

## 6 Implementação do sistema protótipo

O sistema protótipo foi implementado no ambiente de programação do software AIMMS 3.6, da Paragon Decision Technology (1993-2006), que combina linguagem de programação com interface gráfica ao usuário e resolvidores numéricos (solvers). Por possuir uma plataforma de programação que permite transformar com considerável facilidade modelos matemáticos complexos em interface gráfica ao usuário final, é largamente utilizado por empresas e indústrias na solução de problemas de administração de estoques, gerência de energia, projeto e operação de redes de telecomunicação, planejamento da produção, logística, gerência de riscos financeiros, de rendimentos e de recursos naturais.

Com o propósito de simplificar, em observância aos objetivos deste trabalho, o sistema foi desenvolvido somente a partir do processo “Carvões Disponíveis para Mistura”, presente na lógica do sistema, seção 5.1. A plataforma de programação utilizada facilita a construção do sistema, pois o modelo pode ser construído em módulos e sub-módulos distintos que são interligados por índices que expressam a hierarquia e dependência entre as partes do modelo. Os módulos que compõem o sistema são apresentados de forma esquemática a fim de favorecer o entendimento da estrutura e da lógica do modelo.

É importante destacar que todas as informações e dados dos carvões apresentados neste capítulo são reais e foram repassados pelo departamento de redução, seção de coqueria, da CST – Arcelor Brasil.

### 6.1. Módulos do sistema protótipo

De forma geral, a plataforma de programação utilizada permite a construção de sistemas através de três principais módulos: entrada de dados (*input*), processamento de dados (*setup*) e saída de dados (*output*). A entrada de dados, que neste caso é composta de todas as informações relevantes sobre os carvões disponíveis para mistura, como qualidade estimada, preços e outros

parâmetros, pode ser estruturada exclusivamente de quatro formas: DLLs (Dynamic Link Library) externas, que são bibliotecas de ligação dinâmica oriundas de outras plataformas de programação como Fortran, C e C<sup>++</sup>; bancos de dados ODBC (Open Database Connectivity), OLE DB (Object Linking and Embedding for Databases), XML (Extensible Markup Language) e Excel; através da interface de programação do próprio software (API/COM Object); ou Web Services, que permitem o envio/recebimento de dados provenientes de plataformas diferentes. Neste estudo, trabalhou-se somente com a estrutura de dados API/COM Object, fazendo uso da interface de programação da própria plataforma onde o modelo foi desenvolvido.

O módulo de processamento dos dados é formado por três sub-módulos que se comunicam entre si, sendo eles: construção do modelo, resolvedores numéricos e construção de interface gráfica ao usuário. Cada sub-módulo por sua vez é composto por outros sub-módulos.

O sub-módulo construção do modelo se comunica diretamente com o módulo de entrada de dados. Nele é inserida toda a lógica de programação, com a definição das variáveis, da função objetivo e das restrições, além da definição de todos os parâmetros necessários. Os resolvedores numéricos executam o modelo matemático, definido com o propósito de encontrar a melhor ou as melhores soluções para o problema, gerando os resultados que serão apresentados na interface gráfica ao usuário final para análise e julgamento, apoiando o processo de tomada de decisão.

No módulo processamento de dados, sub-módulo construção de interface ao usuário, todos os formulários, tabelas e gráficos para favorecer comparativos entre os resultados são criados de maneira que não haja a necessidade do usuário final conhecer com profundidade a linguagem de programação e nem de interferir nas linhas de programação do sistema. Para obter as informações que necessita basta acessar o módulo de saída de dados, onde os resultados são apresentados. A Figura 8 apresenta um esquema resumido dos três principais módulos disponíveis na plataforma de programação e suas interdependências.

De forma específica, no que se refere ao problema da mistura de carvões, o sistema proposto está dividido em dois módulos: “Esperado” e “Ajustamento”. Ambos os módulos são constituídos de entrada de dados, modelagem e interface gráfica ao usuário. A diferença básica entre os dois módulos é que o “Esperado” é responsável por apoiar o processo de negociação dos carvões que deverão ser contratados para suprir a demanda anual de coque, ele seleciona dentre um conjunto de carvões disponíveis, os que melhor atendem as

exigências de qualidade a um custo mínimo, como mostrado na Figura 9. Definidos, contratados e entregues os carvões para composição da mistura, o módulo “Ajustamento” se responsabiliza por corrigir algum desvio na qualidade estimada dos carvões, caso tal desvio comprometa a qualidade da mistura para produção de coque.

Existindo algum carvão fora da especificação, na condição descrita acima, o modelo de ajustamento busca corrigir a proporção dos carvões na mistura, de tal forma que as restrições de qualidade tornem a ser satisfeitas. Como os carvões já foram contratados e recebidos, torna-se inviável sua devolução em caso de não atendimento às especificações do contrato, pois as quantidades transacionadas são da ordem de milhares de toneladas. Havendo a necessidade de que algum dos carvões tenha a sua quantidade aumentada para favorecer a correção da mistura, o modelo de ajustamento deverá recorrer aos carvões disponíveis no mercado de pequenas quantidades (on spot), visto que as quantidades dos carvões já contratados tornam-se limites superiores para o ajustamento. Os carvões spot são utilizados somente em casos excepcionais, visto que são carvões mais nobres e, conseqüentemente, mais caros.

Como o ajuste da mistura ótima pode provocar uma variação nas quantidades dos carvões que a compõe, e numa situação mais crítica de desvio, até a substituição de um dos carvões da mistura inicial por outro mais adequado. Conseqüentemente, o custo total inicial da mistura também será alterado. Assim, o módulo “Ajustamento” também se torna responsável pela comparação dos custos totais reais e ajustados, e a contabilização da diferença entre os mesmos, favorecendo a determinação das penalidades contratuais a serem aplicadas. As Figuras 9 e 10 apresentam os módulos “Esperado” e “Ajustamento” aqui descritos.

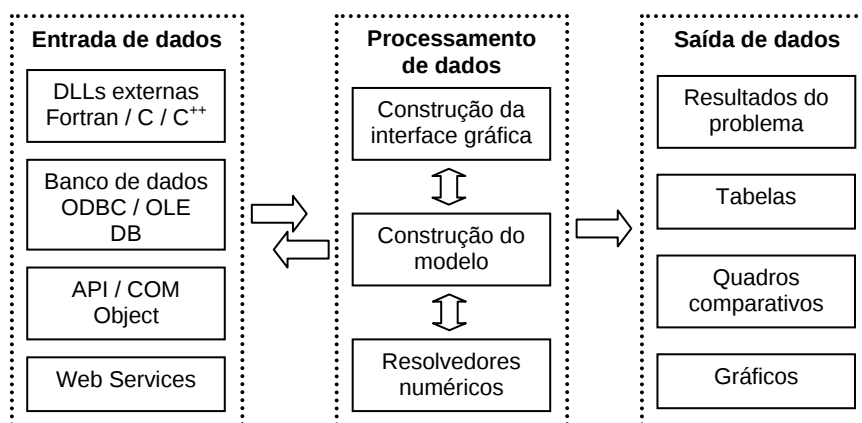


Figura 8: Representação geral dos principais módulos disponíveis na plataforma de programação.

Fonte: própria

|                   |                                   |                                                                                          |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entrada de dados  | Carvões                           | Registro geral dos carvões<br>Carvões baixo voláteis                                     |
|                   | Propriedades                      | Propriedades de controle                                                                 |
|                   | Parâmetro                         | Composição esperada dos carvões<br>Preços dos carvões<br>Limites de qualidade da mistura |
| Modelagem         | Variáveis                         | Carvões p/ formação de                                                                   |
|                   | Função objetivo                   | Custo total da mistura                                                                   |
|                   | Restrições                        | Qualidade da mistura<br>Rendimento da mistura<br>Pressão dos fornos<br>Não negatividade  |
| Interface gráfica | Resultado                         | Mistura ótima<br>Qtde. dos carvões contratados<br>Custo total da mistura                 |
|                   | Recebimento e análise dos carvões | Identificação de carvões entregues fora da especificação                                 |

Figura 9: Representação do módulo “Esperado” do sistema de determinação de penalidades.

Fonte: própria

|                   |                 |                                                                                                                                              |
|-------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entrada de dados  | Carvões         | Carvões contratados<br>Carvões “on spot”                                                                                                     |
|                   | Parâmetros      | Composição real dos carvões<br>Preços dos carvões contratados e dos carvões “on spot”<br>Limites de quantidade/qualidade da mistura ajustada |
| Modelagem         | Variáveis       | Carvões contratados<br>Carvões “on spot”                                                                                                     |
|                   | Função objetivo | Custo total da mistura ajustada                                                                                                              |
|                   | Restrições      | Qualidade da mistura ajustada<br>Rendimento da mistura<br>Pressão dos fornos<br>Quantidade dos carvões                                       |
| Interface gráfica | Resultados      | Mistura ótima ajustada<br>Quant. dos carvões na mistura<br>Custo total da mistura ajustada                                                   |
|                   | Penalidades     | Diferença entre custo esperado e custo real<br>Determinação das penalidades                                                                  |

Figura 10: Representação do módulo “Ajustamento” do sistema de determinação de penalidades.

Fonte: própria

Maiores detalhes sobre os módulos apresentados acima, como submódulos e suas interdependências dentro da plataforma de programação AIMMS podem ser vistos no Apêndice II.

## 6.2.

### Dados do sistema protótipo

Os dados que alimentam o sistema são provenientes de um banco de dados de carvões disponíveis para formação de mistura, que deve ser anualmente atualizado após avaliação dos fornecedores, dos preços e da qualidade dos carvões, como é mostrado na lógica do sistema apresentada na seção 5.1.

As tabelas abaixo apresentam informações relativas a um conjunto de quinze carvões disponíveis para a formação de mistura, e seis carvões “*on spot*” reservados para o ajustamento da mistura, em caso de desvios de especificações. Tais carvões serão utilizados no modelo-exemplo para a formação da mistura ótima, simulação dos cenários de desvio e cálculo das penalidades. Todas as propriedades e valores apresentados nas tabelas são verdadeiros e foram informados por especialistas da coqueria da CST.

Nas linhas da Tabela 1 cada carvão está representado por uma sigla que é a abreviatura dos nomes originais de cada carvão. Além disso, nove propriedades são apresentadas nas colunas da mesma tabela, representado a composição ou qualidade estimada de cada carvão, além do preço. Deve-se observar que os percentuais apresentados para o carbono fixo, matéria volátil, cinzas, enxofre e fósforo se referem ao carvão “*dry basis*” (base seca), visto que todo controle da qualidade do carvão é realizado sem a presença de umidade, apesar de a umidade ser considerada durante o processo de negociação.

Todas as seis propriedades químicas apresentadas na Tabela 1 são medidas em termos de porcentagem em relação à massa de carvão; das físicas, a refletância é medida em percentual de refletância da vitrinita (maceral do carvão) em relação a um padrão, a fluidez em *ddpm* (dial divisions per minute) e a dilatação pela razão entre a variação volumétrica do carvão, quando aquecido a uma determinada temperatura, e o seu volume inicial. Todo carvão utilizado pela empresa é importado, e seu preço é inversamente proporcional aos teores de enxofre e fósforo, sendo que os baixo voláteis são mais caros.

Na Tabela 2 são apresentados os carvões spot que serão utilizados para o ajustamento da mistura em caso de desvios, juntamente com suas propriedades e preços.

Tabela 1: Contribuição percentual estimada dos carvões para mistura.

| Nº.            | Carvão | Umidade (%) | Carbono Fixo (%) | Matéria Volátil (%) | Cinzas (%) | Enxofre (%) | Fósforo (%) | Fluidez (10 <sup>3</sup> ddpm) | Refletância (%) | Dilatação (%) | Preço (US\$) |
|----------------|--------|-------------|------------------|---------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------|
| Alto Voláteis  |        |             |                  |                     |            |             |             |                                |                 |               |              |
| 1              | CV-01  | 7,00        | 56,10            | 34,50               | 9,40       | 0,90        | 0,03        | 4,18                           | 0,82            | 124,00        | 104,57       |
| 2              | CV-02  | 7,00        | 58,00            | 35,00               | 7,00       | 0,85        | 0,02        | 4,23                           | 0,90            | 197,00        | 103,65       |
| 3              | CV-03  | 7,60        | 64,00            | 29,40               | 6,60       | 0,79        | 0,02        | 4,10                           | 0,75            | 185,00        | 104,23       |
| Médio Voláteis |        |             |                  |                     |            |             |             |                                |                 |               |              |
| 4              | CV-04  | 8,50        | 64,40            | 26,30               | 9,30       | 0,80        | 0,04        | 2,00                           | 1,15            | 100,00        | 106,87       |
| 5              | CV-05  | 8,50        | 62,00            | 27,30               | 10,70      | 0,85        | 0,04        | 1,00                           | 1,05            | 35,00         | 106,36       |
| 6              | CV-06  | 9,00        | 65,30            | 25,80               | 8,90       | 0,40        | 0,06        | 0,60                           | 1,12            | 80,00         | 108,22       |
| 7              | CV-07  | 10,00       | 69,60            | 21,20               | 9,20       | 0,45        | 0,01        | 1,00                           | 1,28            | 100,00        | 108,13       |
| 8              | CV-08  | 10,00       | 64,60            | 26,30               | 9,10       | 0,65        | 0,06        | 6,00                           | 1,18            | 240,00        | 107,53       |
| 9              | CV-09  | 10,00       | 66,60            | 24,30               | 9,10       | 0,65        | 0,06        | 3,00                           | 1,25            | 210,00        | 108,42       |
| 10             | CV-10  | 9,00        | 65,00            | 27,00               | 8,00       | 0,95        | 0,05        | 1,43                           | 1,14            | 276,00        | 107,27       |
| 11             | CV-11  | 8,50        | 63,30            | 27,30               | 9,40       | 0,45        | 0,02        | 0,70                           | 1,07            | 60,00         | 107,58       |
| Baixo Voláteis |        |             |                  |                     |            |             |             |                                |                 |               |              |
| 12             | CV-12  | 8,70        | 72,10            | 18,70               | 9,20       | 0,23        | 0,04        | 1,30                           | 1,58            | 33,00         | 109,89       |
| 13             | CV-13  | 9,00        | 74,80            | 17,00               | 8,10       | 0,30        | 0,05        | 3,00                           | 1,49            | 57,00         | 109,55       |
| 14             | CV-14  | 7,70        | 75,20            | 19,50               | 5,30       | 0,84        | 0,06        | 2,13                           | 1,47            | 66,00         | 109,28       |
| 15             | CV-15  | 7,10        | 78,10            | 17,20               | 4,70       | 0,79        | 0,03        | 1,22                           | 1,58            | 32,00         | 109,74       |

Fonte: CST

Tabela 2: Contribuição percentual estimada dos carvões “on spot”.

| Nº.            | Carvão | Umidade (%) | Carbono Fixo (%) | Matéria Volátil (%) | Cinzas (%) | Enxofre (%) | Fósforo (%) | Fluidez (10 <sup>3</sup> ddpm) | Refletância (%) | Dilatação (%) | Preço (US\$) |
|----------------|--------|-------------|------------------|---------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------|
| Médio Voláteis |        |             |                  |                     |            |             |             |                                |                 |               |              |
| 1              | SP-01  | 9,00        | 65,70            | 27,50               | 6,80       | 0,67        | 0,07        | 3,13                           | 1,05            | 111,00        | 112,96       |
| 2              | SP-02  | 9,20        | 66,40            | 27,00               | 6,60       | 0,91        | 0,01        | 3,50                           | 1,17            | 124,00        | 112,63       |
| 3              | SP-03  | 7,00        | 67,40            | 26,00               | 6,60       | 0,80        | 0,03        | 3,31                           | 1,12            | 58,00         | 112,32       |
| 4              | SP-04  | 8,90        | 62,7             | 29,30               | 8,00       | 1,13        | 0,05        | 3,89                           | 1,00            | 147,00        | 111,44       |
| 5              | SP-05  | 10,00       | 66,10            | 24,20               | 9,70       | 0,56        | 0,02        | 2,90                           | 1,07            | 90,00         | 113,78       |
| Baixo Voláteis |        |             |                  |                     |            |             |             |                                |                 |               |              |
| 6              | SP-06  | 6,60        | 77,40            | 16,80               | 5,80       | 0,77        | 0,04        | 1,41                           | 1,60            | 41,00         | 113,87       |

Fonte: CST

Apesar de serem apresentadas acima nove propriedades dos carvões, fora o preço, trabalha-se somente com oito delas, desconsiderando o “carbono fixo”,

pois não existem limites especificados que restrinjam a sua participação na mistura. Os limites inferiores e superiores para as oito propriedades que restringem a qualidade da mistura e, conseqüentemente, do coque produzido são mostrados na Tabela 2.

Tabela 3: Limites de qualidade para a mistura de carvões.

| Limites         | Umidade (%) | Matéria Volátil (%) | Cinzas (%) | Enxofre (%) | Fósforo (%) | Fluidez (10 <sup>3</sup> ddpm) | Refletância (%) | Dilatação (%) |
|-----------------|-------------|---------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| LI <sup>1</sup> | -           | 23,50               | -          | -           | -           | 2,50                           | 1,10            | 75            |
| LS <sup>2</sup> | 10,00       | 26,00               | 10,70      | 0,70        | 0,04        | 3,20                           | 1,30            | 130           |

Fonte: CST

---

<sup>1</sup> Limite inferior de qualidade para a mistura

<sup>2</sup> Limite superior de qualidade para a mistura.