

OTIMIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DAS MISTURAS DE CARVÕES APLICANDO  
O MODELO MATEMÁTICO (1)

Elias Esperidião Ibraim	(2)
José Mauro da Silva	(3)
Júlio César Jardim	(4)
Lúcio Guimarães Silva	(4)
Paulo Guerra Filho	(5)

RESUMO

O modelo matemático de otimização de mistura, utilizando a Programação Linear, trata-se de uma avaliação técnico-econômica das alternativas de abastecimento de carvões, procurando minimizar o custo de carbono efetivo do coque, a partir de uma determinada composição de mistura, que atenda simultaneamente às restrições da coqueria, alto-forno e de abastecimento.

Na AÇOMINAS, os resultados da utilização deste modelo, são vistos a partir de 1986, quando se conseguiu economizar cerca de US\$350.000,00 com a compra de 129.060t de carvão no mercado spot.

- 
- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no Seminário sobre Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas (CCMIN/COMAP)
  - (2) Engenheiro Metalúrgico-Depto. Engenharia Industrial (Pesq. Operacional )  
AÇOMINAS
  - (3) Técnico Metalúrgico- Divisão de Metalurgia da Redução e Carboquímicos -  
DMRC - AÇOMINAS
  - (4) Engenheiro Metalúrgico- Divisão de Metalurgia da Redução e Carboquímicos - DMRC - AÇOMINAS
  - (5) Engenheiro Químico-Divisão Compras de Carvões e Lubrificantes-DCCL -  
AÇOMINAS.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

O carvão coqueificável é um dos insumos, cuja quota de importação atinge cerca de 90%.

Seu custo, numa usina siderúrgica integrada a coque, consiste em aproximadamente 60% do custo do gusa.

Como o desenvolvimento tecnológico dos altos-fornos não permite maiores reduções no consumo de coque, procura-se diminuir o custo do seu carbono efetivo, através da utilização de carvões de preços mais baixos.

Com a aplicação do modelo de otimização, é possível determinar a participação de carvões que permitam reduzir o custo do coque, mantendo-se a qualidade exigida pelo alto - forno.

E, ainda, utilizando-se o sistema de britagem seletiva, que permite a utilização de carvões de fracc poder coqueificante os quais, normalmente, são ofertados a preços mais competitivos, esta redução no custo do coque produzido pela AÇOMINAS poderá se tornar ainda mais viável.

## 2.0 - OBJETIVOS

O objetivo principal do modelo não é o de minimizar o custo das misturas de carvões, mas sim o custo do coque no alto-forno. Em síntese, o modelo procura atingir três objetivos básicos:

- Minimizar o custo do carbono efetivo do coque;
- Mecanizar a rotina de cálculo da mistura a coqueificar;
- Fornecer subsídios para uma melhor negociação de novos carvões.

### 3.0 - DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 - Funcionamento do Modelo

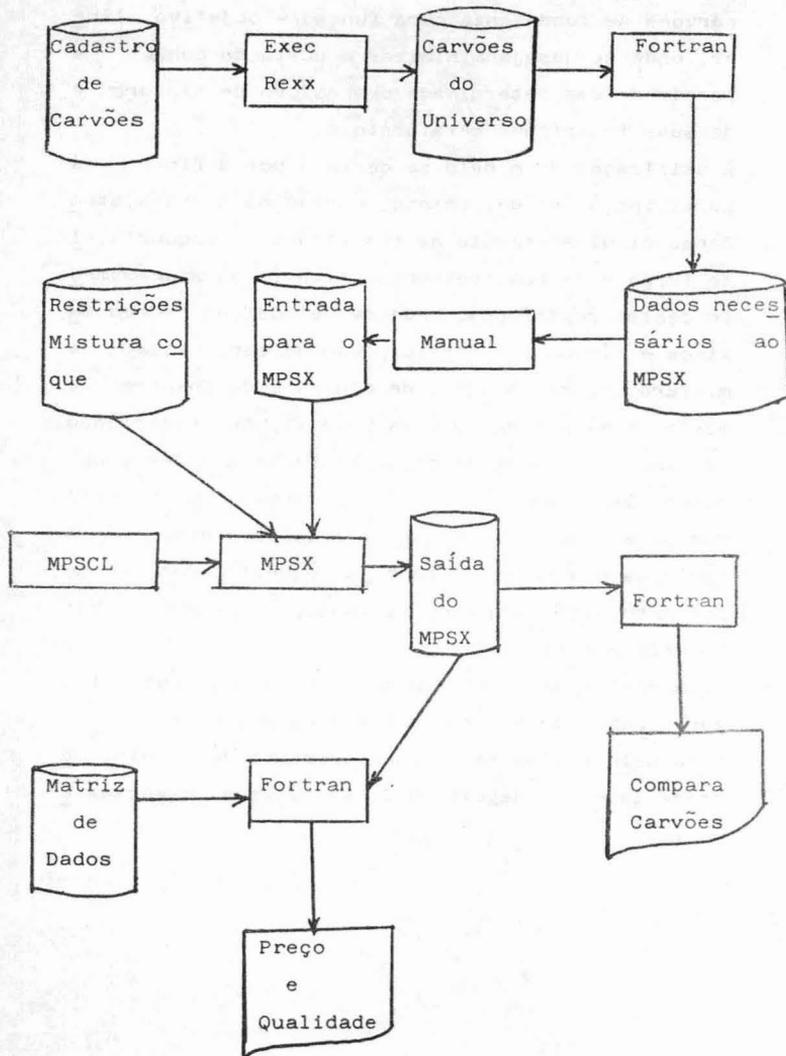
O modelo matemático de otimização de misturas de carvões se fundamenta numa função - objetivo linear, onde se deseja minimizar o custo do coque a partir de uma determinada composição de mistura e de suas restrições metalúrgicas.

A utilização do modelo se destaca por definir a participação de determinado carvão na mistura, atendendo simultaneamente às restrições da coqueria, alto forno e de abastecimento. Através do equacionamento destas restrições, onde se definem os teores máximos e mínimos de participação de cada carvão na mistura, teores máximos de cinzas e de enxofre e máximo e mínimo de matéria volátil. As restrições de cinza e enxofre do coque se referem às exigências do alto-forno. Quanto à segurança operacional das baterias, a restrição se relaciona à pressão exercida nos fornos durante a coqueificação, sendo, portanto, limitada a participação dos carvões baixos voláteis na mistura.

E, a partir do custo dos carvões, procura-se otimizar o custo do carbono efetivo do coque.

Para melhor ilustrar o funcionamento do modelo, apresentamos, a seguir, um fluxo das suas diversas etapas.

DIAGRAMA DE PROCESSAMENTO DO MODELO



3.2 - O Uso do Modelo Matemático na AÇOMINAS

Partindo-se de uma seleção de cerca de 40 carvões, feita pelas missões técnico-comerciais do Grupo SI DERBRÁS, a AÇOMINAS contratou 16 carvões para o início de operação, incluindo o carvão Nacional, de utilização compulsória, e o carvão Polonês, resultado de acordo governamental.

Contudo, em decorrência do aumento na produção de coque a partir de outubro de 1986, houve necessidade de ser contratados novos carvões para atender esta demanda. Para tanto, foi necessária a utilização do modelo matemático para determinar as prioridades de contratação de carvões que atendessem à qualidade do coque a um custo mais baixo.

Neste caso, foram contratadas mais 129.060 t, sendo incluídas 85.680 t de novos carvões, que foram assim distribuídas:

Tipo	Origem	Carvão	Quantidade (t)
	EUA	SOFT B	11.236
	EUA	SPOT A	31.262
	EUA	SPOT B	21.980
	AUS	SOFT A	11.788
	CAN	SPOT C	9.414

Quadro I - Novos carvões contratados

A utilização destes carvões manteve-se praticamente inalterada a qualidade do coque e reduziu o seu custo em US\$0,61/t CE, em relação ao custo obtido com os carvões do universo anterior.

A seguir, mostramos a qualidade e o custo do coque produzido antes de out./86, bem como os resultados obtidos a partir de out./86, ou seja, após a aquisição dos novos carvões.

	CARACTERÍSTICAS	ANTES DE OUTUBRO	APÓS OUTUBRO
Mistura	Cinzas	7,76	7,86
	Mat.Volátil	27,66	27,81
	Enxofre	0,82	0,82
Coque	Cinzas	10,22	10,36
	Enxofre	0,72	0,72
	Resistência DI <sup>150</sup> <sub>15</sub>	85,87	85,84
Custo do carbono efetivo (US\$/t)		114,43	113,82

Quadro II - Qualidade da mistura coque

Como o consumo de mistura neste ano contratual foi da ordem de 1.155.000 t, esta redução de custo resultou numa economia de aproximadamente US\$350.000,00.

### 3.3 - A Minimização do Custo a Partir de 1987

Vários são os processos desenvolvidos para reduzir o custo do coque produzido numa usina siderúrgica. Na AÇOMINAS, optou-se pelo sistema de britagem seletiva, que permite a substituição parcial de carvões de bom poder coqueificante por carvões de baixo poder coqueificante.

Como sabemos, para se produzir um bcm coque metalúrgico, os macerais devem estar presentes em proporções ótimas na mistura a coqueificar.

Entendemos que a utilização da britagem seletiva possibilita um maior aproveitamento dos macerais reativos dos carvões e uma melhor distribuição granulométrica dos macerais inertes.

Como forma ilustrativa, mostramos na figura 1, em anexo, as propriedades de uma mistura de carvões, necessárias para a produção de um bom coque metalúrgico.

Acreditamos contudo, que a utilização da britagem seletiva permite melhorar estas propriedades, possibilitando, assim, a inclusão de carvões de baixo poder coqueificante na mistura a coqueificar.

Com o objetivo de diminuir o custo do coque, iniciou-se na AÇOMINAS, a partir de 25/02/87, substituição gradativa dos carvões normalmente utilizados, por carvões "Soft", procurando manter a mesma qualidade do coque. O quadro em anexo, mostra a qualidade obtida com a participação destes carvões.

Visando reduzir ainda mais o custo do coque produzido na AÇOMINAS, a quantidade de carvão negociada para o ano contratual de 1987 foi inferior à necessidade da usina, prevendo-se desde já, a compra de carvões a preços mais baixos.

Apresentamos a seguir, a quantidade de carvão necessária para atender a produção de 1987 e a quantidade negociada.

Tipo	Quantidade da Usina (t)	Quantidade Negociada(t)
AV	459.000	360.000
MV	721.000	670.000
BV	295.014	225.000
NAC	163.896,8	163.896,8
TOTAL	1.638.910,8	1.418.896,8

Quadro III - Quantidade de carvão necessária à produção e a quantidade negociada.

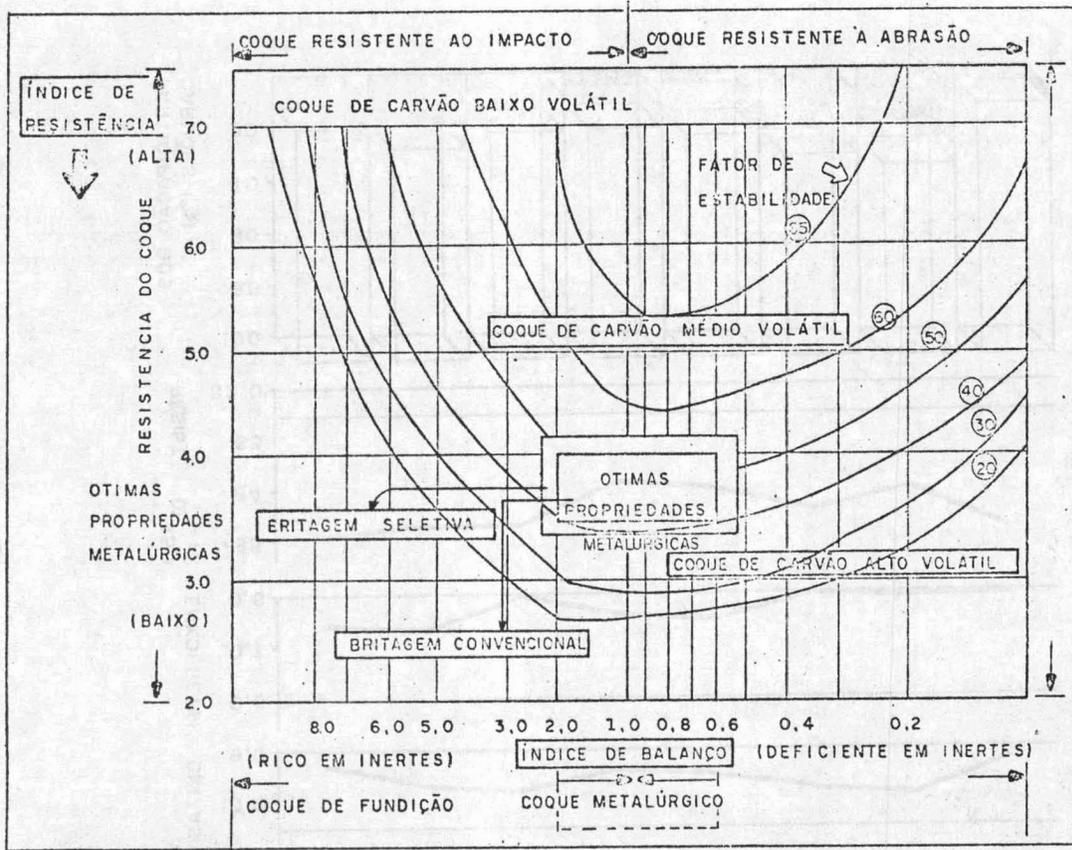
Nota-se, portanto, que há um déficit de cerca de 200.000 t entre as quantidades negociadas e necessária para a produção. Esta diferença, será complementada com a negociação das opções de contrato, ou com a compra de carvões "Soft" (baixo poder coqueificante).

#### 4.0 - CONCLUSÕES

O modelo matemático permite quantificar as variações no custo do carbono efetivo do coque, a partir dos preços e qualidade dos carvões e fornecer a comparação entre eles. Os carvões que atendem às restrições exigidas pelo modelo, devem ser submetidos aos testes em escala piloto, antes de serem consumidos industrialmente.

O trabalho desenvolvido pelo Grupo Técnico de Carvões da AÇOMINAS, durante o ano de 1986, teve como resultado uma economia de aproximadamente US\$350.000,00.

Para 1987, com o mercado mais favorável e, inclusive, com maior número de ofertas de carvões SOFT's, esperamos obter resultados superiores a 1986.



OTIMIZAÇÃO DE CARVÃO SELETIVO X QUANTIDADE DO COQUE

# UTILIZAÇÃO DE CARVÕES SOFT'S X QUALIDADE DO COQUE

