



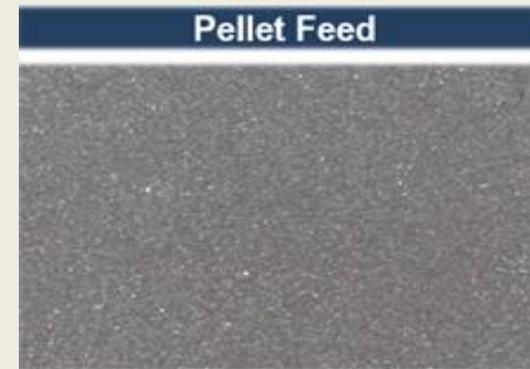
DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE SÍNTER DE FINOS DE FERRO DE MATRIZ LATERÍTICA COM ADIÇÃO DE PELLET FEED

Aluna: Marianne Vieira Lemos

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

INTRODUÇÃO

Proposta Básica – Síntese e caracterização de sinter utilizando finos de minério de ferro de matriz laterítica, pellet feed e outros resíduos.



OBJETIVO

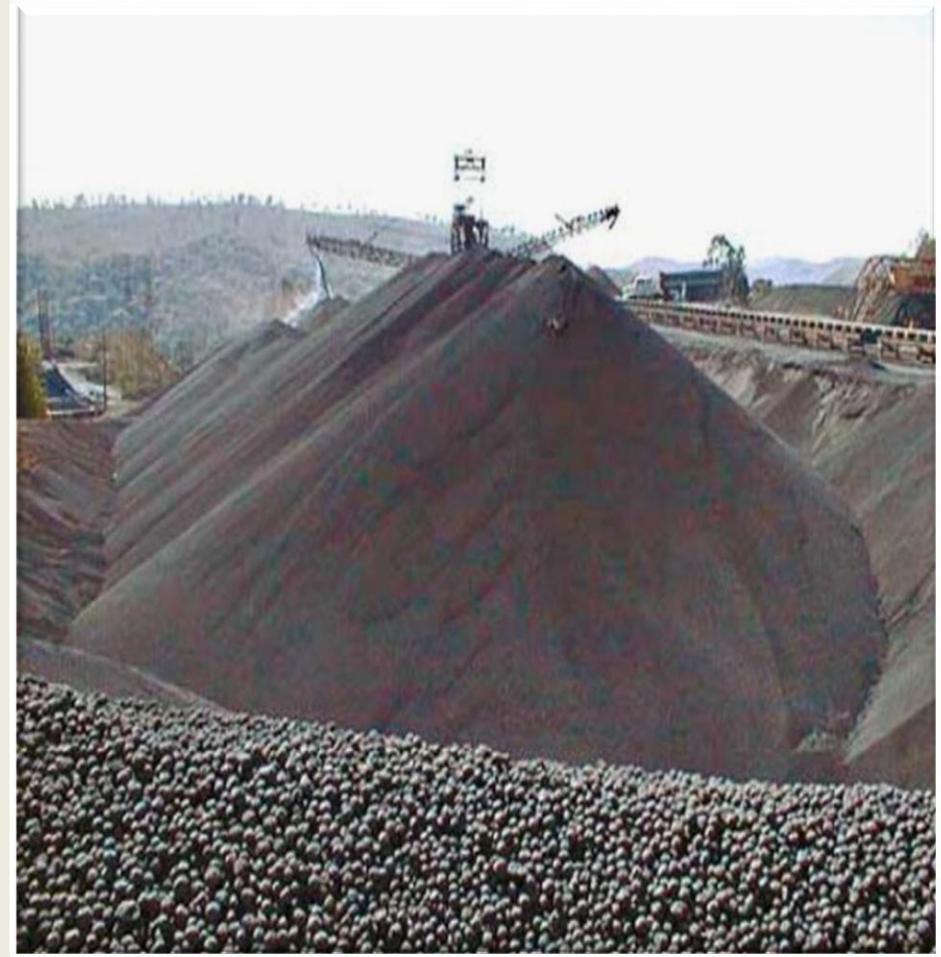
Compor misturas para sinterização com:

- Matriz laterítica;
- Pellet Feed;
- Moinha de Carvão;
- Pó de cal;
- Finos degradados de retorno;
- Pó de coletor.

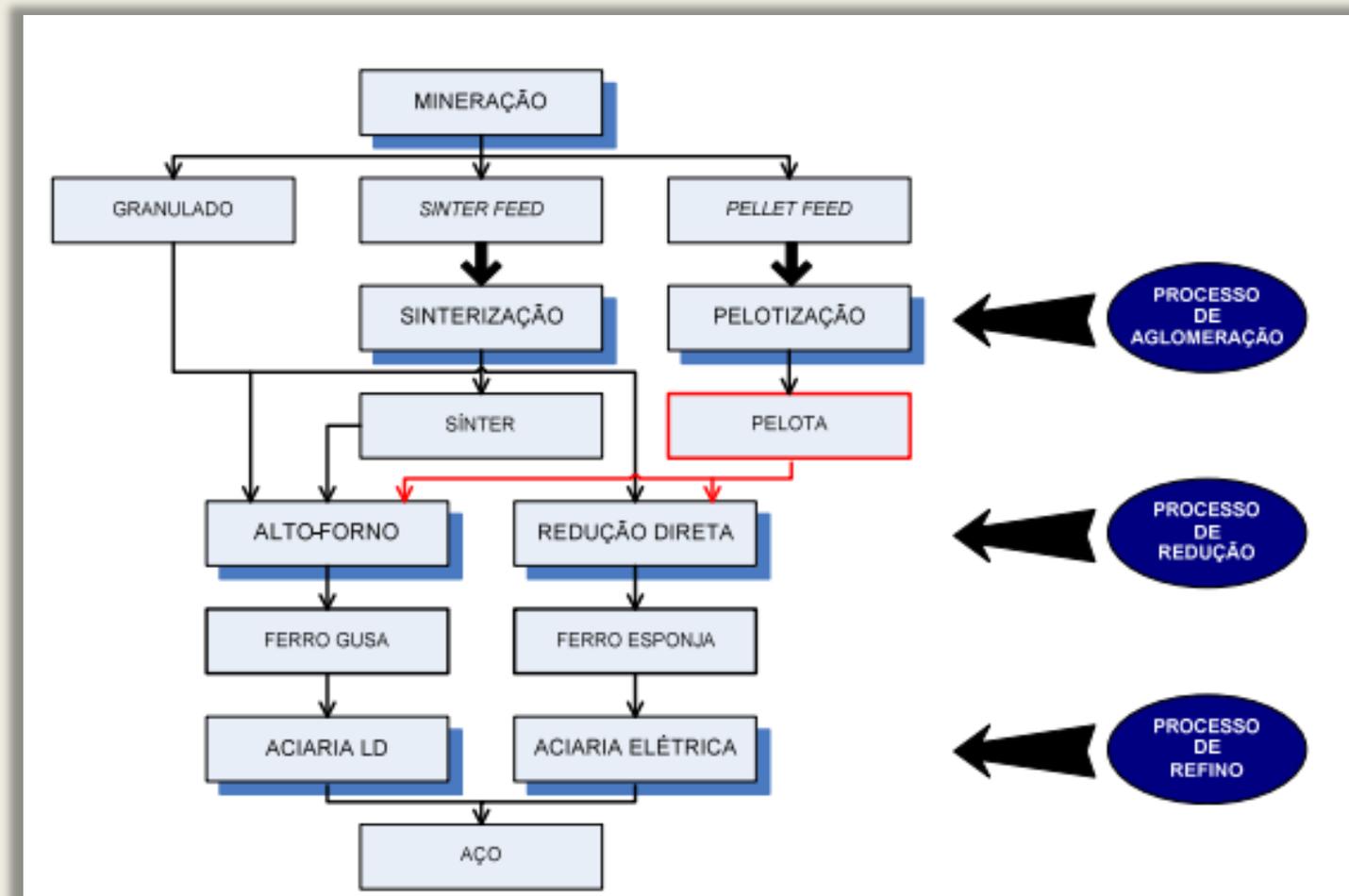
Metas principais:

- Estabelecer misturas;
- Equilibrar as misturas;
- Aglomerar as misturas via sinterização;
- Comparar/Avaliar as características do sínter via Shatter Test e Tumbler Test.

Objetivo acessório: Análise do comportamento da resistência mecânica em função do índice de basicidade.



FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO



JUSTIFICATIVA

A justificativa geral para o trabalho repousa em estruturar um modelo capaz de associar pontos relevantes ambientais, de qualidade e de custo para apoiar a utilização de matérias primas menos nobres e resíduos para síntese do sínter alternativo.

CLASSIFICAÇÃO MATÉRIAS PRIMAS SIDERÚRGICAS

Sínter



Aglomerado com adequação de granulometria para aplicação em usinas siderúrgicas após o processo de sinterização.

Pelota



Pelotas em formas esféricas com o objetivo do aproveitamento da parte mais fina do minério de ferro (pellet feed). Através do processo de pelotização.

Lump



Minério granulado com maior valor de mercado devido a sua maior granulometria. Aplicado na siderurgia diretamente nos altos fornos sem necessidade de beneficiamento.

CLASSIFICAÇÃO MATÉRIAS PRIMAS SIDERÚRGICAS

Sínter Feed



Finos do processo (6,5 a 0,15mm)
Resultado do processo de britagem, classificados posteriormente pela concentração de teor de Fe obtendo desta forma valor comercial.

Pellet Feed



Finos Pulverizados (<0,15mm)
Resultado do processo de britagem, para adequação da granulometria e aplicação na indústria siderúrgica em forma de pelotas, parte mais fina e barata do minério de ferro.

LATERITA



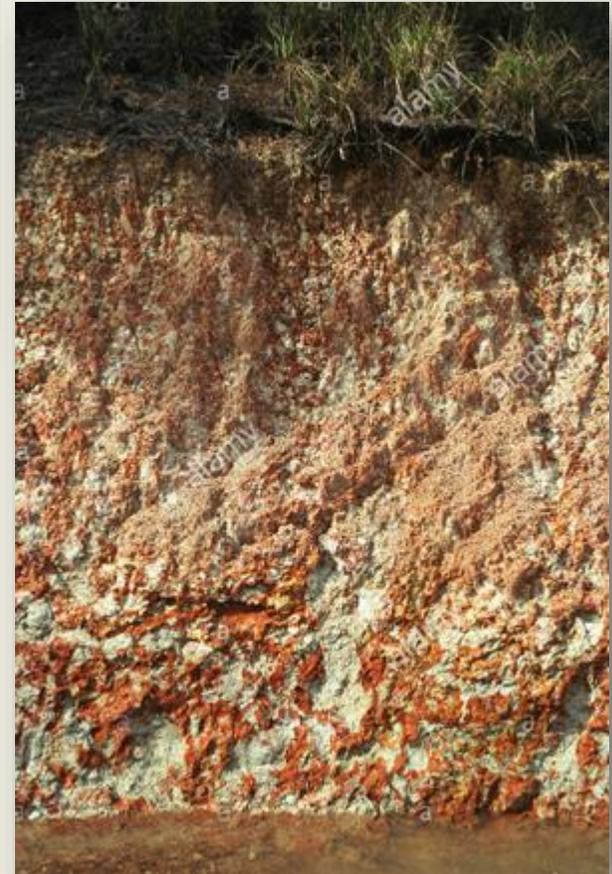
A laterita ou laterite é um tipo de solo muito alterado com grande concentração de hidróxidos de ferro e alumínio.

LATERITA

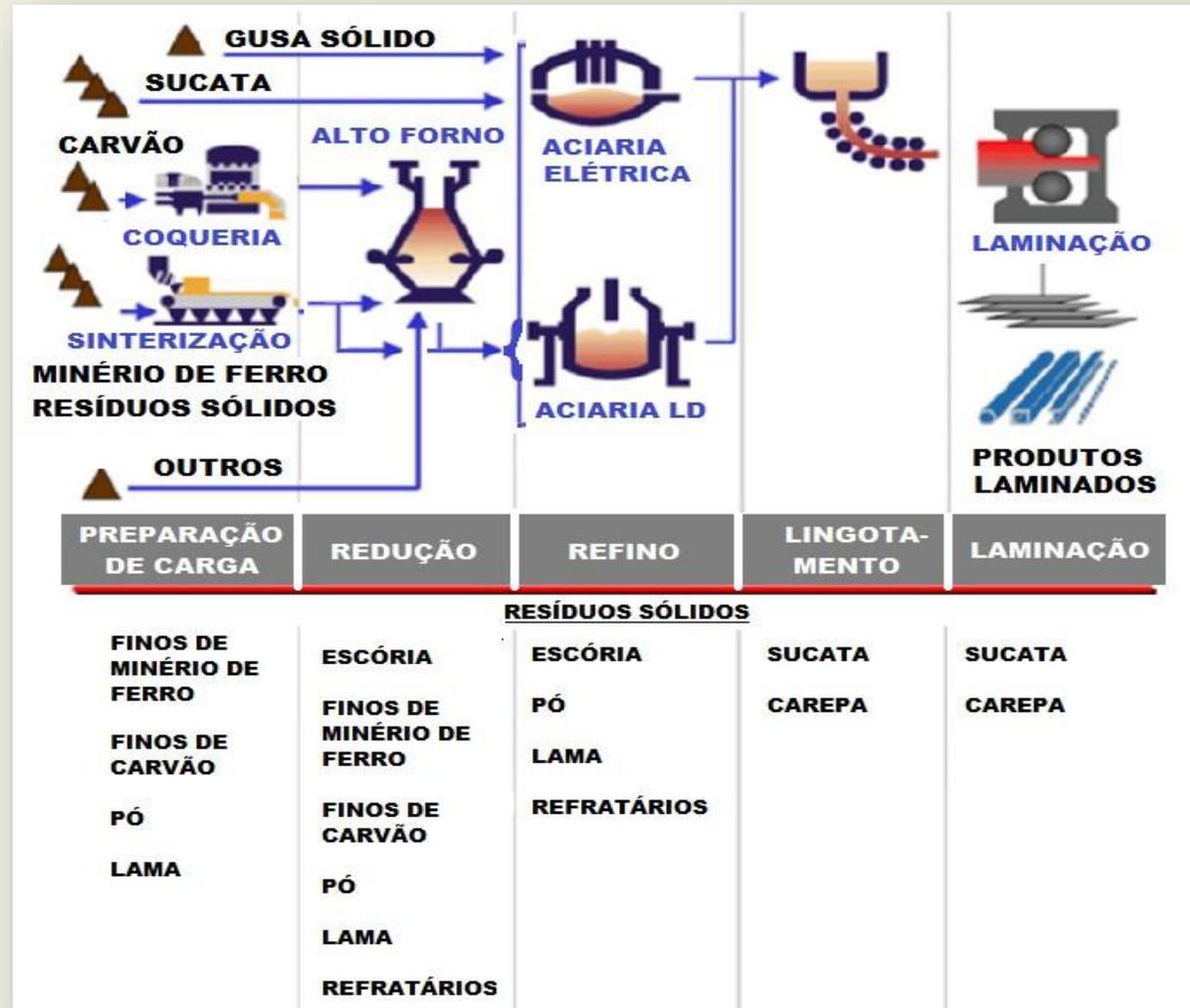
Lixiviação e laterização

- **Lixiviação** é o processo de perda dos minerais da superfície para o subsolo, causado pela "lavagem" promovida pelas chuvas torrenciais e pela infiltração de água no solo. A água que se infiltra pelos poros, como em uma esponja, vai, literalmente, lavando os sais minerais hidrossolúveis (sódio, potássio, cálcio etc.) e diminui a fertilidade do solo.
- **Laterização** é uma consequência da lixiviação e ocorre quando há o surgimento de uma crosta ferruginosa no solo, que, em certos casos, chega a impedir a penetração das raízes no solo. Esse acúmulo de ferro ou formação de "laterita", torna o solo deficiente para o cultivo. Esse processo pode ser acelerado pela ação humana, ao derrubar a cobertura vegetal que naturalmente protege o solo.

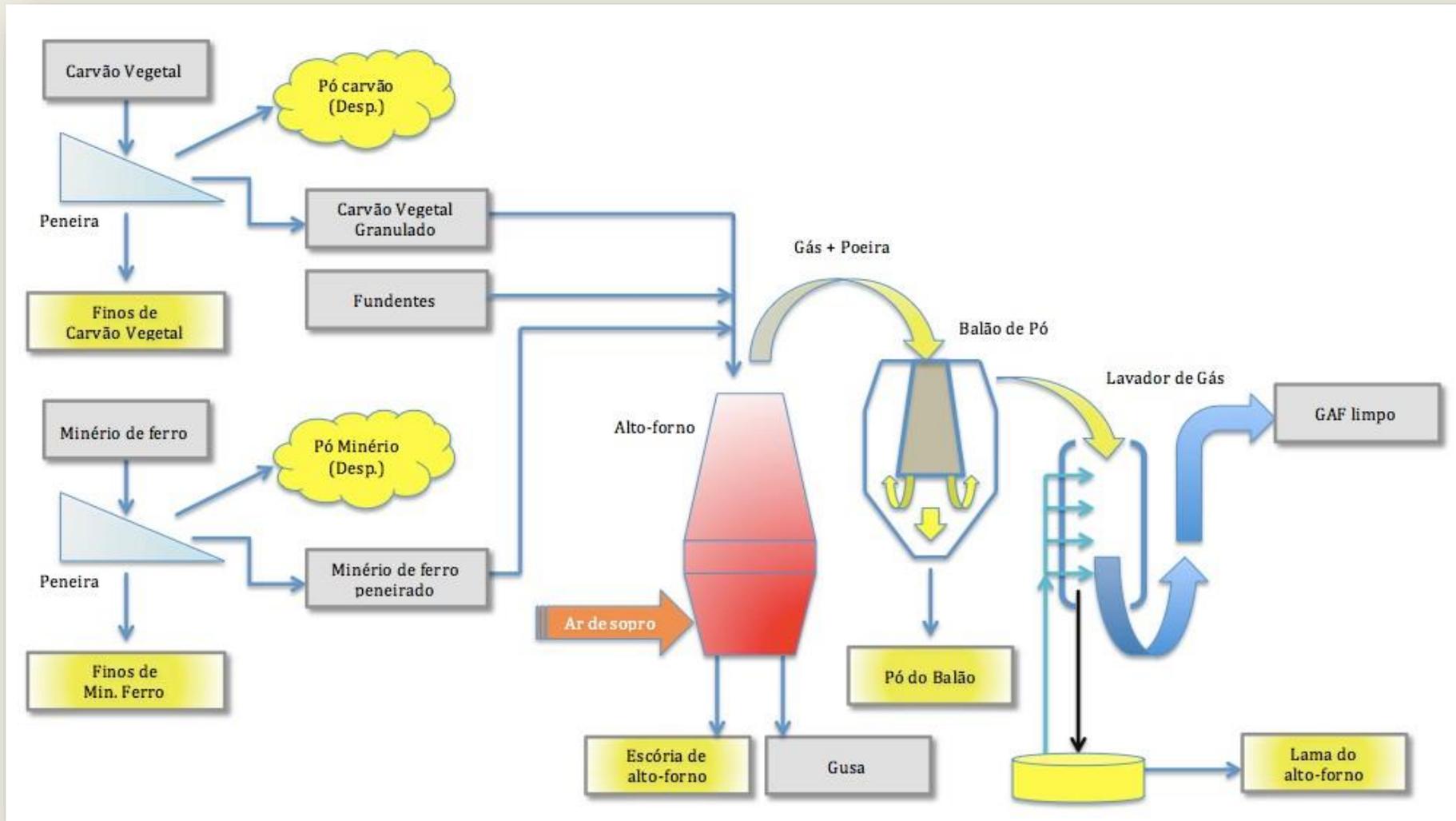
FORMAS E FONTES DA LATERITA



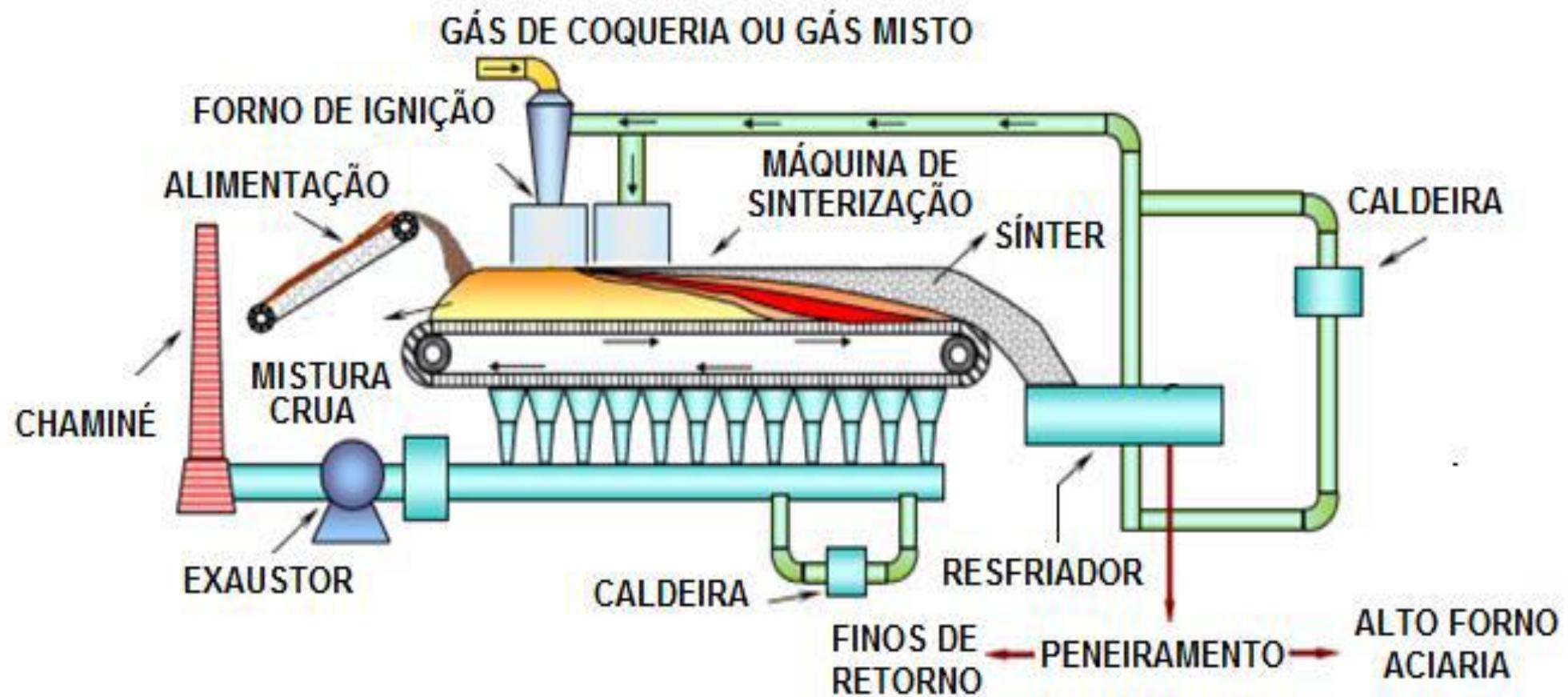
RESÍDUOS GERADOS NA SIDERURGIA



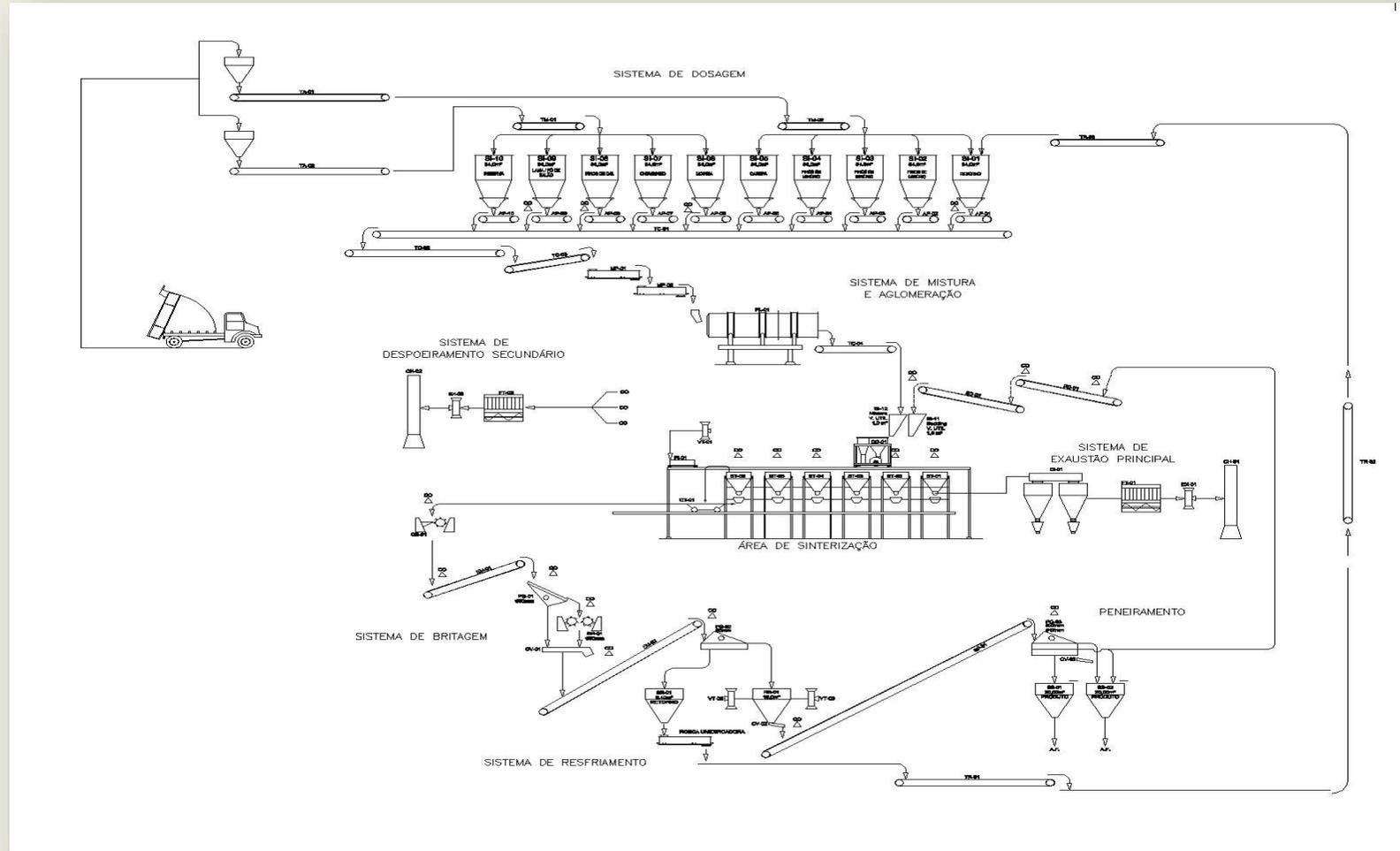
FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS



ESQUEMA DO SISTEMA DE SINTERIZAÇÃO CONTÍNUA DO TIPO DWIGHT-LLOYD

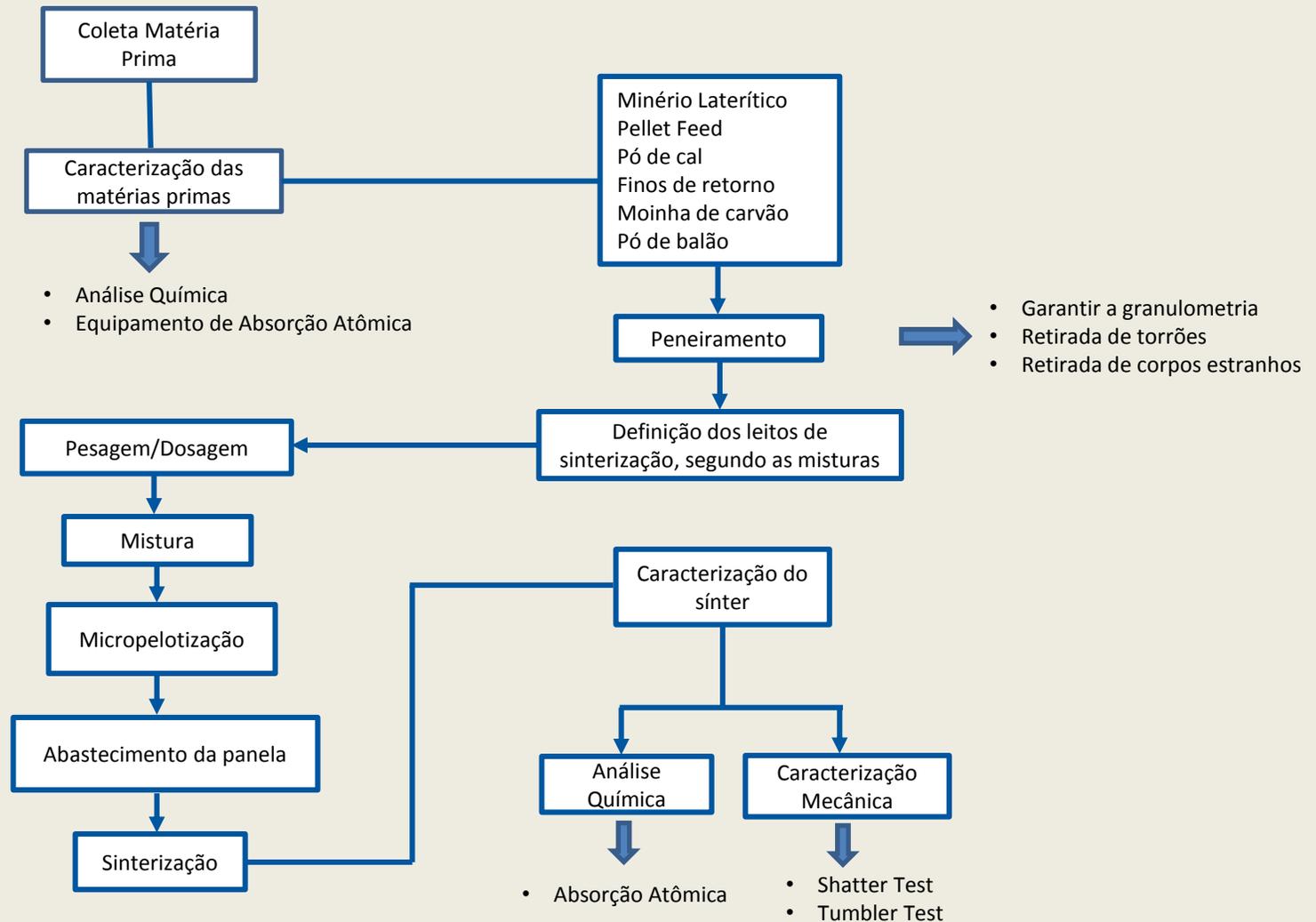


FLUXOGRAMA DE PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO EM PANELOS



- Dosagem
- Mistura
- Micropelotização
- Britagem
- Peneiramento
- Resfriamento

MATERIAIS E MÉTODOS



MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta de pilhas de matéria prima e rejeitos de estoques de uma usina siderúrgica em Matozinhos – MG;

Foram estruturadas 5 misturas de materiais e realizados 3 testes de sinterização com cada mistura.

Em cada composição ponderada de mistura, foram utilizados componentes secos, desagregados do processo de sinterização e sem contaminação de óleo. Nas misturas escolhidas foram adicionados os componentes complementares:

- Moinha de carvão;
- Pó de coletor (Pó de Balão);
- Finos de Retorno (Finos Degradados);
- Pó de Cal.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS COMPONENTES DA MATÉRIA-PRIMA

Amostras	%								
	FeO	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	CaO	TiO ₂	Mn
Pellet Feed	-	64,1	2,38	1,73	0,11	0,07	1,35	0,08	0,11
Minério Fe Laterítico	-	62,3	8,25	5,75	0,25	0,13	2,32	0,12	0,08
Pó de Cal	-	0,7	4,5	0,65	0,03	0,1	53,01	0,03	0,05
Finos de Retorno	9,5	38,2	7,9	1,5	1,41	0,07	13,6	0,31	0,42
Pó de Balão	9,8	46,7	2,05	1,65	4,8	0,25	23,5	0,4	0,8

MISTURAS E SUAS COMPOSIÇÕES PONDERADAS

Mistura 1 - Componentes	Percentual %
Minério Laterítico	30,0
Pellet Feed	30,0
Pó de Cal	9,5
Finos de Retorno	20,0
Moinha de Carvão	7,5
Pó de Balão	3,0

Mistura 2 - Componentes	Percentual %
Minério Laterítico	30,0
Pellet Feed	30,0
Pó de Cal	9,5
Finos de Retorno	18,5
Moinha de Carvão	9,0
Pó de Balão	3,0

MISTURAS E SUAS COMPOSIÇÕES PONDERADAS

Mistura 3 - Componentes	Percentual %
Minério Laterítico	32
Pellet Feed	30
Pó de Cal	6
Finos de Retorno	20
Moinha de Carvão	9
Pó de Balão	3

Mistura 4 - Componentes	Percentual %
Minério Laterítico	40
Pellet Feed	20
Pó de Cal	5
Finos de Retorno	21,5
Moinha de Carvão	10,5
Pó de Balão	3

MISTURAS E SUAS COMPOSIÇÕES PONDERADAS

Mistura 5 - Componentes	Percentual %
Minério Laterítico	40
Pellet Feed	10
Pó de Cal	5
Finos de Retorno	34,5
Moinha de Carvão	10,5
Pó de Balão	0

PLANTA PILOTO DE SINTERIZAÇÃO



PLANTA PILOTO DE SINTERIZAÇÃO



SISTEMA DE MISTURA



SISTEMA DE MICROPELOTIZAÇÃO



PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO



SISTEMA DE BASCULHAMENTO

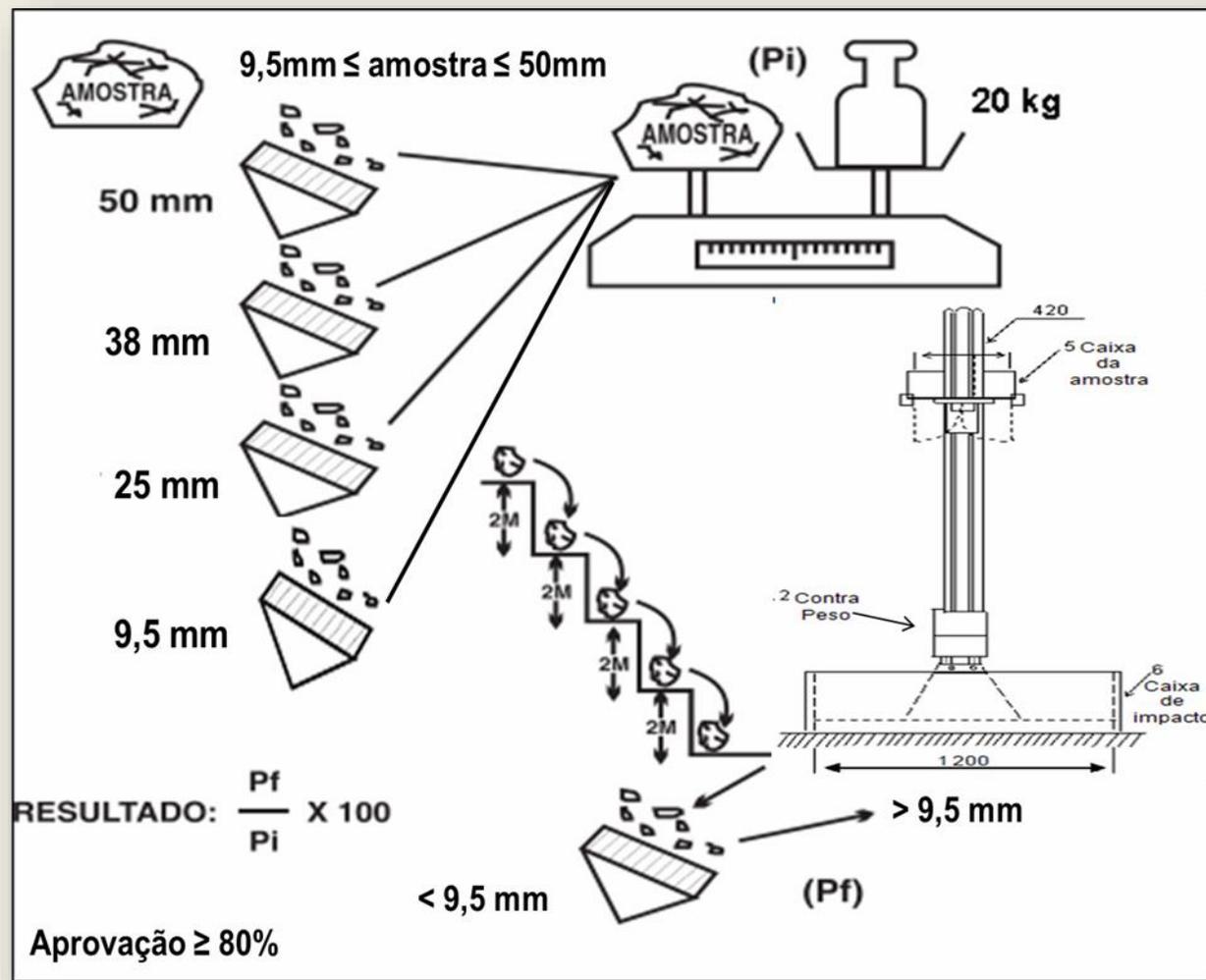


ANÁLISE QUÍMICA DO SÍNTER

O processo de análise química das amostras de sinter produzido na Planta Piloto foi desenvolvido nos laboratórios da NOMOS análises minerais Ltda no Rio de Janeiro. Foi realizado ensaio com digestão em ácidos fortes com leitura em equipamento de absorção atômica. Para a retirada das amostras representativas de sinter, foram selecionadas três amostras parciais de cada mistura, incluindo o material fino.

A análise química das amostras de sinter teve como objetivo, determinar os percentuais dos constituintes, para tabulação comparativa referente aos pesos dos constituintes de cada mistura.

ESQUEMA DO SHATTER TEST



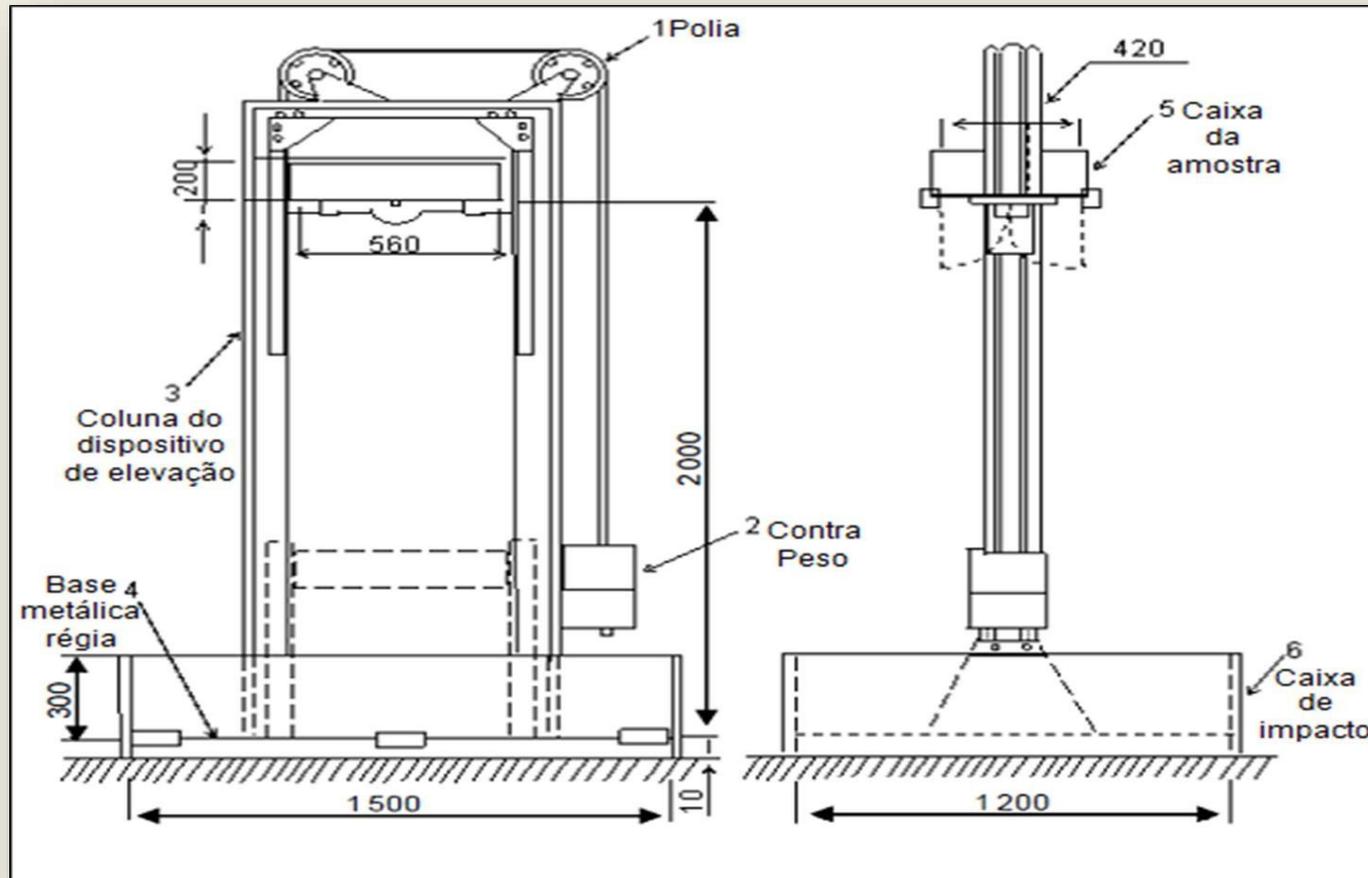
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO SÍNTER PRODUZIDO - SHATTER TEST

O teste foi realizado nas dependências da empresa Minas Logística localizada na cidade de Prudente de Moraes – MG com o objetivo de avaliar a resistência mecânica do sinter produzido. Foi de suma importância uma vez que o sinter se degrada durante a sua movimentação e a finalidade do teste é medir a susceptibilidade do material em produzir finos.

A realização do teste foi com base na norma ABNT NBR 10633 - Sinter de minério de ferro.



ESQUEMA DO APARELHO SHATTER TEST



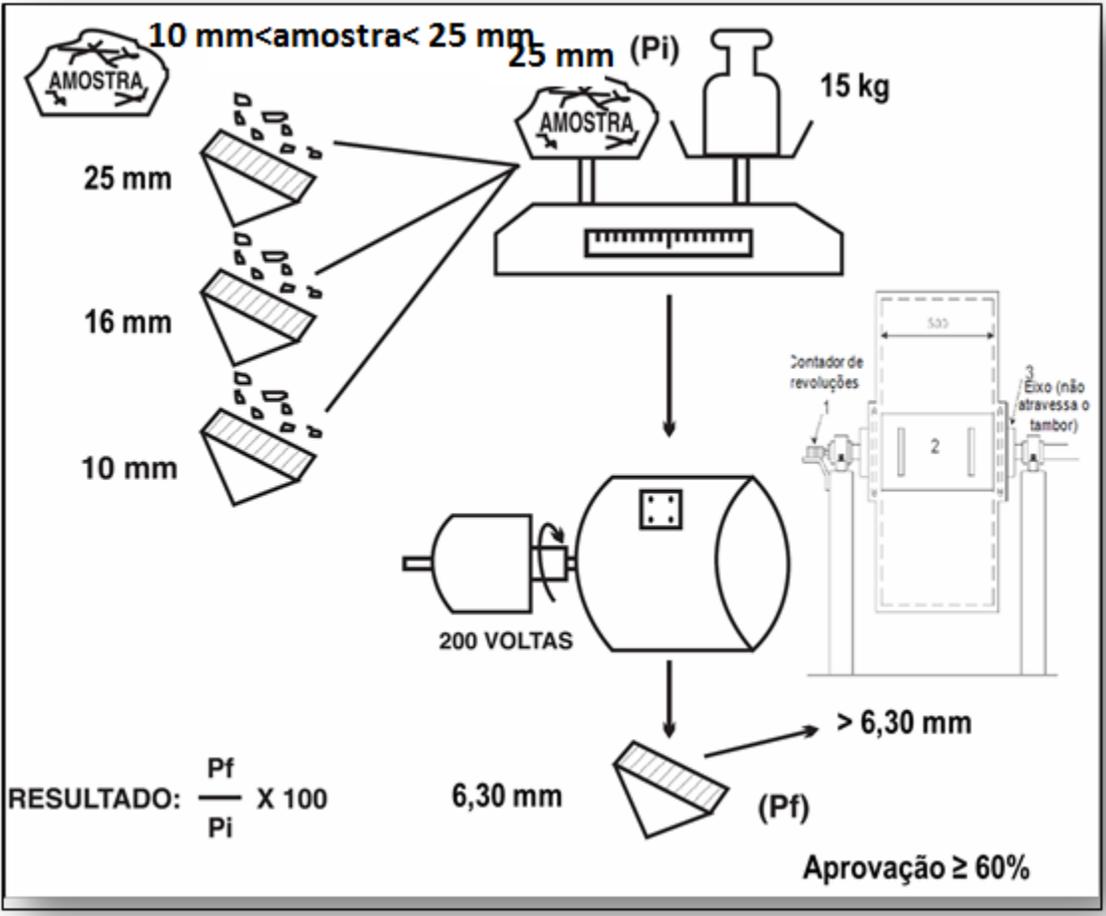
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO SÍNTER PRODUZIDO - TUMBLER TEST

O teste foi realizado nas dependências da empresa Minas Logística localizada na cidade de Prudente de Moraes – MG, para avaliação da resistência mecânica do sinter produzido, além da avaliação da resistência do material ao tamboramento quando submetido ao atrito.

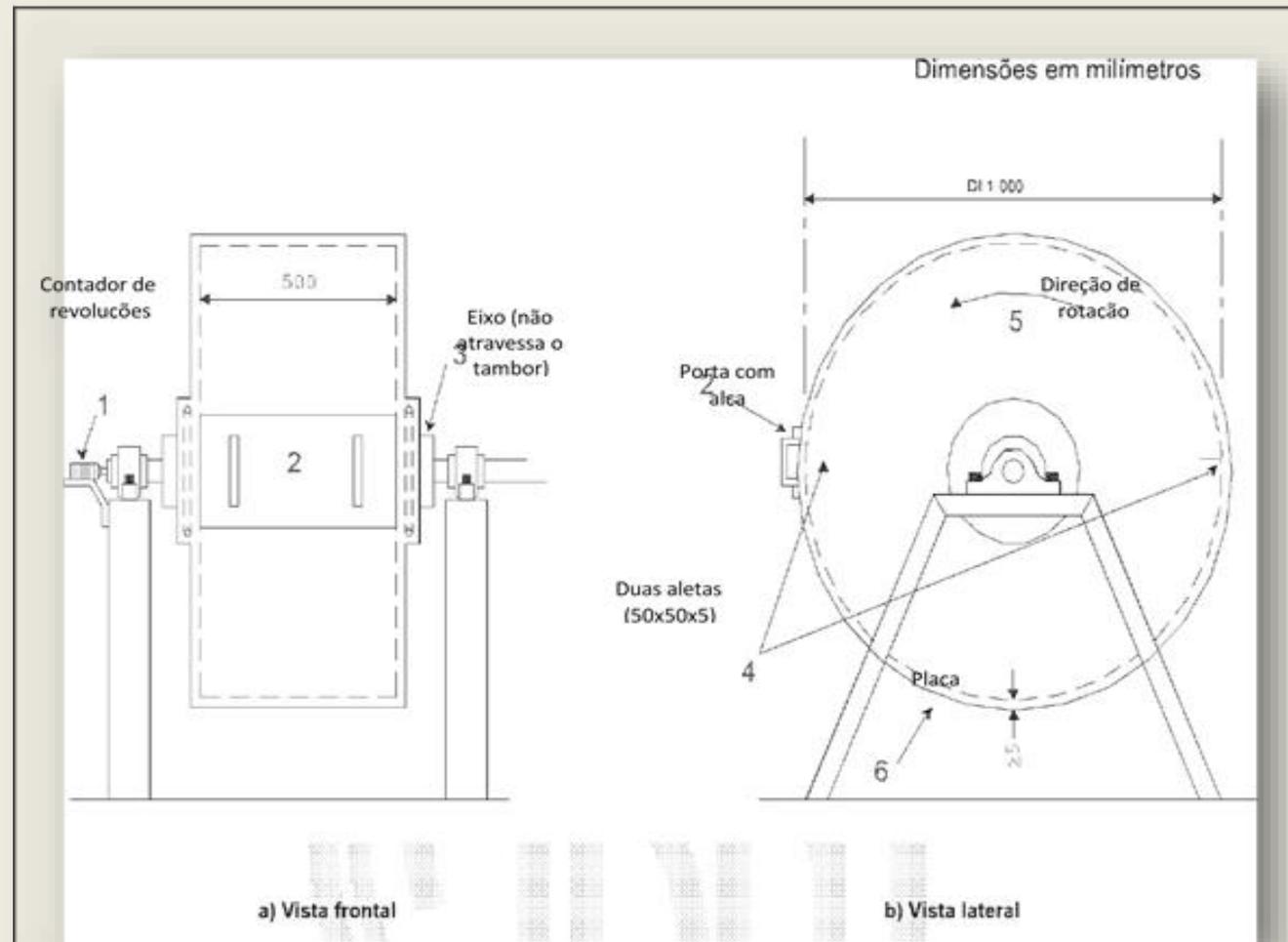
O objetivo do teste foi avaliar a degradação do material ao longo do processo de transporte e armazenagem, avaliando em simulação o quanto o sinter fica quebradiço e perde forma original, gerando finos. Pois esta degradação prejudica a permeabilidade da carga no alto-forno, diminuindo assim a produtividade do processo.

A realização do teste assumiu como base na norma ABNT NBR ISO 3271 - Minério de ferro como insumo para alto-forno e redução direta - Determinação dos índices de tamboramento e abrasão

ESQUEMA DO TUMBLER TEST



ESQUEMA DO APARELHO TUMBLER TEST



APARELHO TUMBLER TEST



RESULTADOS – ANÁLISE QUÍMICA

A dosagem ponderada dos componentes da mistura a partir da decisão da relação entre os constituintes encaminha resultados que apontam uma tendência relevante no presente estudo.

A análise química das amostras de sínter realizado pelo laboratório no NOMOS ANÁLISES MINERAIS no Rio de Janeiro apresenta os percentuais dos constituintes colhidos, a partir, de ensaio com digestão de ácidos fortes e leitura em equipamento de absorção atômica.

Constituintes	Fe %	FeO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Na ₂ O %	MgO%	P%	K ₂ O%	CaO%	TiO ₂ %	V ₂ O ₅ %	Cr ₂ O ₅ %	Mn%
Mistura 1	47,15	8,25	10,15	5,4	0,07	0,33	0,225	0,01	12,27	0,42	0,02	0,11	4,01
Mistura 2	49,34	6,9	9,12	5,28	0,06	0,25	0,155	0,03	10,87	0,29	0,02	0,08	4,22
Mistura 3	47,7	8,92	10,42	6,23	0,06	0,32	0,142	<0,01	10,1	0,41	0,03	0,08	5,65
Mistura 4	49,1	11,43	11,6	6,15	0,06	0,3	0,116	0,03	7,95	0,51	0,03	0,09	3,99
Mistura 5	49,05	10,75	12,5	5,75	0,06	0,16	0,134	0,01	8,85	0,32	0,03	0,1	3,2

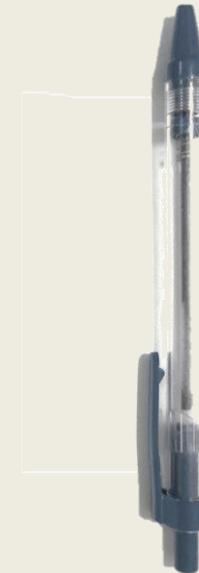
SÍNTER DA MISTURA 1

Composição da Mistura 1

Material	Percentual %
Laterita	30
Pellet Feed	30
Pó de Cal	9,5
Retorno	20
Moinha	7,5
Pó de Balão	3

Análise Química

Amostra	Fe%	FeO%	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P%	CaO%
Teste 01	47,15	8,25	10,15	5,40	0,225	12,27



SÍNTER DA MISTURA 2

Composição da Mistura 2

Material	Percentual %
Laterita	30
Pellet Feed	30
Pó de Cal	9,5
Retorno	18,5
Moinha	9
Pó de Balão	3

Análise Química

Amostra	Fe%	FeO%	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P%	CaO%
Teste 02	49,34	6,90	9,12	5,28	0,155	10,87



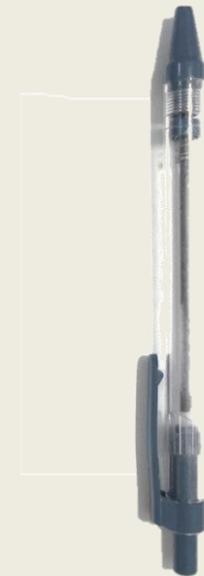
SÍNTER DA MISTURA 3

Composição da Mistura 3

Material	Percentual %
Laterita	32
Pellet Feed	30
Pó de Cal	6
Retorno	20
Moinha	9
Pó de Balão	3

Análise Química

Amostra	Fe%	FeO%	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P%	CaO%
Teste 03	47,70	8,92	10,42	6,23	0,142	10,10



SÍNTER DA MISTURA 4

Composição da Mistura 4

Material	Percentual %
Laterita	40
Pellet Feed	20
Pó de Cal	5
Retorno	21,5
Moinha	10,5
Pó de Balão	3

Análise Química

Amostra	Fe %	FeO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P %	CaO%
Teste 04	49,10	11,43	11,60	6,15	0,116	7,95



SÍNTER DA MISTURA 5

Composição da Mistura 5

Material	Percentual
Laterita	40
Pellet Feed	10
Pó de Cal	5
Retorno	34,5
Moinha	10,5
Pó de Balão	0

Análise Química

Amostra	Fe %	FeO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	P %	CaO%
Teste 05	49,05	10,75	12,50	5,75	0,134	8,85



PERCENTUAIS DE FERRO NOS SÍNTERES

A análise química resultante do processamento dos ensaios revelou que do ponto de vista do montante de Ferro, o percentual de Ferro Total (Fet) que resulta da soma dos percentuais de Fe e FeO, mostra-se atrativo quando comparado à sinteres obtidos com a utilização de matérias-primas de partida mais nobres.

Nota-se que o percentual a ser acrescido de FeO no Fet, é aquele derivado do percentual da massa molecular do ferro na wustita.

Sinter/Misturas	Fe %	FeO %	FeT%
1	47,15	8,25	53,42
2	49,34	6,90	54,58
3	47,70	8,92	54,47
4	49,10	11,43	57,78
5	49,05	10,75	57,22

BASICIDADE BINÁRIA CaO/SiO₂

Basicidade - Sínter Mistura 1

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
12,24	10,15	1,21

Basicidade - Sínter Mistura 2

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
10,87	9,12	1,19

Basicidade - Sínter Mistura 3

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
10,10	10,42	0,97

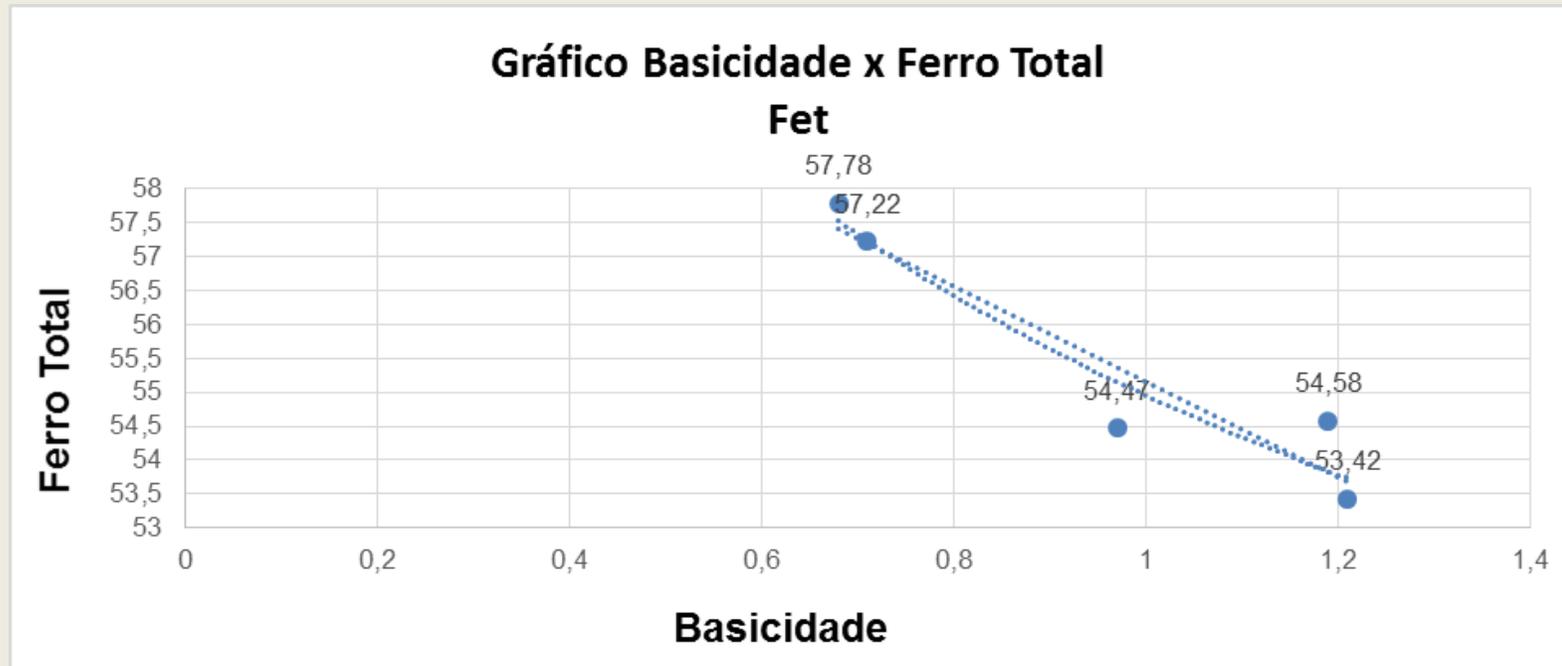
Basicidade - Sínter Mistura 4

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
7,95	11,60	0,685

Basicidade - Sínter Mistura 5

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂
8,85	12,50	0,71

BASICIDADE x FERRO TOTAL

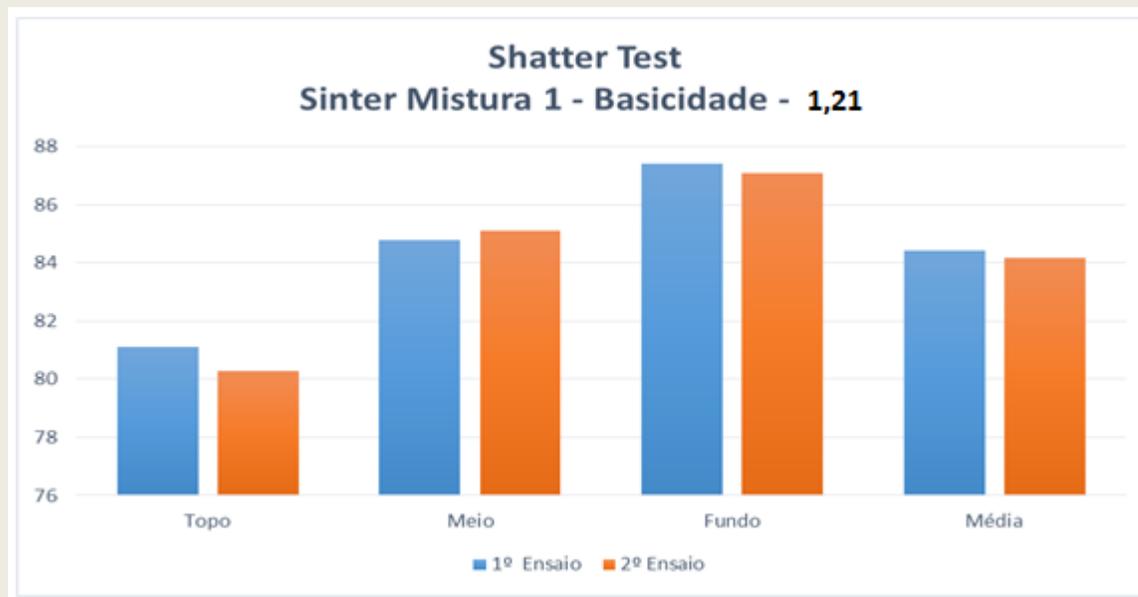


RESULTADOS SHATTER TEST

Shatter Test do Sínter da Mistura 1 Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1°	81,1	84,8	87,4	84,43
2°	80,3	85,1	87,1	84,17

Gráfico Shatter Test

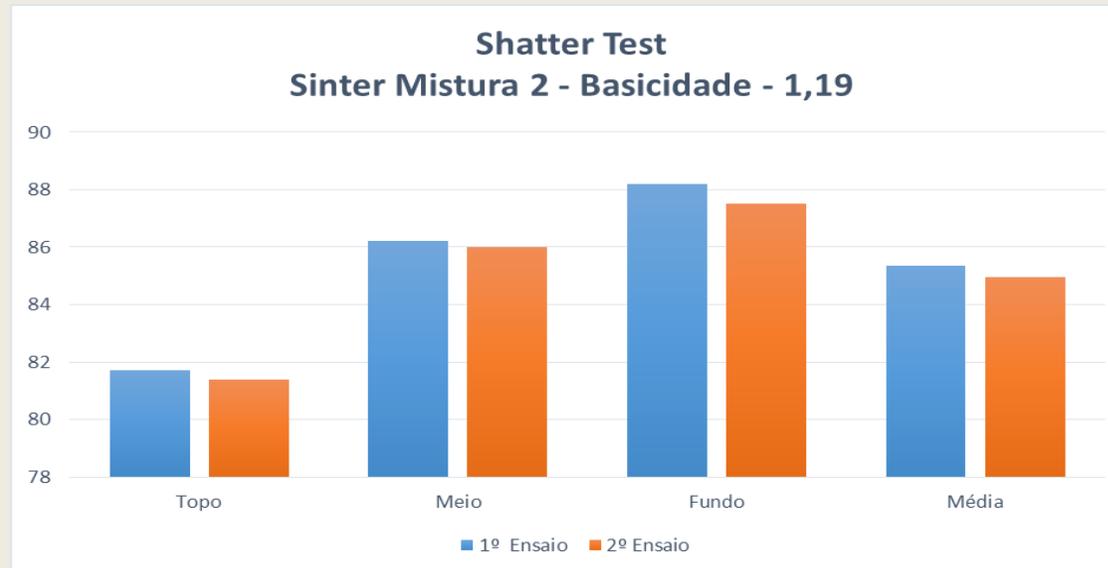


RESULTADOS SHATTER TEST

Shatter Test do Sínter da Mistura 2
Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1°	81,7	86,2	88,2	85,37
2°	81,4	86,0	87,5	84,97

Gráfico Shatter Test

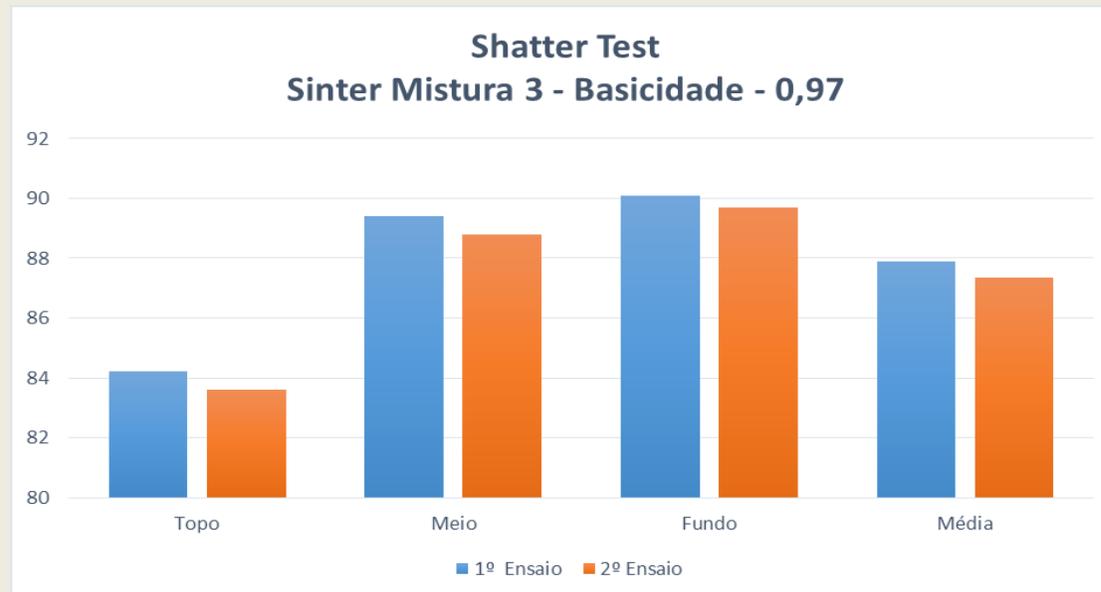


RESULTADOS SHATTER TEST

Shatter Test do Sínter da Mistura 3
Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1°	84,2	89,4	90,1	87,90
2°	83,6	88,8	89,7	87,37

Gráfico Shatter Test

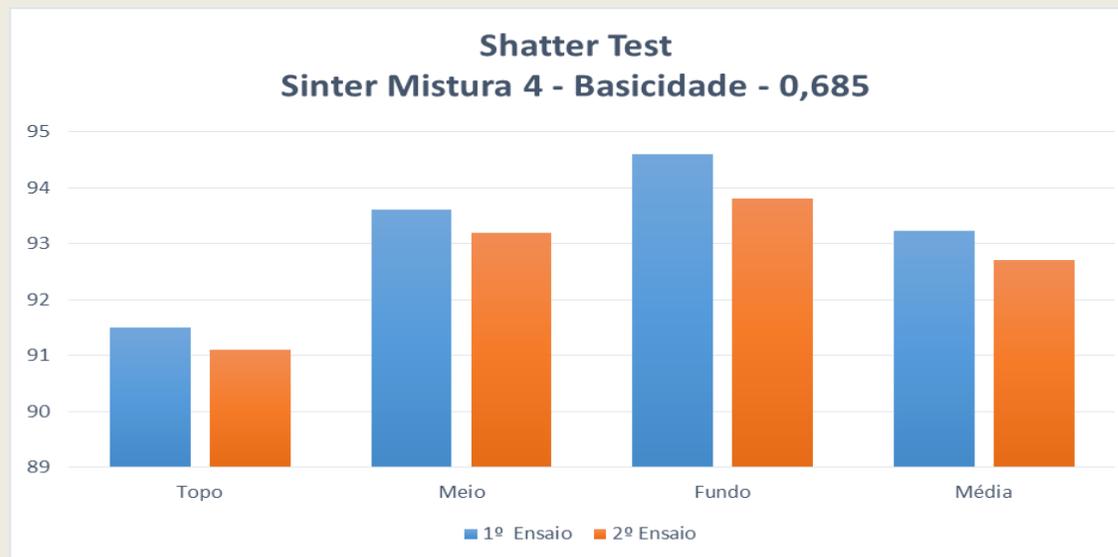


RESULTADOS SHATTER TEST

Shatter Test do Sínter da Mistura 4
Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1°	91,5	93,6	94,6	93,23
2°	91,1	93,2	93,8	92,70

Gráfico Mistura de Sínter 4

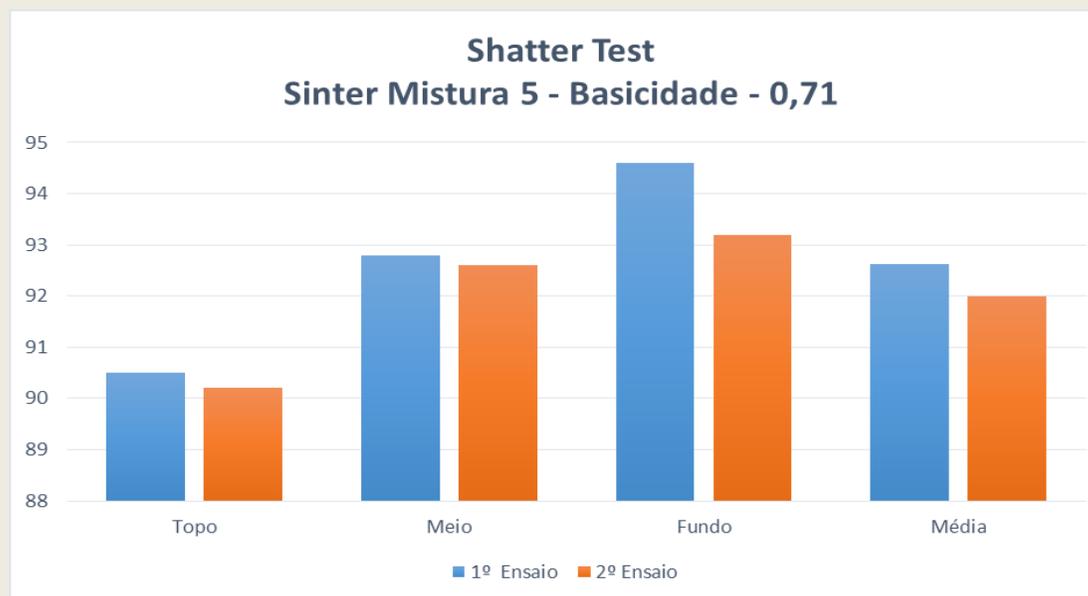


RESULTADOS SHATTER TEST

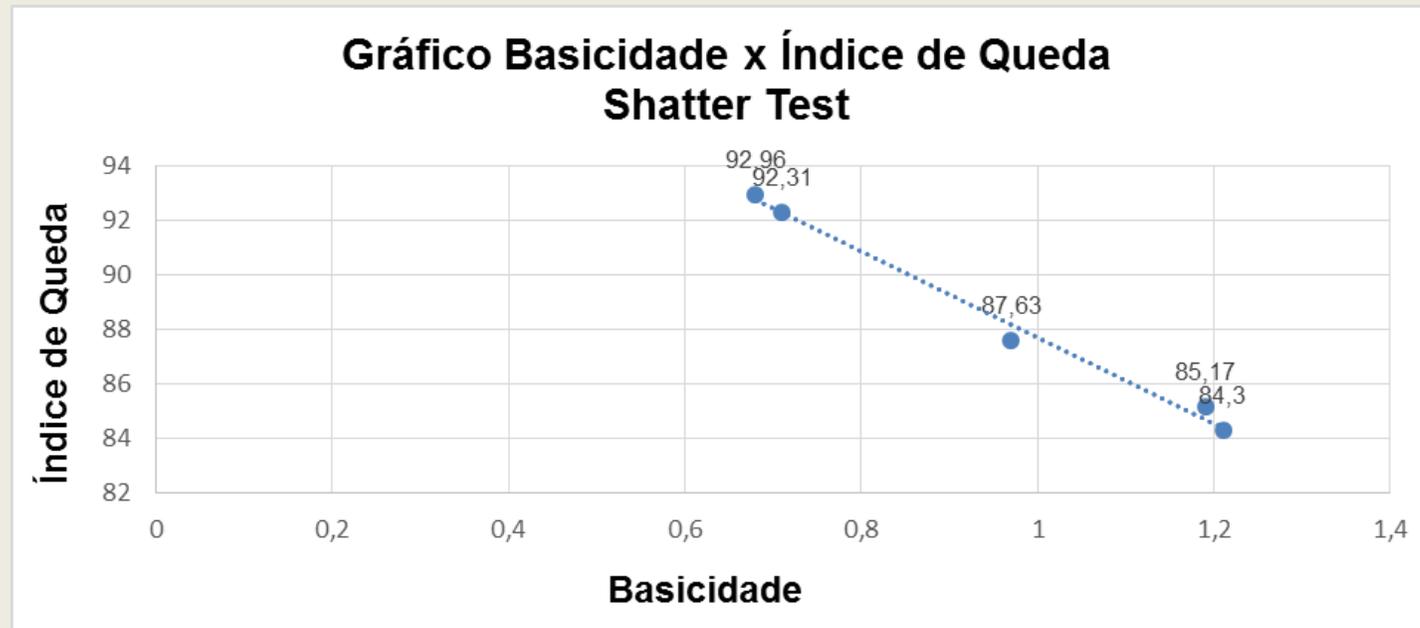
Shatter Test do Sínter da Mistura 5
Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1°	90,5	92,8	94,6	92,63
2°	90,2	92,6	93,2	92,00

Gráfico Shatter Test



BASICIDADE x ÍNDICE DE QUEDA



CONSIDERAÇÕES SHATTER TEST

Todos os índices de qualidade apurados situam-se acima dos 80% mesmo considerando posições de amostragem de topo, meio e fundo do leito de sinterização da panela.

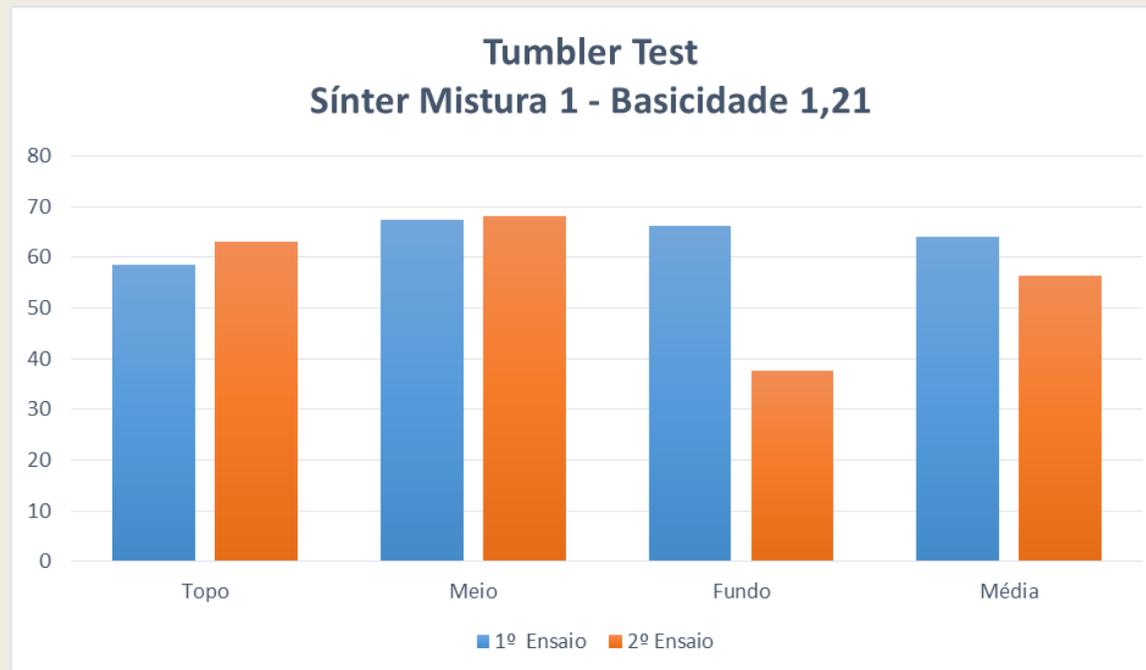
O teste contou com apenas duas repetições pois obteve-se porcentagem superior a 80% nos dois ensaios. O teste foi realizado duas vezes para topo, meio e fundo em um total de 6 ensaios por tipo de mistura.

RESULTADOS TUMBLER TEST

Tumbler Test do Sínter da Mistura 1
Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1º	58,5	67,43	66,2	64,04
2º	63,15	68,1	67,55	66,27

Gráfico Tumbler Test

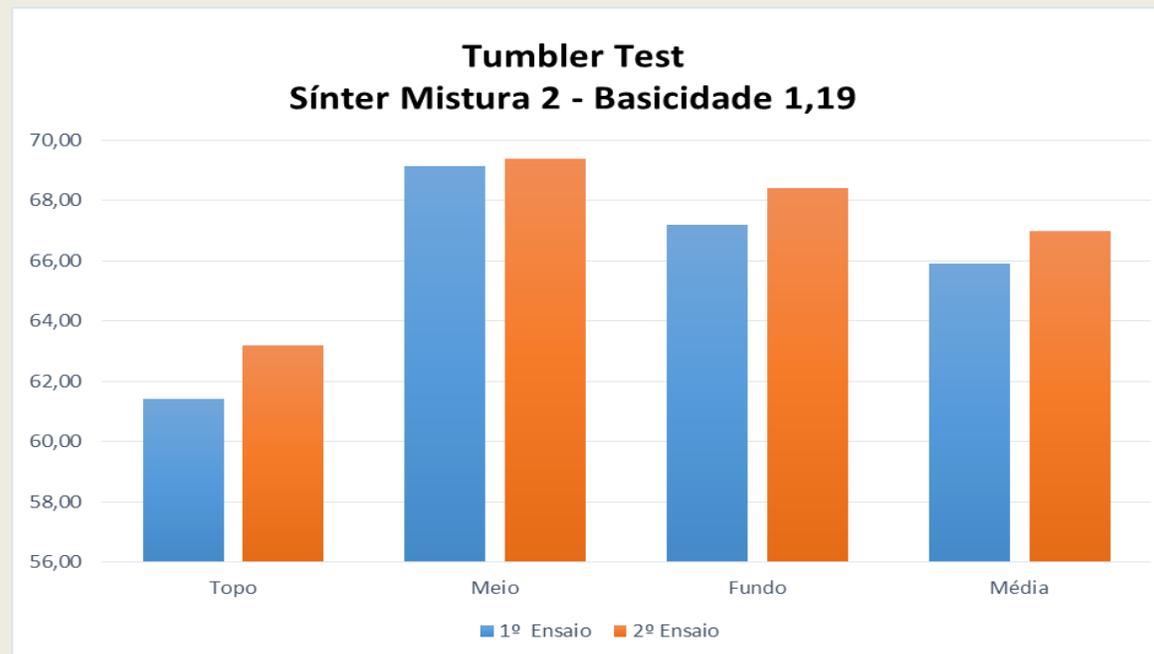


RESULTADOS TUMBLER TEST

Tumbler Test do Sínter da Mistura 2 Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1º	61,40	69,15	67,20	65,92
2º	63,20	69,40	68,40	67,00

Gráfico Tumbler Test

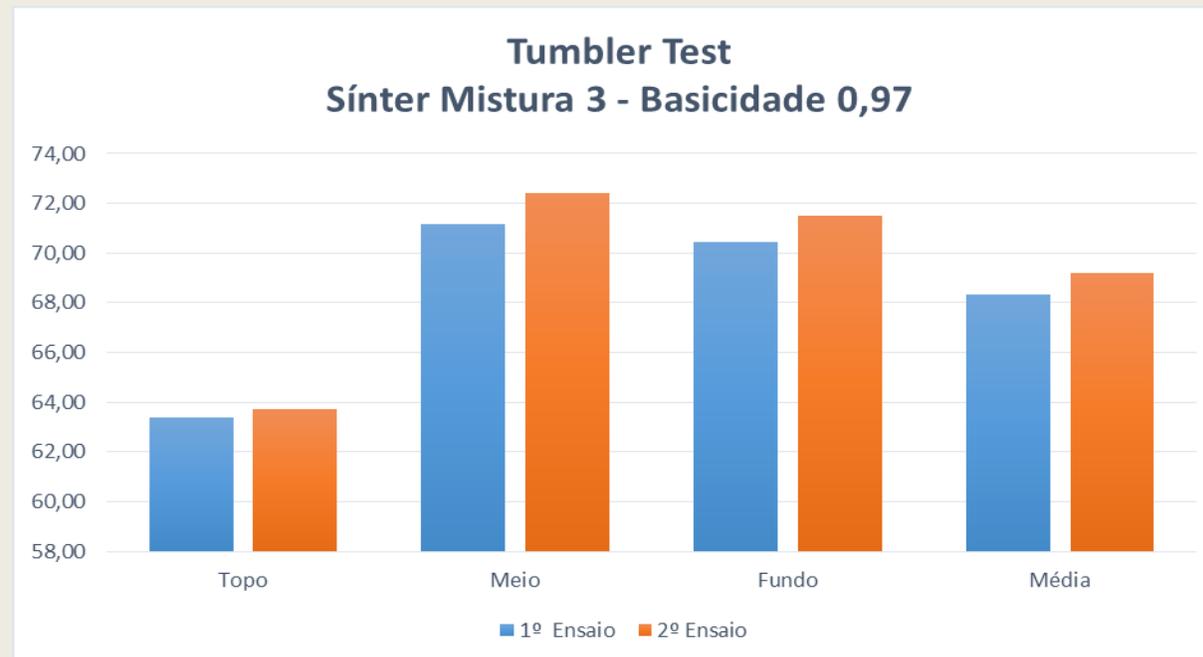


RESULTADOS TUMBLER TEST

Tumbler Test do Sínter da Mistura 3 Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1º	63,4	71,15	70,16	68,24
2º	63,7	72,43	71,5	69,21

Gráfico Tumbler Test

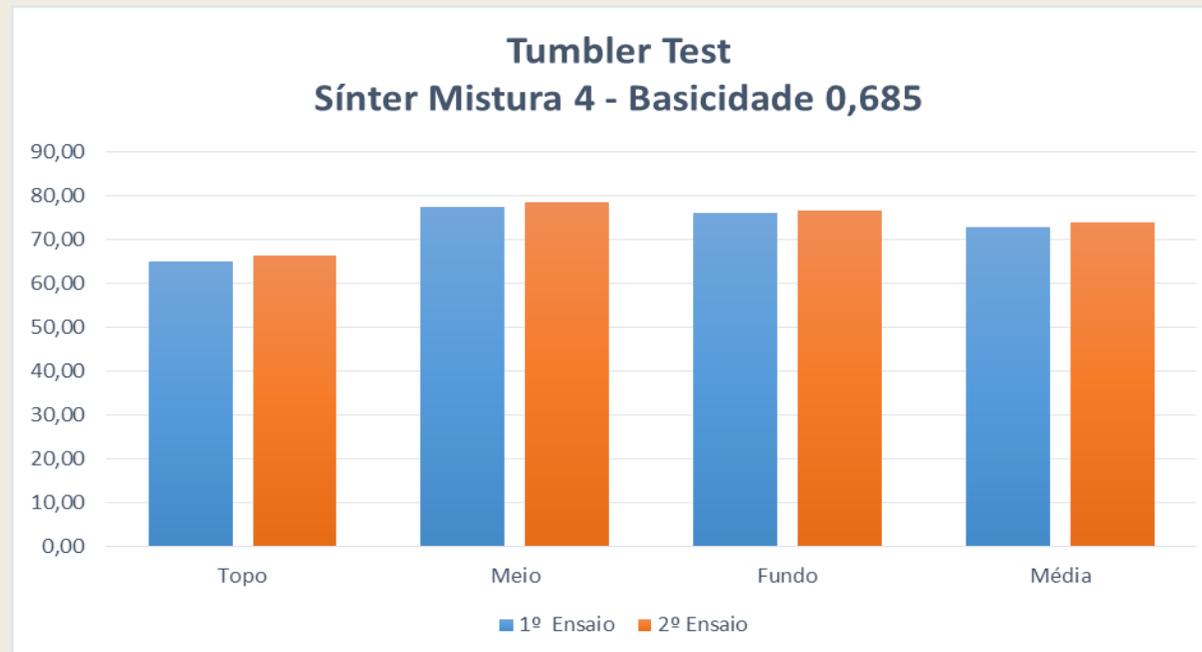


RESULTADOS TUMBLER TEST

Tumbler Test do Sínter da Mistura 4 Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1º	65,2	77,45	76,27	72,97
2º	66,48	78,63	76,72	73,94

Gráfico Tumbler Test

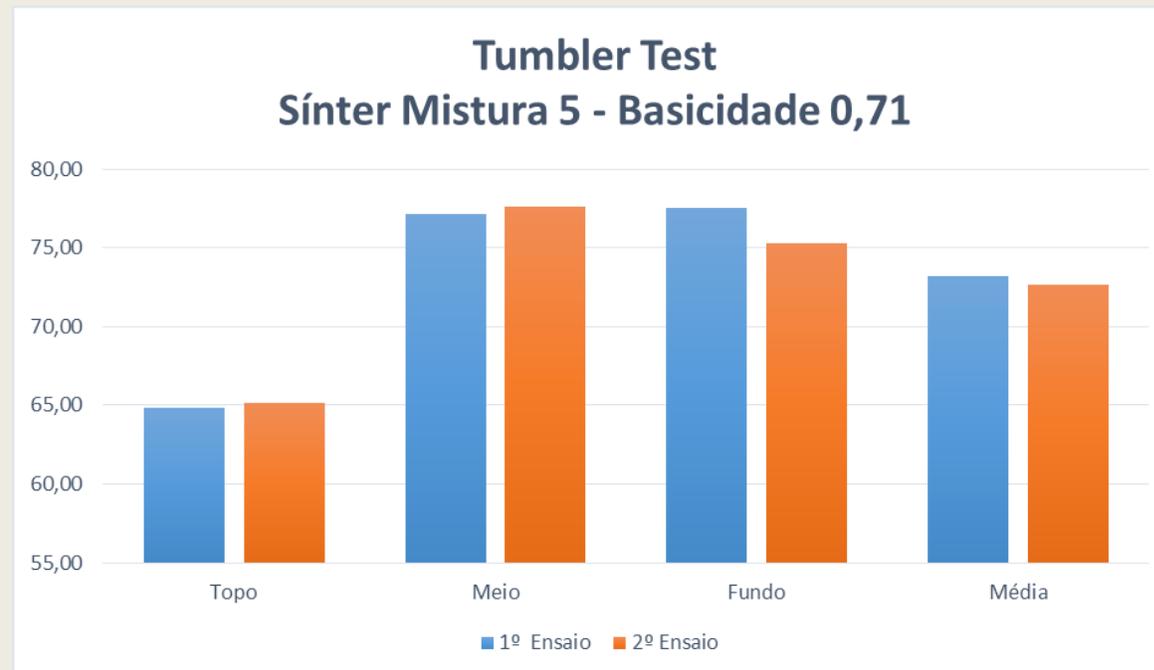


RESULTADOS TUMBLER TEST

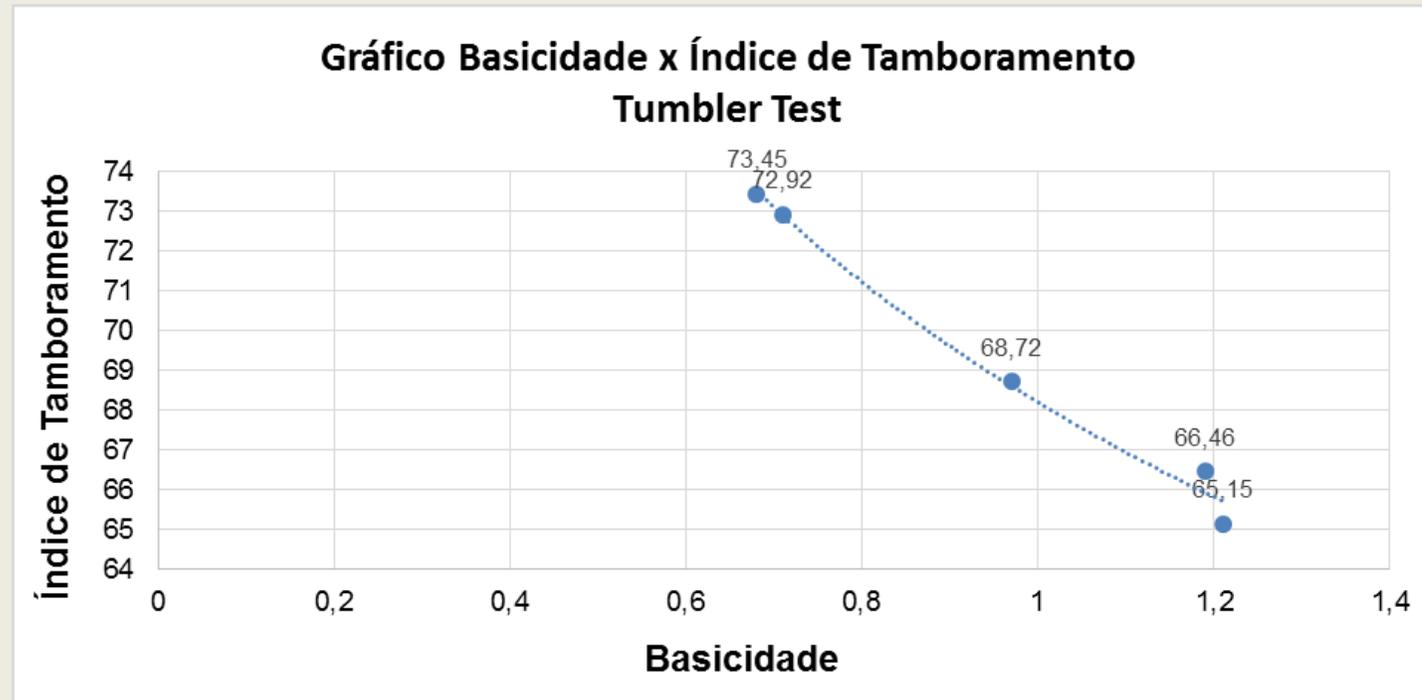
Tumbler Test do Sínter da Mistura 5 Percentuais obtidos

Ensaio	Topo	Meio	Fundo	Média
1º	64,82	77,13	77,55	73,17
2º	65,15	77,58	75,27	72,67

Gráfico Tumbler Test



BASICIDADE x ÍNDICE DE TAMBORAMENTO



CONSIDERAÇÕES TUMBLER TEST

Como no 1º ensaio da 1ª mistura a amostra do topo apresentou (IT) abaixo de 60%, fizemos o 2º ensaio para a 1ª mistura e optamos por padronizar esta prática para as demais misturas.

Mesmo considerando as diferenças nas avaliações de “IQ” e “IT” quando são avaliadas as amostras provenientes de topo, meio e fundo do leito de fusão, cabe ressaltar que todas as misturas utilizadas na produção dos sinteres, mostraram-se aptas para estruturação de produtos que atendem às normas quanto à resistência mecânica.

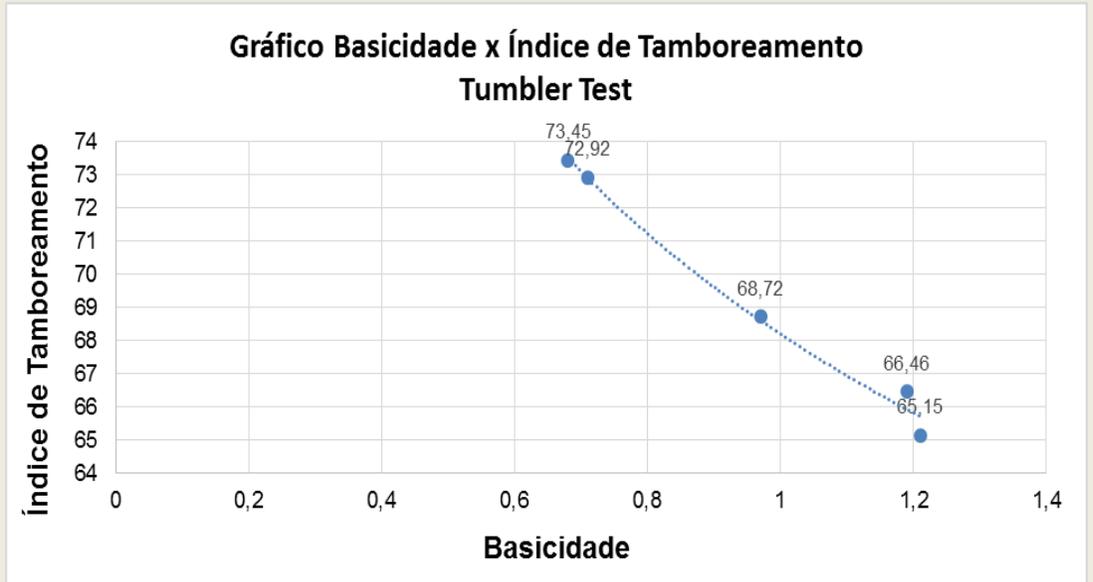
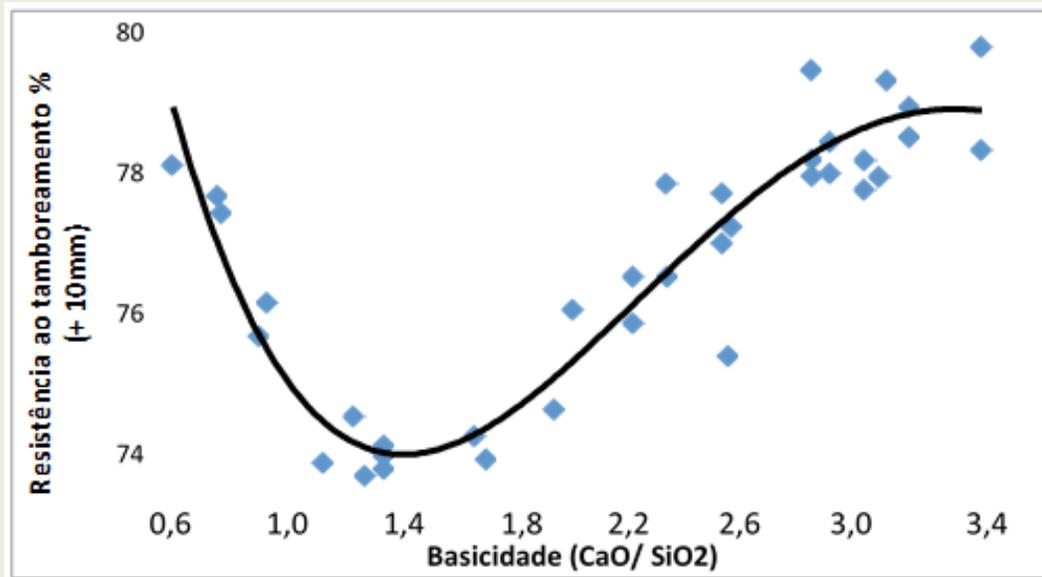
Os valores médios obtidos para os testes em todos os casos situam-se em faixas de adequação com relativa folga. Os sinteres com basicidade mais baixa se mostram mais resistentes e coesos, o que era esperado.

CONCLUSÕES

Podemos encaminhar as seguintes conclusões:

- Materiais menos nobres e constituintes da mistura complementar com qualidade abaixo das comercializadas, demonstraram na análise química e resistência mecânica faixa de adequação satisfatória.
- Como complemento para o fino de minério laterítico foi utilizado o Pellet Feed, outra possibilidade é o Sínter Feed lavado que reduziria o percentual de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, garantindo um teor de ferro mais elevado.
- Com a elevação do percentual de finos lateríticos, algumas características de sustentabilidade foram melhoradas, comprovando a possibilidade de utilizar o percentual de fino laterítico superior ao Pellet Feed e Sínter Feed.
- Em nosso caso, as misturas produziram sinteres que variando seu índice de basicidade, impõem propriedades ao sinter que devem ser avaliadas, considerando a resistência mecânica, a facilidade de redução em Alto Forno e a geração de escória. Dessa forma, os valores situados na faixa intermediária (basicidade entre 1,0 e 1,20), se apresentam como potencialmente atendendo aos três quesitos, ou seja, um consumo de carvão no Forno em faixa aceitável, uma resistência aceitável e um potencial gerador de escória bem controlado.

CONCLUSÕES



SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, temos:

- Modificar as misturas, introduzindo percentuais crescentes de Sínter Feed lavado em substituição ao Pellet Feed;
- Modificar as misturas introduzindo percentuais de carepa, variando entre 3% e 5%;
- Considerar em outro trabalho a construção de experimento coleta de dados para avaliação do índice de redutibilidade e índice de degradação em redução.