

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍNER DE FINOS DE
MINÉRIO DE FERRO DE GÊNESE MAGNÉTICA UTILIZANDO
ROTA DE PRODUÇÃO BASEADA NA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO
VEGETAL VERSUS COQUE DE PETRÓLEO, BUSCANDO META DE
BASICIDADE PRIMÁRIA DE 1,8**

RENAN DOS SANTOS FARIA

JULHO 2022

ORIENTADOR

Prof. Dr Alexandre Fernandes Habibe

Delimitação do Sinter na Cadeia de Produção

Finos de Minério de Base Magnética e
Resíduos Siderúrgicos



[Sinter]



Aço



Objetivos

Objetivo geral

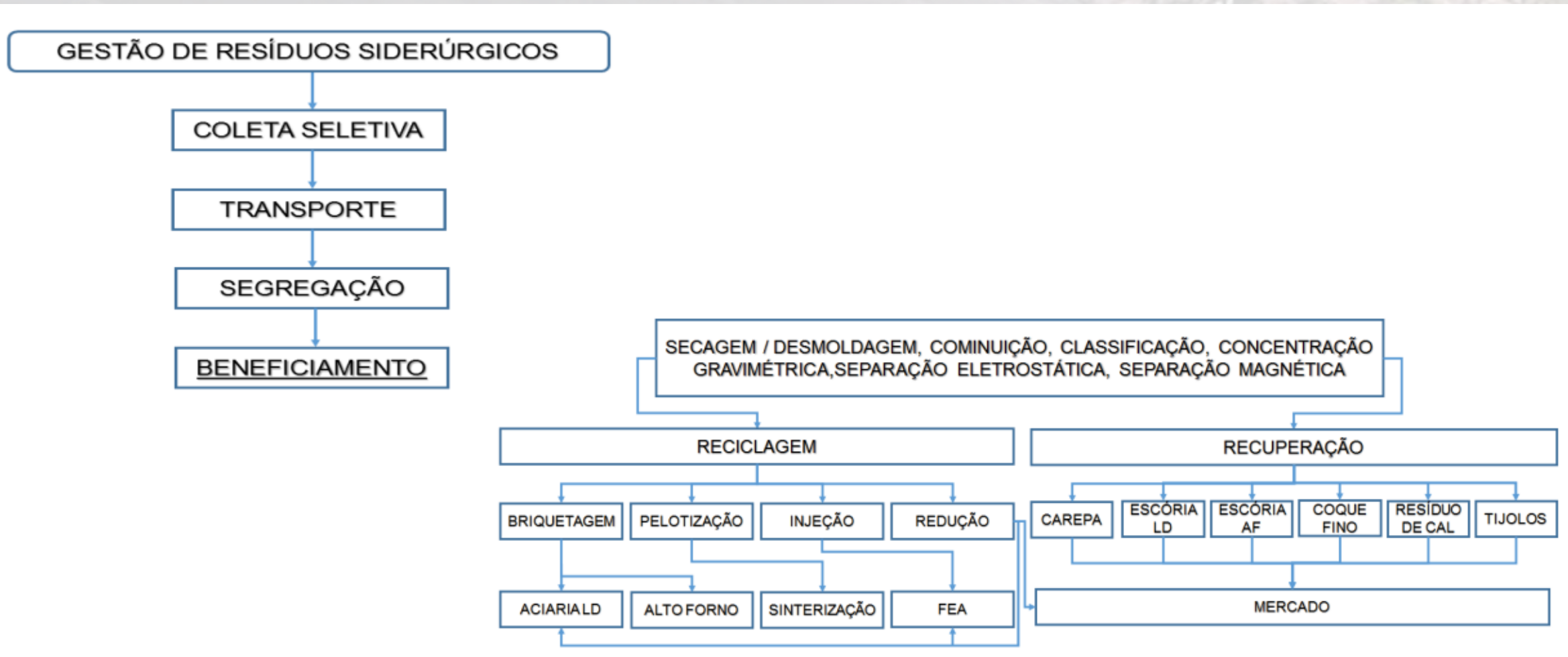
O trabalho tem como foco a avaliação da sinterabilidade de finos de minérios de ferro de base magnética, estabelecendo faixa de equilíbrio na determinação da mistura de finos mais adequada, com relação a um processo que busca melhor produtividade e custos em menor patamar.

Assume-se como objetivos complementares, a quantificação e qualificação dos indicadores operacionais e de performance química / resistência mecânica, utilizando apenas um tipo de fino de minério de ferro na mistura a ser processada. Para tal, busca-se estabelecer, rotas de sinterização, utilizando-se como combustível coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal para a síntese de um sinter com 1,8 de basicidade.

Justificativa

Devido à crescente escassez de minérios de ferro de boa concentração, bitolado de alto teor, e com sílica e fosforo limitados às demandas dos altos fornos, cabe buscar novas fontes de finos com qualidade adequada para ajuste de processo com características químicas voltadas a redução, que, como no caso dos finos de ferro de origem magnetítica, a princípio se mostram particularmente de dificultada sinterabilidade.

Estrutura de Gerenciamento de Resíduos



MATÉRIAS PRIMAS CONVENCIONAIS PARA ALTOS FORNOS

Lump

Sinter feed

Pellet feed

Minério granulado

Finos de minério tipo
sinter feed

Pulverizado tipo pellet feed



Processos Básicos de Aglomeração de Finos de Minérios e Pós

Briquetagem

MP – Finos e carepa

Moldagem do coproduto

Pressão necessária

Aplicação de aglomerante

Processo a frio ou a quente



Pelotização

MP – Finos pulverizados

Umidade constante

Aplicação de aglutinante

Processo a quente

Dimensão: 6 a 16mm



Sinterização

MP – Finos, pós, lamas e carepa

Fusão incipiente

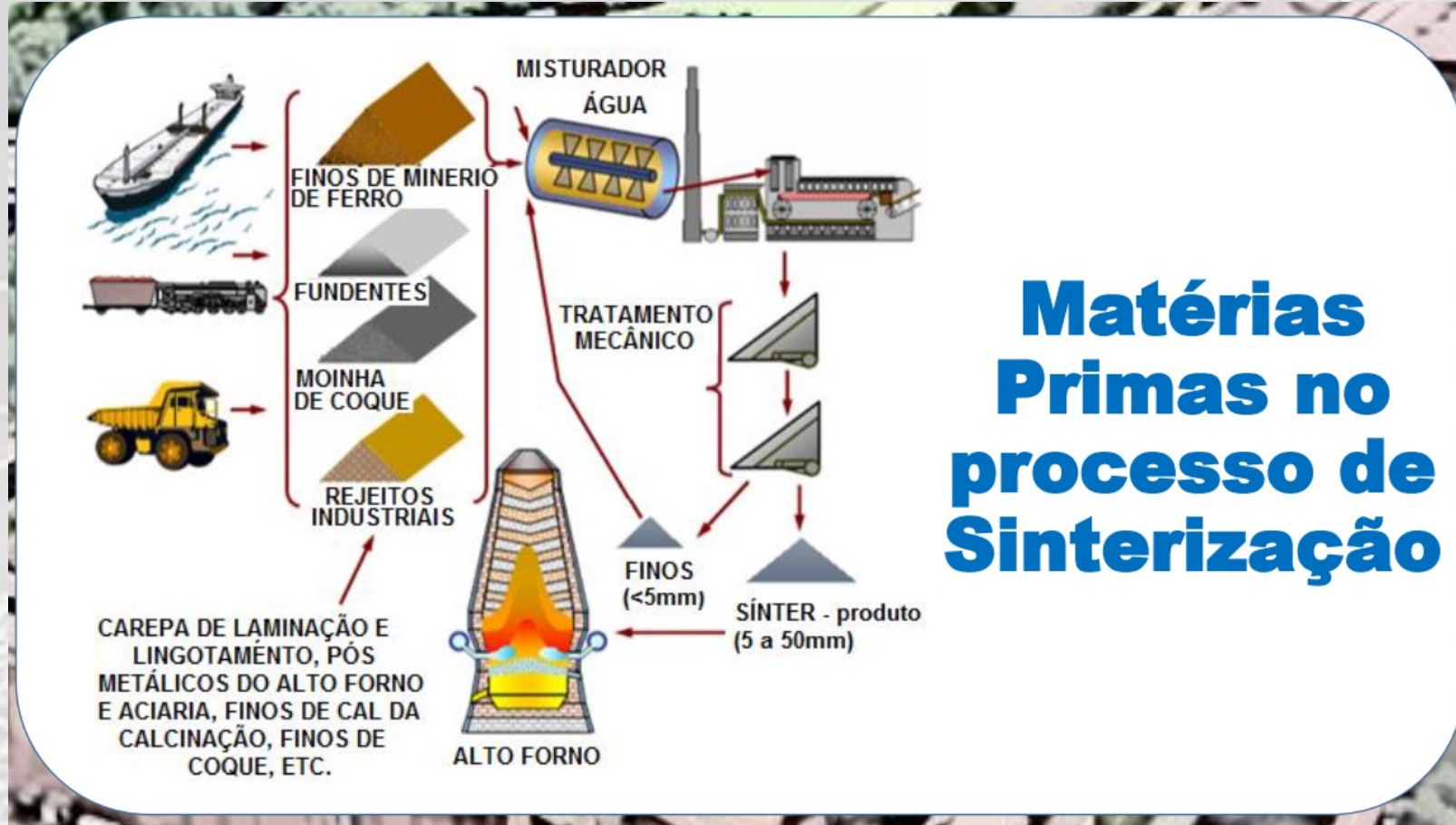
Aplicação de aglutinante

Processo a quente

Dimensão: 5 a 50mm



Fluxo Básico da Sinterização



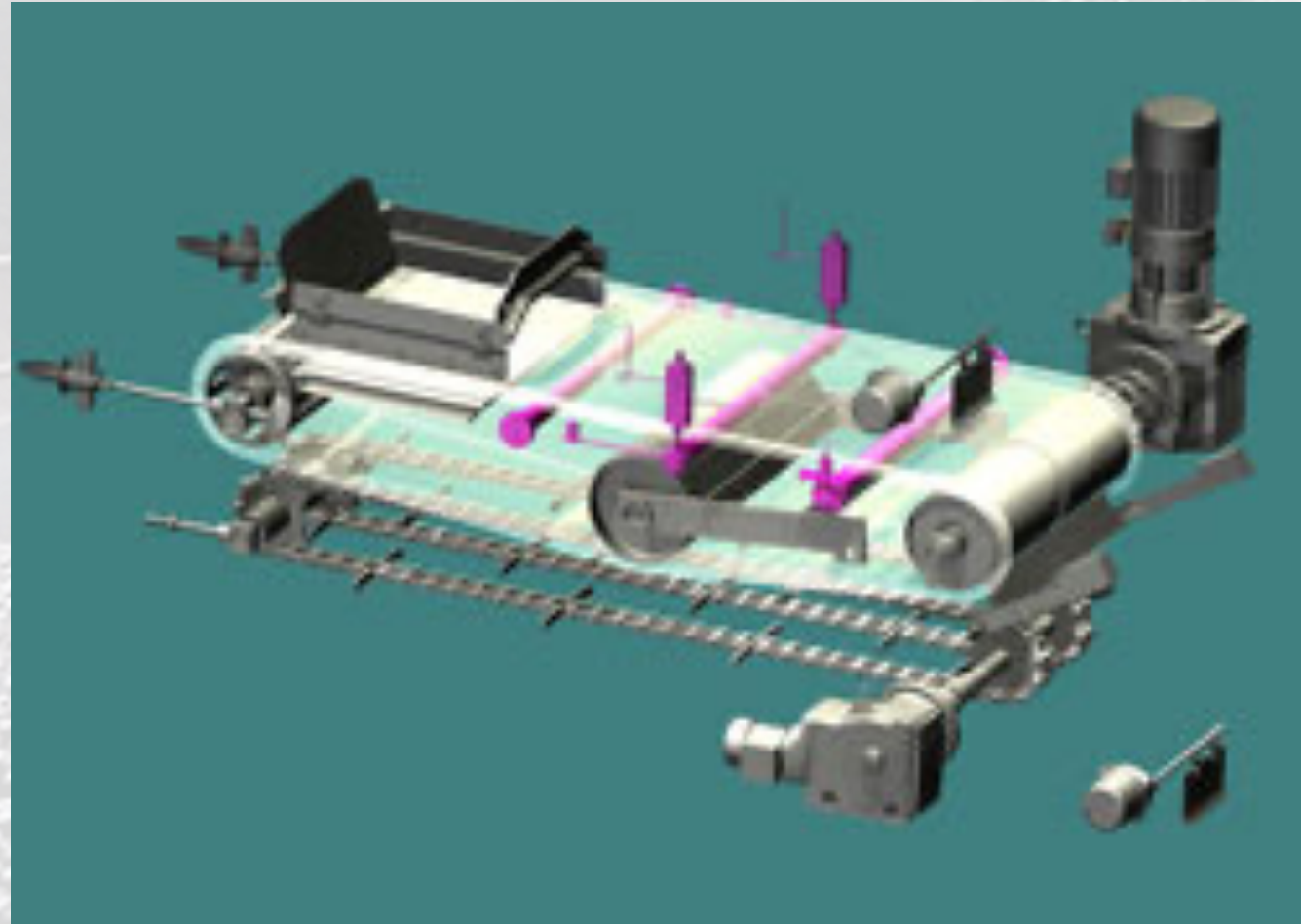
Armazenagem dos Componentes da Mistura

Silos de armazenagem de finos e resíduos



Sistema de Dosagem

Alimentador
pesador
contínuo para
cada silo



Misturador Intensivo

Sistema de misturamento intensivo



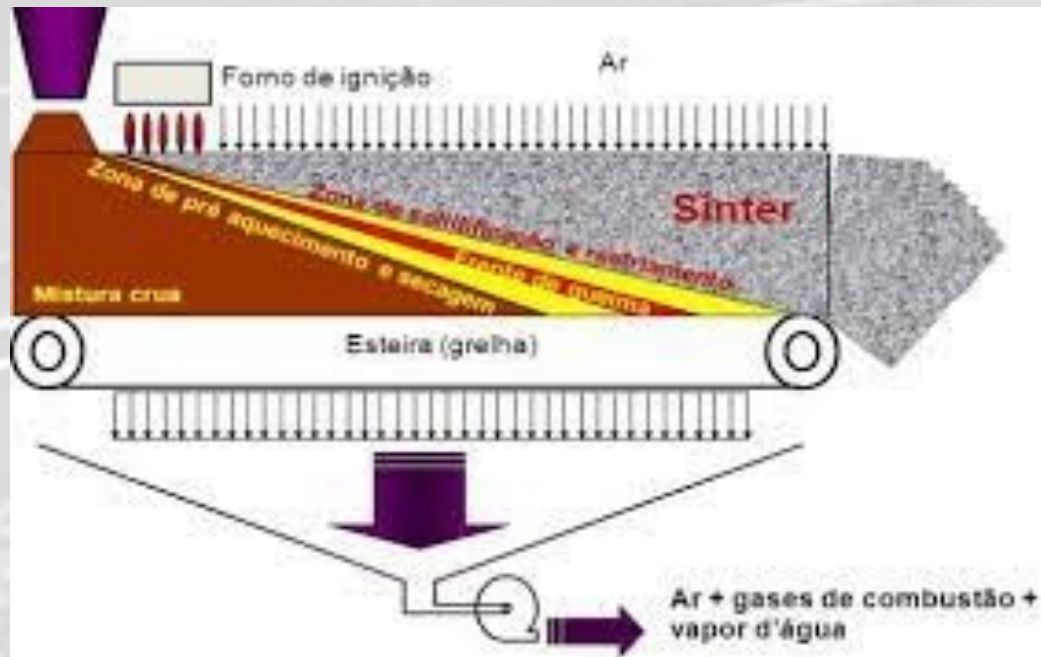
Micropelotização em Tambor

Micropelotizador de tambor

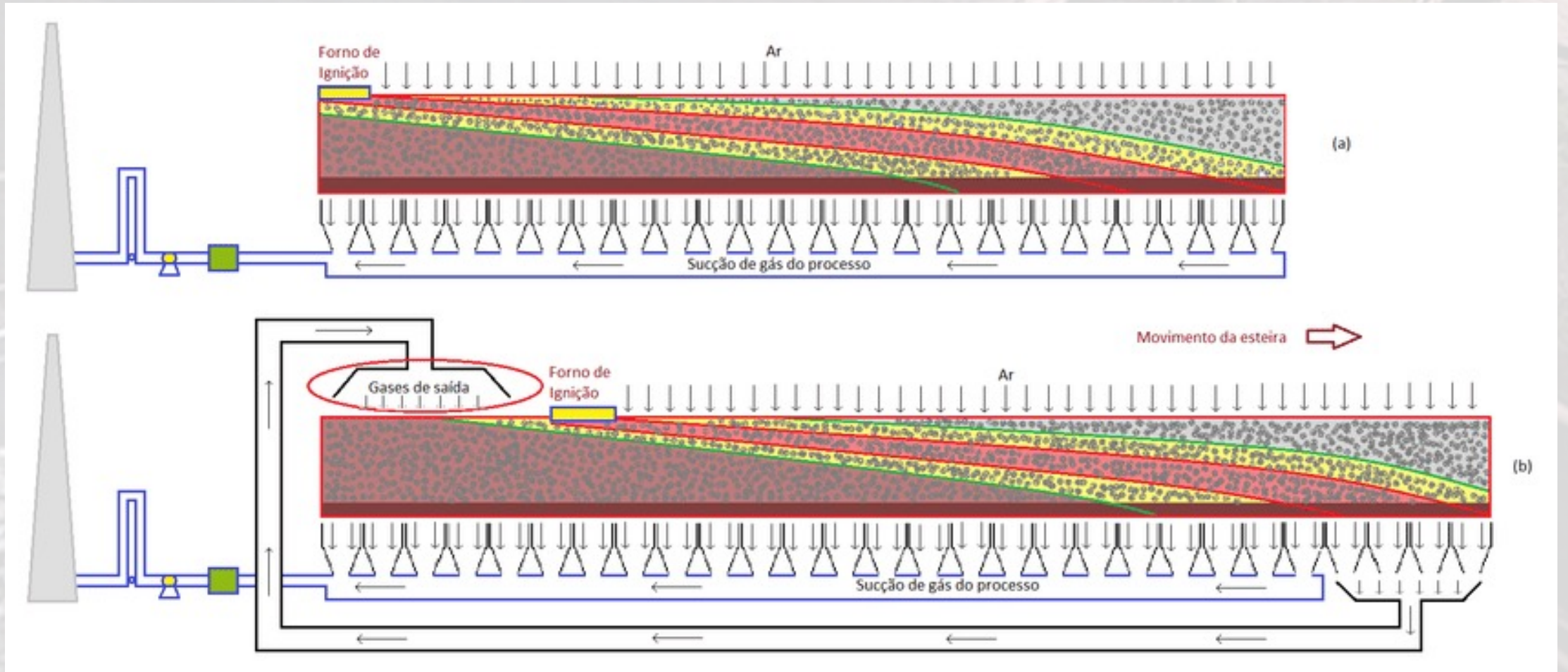


Sistema de Ignição da Mistura

Forno de ignição de mistura



Esteira de Sinterização - Esquemático



Sistema Primário de Fragmentação do Bolo de Sínter



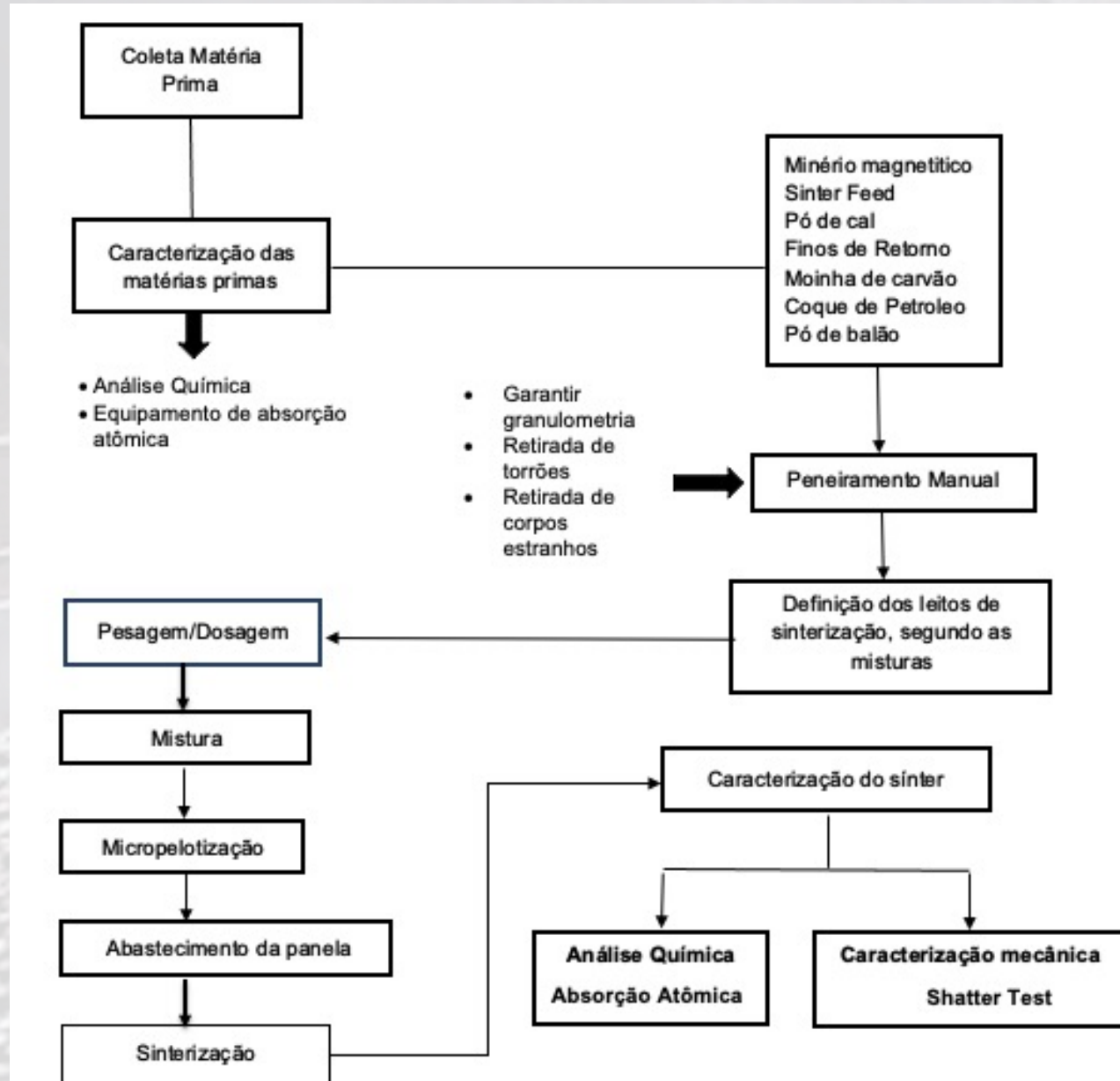
Beneficiamento de Sínter



Britagem e peneiramento do sinter



Fluxograma Geral da Metodologia



Planta Piloto



Características do sistema de Exaustão de Processo

Dados da Sinter PILOTO / THI

Panela

Área útil	0,2352	m ²
Volume da Panela	0,0487	m ³
Capacidade	120	Kg

Exaustor

<u>Motor</u>	1870	rpm
	45	Kw
	61	CV

<u>Vazão</u>	15,588	m ³ /h
	0,259	m ³ /minuto

<u>Depressão</u>	Entrada	-200	mmCa
	Saida	800	mmCa


Identificação dos Materiais/Misturas Utilizados para cada Tipo de Queima (Sinterização)

IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE QUEIMA				
Item	N - 1	N - 2	N - 3	N - 4
Teste Minério Baratinha	Basicidade 1,4 c / Carvão Vegetal	Basicidade 1,4 c / Coque de Petróleo	Basicidade 1,8 c / Carvão Vegetal	Basicidade 1,8 c / Coque de Petróleo

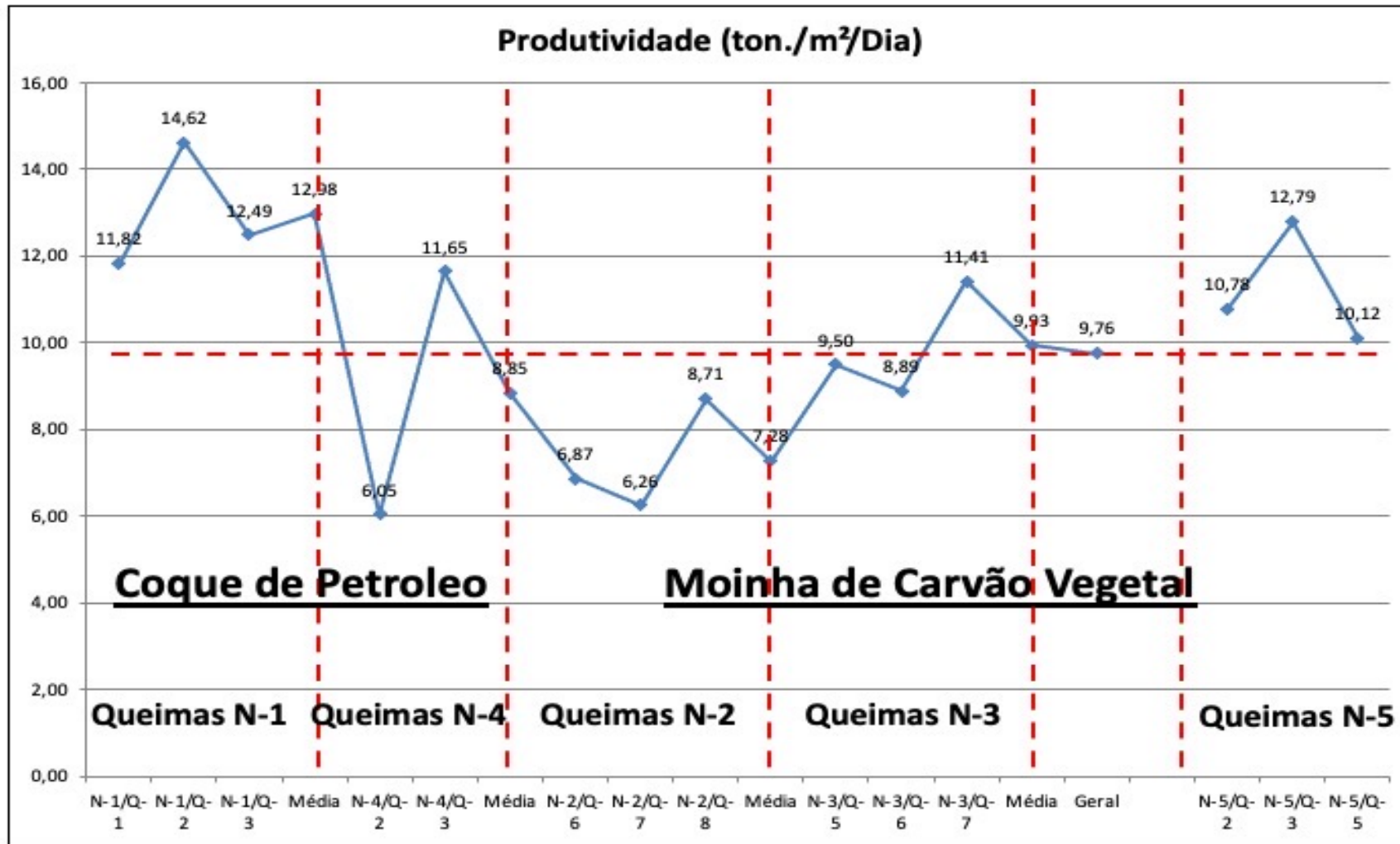
Total de Queimas Realizadas

TOTAL DE QUEIMAS REALIZADAS.				
Nível	Total	Gerar Retorno	Não Validadas	Validadas
N - 1	5	2		3
N - 2	9	1	5	3
N - 3	8	1	4	3
N - 4	4	1	1	2
N - 5	5	1	1	3
	31			

Queimas e Parâmetros de Processo

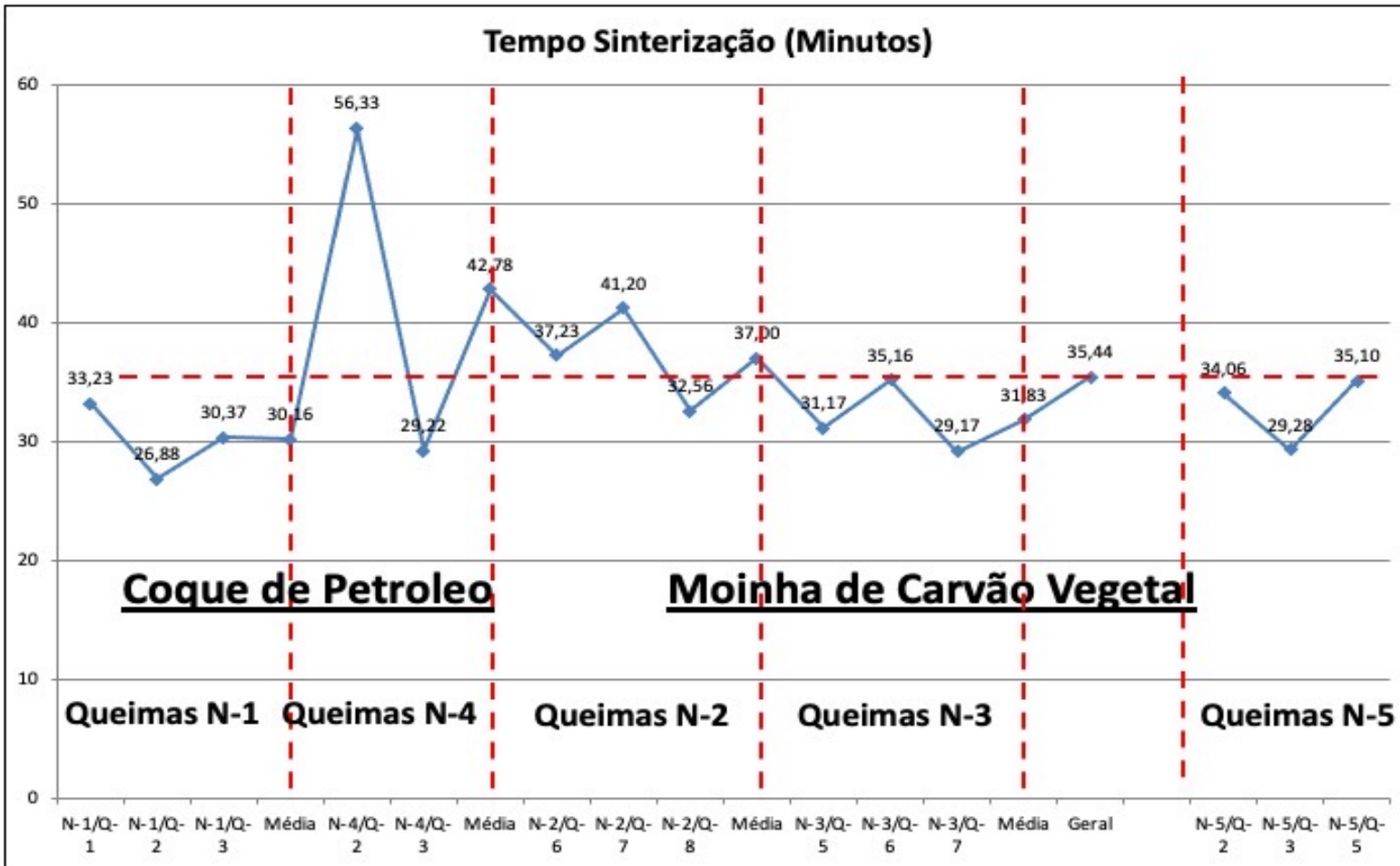
		Coque Petroleo - IB=1,80			Carvão Vegetal - IB=1,80				Média Geral
		Queimas - N / 4			Queimas - N / 3				
		N-4/Q-2	N-4/Q-3	Média	N-3/Q-5	N-3/Q-6	N-3/Q-7	Média	
Sinter Produto	Kg	55,650	55,590	111,240	48,360	51,080	54,350	153,790	146,40
Produtividade	ton./m²/Dia	6,05	11,65	8,85	9,50	8,89	11,41	9,93	9,76
Mistura Seca Carregada	Kg	101,120	100,210	201,33	102,705	100,153	103,917	306,78	277,54
Rendimento SP/M.Total	%	55,03	55,47	55,25	47,09	51,00	52,30	50,13	52,91
Tempo de Ignição	segundos	1,65	1,78	1,72	1,83	1,83	1,83	1,83	1,70
Tempo Sinterização	Minutos	56,33	29,22	42,78	31,17	35,16	29,17	31,83	35,44
Temperatura-Pico	°C	195	321	258	307	310	329	315	291
Depressão-Pico	mmCa	588	500	544	600	580	560	580	575,42
Camada de Mistura	mm	220	230	225	340	340	340	340	275
Camada de Bedding	Kg	10	10	10	10	10	10	10	10
Densidade de Carga	ton/m³	1,19	1,18	1,19	1,24	1,22	1,24	1,23	1,20
Umidade	%	7,14	7,21	7,18	12,48	13,4	11,56	12,48	9,84
Misturamento	minutos	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,33
Micropelotização	minutos	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,33
Granulometria	%	Q-2	Q-3	Média	Q-5	Q-6	Q-7	Média	
>50 mm		23,70	14,60	19,15	9,10	13,68	13,57	12,12	12,79
>25 mm		17,50	15,05	16,28	15,22	15,13	13,88	14,74	16,58
>12 mm		18,55	25,30	21,93	25,21	22,37	25,81	24,46	23,66
>5 mm		10,75	15,15	12,95	18,31	19,69	19,71	19,24	17,37
<5 mm		27,50	25,55	26,53	32,16	29,13	27,03	29,44	28,81
Rendimentos:	%	Q-2	Q-3	Média	Q-5	Q-6	Q-7	Média	
SP/SP+Retorno		63,24	64,91	64,08	58,91	60,67	64,43	61,34	62,06
SP/M.total		55,03	55,47	55,25	47,08	51,00	52,30	50,13	52,91
SP/M.Parcial		80,93	81,59	81,26	73,57	79,69	81,72	78,33	78,22

Produtividade (ton./m²/Dia)



A partir das queimas realizadas na planta piloto, e obtidos os resultados registrados nas planilhas específicas em anexo. Pode-se observar que a produtividade obtida com coque de petróleo utilizado como combustível em N#3 foi maior que em N#4 que utilizou moinha de carvão vegetal. Cabe observar que em função de uma das queimas em N#4 ter apresentado um resultado discrepante, a tendência de registro na produtividade segue coerente com a melhor qualidade do combustível.

Tempo Sinterização (Minutos)

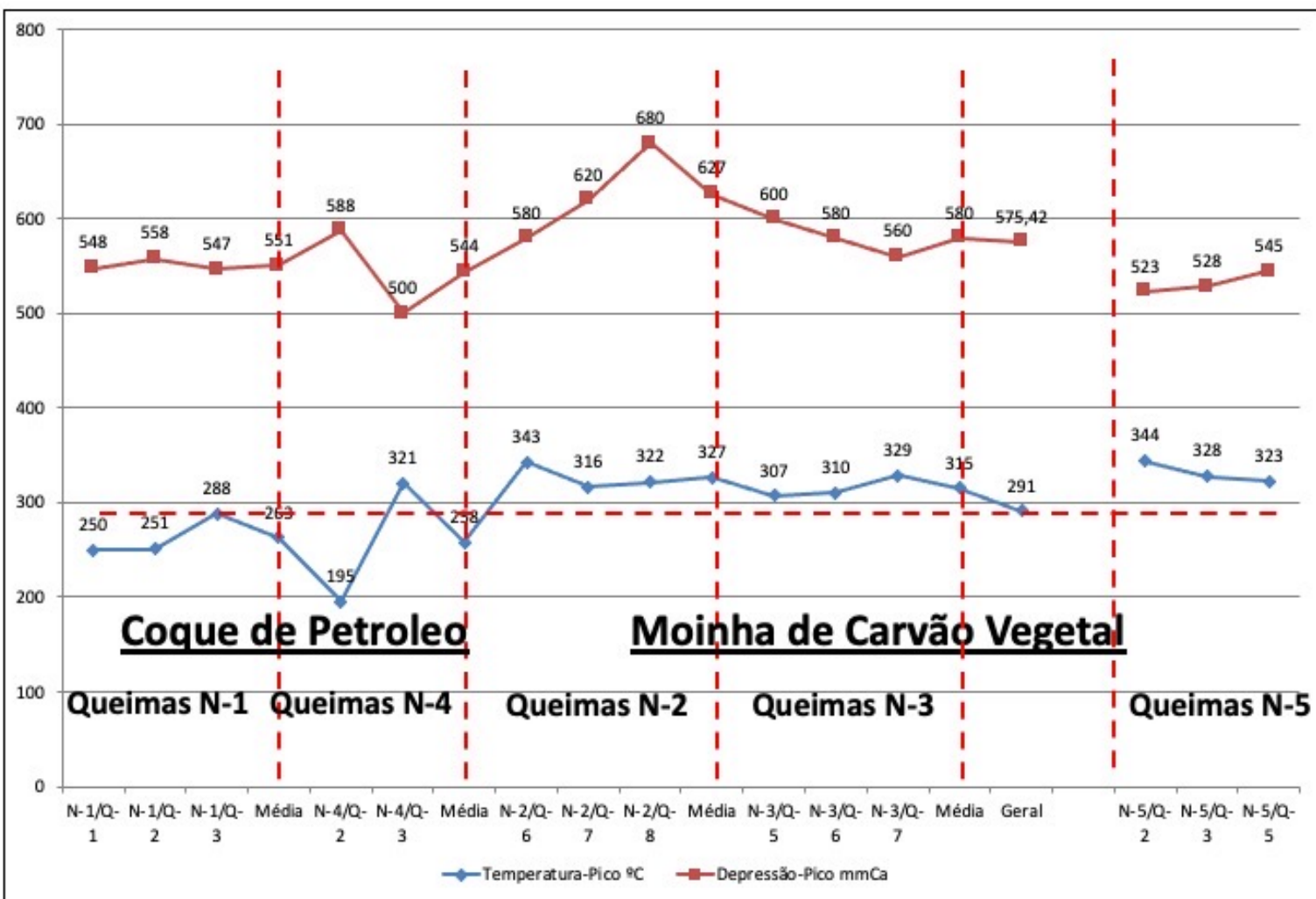


Note-se que o tempo médio de sinterização em N#4 mostra-se inferior ao tempo de sinterização em N#3. Cabe ressaltar que a morfologia do coque de petróleo e a homogeneidade de distribuição granulométrica garante uma queima de melhor qualidade e com resultados para o sinter melhor distribuídos. Como uma forma de comparação, a dispersão na granulometria da moinha de carvão vegetal e sua forma lamelar impõe uma distribuição de calor na mistura irregular. Mostra-se importante acrescentar que embora exista desnível entre os resultados das queimas em N#4, após o ajuste dos parâmetros de processo para segunda queima em N#4, obteve-se resultado esperado de menor tempo de sinterização do que o registrado em N#3.

Temperatura / Depressão

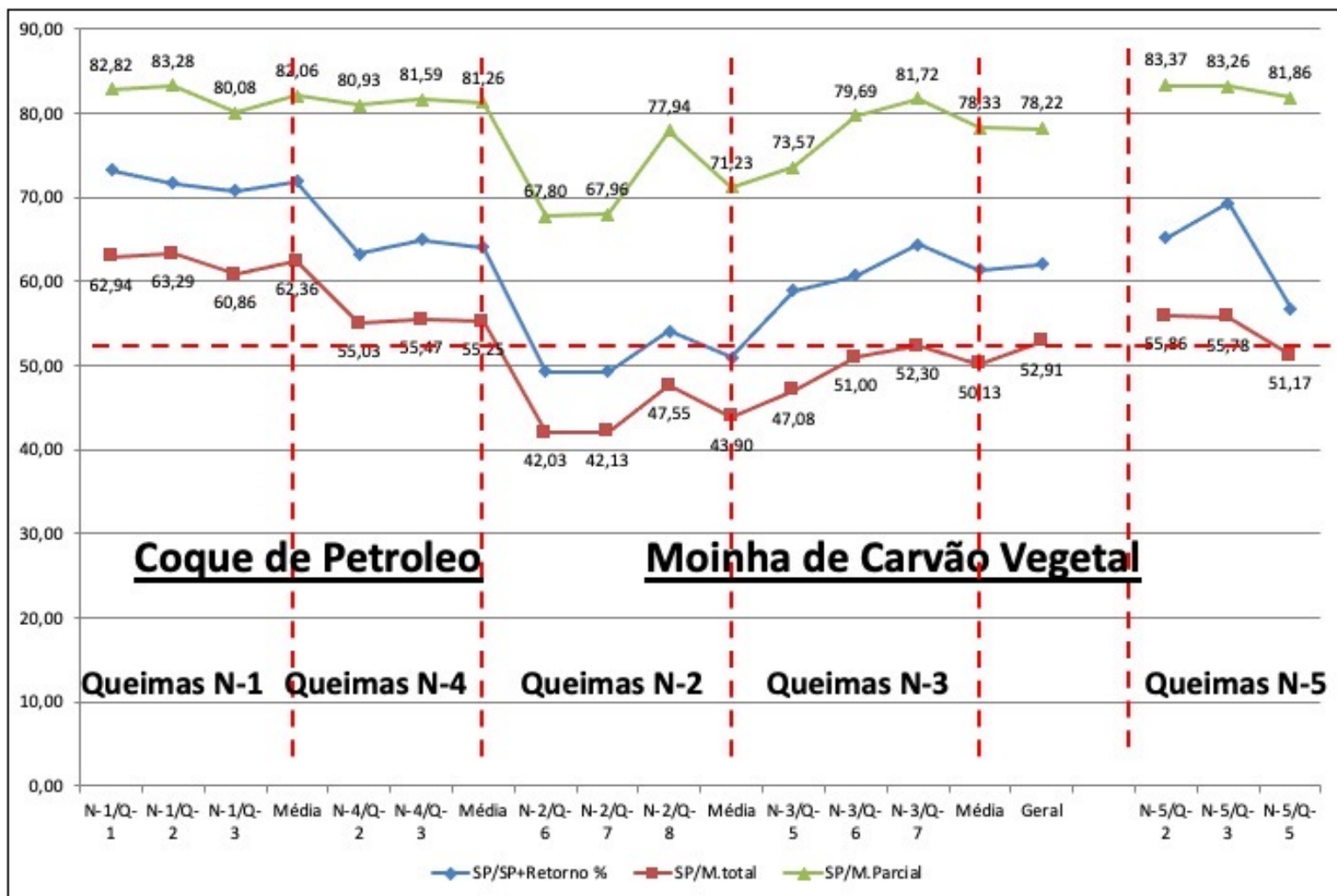
A faixa de depressão obtida nas várias queimas realizadas se mostra muito estável indicando uma permeabilidade média de carga previsível e relativamente homogênea. Para todas as queimas realizadas, considerando a basicidade da mistura, onde 1,8 obteve-se faixas de depressão com no máximo de 100mmca de diferença.

Com relação a temperatura a única discrepância relevante se apresenta na primeira queima em N#4, realizada em condições em que os parâmetros de processo ainda sem calibragem como na segunda queima N#4.



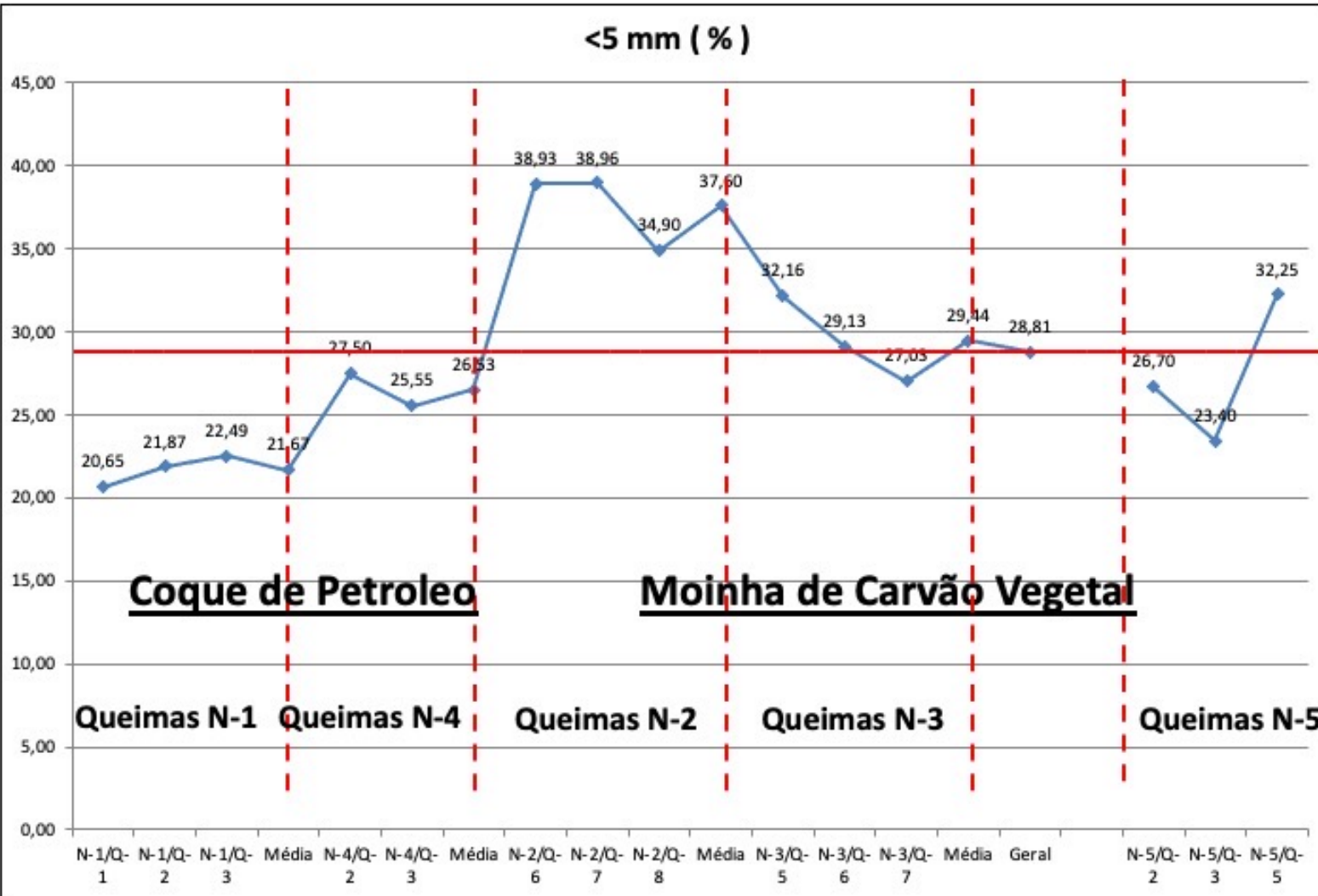
Rendimentos (%)

O rendimento utilizando-se coque de petroleo segue a tendência de garantir melhor homogeneidade de queima e melhor distribuição na carga, proporcionando um produto com melhor rendimento de massa e portanto uma produtividade melhor.



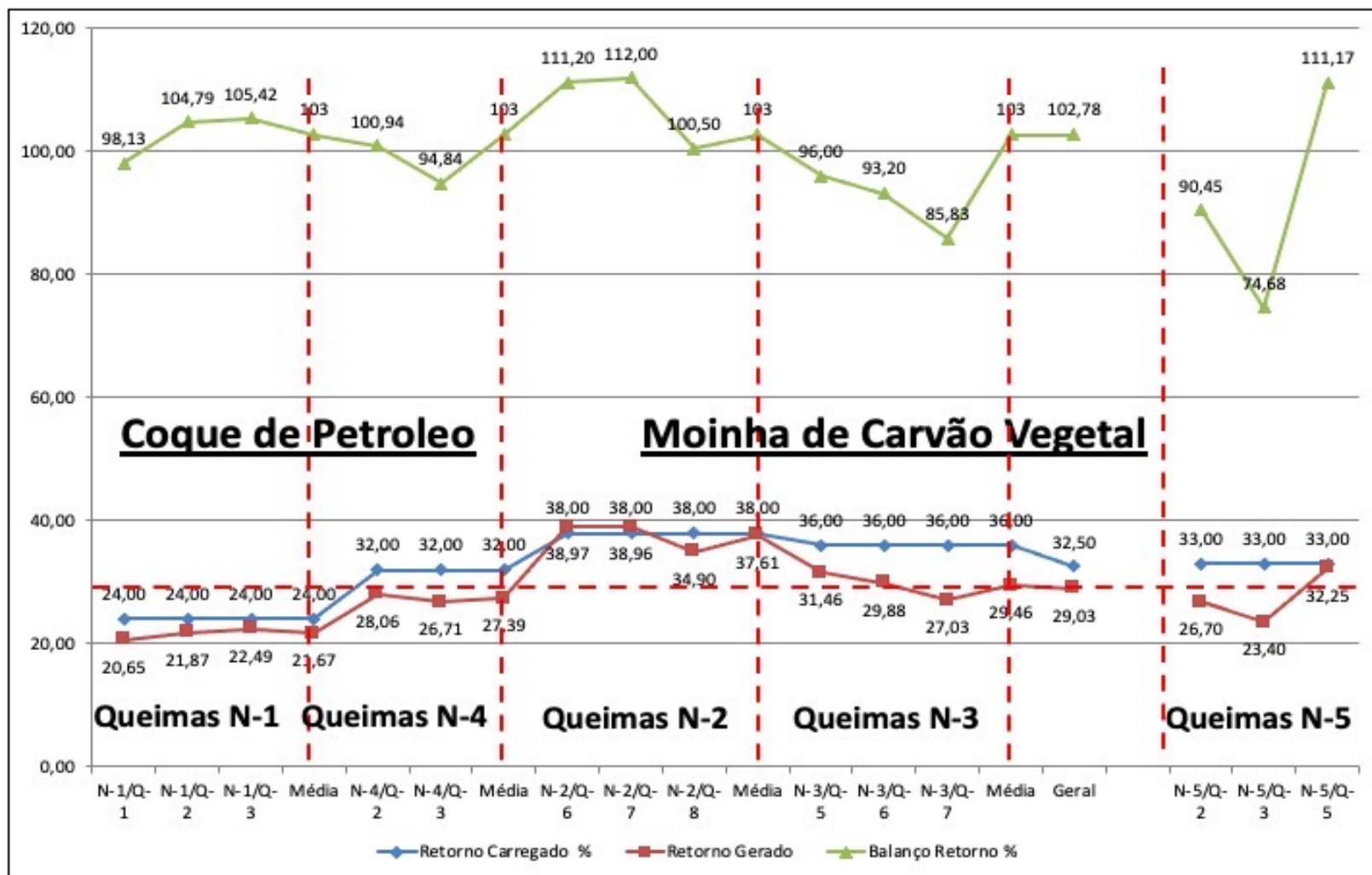
<5 mm (%)

Este gráfico apresenta o percentual de finos gerados a baixo de 5mm e corrobora os resultados do gráfico anterior, reforçando a tendência de melhor rendimento com utilização de coque de petróleo versus moinha de carvão vegetal.



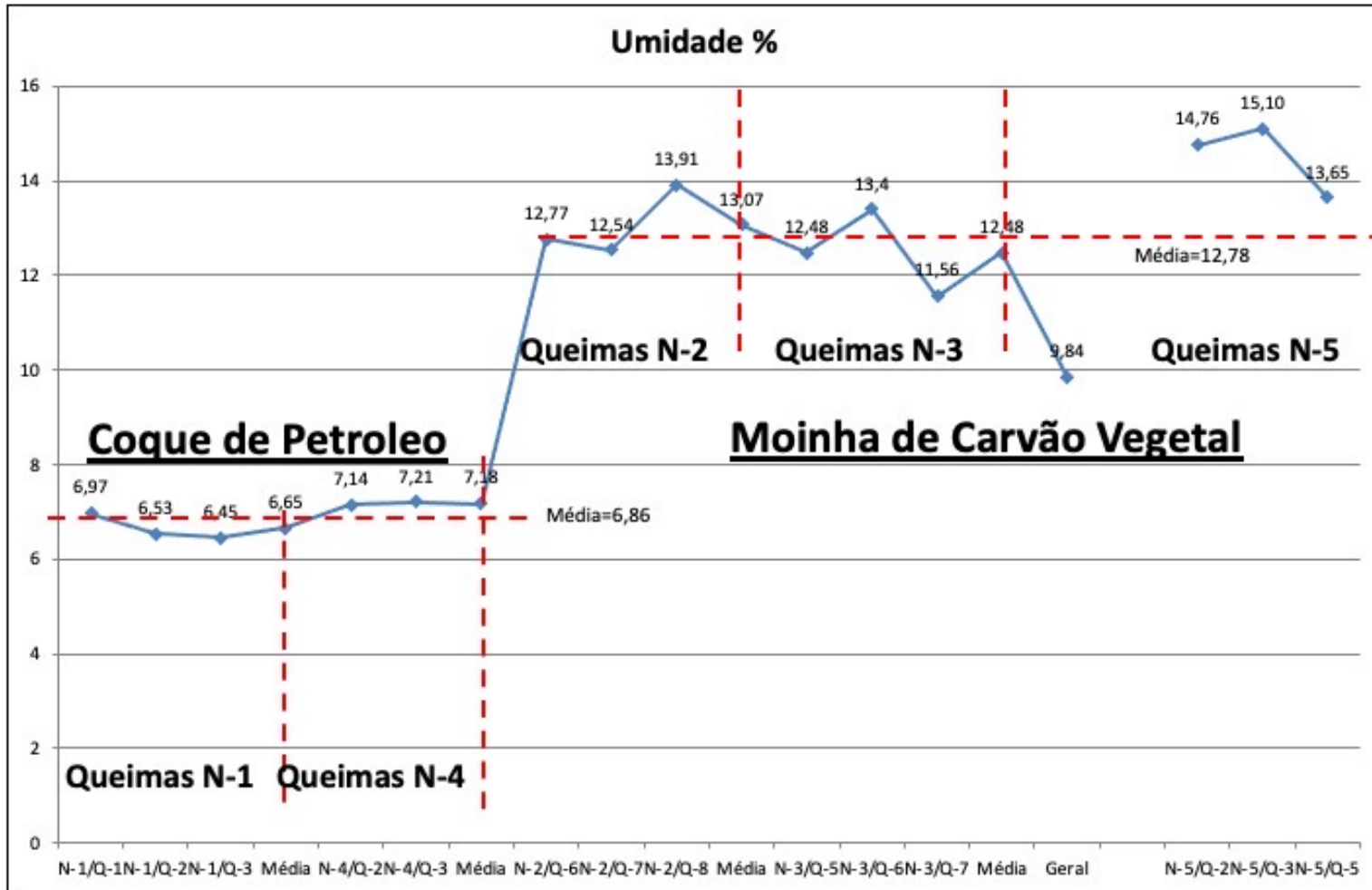
Retorno Carregado/Retorno Gerado/Balanco (%)

Em geral, o balanço relativo à utilização de finos de retorno gerados no processo, na carga, apresenta razoável estabilidade, mesmo considerando ajustes de parâmetros e experimentações realizadas a cada queima, desta forma com relação a esse quesito a utilização de coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal não apresentou vantagens comparativas.



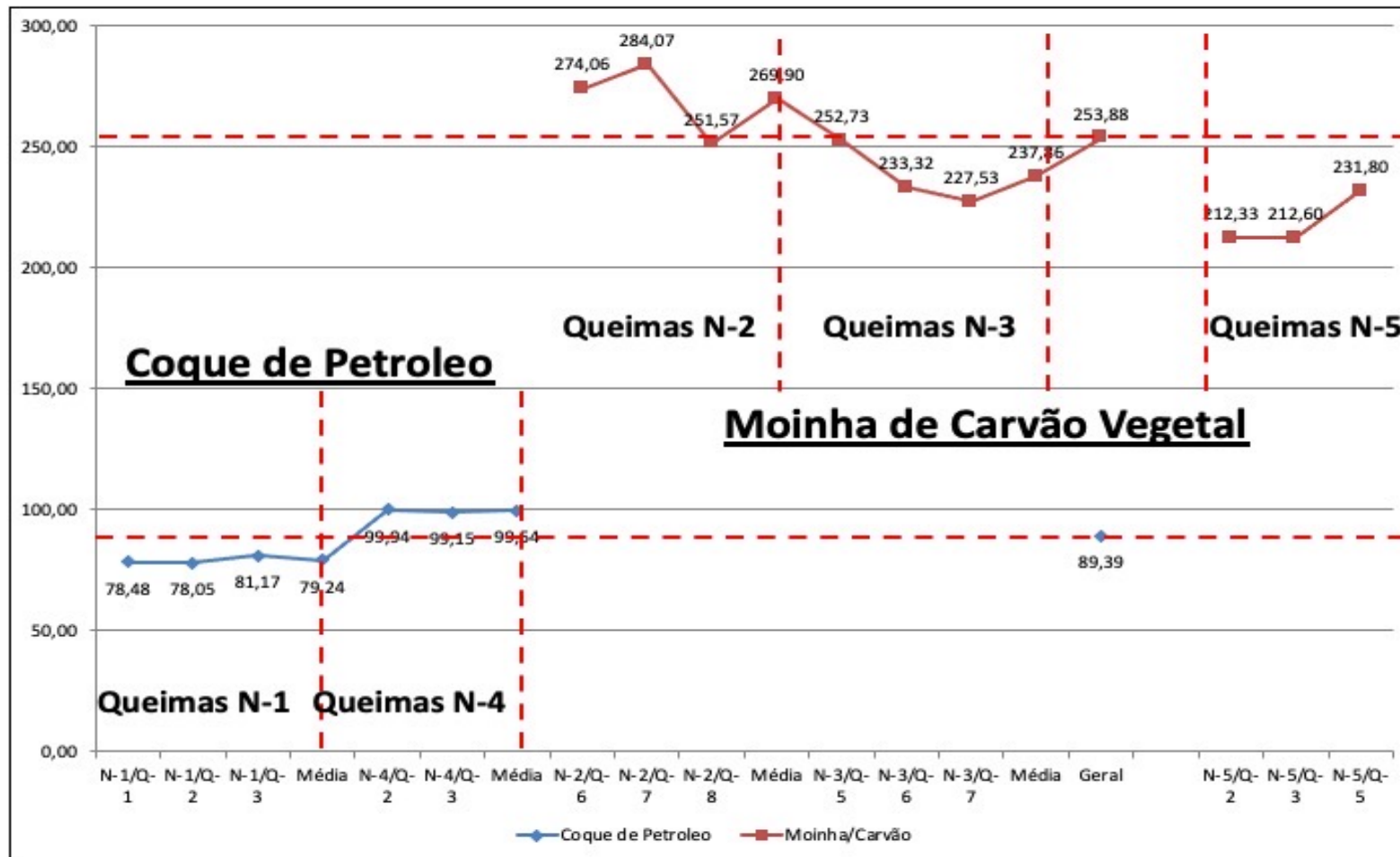
Consumo Específico (Kg/ton/Sinter)

Outra vantagem do coque de petróleo sobre a moinha de carvão vegetal se baseia na menor taxa de umidade que combustível agrega a mistura a ser sinterizada, ou seja, nesse quesito se mostra uma tendência ao consumo de menor quantidade de carbono fixo para garantir o atingimento das temperaturas necessárias ao processo.



Tendência do Consumo de Coque de Petróleo com Relação a Moinha de Carvão Vegetal

Este gráfico apresenta uma tendência esperada de menor consumo de coque de petróleo com relação a moinha de carvão vegetal, visto que, poder calorífico do coque de petróleo é superior ao da moinha de carvão vegetal, isto decorrente do maior carbono fixo do coque de petróleo. Outras vantagens decorrentes da homogeneidade da granulometria do coque e sua morfologia mais adequada, favorecem também um melhor rendimento na queima que favorece a utilização de quantidade de coque na mistura.



Teste de Queda

Coque Petroleo - IB=1,40		Carvão Vegetal - IB=1,40	
Queimas - N / 1	66,33	Queimas - N / 2	54,88
Coque Petroleo - IB=1,80		Carvão Vegetal - IB=1,80	
Queimas - N / 4	55,84	Queimas - N / 3	62,22

Os testes realizados no dispositivo de shatter test para avaliação da resistência mecânica do sínter indicaram para a basicidade 1,8 uma performance superior do sínter que utilizou como combustível a moinha de carvão vegetal. Note-se que este resultado está fortemente influenciado pela primeira queima de N#4, está ainda não parametrizada e corrigida como a segunda queima de N#4. Este resultado destoa dos resultados apresentados em gráficos anteriores em que rendimentos e geração de finos apontam uma tendência de maior resistência mecânica para os sínteres produzidos utilizando como combustível o coque de petróleo. Dessa forma, entendemos que utilizando-se apenas o sínter gerado na segunda queima N#4 teríamos uma performance de resistência mecânica utilizando-se coque de petróleo em relação a moinha de carvão vegetal.

Nesta segunda sequência de testes realizados no dia 21/08/2019, foram realizados três (03) testes/queima de um leito específico calculado partir das análises fornecidas.

Produto Final

**Coque de Petróleo, sínter
obtido após a queima**



**Carvão Vegetal, sínter
obtido após a queima**



Conclusão

- Considerando o conjunto de queimas desenvolvidas na planta piloto de Santa Luiza, MG, e a partir dos resultados obtidos e registrados nas planilhas específicas em anexo, pode-se concluir que a produtividade obtida com coque de petróleo quando utilizado como combustível em N#3 foi maior que em N#4 que utilizou como combustível a moinha de carvão vegetal. Cabe considerar que em função de uma das queimas em N#4 ter apontado para um resultado discrepante, a tendência no registro da produtividade segue coerente com a melhor qualidade do combustível.

Conclusão

- Quando se observa o quesito relativos aos tempos de sinterização registrados, os resultados registrados nas planilhas e dispostos nos gráficos, apresentam uma estreita relação entre a qualidade do combustível e o tempo de sinterização, visto que, o tempo médio de sinterização em N#4 mostra-se inferior ao tempo de sinterização em N#3. Cabe destacar que a morfologia existente no coque de petróleo e sua homogeneidade de distribuição granulométrica, garante uma queima qualitativamente melhor e com melhores resultados para o sinter. Como uma forma de exemplificação, a dispersão na granulometria da moinha de carvão vegetal e sua forma lamelar apontam para uma distribuição de calor na mistura irregular. Destaca-se aqui que embora exista desnível entre os resultados das queimas em N#4, após o ajuste dos parâmetros de processo para segunda queima em N#4, obteve-se resultado esperado de menor tempo de sinterização do que o registrado em N#3.

Conclusão

- Quando se observa o quesito relativos aos tempos de sinterização registrados, os resultados registrados nas planilhas e dispostos nos gráficos, apresentam uma estreita relação entre a qualidade do combustível e o tempo de sinterização, visto que, o tempo médio de sinterização em N#4 mostra-se inferior ao tempo de sinterização em N#3. Cabe destacar que a morfologia existente no coque de petróleo e sua homogeneidade de distribuição granulométrica, garante uma queima qualitativamente melhor e com melhores resultados para o sinter. Como uma forma de exemplificação, a dispersão na granulometria da moinha de carvão vegetal e sua forma lamelar apontam para uma distribuição de calor na mistura irregular. Destaca-se aqui que embora exista desnível entre os resultados das queimas em N#4, após o ajuste dos parâmetros de processo para segunda queima em N#4, obteve-se resultado esperado de menor tempo de sinterização do que o registrado em N#3.

Conclusão

- A faixa de variação da depressão registrada nas várias queimas realizadas se mostra estável indicando uma permeabilidade média de carga, previsível e relativamente homogênea. Para todas as queimas realizadas, considerando a basicidade da mistura de 1,8, obteve-se faixas de depressão com no máximo de 100mmca de diferença.
- Com relação a variação de temperatura a discrepância relevante ficou registrada na primeira queima em N#4, esta queima foi realizada em condições em que os parâmetros de processo ainda se mostravam sem calibragem como na segunda queima N#4. Dessa forma, a utilização dos dois tipos de combustível não ocasionaram variações relevantes na queima, visto que as quantidades de cada combustível foram equilibradas de forma a garantir uma quantidade de carbono fixo equitativa para os dois casos.

Conclusão

- A faixa de variação da depressão registrada nas várias queimas realizadas se mostra estável indicando uma permeabilidade média de carga, previsível e relativamente homogênea. Para todas as queimas realizadas, considerando a basicidade da mistura de 1,8, obteve-se faixas de depressão com no máximo de 100mmca de diferença.
- Com relação a variação de temperatura a discrepância relevante ficou registrada na primeira queima em N#4, esta queima foi realizada em condições em que os parâmetros de processo ainda se mostravam sem calibragem como na segunda queima N#4. Dessa forma, a utilização dos dois tipos de combustível não ocasionaram variações relevantes na queima, visto que as quantidades de cada combustível foram equilibradas de forma a garantir uma quantidade de carbono fixo equitativa para os dois casos.

Conclusão

- O rendimento obtido no processo de sinterização, quando da utilização do coque de petróleo segue a tendência de garantir melhor homogeneidade de queima e melhor distribuição na mistura, proporcionando um produto com melhor rendimento de massa e portanto uma produtividade melhor.
- O percentual de finos gerados após a sinterização, abaixo de 5mm, converge para os resultados apresentados para o rendimento, dessa forma, reforça-se a tendência de melhor geração de produto bitolado (sínter agregado), com utilização de coque de petróleo versus moinha de carvão vegetal.

Conclusão

- O rendimento obtido no processo de sinterização, quando da utilização do coque de petróleo segue a tendência de garantir melhor homogeneidade de queima e melhor distribuição na mistura, proporcionando um produto com melhor rendimento de massa e portanto uma produtividade melhor.
- O percentual de finos gerados após a sinterização, abaixo de 5mm, converge para os resultados apresentados para o rendimento, dessa forma, reforça-se a tendência de melhor geração de produto bitolado (sínter agregado), com utilização de coque de petróleo versus moinha de carvão vegetal.

Conclusão

- A partir da tendência geral, o balanço relativo à utilização de finos de retorno gerados no processo, na mistura, apresenta estabilidade, mesmo quando considera-se que foram realizados ajustes de parâmetros e experimentações no transcórper das queima, assim sendo, com relação a esse quesito, a utilização de coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal não apresentou vantagens comparativas.
- Outra vantagem na utilização do coque de petróleo sobre a moinha de carvão vegetal, reside na menor quantidade de umidade que este combustível agrega a mistura a ser sinterizada, ou seja, mostra-se presente, uma tendência ao consumo de menor quantidade de carbono fixo para garantir a meta dos patamares de temperaturas necessárias ao processo.

Conclusão

- A partir da tendência geral, o balanço relativo à utilização de finos de retorno gerados no processo, na mistura, apresenta estabilidade, mesmo quando considera-se que foram realizados ajustes de parâmetros e experimentações no transcórper das queima, assim sendo, com relação a esse quesito, a utilização de coque de petróleo ou moinha de carvão vegetal não apresentou vantagens comparativas.
- Outra vantagem na utilização do coque de petróleo sobre a moinha de carvão vegetal, reside na menor quantidade de umidade que este combustível agrega a mistura a ser sinterizada, ou seja, mostra-se presente, uma tendência ao consumo de menor quantidade de carbono fixo para garantir a meta dos patamares de temperaturas necessárias ao processo.

Conclusão

- A extratificação do consumo em massa do combustível para cada mistura apresenta a tendencia esperada de menor consumo de coque de petróleo com relação a moinha de carvão vegetal, visto que, o poder calorífico do coque de petróleo é superior ao da moinha de carvão vegetal, isto decorre do maior carbono fixo do coque de petróleo. Outros pontos ponteciais decorrentes da homogeneidade da granulometria do coque e sua morfologia mais adequada, favorecem também um melhor rendimento da queima que reduzem a utilização da quantidade de coque na mistura.

Conclusão

- Os testes realizados para cada queima no dispositivo de shatter test (teste de queda) para avaliação da resistência mecânica do sinter indicaram para a basicidade 1,8 uma performance superior do sinter que utilizou como combustível a moinha de carvão vegetal. Note-se que este resultado está fortemente influenciado pela primeira queima de N#4, esta, ainda não parametrizada e corrigida como a segunda queima de N#4. Este resultado destoia dos resultados apresentados em gráficos anteriores em que rendimentos e geração de finos apontam uma tendência de maior resistência mecânica para os sinteres produzidos utilizando como combustível o coque de petróleo. Dessa forma, entendemos que utilizando-se apenas o sinter gerado na segunda queima N#4 teríamos uma melhor performance de resistência mecânica utilizando-se coque de petróleo em relação a moinha de carvão vegetal.