

SIMULADOR DA CAPACIDADE INTEGRADA DO SISTEMA FERROSOS SUL - CVRD¹ FLEXIBILIDADE NA IMPLEMENTAÇÃO DE SIMULADORES

João Camilo Lelis Costa²

Resumo

A cada dia cresce a necessidade das grandes empresas otimizarem os seus processos devido à necessidade competitiva. O objetivo desse trabalho é discorrer sobre os conceitos, tecnologias e ferramentas orientadas para o desenvolvimento de modelos flexíveis de simulação de processos produtivos. O principal problema encontrado para simular a cadeia produtiva integrada da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) foi a necessidade do modelo de simulação possuir algumas características que inviabilizava o desenvolvimento do mesmo da maneira usual. Por essas razões, foi adotada uma linha de desenvolvimento inovadora em modelos de simulação: Simulação dinâmica.

Esta metodologia de desenvolvimento adotada permite à ferramenta gerar diversos cenários de simulação, visando atender aos requisitos definidos ao longo do projeto.

Palavras-chave: Simulação dinâmica; ActiveX; VBA.

SIMULATOR OF THE INTEGRATED CAPACITY OF SOUTH SYSTEM FERROUS - CVRD FLEXIBILITY IN THE IMPLEMENTATION OF SIMULATORS

Abstract

To each day it increases the necessity of the great companies to optimize its processes due to competitive necessity. The objective of this work is to discourse on the concepts, technologies and tools guided for the development of flexible models of simulation of productive processes. The main found problem to simulate the integrated productive chain of the CVRD was the necessity of the simulation model to possess some characteristics that the development of the same made impracticable in the usual way. By these reasons, an innovative line of development in simulation models was adopted: Dynamic simulation. This methodology of adopted development allows the tool to generate diverse scenes of simulation, being aimed at to take care of to the requirements defined throughout the project.

Key words: Dynamic simulation; ActiveX; VBA.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Engenheiro de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica – PUC-MG, Engenheiro de Sistemas da Siemens – VAI*

INTRODUÇÃO

A cada dia cresce a necessidade das grandes empresas otimizarem os seus processos devido à necessidade competitiva. Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho é explicar como e porque foi desenvolvido esse modelo de simulação. Além disso, serão tratados os principais problemas envolvidos no desenvolvimento de simulações dessa natureza.

O foco do trabalho será no desenvolvimento de modelos de simulação dinâmicos, e as suas vantagens na flexibilidade para aproveitar ao máximo as variantes do processo, sem precisar desenvolver outro projeto.

MATERIAL E MÉTODOS

Arquitetura

O simulador foi desenvolvido através do software de simulação *ProModel*, utilizando o sistema operacional *Windows XP*. Através desse software foi desenhada toda a cadeia produtiva da CVRD: Mina – Usina de Beneficiamento – Ferrovia – Usina de Pelotização – Porto.

Todas as informações de *input* do modelo estão no formato de planilhas Excel 2000, e os *outputs* em arquivos *.txt*. Após gerados os arquivos *.txt*, uma macro no Excel 2000 gera os relatórios da simulação.

A máscara de interface para montar o modelo também foi desenvolvida através do Excel 2000, utilizando macros do VBA, que por sua vez utiliza ActiveX do ProModel. A arquitetura utilizada para desenvolver o modelo está representada na figura abaixo:

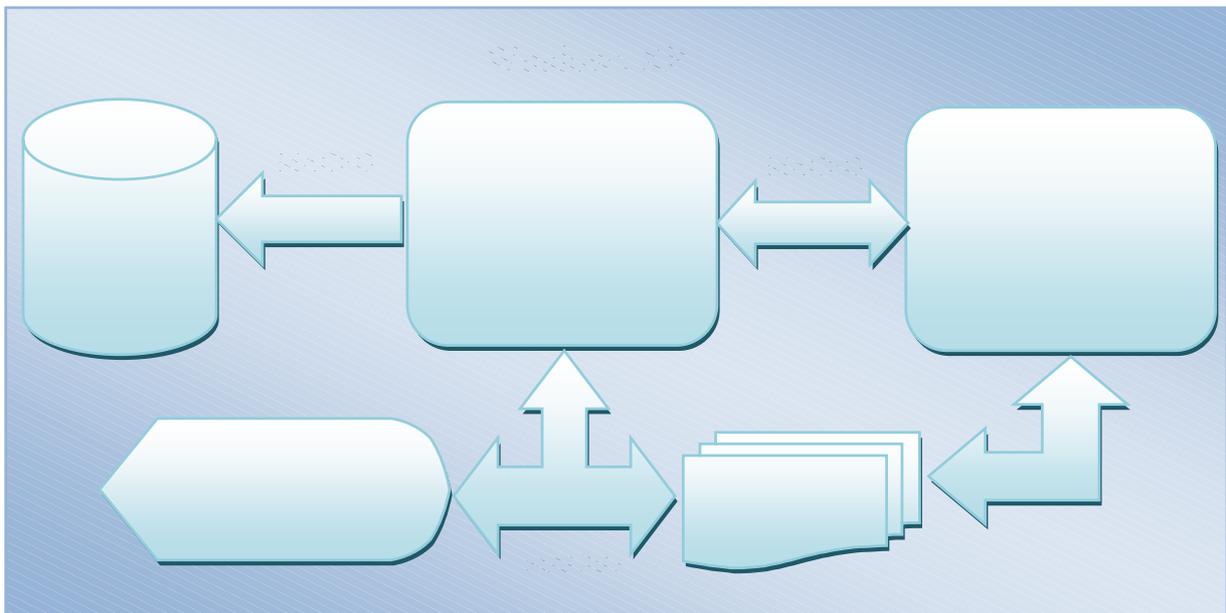


Figura 1 - Arquitetura do Sistema 1

A arquitetura mostrada na Figura 1 representa de forma resumida a forma encontrada para desenvolver uma solução que se adequasse às necessidades do modelo.

A seguir algumas figuras relativas à máscara de interface e o simulador construído no ProModel:

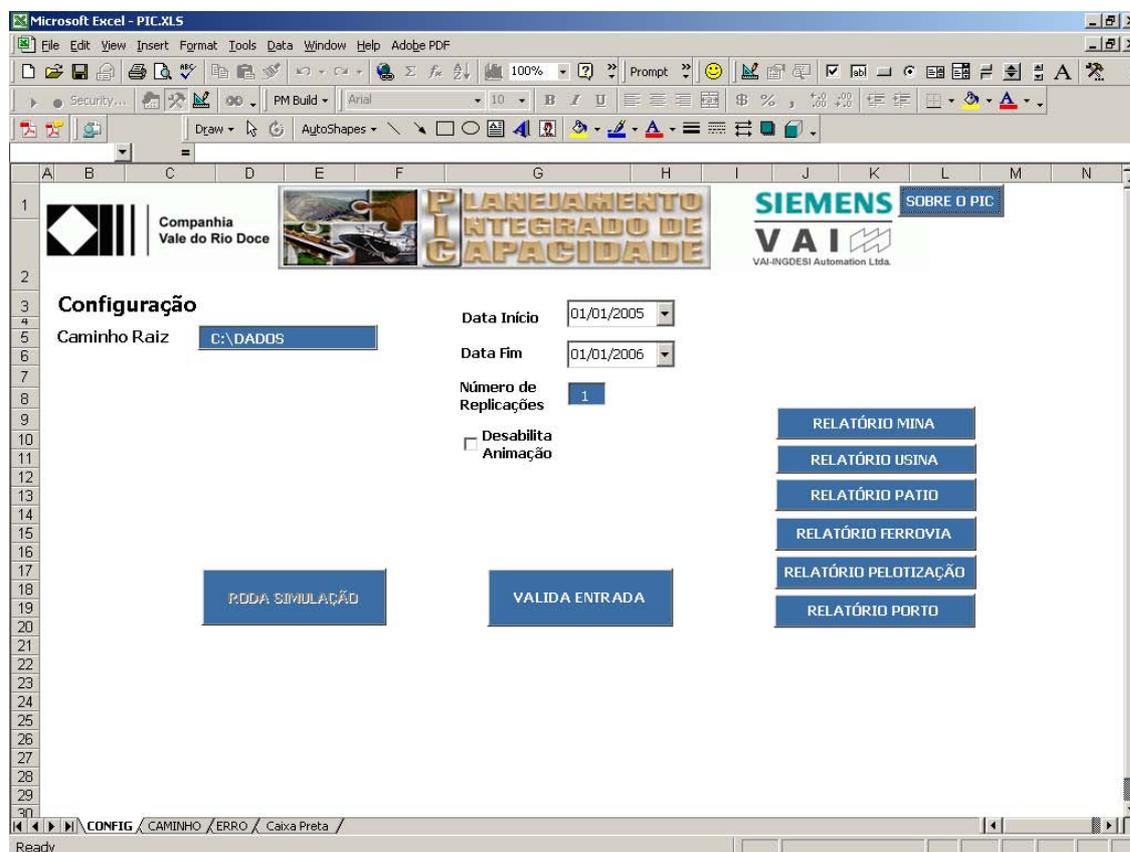


Figura 2 – Máscara de construção do modelo

Microsoft Excel - PIC.XLS

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help Adobe PDF

Security... PM Build -Tahoma 10 Zoom Prompt

Draw AutoShapes

	A	B	C	D	E
1	MINA DETALHADA				
2	MINA CAIXA PRETA				
3	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Agua Limpa v8.xls	MIN_BS		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
4	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Gongo Soco v8.xls	MIN_GS		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
5	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Brucutu v8.xls	MIN_BR		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
6	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Fazenda v8.xls	MIN_FZ		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
7	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Timbopeba v8.xls	MIN_TO		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
8	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Andrade v8.xls	MIN_AN		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
9	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Alegria v8.xls	MIN_AL		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
10	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Fábrica v8.xls	MIN_FA		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
11	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Itabira Unico v8.xls	MIN_IT		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
12	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Operação Terceirizada Mina Detalhada v8.xls	MIN_XX		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
13	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Feijão v8.xls	MIN_FJ		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
14	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Jangada v8.xls	MIN_JD		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
15	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Abóbora v8.xls	MIN_AB		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
16	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Mar Azul v8.xls	MIN_MZ		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
17	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Tamandua v8.xls	MIN_TM		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
18	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Pico v8.xls	MIN_PO		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
19	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Capitão do Mato v8.xls	MIN_CM		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS
20	C:\DADOS\PIC\MINA\DADOS	Entrada de Dados Mina - Capão Xavier v8.xls	MIN_CX		C:\DADOS\PIC\USINA\DADOS

Ready

Figura 3 – Planilha de configuração das unidades a serem construídas

ProModel - PIC_ActiveX_Testes.MOD (PIC_ActiveX.MOD) - [Layout]

File Edit View Build Simulation Output Tools Window Help

Destinos EFVM

	Nº LOTES NA FILA	MASSA DESCARREGADA (MT)	Nº LOTES NA FILA	MASSA DESCARREGADA (MT)
000	0.00	00.00	000	00.00
001	0.00	00.00	001	00.00
002	0.00	00.00	002	00.00
003	0.00	00.00	003	00.00
004	0.00	00.00	004	00.00
005	0.00	00.00	005	00.00
006	0.00	00.00	006	00.00
007	0.00	00.00	007	00.00
008	0.00	00.00	008	00.00
009	0.00	00.00	009	00.00
010	0.00	00.00	010	00.00
011	0.00	00.00	011	00.00
012	0.00	00.00	012	00.00
013	0.00	00.00	013	00.00
014	0.00	00.00	014	00.00
015	0.00	00.00	015	00.00
016	0.00	00.00	016	00.00
017	0.00	00.00	017	00.00
018	0.00	00.00	018	00.00
019	0.00	00.00	019	00.00
020	0.00	00.00	020	00.00



Porto de Tubarão

VIADORAS DE VAGÃO

PIER

PIER 1 - BERÇO NORTE

PIER 1 - BERÇO SUL

PIER 2

PORTO

Nº NAVIOS CARREGADOS

MASSA EM BARCO (MT)

Destinos MRS

	Nº LOTES NA FILA	MASSA DESCARREGADA (MT)	Nº LOTES NA FILA	MASSA DESCARREGADA (MT)
000	0.00	00.00	000	00.00
001	0.00	00.00	001	00.00
002	0.00	00.00	002	00.00
003	0.00	00.00	003	00.00
004	0.00	00.00	004	00.00
005	0.00	00.00	005	00.00
006	0.00	00.00	006	00.00
007	0.00	00.00	007	00.00
008	0.00	00.00	008	00.00
009	0.00	00.00	009	00.00
010	0.00	00.00	010	00.00
011	0.00	00.00	011	00.00
012	0.00	00.00	012	00.00
013	0.00	00.00	013	00.00
014	0.00	00.00	014	00.00
015	0.00	00.00	015	00.00
016	0.00	00.00	016	00.00
017	0.00	00.00	017	00.00
018	0.00	00.00	018	00.00
019	0.00	00.00	019	00.00
020	0.00	00.00	020	00.00



Porto de Itaguaí

VIADORAS DE VAGÃO

PIER

PIER 1

PORTO

Nº NAVIOS CARREGADOS

MASSA EM BARCO (MT)

Figura 4 – Parte do modelo construído no ProModel

Processo

A seguir será mostrado como foi desenvolvido o processo de cada fase do modelo e quais perguntas o simulador responde.

Mina – Essa é a primeira fase da cadeia produtiva a ser simulada. Como a CVRD não conseguiu levantar os dados necessários para o modelo em algumas minas, foi preciso criar dois tipos de minas: detalhada e caixa preta. A mina detalhada possui todos os parâmetros de entrada, e a caixa preta é uma mina simplificada, onde os únicos parâmetros de entrada são as produtividades de hematita, itabirito, estéril e OM¹. As variáveis de entrada para essa fase são as seguintes:

- Participação de hematita;
- Participação de itabirito;
- Participação de estéril;
- Participação de OM;
- DMT² vazio;
- DMT hematita;
- DMT itabirito;
- DMT estéril;
- DMT OM;
- TNC³ hematita;
- TNC itabirito;
- TNC estéril;
- TNC OM;
- MTBF⁴ corretiva escavadeiras/carregadeiras/caminhões;
- MTBF preventiva escavadeiras/carregadeiras/caminhões;
- MTTR⁵ corretiva escavadeiras/carregadeiras/caminhões;
- MTTR preventiva escavadeiras/carregadeiras/caminhões;
- Capacidade do caminhão de carregamento de hematita;
- Capacidade do caminhão de carregamento de itabirito;
- Capacidade do caminhão de carregamento de estéril;
- Capacidade do caminhão de carregamento de OM;
- Tempo de manobra do caminhão;
- Tempo de basculamento do caminhão;
- Velocidade a vazio dos caminhões;
- Velocidade a cheio com hematita dos caminhões;
- Velocidade a cheio com itabirito dos caminhões;
- Velocidade a cheio com estéril dos caminhões; e
- Velocidade a cheio com OM dos caminhões.

As variáveis de saída mais relevantes para a fase mina são as seguintes:

- DF⁶ dos equipamentos de transporte/carregamento;
- UT⁷ dos equipamentos de transporte/carregamento;
- Produtividade de transporte/carregamento;
- Produção de hematita/itabirito/estéril/OM;

¹ Outras movimentações

² Distância média de transporte para caminhões

³ Tempo normal de ciclo para escavadeiras e carregadeiras

⁴ Tempo médio entre falhas

⁵ Tempo médio para reparo

⁶ Disponibilidade física

⁷ Utilização

- Tempo médio em fila de carregamento;
- Número de caminhões em fila; e
- Pico de caminhões em fila.

Usina – As usinas de beneficiamento recebem hematita e itabirito das minas. As variáveis de entrada para essa fase são as seguintes:

- Estoque inicial da pilha de homogeneização de hematita/itabirito;
- *Split* de produtos;
- Rejeito;
- Rendimento operacional;
- Taxa de alimentação nominal da pilha de hematita; e
- Taxa de alimentação nominal da pilha de itabirito.

As variáveis de saída mais relevantes para a fase usina são as seguintes:

- Produção de cada tipo de produto;
- Pilha de hematita/itabirito;
- Rejeito.

Ferrovia – Transporte de produtos tanto para os portos quanto para clientes no mercado interno. As variáveis de entrada para essa fase são as seguintes:

- Estoques dos pátios de expedição;
- Escoamento de produtos para o mercado interno;
- Compra de produtos;
- Tempo de carregamento de um lote⁸;
- Tempo de viagem de um lote;
- Número de lotes;
- Peso do lote; e
- Tempo de descarregamento de um lote.

As variáveis de saída mais relevantes para a fase ferrovia são as seguintes:

- Pilha dos produtos;
- Origem/destino para cada tipo de produto;
- Número de lotes carregados;
- Pico de lotes carregados por dia;
- Número de lotes descarregados;
- Tempo médio entre carregamentos;
- Tempo médio em fila de descarregamento;
- Número médio de lotes em fila de descarregamento;
- Pico de fila de descarregamento;
- Tempo médio de transporte;
- Horas trabalhadas dos lotes;
- UT dos lotes;
- Tempo médio em fila;
- Número médio de lotes em fila; e
- Pico de fila.

Porto – Responsável pelo recebimento, armazenamento e embarque dos produtos. As variáveis de entrada para essa fase são as seguintes:

⁸Composição ferroviária

- MTBF corretiva para viradores de vagão;
- MTTR corretiva para viradores de vagão;
- MTBF preventiva para viradores de vagão;
- MTTR preventiva para viradores de vagão;
- Receita de pedido de produtos;
- Porcentagem de busca de produtos nos pátios de expedição;
- Peneiramento de granulados;
- Capacidade dos pátios;
- Taxa de descarregamento;
- Fila de navios;
- Tempo de deslocamento do navio da barra para o berço;
- Tempo de desatracação do navio; e
- Taxa de carregamento (embarque).

As variáveis de saída mais relevantes para a fase porto são as seguintes:

- DF descarga;
- UT descarga;
- Massa descarregada;
- Produtividade descarga;
- DF empilhamento;
- UT empilhamento;
- Massa empilhada;
- Produtividade empilhamento;
- Tempo médio de navios na barra;
- Número médio de navios na barra;
- Pico de navios em fila na barra;
- Número de navios carregados;
- Tempo médio de espera entre chegada na barra e carga pronta no porto;
- UT berços;
- Massa embarcada por cada tipo de produto;
- Taxa efetiva de embarque; e
- Estoque dos pátios.

Pelotização – Usinas de 1 a 7 localizadas no porto de tubarão. As variáveis de entrada para essa fase são as seguintes:

- Estoque inicial;
- Ponto de ressuprimento da pilha de recuperação;
- Rendimento operacional;
- Taxa de alimentação;
- Índice de perda em massa;
- Produção prevista;
- Receita de componentes de pelotas; e
- Escoamento de pelotas;

As variáveis de saída mais relevantes para a fase pelotização são as seguintes:

- Número de pilhas formadas;
- Massa alimentada;
- Número de paradas por falta de minério;
- Tempo parado por falta de minério;
- Tempo médio de espera de um lote por abertura de pilha;

- Escoamento;
- Produção; e
- Estoque das pilhas.

Projeto

O projeto desenvolvido teve duração de 185 dias. Segue abaixo o seu cronograma simplificado:

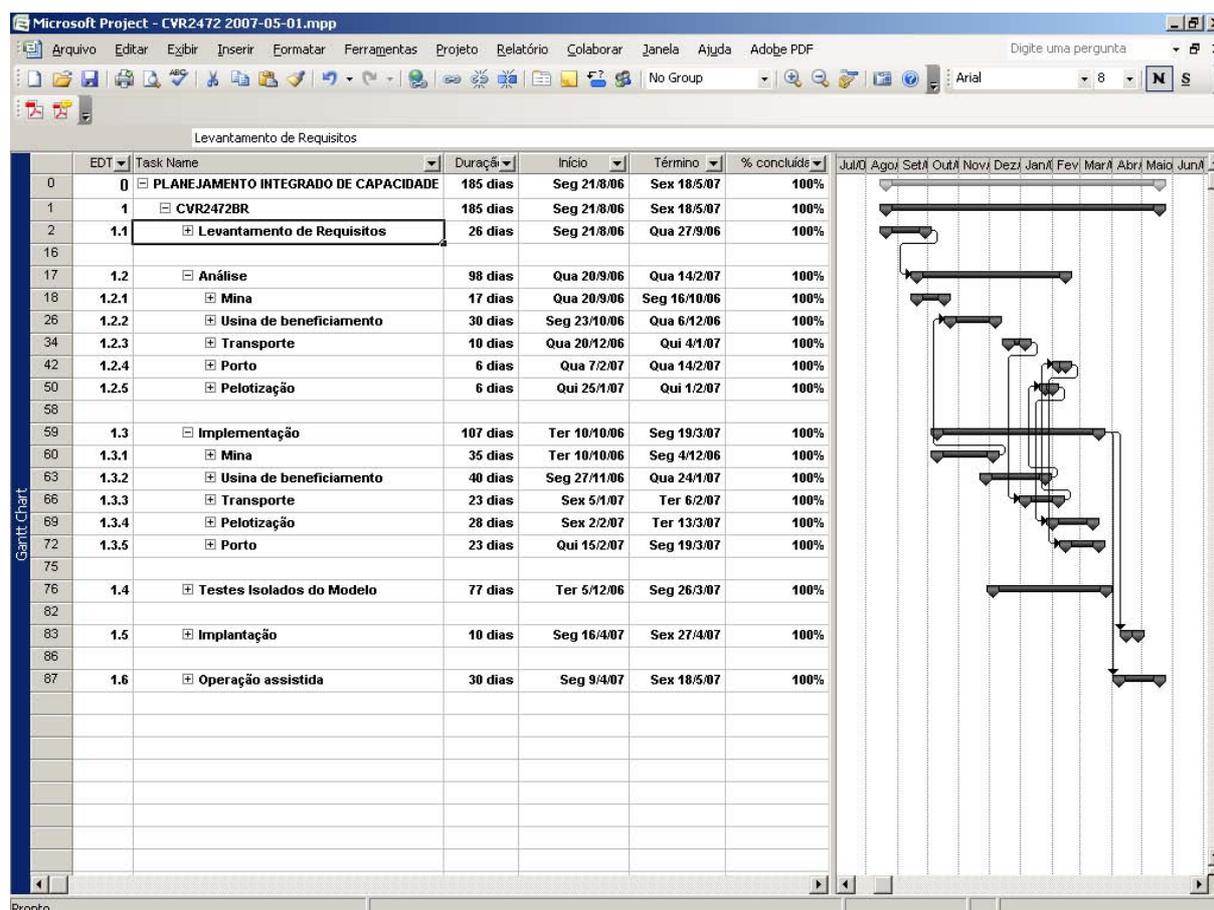


Figura 5 – Cronograma do Projeto

RESULTADOS

Para validar cada fase do modelo, entramos com dados históricos de 2005, e o resultado do simulador deveria coincidir com o que foi realizado nesse ano. A meta estipulada no início do desenvolvimento foi de no mínimo 95% de precisão. Como foi utilizada prototipagem evolutiva no desenvolvimento do modelo, cada fase pôde ser calibrada e validada logo após o término do seu desenvolvimento. A única fase que não foi calibrada diretamente foi a ferrovia, mas se todas as outras fases estão calibradas, automaticamente a ferrovia também está calibrada. A seguir, os resultados de calibração de cada fase:

- Mina Itabira (detalhada) – 99,85% de precisão;
- Mina Alegria (detalhada) – 98,32% de precisão;
- Mina Fábrica (detalhada) – 96,58% de precisão;
- Mina Feijão (detalhada) – 98,78% de precisão;

- Mina Pico (detalhada) – 95,13% de precisão;
- Mina Tamanduá (detalhada) – 99,75% de precisão;
- Mina Capitão do Mato (detalhada) – 99,39% de precisão;
- Mina Gongo Soco (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Água Limpa (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Timbopeba (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Brucutu (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Capão Xavier (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Fazendão (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Jangada (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Mar Azul (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Abóboras (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Mina Andrade (caixa preta) – 99,99% de precisão;
- Usina de beneficiamento Cauê – 99,15% de precisão;
- Usina de beneficiamento Conceição – 99,07% de precisão;
- Usina de beneficiamento Gongo Soco – 98,85% de precisão;
- Usina de beneficiamento Alegria – 97,9% de precisão;
- Usina de beneficiamento Fábrica – 99,15% de precisão;
- Usina de beneficiamento Água Limpa – 99,43% de precisão;
- Usina de beneficiamento Fazendão – 98,79% de precisão;
- Usina de beneficiamento Brucutu – 99,06% de precisão;
- Usina de beneficiamento Feijão – 98,63% de precisão;
- Usina de beneficiamento Andrade – 99,68% de precisão;
- Usina de beneficiamento Timbopeba – 97,45% de precisão;
- Usina de beneficiamento Fábrica Nova – 98,27% de precisão;
- Usina de beneficiamento Jangada – 99,80% de precisão;
- Usina de beneficiamento Abóboras – 99,42% de precisão;
- Usina de beneficiamento Vargem Grande – 99,82% de precisão;
- Usina de beneficiamento Mutuca – 99,97% de precisão;
- Usina de beneficiamento Mar Azul Seco – 99,73% de precisão;
- Usina de beneficiamento Mar Azul Úmido – 95,15% de precisão;
- Usina de beneficiamento Pico A – 99,82% de precisão;
- Usina de beneficiamento Pico B – 95,66% de precisão;
- Usina de beneficiamento Pico C – 99,23% de precisão;
- Usina de beneficiamento Pico D – 95,79% de precisão;
- Porto de Tubarão – 99,20% de precisão;
- Porto de Itaguaí – 98,60% de precisão;
- Porto de Guaíba – 97,86% de precisão;
- Usina de pelotização CVRD 1 e 2 – 96,92% de precisão;
- Usina de pelotização Hispanobrás – 99,40% de precisão;
- Usina de pelotização Itabrasco – 98,95% de precisão;
- Usina de pelotização Kobrasco – 96,82% de precisão; e
- Usina de pelotização Nibrasco 1 e 2 – 95,78% de precisão.

Como pode ser observado nos números acima, o simulador conseguiu ser calibrado superando a premissa de 95% de precisão. Para um simulador que tem como objetivo responder perguntas de nível tático, essa precisão é bem aceitável.

DISCUSSÃO

A idéia inovadora de desenvolver o simulador dinâmico veio através das necessidades que foram surgindo logo no início do desenvolvimento da fase mina. Como o simulador tem como objetivo responder a perguntas a médio e longo prazo, foi inevitável a utilização dessa técnica de desenvolvimento. Como exemplo, podemos citar o primeiro problema encontrado na fase inicial do projeto: Como simular cenários dez anos à frente? Se a demanda de minério da China dobrar, como a CVRD conseguirá atender? Os investimentos serão em quais elos? Por essas e outras perguntas a serem respondidas que adotamos esse tipo de desenvolvimento. Para responder a essas perguntas, a cadeia produtiva simulada tem que mudar de configuração, como por exemplo, sendo acrescentadas novas minas, usinas de beneficiamento, viradores de vagão nos portos.

Na Figura 6, as perguntas que foram premissas para o desenvolvimento do simulador:

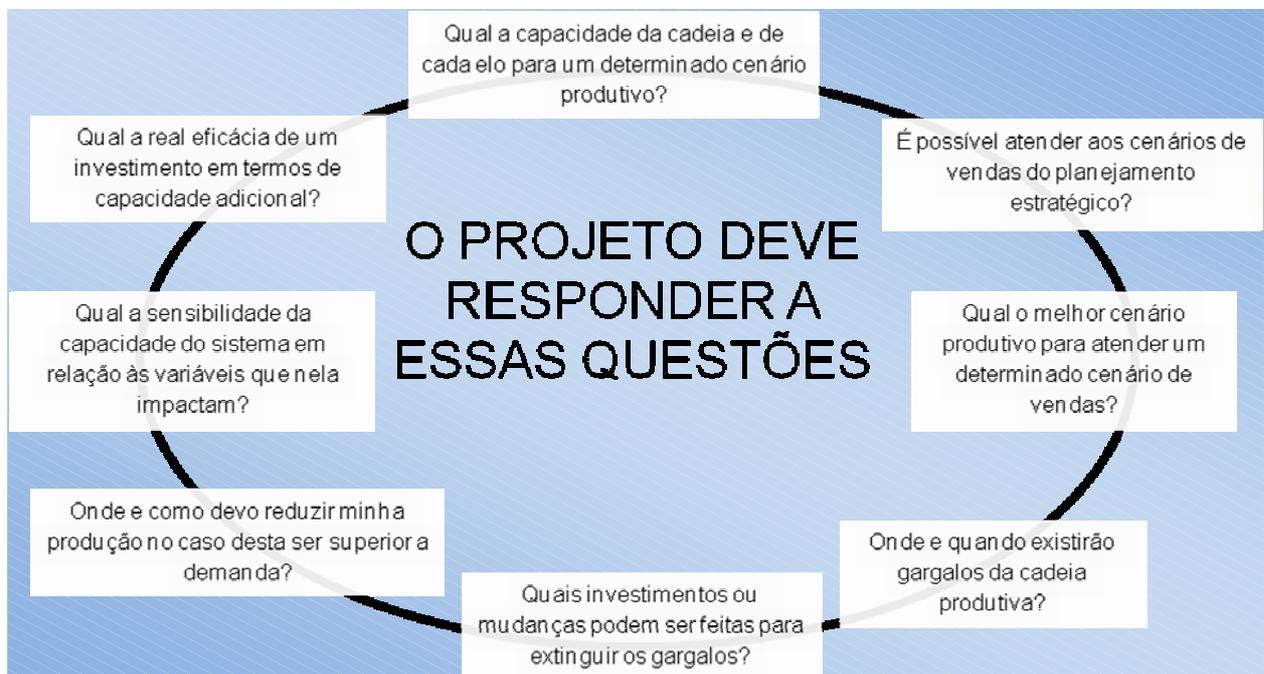


Figura 6 - Perguntas a serem respondidas pelo simulador

Como pode ser observado nas perguntas acima, esse simulador será de extrema importância para a CVRD, pois irá auxiliar em tomadas de decisões estratégicas. Essas perguntas já puderam ser respondidas nos exercícios feitos pela equipe de planejamento estratégico da CVRD.

O modelo ainda não está sendo utilizado oficialmente para determinar o plano de vendas da CVRD a médio e longo prazos, por ser muito recente ainda a sua implantação, mas já irá auxiliar no plano de vendas do ano de 2008. A perspectiva é que, nos próximos anos, a partir de 2009, o simulador se torne a ferramenta oficial para planejamentos futuros.

CONCLUSÃO

A complexidade e a necessidade do modelo responder a perguntas de longo prazo foram fatores predominantes para que fosse adotada a técnica de simulação

dinâmica. O aprendizado no desenvolvimento foi muito bom, e nos próximos simuladores desenvolvidos, mesmo que não seja de extrema necessidade, também serão desenvolvidos dinamicamente.

Com o sucesso desse projeto de simulação, a expectativa é que outras empresas também adotem esse tipo de desenvolvimento em simuladores. Isso seria de extrema importância para que fossem melhoradas ainda mais as *dll's*⁹ dos softwares de simulação, pois aumentaria o número de usuários a adotarem essa metodologia, e por consequência a maior eficácia e menos “*bugs*” das *dll's*.

Agradecimentos

Agradeço a todos que contribuíram com esse trabalho, a toda equipe da Siemens – VAI, em especial à equipe que participou diretamente do projeto – Alexandre Pimentel, Antônio Custódio e Daniel Furtado. Agradecimento também à CVRD por ter nos confiado um projeto tão complexo e inovador.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ HARREL, Charles; GHOSH, Biman; BOWDEN, Royce. Simulation Using ProModel. McGraw-Hill.
- ² ProModel ActiveX User Guide. ProModel Corporation. All Rights Reserved.
- ³ ProModel Corporation. All Rights Reserved. <http://www.promodel.com/> Acesso em 18 Nov. 2006
- ⁴ ProModel Version 7 User Guide. ProModel Corporation. All Rights Reserved..

⁹*Dynamic link library (Biblioteca de ligação dinâmica)*