

OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS DE CARVÕES EM COQUERIAS¹

Guilherme Liziero Ruggio da Silva²

Elton Destro³

Geraldo Magela Marinho⁴

Paulo Santos Assis⁵

Resumo

O coque é um produto intermediário numa usina integrada. É produzido a partir de misturas de carvões metalúrgicos, formuladas para atender tanto as condições operacionais do processo de coqueificação como os requisitos de qualidade do processo de produção de gusa. O carvão metalúrgico, indispensável em usinas integradas a coque, é uma matéria-prima essencial para a siderurgia brasileira, tanto pelo volume de material envolvido como também pelo seu impacto nos custos de produção do aço. Os desafios envolvem vários processos, tais como compra, transporte marítimo, descarregamento nos portos, custos de frete, estocagem nos pátios das empresas, formação de misturas de carvões e abastecimento das coquearias. Este trabalho trata da otimização e planejamento da mistura de carvões na produção de coque metalúrgico. As ferramentas desenvolvidas permitem várias simulações de misturas, encontrando soluções otimizadas em cada uma delas. Isto certamente facilita a tomada de decisão de maneira rápida. Para tanto foram desenvolvidos e implementados modelos de otimização baseados em programação linear, utilizando-se os algoritmos *Simplex* e *Dual-Simplex*. Os resultados comprovaram a eficiência e a potencialidade do programa na minimização dos custos da mistura de carvões.

Palavras-chave: Otimização; Custo; Mistura de carvão; Qualidade de coque.

OPTIMIZATION OF MIXTURES OF COALS IN COKE PLANT

Abstract

Coke is an intermediate product in a steel plant. It is produced from metallurgical coal blends formulated to meet both the operational conditions of the coking process as the quality requirements of the production process of hot metal. The metallurgical coal, which is essential in integrated coke is an essential raw material for the Brazilian steel industry, both by the volume of material involved but also by its impact on production costs of steel. The challenges involve several processes, such as purchasing, shipping, unloading in ports, freight costs, storage on the patios of companies, formation of mixtures of coal and supply of coke. This work deals with optimization and planning of the mix of coals in the production of metallurgical coke. The tools developed allow multiple simulations of mixtures, finding optimal solutions in each. This certainly facilitates the decision making quickly. Therefore, we developed and implemented optimization models based on linear programming, using the algorithms *Simplex* and *Dual Simplex*. The results proved the efficiency and capability of the program in reducing costs of mixing coals.

Key words: Optimization; Cost; Mixture of coal; Coke quality.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Mestre em Engenharia de Materiais – REDEMAT.

³ Doutorando em Engenharia de Materiais – REDEMAT.

⁴ Assessor Técnico Gerdau Açominas.

⁵ Dr. Prof Titular da Escola de Minas da UFOP, Prof. da REDEMAT.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem grande participação na produção de aço mundial, tendo produzido cerca de 34 milhões de toneladas de aço bruto em 2008, segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), em 2009. No atual mercado globalizado, as empresas estão cada vez mais pressionadas no sentido de aprimorar seus processos, produtos e serviços para se manterem competitivas. Isso exige eficácia gerencial e eficiência operacional.

Numa indústria de transformação, como a siderurgia, existem problemas de otimização dos processos produtivos, entre eles destacam-se os relacionados ao transporte dos produtos, corte e embalagem, as alocações de recursos, o problema da mistura de matérias-primas, entre outros.⁽¹⁾ A aquisição de matérias-primas é uma etapa fundamental em termos de estratégia do negócio. Para a siderurgia brasileira, este processo é de vital importância, principalmente quando se trata do carvão metalúrgico, matéria-prima importada de diversos países e responsável por uma parcela altamente significativa dos custos de produção de aço no país. As importações brasileiras anuais de carvões metalúrgicos, que em 2009 foram da ordem de 13 milhões de toneladas, a um custo aproximado de US\$ 2,6 bilhões, têm reflexos importantes tanto na balança comercial como na competitividade do aço brasileiro.

A definição dos melhores carvões e respectivas quantidades para o abastecimento de uma empresa siderúrgica brasileira é um problema semi-estruturado, que apresenta uma certa complexidade por envolver um grande número de variáveis, muitas funções interdependentes, decisões conflitantes e vultuosos recursos financeiros.

2 VISÃO GERAL DA COMPOSIÇÃO DE MISTURAS DE CARVÃO

A formulação de misturas para coqueificação consiste na definição dos carvões e de suas proporções em cada mistura, para se obter um coque na qualidade desejada, a partir dos carvões disponíveis. A mistura formulada deve atender às condições operacionais do processo de coqueificação e produzir um coque com características de qualidade capaz de desempenhar os papéis dele exigidos no processo de produção de gusa em alto-forno. A qualidade do coque depende das características da qualidade dos carvões utilizados na mistura e do processo de coqueificação. Uma vez estabelecida as propriedades do coque e o plano de produção, uma mistura de carvões deverá, então, ser estabelecida. Esta mistura, denominada macro mistura, vai ser subdividida em misturas seqüenciais que irão obedecer às mesmas regras de qualidade e produção. Nesta fase, com auxílio de modelo matemático, simulam-se várias misturas até determinar a mistura ótima que atenda o binômio: qualidade e custo. Alguns pré-requisitos básicos devem ser observados, tais como:

- qualidade do coque definido pelo alto-forno;
- qualidade dos carvões;
- diversificação de fontes;
- introdução de novos carvões; e
- contratos em exercício.

A composição da mistura e determinação do coque teórico obedece à lei da aditividade que é aplicada para todos os seus principais componentes. Basicamente, a

composição da mistura visa uma estrutura física do coque adequada para cada tipo de alto-forno. Levando em conta a equação qualidade e custo, os parâmetros podem ser equacionados através de modelos matemáticos para auxiliar como base de cálculos.⁽²⁾ Neste contexto, a Pesquisa Operacional (PO) é um ramo da ciência que fornece instrumentos para análise de decisões possuindo um conjunto de técnicas quantitativas para auxiliar a gerência na tomada de decisão.⁽³⁾

A Programação Linear (PL), consiste em encontrar a melhor solução para problemas que tenham modelos representados por expressões lineares, o que torna a técnica simples e com grande aplicabilidade.⁽⁴⁾ No presente trabalho, o papel do modelo de PL é minimizar a função objetivo associada ao custo da mistura de carvões, levando em consideração as qualidades intrínsecas de cada carvão, cumprindo as exigências e condições do coque para o alto-forno.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia fundamentada nos princípios da programação matemática e que consiga prever o melhor plano de mistura de carvões, minimizando o custo de obtenção da mistura com o atendimento de todas as restrições de qualidade impostas pelo processo. Desenvolver uma ferramenta para tomada de decisões para compra de carvões que poderá ser implementada nas empresas siderúrgicas brasileiras.

3 METODOLOGIA

Foi desenvolvido e implementado um aplicativo que:

- permite a entrada dos dados dos carvões e restrições de qualidade da mistura e do coque;
- calcula os percentuais e quantidade em massa de cada carvão de maneira a otimizar a função objetivo escolhida entre Custo e as qualidades do coque;
- calcula, para a mistura otimizada, as qualidades da mistura e do coque obtidos dentro dos limites (mínimo e máximo) já estabelecidos.

Utilizou-se o algoritmo dual-simplex, implementando-o em Delphi. O modelo para otimização da mistura de carvões é mostrado a seguir.

3.1 Dados de Entrada

- Custo do carvão;
- qualidade química, física e metalúrgica dos carvões;
- limites inferior e superior de cada propriedade na mistura;
- quantidades, em massa, mínima e máxima (t) disponíveis de cada carvão;
- quantidade total em massa (t) da mistura de carvões a ser otimizada. Admitiu-se 100.000t; e
- limites inferior e superior dos parâmetros do coque avaliados.

3.2 Variável de Decisão

- Porcentagem de cada carvão para compor a mistura.

3.3 Função Objetivo

Além de minimizar o custo da mistura, é possível maximizar ou minimizar qualquer parâmetro da qualidade do coque.

- DI, CSR, CRI, Rendimento_{coque/carvão}, P, S, Fe e Cinza.

3.4 Restrições

3.4.1 Com relação ao atendimento das metas de qualidade exigidas para a mistura

As propriedades avaliadas foram:

- Químicas - Cinza (Cz), Matéria Volátil (MV), Enxofre (S), Álcalis (Na₂O e K₂O), Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, Cão, P₂O₅ e Índice de basicidade (óxidos básicos/óxidos ácidos).
- Físicas - Umidade, %Superfinos-SF-(<0,15mm), WI(Work Index), e Reflectância Máxima Média (Re).
- Metalúrgicas - Plastometria (Fluidez), Resistência do Coque após Reação (CSR), Reatividade (CRI), Material reativo, Índice de equilíbrio da composição reativo / inerte (CBI - Composition Balance Index), Índice de resistência (SI - Strenght Index).

3.4.2 Disponibilidade de cada carvão

A quantidade de cada carvão utilizada na mistura deve estar limitada aos valores mínimo e máximo definidos para cada tipo de carvão.

D.3- Restrições de atendimento da qualidade do coque obtido. Foram avaliadas os seguintes indicadores:

- Rendimento_{coque/carvão}, %Fe, %P, %S, DI, CSR, Cinza_{coque}.

4 INSTÂNCIA TESTE

Para calcular a mistura que maximizasse/minimizasse o parâmetro de controle escolhido pelo usuário instaurou-se uma instância teste com um conjunto de carvões cujas características simulam um contexto real. Este conjunto é formado por 15 tipos de carvões, sendo utilizado como dados de entrada para o modelo de otimização as quantidades mínima e máxima disponíveis, o custo CIF (*Cost Insurance Freight* ou Preço, Seguro e Frete) associado a cada carvão e 20 parâmetros de controle relacionados à mistura Tabela 1, cujos limites inferior e superior são mostrados na Tabela 2. Em relação aos parâmetros relativos à qualidade do coque, a Tabela 3 traz seus limites de especificação. É importante frisar que os custos dos carvões são meramente ilustrativos e fictícios.

Tabela 1. Dados de entrada do otimizador desenvolvido

TIPOS	MÍN(t)	MÁX(t)	CIF	CAL	Cinza	MV	S	Fluidez	Reflec.	Fe2O3	SiO2	Al2O3	CaO	P2O5	
A.V	A.V.1	0	50000	156,7	?	7,32	31,8	0,69	4,30	0,95	12,41	46,69	24,92	4,79	0,25
	A.V.2	0	30000	163,8	?	6,56	35,5	0,88	4,44	0,93	6,74	54,28	30,77	1,79	0,3
	A.V.3	0	5000	198,6	?	8,1	31,5	1,19	4,32	0,88	9,44	53,41	27,46	1,12	0,26
	A.V.4	0	27000	196,1	?	6,1	30,8	0,9	4,47	1,03	11,75	50,52	26,37	1,92	0,23
M.V	M.V.1	0	12000	446,3	?	9,73	19,3	0,6	2,42	1,36	7,41	59,01	27,26	1,41	0,69
	M.V.2	0	35000	326	?	9,22	28,6	0,6	2,86	1,28	6,92	53,4	26,6	2,5	0,6
	M.V.3	0	60000	298,4	?	10,3	21,2	0,36	3,37	1,16	4,27	52,18	30,75	2,9	1,76
	M.V.4	0	25000	303,3	?	8,57	23,8	0,64	2,05	1,23	8	58,12	28,64	2,15	1,45
	M.V.5	0	19000	356	?	10,2	25,4	0,76	3,00	1,33	5	52,32	27,13	2,98	1,06
B.V	B.V.1	0	23000	312,7	?	6,9	18,6	0,62	1,9	1,25	4,93	50	34	7	1
	B.V.2	0	10000	395	?	7,02	20,4	0,68	1,19	1,55	6,2	60,6	25,35	1,07	0,85
	B.V.3	0	23000	403,9	?	5,36	18,7	0,68	2,05	1,58	9,1	49,4	24,28	5,4	2,36
Soft	S.1	0	50000	225,4	?	9,03	24,5	0,72	1,6	1,06	10,5	59,4	20,82	12,83	0,13
	S.2	0	45000	204,5	?	9,23	25,3	0,78	1,5	1,10	12	50,96	30,26	2,04	0,32
CP	C.P.	0	10000	228,8	?	1,69	12	1	1,00	1,00	12,76	34,6	39,49	4,33	0,87

Tipos	Alcalis	Umid.	I.Basc.	CBI	SI	Reativos	WI	CSR	CRI	<100#	Massa de Mistura(t)	
A.V	A.V.1	2,94	7,75	0,12	0,8	1,5	80,20	10,98	62,46	26,73	5	100.000
	A.V.2	2,73	8,29	0,18	1	2,1	76,00	9,73	63,53	26,62	7,5	Função Objetivo
	A.V.3	2,19	7,52	0,3	2	2,3	84,20	9,74	62,05	24,22	11	Rendimento coque/carvão
	A.V.4	2,61	7	0,5	1,2	3,2	76,00	9,48	63,72	25,55	13	%Fe – Coque
M.V	M.V.1	1,37	7,4	0,17	2,3	3,4	75,20	7,17	64,00	25,29	15	%S – Coque
	M.V.2	1,51	6,8	0,46	3,1	5,3	64,20	8,07	67,00	22,13	18	%P – Coque
	M.V.3	2,42	8	0,14	1,3	4,6	77,20	7,20	69,20	20,4	14	DI – Coque
	M.V.4	0,65	7,7	0,19	1,6	3,5	61,00	6,30	68,66	21,6	15	CSR – Coque
	M.V.5	2,07	10,29	0,23	1,4	2,6	78,20	8,16	67,5	19	13,2	CRI – Coque
B.V	B.V.1	1,1	8	0,1	1,1	3,5	50,00	8,35	55,00	30,7	16,3	Cinza Mistura
	B.V.2	1,97	8	0,09	1,02	4	67,80	7,00	61,73	27,42	15,2	Opção Função Objetivo
	B.V.3	1,88	11	0,06	1,5	2,84	61,60	6,50	59,60	28	14,5	Maximizar Minimizar
Soft	S.1	1,47	7,98	0,8	0,7	1,21	57,00	8,94	62,42	26,77	8,5	Solução Ótima encontrada
	S.2	1,83	8,58	0,7	0,9	1,32	63	10,20	61,70	25	10	Função Objetivo = ?
CP	C.P.	0,56	10,43	0,4	0,5	2	40,00	5,00	40,00	33	18	

Tabela 2. Limite de qualidade da mistura

	Cinza	MV	S	Fluidez	Reflec.	Fe2O3	SiO2	Al2O3	CaO	P2O5
Mín	6	22	0,2	2,4	1,1	4,5	48	24	2	0,5
Máx	9	25	0,7	3	1,3	7,5	52,5	28	5	0,8
	Álcalis	Umid.	I.Basc.	CBI	SI	Reativos	WI	CSR	CRI	<,015mm
Mín	1	6	0,1	0,95	2,7	65	6	60	18	8
Máx	2,5	10	0,18	1,35	4,5	75	11	68	26	13

Tabela 3. Especificações de qualidade do coque

	Rend.(%)	Fe(%)	S(%)	P(%)	DI	CSR	Cinza(%)
Mín	75	3	0,2	0,1	83	64	8
Máx	80	6	0,7	0,45	86	72	10,5

Quanto às simulações, definiu-se as seguintes configurações da função objetivo, para compor 100.000 t de mistura:

- encontrar a mistura que minimize do Custo do mix, (US\$/t). Com base nos resultados deste cenário, alimentou-se o Planejador de Misturas para visualização da mistura ótima obtida;
- encontrar a mistura que maximize do Custo do *blend*, (US\$/t). É importante obter-se os custos mínimo e máximo para estabelecer o intervalo em que, ao se fazer manualmente a mistura, está condicionando o custo do *blend*;
- determinar a mistura que maximize o DI;
- determinar a mistura que maximize o CSR;
- determinar a mistura que maximize o Rendimento_{coque/carvão};
- determinar a mistura que minimize o teor de P no coque;
- determinar a mistura que maximize o teor de S no coque;
- determinar a mistura que minimize o teor de Cinza no coque.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações realizadas no Otimizador de Misturas desenvolvido estão evidenciados abaixo. Neste trabalho enfocaremos os cenários de minimização/maximização de custo da mistura.

5.1 Cenário 1 - Função Objetivo: Minimizar Custo CIF/t de Mistura

Os valores calculados (cal) pelo modelo de otimização são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Participação de cada carvão na mistura – FO: Minimizar Custo do *blend*

TIPOS		MÍN(t)	MÁX(t)	CIF	CAL(kt)	Massa de Mistura(t)	
A.V	A.V.1	0	50000	156,7	18,994	100.000	
	A.V.2	0	30000	163,8	11,508	Função Objetivo	
	A.V.3	0	5000	198,6	0	Custo da Mistura	
	A.V.4	0	27000	196,1	0	Rendimento coque/carvão	
M.V	M.V.1	0	12000	446,3	0	%Fe – Coque	
	M.V.2	0	35000	326	0	%S – Coque	
	M.V.3	0	60000	298,4	18,651	%P – Coque	
	M.V.4	0	25000	303,3	0	DI – Coque	
	M.V.5	0	19000	356	8,912	CSR – Coque	
B.V	B.V.1	0	23000	312,7	14,718	CRI – Coque	
	B.V.2	0	10000	395	10	Cinza Mistura	
	B.V.3	0	23000	403,9	1,094	Opção Função Objetivo	
Soft	S.1	0	50000	225,4	13,92	Maximizar	Minimizar
	S.2	0	45000	204,5	0	Solução Ótima encontrada	
CP	C.P.	0	10000	228,8	2,203	FO =	US\$262,35/t

As qualidades da mistura e do coque produzido estão nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Qualidade da mistura otimizada – FO: Minimizar Custo do *blend*

	Cinza	MV	S	Fluidez	Reflec.	Fe2O3	SiO2	Al2O3	CaO	P2O5
Mín	6	22	0,2	2,4	1,1	4,5	48	24	2	0,5
Máx	9	25	0,7	3	1,3	7,5	52,5	28	5	0,9
Cal	8,05	25	0,66	2,81	1,15	7,5	52,5	28	5	0,8
	Alcalis	Umid.	I.Basc.	CBI	SI	Reativos	WI	CSR	CRI	<015mm
Mín	1	6	0,9	0,95	2,7	65	6	60	18	10
Max	2,5	10	1,4	1,35	4,5	75	11	68	26	20
Cal	2,1	8,27	0,17	1,02	2,77	68,98	8,63	62,59	25,66	11,26

Tabela 6. Qualidade do coque produzido – FO: Minimizar Custo do *blend*

	Rend.(%)	Fe(%)	S(%)	P(%)	DI	CSR	Cinza(%)
Mín	75	3	0,2	0,1	83	64	8
Máx	80	6	0,7	0,45	86	72	10,5
Cal	78,17	5,24	0,54	0,35	84,93	68,36	10,5

Como esperado, todos os parâmetros da mistura e do coque estão entre os limites de especificação estabelecidos. Observa-se que a cinza do coque atingiu seu valor máximo permitido de 10,5%, o que faz sentido, pois geralmente carvões de cinza muito elevada tem custos atraentes, como por exemplo, os carvões *softs*.

A Figura 1 apresenta o diagrama MOF associado à mistura otimizada.

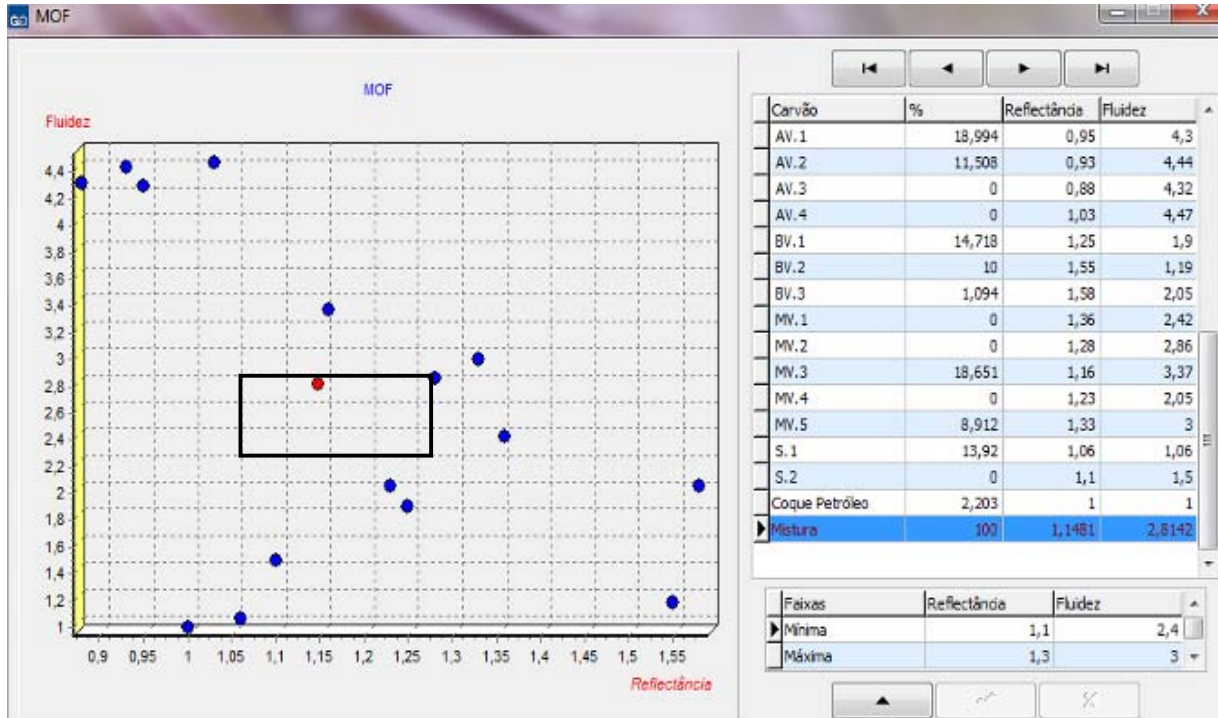


Figura 1. Diagrama MOF - Função Objetivo: Minimizar Custo CIF/t de mistura.

No lado direito desta tela, tem-se os nomes dos carvões, seguida da coluna de percentuais no blend e dos valores de reflectância e fluidez. Na última linha, em destaque, evidencia-se os resultados da mistura. Na região inferior direita, são apresentadas as faixas objetivadas para a reflectância e fluidez, as quais estão representadas graficamente no diagrama MOF pelo retângulo em negrito.

Nota-se que através do diagrama, que a mistura formulada pertence à região de coqueificação, também conhecida como Janela de Miyazu. Observa-se ainda que o ponto referente à mistura está localizado mais a esquerda da janela, mais próximo ao valor inferior de reflectância, o que faz sentido, pois os carvões de menores rank são menos onerosos.

Na Figura 2, estão plotados os resultados de CBI e SI, além da previsão da resistência mecânica do coque, DI.

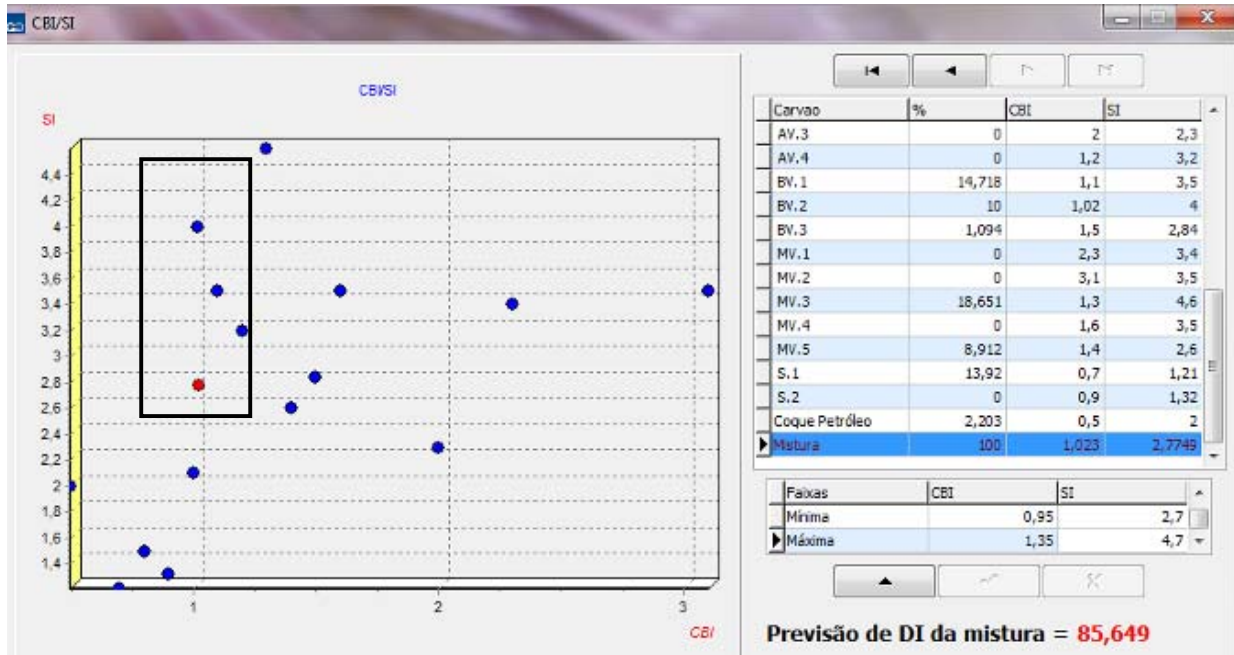


Figura 2. CBI/SI – Função Objetivo: Minimizar Custo CIF/t de mistura.

Analogamente à tela do MOF, o lado direito deste diagrama exibe os carvões, participações, além dos CBI's e SI's individuais. Também são apresentados os limites pré-estabelecidos para estes parâmetros e graficados no diagrama. À esquerda, são levantados os pontos referentes aos carvões individuais (em azul) e o da mistura (em vermelho).

Nota-se que o mix se localiza na extremidade inferior esquerda da janela, mais próxima da origem (CBI=0; SI=0) região onde tipicamente se concentram carvões mais atraentes financeiramente. Com base nos valores de CBI/SI da mistura, é previsto o valor de DI = 85,65% – valor acima do obtido pelo modelamento do MOF de 84,93%.

A Figura 3 apresenta o histograma das reflectâncias para a mistura com base nos histogramas dos carvões individuais e suas respectivas contribuições no *blend*.

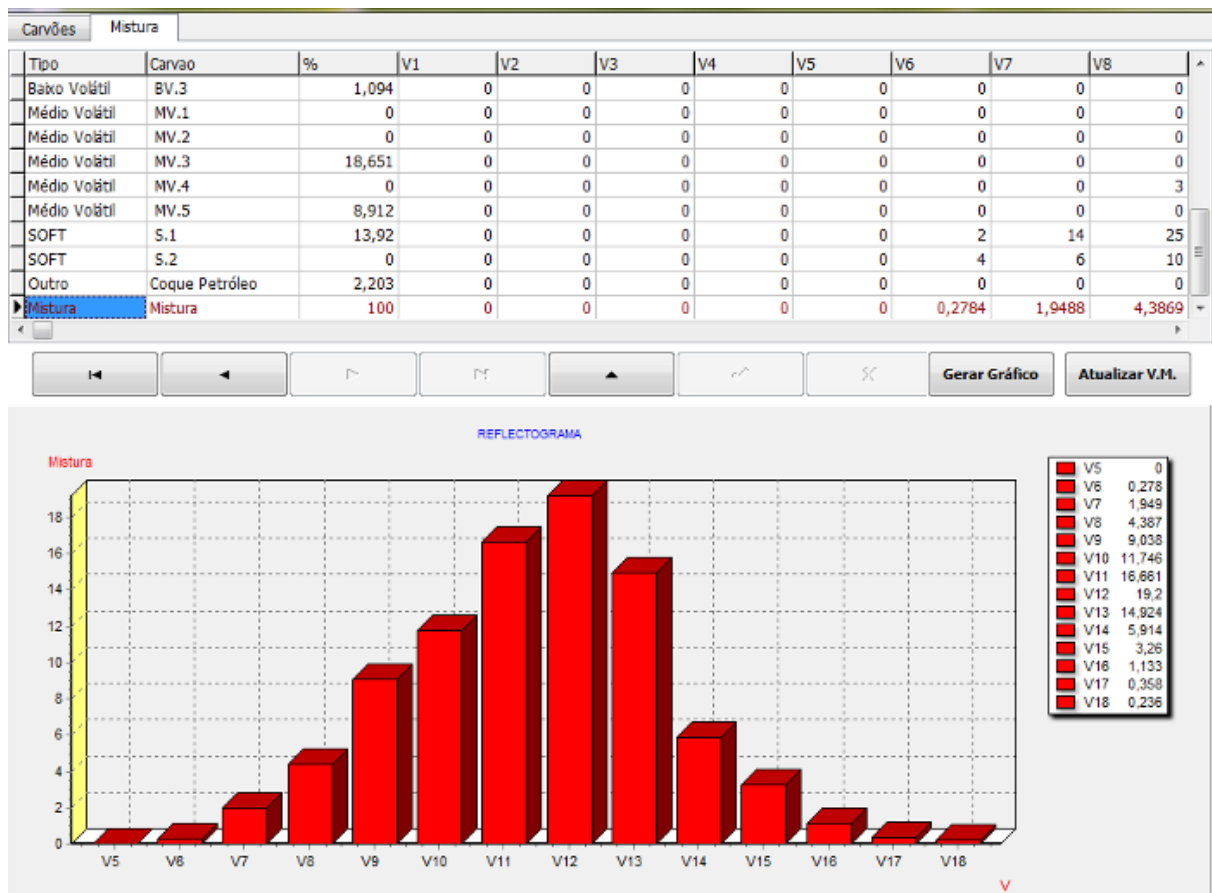


Figura 3. Histograma da mistura – Função Objetivo: Minimizar Custo CIF/t de mistura.

Esta informação é extremamente importante para o fechamento e aceitação de mistura, pois pode-se identificar os percentuais de cada faixa de reflectância de V1 (0,1% a 0,19%) a V18 (1,8% a 1,89%) e verificar se este histograma segue uma distribuição normal, com desvio padrão aceitável, como é o caso desta mistura simulada.

5.2 Função Objetivo: Maximizar Custo CIF/t de Mistura

Para esta situação, tem-se os seguintes resultados (Tabela 7).

Tabela 7. Participação de cada carvão na mistura – FO: Minimizar Custo do *blend*

TIPOS		MÍN(t)	MÁX(t)	CIF	CAL(kt)	Massa de Mistura(t)
A.V	A.V.1	0	50000	156,7	18,082	100.000
	A.V.2	0	30000	163,8	0	Função Objetivo
	A.V.3	0	5000	198,6	0	Custo da Mistura
	A.V.4	0	27000	196,1	0	Rendimento coque/carvão
M.V	M.V.1	0	12000	446,3	12	%Fe – Coque
	M.V.2	0	35000	326	6,387	%S – Coque
	M.V.3	0	60000	298,4	0	%P – Coque
	M.V.4	0	25000	303,3	0	DI – Coque
	M.V.5	0	19000	356	19	CSR – Coque
B.V	B.V.1	0	23000	312,7	23	CRI – Coque
	B.V.2	0	10000	395	10	Cinza Mistura
	B.V.3	0	23000	403,9	4,083	Opção Função Objetivo
Soft	S.1	0	50000	225,4	5,931	Maximizar
	S.2	0	45000	204,5	0	Minimizar
CP	C.P.	0	10000	228,8	1,517	Solução Ótima encontrada
						FO = US\$315,1/t

As Tabelas 8 e 9 trazem as qualidades da mistura e do coque.

Tabela 8. Qualidade da mistura otimizada – FO: Maximizar Custo do *blend*

	Cinza	MV	S	Fluidez	Reflec.	Fe2O3	SiO2	Al2O3	CaO	P2O5
Mín	6	22	0,2	2,4	1,1	4,5	48	24	2	0,5
Máx	9	25	0,7	3	1,3	7,5	52,5	28	5	0,9
Cal	8,09	23,44	0,68	2,57	1,25	7,44	52,5	27,81	4,53	0,8
	Álcalis	Umid.	I.Basc.	CBI	SI	Reativos	WI	CSR	CRI	<015mm
Mín	1	6	0,9	0,95	2,7	65	6	60	18	10
Máx	2,5	10	1,4	1,35	4,5	75	11	68	26	20
Cal	1,81	8,4	0,16	1,35	2,93	67,27	8,4	61,64	25,93	13

Tabela 9. Qualidade do coque produzido – FO: Maximizar Custo do *blend*

	Rend.(%)	Fe(%)	S(%)	P(%)	DI	CSR	Cinza(%)
Mín	75	3	0,2	0,1	83	64	8
Máx	80	6	0,7	0,45	86	72	10,5
Cal	79,47	5,2	0,55	0,35	84,82	67,67	10,38

Comparando estes dois cenários (de minimização e maximização) do custo do mix, conclui-se que o intervalo de variação da formação do *blend* é de:

$$C_{\text{máx}} - C_{\text{mín}} = 315,1 - 262,35. \text{ Ou seja, US\$ } 52,75/\text{t de mistura.}$$

Este é o range de acréscimo no blend ao se fazer manualmente a mistura. As qualidades nos dois extremos são bem próximas, ambas dentro dos limites acordados.

6 CONCLUSÕES

As ferramentas desenvolvidas permitem várias simulações de misturas, encontrando soluções otimizadas em cada uma delas. Isto certamente facilita na escolha da melhor solução e, também, auxilia naquelas situações em que a tomada de uma decisão deve ser a mais rápida possível, situações estas muito comuns quando se pretende definir mistura de carvões para produção de coque metalúrgico. O Otimizador permite encontrar a solução ótima não só para o custo da mistura, mas para diversos parâmetros de qualidade do coque, como DI, CSR, S, P. O tempo de execução do programa é de aproximadamente 3 segundos (Intel Core I3, 4GB de memória), o que mostra a rapidez e eficiência do aplicativo desenvolvido. O sistema é dinâmico e rápido para mudança de cenários/FO, Permitindo adaptações frente às necessidade da empresa. “Não é caixa preta!!” Por fim, o programa apresenta interface amigável, facilitando a sua utilização pelos profissionais que trabalham nesta área; mudando de certa forma, o conceito negativo em relação à aplicação de softwares mais complexos. “Quebra de paradigma!!”

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à Universidade Federal de Ouro Preto e a Gerdau Açominas pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- 1 DESTRO, E.; ASSIS, P. S.; SILVA, G. L. R.; CARIAS. R. D. A.; OLIVEIRA, F. O. M. Operational Research to Optimize the Iron Raw Materials for Blast Furnace Burden. 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking. October 19-23, Shanghai, China, 2009.
- 2 CARMO, A.D e CARVALHO, C.R.V. Otimização do Roteiro Tecnológico Aplicada no Refino do Fero-Gusa. XV Simpósio Anual da ABM. Belo Horizonte. 2005.
- 3 SHAMBLIN, James E., STEVENS JR, G. T. Pesquisa operacional: uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1990
- 4 PRADO, D., Programação Linear. Belo Horizonte. EDG. 1999. 205p