

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E METALÚRGICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MISTURA DE CARVÃO DA GERDAU AÇOMINAS¹

Guilherme Liziero Ruggio da Silva²

Elton Destro³

Rafael Ferreira Delfim Bueno²

José Luiz Rodrigues de Oliveira⁴

Rafael Dário Alves Carias⁵

Paulo Santos Assis⁶

Resumo

Uma marcha estável do alto-forno (AF) está ligada à consistência das propriedades químicas, físicas e metalúrgicas das suas matérias-primas (MP), especialmente, as do coque. Sendo o coque uma das mais importantes MP carregadas no AF, a consistência de propriedades corresponde ao coque de alta qualidade apresentando, portanto, ao longo do tempo, valores de umidade, cinza, enxofre, álcalis, fósforo, distribuição de tamanhos, resistência a frio e resistência após reação com dispersão mínima em relação aos determinados como meta em termos de qualidade, conferem aos AF, grande estabilidade operacional, permitindo maximizar a produtividade. As propriedades do coque são reflexos das propriedades dos carvões que lhe deram origem. Em termos de propriedades ligadas à natureza do carvão, a qualidade do coque é bastante influenciada pelo rank dos carvões, que compuseram sua mistura, i. é, quantidades de macerais reativos e inertes, bem como suas propriedades coqueificantes, que é, exatamente, a habilidade inerente aos carvões aglutinantes de quando aquecido, amolecer, tornar-se plástico e solidificar em uma massa coerente. Neste contexto, o presente trabalho se propõe a realizar a caracterização química, física e metalúrgica das frações granulométricas da mistura de carvão típica da Gerdau Açominas.

Palavras-chave: Carvão; Caracterização; Faixas granulométricas; Qualidade da mistura.

CHARACTERIZATION CHEMISTRY, PHYSICS AND METALLURGY OF THE SIZE FRACTIONS OF THE MIXTURE OF COAL GERDAU AÇOMINAS

Abstract

A steady march of the blast furnace (AF) is linked to the consistency of the chemical properties of metals and their raw materials (MP), especially the coke. As the coke one of the most important MP charged in AF, the consistency of properties corresponds to high-quality coke and, thus, over time, values of moisture, ash, sulfur, alkalis, phosphorus, size distribution, resistance and strength after reaction with minimal dispersion in relation to some goal in terms of quality, give AF, high operational stability, allowing maximize productivity. The properties of coke are reflections of the properties of coal gave rise to it. In terms of properties related to the nature of coal, coke quality is strongly influenced by the rank of coal, which made up the mix, i. is quantity of macerated reactive and inert, and its properties coqueificantes, which is exactly the inherent ability of binders for coal when heated, soften, become plastic and solidify into a coherent mass. In this context, this paper is to characterize the chemistry, physics and metallurgy of the size fractions of the mixture of coal typical Gerdau Açominas.

Key words: Coal; Characterization; Fractions of the size; Quality of mixture.

1 *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

2 *Mestrando em Engenharia de Materiais – REDEMAT/UFOP*

3 *Doutorando em Engenharia de Materiais – REDEMAT/UFOP*

4 *Consultor Técnico da Gerdau Açominas, Mestre em Engenharia Metalúrgica e Minas – UFMG*

5 *Estudante de Engenharia Metalúrgica - UFOP*

6 *Prof. Dr. Titular da Escola de Minas da UFOP - REDEMAT*

1 INTRODUÇÃO

O coque é o principal combustível usado nos altos-fornos das usinas integradas. A redução do custo de produção de coque está intimamente atrelada à aquisição de carvão mineral, sendo o responsável pela maior parcela do custo de produção do aço. Desta forma, por se tratar de MP de alto custo, e grande complexidade técnica, requer uma fundamentação tecnológica muito grande na sua caracterização, a fim de se otimizar o custo/benefício dos carvões, que serão usados na mistura que dará origem ao coque.

Neste contexto, a britagem de carvões é uma operação fundamental para o processo de cominuição dos carvões que compõem a mistura, a fim de se obter uma distribuição granulométrica compatível com o processo de coqueificação. No entanto, esta operação torna-se bastante criteriosa devido a diferença de dureza dos carvões; diferença de distribuição granulométrica no recebimento dos materiais; significativa porcentagem de partículas já na granulometria requerida para o carvão (< 2,83mm); desgaste das superfícies de britagem (martelos, placas, entre outros).

Atrelada à distribuição granulométrica da mistura, a caracterização petrográfica desta é importante no sentido de fornecer a composição e a proporção de macerais existentes em cada carvão e da mistura. De posse destas considerações, se faz jus conhecer a distribuição de macerais em cada faixa granulométrica, os macerais reativos (grupo da vitrinita, exinita), são mais macios e, portanto, após a britagem, tendem a se concentrar nas faixas granulométricas inferiores. Em contra partida a parte inerte, por apresentar considerável dureza, se distribuem essencialmente nas faixas de maior tamanho. Esta análise petrográfica foi importante, principalmente, porque mostrou que as frações mais finas (<0,15mm – super-finos) estavam concentrando os macerais, vitrinitas e exinitas, ou seja os mais nobres para a definição de qualidade do coque.

Outra questão de relevância ao processo de produção do coque é o percentual de super finos contido na mistura, pois quando acima de 13% contribui para a formação de carbono no interior dos fornos e tubos de ascensão dos mesmos. Desta forma, prejudicando o processo de coqueificação uma vez que partículas de materiais reativos de tamanho ínfimo (< 0,15mm), perdem seu poder de inchamento e fluidez.

A influência da granulometria do carvão nas características do coque é posta em evidência no controle rotineiro de qualidade de matérias primas e produtos da coqueria. Segundo Ulhôa,⁽¹⁾ uma primeira regra que advém da prática industrial seria: “a britagem de um carvão a uma distribuição granulométrica mais adequada e uma maior constância dessa distribuição influem positivamente na resistência e homogeneidade do coque, originando ganhos em termos de rendimento em coque para alto-forno e redução do *coke rate*.” Um melhor conhecimento da natureza básica dos carvões, em cada faixa granulométrica, em termos de constituintes macroscópicos (e microscópicos) é o ponto de partida para se entender as razões da influência da distribuição granulométrica nas características do coque, principalmente na sua resistência mecânica.

O objetivo deste trabalho é caracterizar as faixas granulométricas da mistura de carvão da Gerdau Açominas, quanto às propriedades químicas, físicas e metalúrgicas, com enfoque na caracterização do material superfino da mistura, no que tange a Petrografia; Análise de fluidez a fim de se conhecer quais os impactos que a cominuição excessiva acarreta a esta propriedade. Análise Imediata: determinação da distribuição de matéria volátil, cinzas e teor de carbono fixo no material <0,149mm.

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1 Cominuição do Carvão

Segundo Chaves,⁽²⁾ o carvão tem um comportamento à cominuição muito peculiar quando comparado com o dos demais minerais. Este comportamento decorre de vários fatores que se enumeram a seguir:

- o carvão mineral é um material heterogêneo. Além dos seus diversos constituintes petrográficos, denominados macerais – cada um deles com um comportamento mecânico individualizado, bem como propriedades características à coqueificação – contém matéria mineral, que tanto pode estar liberada da matéria carbonosa como intimamente associada a ela. No primeiro caso, a matéria mineral vai ter o seu comportamento mecânico próprio; no segundo, ela vai alterar o comportamento do maceral ao qual estiver associada;
- o carvão possui uma quantidade enorme de poros, trincas, interfaces e capilaridades. Cada uma dessas singularidades se constitui num ponto de fraqueza. Bond⁽³⁾ estabeleceu o princípio de que o ponto mais fraco de um sólido é quem determina a sua resistência mecânica. No carvão, as descontinuidades são tantas, que elas prevalecem sobre quaisquer outros fatores e são elas que determinam a capacidade de resistência do carvão à cominuição. São tantas estas imperfeições e é tão marcante a sua influência, que o carvão pode ser considerado um sólido pré-fraturado; e
- o carvão tem uma quantidade de água (umidade) superficial ou contida nos poros e capilares muitas vezes maior que a usual para os outros minerais. Está muito bem estabelecido que a presença da água aumenta o caráter plástico/ elástico dos materiais. A explicação para este comportamento é dada em termos de tensão superficial, ou seja, a água presente nas trincas acarretaria um reajustamento das superfícies das trincas e as manteria juntas. Burstlein⁽⁴⁾ verificou que a adsorção de vapor de água facilita a deformação plástica do carvão, dificultando em consequência, a sua moagem. No sentido inverso, aqueceu carvão a 130°C e verificou que o carvão seco quebrava com muito maior facilidade.

2.2 Leis da Fragmentação

Segundo Chaves e Peres,⁽⁵⁾ uma relação que permita calcular a energia necessária à fragmentação de um material até um certo tamanho é uma aspiração antiga de cientistas e técnicos pois, sendo o gasto de energia na fragmentação, o que mais onera uma instalação industrial, é de grande valia a sua determinação.

Bond⁽³⁾ postulou uma lei empírica muitas vezes chamada de "Lei de Fragmentação". "A energia consumida para reduzir o tamanho de um material é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho". Ele definiu como tamanho, a abertura da peneira pela qual passa 80% do material ($P = D_{80}$).

Bond⁽³⁾ propôs o uso de um índice conhecido como W_i (*Work Index*) ou índice de trabalho, que é definido como o trabalho necessário para reduzir a unidade de peso (tonelada curta = 907 kg) do material considerado, desde um tamanho inicial teoricamente infinito ($F = \infty$), até uma granulometria 80% passante em 100 μm . Portanto, temos:

$$E = 10W_i \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right] \quad W_i = E_o \left[\frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right] \quad W_i = \frac{E_o}{\sqrt{P}} \quad E_o = 10 W_i$$

2.3 Distribuição de Tamanhos

Em 1933, Rosin e Rammler haviam descoberto que os finos de carvão se distribuem segundo a lei exponencial, que leva o seu nome. Foreman,⁽⁶⁾ verificou que a lei de Rosin-Rammler governava a distribuição de tamanhos de todos os produtos de cominuição de carvões.

A lei de Rosin-Rammler é a seguinte:

$$\% \text{ retida} = 100 \cdot e^{-(d/f)^n}, \text{ onde:}$$

d é a abertura da peneira,

f é a constante de finura,

n é a constante de dispersão da distribuição.

Fazendo $d=f \Rightarrow (\% \text{ retida}) = 100 \cdot e^{-1} = 100/e = 36,8$. Ou seja, a constante de finura (f), representa a abertura na qual 36,8% da amostra de carvão ficaria retida.

Já o significado de n é imediato: n representa a inclinação da reta no papel logarítmico.

Toda distribuição de probabilidades pode ser representada por um valor central e por uma medida de dispersão. No caso bem conhecido da distribuição normal, o valor central é a média (que neste caso especial coincide com a moda e com a mediana, outras duas medidas de valor central) e a medida da dispersão é o desvio-padrão (ou variância). Se imaginarmos a função de Rosin-Rammler-Bennet como a medida das probabilidades de que as partículas de um dado produto de cominuição de um carvão se distribuam pelas diferentes faixas granulométricas, a constante finura f é o valor central e a constante de dispersão, a medida de dispersão. Portanto, conforme Albano et al.,⁽⁷⁾ todo produto de cominuição de qualquer carvão obedece à distribuição de Rosin-Rammler. Isto posto, decorrem três fatos de extrema importância:

- qualquer carvão peneirado conterà uma quantidade constante de finos, que nota-se ser significativa;
- uma vez conhecida a constante de dispersão de um dado carvão, a distribuição granulométrica dos diferentes produtos de cominuição pode ser prevista com total confiança; e
- o rank dos carvões não afeta o fato de a sua distribuição granulométrica obedecer à lei de Rosin-Rammler, embora as propriedades à cominuição, abrasão, cisalhamento e dureza sejam afetadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se para a caracterização dos materiais nas diversas faixas granulométricas uma mistura de rotina da Coqueria da Gerdau Açominas, composta essencialmente por carvões alto voláteis americanos; médios voláteis canadenses; um baixo volátil americano, além de um carvão soft e coque de petróleo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Composição da mistura utilizada no trabalho

CARVÃO	Alto Volátil	Médio Volátil	Baixo Volátil	Soft	Coque de Petróleo
%	25	45	12	11	7

A Caracterização dos materiais referentes às 7 faixas granulométricas da mistura quanto a (Análise Imediata; Microscopia ótica (maceral e reflectância); Plastometria; Densidade de carga Contração/Expansão e Granulometria) seguiu a normas usuais vigentes, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Normas das análises para carvões

ANÁLISE E ENSAIOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS CARVÕES E MISTURAS		
ANÁLISES E ENSAIOS	CONTEÚDO	MÉTODO
PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	REPRESENTABILIDADE DO LOTE	JIS M 8811
ANÁLISE IMEDIATA	CINZA	ASTM - D - 3174
	MATÉRIA VOLÁTIL	ASTM - D - 3175
	ENXOFRE	ASTM - D - 2492
	UMIDADE	ASTM - D - 3173
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA	Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MnO ₄ , CaO, MgO, P ₂ O ₅ , ZnO, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂	Absorção atômica
SOLE HEAT OVEN	Contração/expansão (pressão Coq. - psi)	ASTM - D - 2014
PLASTOMETRIA GIESELER	Fluidez em Log(DDPM)	ASTM - D - 2639
MICROSCOPIA ÓTICA	Composição maceral; poder refletor	Adaptação das normas ASTM - D - 2798 e ASTM - 2799
BULK DENSITY	Densidade de carga	ASTM - D - 291

2.1 Desenvolvimento dos Experimentos

Para a realização dos testes coletou-se uma amostra de 250 kg de mistura, retirada após o misturador de carvão, pois assim, garantiu-se a homogeneidade da mistura. Após o peneiramento, as quantidades retidas em cada faixa granulométrica estão mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise granulométrica.

Malhas (mm)	4	2,8	1,41	0,5	0,25	0,15	<0,15
% Mistura	12,1	7,2	15,9	22,8	14,7	9,4	17,9

Após a separação do material, amostras das faixas foram encaminhadas para a realização das análises química, física e metalúrgica, conforme a Tabela 3.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do programa estatístico Minitab-14 os dados coletados em laboratório foram analisados.

4.1 Análise de Matéria Volátil

Quanto à análise da Matéria Volátil, os resultados são mostrados na Figura 1.

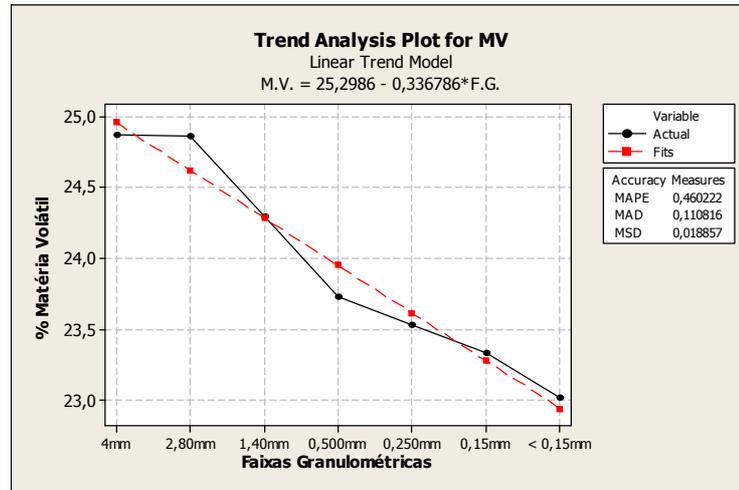


Figura 1 – Análise de matéria volátil.

O teor de matéria volátil diminui expressivamente com o decréscimo de tamanho dos grãos de carvão, este fato pode ser explicado pelo fato dos carvões baixo voláteis serem muito macios, e conseqüentemente após a britagem, se concentrarem nas frações mais inferiores, abaixando o percentual de matéria volátil nestas faixas. Em contra partida, os carvões alto voláteis possuem baixo HGI, e, portanto, após o processo de cominuição, se aglomeram nas frações superiores.

4.2 Análises de Cinzas

A Figura 2 mostra os resultados da análise de cinzas. Pode-se observar que este parâmetro é consideravelmente mais alto nas frações superiores, possui um valor mínimo para tamanhos próximos a 0,250 mm e sobe ligeiramente para o material superfino. Este comportamento é em função da distribuição dos carvões de alta cinza na mistura. O carvão Soft, por exemplo, possui baixo HGI, e portanto, tem tendência de se concentrar nas frações mais elevadas. Já o Coque de Petróleo é conhecido por possuir baixa cinza e ser extremamente fino.

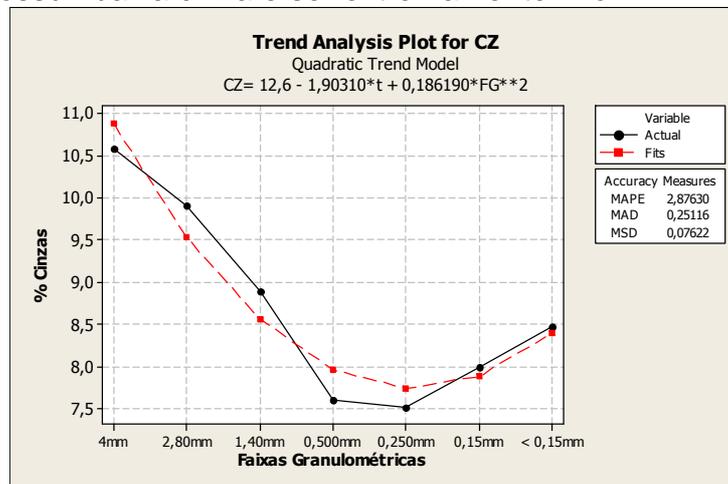


Figura 2 - Resultados da análise de cinzas.

4.3 Análise da Química da Cinza

A Tabela 4 mostra os dados referentes à composição das cinzas. Em destaque, estão evidenciados os principais constituintes da cinza: Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 .

Tabela 4 - Constituintes das cinzas

Química CZ	4mm	2,80mm	1,40mm	0,500mm	0,250mm	0,15mm	< 0,15mm
Al_2O_3	26,97	29,52	27,68	27,16	26,59	25,97	23,93
CaO	4,84	2,3	2,4	2,36	2,49	2,86	2,93
Fe_2O_3	4,89	6,59	5,8	5,78	7,13	7,96	10,07
K ₂ O	1,07	1,08	1,12	1,14	1,25	1,36	1,39
MgO	0,84	0,71	0,68	0,7	0,76	0,88	0,96
MnO	0,03	0,03	0,04	0,3	0,06	0,05	0,06
P_2O_5	2,07	0,93	0,95	0,91	0,87	0,8	0,72
SiO_2	51,71	52,43	54,24	52,18	52,24	51,63	50,98
TiO_2	1,17	1,35	1,34	1,41	1,54	1,16	1,62
ZnO	0,013	0,015	0,016	0,2	0,019	0,022	0,025

Observa-se claramente, que o teor de Al_2O_3 diminui com a diminuição da granulometria do carvão, e em contra partida, o percentual de Fe_2O_3 aumenta. Já a SiO_2 possui comportamento mais constante.

4.4 Dilatometria

Quanto ao teste de dilatometria, observa-se que a função %Dilatação tem imagens menores para frações granulométricas elevadas, cresce com a diminuição de tamanho médio, maximizando-se para valores de grãos próximos a 0,5mm e decresce a partir deste valor em direção ao superfino.

Este comportamento deve-se ao fato de que os carvões alto voláteis de elevada dilatação se concentrarem no intervalo [0,250; 1,40] mm o que explica o aparecimento do ponto de máximo da função %Dilatação. O baixo valor de dilatação para frações grosseiras é devido à aglomeração do carvão Soft, que de modo geral, praticamente não dilata, nestas faixas. Já o material superfino possui índice de dilatação intermediário em função do baixo percentual de carvão alto volátil neste patamar e a alta concentração de carvão baixo volátil, conhecidos por apresentarem valores intermediários de dilatação, conforme ilustra a Figura 3.

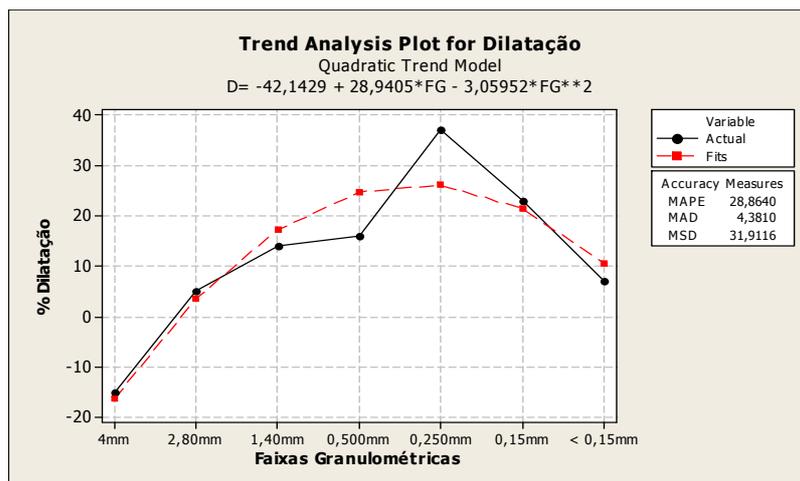


Figura 3 – Análise de dilatação.

4.5 Plastometria

Os resultados do teste de Plastometria forneceram um comportamento muito interessante, tendo em vista que, como apresentado na Figura 4, existe um tamanho ótimo de grão que maximiza o comportamento plástico do carvão.

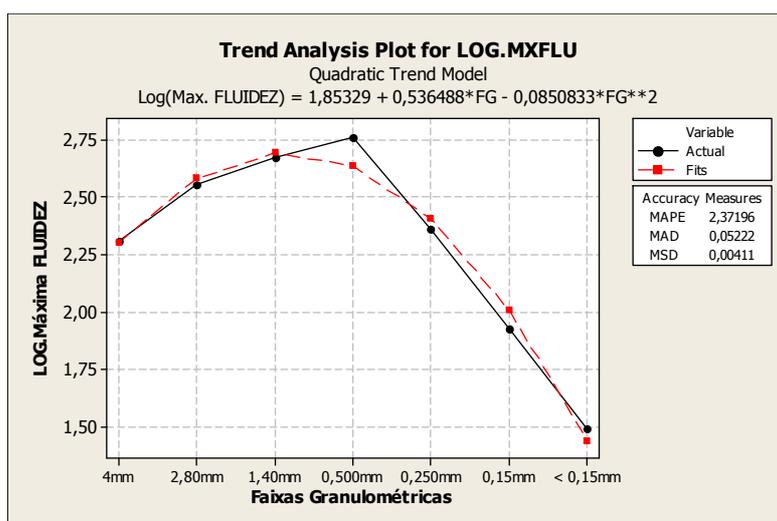


Figura 4 – Análise da máxima fluidez.

Em acordo com o Ulhôa,⁽⁸⁾ confirmou-se a existência para o tamanho de grão, em função da formação de poros:

- um limite superior ligado à possibilidade de formação de um número excessivo de poros e, em consequência, uma inchação excessiva responsável pela formação de coque esponja; e
- um limite inferior, em torno de 0,2 mm a partir do qual não há mais formação de poros, o que influenciará negativamente na fluidez e, consequentemente, na resistência do coque.

Assim, em termos de fluidez, o ideal é um tamanho de grão por volta de 0,5 mm.

Através do teste de plastometria são obtidas as seguintes temperaturas: de início de dilatação, de amolecimento, de máxima fluidez, de fim de dilatação e de

início de solidificação. Os valores destas temperaturas características são mostrados na Figura 5.

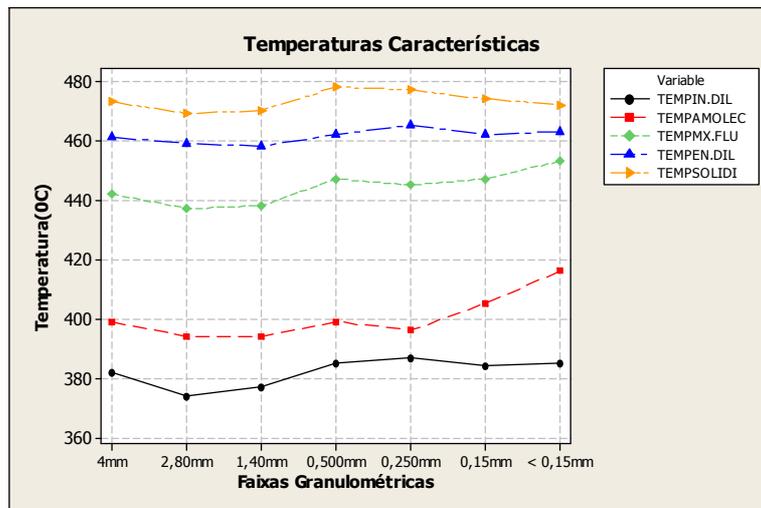


Figura 5 – Temperaturas características.

Com base nos valores das temperaturas de amolecimento e de início de solidificação é obtido o chamado range plástico dado pela diferença entre estas temperaturas.

$$\text{Range Plástico} = T_{\text{solidificação}} - T_{\text{amolecimento}}$$

Os resultados de range plástico são apresentados na Figura 6.

Com base neste índice, pode-se concluir que o tamanho de grão ideal está compreendido no intervalo [0,2;0,5] mm. Outro aspecto interessante é a queda brusca no range plástico para o material abaixo de 0,15 mm (superfino), o que contribui para a conjectura de que este material, em excesso, é prejudicial à coqueificação.

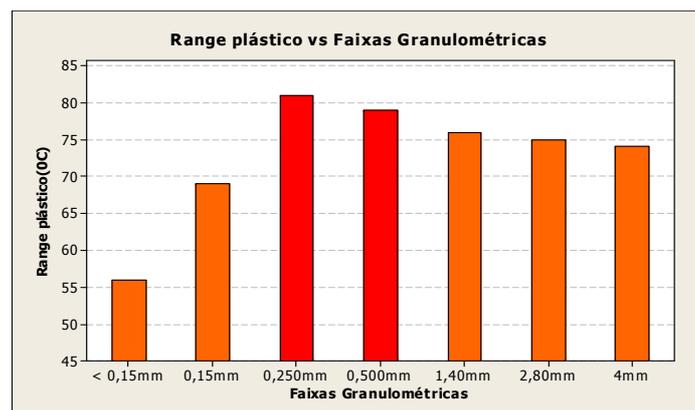


Figura 6 – Perfil do range plástico.

4.6 Análise Petrográfica

Quanto às análises petrográficas, foram realizados testes com quatro faixas granulométricas que varrem o leque da mais grosseira à mais fina. Os resultados da análise de macerais e reflectância são mostrados na Tabela 5. Em destaque os macerais representativos.

Tabela 5 – Análise petrográfica da mistura de carvão

Macerais/Faixas	4mm	1,40mm	0,15mm	< 0,15mm
Cutinita	0	0	0	0
Esclerotinita	0	0	0	0
Esporinita	3,4	3	0,6	0
Fusinita	2	1,6	0,2	0
Inertodetrinita	9,4	9,8	7	8,2
Macrinita	0	0,2	0	0
Matéria Mineral	3,8	3	1,2	2
Micrinita	0	0	0	0
Resinita	0	0	0	0
Semifusinita	36,8	33,2	20,4	20,4
Vitrinita	44,4	49	70,4	69,4
REFLECTÂNCIA	1,096	1,137	1,112	1,107

Com base nos dados desta tabela, foram feitos os gráficos abaixo que relacionam teor de reativos e inertes nas faixas analisadas, conforme ilustram as Figuras 7, 8 e 9.

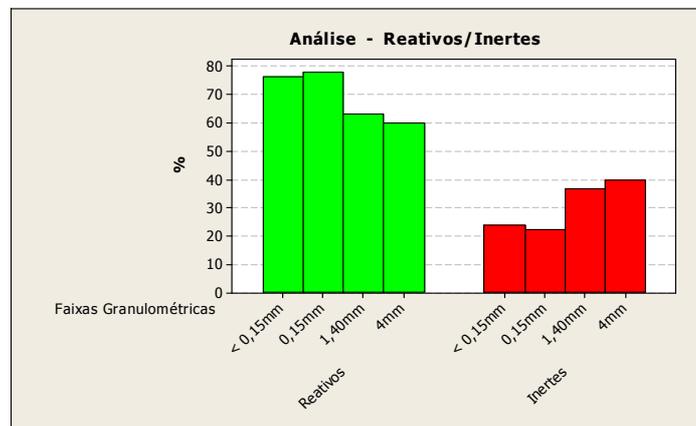


Figura 7 – Comparativo de reativos e inertes.

São considerados macerais reativos a Vitrinita, Esporinita, Cutinita, Resinita e (um terço) da Semifusinita, sendo a vitrinita o mais representativo.

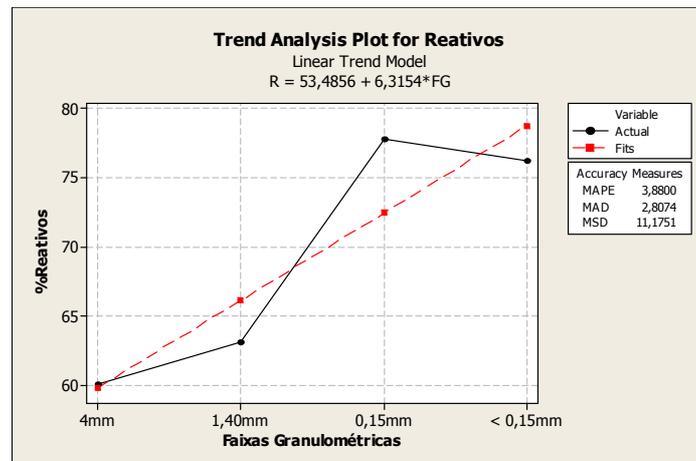


Figura 8 – Análise de reativos.

Quanto ao material inerte, tem-se a Esclerotinita, Micrinita, Macrinita, Fusinita, Inertodetrinita, (dois terços) da semifusinita, além da vitrinita oxidada e matéria mineral.

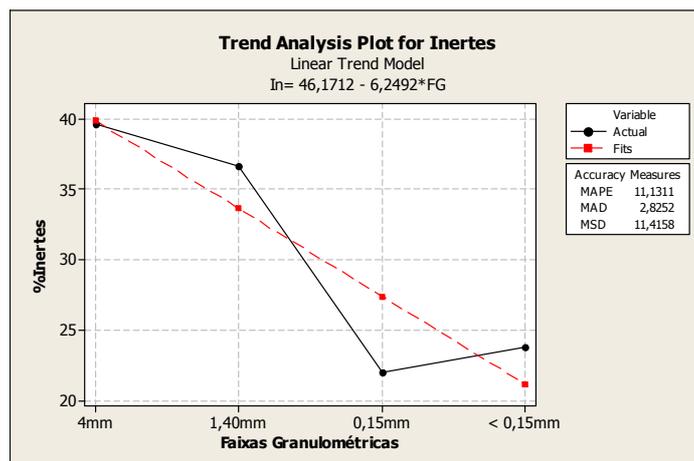


Figura 9 – Análise de inertes.

Pode-se observar, claramente, um aumento expressivo de reativos nas frações inferiores, o que evidencia que este material é macio, e, portanto, ao ser britado se concentra nas regiões de menores tamanhos de grão, resultado em acordo com os trabalhos de Costa⁽⁹⁾ e Uihôa⁽¹⁰⁾. Em contra partida, percebe-se um deslocamento de inertes para as frações superiores, em função da sua considerável dureza.

4.7 Análise Densimétrica

Foram conduzidos testes de densidade de carga (a granel), para cada faixa granulométrica. Os resultados deste experimento estão mostrados na Figura 10.

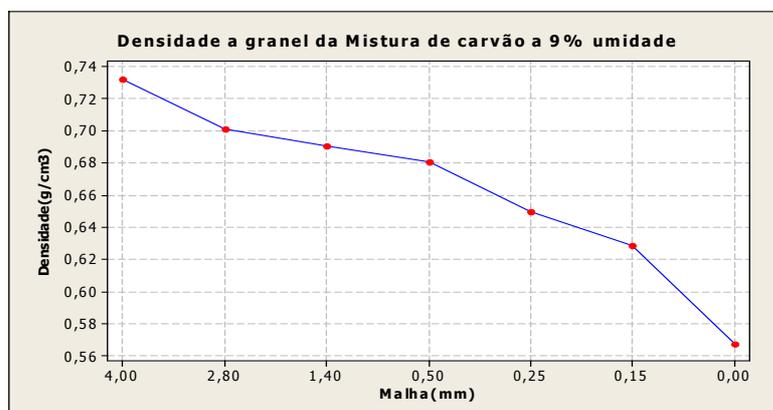


Figura 10– Curva densimétrica da mistura de carvão.

Individualmente, cada faixa de granulometria possui uma densidade a granel (de carga) “específica”. Quanto menor a granulometria, a densidade diminui, em função do aumento da fração de vazios no material.

A fim de se conhecer o comportamento do teor de superfino (<0,15mm) na densidade de carga da mistura, foram constituídas amostras com vários níveis de superfinos. A Figura 11 mostra os resultados deste teste.

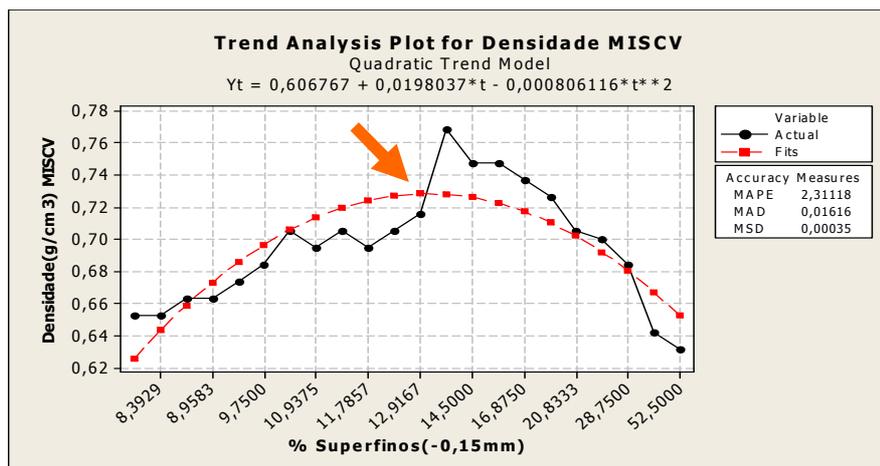


Figura 11 – Influência do superfino na densidade da mistura.

Com base no experimento, conclui-se que o material fino, até ~13%, ocupa os interstícios existentes entre as partículas maiores, diminuindo a fração de vazios da carga e, portanto, aumentando a densidade da mistura. Provavelmente, após este valor para o qual $\partial \text{densidade} / \partial \% \text{SF} = 0$, (onde ocorre a maximização da função densidade) tem-se uma saturação em superfinos e, portanto, um efeito negativo na densidade, uma vez que ocorre a formação de camadas ou zonas de alta concentração de superfinos fora dos interstícios já saturados.

5 CONCLUSÕES

Para os testes conduzidos sob as condições operacionais relatadas neste estudo se pode ressaltar que:

Os materiais das diferentes faixas granulométricas são sensivelmente diferentes, principalmente no que tange a:

- concentração de material reativo nas frações mais finas, e diminuição de inertes nestas faixas;
- diminuição considerável de Matéria Volátil com o decréscimo de tamanho de grão; e
- existência de um tamanho ótimo de grão que maximiza a fluidez máxima da mistura, bem como o range de plasticidade.

Com a realização do trabalho confirmou-se que os altos níveis de superfinos da mistura (> 13%) acarretam:

- baixa densidade de carga, em níveis excessivos, uma vez que este material é menos denso;
- contribui para o processo de deposição de carbono nos tubos de ascensão;
- impacta negativamente sobre a fluidez da mistura; partículas de tamanho ínfimo ($\ll 0,15\text{mm}$) perdem seu poder de inchamento e fluidez; e
- perda de material reativo que poderia ser incorporado à mistura.

Agradecimentos

Se fazem jus os agradecimentos as duas instituições incentivadoras do trabalho, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto e a Gerdau Açominas em nome do Diretor Industrial Dr. Daniel Antonio M de Mesquita e do

Gerente Geral da Redução Dr. Antonio Pinto Segreto pelo apoio e pela realização dos testes propostos no trabalho, em especial aos colegas Augusto Lúcio de Faria e Ivan Renato Ribeiro pela ajuda na realização dos experimentos e aos companheiros do “Grupo de Carvão”: Geraldo Magela Marinho, José Mário Ribeiro Costa Júnior e Wilian José Antonioli.

REFERÊNCIAS

- 1 ULHÔA, M.B. ***Britabilidade de carvões***. Seminário ABM; Rio de Janeiro, 1988.
- 2 CHAVES, A.P. ***Britagem e Moagem de carvão***. In: Curso da ABM; São Paulo, 2002.
- 3 BOND, F.C. ***Crushing and grinding calculations***. British Chemical Engineering, Jan. 1961
- 4 BURSTLEIN, E. ***La preparation selective et petrographique des charbons en vue de leur cokegaction***. Chaleur et industrie, n.353, p.351 (1954).
- 5 CHAVES, A.P.; PERES, E.C. ***Teoria e prática do tratamento de minérios***. São Paulo, 1999.
- 6 FOREMAN, W.E. Screening. ***Coal preparation***. New York: SME, 1979. p.8-30.
- 7 ALBANO, E.; MELLO, L.A.S.; BATISTA, J.M.; TUCCI, C.A. ***Ajuste de bitagem para adequação da granulometria dos carvões na Cosipa***. Santos, 1978.
- 8 ULHÔA, M.B. – ***Caracterização e classificação de carvão para coque de alto-forno***. “Carvão metalúrgico para a siderurgia”. Volta Redonda – RJ, Out., 1991.
- 9 COSTA, S.L. ***Aplicações da petrografia de carvões***. Centro de pesquisa USIMINAS. Ipatinga, 1976.
- 10 ULHÔA, M.B. – ***Aplicação de petrografia de carvão na siderurgia***. Carvão metalúrgico para a siderurgia – ABM - Volta Redonda – RJ, Out., 1991.