25%
	Mn				0,25%		0,15%		0,05%	0,05%	0,06%	0,05%	0,05%		0,06%	0,06%	0,04%	0,06%		ND	ND	ND
	Ρ	0,	028% 0	0,030%	0,044%	0,040%	0,048%		0,041%	0,040%	0,046%	0,046%	0,046%		0,025%	0,025%	0,012%	0,025%		0,045% 🗸	0,049% 🗸	 0,035%
	Bas.2		0,44	1,10	0,75	1,00	1,00		0,61	0,71	0,82	0,46	1,02		0,22	0,22	0,25	1,29		0,55	0,60	0,38
	Índice de Tamboramento (+6,3 mm)	ç	3,0%	93,5%	93,0%	94,0%	92,0%		93,60%	93,50%	93,60%	93,70%	93,50%		97%	96%	95%	94%		94,90% 🗸	67,70%	92,20%
	Índice de Abrasão (-0,5 mm)		6,0%	5,5%	6,0%	5,0%	6,5%		5,80%	5,90%	5,70%	5,60%	5,70%		3%	4%	4%	5%		5,00% 🗸	3,70%	7,80%
	Resistência à Compressão (kg/pel)		260	250	260	270	250		307	313	308	293	300		250	230	210	260		339,1 🗸	126	291 🗸
TESTES	Umidade		3,0%	3,0%	3,0%	2,0%	3,0%		ND	ND	ND	ND	ND		1,0%	1,0%	1,5%	1,6%		ND	ND	ND
	Distribuição Granulométrica:							-19 +16 mm:	-	-	5,60%	5,60%	5,60%	-19 +16 mm:	1%	1%	1%	2%	-19 +16 mm:	0,0%	0,0%	2,1%
		-18 +8 mm: 9	5,0%	95,0%	96,0%	96,0%	92,0%	-16 +8 mm:	94,24%	94,43%	93,80%	93,60%	93,70%	-16 +9 mm:	96%	96%	96%	95%	-16 +9 mm:	98,3%	100%	95,9%
		-5 mm:	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	3,0%	-6,3 mm:	1,11%	1,21%	1,36%	1,38%	1,35%	-5 mm:	1%	1%	1%	1%	-5 mm:	0,0%	0,0%	0,0%
	Desintegração (-3,15 mm)		2,0%												ND	ND	ND	ND		ND	ND	ND
TESTES	Índice de Inchaço			13,0%	18,0%	15,0%	18,0%				15%				ND	ND	ND	ND		ND	ND	ND
METALÚRGICOS	Grau de Metalização	ę	4,0%						96%	96%					ND	ND	ND	ND		74,5%	40,9%	57,4%
	Grau de Redução			69,0%	75,0%	80,0%	75,0%				80%	60%	84%		ND	ND	ND	ND		85,4%	85,7%	92,4%

Tabela 63 – Análise comparativa das pelotas produzidos com as de duas grandes pelotizadora	is nacionais e uma estrangeira
--	--------------------------------

ND - Não Disponível

Fonte: Booklet Empresas