

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++; 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.

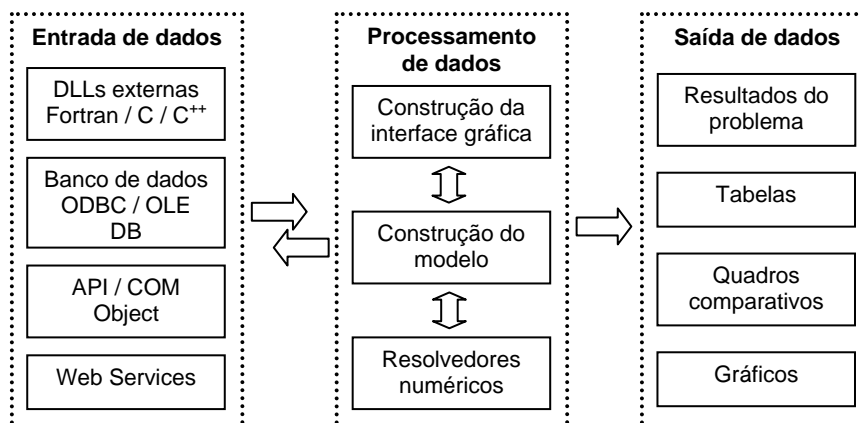


Figura 8: Representação geral dos principais módulos disponíveis na plataforma de programação.

Fonte: própria

Entrada de dados	Carvões	Registro geral dos carvões Carvões baixo voláteis
	Propriedades	Propriedades de controle
	Parâmetro	Composição esperada dos carvões Preços dos carvões Limites de qualidade da mistura
Modelagem	Variáveis	Carvões p/ formação de
	Função objetivo	Custo total da mistura
	Restrições	Qualidade da mistura Rendimento da mistura Pressão dos fornos Não negatividade
Interface gráfica	Resultado	Mistura ótima Qtde. dos carvões contratados 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 Carvões “on spot”
	Parâmetros	Composição real dos carvões Preços dos carvões contratados e dos carvões “on spot” Limites de quantidade/qualidade da mistura ajustada
Modelagem	Variáveis	Carvões contratados Carvões “on spot”
	Função objetivo	Custo total da mistura ajustada
	Restrições	Qualidade da mistura ajustada Rendimento da mistura Pressão dos fornos Quantidade dos carvões
Interface gráfica	Resultados	Mistura ótima ajustada Quant. dos carvões na mistura Custo total da mistura ajustada
	Penalidades	Diferença entre custo esperado e custo real 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 ³ 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 ³ 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 ³ ddpm)	Refletância (%)	Dilatação (%)
LI ¹	-	23,50	-	-	-	2,50	1,10	75
LS ²	10,00	26,00	10,70	0,70	0,04	3,20	1,30	130

Fonte: CST

¹ Limite inferior de qualidade para a mistura

² Limite superior de qualidade para a mistura.