

# 1 Introdução

## 1.1. Apresentação do problema

O coque siderúrgico, combustível artificial utilizado no processo de redução do minério de ferro, além de sua grande importância metalúrgica é responsável por mais de 50% do custo de produção do ferro gusa e cerca de 20% do custo de fabricação do aço (Oliveira, *apud* Gandolpho, 1996, p. 2), o que evidencia sua elevada importância econômica para o processo siderúrgico.

O coque é formado pela “destilação”, em fornos de coqueificação com atmosfera e temperatura controladas, de uma mistura de carvões minerais que devem possuir propriedades físico-químicas tais que o coque produzido seja capaz de atender a requisitos de qualidade. Tais requisitos são importantes para que o bom funcionamento do processo e a qualidade final do aço não sejam comprometidos. Deve-se observar que, como os processos de todas as siderúrgicas integradas são similares, as propriedades físico-químicas mais desejadas também tendem a ser as mesmas, e são elas que determinarão o preço de aquisição de cada carvão.

Sendo os carvões siderúrgicos comercializados, em grande parte, no mercado internacional, e seus preços função das propriedades mais interessantes para a siderurgia, na prática, o valor que um carvão pode ter para uma empresa é freqüentemente estimado pela comparação de suas propriedades com as propriedades e preços de carvões similares. No processo de negociação de contratos de fornecimento, tal avaliação por comparação com similares pode ser adequada para o fornecedor, mas certamente deixa a desejar quando se trata do comprador. Ao menos dois inconvenientes existem para o uso dessa valoração pelo comprador. Primeiramente, porque existem algumas diferenças entre os processos das siderúrgicas e, depois porque geralmente o valor de um carvão para uma empresa depende da quantidade que se considera do próprio carvão e dos demais carvões e, ainda, dos preços e quantidades dos carvões que ainda poderão ser comprados.

Para que o processo seja técnica e economicamente viável, as siderúrgicas buscam utilizar misturas de carvões com diferentes composições, objetivando a formação de misturas adequadas ao seu processo, reduzindo ao máximo o custo de aquisição dos mesmos. Dentre as propriedades físico-químicas diretamente ligadas à qualidade dos carvões coqueificáveis, e que são desejadas dentro de certos limites de tolerância, pode-se destacar como mais importantes a umidade, as cinzas, o enxofre, a matéria volátil, a fluidez, a refletância e a dilatação (Campos, 1997).

Alguns trabalhos acadêmicos em nível de mestrado já foram realizados no Brasil abordando o tema da mistura ótima de carvões para produção de coque. Dentre eles, convém destacar o realizado por Yazaki (1991) que, considerando os dados custos de aquisição, fez uso da programação inteira mista para desenvolver uma ferramenta computacional útil no planejamento e programação de suprimento de carvões em uma usina siderúrgica a coque. Nesta mesma linha, porém, com o propósito de estimar o valor que um determinado carvão tem para o comprador, Gandolpho (1996) fez uso da programação linear para gerar curvas de demanda que relacionam o preço do carvão com sua quantidade ótima de aquisição, a partir das misturas ótimas dos carvões. Dando continuidade à pesquisa sobre ferramentas de apoio à negociação de carvões para coque, Campos (1997) realizou uma aprofundada análise pós-ótima para estabelecer os níveis em que se pode variar algumas das propriedades dos carvões, inclusive o preço, sem afetar a mistura ótima, dando subsídios para que, durante uma negociação de carvões, o comprador tenha um “delta” de flexibilidade na determinação da relação qualidade-preço.

Entretanto, constata-se que, em certos níveis de variação da qualidade dos carvões fornecidos, em relação ao especificado nos contratos, há prejuízos no custo e na qualidade do coque produzido decorrentes dessa variação, pois, numa situação mais desfavorável, em que esses desvios de qualidade extrapolem os limites permissíveis, outros tipos de carvões deverão ser adicionados à mistura para que se ajustem os desvios de qualidade proporcionados pelo não atendimento do contrato. Esses prejuízos, portanto, devem ser expressos nos contratos através de penalidades ao fornecedor, caso contrário, o custo de tais desvios será imposto ao comprador, onerando o processo de fabricação do coque.

Quando um determinado carvão é entregue fora da especificação contratada, no que se refere às suas propriedades, duas situações distintas

podem ocorrer: se a propriedade é extensiva, como as cinzas e a umidade, o desvio tem influência direta sobre a massa do carvão adquirido; se a propriedade é intensiva, como a refletância e a fluidez, a massa do carvão não é alterada pelo desvio de especificação, o que torna ainda mais difícil determinar a penalidade a ser aplicada (Campos, 1997). Independente da forma em que o desvio de especificação venha a ocorrer, torna-se não somente interessante, mas também necessário conhecer de que maneira essas penalidades podem ser determinadas para que o fornecedor pague o ônus de tais desvios. Além desta, outras questões merecem atenção, como a possibilidade de mensurar os custos diretos e indiretos que tais desvios imputam sobre o processo de coqueificação e adjacentes, e os máximos desvios na qualidade estimada dos carvões que o comprador está disposto a tolerar sem que seja necessário aplicar qualquer penalidade.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo principal**

Neste sentido, esta pesquisa tem por objetivo propor um sistema que viabilize a determinação e aplicação dos custos decorrentes de desvios na qualidade estimada dos carvões contratados para a fabricação de coque.

### **1.2.2. Objetivos secundários**

Para que seja possível mensurar esses custos, alguns objetivos específicos devem ser alcançados, dentre eles:

- a. Construir o modelo matemático da mistura de carvões para coque siderúrgico, com suas restrições próximas das reais;
- b. Obter junto à siderurgia os dados de vários carvões com diferentes composições e preços, disponíveis para a formação de misturas, que suprirão a demanda de coque num período específico;
- c. Simular cenários de desvios de especificações sobre o conjunto de carvões supostamente contratados para atender a referida demanda;
- d. Quantificar os custos causados por tais desvios de especificações em função do ajustamento da qualidade da mistura ótima e determinar a

melhor forma de transformar esses custos em penalidades ao fornecedor.

Espera-se alcançar tais resultados utilizando uma plataforma de programação adequada à modelagem do sistema de determinação de penalidades que será proposto, e utilizando a programação linear, particularmente, as técnicas de análise de sensibilidade e interpretação canônica para analisar os resultados da simulação dos cenários de desvio.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A pesquisa está organizada em oito capítulos, incluindo o introdutório. O Capítulo 2 aborda a importância do carvão mineral dentro do processo siderúrgico. Também destaca as principais etapas do processo de produção de coque, as principais propriedades dos carvões coqueificáveis e os aspectos relevantes dos contratos de fornecimento de carvões.

O Capítulo 3 destaca importantes trabalhos sobre programação linear aplicada ao problema da mistura de carvões. Conceitua o modelo clássico da mistura de carvões e as curvas de demanda, também chamadas de “curvas em S” na siderurgia. De forma resumida, discute conceitos importantes no que tange a análise de sensibilidade, como taxa de substituição, valores duais e custo reduzido, e finaliza comentando os principais aspectos da avaliação dos custos de desvios de especificação dos carvões, conforme Campos (1997)

Em função do modelo clássico apresentado no Capítulo 3, o Capítulo 4 define o modelo matemático da mistura de carvões, para o caso específico desta pesquisa, baseado nas informações e características do processo de elaboração de coque da Companhia Siderúrgica de Tubarão, a CST – Arcelor Brasil, uma das principais siderúrgicas do país e do mundo. Antes disso, evidencia a importância de se conhecer com profundidade o problema a ser estudado, para que o modelo matemático desenvolvido represente com fidelidade a realidade.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia adotada no desenvolvimento desta dissertação e, de forma esquemática, a lógica geral do sistema protótipo de contratação de carvões e determinação das penalidades contratuais a serem aplicadas aos fornecedores por desvios de especificações dos carvões.

O Capítulo 6 aborda a implementação do sistema protótipo de determinação das penalidades contratuais, descrevendo de maneira clara e objetiva as características da plataforma de programação e a estrutura dos

módulos que compõem o sistema protótipo. Também apresenta os dados, como propriedades e preços, de alguns carvões disponíveis para a formação de mistura.

O Capítulo 7 expõe alguns testes que ilustram a aplicação do sistema. Com base nos dados do capítulo anterior é determinada a mistura ótima de carvões, e cenários de desvios de especificação são simulados, propiciando o cálculo das penalidades contratuais. Aspectos que merecem atenção serão comentados.

O Capítulo 8 encerra a pesquisa com a apresentação das conclusões finais e as sugestões para trabalhos futuros.