



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico - Engenharia Civil

Mestrado em Transportes

ROBERTO OLIVEIRA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO
PARA IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO.**

**VITÓRIA
2011**

ROBERTO OLIVEIRA JÚNIOR

ROBERTO OLIVEIRA JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO
PARA IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO.

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Transportes da Universidade
Federal do Espírito Santo, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Marta Monteiro da
Costa Cruz.

VITÓRIA
2011

ROBERTO OLIVEIRA JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO
PARA IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS DE UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO.

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Transportes da Universidade
Federal do Espírito Santo, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de atuação: Transportes

Orientador: Prof^a Dr^a Marta Monteiro da
Costa Cruz

VITÓRIA
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

O48d Oliveira Júnior, Roberto, 1967-
Desenvolvimento de um modelo de simulação para
identificação de gargalos na cadeia de suprimentos de uma
empresa de mineração / Roberto Oliveira Júnior. – 2011.
196 f. : il.

Orientadora: Marta Monteiro da Costa Cruz.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Cadeia de logística integrada. 2. Modelagem de
processos. 3. Métodos de simulação. I. Cruz, Marta Monteiro da
Costa. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

Roberto Oliveira Junior

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA
IDENTIFICAÇÃO DE GARGALOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE
UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Transportes.

Aprovada em **25/08 / 2011** por:



Prof. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes
Orientadora - UFES



Prof. Dra. Patrícia Alcântara Cardoso
Doutora em Engenharia de Produção
Examinadora Interna - UFES



Prof. Dr. Eduardo Saliby
Doutor em Pesquisa Operacional
Examinador Externo - UFRJ

À minha esposa, Tatiana,
À minha filha, Taianna,
Aos meus pais, Roberto e Aparecida,
pelo grandioso apoio, paciência,
carinho e confiança.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tudo que tenho e pela força para vencer cada obstáculo.

A SAMARCO Mineração, por prezar o aperfeiçoamento contínuo de seus recursos humanos e disponibilizar todos os recursos necessários para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos que colaboraram com esse trabalho. De forma especial agradeço:

À Prof^a Marta Marta Monteiro da Costa Cruz, pela orientação e pelo apoio durante a elaboração do trabalho e das aulas do Mestrado.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Eduardo Saliby e Prof^a Patrícia Alcântara Cardoso, por haverem aceitado a incumbência e pela dedicação na tarefa de avaliar o trabalho e oferecer suas valiosas contribuições.

Ao Engenheiro Eduardo Moraes Ferreira por ter propiciado as condições necessárias para o início desse trabalho, confiando-me esse desafio.

Ao Engenheiro Alexandre Juliá pela indispensável colaboração durante o trabalho, não medindo esforços em transmitir o seu conhecimento e a sua experiência profissional.

Aos colegas da Gerência Geral de Suprimentos pela colaboração e compreensão pela ausência física necessária para desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de outras áreas da Samarco, de empresas contratadas e aos fornecedores que, de maneira paciente e profissional, contribuíram com informações, discussões e suporte técnico de alta qualidade.

Ao Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado. E aos professores que não pouparam esforços em nos proporcionar a oportunidade de atualizar e expandir nossos conhecimentos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para identificar gargalos na cadeia de suprimentos de insumos para o setor de Mineração, mais especificamente para o processo de pelletização ou aglomeração de finos de minério de ferro para formação de pelotas. Essa metodologia é baseada na modelagem e simulação computacional dessa cadeia de suprimentos e na definição de indicadores adequados para avaliar o seu desempenho logístico. Um modelo de simulação a eventos discretos foi desenvolvido para representar a configuração atual da cadeia de suprimentos, procurando-se destacar os principais processos que a compõe. Tomando-o como base, variações do modelo foram construídas, sob a forma de experimentos, para se avaliar e verificar a eficácia de configurações alternativas dentro de diferentes e possíveis cenários para o sistema. A importância do tema proposto está na carência de pesquisas acadêmicas brasileiras com enfoque no setor de Mineração e, mais especificamente, na cadeia de suprimentos de entrada dos processos produtivos, envolvendo fornecedores e clientes. O acervo acadêmico atual encontra-se mais voltado para o processo de distribuição dos produtos acabados, envolvendo produtores, atacadistas, varejistas e clientes finais. Os resultados obtidos nos experimentos se mostraram coerentes quando confrontados com a realidade, a metodologia proposta e desenvolvida se mostrou eficaz como ferramenta de análise e como apoio à tomada de decisão em estudos dessa natureza.

Palavras chave: cadeia de suprimentos, modelagem, simulação, eventos discretos, logística.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a methodology to identify bottlenecks in the supply chain of inputs for the mining industry, more specifically to the process of pelletizing or agglomeration of fine iron ore pellets. This methodology is based on computer modeling and simulation of supply chain and the definition of appropriate indicators to assess their logistics performance. A model of discrete event simulation was developed to represent the current configuration of the supply chain, focusing on highlighting the main processes that comprise it. Taking as a base, variations of the model were built in the form of experiments, to evaluate and verify the effectiveness of alternative configurations in different possible scenarios for the whole system. The importance of the proposed theme is the lack of academic research focusing on the Brazilian mining sector and, more specifically, the input supply chain of production processes involving suppliers and customer. The current academic collection is more focused on the process of distribution of finished products, involving producers, wholesalers, retailers and end customers. The results obtained in the experiments proved prescient when confronted with reality, the proposed methodology is developed and proved effective as a tool to support analysis and decision making in such studies.

Keywords: supply chain management, modeling, simulation, discrete event, and logistics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização do problema.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da Dissertação	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Logística.....	5
2.2	Cadeia de Suprimentos e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	7
2.2.1	Cadeia de Suprimentos.....	7
2.2.2	Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos	8
2.3	Estoques	10
2.3.1	Políticas de controle ou gestão de estoques.....	12
2.4	Avaliação de Desempenho Logístico	16
2.4.1	Sistemas de Medição de Desempenho (SMD)	18
2.5	Pesquisa Operacional	21
2.6	Simulação Computacional.....	23
2.6.1	O processo de simulação.....	25
2.6.2	Modelos de simulação.....	27
2.6.3	Metodologia a ser utilizada na modelagem e simulação	30
2.6.4	Evolução da simulação	34
2.6.5	Vantagens e desvantagens da simulação.....	36
2.6.6	Método de Monte Carlo.....	37
2.6.7	Aplicações de simulação em Sistemas Industriais e Transportes....	40
3	O AMBIENTE DE ESTUDO.....	41
3.1	Considerações iniciais.....	41

3.1.1	Economia mundial e o mercado de minério de ferro	41
3.1.2	A Empresa objeto de estudo e o seu sistema de produção	45
3.1.3	Cadeia de Suprimentos na Pelotização	48
3.1.4	Cadeia de Suprimentos por insumo	53
4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	68
4.1	Definição do Problema	68
4.2	Modelo conceitual ou modelagem “As Is”	71
4.2.1	Modelagem da Cadeia de Suprimentos dos insumos	71
4.2.2	Premissas	83
4.2.3	Coleta e tratamento de dados	85
4.3	Modelo de Simulação Computacional	96
4.3.1	Escolha do simulador	96
4.3.2	Ferramentas e parâmetros de simulação no ARENA.....	98
4.3.3	Lógica aplicada no modelo computacional.....	103
4.3.4	Relatórios de saída	104
4.3.5	Verificação e Validação do modelo	104
5	EXPERIMENTOS	107
5.1	Introdução	107
5.2	Definição de cenários.....	108
5.3	Resultados alcançados	111
5.3.1	Cenário C.e1.A.....	111
5.3.2	Cenário C.e2.A.....	119
5.3.3	Cenário C.e3.A.....	125
5.3.4	Cenário C.e1.B.....	133
5.4	Indicadores de Desempenho	139
5.4.1	Análise comparativa das corridas através de indicadores.....	139

5.4.2	Indicadores de Desempenho da cadeia.....	141
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	145
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	APÊNDICE A	155
	APÊNDICE B	168

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo geral da cadeia de suprimentos segundo Bowersox et al (2001)...	8
Figura 2 - Gráfico tipo “dente-de-serra” (GARCIA et al., 2006).	13
Figura 3 - Integração dos processos de negócio, adaptado Lambert et al. (2001)....	17
Figura 4 - Modelo de SMD tipo radar, adaptado de (PINTO, 1998).	20
Figura 5 - Abordagens de estudo de problemas reais (LAW; KELTON, 2000)	26
Figura 6 - O Processo de Simulação (SARGENT, 2003).	27
Figura 7 - Classificação dos Modelos de Simulação (GAVIRA, 2003)	28
Figura 8 - Processo de Construção do Modelo segundo Moore e Weathford (2005) apud Loureiro (2009).	29
Figura 9 - Metodologia de modelagem e simulação, adaptado de Banks <i>et al.</i> (2000, apud FREITAS, 2001, p.15).	30
Figura 10 - Rotas de Produção de Aço - Insumos e Produtos.	44
Figura 11 - Processo integrado da produção de pelotas de minério de ferro.	46
Figura 12 - Fluxograma das operações da Samarco.	46
Figura 13 - Fluxograma simplificado do processo de pelotização.	47
Figura 14 - Cadeia de Suprimentos dos Insumos da Pelotização.	49
Figura 15 - Matriz Estratégica de Compras - Insumos.	50
Figura 16 - Fluxo do processo produtivo no fornecedor de calcário.	53
Figura 17 - Extração de calcário nas minas do fornecedor.	54
Figura 18 - Processo de beneficiamento de calcário no fornecedor.	54
Figura 19 - Área de armazenagem coberta no fornecedor de calcário.	55
Figura 20 - Processo de carregamento de carretas no fornecedor de calcário.	55
Figura 21 - Balança rodoviária no cliente.	56
Figura 22 - Área de descarga no cliente.	57
Figura 23 - Silo de calcário bruto no cliente.	58
Figura 24 - Processo de moagem no cliente.	58
Figura 25 - Área de armazenagem de big-bags e carregamento no fornecedor de bentonita.	60
Figura 26 - Galpão de armazenagem de bentonita no cliente.	61
Figura 27 - Processos de descarga e bombeamento de bentonita no cliente.	61
Figura 28 - Silo de armazenagem de bentonita (“sorvetão”).	61

Figura 29 - Composição ferroviária com viradores de vagão (car-dumpers).....	63
Figura 30 - Pátios de estocagem com slots privados e porto de embarque.....	63
Figura 31 - Descarregamento do navio no porto privado no cliente.....	64
Figura 32 - Pátio de estocagem de carvão bruto no cliente.....	65
Figura 33 - Silo de armazenagem de carvão bruto no cliente.....	65
Figura 34 - Processo de moagem no cliente – moinho de rolos.....	66
Figura 35 - Experimento B: alteração do modo de transporte, de rodoviário para ferroviário.....	70
Figura 36 - Fluxos de processos paralelos do macro-fluxo.....	72
Figura 37 - Módulos Fornecedor, Transportadora e Cliente.....	72
Figura 38 - Fluxograma da CS do insumo calcário.....	73
Figura 39 - Fluxograma do processo de recebimento do pedido (Cliente).....	74
Figura 40 - Fluxograma do processo de preparação do insumo (Cliente).....	75
Figura 41 - Fluxograma do processo de consumo do insumo (Cliente).....	76
Figura 42 - Fluxograma do processo de criação do pedido (Cliente).....	76
Figura 43 - Fluxograma do processo de atendimento do pedido (Fornecedor).....	77
Figura 44 - Fluxograma do processo de produção no fornecedor.....	78
Figura 45 - Fluxograma da CS do insumo carvão.....	79
Figura 46 - Fluxograma de produção no fornecedor de carvão.....	80
Figura 47 - Fluxograma de movimentação de carvão da mina ao porto.....	80
Figura 48 - Fluxograma de atendimento do pedido pelo fornecedor.....	81
Figura 49 - Fluxograma de descarrega de navio de carvão no porto do cliente.....	81
Figura 50 - Fluxograma do processo de consumo de carvão no cliente.....	82
Figura 51 - Fluxograma do processo de gestão dos estoques no cliente.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Taxa do Produto Interno Bruto em %. <i>Fonte: Tendências Consultoria</i>	41
Gráfico 2 - Produção de aço no mundo (em milhões de ton).	42
Gráfico 3 - Demanda por pelotas de minério de ferro (em milhões de ton).	43
Gráfico 4 - Perfil de produção do <i>Insumo1</i>	87
Gráfico 5 - Perfil de produção do <i>Insumo2</i>	87
Gráfico 6 - Perfil de produção do <i>Insumo3</i>	87
Gráfico 7 - Capacidade nominal dos veículos de bentonita.	90
Gráfico 8 - Capacidade nominal de navios – tipo Handymax - do <i>Insumo3</i> (carvão).	91
Gráfico 9 - Tempo médio da campanha BF-STB – em horas.	93
Gráfico 10 - Tempo médio da campanha BF-HB – em horas.	93
Gráfico 11 - Tempo médio da campanha DR-MX - em horas.	94
Gráfico 12 - Consumo médio do <i>Insumo1</i> (calcário) em campanhas BF-ST.	94
Gráfico 13 - Consumo médio do <i>Insumo2</i> (bentonita) em ton/h.	95
Gráfico 14 - Consumo médio do <i>Insumo3</i> (carvão) em ton/h.	95
Gráfico 15 - Erro em função do número de replicações.	102
Gráfico 16 - Consumo específico - <i>Insumo1</i> - por tipo de campanha.	109
Gráfico 17 - Interrupção da produção em horas – Cenário C.e1.A.	113
Gráfico 18 - Nível de estoque dos silos diários.	114
Gráfico 19 - Nível de estoque dos silos diários (R3).	115
Gráfico 20 - Nível de estoque do silo bruto (R5) - parte dos resultados.	116
Gráfico 21 - Nível de Estoque Silos Diários.	119
Gráfico 22 - Interrupção da produção do <i>Insumo2</i> em horas – Cenário C.e2.A.	121
Gráfico 23 - Nível de estoque nos silos diários em R13.	124
Gráfico 24 - Nível de estoque nos silos diários em R15.	124
Gráfico 25 - C.e3.A - Interrupção da produção em horas.	128
Gráfico 26 - Estoques nos silos diários e bruto (R6).	129
Gráfico 27 - R17 - resultados alcançados no cliente.	132
Gráfico 28 - R17 - resultados no fornecedor e porto de embarque.	132
Gráfico 29 - C.e1.B - Resultados alcançados - Cliente.	138
Gráfico 30 - C.e1.B - Resultados Alcançados - Transportador.	138
Gráfico 31 - Análises comparativas "Níveis Médios de Estoque".	140

Gráfico 32 - Análise Comparativa "Taxa de ocupação de recursos".	140
Gráfico 33 - Análise Comparativa " <i>Lead-times</i> ".	140
Gráficos 34 - Análise comparativa "Nº pedidos x nº veículos"	140
Gráfico 35 - Evolução dos níveis de estoque nos silos diários (C.e1.A).	141
Gráfico 36 - Indicadores de produção "Consumo no Cliente" – C.e2.A.	142
Gráfico 37 - Indicadores de produção "Produção no Fornecedor" - C.e2.A.	142
Gráfico 38 - Indicadores de transporte "Quantidade de vagões"	143
Gráfico 39 - Indicadores de transporte "Quantidade de veículos por pedido".	143
Gráfico 40 - Lead-time por pedido - C.e3.A.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Estoque segundo Krajewski e Ritzman (2003) e Ballou (2001).	11
Tabela 2 - SMD Tradicional versus novos sistemas (BURGESS et al. ,2007, p.588)	19
Tabela 3 - Evolução da evolução dos sistemas, adaptado de Gavira (2003).....	35
Tabela 4 - Trabalhos de Simulação relacionados à Cadeia de Suprimentos e outros temas.	40
Tabela 5 - Coleta de dados em função dos “Módulos” do modelo de simulação.	85
Tabela 6 - Taxa de produção dos insumos nos fornecedores.....	86
Tabela 7 - Níveis de estoque do <i>Insumo1</i> (calcário).	88
Tabela 8 - Níveis de estoque do <i>Insumo2</i> (bentonita).....	89
Tabela 9 - Níveis de estoque do <i>Insumo3</i> (carvão).....	89
Tabela 10 - Capacidades nominais dos modos de transporte.	90
Tabela 11 - Resultados comparativos entre sistema real e simulação.....	105
Tabela 12 - Cenários em função da ampliação da capacidade de produção do cliente.	108
Tabela 13 - Consumos por insumo, em ton/h, em cada cenário Cij.	108
Tabela 14 - Condições a serem testadas nos cenários de expansão, por insumo..	109
Tabela 15 - Simulações propostas para cada insumo.....	110
Tabela 16 - Cenário C.e1.A - Resultado das Simulações.	112
Tabela 17 - Cenário C.e1.A – Resultados alcançados.....	118
Tabela 18 - Cenário C.e2.A - Resultado das Simulações.	120
Tabela 19 - Cenário C.e2.A - Resultados alcançados.....	123
Tabela 20 - Cenário C.e3.A - Resultado das Simulações.	126
Tabela 21 - Proposições para o cenário C.e3.A.....	127
Tabela 22 - Resultados alcançados em C.e3.A.	131
Tabela 23 - Cenário C.e1.B - Resultado das Simulações.	134
Tabela 24 - Proposições para o cenário C.e1.B.....	135
Tabela 25 - Resultados alcançados em C.e1.B.	136

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do Problema

Na última década (2001-11) o movimento de globalização da economia mundial tem proporcionado um crescimento acelerado dos principais países, entre eles os emergentes BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. Esse crescimento, liderado principalmente pela China, deflagrou uma corrida sem precedentes por *commodities* minerais, acirrando a competitividade entre empresas e/ou grupos de empresas. Como consequência, norteados por preços historicamente muito mais atrativos, as empresas produtoras de *lump*, finos e pelotas de minério de ferro partiram para uma reavaliação de suas reservas minerais e dos seus processos produtivos, com intuito de explorar ao máximo os seus ativos.

Dentro desse novo cenário econômico, produzir de forma eficiente e eficaz, dentro das metas e desafios propostos, estará intimamente relacionado à melhores resultados de rentabilidade e lucratividade para a empresa ou grupo de empresas envolvidas. O gerenciamento da cadeia de suprimentos, dos fornecedores aos clientes, permitirá uma visão holística de todo o processo, garantindo a identificação dos obstáculos que impedirão o cumprimento dos prazos, dos volumes e da qualidade pretendida para tirar o máximo desse meio produtivo.

Inserida nesse ambiente estão as empresas do setor de Mineração, em particular a empresa integrante desse trabalho. Assim como as concorrentes no mercado, os ganhos advindos do aumento na escala de produção, provenientes de investimentos em expansões e/ou crescimento orgânico (por intermédio de ganhos de produtividade), são decisivos para diluir os seus custos fixos, aumentar a sua rentabilidade econômico-financeira e garantir a sua consolidação no mercado transoceânico de pelotas de minério de ferro.

Entretanto, para garantir esse crescimento da empresa de forma sustentável é necessária uma melhor e maior integração entre as partes que compõem essa cadeia, buscando a redução do custo operacional e o risco de interrupção de

fornecimento. O lucro cessante, ou seja, a não realização de lucros em função de paradas operacionais não-programadas tornar-se-á, num cenário como esse, o principal ponto de atenção e de risco nos resultados financeiros dessas empresas.

Pela elevada demanda do mercado, a política de estoque de produto acabado nos pátios de armazenagem dessa empresa mineradora não permite hoje a manutenção de um estoque de segurança capaz de garantir um ritmo de produção das plantas industriais que não seja o limite máximo de sua capacidade produtiva. Desta forma, *produtividade* e *disponibilidade* dos processos destacam-se como os principais indicadores de desempenho. Por outro lado, o fornecimento de matéria-prima (minério de ferro) e de insumos para o processo produtivo é considerado um dos potenciais restritores sobre as metas de produção.

Por esse motivo, é fundamental que se possa entender, analisar e controlar a cadeia de suprimentos de insumos, também denominada na literatura “cadeia *inbound*”, a fim de garantir que os produtos cheguem dentro das condições de prazo, volume e qualidade adequados para a empresa mineradora.

A proposta do trabalho é aproveitar as características peculiares a esse segmento de mercado ou processo para utilizar uma simulação computacional como ferramenta para a análise da cadeia de suprimentos atual e estudo de prováveis cenários.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é identificar gargalos na cadeia de suprimentos de insumos para uma atividade industrial específica, através da análise das principais entidades, recursos e variáveis que melhor representam esse sistema.

A identificação desses gargalos ao longo da cadeia permitirá avaliar o nível de serviço adequado, entre fornecedores e cliente, para atendimento aos requisitos acordados de prazo e de volume, em função das demandas e da eficiência logística ao longo da própria cadeia de suprimentos de insumos.

O nível de serviço adequado deverá proporcionar um equilíbrio entre os estoques e recursos necessários, tanto nos fornecedores e transportadoras, como no cliente, evitando desperdícios, ociosidades ou saturações que, certamente,

causariam aumentos adicionais de custos para as partes envolvidas, ou, no pior caso, para uma das partes, desonerando o outro.

Esse equilíbrio entre os elos que compõem a cadeia deverá também viabilizar um aumento da capacidade de movimentação de carga, dos fornecedores até a empresa consumidora.

A metodologia está baseada na utilização de modelagem e simulação computacional, bem como na definição de um conjunto de indicadores adequados para avaliar o desempenho da cadeia. Dessa forma, auxiliará na análise das interações logísticas que ocorrem entre essas empresas no âmbito do fluxo de produtos e informações.

A análise crítica das interações logísticas através do modelo de simulação proposto deverá suportar a tomada de decisões gerenciais por parte da empresa de mineração com objetivo de alinhar a capacidade atual do sistema aos futuros perfis de demanda por produtos e/ou serviços.

Uma extensa lista de produtos e serviços é adquirida por essa empresa. Entretanto, o foco do trabalho estará voltado para os insumos. As razões que levaram a essa escolha dessa empresa e do produto em questão estarão fundamentadas ao longo do trabalho, bem como a forma de agrupamento em função de determinadas características.

1.3. Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos: esse capítulo de introdução e mais cinco, conforme descritos a seguir:

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre cadeias de suprimentos e logística, gestão de demanda e controle de estoques, avaliação de desempenho logístico e, por fim, simulação computacional. Nesse ponto são destacados os processos de modelagem e simulação de eventos discretos, além dos softwares regularmente utilizados.

O capítulo 3 descreve a configuração atual da cadeia de suprimentos de insumos, entrada para o processo de pelletização de minério de ferro, os principais processos envolvidos e os insumos mais críticos.

O capítulo 4 discorre a respeito das etapas que compõem o processo de modelagem da cadeia e a construção dos modelos de simulação por eventos discretos.

O capítulo 5 possibilitará a aplicação, propriamente dita, do simulador desenvolvido, onde os experimentos realizados serão descritos e analisados.

Aborda, por fim, os indicadores para avaliação do desempenho logístico da cadeia, evidenciando as etapas de produção, armazenagem, movimentação, recebimento e preparação para o consumo no processo produtivo.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e algumas sugestões para a continuação dos estudos.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística

A primeira publicação que sugere os benefícios de uma logística coordenada foi publicada em 1961 e possuía um escopo e conteúdo voltado para a área militar. Segundo a *Webster's New Encyclopedic Dictionary* (1993) a logística seria o ramo da ciência militar que lida com a obtenção, manutenção e transporte de material, pessoal e instalações.

Corroborando com a conotação militar temos ainda o conceito de que, vindo do francês *Logistique*, seria parte da arte da guerra que trata do planejamento e da realização de projeto e desenvolvimento, obtenção, armazenamento, transporte, distribuição, reparação, manutenção e evacuação de material (para fins operativos e administrativos); recrutamento, incorporação, instrução e adestramento, designação, transporte, bem estar, evacuação, hospitalização e desligamento de pessoal; aquisição ou construção, reparação, manutenção e operação de instalações e acessórios destinados a ajudar o desempenho de qualquer função militar; contrato ou prestação de serviços (FERREIRA, 1986).

Entretanto, desde a década de 80, o termo Logística vem se consolidando dentro de uma visão mais empresarial, trazendo práticas capazes de agregar valor a produtos e serviços essenciais para a redução dos custos, a satisfação dos consumidores e o aumento das vendas. Dentre esses conceitos, vale destacar:

Logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes. Compartilham esse conceito Lambert e Stock (2001), Novaes (2001) e Ballou (2006).

O CSCMP (*Council of Supply Chain Management and Professionals*) complementa a definição acima: “As atividades de gestão logística incluem as

atividades de gestão de transportes *inbound* e *outbound*, a gestão de frota, armazenagem, movimentação de materiais, pedidos, a concepção da rede logística, gestão de inventário, planejamento da oferta/demanda e gestão de terceiros prestadores de serviços logísticos”.

Ainda segundo a CSCMP, a função logística, em diferentes graus, também inclui terceirizações e aquisições, planejamento e programação da produção, embalagem e montagem, e serviço ao cliente. Está envolvido em todos os níveis de planejamento e execução: estratégico, operacional e tático. O gerenciamento logístico é uma função de integração, que coordena e aperfeiçoa todas as atividades logísticas, e se integra com outras funções e atividades, incluindo comercialização, fabricação, vendas, finanças e tecnologia da informação.

Pode-se ainda definir logística como sendo a junção de quatro atividades básicas: as de aquisição, movimentação, armazenagem e entrega de produtos (FERRAES NETO; KUEHNE JR, 2002).

É, por fim, um verdadeiro paradoxo. Se por um lado, pode ser considerada uma das atividades econômicas mais antigas, por outro, trata-se de conceitos gerenciais dos mais modernos.

Desde que o homem abandonou a economia extrativista, dando início às atividades produtivas organizacionais, surgiram três das mais importantes funções logísticas: estoque, armazenagem e transporte. A logística deixa de ser vista como uma simples atividade operacional para virar uma atividade estratégica, fonte potencial de vantagem competitiva (FLEURY *et al.*, 1995).

2.2 Cadeia de Suprimentos & Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

2.2.1. Cadeia de Suprimentos

Sendo a Logística o *processo* que coordena o fluxo de produtos, serviços e informações por um determinado caminho, a *Cadeia de Suprimentos* é esse caminho que se estende desde as fontes primárias ou secundárias (origens), passa pelos meios manufatureiros, distribuidores e chega finalmente aos consumidores finais através dos varejistas.

De forma mais simples, uma cadeia de suprimento, ou em seu termo original “*supply chain*”, é um sistema por meio do qual empresas e organizações entregam produtos e serviços a seus consumidores, em uma rede de organizações interligadas (POIRIER; REITER, 1997).

Trata-se basicamente da integração holística dos processos de negócios (“*business process*”) por intermédio da cadeia produtiva, com objetivo de atender o consumidor final mais efetivamente, isto é, sendo eficiente e eficaz simultaneamente (PIRES et al., 2004).

Bowersox et al (2001) afirmam que durante muito tempo os benefícios resultantes desta integração não eram percebidos devido à falta de informações de qualidade e estrutura, além do que muitas empresas centravam-se em objetivos individuais. Com o aumento das exigências do consumidor por produtos cada vez mais customizados e entregues em menor tempo, as empresas tiveram de direcionar seus processos e atividades para práticas mais colaborativas, onde são necessárias rápidas transferências de informação. Neste contexto, ocorre a gestão integrada entre empresas caracterizada pela sinergia entre cinco fluxos críticos: informação, produto, serviço, financeiro e conhecimento. Sendo a logística o condutor básico dos fluxos de produtos e serviços dentro da cadeia de suprimentos. A Figura 1 apresenta um modelo geral de cadeia de suprimentos.

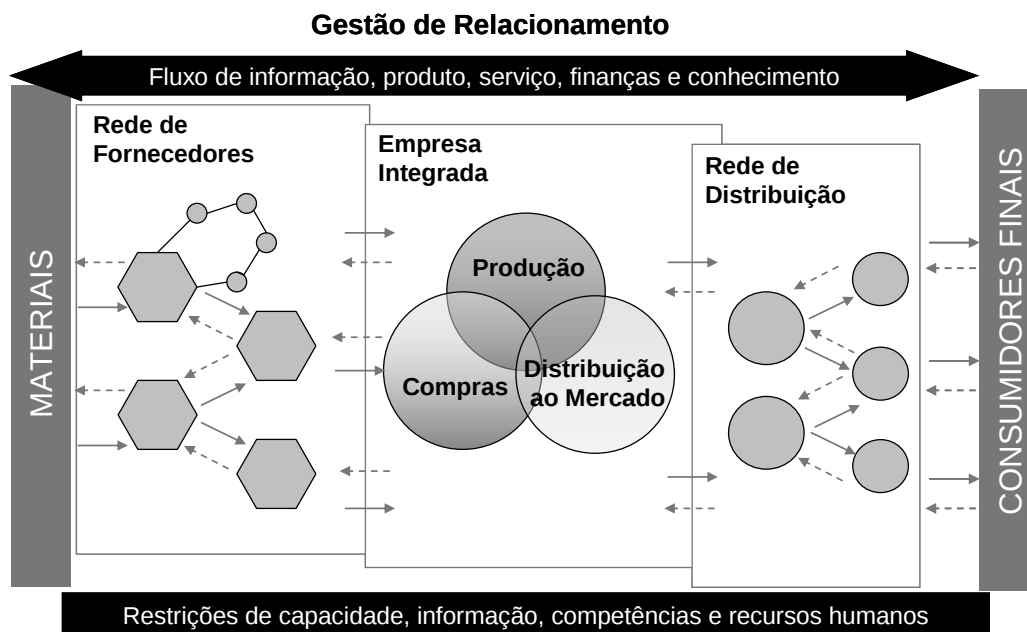


Figura 1 - Modelo geral da cadeia de suprimentos segundo Bowersox et al (2001).

É a integração dos processos de negócio, desde o usuário (cliente) final até o fornecedor original, gerando produtos, serviços e informações que agregam valor para o consumidor (*CENTER FOR WORLD WIDE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*, 2007).

2.2.2. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

De forma complementar, o gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) ou “*Supply Chain Management (SCM)*”, expressão inglesa também muito utilizada no meio especializado, é um termo surgido mais recentemente e que capta a essência da logística integrada e inclusive a ultrapassa. O GCS destaca as interações logísticas que ocorrem entre as funções de marketing, logística e produção no âmbito de uma empresa, e dessas mesmas interações entre as empresas legalmente separadas no âmbito do canal de fluxo de produtos, serviços e informações (BALLOU, 2006).

Pode ser ainda entendido como o sistema pelo qual organizações e empresas entregam seus produtos e serviços aos seus consumidores, numa rede de organizações interligadas; lida com problemas de planejamento e execução

envolvidos no gerenciamento de uma cadeia de suprimento (POIRIER; REITER, 1997).

Assim, muitas empresas têm implementado uma série de práticas eficazes para melhor gerenciar a sua cadeia de suprimentos, as quais têm visado, sobretudo, a simplificação e a obtenção de cadeias produtivas mais eficientes. Segundo Pires (2001), dentre essas práticas pode-se destacar:

- Reestruturação e consolidação do número de fornecedores e clientes, implicando sua redução e aprofundamento das relações com o conjunto de empresas com as quais realmente se deseja desenvolver relacionamentos colaborativos e com resultado sinérgico;
- Divisão de informações e integração da infra-estrutura com clientes e fornecedores, propiciando entregas *just-in-time* e redução dos níveis de estoques. A integração de sistemas computacionais e a utilização de sistemas, como o *Electronic Data Interchange* (EDI), entre fornecedores, clientes e operadores logísticos, podem permitir a prática, por exemplo, da reposição automática do produto na prateleira do cliente. A utilização de representantes permanentes ("*in plant representatives*") junto aos clientes pode facilitar, dentre outros aspectos, o melhor balanceamento entre as necessidades dos mesmos e a capacidade produtiva do fornecedor;
- Resolução conjunta de problemas e envolvimento dos fornecedores a partir dos estágios iniciais do desenvolvimento de novos produtos;
- Concepção de produtos que facilitem o desempenho da logística da cadeia produtiva e a escolha de um operador eficiente para administrá-la;
- Compatibilização da estratégia competitiva e das medidas de desempenho da empresa à realidade e aos objetivos da cadeia produtiva.

O conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS) envolve não só os atores internos da corporação, mas principalmente os fornecedores e clientes, ampliando a cadeia de valor da companhia. Desde que se amplia o escopo do

relacionamento logístico para além das fronteiras da companhia, mais recursos e maior sofisticação gerencial são requeridos (CAVANHA FILHO, 2000).

2.3. Estoques

Segundo Arnold (1999) os estoques são materiais, seja em forma de matéria-primas, produtos em processo, produtos acabados, estoques de distribuição e suprimentos para manutenção, reparo e operação, conhecidos como MRO⁵, que podem ser vendidos aos clientes ou atenderem aos processos produtivos das próprias empresas.

Os estoques de matérias-primas servem para regular diferentes taxas de suprimentos (pelo fornecedor) e de demanda (pelo processo de transformação), enquanto que os estoques de material em processo buscam regular diferentes taxas de produção entre dois equipamentos subseqüentes. Em relação aos produtos acabados, a necessidade de estoques regula diferenças entre as taxas de produção e de demanda do mercado. Por fim, materiais para manutenção, reparo e operação (MRO) são armazenados como forma de garantia operacional, no caso de quebra ou falhas nos equipamentos.

Os estoques, portanto, são necessários para que os processos de produção e distribuição possam ocorrer de forma alinhada ao planejamento original, evitando interrupções indesejadas aos processos produtivos.

Na Tabela 1 estão apresentadas as classificações e definições de cada tipo de estoque, de acordo com Krajewski e Ritzman (2003) e Ballou (2001):

⁵ MRO – Maintenance, Repair and Operations

Tipo de Estoque	Motivo do estoque	Definição
Estoque no Canal ou em movimento.	Tempo de transporte	São os estoques em trânsito entre os pontos de estocagem ou de produção.
Estoque especulativo ou de antecipação	Especulação	São estoques mantidos motivados por especulação de preços ou para satisfazer exigências de operação, como vendas sazonais ou antecipação de compras.
Estoque de ciclo	Produção/Transporte em lotes	Necessário para satisfazer a demanda média durante o tempo entre reabastecimentos sucessivos.
Estoque de Segurança	Incertezas na demanda	Servem como proteção da variabilidade na demanda para o estoque e no tempo de reabastecimento.
Estoque Obsoleto	Obsolescência	Parte do estoque que deteriora, tem a validade vencida, é extraviado ou perdido.

Tabela 1 - Tipos de Estoque segundo Krajewski e Ritzman (2003) e Ballou (2001).

Ballou (2001) apresenta quatro justificativas para a necessidade de estoques: (1) reduzir custos de transporte e produção; (2) coordenar oferta e demanda; (3) auxiliar no processo de produção; e (4) colaborar no processo de marketing. Correa *et al.* (2001) incluem as incertezas de previsões no suprimento ou demanda e a necessidade de preenchimento dos canais de distribuição como razões para o surgimento e manutenção de estoques.

Independente do motivo ou razão para a formação de estoques, fica cada vez mais evidente para as empresas a necessidade de atender na hora certa, na quantidade certa e com a qualidade desejada, para que consigam diferenciar-se de seus concorrentes aos olhos do cliente.

Além dos aspectos relativos ao atendimento dos clientes, para obterem vantagens competitivas as empresas devem possuir capacidade de operar a baixo custo e, portanto, com maior lucratividade (CHRISTOPHER, 1999).

A existência de estoques, desde que bem gerenciados, pode auxiliar na melhoria dos níveis de serviço, obtenção de economias de escala na produção, em compras e no transporte, proteção contra incertezas e, até mesmo, contra situações adversas, tais como greves ou incêndios (BALLOU, 1993). Porém, a má administração dos estoques ocasiona elevação dos custos logísticos e insatisfação dos clientes pela baixa qualidade no atendimento, de forma que o gerenciamento de inventários passa a assumir um papel preponderante na obtenção de vantagens competitivas para as organizações.

A definição do modelo de gestão a ser adotado para revisão dos estoques depende de alguns fatores, tais como: (1) frequência com que os níveis dos estoques devem ser avaliados; (2) quantidade ideal por pedido ou lote de compra; e (3) quando o pedido deve ser feito. Taylor (1999) faz referência a essas questões, vinculando-as diretamente ao desempenho da gestão de estoques nas empresas. Os sistemas de controle de estoques ajudam a responder essas perguntas através de três formas básicas de revisão: periódica, contínua e mista (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2003).

2.3.1. Políticas de Controle ou Gestão de Estoques

De acordo com Wanke (2003) um ponto importante para o planejamento das operações que envolvem estoque diz respeito à identificação da demanda. Obviamente, há formas diferentes de planejamento para cada negócio onde existe uma cadeia de suprimentos. Ele aborda esse assunto em situações onde a previsão de vendas é usada como mecanismo para política de estoques. Nesse caso, o enfoque maior do planejamento incorre sobre controle de estoque e planejamento total das partes relacionadas, tais como: distribuição, produção e suprimentos.

Segundo Garcia et al. (2006, p.60), um aspecto importante é a divisão entre políticas de revisão contínua e periódica. Políticas de revisão contínua são aquelas em que decisões de ressuprimento podem ser tomadas a qualquer instante de

tempo, o que é possibilitado pelo monitoramento contínuo de mudanças nos níveis de estoque. Por outro lado, nas políticas de revisão periódica as decisões de ressuprimento só podem ser realizadas em intervalo de tempos pré-definidos.

As políticas de revisão contínua resultam em menores níveis de estoque com o mesmo nível de serviço, dado aos menores estoques de segurança requeridos, quando comparadas às políticas de revisão periódica. Entretanto, políticas de revisão periódica, permitem um melhor planejamento dos processos de compras, transporte e recebimentos, o que pode trazer oportunidade de economias de escala e racionalização do uso de recursos. Além disso, revisar os estoques periodicamente pode reduzir os custos de monitoramento e controle.

Entre as mais populares políticas de revisão contínua dos estoques podem ser citadas, conforme se segue:

POLÍTICA $\langle s, Q \rangle$

De acordo com Garcia et al. (2006, p.60-64), essa é uma das políticas de revisão contínua dos estoques entre as mais populares nos meios produtivos. Nessa política, uma quantidade Q é pedida toda vez que a posição de estoque atinge um nível de s unidades, chegando o pedido após um tempo de ressuprimento (“*lead-time*”) L . Nela, a demanda e o tempo de ressuprimento são variáveis aleatórias, o que leva a diferentes modelos e decisões. A Figura 2 ilustra o gráfico “dente-de-serra” com incertezas na demanda e no lead-time.

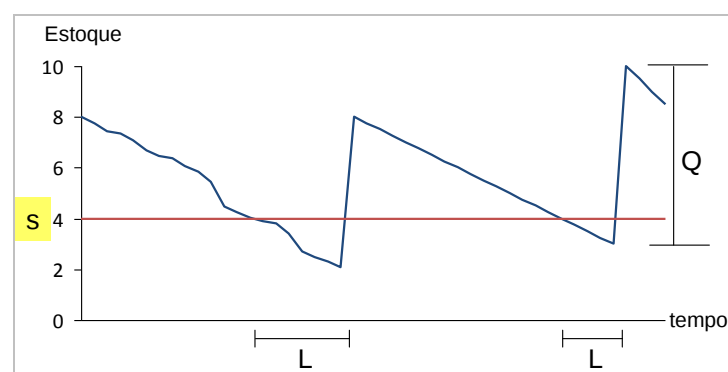


Figura 2 - Gráfico tipo “dente-de-serra” (GARCIA et al., 2006).

O ponto de pedido “s” e o lote de ressuprimento “Q” são os parâmetros da política que devem ser selecionados. Existem alguns modelos para calculá-los, baseados em otimização de custos e/ou restrições de serviços. Por questão de simplificação pode-se assumir que todas as demandas por unidade de tempo possuem a mesma média (μ_d) e o mesmo desvio-padrão (σ_d).

No que se refere a “s”, deve-se primeiramente perceber que este depende dos possíveis valores que pode assumir a demanda durante o tempo de ressuprimento (DL). Esta é a soma de cada demanda por unidade de tempo (d_t), durante o tempo de ressuprimento (L):

$$DL = \sum_{t=1}^L d_t \quad (1)$$

Tomando-se como incertos as demandas e tempo de ressuprimento, DL será também uma variável aleatória. O ponto de pedido “s” deve ser determinado com base na distribuição de probabilidade de DL. Por exemplo, se é desejado que a probabilidade de não ocorrer falta de produto (“*stockout*”) durante o tempo de ressuprimento (“*lead-time*”) seja de 90%, “s” deve ser igual ao percentil 90% de DL.

Assumindo-se que DL seja aderente a uma distribuição normal, seus percentiis são determinados por sua média (μ_{DL}) e por seu desvio-padrão (σ_{DL}). O ponto de pedido é então expresso como uma função dessas estatísticas:

$$s = \mu_{DL} + k \cdot \sigma_{DL} \quad (2)$$

O termo relativo ao desvio-padrão da demanda no tempo de ressuprimento “L” é usualmente conhecido como o estoque de segurança (SS).

$$s = \mu_{DL} + SS \quad (3)$$

$$SS = k \cdot \sigma_{DL} \quad (4)$$

Dessa forma, a seleção do fator de segurança “k” é suficiente para dimensionar o ponto de pedido.

Além disso, uma questão importante é como obter a média e o desvio padrão de DL.

A maneira mais comum é utilizar-se das estatísticas relativas à demanda por unidade de tempo e do tempo de ressuprimento “L”.

Como premissa, pode-se adotar uma distribuição normal para DL. Porém, mesmo que as demandas por unidade de tempo e os tempos de ressuprimento “L” sejam normais, DL pode não ser aderente a uma distribuição normal.

POLÍTICA <s,S>

Segundo Garcia et al. (2006, p.68), a <s,S> é uma política de revisão contínua, também chamada de “mínimo e máximo”. Toda vez que a posição de estoque atinge o ponto de pedido “s” ou um nível inferior, um pedido é colocado para elevar a posição de estoque para “S” unidades.

No caso de todas as transações de atendimento às demandas dos clientes serem unitárias, esta política é idêntica à <s,Q>, sendo Q sempre igual a (S – s).

Entretanto, caso ocorram transações com quantidades maiores que uma unidade do item (demandas dos clientes em lote), a posição de estoque pode cair abaixo do ponto de pedido, sendo os pedidos de ressuprimento variáveis.

Os pontos de pedidos no sistema <s,S> devem levar em conta a incerteza no tamanho das transações, o que torna mais complexa a derivação de formulas analíticas.

Em muitos casos, não existe diferença substancial nos níveis de serviços e nos custos, caso as características das transações não sejam levadas em conta, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações da política <s,Q>.

2.4. Avaliação de Desempenho Logístico

Partindo das definições de logística e de gerenciamento da cadeia de suprimentos, o próximo passo será detalhar os conceitos e os meios para avaliar o desempenho logístico de uma empresa ao longo de sua cadeia de suprimentos.

Kaydos (1991) afirma que desempenho é o resultado da tomada de uma decisão: “[...] o desempenho é o resultado das decisões tomadas, sendo que a qualidade dessa decisão está relacionada à quantidade e a qualidade da informação disponível [...]. Contudo, Kiyan (2001) destaca que o desempenho está relacionado com fatos passados: “[...] quanto à palavra desempenho, ela encerra em si a idéia de algo que já foi realizado, executado ou exercido[...]”.

Genéricamente, a medição de desempenho pode ser definida como uma atividade que mede atributos de um processo e compara estas medidas com metas pré-estabelecidas.

Especificamente, a medição de desempenho pode ser entendida como uma técnica usada para quantificar a eficiência e a eficácia das atividades do negócio. A eficiência está relacionada com a utilização dos recursos; já a eficácia avalia os resultados dos processos (NEELY *et al.*, 1995).

Desta forma, avaliar o desempenho logístico de uma empresa em uma determinada cadeia de suprimento consiste em determinar meios para medir a maneira como essa empresa realiza o fluxo de produtos e informações desde os fornecedores primários até o consumidor final, com foco no atendimento aos requisitos do consumidor.

Richardson (2003) diz que, antes de medir a performance ao longo da sua cadeia de suprimento, as empresas precisam construir sistemas para um bom levantamento de dados através de suas funções (departamentos) internas. Elas precisam, portanto, integrar suas funções internamente e só então medir o seu desempenho. Feito isso, os participantes da cadeia devem partilhar essas informações.

A qualidade da informação é fundamental. Um indicador de performance baseado em informações inverídicas, em vez de ajudar, atrapalha. A literatura sugere que a implementação de programas de gerenciamento da cadeia de

suprimento (GCS) conduz a um melhor desempenho da logística, mas pesquisas empíricas relacionando iniciativas de GCS com desempenho logístico são escassas. Moberg *et al.* (2004) publicaram uma pesquisa no *International Journal of Logistics Management* que examina empiricamente a relação entre sete componentes ou processos do GCS (COOPER *et al.*, 1997) e o desempenho logístico percebido. Os resultados mostraram claramente uma relação positiva entre exigência e desempenho.

Esses sete componentes (ou processos) do GCS evoluíram com o acréscimo do processo de “Retorno” (LAMBERT *et al.*, 2001) e foram novamente revisados com a extensão do processo de “Aquisições” ou, no termo original “*Procurement*”, para “*Gerenciamento do Relacionamento com Fornecedores*”, originalmente “*Supplier Relationship Management*”, por Lambert (2004) no trabalho realizado para o *The Global Supply Chain Fórum*.

Ao gerir a cadeia de suprimentos baseado nesse modelo de organização e integração de processos, o autor sugeriu medir o desempenho de toda a cadeia através de indicadores inerentes a cada processo, além dos de interface entre eles.

A integração dos processos de negócio pode ser vista na Figura 3.

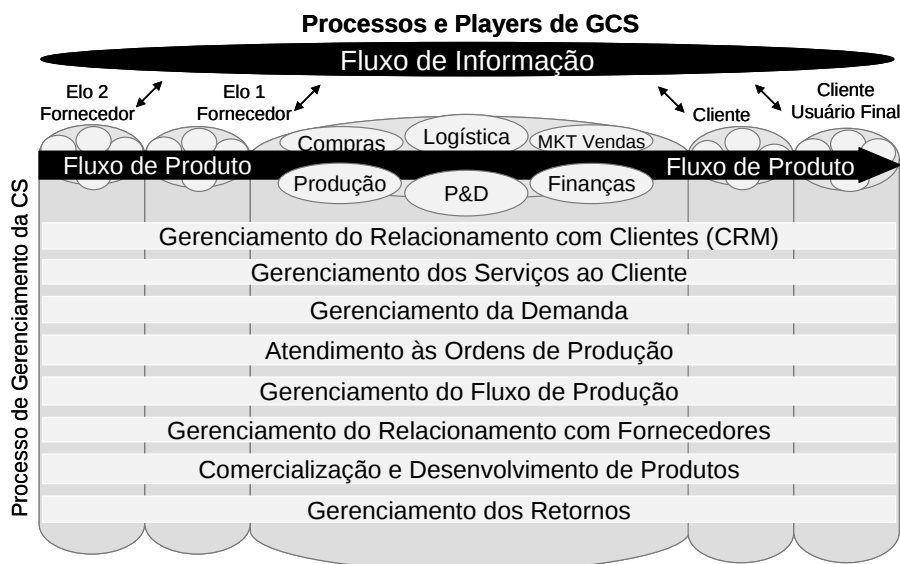


Figura 3 - Integração dos processos de negócio, adaptado Lambert *et al.* (2004).

Segundo Beamon (1999), o processo de escolha dos indicadores de desempenho mais apropriados para a cadeia de suprimento é difícil devido à complexidade destes sistemas. Entretanto, três tipos de indicadores são identificados

como componentes necessários em um sistema de avaliação de desempenho de qualquer cadeia de suprimento: (1) O uso dos recursos, (2) a saída desejada e (3) a flexibilidade, ou seja, quão bem o sistema reage a incertezas. Conseqüentemente, um sistema de medida da cadeia de suprimento deve dar ênfase a três tipos distintos de medidas de desempenho:

- Medidas do recurso (R) – níveis de estoque, requisitos de pessoal, utilização de equipamentos, energia utilizada e custos (custo de produção, custo de distribuição, custo de estoque, custo total na cadeia);
- Medidas da saída (O) – resposta ao cliente (satisfação, identificação e atendimento das necessidades), qualidade do produto, quantidade produzida, lead-time;
- Medidas de flexibilidade (F) – redução do número de pedidos perdidos e de pedidos refeitos, redução da perda de vendas; habilidade para responder e acomodar variações de demanda; habilidade de resposta a períodos de baixo desempenho de produção (quebras de máquinas); habilidade de resposta a baixos desempenhos de fornecedores; habilidade de resposta a novos produtos, novos mercados e novos concorrentes.

2.4.1. Sistemas de Medição de Desempenho (SMD)

Diante da literatura existente sobre Sistemas de Medição de Desempenho (SMD) da cadeia de suprimentos temos como entendimento comum que os SMD's tradicionais são aqueles que confiam apenas em medidas financeiras (KAPLAN e NORTON, 1992, *apud* BURGESS, 2007).

Consoante com a definição anterior, Manoochehri (1999) afirma que as tradicionais medidas de desempenho estão presentes na maioria das empresas e são focadas em sistemas financeiros e contábeis. Em seu trabalho, Burgess et al. (2007) apresentam as principais diferenças entre os SMD tradicionais e os novos sistemas, que encontram-se resumidas na Tabela 2:

Itens	SMS Tradicionais	Novos SMD
Base do sistema	Dados contábeis	Estratégia da empresa
Tipo de medidas	Financeiros	Financeiras e não financeiras
Foco das medidas	Interna	Interna e Externa
Público	Gerentes	Todos os funcionários
Relevância para o chão de fábrica	Ignorado	Considerado
Frequência	Semanal ou mensal	Diária ou a cada hora
Manutenção	Alto custo	Relevante
Integração	Ignorada	Integração existente
Formato	Fixo	Flexível
Propósito	Monitorar	Melhorar
Função	Apontar falhas	Estimular criatividade
Tomada de decisão	Estruturada	Não estruturada
Efeito na melhoria contínua	Retarda a melhoria contínua	Estimula a melhoria contínua
Direcionamento estratégico	Nenhum	Deriva da estratégia

Tabela 2 - SMD Tradicional versus novos sistemas (BURGESS et al. ,2007, p.588)

Nos últimos anos, especialmente na década de 80 e 90, novos SMD vêm sendo propostos na literatura pesquisada, como o *Balanced Scorecard*, *Integrated Performance Measurement System*, *Performance Prism*, a abordagem de *Sink e Tuttle* e o *Quantum*. A principal característica comum a estes modelos é o uso de indicadores de desempenho tanto financeiros quanto não-financeiros.

Por fim, Pinto (1998), dentre tantos novos SMD's propostos, desenvolveu um modelo que pode ser facilmente adaptado para a avaliação de cadeias de suprimentos.

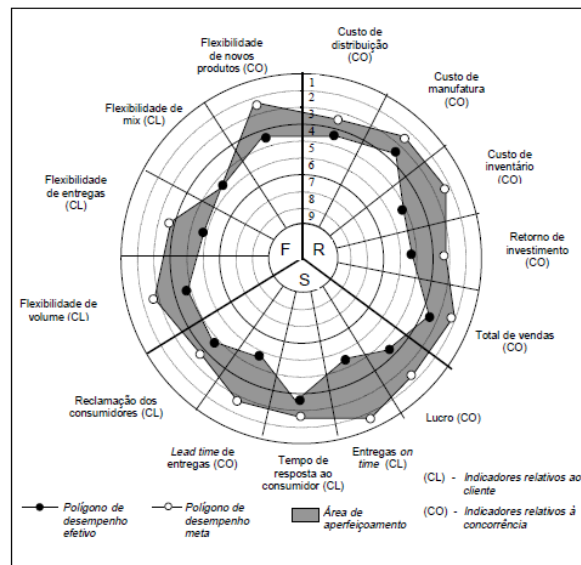


Figura 4 - Modelo de SMD tipo radar, adaptado de (PINTO, 1998).

Em seu modelo, após a determinação dos indicadores, utiliza-se um diagrama em forma de radar, no qual são assinalados os valores esperados e os valores reais atingidos para cada um dos indicadores, separados por prioridades competitivas. A Figura 4 traz o exemplo de um diagrama aplicado a uma unidade de negócios dentro de uma cadeia de suprimentos, segundo as prioridades competitivas apresentadas anteriormente, representadas por R (recursos), S (saídas) e F (flexibilidade).

2.5. Pesquisa Operacional

Dentre as principais ferramentas adotadas pelas empresas frente aos seus concorrentes, perante um cenário cada dia mais competitivo nos últimos anos, está a Pesquisa Operacional (PO), uma abordagem importante de apoio à análise e ao aprimoramento de operações.

Segundo Machline (1975), o objetivo principal da PO é a criação de modelos adequados para a tomada racional de decisões, o que favoreceria diretamente essa necessidade de análise crítica das operações.

Uma das técnicas mais utilizadas em PO, muito útil na resolução de problemas complexos e que possuem alta dose de aleatoriedade, é a simulação.

De sua origem voltada para as demandas militares, durante a 1ª e 2ª guerras mundiais, para a sua aplicação nos problemas de gerenciamento de atividades produtivas (pós-guerra aos dias de hoje), a Pesquisa Operacional, na Administração, tomou conotação estratégica e dirigiu-se a problemas como: programação da produção, controle de estoques, programação de vendas, problemas de transportes, manutenção e substituição de equipamentos, estudos de mercado, investimentos, entre tantos outros (MEDEIROS, 2000).

Não existe consenso entre os autores quanto à definição mais apropriada atribuída à Pesquisa Operacional, ou mesmo se esta pode ser definida. Entretanto, Ackoff & Sasieni (1977) consideram PO como aplicação do método científico, por equipes interdisciplinares, a problemas que dizem respeito ao controle de sistemas organizados (homem-máquina), com a finalidade de obter soluções que melhor satisfaçam aos objetivos da organização como um todo.

As características essenciais que podem ser obtidas dessa definição, segundo os autores, são: (1) a orientação para sistemas, ou para a direção; (2) o emprego de equipes multidisciplinares; e (3) a aplicação de método científico a problemas de controle.

Entretanto, a definição mais comum e, por sua vez, uma das mais antigas, foi dada por Kittel, citado em Ellenrieder (1971, p.X), onde “Pesquisa Operacional é o uso de método científico para promover os departamentos executivos de elementos quantitativos para tomar decisões com respeito a operações sob seu controle.”

Outra definição concisa é a de Ehrlich (1985), que se refere à PO como: “[...] um conjunto de técnicas quantitativas com o intuito de auxiliar o processo de decisão dentro de uma filosofia de modelagem e, preferencialmente, de otimização [...]”

Otimização e incerteza são temas constantes nos estudos de PO. Segundo Ecker & Kupferschmid (1988), a necessidade de se fazer escolhas ótimas em situações de incerteza determina duas categorias principais de métodos matemáticos usados na pesquisa operacional, a saber:

- Otimização (ou Métodos de Programação Matemática)
 - Programação linear
 - Programação inteira
 - Programação não-linear
 - Programação dinâmica, entre outros
- Probabilidade aplicada
 - Teoria das filas
 - Modelos de estoques
 - Simulação de eventos discretos, entre outros.

Um dos métodos de simulação mais utilizados na PO, para problemas e processos bem definidos, foi o Método de Monte Carlo, que será explorado na seção 2.6.6. A partir desse método, originou-se a chamada simulação probabilística (MACHLINE, 1975).

Assim, pode-se definir a simulação em PO como a realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos (SALIBY, 1989).

2.6. Simulação Computacional

CHAN (2006) apresenta em sua dissertação de mestrado uma cuidadosa revisão bibliográfica sobre a simulação a eventos discretos e o seu uso em estudos relacionados à cadeia de suprimentos e à indústria do petróleo. Seguem algumas citações: “O termo simulação é bastante conhecido e como metodologia é uma das técnicas mais conhecidas da Pesquisa Operacional (HILLIER e LIEBERMAN, 2001), e talvez a mais utilizada, segundo Law e Kelton (2000)”.

O campo de aplicação da técnica de simulação tem crescido nos últimos anos (RINCON *et al.*, 2005) e o seu uso para avaliação de cadeias de suprimentos não era comum até recentemente. Devido à natureza estocástica, muitos modelos foram desenvolvidos para projetar, avaliar e otimizar as cadeias de suprimentos sendo que a maioria utilizou a simulação a eventos discretos.

Para Saliby (1999), ela tem sido utilizada como uma ferramenta de apoio à decisão gerencial, identificando, avaliando e comparando alternativas, destacando a sua crescente importância e tendo como principal vantagem a flexibilidade, já que se aplica a problemas variados.

O resultado da popularidade desta metodologia associada a um amplo espectro de aplicações teve como consequência o surgimento de uma grande quantidade de softwares no mercado com diferentes características e propósitos.

Ceciliano (2007) construiu um modelo de simulação por eventos discretos de uma cadeia produtiva de minério de ferro, desde a lavra até o estoque de produto acabado. A aplicação de metodologia apropriada para simulação e otimização teve como objetivo suportar a tomada de decisões durante o processo de planejamento do negócio.

De forma semelhante, Neto (2006) através de um modelo também focado na cadeia produtiva de minério de ferro analisou o sistema perante a mudança de estado das variáveis representadas pela sequência de programação da produção, pelo nível de estoque de segurança no sistema e por mudanças nas formas de produção.

Com um modelo de simulação voltado para sistemas logísticos em uma cadeia produtiva de minério de ferro, Juliá (2009) desenvolveu um modelo multinível

integrado para estabelecer o dimensionamento de um pátio de estocagem para produtos a granel e dimensionar um porto onde estes produtos são escoados. Restrições de capacidade, custo e tempo foram os desafios a serem transpostos durante a simulação.

Mehta (2004) discute como a simulação pode ser aplicada para otimizar a configuração da capacidade ótima de armazenamento e transportes de suprimento de óleo e de gás, ressaltando vários fatores interdependentes que têm impacto na melhoria da cadeia de suprimentos.

Chen *et al.* (2002) tratam da aplicação da simulação a eventos discretos na logística de uma planta química. A indústria química tem a particularidade de envolver fluxo contínuo de material, seja líquido, gás ou sólido, sendo desejável a manutenção da operação. O modelo auxiliou na determinação do capital necessário para equipamentos e a avaliação de estratégias de operações logísticas como as de otimização do número e tamanho dos silos.

Utilizando-se de simulação, Rodrigues e Saliby (1998) dimensionaram uma base de distribuição de combustíveis no Brasil, determinando o número de baias e o mix de bicos de combustíveis necessários para atender a determinada quantidade de caminhões e minimizar o tempo de espera desses caminhões. O objetivo foi simular e otimizar o sistema para que pudessem realizar uma maior quantidade de viagens, utilizando-se de forma mais eficiente dos recursos da empresa.

Zee e Vorst (2005) afirmam que, devido à flexibilidade de modelagem inerente, a simulação é considerada, com frequência, como um meio apropriado para dar suporte à tomada de decisão em projetos de cadeia de suprimento. Contudo, o sucesso desses projetos de simulação é determinado por uma combinação de fatores como: (1) as habilidades do analista; (2) o envolvimento dos participantes da cadeia; e, (3) os recursos da ferramenta de simulação adotada. Esta combinação deve fornecer a base para um modelo realístico de simulação, que precisa ser transparente e completo.

A necessidade de transparência é especialmente importante porque envolve participantes (semi) autônomos, cada um com seus próprios objetivos. A confiança mútua e a eficácia do modelo são extremamente influenciadas pelo grau de

concordância entre os critérios adotados pelas partes, no que diz respeito às variáveis chaves do modelo.

De forma ideal, os modelos visuais e interativos de simulação devem apresentar recursos para que se tenha a visão desejada da realidade.

2.6.1. O processo de simulação

De acordo com Banks *et al.*, 2004, a simulação é a imitação da operação de processos reais ou sistemas num dado período de tempo. Essa técnica envolve a geração de uma história artificial de um sistema, e a observação desta para fazer inferências relativas às características de operação do sistema real.

Segundo Garcia *et al.* (2006, p.73), a simulação consiste na modelagem das regras e lógicas da gestão de estoques e do atendimento da demanda em um software, sendo as variáveis aleatórias geradas pelo computador onde qualquer distribuição de probabilidade pode ser replicada. Os experimentos de simulação são realizados para testar diferentes regras e parâmetros, sendo o desempenho medido pelas estatísticas da simulação.

Para Pedgen (1991), a simulação é o processo de construir um modelo representando um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o objetivo de entender o seu comportamento e/ou avaliar várias estratégias de operação do sistema.

O analista deve procurar captar os aspectos mais relevantes – a essência – do sistema em estudo, de modo que o modelo seja o mais simples possível (CARSON, 2005).

A simulação de modelos permite ao analista realizar estudos sobre determinados sistemas e responder questões do tipo: “*O que aconteceria se?*” ou “*What if?*”. A simulação computacional permite que tais estudos sejam realizados sobre sistemas que ainda não existem, possibilitando o desenvolvimento de projetos eficientes antes de dar início a qualquer mudança física.

Dentre as razões mais comuns para experimentações através de modelos simulados estão: (1) o sistema real ainda não existe; (2) experimentar com o sistema

real é dispendioso; e (3) experimentar com o sistema real não é apropriado. O esquema da Figura 5 mostra as abordagens para o estudo de sistemas reais.

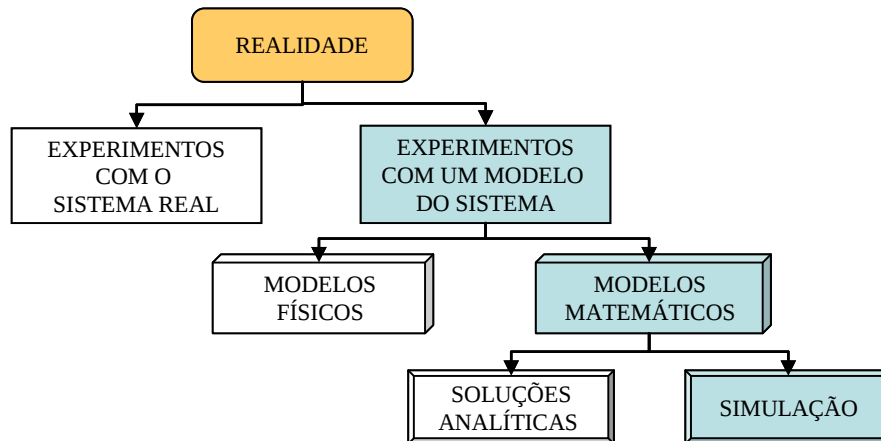


Figura 5 - Abordagens de estudo de problemas reais (LAW; KELTON, 2000)

Em contraste com os modelos de otimização, um modelo de simulação é executado e não resolvido. As diferenças destas duas abordagens implicam que o modelo simulado permite análises a todo instante, à medida que novas questões sobre o sistema real vão surgindo.

A maioria dos sistemas de simulação é do tipo entrada-saída, ou seja, são modelos interativos onde se fornecem dados de entrada, obtendo-se respostas específicas para estes dados. Não são, por natureza, modelos de otimização. Não oferecem, a menos de um razoável esforço, a possibilidade de busca de uma solução ótima, servindo, sobretudo, para análises de comportamento sob condições específicas.

Segundo Costa (2004): “Entende-se por processo de simulação o desenvolvimento de um modelo de simulação, a experimentação do mesmo e a implementação dos resultados.

O esquema da Figura 6, adaptado de Sargent (2003), propicia uma clara visão do processo de construção de um modelo de simulação computacional.

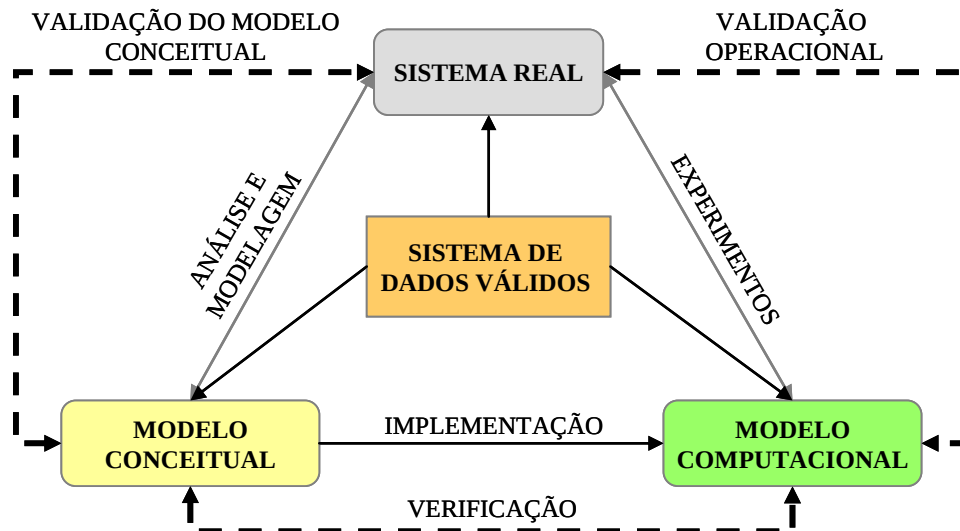


Figura 6 - O Processo de Simulação (SARGENT, 2003).

2.6.2. Modelos de Simulação

O comportamento da grande maioria dos sistemas que nos rodeiam é complexo. A maioria das pessoas acredita que a complexidade de um sistema está no número de variáveis que este possui e na incrível quantidade de possibilidades combinatórias produzidas para se encontrar, por exemplo, a melhor solução a um problema relacionado.

Mas a complexidade de um sistema pode ser demonstrada através de sistemas simples e de baixa complexidade combinatorial. Sterman (2000) mostrou com seu *Beer Game*, um jogo de regras simples e poucas variáveis, que simula a cadeia de distribuição da cerveja, que a complexidade reside nas interações entre os diferentes agentes do sistema ao longo do tempo.

Toda simulação requer a construção de um modelo com o qual serão feitos os experimentos. Um modelo matemático estudado através da simulação é denominado modelo de simulação (SALIBY, 1989).

Sterman (2002) afirma que todos os modelos são simplificações ou abstrações de um sistema o que os torna invariavelmente imperfeitos ou incompletos, porém completa o autor, a simulação e a construção de modelos

computacionais são essenciais para que tenhamos uma maior compreensão dos sistemas.

Um modelo, segundo Chwif e Medina (2004), é uma abstração da realidade, uma representação das interações entre os elementos do sistema, mas sempre mais simples que o sistema real. Os autores classificam os modelos em três categorias básicas:

- Simbólicos: representam um sistema de maneira estática, tem função de documentação e comunicação. Suas principais limitações são a falta de elementos quantitativos e a dificuldade de se representar um grande número de detalhes do sistema;
- Matemáticos: são constituídos por um conjunto de fórmulas matemáticas. Devido a sua natureza podem fornecer soluções rápidas e exatas quando existe a possibilidade de solução analítica;
- Simulação: é o que permite capturar ou mimetizar com mais fidelidade as características (complexidade, natureza dinâmica e aleatória) que o sistema real apresenta.

Segundo Gavira (2003), pode-se dividir os modelos de simulação de maneira semelhante aos modelos em geral. Uma forma de classificação está resumida na Figura 7.



Figura 7 - Classificação dos Modelos de Simulação (GAVIRA, 2003)

De forma complementar e buscando melhor compreender o processo de modelagem apresentado na Figura 7, Moore e Weatherford (2005) apresentam o conceito de modelagem e modelos através da Figura 8:

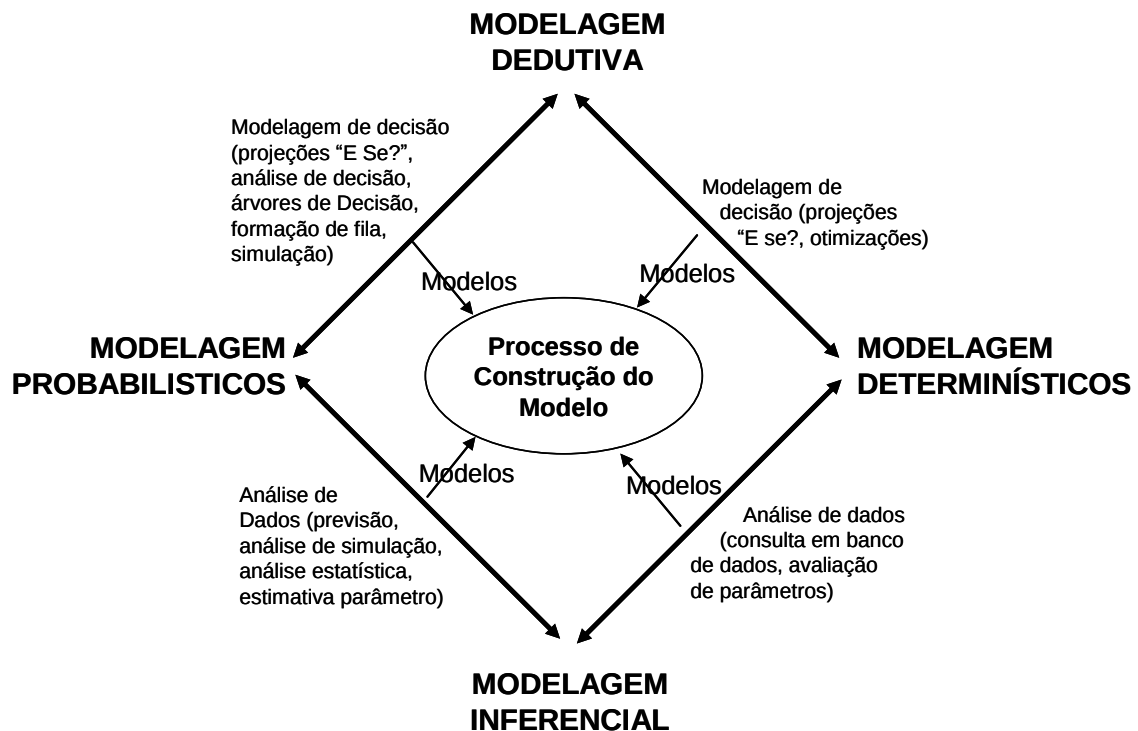


Figura 8 - Processo de Construção do Modelo segundo Moore e Weatherford (2005) apud Loureiro (2009).

Analisando-se o losango da direita para esquerda é possível observar as diferenças entre a criação de um modelo probabilístico em contraposição a um modelo determinístico. Já a análise da parte superior versus a inferior revela a diferenças entre a modelagem dedutiva e inferencial.

A modelagem dedutiva baseia-se no conhecimento prévio e o julgamento do modelador. Moore e Weatherford (2005) afirmam que estes modelos tendem a ser "pobres de dados" e tendenciosos.

Por outro lado a modelagem inferencial apóia o desenvolvimento do modelo na reflexão e análise de dados coletados, nos seus inter-relacionamentos, de forma a determinar os relacionamentos e valores de qualquer parâmetro.

Outra conclusão importante da Figura 8 é que todas as quatro dimensões apresentadas estão presentes no processo de criação de um modelo, mesmo que apenas nas fases iniciais do processo. Isso ocorre devido às características da construção de um modelo: experimentação, testes e avaliações que muitas vezes possuem características subjetivas.

2.6.3. Metodologia a ser utilizada na Modelagem e Simulação

Em Banks et al. (2000) são apresentados os passos para guiar o desenvolvedor do modelo em um estudo de simulação. Figuras e discussões similares podem ser encontradas em outras fontes (SHANNON, 1975; GORDON, 1978; LAW e KENTON, 1991) ou em artigos de Pedgen, Shannon e Sadowski (1995).

A metodologia de Banks et al. (2000) segue doze passos, conforme apresentados na Figura 9. O número dentro de cada fase da figura propiciará discussões mais detalhadas ao longo da seção.

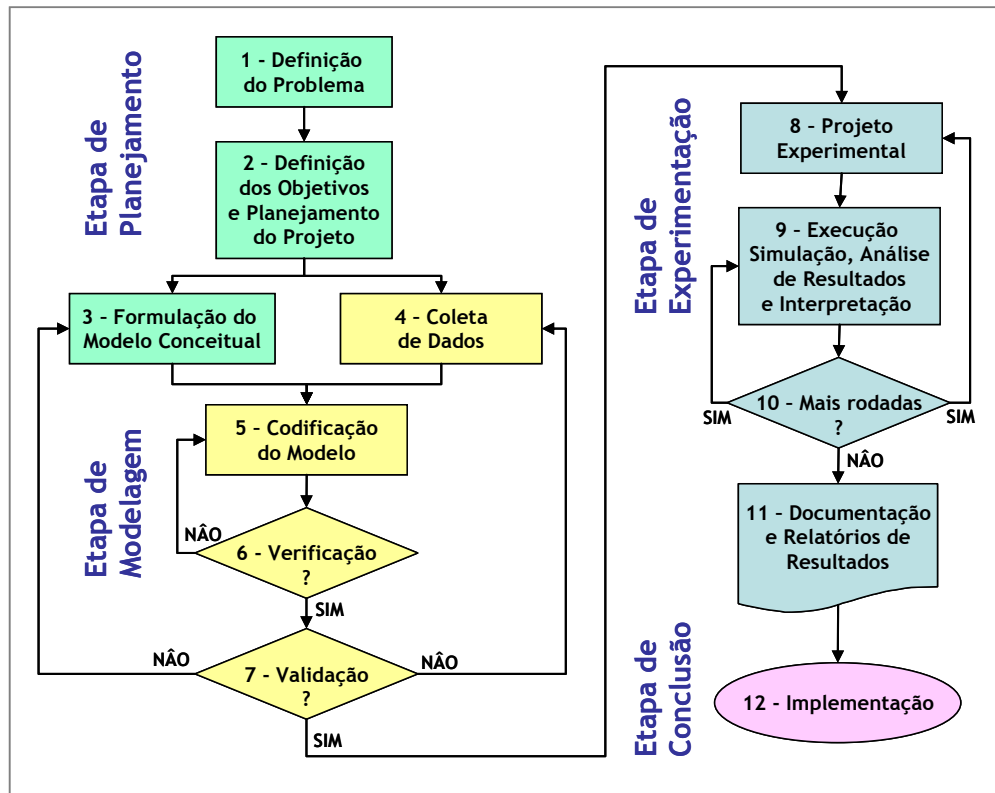


Figura 9 - Metodologia de modelagem e simulação, adaptado de Banks *et al.* (2000, apud FREITAS, 2001, p.15).

A seguir são descritos, segundo o autor citado, os passos para construção de um modelo dentro das quatro etapas macros, a saber:

ETAPA DE PLANEJAMENTO, envolvendo as seguintes atividades:

- **Definição do Problema (Passo 1)** – Iniciar com uma definição clara e precisa do problema a ser estudado e quais questões que se espera responder é primordial.
- **Definição dos objetivos e planejamento do projeto (Passo 2)** – Uma vez tendo definido o problema, os objetivos do estudo de simulação fluirão naturalmente. Naylor (1971) ressalta a importância do estabelecimento explícito dos objetivos da simulação e declara que objetivos têm habitualmente a forma de: (a) questões a serem respondidas; (b) hipóteses a serem testadas; ou (c) efeitos a serem estimados.

Nesta fase são definidos os recursos necessários (pessoas, infra-estrutura de TI, recursos de software, etc.) e é elaborado um cronograma detalhado com as atividades a serem seguidas para obtenção da solução desejada.

- **Formulação do Modelo Conceitual (Passo 3)** - Nessa etapa será desenvolvida a estrutura conceitual do modelo para entendimento do problema. O sistema do mundo real sob investigação é abstraído para um modelo conceitual, que é representado por uma série de relações matemáticas e interações lógicas dos componentes e das capacidades e restrições do sistema. Recomenda-se que a modelagem comece de forma simples e que o modelo cresça até atingir um modelo de complexidade apropriada.

ETAPA DE MODELAGEM, envolvendo:

- **Coleta dos dados (Passo 4)** – De forma concomitante à abstração do sistema real sob investigação através de um modelo conceitual, os dados do sistema são coletados, dado a forte inter-relação entre eles. Segundo Shannon (1975), a coleta refere-se a dados quantitativos e qualitativos

sobre as entradas e saídas do sistema, bem como informações sobre os componentes do sistema e suas interconexões ou relações. A coleta de dados é um processo contínuo e, à medida que o estudo avança, os dados vão sendo incorporados ao sistema e, em muitos casos, é necessária uma nova coleta, podendo consumir grande parte do tempo de elaboração do modelo.

- **Codificação do Modelo (Passo 5)** - O modelo conceitual construído no passo três é codificado em um computador através de uma ferramenta de simulação.

Sistemas reais resultam em modelos que requerem um grande esforço de manipulação de informações, por isso o modelo deve ser concretizado em um formato computacional reconhecível.

Nesta etapa, o modelador deve decidir se programa o modelo numa linguagem de propósito geral (como FORTRAN ou C), numa linguagem de simulação (como GPSS/H, SIMAN V, SIMSCRIPT II.5) ou se usa um pacote de simulação (como EXTEND, STELLA, AutoMod, ProModel for Windows, ARENA, etc);

- **Verificação do Modelo (Passo 6)** - A verificação se preocupa se o modelo operacional está sendo executado corretamente. Ela pode ser efetuada rodando-se a simulação e monitorando-se a sua operação. É altamente recomendável que a verificação seja um processo contínuo e com a participação do usuário. Se as entradas (“*inputs*”) dos parâmetros e a estrutura lógica do modelo estiverem corretamente representadas no código, a verificação é considerada concluída;
- **Validação do Modelo? (Passo 7)** - A validação é a determinação de que o modelo conceitual reflete o sistema real em estudo, ou seja, se o modelo pode substituir o sistema real para fins de experimentação. Esta é a fase de calibragem ou teste de aderência, onde se compara o comportamento do modelo com o sistema real para corrigir distorções.

ETAPA DE EXPERIMENTAÇÃO, envolvendo:

- **Projeto experimental (Passo 8)** - Consiste na execução da simulação propriamente dita, de forma a gerar os dados necessários e executar uma análise de sensibilidade. São avaliadas a situação atual e as condições futuras do sistema.

Para cada um dos cenários que está sendo simulado, as decisões devem estar focadas no comprimento das rodadas da simulação, no número de rodadas (também chamados de replicações) e no modo de inicialização da simulação (*“warm-up”*);

- **Execução da simulação, análise de resultados e interpretação (Passo 9)** - Nesta etapa efetua-se a execução do modelo em produção e analisam-se os relatórios gerados na simulação.

Os dois maiores objetivos na análise dos dados de saída são, segundo Gavira (2003): (a) determinação do desempenho absoluto de certas configurações do sistema; e (b) comparação de configurações alternativas do sistema em termos relativos.

- **Mais execuções? (Passo 10)** - Com base nos resultados obtidos o analista da simulação verifica a necessidade de executar simulações adicionais ou considerar as inferências no modelo;
- **Documentação e relatórios (Passo 11)** – Cada relatório do modelo e seus resultados de saída devem ser documentados, para facilitar relatos eventuais ou atualizações, caso o modelo venha a ser utilizado por outros analistas.

ETAPA DE CONCLUSÃO DO PROJETO, envolvendo:

- **Implementação (Passo 12)** – Nenhum projeto de simulação pode ser considerado completo se não foi aceito, compreendido e usado. A

extensão com que os estudos realizados serão colocados em prática depende da efetividade de cada uma das etapas descritas anteriormente.

O relatório elaborado no passo 11 sustenta o trabalho do analista de simulação e dará todas as informações necessárias para a tomada de decisão por parte do usuário.

Caso o usuário tenha sido envolvido em todas as fases do projeto, e se o analista seguiu todos os passos desta metodologia, haverá um aumento na probabilidade de uma implementação bem sucedida.

2.6.4. Evolução da Simulação

Segundo Gavira (2003), a partir da definição de que simular é construir modelos de sistemas reais, experimentá-los e aprender com eles, pode-se concluir que a simulação é uma técnica muito antiga, pois desde os primórdios o homem vem utilizando-se das pinturas e desenhos para simular suas caçadas e rituais.

Com o avanço do tempo, a procura pela solução de problemas através de uma analogia com a realidade teve um grande crescimento, que somado a impossibilidade cada vez maior de testar hipóteses de resolução diretamente no sistema real, levaram o homem a criar técnicas como a “Simulação”.

A partir dos primeiros computadores, no início da década de 50, a idéia do estudo através da simulação foi ampliada para solução de problemas probabilísticos de caráter mais amplo, como é o caso das filas de espera. Nascia assim a simulação de Monte Carlo (SALIBY, 1989). Este método será detalhado na seção 2.6.6.

Segundo Gavira (2003), a Simulação se tornou uma abordagem de estudo cada vez mais utilizada nas mais variadas áreas de conhecimento, devido à crescente complexidade dos problemas e à maior disponibilidade de recursos.

Outro fator importante para o avanço da Simulação de Sistemas é a crescente competição entre as empresas de informática responsáveis por apresentar, cada vez mais, equipamentos capazes de um volume maior de processamento de dados. Por outro lado, a indústria de softwares também vem acompanhando esta evolução e tornando seus produtos (programas e linguagens) mais acessíveis, contribuindo

fortemente para o avanço da utilização desta técnica. Alguns aplicativos computacionais de simulação são mundialmente conhecidos como: ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, TAYLOR, GASP, GPSS, SIMSCRIPT, SIMAN, dentre outros. Essa evolução pode ser observada na Tabela 3.

Apesar de todo o avanço já conquistado pelas ferramentas de simulação, elas continuam a se modernizar e a evoluir, tornando-se cada vez mais flexíveis e fáceis de usar, além de apresentarem melhores recursos gráficos, de comunicação e interação com o usuário (GAVIRA, 2003).

Anos	Tipo	Características	Software
50 e 60	Linguagem de propósito geral	Aplicação em grandes corporações Grandes investimentos em capital Aplicáveis a qualquer contexto Exigem conhecimento profundo de linguagem Exigem muito tempo de desenvolvimento Normalmente não são reutilizáveis	Pascal, Fortran e C
70 e começo dos 80	Linguagem de simulação	Utilizado em um maior número de corporações Desenvolvimento e uso de pacotes de linguagem Surgimento de linguagens de simulação baseadas em System Dynamics Comandos projetados para tratar lógica de filas Já mais amigáveis, porém ainda necessitam de programadores especializados	SIMSCRIPT, GPSS, GASP IV, DYNAMO, SIMAN e SLAM
80 e início dos 90	Simuladores de alto padrão	Introdução do PC e da animação Facilidade de uso Menos flexível que as linguagens de propósito geral e de simulação Projetado para permitir a modelagem rápida Dispõe de elementos específicos para representar filas, transportadores e outros Restringem-se a sistemas de certos tipos	SIMFACTORY e XCELL
Após 90	Pacotes e programas de Simulação	Melhor animação e facilidade de uso Fácil integração com outras linguagens de programação Usada na fase de projeto Grande uso em serviços Uso para controle de sistemas reais Grande interação com outros pacotes (base de dados e processamento textos) Modelagem rápida Integram as linguagens de simulação com facilidade de uso dos pacotes.	PROMODEL for Windows e ARENA v4.0 ou superior

Tabela 3 - Evolução da evolução dos sistemas, adaptado de Gavira (2003).

2.6.5. Vantagens e Desvantagens da Simulação

Alguns dos benefícios da simulação citados por Freitas (2001) e Gavira (2003) são:

- Possibilidade de utilização de um modelo inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- Facilidades para aplicação da simulação em relação aos métodos analíticos;
- Possibilidade de avaliação de novas políticas e procedimentos operacionais, sem que o sistema real seja perturbado;
- O controle do tempo da simulação faz com que se possam reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los e compreendê-los;
- Compreende-se quais variáveis são mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- A facilidade na identificação de “gargalos”, como fluxos de materiais, informações e produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual.

Apesar de diversas vantagens, o processo de simulação também apresenta algumas desvantagens, como atestam Saliby (1989), Banks (2000) e Law e Kenton (2000):

- Dificuldade na elaboração dos modelos, necessitando de pessoal treinado. A construção dos modelos requer treinamento especial. A técnica é aprendida e aperfeiçoada com o tempo e através da experiência;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação, pois, geralmente, as saídas da simulação são variáveis aleatórias;
- A modelagem, a coleta de dados e a experimentação consomem muitos recursos e tempo, podendo ser dispendiosas;

- Uma provável dificuldade de implementação dos resultados. Entretanto, dizer que os resultados da simulação podem ser de difícil implementação não seria uma desvantagem única e exclusiva da simulação, pois isso seria passível de acontecer independentemente da técnica e do método;
- Dificuldade de modelagem ou construção dos modelos computacionais;
- A programação de um modelo de simulação pode tornar-se uma tarefa altamente dispendiosa e desgastante, se os recursos computacionais não forem apropriados;
- A simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido, ou seja, de nada adianta se elaborar um estudo detalhado dos dados de saída, encontrar uma solução para o problema e, então, o modelo criado não representar fidedignamente o sistema, ou se os dados de entrada não estiverem corretos;
- A simulação não é uma técnica otimizante. Ela só atesta as alternativas dadas pelo usuário. Otimizações no modelo deverão fazer uso de outros métodos e/ou ferramentas.

2.6.6. Método de Monte Carlo

É um método que gera artificialmente números aleatórios independentes e uniformemente distribuídos. A forma de geração desses números, conhecido como gerador de números aleatórios (GNA), foi usada inicialmente durante os experimentos ligados a construção da primeira bomba atômica, por Von Newman, usando o método do Quadrado do Meio. Posteriormente, em 1949, foi divulgado em um artigo científico intitulado "*The Monte Carlo Method*" (DUDEWICZ, 1985).

Atualmente, o método mais utilizado é o da congruência multiplicativa, que utiliza a seguinte equação (5):

$$X_{n+1} = KX_n \text{ módulo } M \quad (5)$$

onde M e K são chamados respectivamente de módulo e multiplicador. Sendo K e X_n números inteiros positivos e menores do que M. Seu uso é feito com o apoio de

computadores, pois sem a velocidade de processamento dos mesmos, a maioria dos modelos ficaria impraticável.

A simulação Monte Carlo é uma técnica de pesquisa operacional capaz de recriar o funcionamento de um sistema real dentro de um modelo teórico, correspondendo à realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos. Esses experimentos envolvem grandes volumes de cálculos repetitivos, fazendo uso intensivo de recursos computacionais (SALIBY, 1989).

Segundo Kramer et al (2000), o método de Monte Carlo (MMC) é uma técnica que utiliza a amostragem de números aleatórios e métodos estatísticos para encontrar soluções de problemas matemáticos e físicos. A técnica é utilizada quando a formulação exata para a solução do problema é muito difícil ou impossível de ser determinada por métodos de solução direta.

O MMC utiliza um modelo estocástico representando o processo de interesse e um gerador de números aleatórios de alta qualidade é utilizado para amostrar a função densidade de probabilidade definida no modelo. O resultado é uma estimativa de uma característica quantitativa física de um processo específico com um alto grau de precisão.

Heizer e Render (2001, p. 605) defendem que, quando um sistema contém elementos que apresentam probabilidades em seu comportamento, pode se aplicar o método de Monte Carlo de simulação para estudar o comportamento das variáveis que compõem o modelo. É aplicada sobre dois tipos gerais de problemas (NAYLOR, 1971):

- (1) Problemas que envolvem alguma forma de processo estocástico. O método foi desenvolvido para simular distribuições de probabilidade conhecidas ou empíricas;
- (2) Certos problemas matemáticos determinísticos que não podem ser facilmente resolvidos por métodos determinísticos. Nesses casos, obtêm-se soluções aproximadas simulando um processo estocástico cujos momentos, funções de densidade ou funções de distribuição cumulativas, satisfaçam as relações funcionais ou requisitos de solução de problemas determinísticos.

Saliby (1989) trata da evolução do MMC. De acordo com ele, a aplicação original desse método voltava-se à avaliação de integrais múltiplas, mas logo se verificou sua aplicabilidade na solução de diversos outros problemas matemáticos complexos.

Segundo Garcia et al. (2006, p. 73), a desvantagem da simulação Monte Carlo é usualmente o esforço computacional requerido. Mesmo assim, esta é uma ferramenta muito útil para testar e validar regras e modelos analíticos.

Outras desvantagens, segundo o autor citado, é que o resultado da simulação é fortemente dependente da função densidade de probabilidade dos efeitos que estão sendo simulados e o erro da solução procurada é função do número de simulações, o que tende a aumentar o tempo de simulação, tornando o método muito lento.

A base da simulação de Monte Carlo é a experimentação sobre elementos probabilísticos por meio da amostragem aleatória. Segundo Heizer e Render (2001, p.605), a técnica se subdivide em cinco etapas simples:

- (1) Encontrar ou estabelecer uma distribuição de probabilidades para as variáveis importantes;
- (2) Construir uma distribuição de probabilidades cumulativas para cada variável - A conversão de uma distribuição de probabilidades regular em uma distribuição de probabilidade cumulativa é a soma do valor da probabilidade regular com a probabilidade cumulativa anterior;
- (3) Determinar um intervalo de números aleatórios para cada variável - Depois de construir uma distribuição de probabilidades cumulativas para cada variável da simulação, é preciso atribuir um conjunto de números para representar cada valor ou resultado possível;
- (4) Gerar números aleatórios - Um número aleatório é uma série de dígitos que foram selecionados por um processo totalmente aleatório – um processo em que cada número aleatório tem a mesma probabilidade de ser selecionado;

- (5) Simular realmente uma série de experiências - Pode-se simular os resultados de um experimento pela simples seleção de números aleatórios.

2.6.7. Aplicações de Simulação em sistemas industriais ou transporte

Dentre as vantagens da simulação, destacam-se a flexibilidade e facilidade de emprego e utilização. A técnica abriu um enorme campo de aplicação pelo fato de utilizar ferramentas probabilísticas e conseguir representar as variações que ocorrem em sistemas industriais.

A Tabela 4 apresenta alguns estudos específicos, dentre aqueles avaliados e citados durante a seção, onde foram discutidos e aplicados a simulação e/ou otimização.

Autor (Ano)	Área de Aplicação	Instituição	Simulação Otimização	Discretos ou Contínuos	Sistema de Filas	Cadeia Produtiva / Suprimentos	Logística
Gavira (2003)	Conhecimento	USP S.Carlos	Simulação	Discretos	X		
Vieira (2005)	Porto - Container	UFES CT	Ambos	Discretos	X		X
Amorim (2005)	Porto - Barcaças	UFES CT	Simulação	Discretos	X		X
Ceciliano (2007)	Minério Ferro	USP Poli	Ambos	Discretos		X	
Souza (2008)	Combustíveis	UFRJ COPPE	Ambos	Discretos		X	
Loureiro (2009)	Parques	UNICAMP	Simulação	Ambos			X
Gamaro (2008)	Porto	UFES CT	Simulação	Discretos			X
Rossoni (2010)	VMI	USP Poli	Simulação	Discretos		X	
Meireles (2010)	Ferrovia	UFES CT	Simulação	Discretos			X
Juliá (2010)	Pátio/Porto	USP Poli	Simulação	Discretos		X	X

Tabela 4 - Trabalhos de Simulação relacionados à Cadeia de Suprimentos e outros temas.

Fonte: o autor

CAPÍTULO 3

3. O AMBIENTE DE ESTUDO

3.1. Considerações iniciais

Neste capítulo o ambiente de negócios no qual se encontra inserida a empresa mineradora será apresentado. O entendimento do mercado de minério de ferro, mas precisamente o de pelotas de minério de ferro, do seu sistema de produção e da cadeia de suprimentos dos insumos que atendem às necessidades desse processo produtivo, tornar-se-ão fundamentais na descrição do problema e no desenvolvimento do modelo proposto para melhor representar o sistema real e suas principais características.

3.1.1. Economia Mundial e o Mercado de Minério de Ferro

A economia mundial, nos últimos dez anos, tem passado por um próspero período de crescimento, com taxas médias de crescimento do ⁶PIB global em torno dos 4% a.a. e do crescimento industrial de 5% a.a. Neste período alguns países receberam maior destaque em função de seus indicadores macroeconômicos, entre eles os BRICS, formados pelo Brasil, Rússia, Índia, China e, em menor escala, a África do Sul. Desses países, a China, líder incondicional dos BRICS, com taxas de crescimento da ordem de 9 a 10% a.a., conforme apresentado no Gráfico 1, disputa com os EUA, o Mercado Comum Europeu e o Japão, a condição de liderança no mercado econômico mundial.

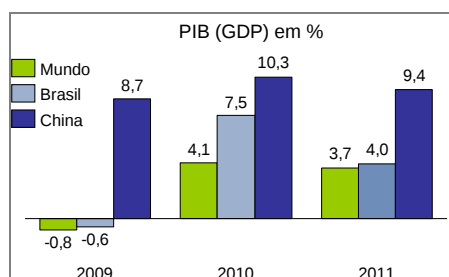


Gráfico 1 - Taxa do Produto Interno Bruto em %. Fonte: Tendências Consultoria.

⁶ PIB – Produto Interno Bruto ou GDP – *Gross Domestic Product*

As previsões feitas pelo IOO (2010) indicam uma prolongação dessa tendência do crescimento mundial por, pelo menos, mais cinco a dez anos, mesmo considerando-se as conseqüências ainda vigentes da recessão na economia mundial gerada pela crise dos *subprimes*, desencadeada nos EUA e que teve seu ápice entre o período de Setembro de 2008 a Julho de 2009.

A manutenção das taxas de crescimento na economia mundial deverá trazer uma componente inflacionária sobre os preços das principais *commodities*, dado a desvalorização do dólar frente às moedas dos países com forte representação no comércio exterior e no mercado transoceânico. A desvalorização do dólar é conseqüência de uma economia americana com reflexos diretos da crise dos *subprimes* (2008-09), conforme já mencionado.

Colocando-se à parte a componente monetária, o crescimento mundial deverá elevar ainda mais a demanda mundial por aço, o que deverá ter reflexos muito positivos nos mercados de minérios de ferros e pelotas, conforme demonstrado no Gráfico 2.

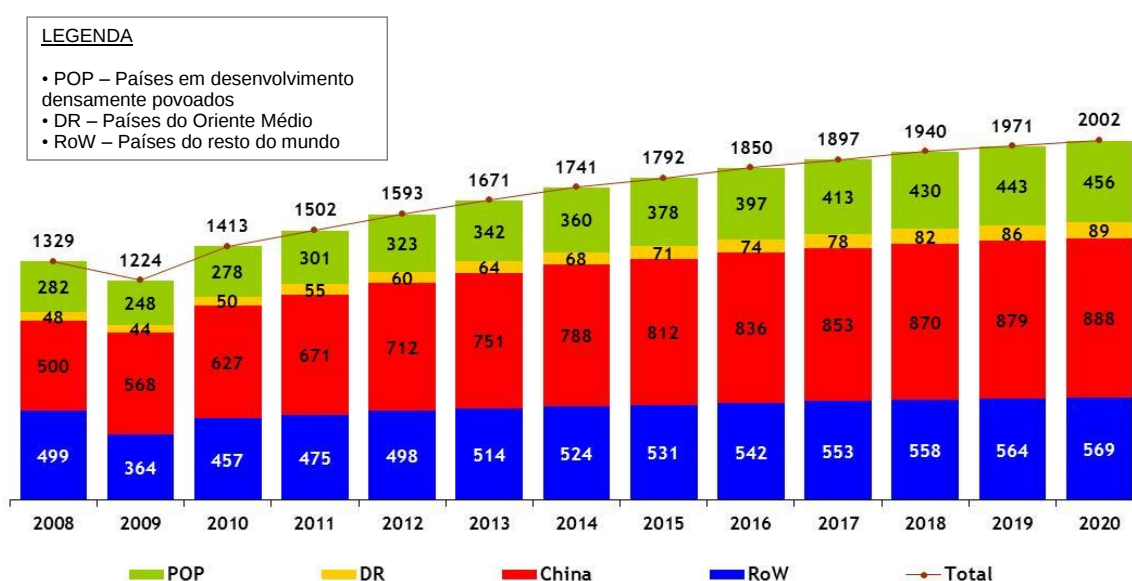


Gráfico 2 - Produção de aço no mundo (em milhões de ton).

Fonte: Metal Bulletin – Março de 2011.

Essa maior demanda por aço deverá ocorrer na China e na Índia, devido ao forte processo de inclusão social que tem motivado o êxodo rural e conseqüente demanda por colossais expansões urbanas. A China, em particular, é considerada o

maior consumidor de minério de ferro *seabourne* (transoceânico) no mundo, visto que suas reservas minerais são de baixo teor de ferro, tornando economicamente inviável a sua extração-beneficiamento. A Índia, em contrapartida, além de relevante consumidora de minério de ferro, possui reservas minerais capazes de suprir a sua demanda externa e exportar para países consumidores.

Os dois fatores, inflação e elevada demanda por aço, quando associados, deverão elevar substancialmente o preço dos principais insumos da cadeia produtiva da siderurgia, entre eles o minério de ferro e o carvão metalúrgico.

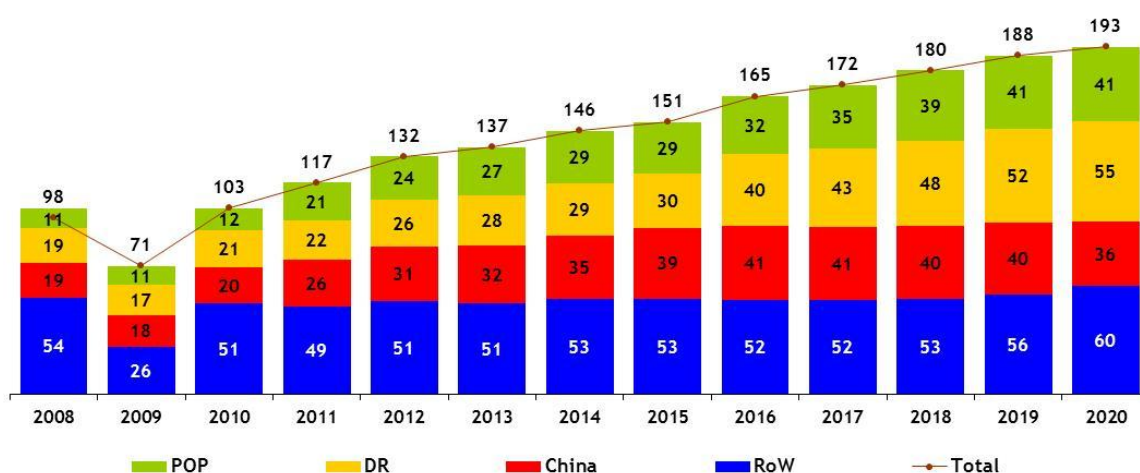


Gráfico 3 - Demanda por pelotas de minério de ferro (em milhões de ton).

Fonte: Metal Bulletin – Março de 2011.

Nesse cenário, o mercado transoceânico de minério de ferro crescerá a taxas mais elevadas do que o mercado global, motivados pelo preço (ponto de vista dos produtores), pela elevada demanda (ponto de vista dos consumidores) e pelo descasamento entre os principais mercados produtores (Brasil, Austrália e outros) e consumidores (China, Japão e outros).

Os dois fatores mais significativos que podem afetar o mercado de minérios de ferro são: a participação de minério indiano, que tem como principal destino o mercado chinês, e a consolidação e a capacitação da indústria mineradora na região do ⁷CEI.

⁷ CEI – Comunidade dos Estados Independentes

Pfiffer (2004, p.85) descreve que, embora o minério de ferro possa variar em função de suas características químicas, físicas e metalúrgicas, normalmente ele é classificado em quatro tipos, de acordo com a granulometria, conforme apresentado a seguir e melhor ilustrado na Figura 10:

- Granulado ou *Lump*: é o minério de ferro cujas partículas mais grossas variam de 6,35mm a 50 cm de diâmetro;
- Finos de minério de ferro ou *sinter feed*: referem-se ao minério de ferro com partículas que variam de 0,15mm a 6,35mm de diâmetro;
- Ultrafinos de minério de ferro ou *pellet-feed*: são partículas de minério de ferro, finas e ultrafinas (inferiores a 15mm), geradas nas etapas de lavras, manuseio e transporte;
- Pelotas ou *pellets*: produto de interesse no estudo, são partículas finas e ultrafinas de minério de ferro aglomeradas na forma esférica. As pelotas, geralmente, são classificadas entre 6,3 e 18mm.

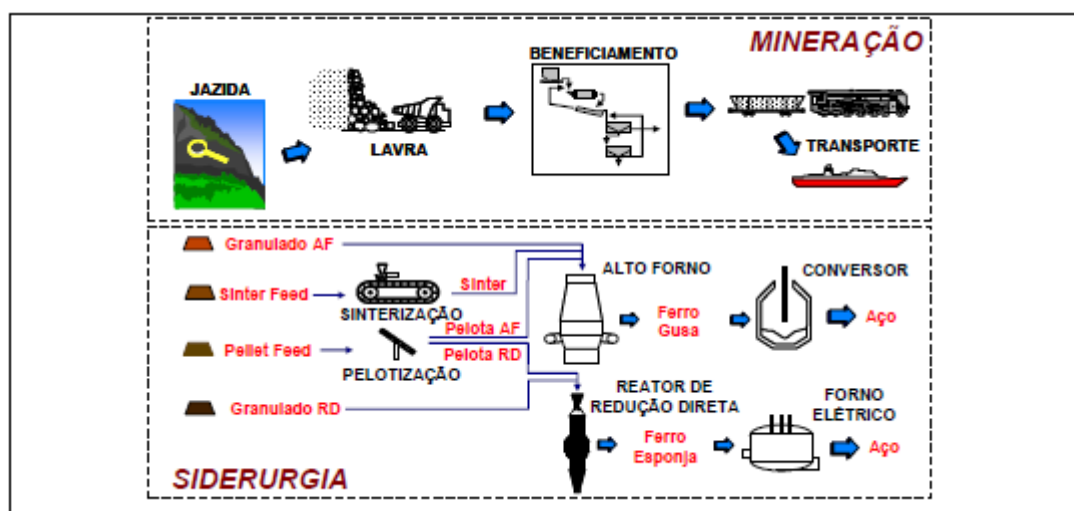


Figura 10 - Rotas de Produção de Aço - Insumos e Produtos.

Fonte: Gerência de Inteligência de Marketing – Samarco Mineração S.A

O mercado mundial de pelotas é um segmento do mercado mundial de minérios de ferro e segue suas principais tendências. A particularidade do mercado de pelotas fica por conta das novas usinas de pelotização (aglomeração de minério de ferro em pelotas) que estão sendo construídas próximas às siderúrgicas em

grandes mercados consumidores, que pode reduzir significativamente os volumes de importação desses potenciais consumidores ou clientes.

Novos projetos de usinas de pelotização, em estágios de análise de viabilidade econômica, deverão tornar-se realidade ao longo dos cinco anos, inclusive agregado aos atuais fornecedores de pelotas de minério de ferro, como a empresa que compõe esse estudo.

3.1.2. A Empresa objeto de estudo e seu sistema de produção

A empresa escolhida como objeto de estudo foi a SAMARCO MINERAÇÃO S.A., uma empresa de lavra, beneficiamento, pelotização e exportação de minério de ferro. Em 2010, foi a segunda maior exportadora de pelotas de minério de ferro no mercado transoceânico, comercializando 100% de seus produtos para mais de 15 países na Europa, Ásia, África/Oriente Média e Américas, e a quinta maior exportadora brasileira, atrás apenas das empresas Vale, Petrobrás, Bunge e Embraer.

O controle acionário da Samarco pertence a Vale (brasileira e maior exportadora de minério de ferro do mundo) e a BHPBILLITON (australiana e terceira maior produtora mundial de minério de ferro), cada uma delas detendo 50% das ações.

Com sede em Belo Horizonte – MG, o seu processo produtivo se inicia na unidade de Germano, nos municípios de Mariana e Ouro Preto, em MG, onde estão as unidades industriais de lavra e beneficiamento do minério de ferro *in natura*, sendo posteriormente transportado sob a forma de concentrado através de dois minerodutos paralelos, com extensão de 396 km cada. Esse minério concentrado é então recebido na unidade industrial de Ponta Ubu, no município de Anchieta, no ES, onde estão localizadas três plantas de pelotização, responsáveis por transformar o minério recebido sob a forma de polpa (*slurry*) em pelotas de minério de ferro, conforme Figuras 11 e 12.

Segundo Botter (2001), a definição do sistema é a etapa em que ocorre a determinação das fronteiras e das restrições a serem usadas durante a investigação sobre o funcionamento do sistema ou de parte deste (subsistemas).



Figura 11 - Processo integrado da produção de pelotas de minério de ferro.

Fonte: Samarco Mineração S.A

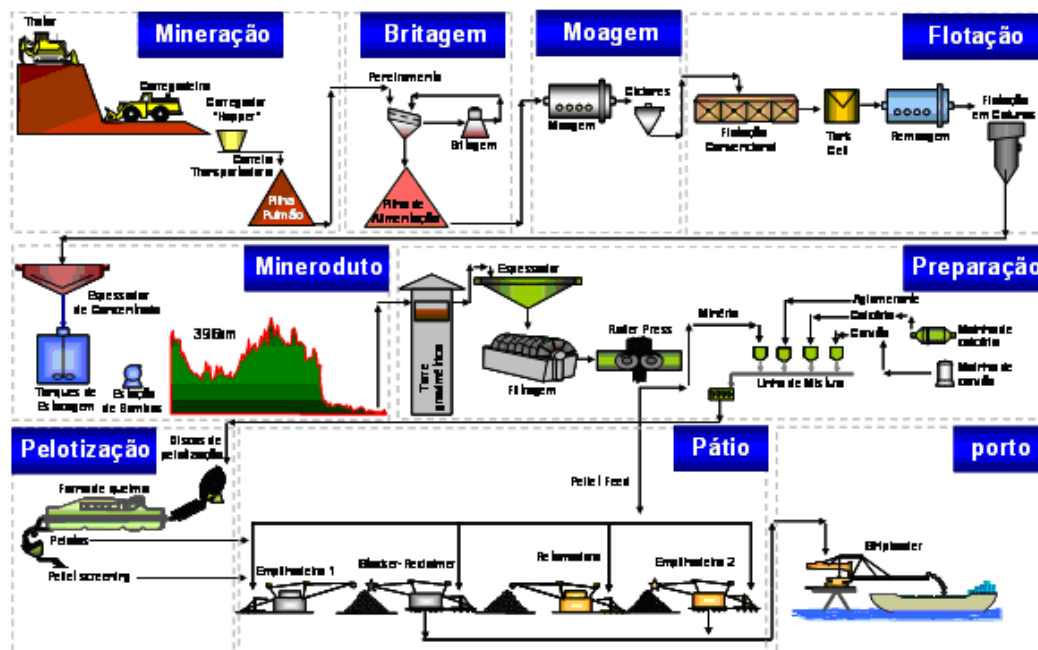


Figura 12 - Fluxograma das operações da Samarco.

Fonte: Samarco Mineração S.A

Conforme demonstrado nas Figuras 11 e 12, a Samarco caracteriza-se por um ciclo de produção longo, com processos integrados em série e de forma contínua, desde a mina até o porto, passando pelas áreas de beneficiamento, transporte, aglomeração, estocagem e embarque.

Dessa forma, dado a esse perfil industrial, a modelagem e a simulação computacional da cadeia de suprimentos, relativa aos principais insumos que alimentam todo o sistema, seria complexa e demandaria muito tempo, tanto para a etapa de levantamento dos dados necessários, como para validação e verificação de todo o modelo. Assim, ter um acesso mais efetivo ao sistema real para obtenção dos dados é condição indispensável para o sucesso das análises a serem realizadas.

Ante a necessidade de simplificar o processo de modelagem e simulação, mas garantindo a caracterização do sistema objeto de estudo, foi feita opção pelo detalhamento da etapa de pelletização do minério de ferro. Nessa etapa do processo se concentram os insumos mais relevantes em termos de custo e riscos operacionais.

A Figura 13 representa um fluxo simplificado do processo de produção de pelotas de minério de ferro, denominado de “pelotização”, e os pontos onde são adicionados os principais insumos. O minério de ferro, sob a forma de *pellet-feed*, é considerado a única matéria-prima para produção de pelotas.

Em seguida, será descrito, de forma sucinta, o processo de pelotização.

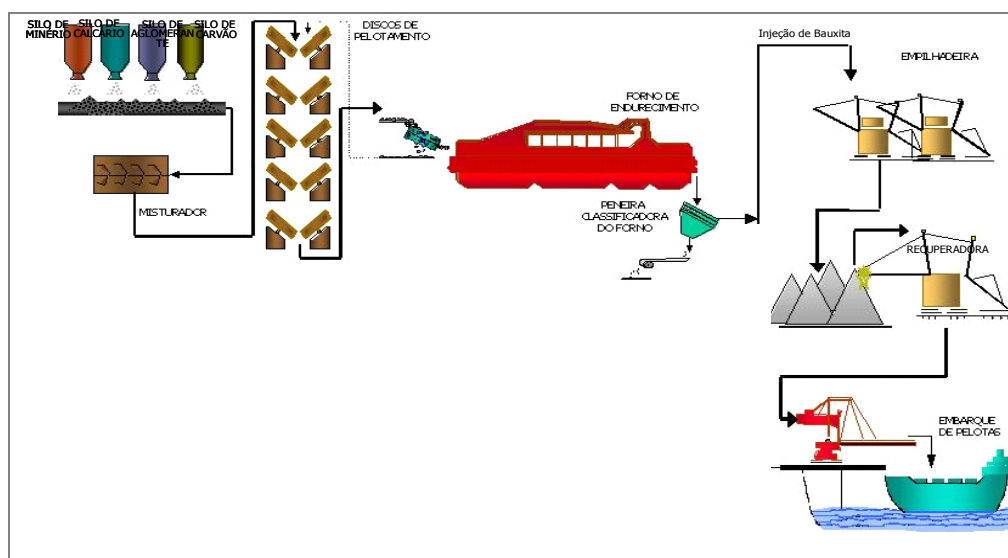


Figura 13 - Fluxograma simplificado do processo de pelotização.

Fonte: Samarco Mineração S.A.

O processo de pelotização pode ser caracterizado através de 7 passos:

- (1) O minério concentrado proveniente dos minerodutos é inicialmente tratado na área de filtragem, de forma a retirar o excesso de água da polpa (*slurry*), passando a ser denominado *pellet-feed*;
- (2) Em seguida é realizada uma prensagem do *pellet-feed* para redução do tamanho das partículas;
- (3) Esse minério mais fino é entregue, através de correias transportadoras, para a área de mistura, onde os principais insumos são adicionados (carvão, calcário, bentonita ou aglomerantes orgânicos);
- (4) Após a mistura, o material é transportado por correias para as três usinas de pelotização, que possuem discos inclinados de 7,5 metros de diâmetros, para a formação das pelotas;
- (5) Depois de formadas por aglomeração dos finos de minério, insumos e água, as pelotas cruas (*green pellets*) são classificadas em mesas de rolos para ajuste da granulometria contratada. As pelotas maiores que 18mm ou menores que 8mm são retiradas do fluxo principal do processo e retornam aos discos de pelotização para nova aglomeração;
- (6) As pelotas de tamanho padrão, entre 8 e 18 mm, são endurecidas, através de um processo térmico, em três fornos de pelotização do tipo grelha móvel. Esse processo leva em torno de 35 minutos, atingindo temperaturas máximas, no interior do forno, da ordem de 1.350°C;
- (7) Em seguida, as pelotas são novamente classificadas em peneiras vibratórias para remoção de finos gerados durante o processo de queima, transportas, através de correias, para pátios de estocagem, e, por fim, embarcadas em navios.

3.1.3. Cadeia de Suprimentos na Pelotização

Por Ballou (2006) se entende que “Cadeia de Suprimentos” são todas as atividades funcionais que se repetem, inúmeras vezes, ao longo do canal no qual matérias-primas, insumos e materiais vão sendo convertidos em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao cliente.

Entretanto, nesse caso específico, o ponto focal do estudo serão as etapas que compreendem as seguintes atividades: previsão de demanda e aquisição dos insumos necessários ao planejamento de produção da empresa, a partir de então denominada “cliente”; produção, armazenagem e transporte desses insumos por parte de seus principais fornecedores; e, por fim, recebimento, manuseio, preparação e consumo pela empresa cliente.

Não serão retratadas nesse estudo as etapas relativas à produção, armazenagem e distribuição de produtos acabados por parte da empresa cliente.

A Figura 14, abaixo, mostra o fluxograma da cadeia de suprimentos de insumos, obtido através do levantamento de informações realizado junto às áreas operacionais da Samarco, responsáveis pelo gerenciamento desses processos.

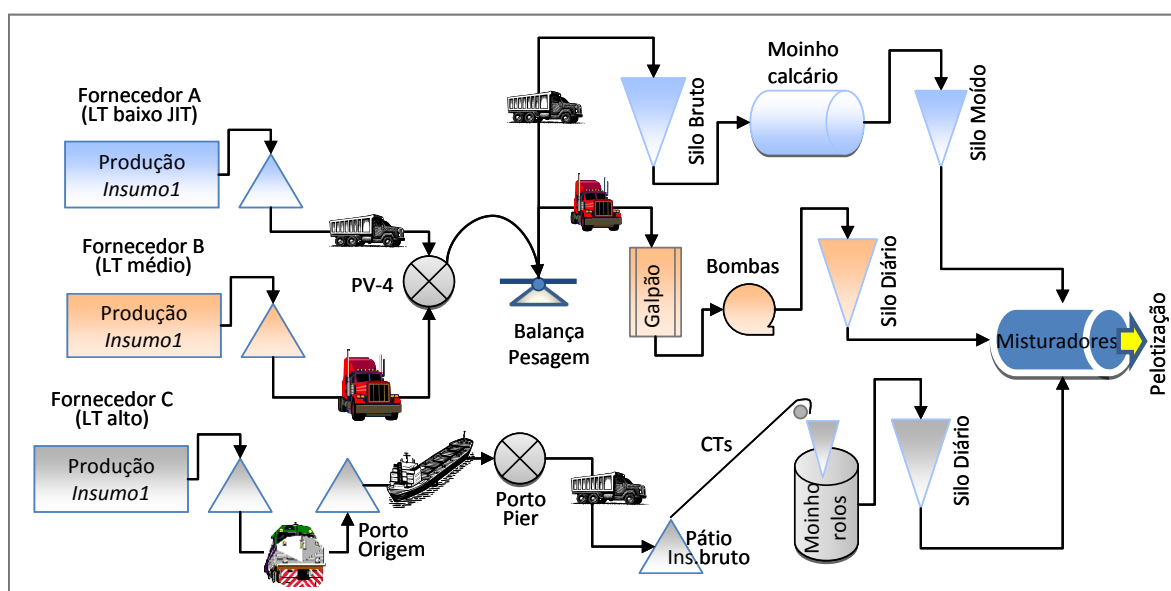


Figura 14 - Cadeia de Suprimentos dos Insumos da Pelotização.

Fonte: o autor.

Os principais insumos consumidos pela Samarco na produção de pelotas são: gás natural, carvão mineral, calcário, aglomerantes orgânicos e bentonita.

A importância de cada insumo para o processo produtivo pode ser avaliada através de uma matriz que correlaciona os seguintes fatores: (1) desembolso anual com o insumo, em milhões de Reais; (2) a complexidade do mercado fornecedor, podendo ser dividida em baixa ou alta; (3) o impacto do insumo diretamente no

processo produtivo, onde são avaliados os riscos de interrupção de fornecimento, segurança operacional e meio ambiente.

Essa matriz, denominada “MEC – Matriz Estratégica de Compras”, específica para os insumos utilizados na produção de pelotas, encontra-se representada na Figura 15 e a sua análise crítica é realizada anualmente pela equipe da área de Suprimentos da Samarco, em conjunto com as áreas de Produção, Saúde e Meio Ambiente.

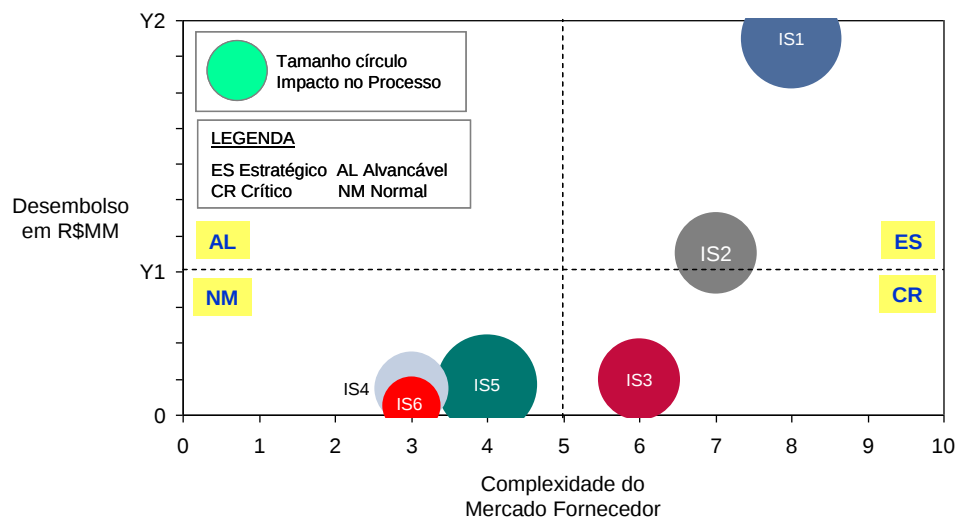


Figura 15 - Matriz Estratégica de Compras – Insumos (IS).

Fonte: adaptado da Samarco Mineração S.A.

Através do resultado da MEC pode-se observar a importância de cada insumo para a empresa e o risco operacional associado, colaborando com a definição das cadeias dos insumos a serem modelados e simulados no estudo.

Adicionalmente ao critério apresentado acima, outros parâmetros importantes devem ser considerados, entre eles o *lead-time* de entrega, pela sua relevância no dimensionamento e aplicação dos recursos logísticos em cada elo da cadeia e, principalmente, entre os elos.

Portanto, o objetivo inicial será avaliar o grupo de insumos, com intuito de agrupá-los em função de determinadas características, a saber: (1) características físicas; (2) formas de acondicionamento; (3) *lead-time* de entrega; (4) modos de transporte; (5) formas de manuseio, armazenagem e preparação para consumo.

Essas características são fatores que influenciam diretamente o desempenho logístico da cadeia e, portanto, devem ser consideradas durante a análise.

Esse agrupamento permitirá que o modelo a ser elaborado possa representar um maior número de insumos, inclusive fora do processo de pelletização, permitindo observação, aprendizagem, realização de experiências e avaliação do comportamento do sistema mediante a mudança de cenários.

O resultado da análise crítica para definição dos insumos a serem considerados nos processos de modelagem e simulação encontra-se descrito a seguir:

- (1) O gás natural, embora um dos mais representativos em custo e em risco operacional, é um insumo transportado sob pressão através de gasodutos dedicados ao processo, no modelo de fluxo contínuo do fornecedor, a Petrobrás Distribuidora (BR), até o consumidor, a Samarco. Não permite armazenagem intermediária, nem formação de estoques para consumo. A possibilidade de interrupção de fornecimento não está atrelada a capacidade do sistema logístico que o suporta. Está relacionado com deficiências de produção por parte do fornecedor ou variabilidade na previsão de consumo por parte do consumidor. A energia elétrica possui comportamento semelhante ao gás natural em termos de logística e relacionamento entre as partes. Os dois insumos, portanto, não serão considerados nesse estudo;
- (2) O calcário, embora não tão expressivo em termos de desembolsos anuais quando comparado aos demais insumos, representa um elevado risco operacional, dado a inexistência de um insumo alternativo que possa substituí-lo em caso de interrupção de fornecimento. Apresenta, ainda, um dos menores *lead-times* de entrega entre todos os insumos, podendo ser caracterizado como um sistema logístico com tendências ao Just In-Time (JIT). Utiliza o modo de transporte rodoviário com percursos de até 300Km no ciclo completo (ida e volta) e particularidades em relação aos processos de armazenagem, pesagem, descarga e manuseio para consumo que o

colocam em evidência perante aos demais insumos. Será, portanto, considerado no estudo e denominado “*Insumo1*”;

- (3) A bentonita, um aglomerante inorgânico, adquirido no mercado doméstico, possui características semelhantes, em termos logísticos, a muitos insumos aplicados no sistema. Faz uso do modo de transporte rodoviário com percursos até 1.500-2.000Km, apresenta um *lead-time* médio de entrega em torno de 20 a 30 dias e particularidades em relação ao acondicionamento da carga, descarga e manuseio para consumo que muito se assemelha a outros insumos do grupo. Será, portanto, considerado no estudo e denominado “*Insumo2*”;
- (4) O carvão mineral e os aglomerantes orgânicos serão considerados dentro do mesmo agrupamento, em função de aquisição no mercado internacional e *lead-time* de entrega considerado longo em relação aos demais insumos, por serem provenientes de importação.

Entretanto, a título de simplificação do modelo, será definido o carvão como insumo representante desse agrupamento. Se por um lado, para ambos, o transporte da carga associa o modo de transporte marítimo com o rodoviário, por outro, algumas particularidades inerentes aos aglomerantes dificultariam o processo de modelagem e simulação, a saber: distâncias percorridas irregulares, maior complexidade nas etapas de acondicionamento da carga, descarga e armazenagem intermediária no porto de desembarque.

Portanto, pela sua relevância no custo e no risco operacional, o insumo a ser considerado no estudo será o carvão mineral, sendo denominado “*Insumo3*”.

3.1.4. Cadeia de Suprimentos por Insumo

Realizado o agrupamento em três insumos distintos e bem definidos, o próximo passo será descrever o comportamento da cadeia de suprimentos de cada um de forma isolada e as premissas adotadas para simplificação dos modelos.

Insumo1 (ou Calcário)

O calcário é fornecido por quatro fornecedores distintos, próximos geograficamente um dos outros, na região de Cachoeiro do Itapemirim, ES. Para simplificação do modelo os fornecedores serão consolidados como um único fornecedor, dado a similaridade dos processos e de suas capacidades de produção.

A produção do calcário é realizada pelo fornecedor através de extração de rochas calcárias nas jazidas, beneficiamento na planta industrial através de britador primário tipo mandíbula, moinho de martelo e alimentares vibratórios, estocagem em área coberta, carregamento e transporte em carretas do fornecedor até o cliente, conforme apresentado nas Figuras 16 a 18.

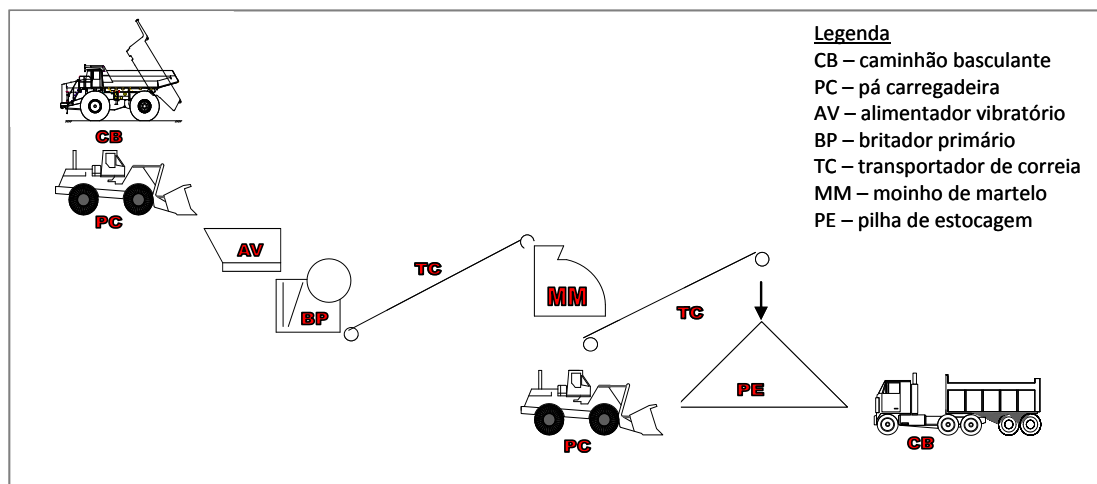


Figura 16 - Fluxo do processo produtivo no fornecedor de calcário.

Fonte: Serra Branca Mineração S.A.



Figura 17 - Extração de calcário nas minas do fornecedor.

Fonte: Mibita S.A.



Figura 18 - Processo de beneficiamento de calcário no fornecedor.

Fonte: Mibita S.A.

O ritmo de produção na planta industrial do fornecedor é estabelecido através do balanço de massa entre a quantidade solicitada diariamente pelo cliente, em função de seu planejamento de produção, a capacidade de armazenagem do produto acabado em área coberta, dado as características do produto, e a sua capacidade nominal de produção inerente aos equipamentos instalados em sua área industrial. A capacidade nominal de produção é de 170ton/h.

A área de armazenagem, antes da expedição, é coberta, tanto na parte superior, como nas laterais, para manter o insumo dentro dos níveis de umidade acordado contratualmente ($H_2O < 1\%$). A capacidade nominal de armazenagem é de aproximadamente 9.000 ton.

O transporte é realizado por modo rodoviário (caminhões ou carretas tipo caçamba) em distâncias médias de 150km por pernada (ida ou volta), totalizando cerca de 300km o ciclo completo. O gerenciamento da etapa de transporte deve considerar a atividade de carregamento das carretas sob a área coberta e, principalmente, a definição do número de carretas diárias necessárias para atender ao pedido do cliente, conforme Figuras 19 e 20.

A complexidade nessa etapa deve-se ao fato de que o fornecedor, por contar com uma frota limitada de carretas próprias, recorre diariamente ao mercado para complementação da frota necessária para a movimentação do insumo do pedido recebido. Portanto, qualquer mudança na solicitação inicial do cliente pode resultar em falta ou excesso de caminhões para o transporte.



Figura 19 - Área de armazenagem coberta no fornecedor de calcário.

Fonte: Mibita S.A.



Figura 20 - Processo de carregamento de carretas no fornecedor de calcário.

Fonte: Mibita S.A.

Além disso, o insumo em trânsito, ou seja, sendo transportado do fornecedor ao cliente ou em espera no pátio externo de acesso ao cliente, bem como os pedidos residuais ainda não atendidos pelo fornecedor, devem ser contabilizados durante o processo de gestão e solicitação de novos pedidos pelo cliente.

O recebimento do insumo por parte do cliente consiste, inicialmente, em pesagem da carreta através de balança rodoviária. Essa pesagem está condicionada à disponibilidade da balança, que permite um único veículo por vez, e da área de descarga, que comporta até duas descargas simultâneas, dado a existência de dois *slots*, paralelos e cobertos.

Caso não haja disponibilidade nos dois sistemas, o veículo aguardará no pátio externo à entrada secundária (PV-4) até a sua completa liberação.

Na sequência ao processo de pesagem, ocorre a movimentação interna da balança até a área de descarga e o processo de descarga propriamente dito. A existência de dois *slots*, paralelos e cobertos, na área de descarga permitem atender duas carretas de forma simultânea, agilizando essa etapa do processo.



Figura 21 - Balança rodoviária no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A



Figura 22 - Área de descarga no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A

Realizada a descarga do calcário, o caminhão retorna a vazio até o fornecedor para novo carregamento, caso necessário.

O insumo recebido é transportado por meio de correias e armazenado em um silo de calcário bruto com capacidade nominal de 2.000ton. Em termos práticos, entretanto, por acúmulo de calcário úmido no interior do silo, ocorre uma obstrução do fluxo natural do insumo, reduzindo a sua capacidade de estocagem.

À medida que o nível de estoque do insumo nos silos diários diminui, o calcário bruto é alocado no moinho de bolas onde, concluída a etapa de moagem até o padrão de especificação desejado, é transportado para os silos diários para consumo no processo produtivo do cliente.

A capacidade nominal de moagem dos dois moinhos de bolas I e II é de cerca de 40 e 80ton/h, respectivamente. Para simplificação do modelo os dois moinhos serão agrupados em um único, com capacidade de 120ton/h.

Os silos denominados 1070, nº9, nº10, além dos três silos diários, serão agrupados em um único silo de calcário moído, sendo capaz de armazenar em torno de 3.700ton.



Figura 23 - Silo de calcário bruto no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A



Figura 24 - Processo de moagem no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A

As quantidades do insumo a serem consumidas na planta industrial do cliente é função direta do tipo de campanha em produção. Embora o calcário seja consumido nos três tipos de pelotas produzidas pelo cliente, em duas delas (BF STD e BF HB) o seu consumo ultrapassa a 100ton/h, representando um ponto de atenção durante as análises dos potenciais gargalos do processo.

A gestão dos níveis de estoque do calcário no cliente deve, de forma similar ao processo de “atendimento ao pedido” por parte do fornecedor, levar em consideração: (1) o *lead-time* total para atendimento a novos pedidos; (2) as quantidades em estoque de insumo bruto e moído no cliente; (3) as quantidades demandadas durante a campanha de produção programada; (4) os pedidos residuais que possam ainda existir no fornecedor e (5) o estoque em trânsito ou em espera no pátio externo de acesso ao cliente.

A frequência do processo de gestão deverá ser função direta da criticidade e inversa do *lead-time* do insumo.

Insumo2 (ou Bentonita)

A bentonita é fornecida por dois fornecedores distintos, um deles localizado em Campina Grande, na Paraíba, e o outro na região de Vitória da Conquista, na Bahia, distantes cerca de 1.200km um do outro. Para simplificação do modelo os fornecedores serão consolidados como um único fornecedor, dado a similaridade dos processos e de suas capacidades de produção. Para efeito de distâncias percorridas, será considerado o fornecedor mais distante, por ser o mais representativo em volumes fornecidos e representar um maior risco ao processo.

Embora com logística semelhante ao calcário, descrito acima, a bentonita se diferencia em razão de algumas características próprias, a saber:

- (1) A extração é realizada em minas a céu aberto, sem o uso de explosivos. Transportada para a planta industrial, a bentonita *in natura* é espalhada para secagem em área pavimentada, sem cobertura. Depois de aditivada com barrilha, o processo de beneficiamento é concluído com a moagem realizada através de moinhos tipo pendulares;
- (2) A armazenagem no fornecedor é feita em galpão fechado, com capacidade para 5.000ton e o acondicionamento do produto para transporte é realizado em *big-bags* de 1ton cada. As carretas utilizadas para transporte são do tipo graneleiro, cobertas com lonas ou fechadas (tipo baú), podendo ser ainda bi-trem ou treminhão. O transporte leva em torno de 3 dias para percorrer os 1.500-2.000km que separam a planta industrial do fornecedor a área de recebimento do cliente.



Figura 25 - Área de armazenagem de big-bags e carregamento no fornecedor de bentonita.

Fonte: Bentonit União S.A.

- (3) Assim como ocorre com o calcário, o recebimento da bentonita está condicionado à disponibilidade do sistema de balança rodoviária e da área de descarga/armazenagem, podendo o veículo aguardar no pátio externo à entrada secundária (PV-4) até que haja disponibilidade do sistema.
- (4) Os processos de descarga e armazenagem no cliente atentam aos seguintes detalhes:
 - A descarga do veículo ocorre em galpão fechado com uso de uma empilhadeira e ponto rolante;
 - A armazenagem é realizada em galpão coberto e fechado. Nesse galpão se encontram os equipamentos para retirada do insumo dos big-bags (desensacadeiras) e as bombas para transporte pneumático do insumo desde o galpão até os silos para consumo. Esses silos englobam o silo denominado “sorvetão” e os três silos diários, totalizando uma capacidade nominal de armazenagem de 1.280ton;
 - Não há processo de moagem no cliente. O insumo é recebido dentro das especificações requeridas para o consumo;

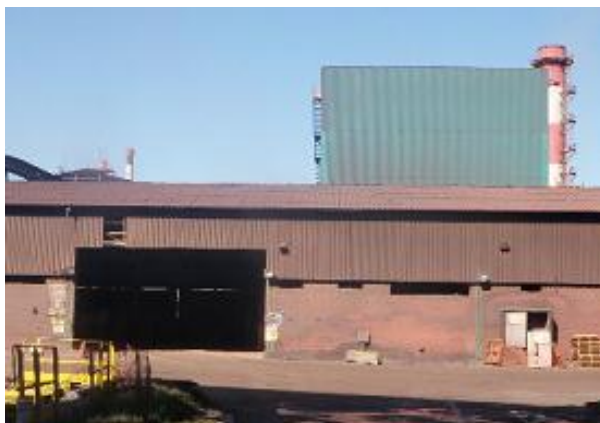


Figura 26 - Galpão de armazenagem de bentonita no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A



Figura 27 - Processos de descarga e bombeamento de bentonita no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A



Figura 28 - Silo de armazenagem de bentonita ("sorvetão").

Fonte: Samarco Mineração S.A

- (5) O consumo ocorrerá somente nas campanhas BF-STD e BF-HB. Durante as campanhas DR MX, quando não ocorre o consumo do insumo, os operadores buscam recompor os níveis de estoque nos silos diários, caso necessário.
- (6) Gestão dos estoques em função das quantidades demandadas no cliente, do estoque em trânsito e do pedido residual no fornecedor.

Insumo3 (ou Carvão)

A produção do carvão é realizada na África do Sul. A extração ocorre em minas subterrâneas (“*underground*”) ou a céu aberto (“*open pit*”) e o beneficiamento se passa na planta industrial, compreendendo os processos de: (1) lavagem da matéria-prima *in natura*, para redução do teor de impurezas (cinzas); (2) moagem, para atingir as especificações requeridas; e (3) peneiramento, com a utilização de separadores magnéticos.

A estocagem do produto acabado é feita em pátios a céu aberto, onde também ocorrem as etapas de carregamento e transporte por vias férreas. As composições ferroviárias movimentam o produto do fornecedor até o porto de embarque, onde o insumo é armazenado em áreas pré-determinadas (“*slots*”), de propriedade da *trader* e/ou do fornecedor, até a chegada dos navios.

O ritmo de produção na planta industrial do fornecedor é estabelecido através do balanço de massa entre: (1) o estoque necessário nos *slots* do porto de embarque para atender a demanda estabelecida pelos *laydays* e capacidade dos navios; (2) a capacidade de armazenagem de produto acabado nos pátios de estocagem dentro da área industrial do fornecedor, próximo a ferrovia; e (3) a capacidade de movimentação de carga pela ferrovia, desde o fornecedor até o porto de embarque.

A quantidade de vagões que formarão a composição ferroviária será definida em função dos volumes a serem transportados e da relação de custo-benefício entre as variáveis: custo unitário de transporte, volumes e distâncias a serem percorridas.

O transporte deve considerar, além da formação da composição dos vagões, a atividade de carregamento desses vagões, o tempo de deslocamento desde o

fornecedor até o porto de embarque, a separação dos vagões da composição ferroviária, o descarregamento do insumo através dos viradores de vagão (“*car-dumpers*”) e a disponibilização final do insumo dentro dos *slots* no porto de embarque dos navios. Esses processos podem ser vistos nas Figuras 29 e 30.



Figura 29 - Composição ferroviária com viradores de vagão (*car-dumpers*).

Fonte: Glencore S.A.



Figura 30 - Pátios de estocagem com slots privados e porto de embarque.

Fonte: Glencore S.A.

Assim como nas outras duas cadeias, o insumo em trânsito, ou seja, em movimentação do porto de embarque do fornecedor ao porto de desembarque no cliente, bem como os pedidos pendentes ainda não atendidos pelo fornecedor, devem ser contabilizados durante o processo de gestão e solicitação de novos pedidos por parte do cliente.

O tempo de viagem médio (“*transit time*”) é de aproximadamente 30 dias. O recebimento do insumo por parte do cliente consiste em atracação do navio no porto privado de desembarque, descarregamento com uso de 2 a 3 guindastes de bordo,

três moegas dispostas ao longo do píer e 20 caminhões com capacidade de 25ton cada, que garantem a descarga contínua em três turnos de 8h.

A fim de possibilitar essa operação, os navios contratados são do tipo *handymax self-discharging*, ou seja, possuem capacidade de carga em torno de 50.000ton e são equipados com guindastes próprios (“*on-board*”), de forma a permitir a retirada do produto de dentro dos porões sem a necessidade de infra-estrutura externa de guindastes.



Figura 31 - Descarregamento do navio no porto privado no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A.

Esses caminhões, quando vazios, acessam o píer e recebem o carvão diretamente sob as moegas. Quando carregados, eles deslocam-se do píer até o pátio de estocagem do insumo bruto, com capacidade máxima de 90.000ton, onde a carga é basculada e disposta em pilhas, conforme demonstrado na Figura 32. Em seguida, tratores de esteira fazem a movimentação da carga, dispondo-a em pilhas maiores e preparadas para o processo de moagem.

Liberado o caminhão, e havendo carga no navio, esses retornam para o píer e o ciclo recomeça até o término completo da descarga.



Figura 32 - Pátio de estocagem de carvão bruto no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A

Nesse processo não há pesagem dos caminhões antes do pátio de estocagem. Toda a cubagem da carga trazida pelo navio é realizada através da medição do calado do próprio navio, antes e depois da descarga.

O carvão armazenado no pátio de estocagem a céu aberto é transferido para o silo de carvão bruto, localizado antes dos moinhos de rolos, através de um sistema dedicado de correias transportadoras. Não há qualquer tipo de restrição aos volumes requeridos no silo por parte desse sistema de correias.



Figura 33 - Silo de armazenagem de carvão bruto no cliente.

Fonte: Samarco Mineração S.A



Figura 34 - Processo de moagem no cliente – moinho de rolos.

Fonte: Samarco Mineração S.A

Os silos diários ou de carvão moído possuem capacidade máxima de armazenagem de 900ton. À medida que o nível de estoque desses silos diminui abaixo de um nível esperado, o carvão bruto é alocado nos três moinhos de rolos. Esses moinhos, com capacidade nominal de 15, 20 e 25ton/h, serão tratados como um único moinho capaz de moer até 60 ton/h, simplificando o processo de modelagem.

Concluída a etapa de moagem e estando o carvão moído dentro da especificação desejada, ocorre a reposição dos níveis de estoque nos silos diários e a imediata disponibilização do insumo para consumo.

Diferente dos outros dois insumos, onde o consumo é diretamente relacionado ao tipo de campanha em produção, o carvão, por sua vez, independente do tipo de campanha. Ele é consumido regularmente em todas as campanhas, variando apenas as taxas de consumo em função das condições de processo no momento.

A gestão dos níveis de estoque do insumo no cliente segue as mesmas condições observadas nos outros dois insumos, com uma importante consideração: sempre que o estoque atual de carvão bruto armazenado no pátio de estocagem for menor que o alvo, a requisição de um novo pedido ao fornecedor será ajustada para a capacidade mínima equivalente a um navio, ou seja, cerca de 45.000ton. Além disso, dado o elevado prazo de entrega, o processo de gestão dos estoques pode

ocorrer a cada 24 horas ou em períodos maiores, ficando sob a administração do próprio analista ou gestor dos estoques.

Tendo descrito o comportamento da cadeia de suprimentos relativa aos três insumos indicados no estudo, vale ressaltar que, dos silos diários os insumos são levados para os misturadores onde, junto com o *pellet-feed*⁸, formará o produto que alimentará o processo de pelletização propriamente dito. Essa etapa do processo não será parte da modelagem.

No próximo capítulo será apresentado o processo de modelagem e simulação da cadeia de suprimentos relativa aos três insumos acima, de forma a retratar o mais fielmente possível o sistema real, respeitando-se as premissas adotadas.

⁸ Pellet-feed – minério de ferro proveniente do processo de filtragem e prensagem

CAPÍTULO 4

4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

“Um estudo de simulação pode ajudar a compreender como os sistemas reais operam, ao invés de como os indivíduos pensam em operar os sistemas.”

Pedgen, Shannon e Sadowski (1995)

Este capítulo descreve, passo a passo, a metodologia aplicada no desenvolvimento do modelo de simulação relativo ao sistema real descrito no capítulo anterior.

A metodologia de Banks – apresentada no capítulo 2, seção 2.6.3, é utilizada como um roteiro para o desenvolvimento da modelagem e dos experimentos, buscando alcançar, desta forma, aos objetivos pretendidos.

4.1. Definição do Problema

Integrar a cadeia de suprimentos de insumos da empresa através da avaliação de sua capacidade de atendimento e da identificação de seus gargalos operacionais é um enorme desafio diante de um cenário de crescimento vertiginoso vivido atualmente pelas empresas que comercializam minério de ferro no mercado transoceânico.

Conforme Ballou (2006), o gerenciamento eficiente e eficaz dessa cadeia requer, inicialmente, um planejamento no nível estratégico capaz de equilibrar os custos inerentes às variáveis: estoque, transporte e localização. Não somente os custos, como também os riscos de interrupção no fluxo de produtos e informações em cada etapa do processo, devem ser compartilhados de forma a se evitar o desequilíbrio entre os elos da cadeia. Esse planejamento deve ser executado de forma conjunta entre as partes que compõem esse sistema, a saber: fornecedores, transportadoras, terceiros contratados, cliente final, etc.

A avaliação da eficiência logística da cadeia de suprimentos irá requerer uma análise crítica do planejamento dos volumes demandados pelo cliente, em função do ritmo e das campanhas de produção, da capacidade dos fornecedores em produzir e alocar estoques dentro das especificações requeridas pelo cliente, do modo de transporte e acondicionamento da carga, e, por fim, da capacidade do cliente em receber, conferir, descarregar, armazenar e disponibilizar o insumo para o processo produtivo.

As etapas acima correspondem a elos sequenciais da cadeia, estão interligados funcionalmente, apresentam características que proporcionam um elevado nível de incertezas e atribui complexidade ao sistema, o que caracteriza a natureza estocástica do processo.

Gerenciar essa cadeia de forma balanceada, reduzindo o risco de interrupção de fornecimento, é um problema inerente a indústrias de base em permanente expansão e dependentes da capacidade produtiva, de armazenagem e de transporte de seus principais fornecedores.

Assim, um modelo de simulação foi desenvolvido para um cenário base, ou seja, a configuração atual da cadeia, onde se procurou representar os seus principais processos e atividades funcionais. A partir desse modelo, será possível realizar experimentações com novos cenários e novas configurações na cadeia, em fase de planejamento pela empresa, bem como estudos de sensibilidade de determinadas variáveis inerentes à própria cadeia.

As configurações ou parametrização das cadeias de suprimentos dos insumos sob análise serão função dos experimentos propostos para esse estudo, a saber:

(1) **Modelo Atual ou “As is”**: conforme apresentado no capítulo 3, seção 3.1.3, e representado na Figura 14. Serão considerados os modelos relativos aos três insumos elencados (*Insumo1*- calcário; *Insumo2* – bentonita e *Insumo3* – carvão), conforme agrupados na mesma seção;

(2) **Ampliação da capacidade de produção instalada do cliente Samarco**: A empresa planeja expandir sua capacidade de produção anual dos atuais 22 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro, através das três usinas de pelotização, para 32 milhões (Projeto 4ª usina de pelotização), nos

próximos 4 anos. Com isso, a demanda por insumos aumentará na mesma proporção e a cadeia de suprimentos desses insumos deverá suportar esse novo cenário.

Para tanto, algumas condições deverão ser testadas, conforme indicadas a seguir.

- (a) Aumento da capacidade de armazenagem (cliente e fornecedor), dos recursos de moagem, bombeamento, pesagem (cliente), da capacidade nominal de transporte (transportadoras) e/ou da capacidade de produção (fornecedores);
- (b) Alteração do modo de transporte com uso de ferrovia ao invés de rodovias - representado na Figura 35. Essa condição será também aplicada junto à cadeia de suprimentos do *insumo1* em função de condições operacionais favoráveis existentes.

Será considerado um recurso denominado “*car dumper*” para descarga do produto e área coberta para armazenagem do insumo bruto.

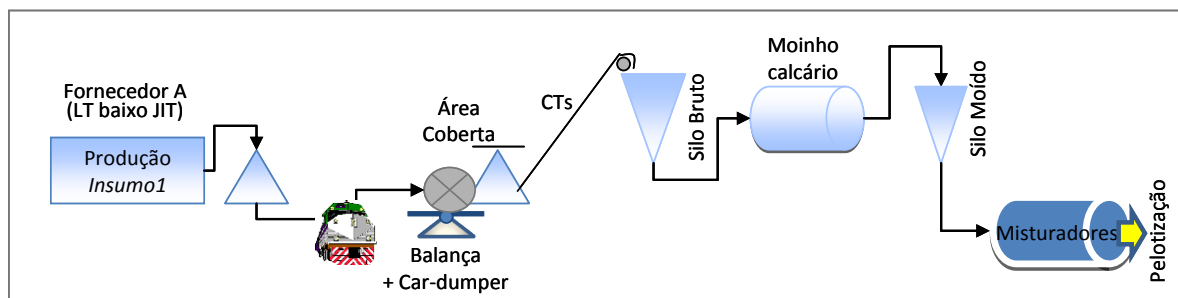


Figura 35 - Experimento B: alteração do modo de transporte, de rodoviário para ferroviário.

Fonte: o autor

Desta forma, as mudanças propostas na infra-estrutura ao longo da cadeia, visando suportar o provável cenário de aumento na demanda por insumos, serão simuladas e avaliadas através de novos modelos que retratarão essas proposições.

4.2. Modelo conceitual atual ou modelagem “As Is”

A Samarco possui três usinas de pelletização com capacidade de produção anual de 22 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro. O seu portfólio de vendas é composto por seis tipos de pelotas, dividido em duas famílias: pelotas BF (alto-forno ou *blast furnace*) e pelotas DR (redução direta ou *Direct Reduction*). Além das pelotas, a Samarco também produz 1 milhão de toneladas de outros dois produtos: o *pellet-screening* e o *pellet-feed*, conforme descrito nas seções 3.1.1 e 3.1.2.

Tomando-se como base a configuração atual do sistema, aumentos em seus atuais volumes de produção somente serão possíveis através de ganhos de produtividade em seus processos produtivos. Esses ganhos são viabilizados por intermédio de investimentos em seus ativos, que tem como objetivo primordial a melhoria de seus processos.

Aumentos significativos nos volumes de produção são alcançados através de projetos de expansão em seu parque industrial e, nesse estudo, a análise crítica desse cenário será abordada por meio de simulação no próximo capítulo.

Para o momento, o objetivo será a modelagem e simulação da cadeia conforme ela se apresenta atualmente, permitindo, dessa forma, analisá-la em sua essência para, somente a *posteriore*, buscar novas configurações que sustentem os potenciais cenários.

4.2.1 Modelagem da Cadeia de Suprimentos dos Insumos

A cadeia de suprimentos sob foco é representada por um único fluxograma, apresentado na seção 3.1.3 – Figura 14. Cada insumo será avaliado de forma independente, correspondendo a um subsistema próprio e sendo parte integrante do todo.

Portanto, o macro-fluxo que representa a cadeia será dividido em três fluxos de processos paralelos. Esses fluxos representarão a cadeia de suprimentos de cada insumo sob observação (*Insumo1* - calcário; *Insumo2* - bentonita e *Insumo3* - carvão), conforme Figura 36.

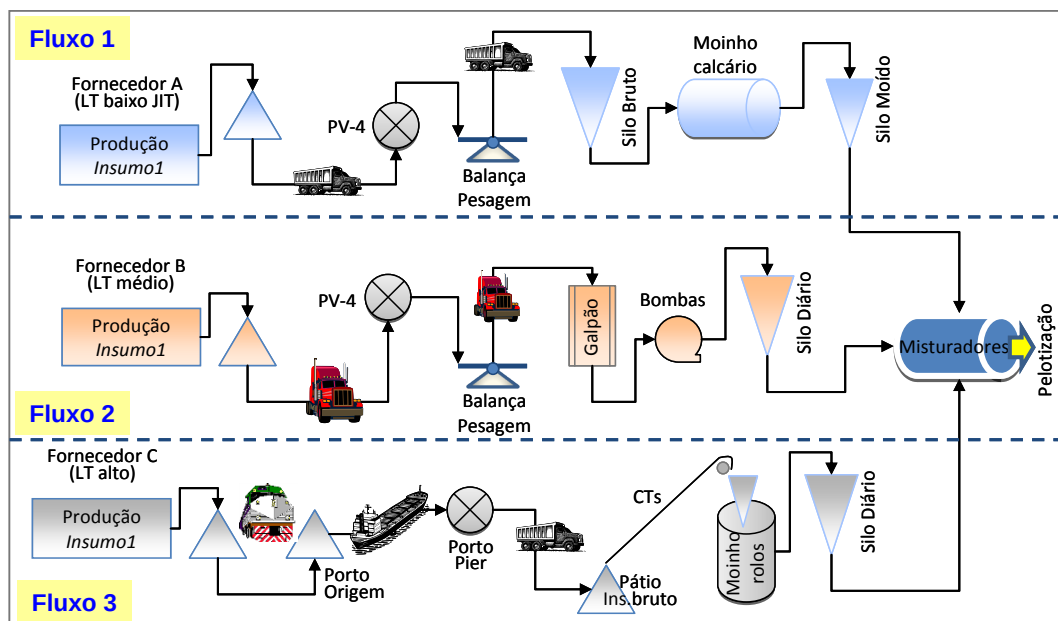


Figura 36 - Fluxos de processos paralelos do macro-fluxo.

Fonte: o autor.

Cada fluxo de processo será representado no modelo por meio de três grandes módulos: fornecedor, transportadora e cliente, conforme Figura 37. E, por fim, esses módulos serão compostos por submódulos que deverão retratar cada atividade do processo e suas interconexões.

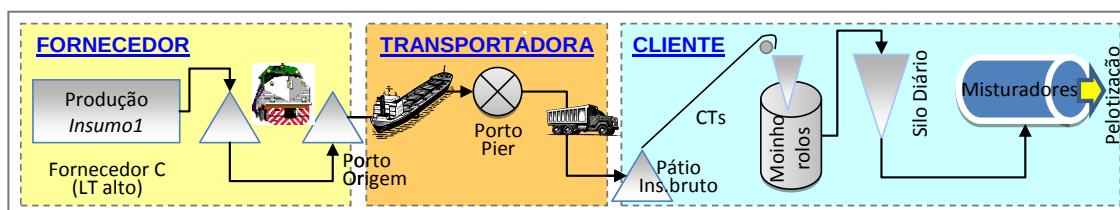


Figura 37 - Módulos Fornecedor, Transportadora e Cliente.

Fonte: o autor.

Tanto o novo fluxograma, como os módulos e submódulos, deverá ser capaz de representar o sistema real, conforme existente atualmente (“As Is”).

Insumo1 (ou Calcário)

Apresentado o fluxograma da cadeia de suprimentos relativa ao calcário, como parte da Figura 36 da seção 4.2.1, cabe agora demonstrar os módulos e submódulos que melhor retratam as etapas deste processo e a forma que eles interagem, conforme Figura 38.

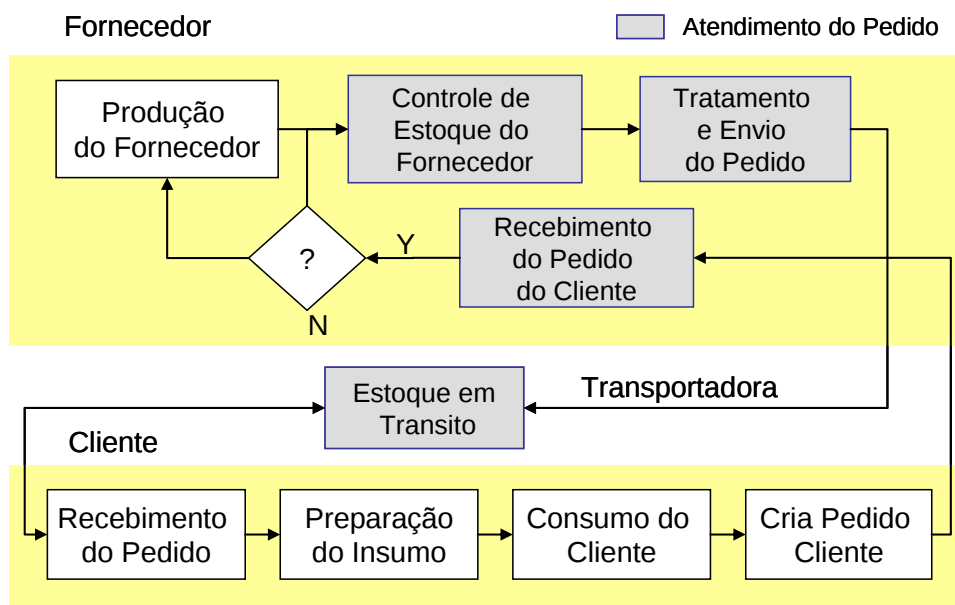


Figura 38 - Fluxograma da CS do insumo calcário.

Fonte: o autor.

Tomando como ponto inicial o módulo “cliente”, o processo se inicia com o submódulo “Recebimento do pedido (Cliente)”. Nesse primeiro submódulo os seguintes passos são retratados, conforme Figura 39 adiante:

- (1) Verifica-se se há disponibilidade da balança rodoviária para pesagem da carreta que acabou de chegar ao pátio externo do cliente. Caso exista, a carreta é pesada e vai para a área de descarga, deslocando-se dentro da via de acesso interna na área industrial do cliente. Caso contrário, a carreta aguarda no pátio externo até que a balança esteja disponível.

Caso existam outras carretas será, inevitavelmente, formada uma fila de espera;

- (2) Realizada a pesagem da carreta, verifica-se se há disponibilidade da área de descarga para receber e alocar a carreta em um dos dois *slots* existentes. Caso exista, a carreta báscula dentro do silo que movimentará a carga para o silo de armazenagem de calcário bruto. Caso contrário, a carreta aguarda no pátio interno até que o *slot* esteja disponível;
- (3) A carreta é liberada, retorna vazia ao fornecedor, onde ficará disponível para novo carregamento, quando necessário.

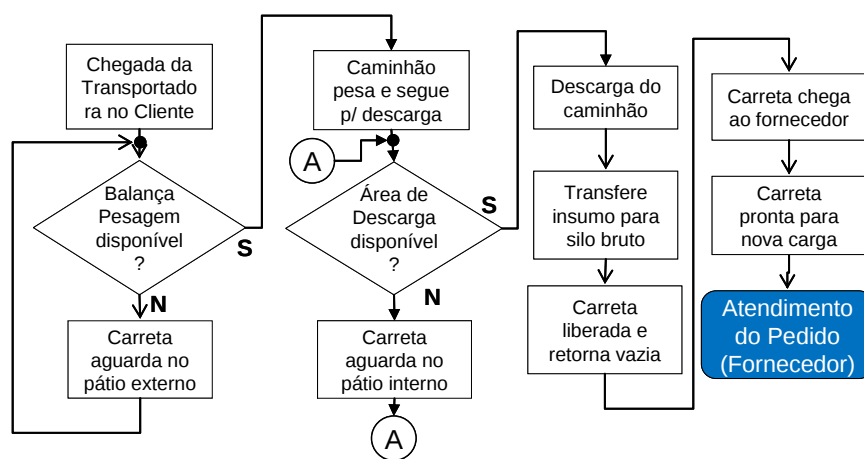


Figura 39 - Fluxograma do processo de recebimento do pedido (Cliente).

Fonte: o autor.

Feito o recebimento do insumo, o passo seguinte está retratado no submódulo “Preparação do insumo (Cliente)”, conforme Figura 40.

Nele, o modelo verifica se há disponibilidade de espaço no silo de calcário bruto e/ou se esse está totalmente vazio, a espera de calcário recebido ou a receber. Essa etapa determinará a quantidade que será alocada para o moinho de bolas, onde ocorrerá o processo de moagem do insumo.

De forma concomitante está sendo avaliada a quantidade do insumo a ser moído em função da capacidade de armazenagem nos silos diários. Em função do espaço disponível nesses silos, a moagem ocorrerá em sua capacidade plena (proporcionando uma elevação contínua do nível dos silos), ajustada (enchendo-os gradativamente, passo a passo) ou será interrompida (enquanto for mantido o nível máximo do silo).

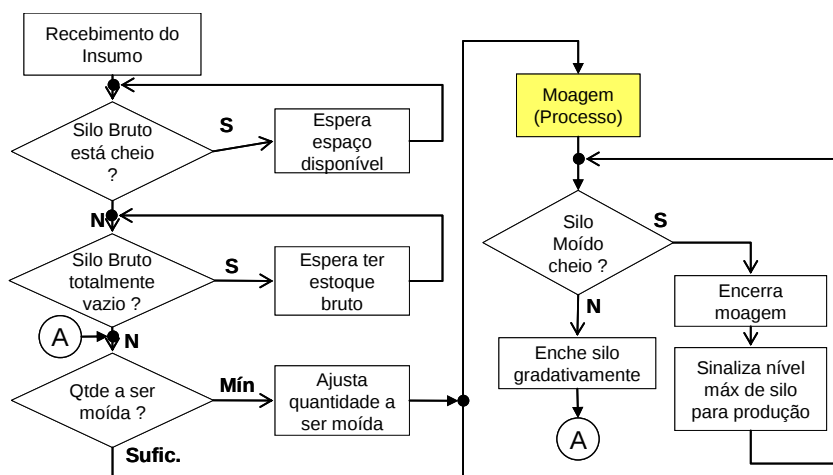


Figura 40 - Fluxograma do processo de preparação do insumo (Cliente).

Fonte: o autor.

O consumo do calcário moído, retratado no submódulo “Consumo do insumo (Cliente)”, Figura 41, ocorrerá, desde que haja disponibilidade do mesmo nos silos diários na quantidade demandada em função da campanha de produção em andamento.

Nesse ponto do modelo define-se o tempo e o consumo médio esperado por tipo de campanha (BF-STD, BF-HD ou DR-MX). O modelo procurou representar a variabilidade de consumo dentro da mesma campanha de produção, aproximando-o ainda mais do sistema real.

Feito isso, sempre que o fluxo de processo perceber a indisponibilidade do calcário moído, a produção será interrompida e será contabilizado o tempo de parada. Caso contrário, o insumo será gradativamente consumido até o final da campanha.

Na sequência, uma nova campanha de produção, diferente da anterior é definida e os novos parâmetros de tempo e consumo serão utilizadas pelo modelo.

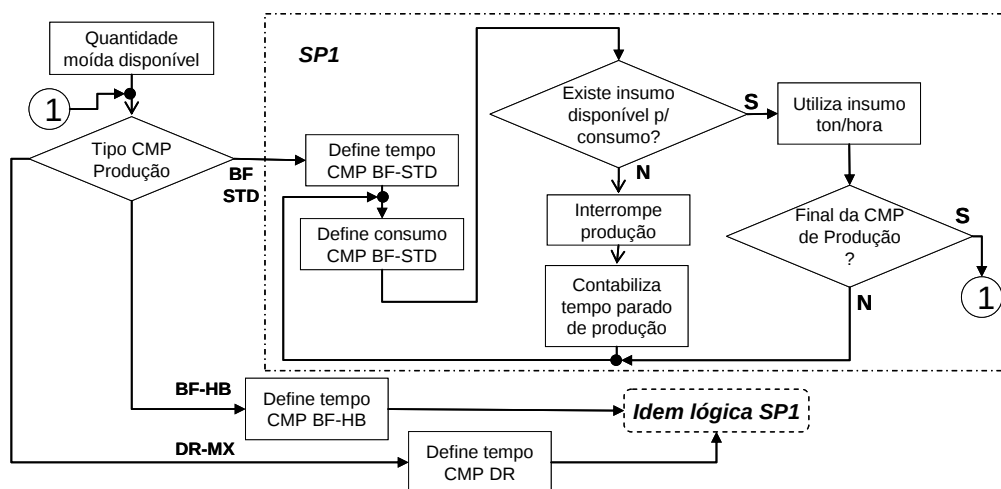


Figura 41 - Fluxograma do processo de consumo do insumo (Cliente).

Fonte: o autor.

Norteando todas essas atividades está o submódulo “Cria pedido (Cliente)”, apresentado na Figura 42, responsável pela gestão e supervisão dos estoques no cliente, seja de calcário bruto ou de moído.

Esse processo, repetido de forma cíclica em intervalos de tempo pré-definidos na razão inversa do *lead-time* total do insumo, atesta inicialmente se o estoque de calcário bruto é menor que o estoque de segurança. Caso isso esteja ocorrendo, o analista verifica a quantidade necessária, excluindo-se o estoque em trânsito e o pedido residual que, porventura, possa existir ainda no fornecedor. Por fim, emite a solicitação de um novo pedido para o fornecedor.

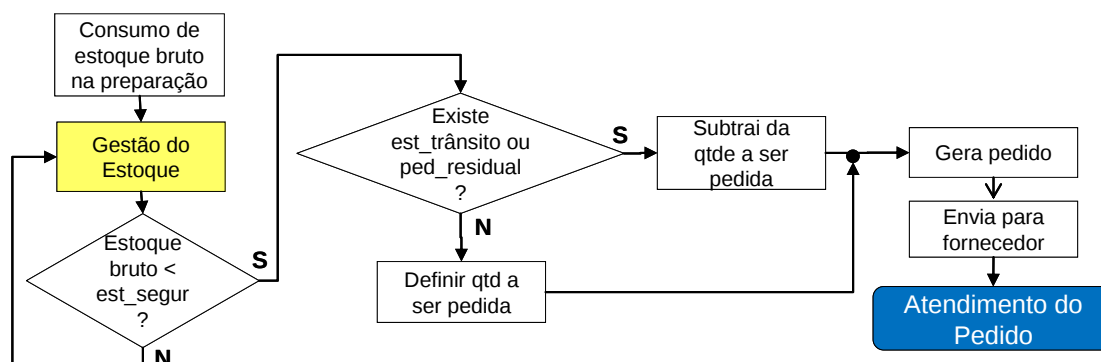


Figura 42 - Fluxograma do processo de criação do pedido (Cliente).

Fonte: o autor.

Ao receber o novo pedido no submódulo “Atendimento do pedido”, Figura 43, o fornecedor analisa se existem pedidos pendentes ou residuais em andamento. A sua liberação estará condicionada a inexistência ou completa execução desses volumes pendentes.

Caso a quantidade do insumo em estoque seja suficiente para atender integralmente ao novo pedido, o número de caminhões necessários para transportá-lo será calculado, iniciando-se o processo de alocação e carregamento de cada caminhão. A seguir cada caminhão é liberado para o transporte desde a base do fornecedor até a do cliente.

Caso contrário, o número de caminhões é recalculado para atender a uma quantidade de produto menor que a solicitada pelo cliente, sinalizando que há, parcial ou integralmente, um volume pendente a ser considerado no próximo ciclo.

Para concluir, a carga do último caminhão relativo ao atendimento parcial é ajustada com uma produção complementar, para que o mesmo movimente o produto dentro de sua capacidade nominal.

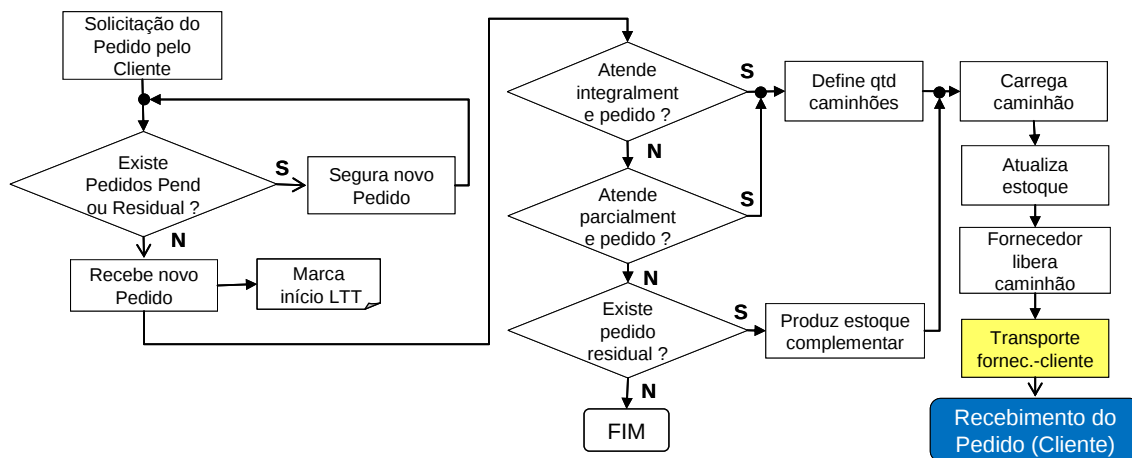


Figura 43 - Fluxograma do processo de atendimento do pedido (Fornecedor).

Fonte: o autor.

Por fim, para garantir a disponibilidade do insumo em sua área de armazenagem coberta, no submódulo “Produção no fornecedor”, Figura 44, o fornecedor avalia se há necessidade de produzir em função de:

- (1) diferença entre as quantidades demandadas pelo cliente e o seu volume estocado;

- (2) quantidade armazenada seja menor que o estoque de segurança estabelecido.

Caso ocorra uma das duas condicionantes, o fornecedor produzirá o insumo em função da capacidade nominal de seus equipamentos instalados e direcionará o material para recomposição dos níveis de estoque. E o ciclo “Cliente-Transporte-Fornecedor” estará completo e pronto para ser executado.

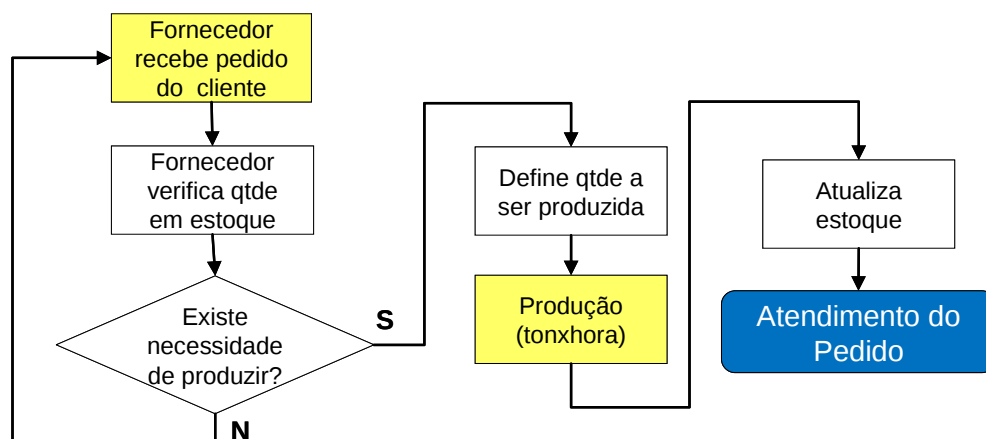


Figura 44 - Fluxograma do processo de produção no fornecedor.

Fonte: o autor.

Insumo2 (ou Bentonita)

Pelas similaridades apresentadas na seção 3.1.4 entre as cadeias de suprimentos do calcário e da bentonita, adotou-se como premissa que o modelo utilizado para representá-las durante a simulação será o mesmo, conforme apresentado na figura 38 dessa mesma seção.

A customização de cada modelo ao tipo de insumo em questão será realizada através da parametrização dos recursos, variáveis e atributos que melhor representam os processos sob análise naquele momento.

As diferenças encontradas nas duas cadeias não foram suficientes para tratá-las de forma independente e não deverão interferir na qualidade do resultado final do estudo.

Insumo3 (ou Carvão)

Os módulos e submódulos que melhor retratam a cadeia de suprimentos do carvão encontram-se mapeadas na Figura 45.

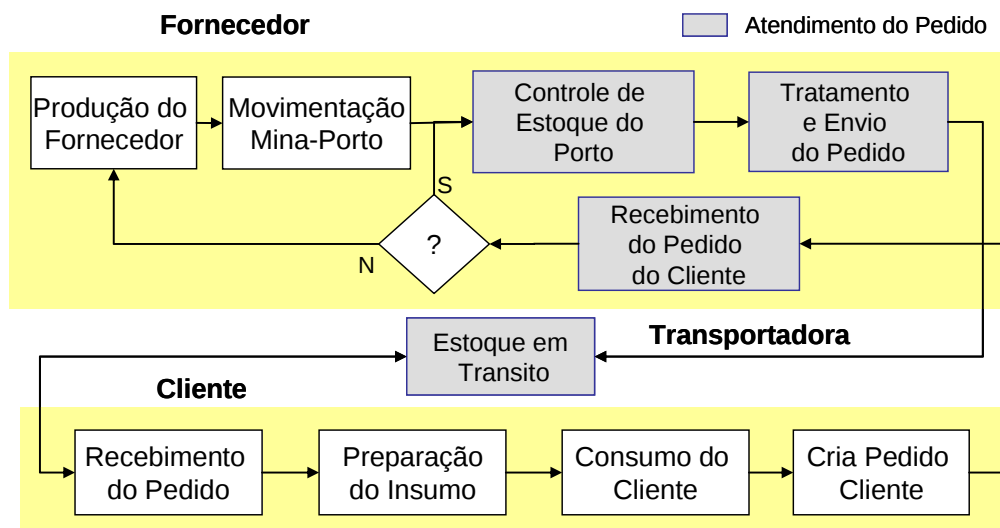


Figura 45 - Fluxograma da CS do insumo carvão.

Fonte: o autor.

A principal diferença no módulo “Fornecedor” está na forma com que os níveis de estoques serão geridos para garantir o atendimento do pedido feito pelo cliente. Enquanto nos outros dois insumos o volume mantido no estoque do fornecedor tinha uma relação direta com a quantidade demandada por lote de compra, ou pedido, no carvão a atenção está voltada para os níveis de estoque no porto de origem, ou seja, aquele que garantirá o efetivo embarque do navio.

Mais do que produzir para o estoque, o fornecedor deverá estar atento para a logística que suportará a movimentação da carga de sua área de armazenagem até a completa disponibilização do produto nos *slots* reservados no porto de embarque. Esse modo de transporte, conforme apresentado no capítulo anterior, será o ferroviário.

Esses primeiros elos da cadeia atuarão tipicamente como uma *produção empurrada*, sob o ponto de vista do cliente, dado que a lógica será produzir para manter o fluxo contínuo do insumo até que o estoque almejado seja alcançado no

porto. Nos fluxogramas representados pelas Figuras 46 e 47 esses processos encontram-se detalhados.

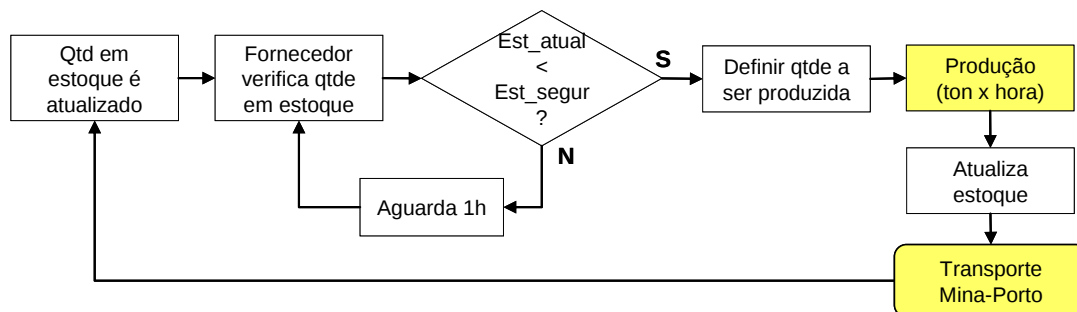


Figura 46 - Fluxograma de produção no fornecedor de carvão.

Fonte: o autor.

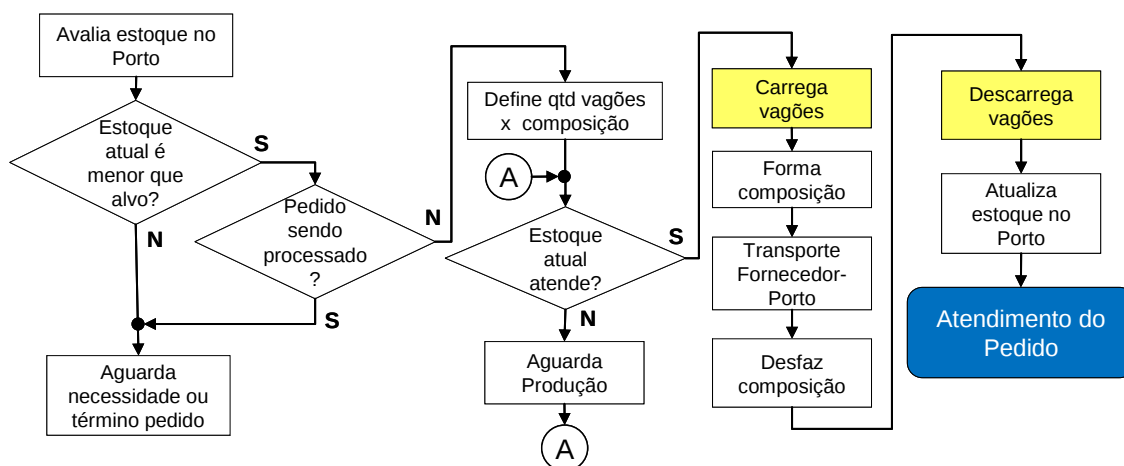


Figura 47 - Fluxograma de movimentação de carvão da mina ao porto.

Fonte: o autor.

Desta forma, o fornecedor verifica se o estoque atual na planta industrial é menor que o estoque de segurança (Figura 46) e, de forma concomitante, se o estoque atual no porto é menor que o esperado (Figura 47). Caso uma das duas condições seja verdadeira, o fornecedor define a quantidade a ser produzida, produz para estoque e/ou libera o transporte do insumo por ferrovia.

Para transportar, o fornecedor define a quantidade de vagões por composição em função do volume a ser movimentado, carregando-os na planta e descarregando-os nos *slots* (figura 48). A atualização dos níveis de estoque no porto é o último passo desse processo.

Os submódulos “Atendimento do pedido (Fornecedor)” e “Recebimento do pedido (Cliente)”, Figuras 48 e 49, são eles onde o mesmo recurso é utilizado, no caso o navio e, por essa razão, podem ser descritos ao mesmo tempo.

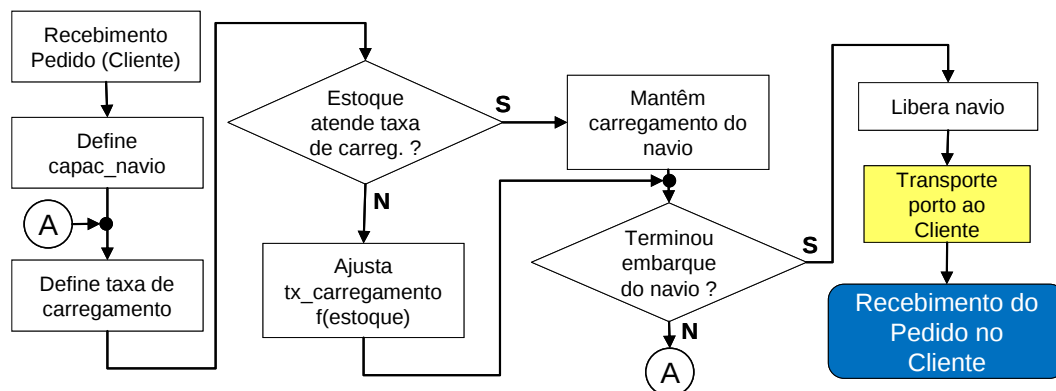


Figura 48 - Fluxograma de atendimento do pedido pelo fornecedor.

Fonte: o autor.

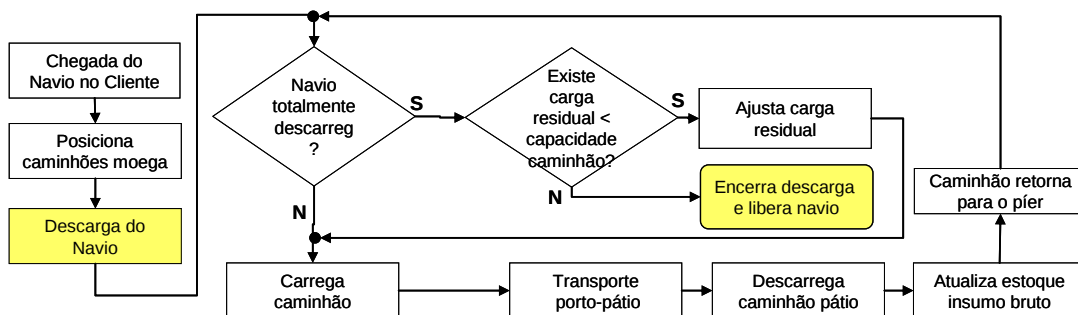


Figura 49 - Fluxograma de descarrega de navio de carvão no porto do cliente.

Fonte: o autor.

Os pontos de destaque desses processos estão relacionados ao tratamento dispensado à logística de carregamento do navio no porto de origem e descarregamento no porto de destino.

No primeiro (Figura 48), definido a capacidade do navio e a taxa de carregamento, o próximo passo é o ajuste dessa taxa em função dos volumes disponíveis até a conclusão do embarque e liberação do navio.

No segundo (Figura 49), tendo posicionado o navio, as moegas e os caminhões no porto de destino, o passo seguinte é sincronizar a retirada da carga do navio em função da capacidade dos caminhões até a conclusão do desembarque,

liberação do navio e atualização da quantidade de insumo estocado no pátio de carvão bruto.

Os submódulos “Preparação do Insumo (Cliente)” e “Consumo do Cliente” possuem fluxos de processos idênticos aos apresentados para os outros dois insumos – Figuras 40 e 41, respectivamente.

Única ressalva é feita no perfil de consumo do carvão onde, diferente do calcário e da bentonita, há uniformidade de consumo em todos os tipos de campanhas de produção, alterando apenas a taxa de consumo dentro da própria campanha, assim como nos demais. O fluxograma simplificado pode ser observado na Figura 50.

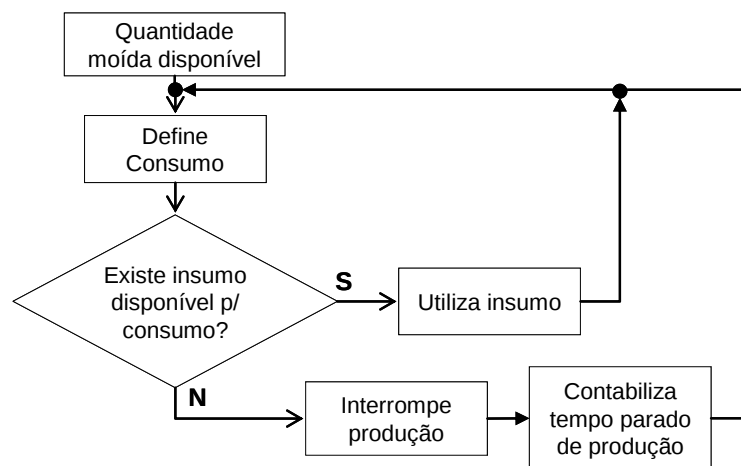


Figura 50 - Fluxograma do processo de consumo de carvão no cliente.

Fonte: o autor.

Integrando todas essas atividades está o submódulo “Cria pedido (Cliente)”, apresentado na Figura 51, responsável pela gestão e supervisão dos estoques no cliente e emissão do pedido junto ao fornecedor e a transportadora.

Seguindo a mesma lógica dos outros insumos, a diferença está no pedido mínimo a ser realizado, ou seja, 45.000ton, o que corresponde à carga média de um navio. No restante do fluxo, não há diferenças.

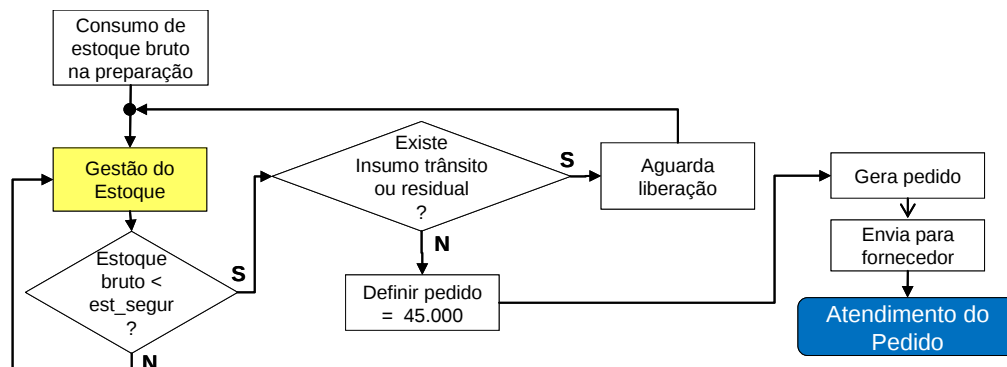


Figura 51 - Fluxograma do processo de gestão dos estoques no cliente.

Fonte: o autor.

O detalhamento dos processos através dos fluxogramas apresentados nessa seção, quando associados às premissas a serem descritas na próxima seção, permitirá o desenvolvimento do modelo de simulação computacional de forma alinhada ao sistema real em estudo.

4.2.2. Premissas

As premissas adotadas para desenvolvimento do modelo e simulação foram:

1. Os insumos são representados por fluxos de processos independentes, mesmo que, em alguma parte da cadeia utilizem o mesmo recurso físico. Como exemplo cita-se o recurso “balança de pesagem”, localizada na área de acesso ao cliente – módulo “recebimento do pedido”;
2. O número de fornecedores para cada insumo, suas capacidades nominais de produção e de armazenagem do produto acabado em área coberta foram consolidadas de forma a serem representados por um único fornecedor;
3. O calcário considerado no modelo é o calcítico, dado a sua maior representatividade no consumo anual em relação ao dolomítico, esse utilizado em apenas um único tipo de produto do cliente e em pequenos volumes;

4. Os recursos do processo de moagem dos insumos (dois moinhos de bolas para calcário e três moinhos de rolos para o carvão) tiveram suas capacidades nominais e reais consolidadas em um único recurso, simplificando a modelagem;
5. Os silos de área (1070 – usina I e II, silos 9 e 10 – usina III) e os silos diários das três usinas para armazenagem de calcário moído tiveram as suas capacidades de estocagem (máxima, alvo e segurança) consolidadas em um único recurso, por entender que a conexão e o fluxo do insumo entre eles é rápido o suficiente para representar qualquer tipo de gargalo;
6. O silo de área (“sorvetão”) e os silos diários das três usinas para armazenagem de bentonita, pronta para o consumo, tiveram as suas capacidades de estocagem (máxima, alvo e segurança) consolidadas em um único recurso, pelos mesmos motivos apresentados no item 4;
7. Para facilitar a avaliação dos processos de simulação, todas as curvas representativas das variáveis e atributos do processo produtivo em foco foram ajustadas e inseridas no modelo como curvas normais de probabilidade. Em alguns casos foi adotada a curva triangular como simplificação da curva normal, pela ausência de um conjunto de dados que pudessem suportar a análise estocástica;
8. A diminuição da variabilidade foi traduzida nos modelos de simulação através da redução do desvio padrão das curvas de probabilidade que representam o comportamento dos processos;
9. Atualizações dos níveis de inventários e cálculos dos parâmetros de estoques são feitos diariamente, visto que estão disponíveis os dados diários de demanda e entregas.

4.2.3. Coleta e Tratamento de dados

Esta seção descreve como foram obtidos, tratados e utilizados, na lógica do modelo de simulação, os dados mais críticos e relevantes para o sistema sob análise.

As informações foram obtidas diretamente nos fornecedores dos insumos e nas áreas técnicas responsáveis pelos processos dentro do cliente, sejam elas, pessoas de empresas contratadas (terceirizadas) ou empregadas da própria Samarco.

Importante apenas ressaltar que as informações foram, por muitas vezes, consolidadas, não somente em função das premissas adotadas para o modelo, como também para manter a confidencialidade e segurança das informações.

Os dados estão associados aos módulos, submódulos e processos apresentados na seção 4.2 e podem ser resumidos na Tabela 5.

Dados	Fornecedores	Cliente	Transportadora
Taxa de produção dos insumos	X		
Capacidade de Armazenagem	X	X	
Capacidade nos Modos Transporte	X		X
Tempo das Rotas	X	X	X
Capacidade dos recursos		X	
Tempo e consumo nas campanhas de produção		X	

Tabela 5 - Coleta de dados em função dos “Módulos” do modelo de simulação.

Fonte: o autor.

PRODUÇÃO DOS INSUMOS NOS FORNECEDORES

O ritmo de produção nos fornecedores, em ton/h, é estabelecido pela capacidade nominal dos equipamentos instalados em suas plantas industriais.

Através de laudos técnicos, elaborados pelos próprios fornecedores para análise crítica de sua capacidade de fornecimento em diferentes cenários, ou de visitas técnicas realizadas pela equipe da Samarco, as informações necessárias para a simulação foram levantadas e formatadas na Tabela 6.

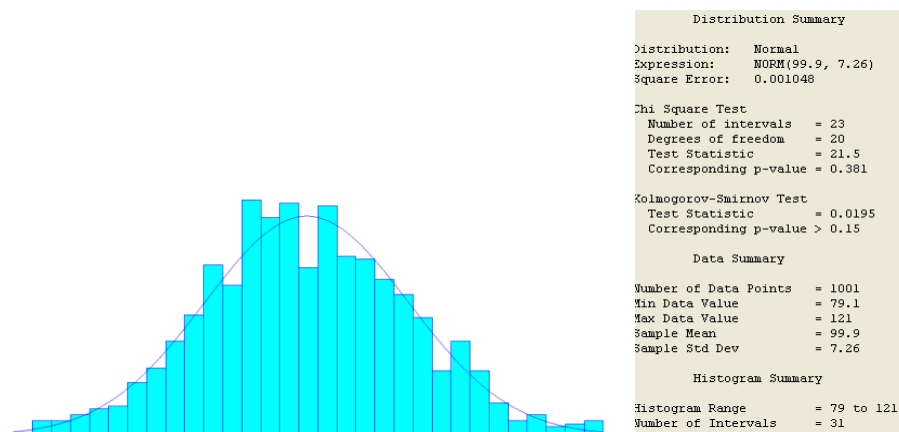
Insumo	Regime de Trabalho (horas)	Produção Média (ton/hora)	Desvio (ton/hora)	Produção Média (ton/dia)
Calcário (Insumo 1)	9h	100	7	3.600
	15h			6.000
Bentonita (Insumo 2)	8h	170	30	1.400
Carvão (Insumo 3)	7d X 24h	400	40	9.600

Tabela 6 - Taxa de produção dos insumos nos fornecedores.

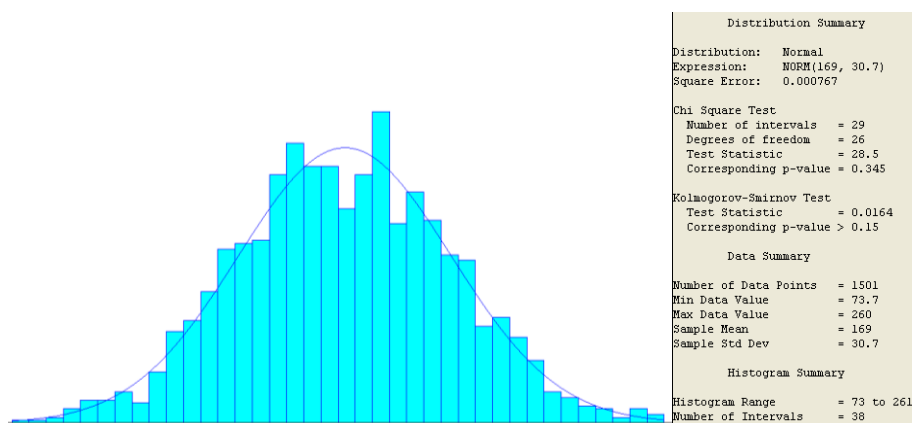
Fonte: o autor.

As taxas de produção são determinadas através de uma distribuição normal (N) com média (μ) e desvio padrão (σ), representado por $N(\mu, \sigma)$, conforme determinado através da ferramenta estatística “*Input Analyser*” do Arena.

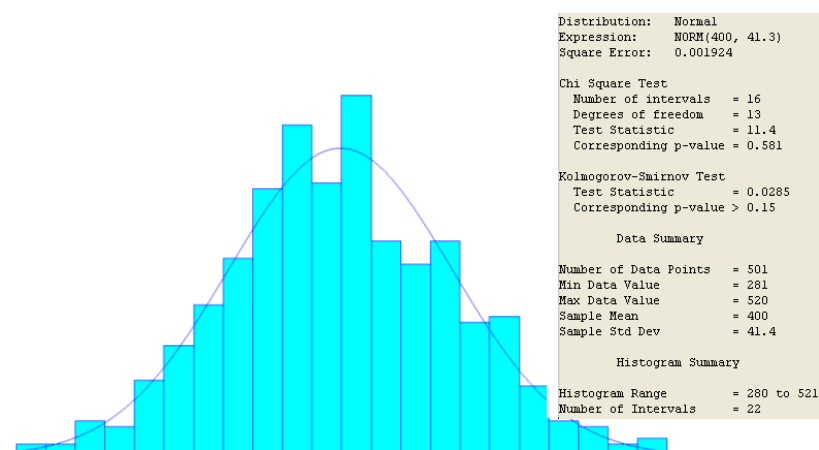
As curvas normais dos Gráficos 4, 5 e 6 foram inseridas nos modelos para determinar a taxa de produção dos insumos nos fornecedores.

Gráfico 4 - Perfil de produção do *Insumo1*.

Fonte: o autor.

Gráfico 5 - Perfil de produção do *Insumo2*.

Fonte: o autor.

Gráfico 6 - Perfil de produção do *Insumo3*.

Fonte: o autor.

Nos modelos desenvolvidos, essas taxas de produção estão parametrizadas, e podem ser alteradas durante a simulação.

CAPACIDADES DE ARMAZENAGEM

As áreas de armazenagem (a céu aberto, cobertas ou totalmente fechadas) estão dispostas ao longo do sistema, tanto no fornecedor, como no cliente, onde foram levantadas essas informações.

Os fornecedores e o cliente definiram o tipo, a localização e a capacidade atual dessas área de estocagem em função de: (1) características ou especificações dos insumos manuseados; (2) acondicionamento dos mesmos; (3) demandas dos processos de carregamento, transporte e descarga; (4) giro esperado dos estoques, ou seja, da diferença entre as quantidades que entram e que saem dessa área de armazenagem ao longo do tempo.

Na simulação cada área de armazenagem, tais como: pátio, galpão, silo, etc, foi mapeada com a ajuda dos fornecedores e dos engenheiros de processo do cliente, que realizaram a cubagem dessas áreas e estabeleceram, de forma empírica, os níveis: máximo, alvo, atual e de segurança. Esses níveis podem ser observados nas Tabelas 7, 8 e 9.

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 1 Calcário	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo	est_max_fornecedor	9.000
			estoque alvo	est_alvo_fornecedor	4.500
			estoque atual	est_atual_fornecedor	4.000
			estoque segurança	est_segur_fornecedor	3.000
	Cliente	Silo de Calcário Bruto	estoque bruto máximo	est_max_bruto_cliente	2.000
			estoque bruto alvo	est_alvo_bruto_cliente	1.800
			estoque atual	est_atual_cliente	1.500
			estoque bruto de segurança	est_segur_bruto_cliente	1.000
		Silos de Calcário Moído ou Diários	estoque máximo	est_max_cliente	3.700
			estoque atual	est_atual_cliente	2.100

Tabela 7 - Níveis de estoque do *Insumo1* (calcário).

Fonte: o autor.

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 2 Bentonita	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo no galpão	est_max_fornecedor	5.000
			estoque alvo no galpão	est_alvo_fornecedor	4.000
			estoque atual no galpão	est_atual_fornecedor	3.000
			estoque segurança no galpão	est_segur_fornecedor	3.000
	Cliente	Galpão de Armazenagem	estoque bruto máximo	est_max_bruto_cliente	3.500
			estoque bruto alvo	est_alvo_bruto_cliente	3.000
			estoque atual	est_atual_cliente	2.500
			estoque bruto de segurança	est_segur_bruto_cliente	2.000
		Silos Diários	estoque máximo	est_max_cliente	1.280
			estoque atual	est_atual_cliente	1.000

Tabela 8 - Níveis de estoque do *Insumo2* (bentonita).*Fonte: o autor.*

Insumo	Elo	Local	Níveis de Estoque	Variável	Volumes em ton
Insumo 3 Carvão	Fornecedor	Galpão de Armazenagem	estoque máximo no galpão	est_max_fornecedor	40.000
			estoque alvo no galpão	est_alvo_fornecedor	30.000
			estoque atual no galpão	est_atual_fornecedor	8.000
			estoque segurança no galpão	est_segur_fornecedor	10.000
		Slot de armazenagem no porto de embarque	estoque máximo no porto	est_max_porto	90.000
			estoque alvo no porto	est_alvo_porto	60.000
	Cliente	Pátio de Estocagem de carvão bruto	estoque atual no porto	est_atual_porto	20.000
			estoque máximo no pátio	est_max_bruto_cliente	90.000
			estoque alvo no pátio	est_alvo_bruto_cliente	60.000
		Silos de Carvão Moído ou Diários	estoque atual no pátio	est_atual_bruto_cliente	20.000
			estoque máximo	est_max_cliente	900
			estoque atual	est_atual_cliente	600

Tabela 9 - Níveis de estoque do *Insumo3* (carvão).*Fonte: o autor.*

Nos modelos desenvolvidos, essas capacidades das áreas de estocagem estão parametrizadas, podendo ser alterados durante a simulação.

CAPACIDADE DOS RECURSOS NOS MODOS DE TRANSPORTE

Os modos de transporte que fazem parte dos modelos são o rodoviário, o ferroviário e o marítimo. Todas as capacidades nominais foram levantadas junto aos fornecedores, agentes marítimos e transportadoras que participam das operações.

As capacidades dos recursos utilizados, em ton, para movimentação dos insumos, estão retratadas na Tabela 10.

Insumo	Modo de Transporte	Tipo	Capacidade Nominal (ton)	Variável no Modelo	Entrada no Modelo	Observação
Calcário	rodoviário	Carretas tipo caçamba	30	cap_caminhao	30	Protegido por lona
Bentonita	rodoviário	Carretas simples (3 eixos)	30	cap_caminhao	TRIA(30,35,40)	35% do total de carretas
		Bi-trem (3 + 2 eixos)	33 a 38			40% do total de carretas
		Treminhão (3 + 3 eixos)	40 a 50			25% do total de carretas
Carvão	ferroviário	vagão	60	cap_vagao	60	Entre fornecedor e porto de embarque
		composição ferroviária	1.800 a 24.000	qtd_vagoes	>30 e <400	
	marítimo	navios handymax	50.000 +/- 10%	cap_navio	N(50000,5000)	Porto origem ao destino
	rodoviário	caminhão tipo caçamba	25	cap_caminhao_carvao	25	Descarga de carvão

Tabela 10 - Capacidades nominais dos modos de transporte.

Fonte: o autor.

As capacidades dos veículos que transportam a bentonita seguem uma distribuição triangular. De acordo com Freitas Filho (2001), a distribuição triangular é empregada quando se desconhece a curva associada a uma variável aleatória, mas tem-se boas estimativas dos seus limites inferiores e superiores, bem como de seu valor mais provável.

Como a definição dos veículos pelos fornecedores é feita de forma aleatória, baseada na disponibilidade dos mesmos, coletou-se uma amostra de dados das capacidades dos veículos recebidos e traçou-se a curva de distribuição com a ajuda do “Input Analyser” do ARENA. O Gráfico 7 representa a curva em questão.

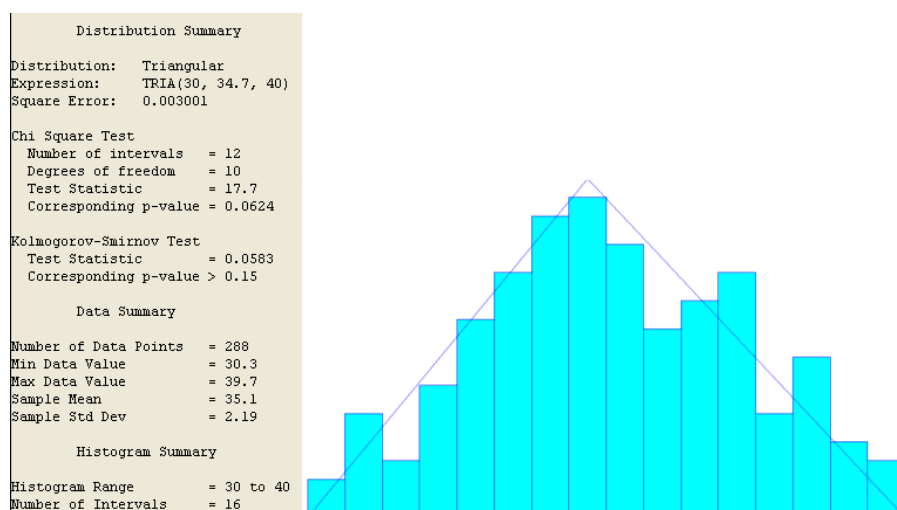


Gráfico 7 - Capacidade nominal dos veículos de bentonita.

Fonte: o autor.

Os navios que transportam carvão, por sua vez, são do tipo *Handymax*, e tem sua curva de capacidade de carga ajustada para uma distribuição normal, conforme dados levantados junto ao fornecedor e apresentado no Gráfico 8.

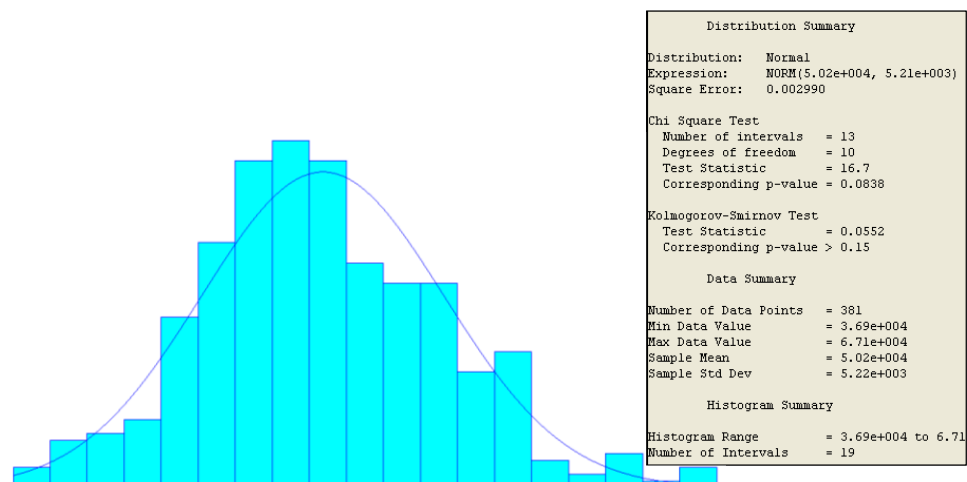


Gráfico 8 - Capacidade nominal de navios – tipo Handymax - do *Insumo3* (carvão).

Fonte: o autor.

Nos modelos desenvolvidos as capacidades nominais desses recursos estão parametrizadas e podem ser ajustadas durante a simulação.

TEMPO DAS ROTAS

Conforme estabelecido nos modelos, a movimentação dos insumos ocorre dentro do fornecedor, entre fornecedor-cliente e dentro do cliente. Como exemplos podem ser citados:

- (a) dentro do fornecedor – movimentação de carvão, por ferrovia, da mina ao porto de embarque;
- (b) entre fornecedor e cliente – transporte rodoviário de calcário e bentonita da área de armazenagem do fornecedor até a área de recebimento do cliente;
- (c) dentro do cliente

- (c.1) descarregamento de carvão do porto privado de desembarque até o pátio, a céu aberto, de estocagem de carvão bruto, retornando para o píer;
- (c.2) movimentação da balança rodoviária até as área de descarga de calcário e de bentonita, com posterior retorno para a base dos fornecedores após o processo de descarga e liberação da carreta/caminhão.

Os tempos nas rotas foram levantados, por amostragem, e formatados com base em:

- (a) dados históricos das rotas externas medidos pelos fornecedores;
- (b) dados internos ao cliente medidos por empregados das empresas contratadas responsáveis pela gestão das atividades de recebimento dos insumos.

Os tempos médios indicados nos modelos, e inerentes a cada rota, foram parametrizados e podem ser ajustados durante a simulação, caso necessário.

CAPACIDADE DOS RECURSOS NO CLIENTE

Os recursos instalados no cliente foram parametrizados pela quantidade disponível – exemplos: balança rodoviária (1), ponto de descarga de calcário (2), ponto de descarga de bentonita (1), moinhos (1 para calcário e 1 para carvão), carregador e descarregador de vagão (1 cada), carregador de navio (1), moegas (3), caminhões para descarga de carvão (20), etc.

Além da quantidade, um importante parâmetro para os recursos existentes ao longo da cadeia é o tempo médio de ocupação desses recursos. Esses tempos foram medidos, um a um, com apoio dos operadores de campo e se buscou, com o auxílio de ferramentas do próprio simulador, estabelecer a melhor curva de distribuição de probabilidades para os números levantados.

Os dados, inerentes a cada recurso, estão parametrizadas e podem ser ajustadas durante a simulação, caso necessário.

TEMPO E CONSUMO DAS CAMPANHAS DE PRODUÇÃO

A inserção dos *tempos e consumos médios* das campanhas de produção, baseando-se em dados históricos reais e em uma janela de tempo pré-determinada, foi extremamente importante para um maior alinhamento entre o sistema real e os modelos desenvolvidos.

Os tempos médios das campanhas de produção foram levantados junto ao banco de dados da área de planejamento integrado da produção, onde se mede a aderência entre as campanhas planejadas e as efetivamente realizadas. O ano-base foi o ano de 2010 e 2011, até o presente momento (Maio). As curvas com os tempos médios, por campanha, podem ser observadas nos Gráficos 9, 10 e 11.

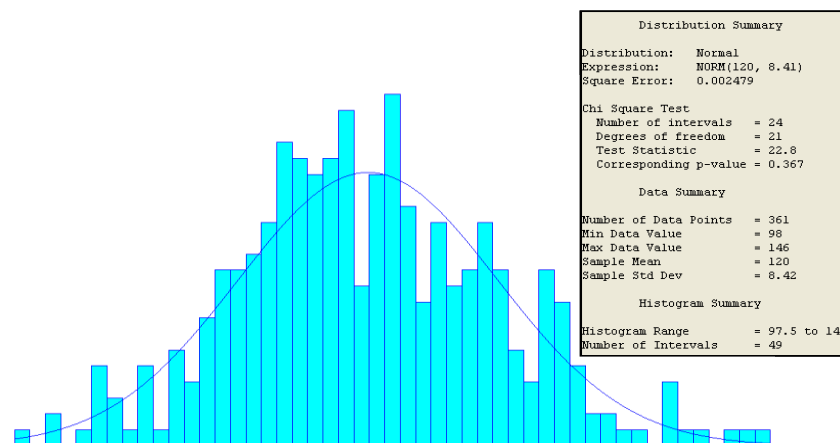


Gráfico 9 - Tempo médio da campanha BF-STB – em horas.

Fonte: o autor.

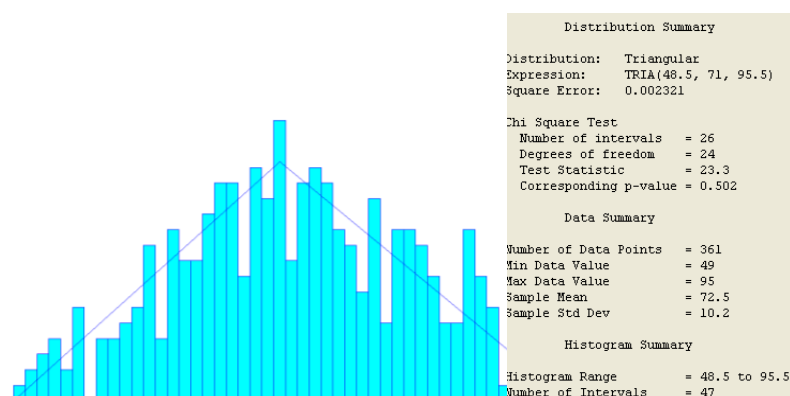


Gráfico 10 - Tempo médio da campanha BF-HB – em horas.

Fonte: o autor.

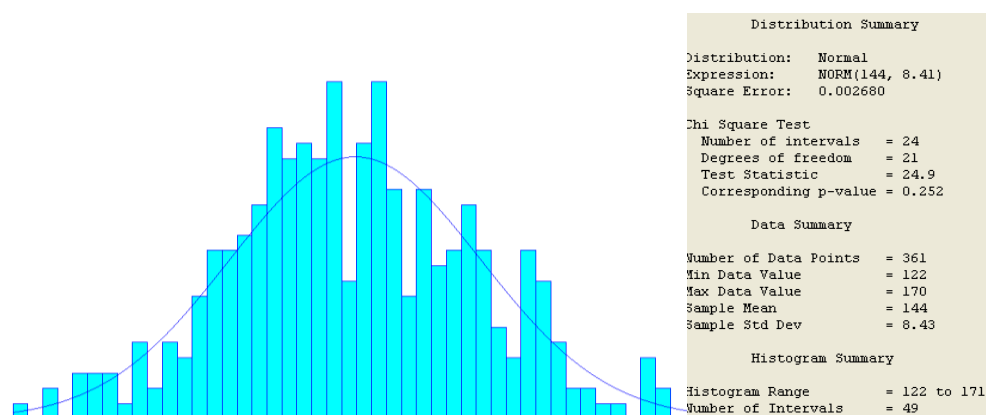


Gráfico 11 - Tempo médio da campanha DR-MX - em horas.

Fonte: o autor.

Os consumos médios das campanhas foram calculados com o auxílio dos dados extraídos do MES (*Manufacturing Execution System*), parte integrante do sistema de automação da Samarco, pela equipe de técnicos da área de engenharia de processo. As curvas com os consumos médios para a campanha BF-ST, por insumo, podem ser observadas nos Gráficos 12, 13 e 14.

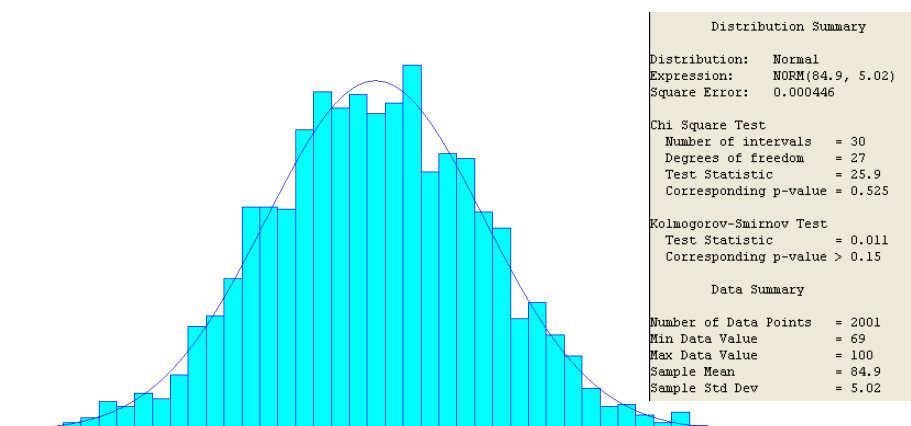


Gráfico 12 - Consumo médio do *Insumo1* (calcário) em campanhas BF-ST.

Fonte: o autor.

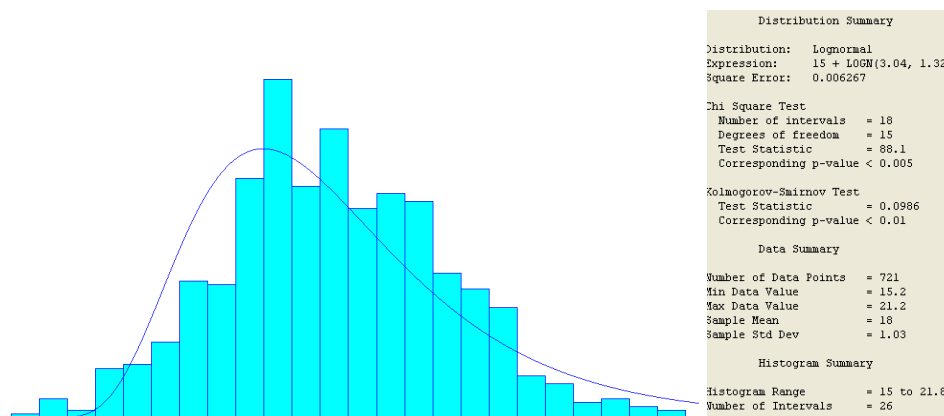


Gráfico 13 - Consumo médio do *Insumo2* (bentonita) em ton/h.

Fonte: o autor.

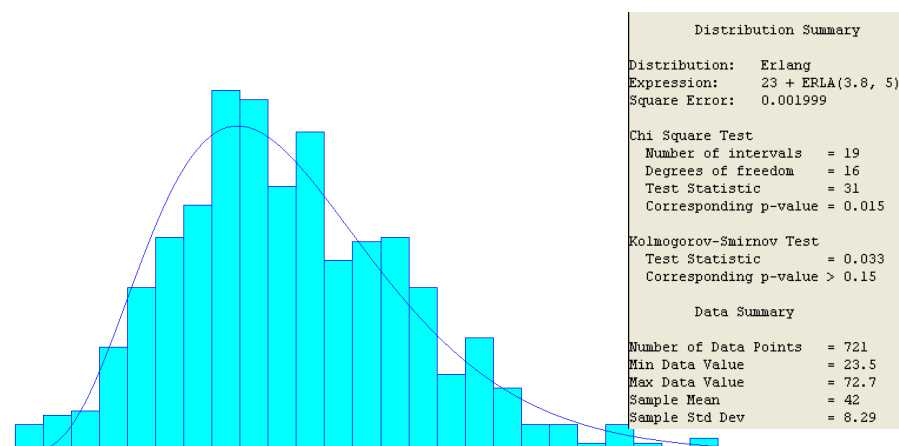


Gráfico 14 - Consumo médio do *Insumo3* (carvão) em ton/h.

Fonte: o autor.

Nos modelos, a lógica para se estabelecer a seqüência das campanhas de produção, bem como seus tempos e consumos médios, foi desenvolvida de forma a não permitir a ocorrência do mesmo tipo de campanha em seqüência, e alterar, de forma probabilística, os tempos médios das campanhas e os consumos médios dentro da mesma campanha. Isso possibilitará uma variabilidade nos parâmetros utilizados pelos modelos que o aproximará ainda mais do sistema real.

4.3. Modelo de Simulação Computacional

Após ter descrito o modelo conceitual da cadeia de suprimentos relativa aos insumos, retratando-o de forma a representar o sistema real, mas respeitando-se as premissas adotadas, o próximo passo foi o desenvolvimento do modelo de simulação computacional.

Conforme apresentado no item 4.1 – *Definição do problema*, um modelo de simulação será desenvolvido para possibilitar a análise da cadeia dentro de um cenário básico, ou seja, a configuração atual do sistema (“As Is”), com seus principais processos e interações funcionais. A partir do desenvolvimento e validação desse simulador, será possível alterar as configurações e as variáveis de entrada, parametrizadas no modelo, de forma a permitir a avaliação de novos cenários e análises de sensibilidade.

Importante ressaltar que um modelo de simulação é, por natureza, uma simplificação da realidade e que, portanto, a adoção de premissas que restrinjam a complexidade do sistema real é vital para as limitações necessárias ao tempo de processamento computacional requerido. Caso não sejam estabelecidas e respeitadas, os custos com programação e computação podem inviabilizar a extração e análise dos resultados.

4.3.1. Escolha do Simulador

O desenvolvimento de modelos de simulação que melhor se adaptam à metodologia apresentada por Banks et al. (2000), amplamente discutida na seção 2.6.3., é realizado com o auxílio direto de algum tipo de software.

Para a escolha do software, que pode ser uma linguagem de programação de alto nível ou um software orientado a dados (aquele em que o modelo é definido por um conjunto de dados definidos pelo usuário e de dados pré-definidos pelo próprio aplicativo) foram considerados os seguintes critérios: (1) adequação ao sistema modelado; (2) facilidade de utilização; e (3) acesso às versões completas do software.

Portanto, definidos os critérios de escolha, o software que melhor atendeu a esses critérios foi o Arena. A versão utilizada foi a versão 8. Embora não sendo a

mais atualizada, foi a que propiciou o estudo em sua versão completa - módulo “profissional”. Versões mais atualizadas somente foram disponibilizadas no módulo “*student*”, insuficiente para rodar o modelo computacional dentro dos parâmetros requeridos.

O Software ARENA

O ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém os recursos necessários para a modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e de resultados. Ele usa uma interface gráfica para o usuário – “Graphical User Interface (GUI)” – que automatiza o processo através do uso do “mouse”, reduzindo a necessidade do teclado do microcomputador.

O ARENA foi desenvolvido pela empresa Rockwell Automation, em 1993, como sucessor do SIMAN e CINEMA, que foram desenvolvidos em 1982 e 1990, respectivamente. O SIMAN é uma evolução da linguagem GPSS, lançado pela IBM em 1961. O CINEMA foi o primeiro “software” de animação para PC.

O ARENA é uma aplicação do Microsoft Windows, e todas as características e operações usuais estão dentro do padrão Windows. Por esse motivo, ele é totalmente compatível com outros aplicativos Windows, tais como: processadores de texto, planilhas e pacotes CAD.

O ARENA é, ao mesmo tempo, uma linguagem de simulação e um ambiente de trabalho e experimentação, que podem ser usados para testar o modelo e fazer a apresentação de seus resultados, por meio de avançados recursos de animação.

Compondo o mesmo pacote do ARENA, o módulo “*Input Analyzer*” realiza o tratamento estatístico dos dados de entrada, adequando-os a diversas distribuições de probabilidades: Beta, Empírica Contínua, Empírica Discreta, Erlang, Exponencial, Gamma, Johnson, Lognormal, Normal, Poisson, Triangular, Uniforme, Weibull, dentre outras.

O processo de modelagem (construção do modelo) nada mais é do que o ato de explicar ao ARENA como funciona o sistema. Essa explicação é feita por uma linguagem de fácil entendimento, semelhante a um fluxograma.

O fluxograma é constituído de formas geométricas que representam procedimentos, decisões a serem tomadas, inícios e terminos de processos, entre outros. No ARENA, essas formas geométricas são substituídas pelos “*blocos*” ou *blocos*, que são os campos que reúnem os módulos básicos e avançados usados para a construção do fluxo de processo. A construção do modelo dentro do ARENA é feita através dos elementos disponibilizados nos *blocos*.

As informações acima foram extraídas, em sua grande maioria, do “Manual do Usuário do Arena”, fornecido pela Paragon, representante do software no Brasil.

4.3.2. Ferramentas e parâmetros de simulação no Arena

A representação do modelo de simulação no Arena utilizou-se de recursos de programação disponibilizados através das “*barras de projetos*”, dentre os quais podem ser destacados: (a) Processos básicos; (b) Processos avançados; e (c) Movimentação avançada.

Os fluxos dos processos que fazem parte dos módulos “Cliente” e “Fornecedor”, e seus respectivos submódulos, foram desenvolvidos com o auxílio de *blocos* do próprio simulador. Esses *blocos* permitiram que a atividade de programação computacional seguisse um padrão pré-definido pelo próprio aplicativo e reduzisse o tempo de desenvolvimento, validação e verificação dos modelos.

Entre os *blocos* mais utilizados, e uma breve descrição de sua aplicação funcional nessa simulação, vale ressaltar:

- create e dispose – criaram a entidade inicial, sincronizaram e finalizaram os processos;
- assign – permitiram a entrada dos valores iniciais e das equações e formulações relativas às variáveis e aos atributos;
- process – permitiram a criação de recursos com características específicas para cada parte do processo;
- decide – definiram a continuidade do fluxo de processo em função de condições e das decisões estabelecidas em um determinado momento;

- hold e delay – impediram a continuidade do fluxo de processo até que uma determinada condição fosse alcançada ou um tempo transcorrido;
- batch e separate – permitiram a criação, consolidação e separação de entidades em determinado momento do processo;
- route e station – possibilitaram a representação de rotas (origem e destino) dentro e entre módulos e submódulos;
- readwrite – possibilitou a leitura de variáveis e atributos em arquivos de outros aplicativos.

Parâmetros de entrada do modelo computacional

Os modelos foram estruturados de forma que os principais dados possam ser identificados e utilizados através do *bloco* “assign”, descrito no item anterior.

Esses dados correspondem aos valores estabelecidos para as principais variáveis e atributos, a saber:

- Níveis de estoque por insumo – conforme apresentado nas Tabelas 7, 8 e 9;
- Capacidade nominal dos modos de transporte – apresentados na Tabela 10;
- Contadores de tempo – utilizados para medição dos tempos de entrega ao longo do processo (*lead-times*). Serão avaliados através das variáveis *marca1* e *marca2*;
- Equações – formulações estabelecidas para as variáveis e atributos ao longo dos processos. Vide **APÊNDICE A** – Modelo de Simulação.

Horizonte de tempo da Simulação e tempo de aquecimento

A compreensão do comportamento do sistema real através do modelo desenvolvido é realizada em um período predeterminado e com duração fixa. Quanto ao horizonte de tempo de simulação, esses tipos de modelos são classificados como modelos de análise de sistemas terminais. O horizonte de tempo definido para o modelo é de 365 dias, iniciando em 1º de janeiro de 2010 e terminando em 31 de dezembro de 2010.

O ARENA utiliza o próprio relógio de simulação para a representação do tempo real simulado para o funcionamento da cadeia de suprimento. Para isso, foram definidos na janela “*run setup*” do aplicativo alguns parâmetros básicos, tais como: o horizonte de tempo ou tamanho da simulação, a data e a hora de início da simulação, o período de aquecimento e o número de replicações.

Para o presente trabalho, o horizonte de tempo ou tamanho da corrida é de um ano (365 dias), considerado suficiente para garantir que todos os módulos e submódulos do modelo sejam ativados e testados por diversas vezes.

O tempo de aquecimento, período no qual o modelo deve rodar, sem que os resultados sejam registrados nos relatórios de saída e façam parte da estatística a ser analisada, foi definido em 60 dias. O descarte dos dados gerados durante o tempo de aquecimento é crucial para a simulação, pois minimizam a influência dos parâmetros iniciais adotados no modelo.

Uma vez que as condições, ou parâmetros, iniciais são fixos, o único fator controlável é o número de replicações.

Número de replicações

Por tratar-se de um modelo estocástico, o tamanho da amostra de dados deve ser definido por um procedimento estatístico.

Considerando-se que, em cada rodada de simulação, os parâmetros de entrada do modelo, a duração e o tempo de aquecimento são os mesmos, o que pode variar é a quantidade de vezes que a mesma simulação é repetida, ou, em um termo mais técnico, o número de replicações.

Apesar dos parâmetros de entrada e dos dados serem os mesmos, como os números aleatórios gerados durante a simulação são diferentes, conforme demonstrado através do Método de Monte Carlo – seção 2.6.6, cada replicação terá uma saída também diferente. O número de replicações é definido em função da variabilidade desses resultados, que é ocasionada pela presença de variáveis aleatórias no modelo.

O critério adotado nesse estudo para determinar o número de replicações consiste em realizar uma mesma rodada de simulação com distintos números de replicações, verificar as variâncias das saídas do modelo relacionadas a algumas variáveis indicadas e determinar se os intervalos de confiança resultantes encontram-se dentro de limites aceitáveis. Este é um processo iterativo, o procedimentos deve ser repetido até que os limites desejados para o intervalo de confiança sejam obtidos (FREITAS, 2001).

A nova estimativa do número de replicações pode ser obtida aplicando-se a equação (6), abaixo:

$$n^* = n \times (h / h^*)^2 \quad (6)$$

onde:

n^* = nova estimativa para n

h = semi-intervalo de confiança obtido

h^* = semi-intervalo de confiança desejado

Segundo Freitas (2001), estudos realizados indicam que o objetivo é buscar intervalos de confiança para os quais o valor de h seja menor ou igual a 10% da média amostral.

Como existem nos três modelos em torno de 20 variáveis envolvidas, muitas delas com características redundantes, seria necessário que o cálculo de n^* fosse realizado, no mínimo, 20 vezes. Portanto, a opção mais factível, foi indicar três variáveis e rodar o modelo variando o número de replicações. Em seguida, para cada replicação, verificar se h (*half width5*) é menor ou igual a 10% da média amostral.

O modelo foi rodado com 1, 2, 8, 16, 32, 64 e 80 replicações. Nesta última, todos os valores de h sobre as respectivas médias amostrais foram inferiores a 10%. Portanto, o número de replicações para a realização dos experimentos de simulação será igual a 80.

O Gráfico 15 apresenta o gráfico da razão entre h e as médias amostrais contra o número de replicações para as três variáveis avaliadas.

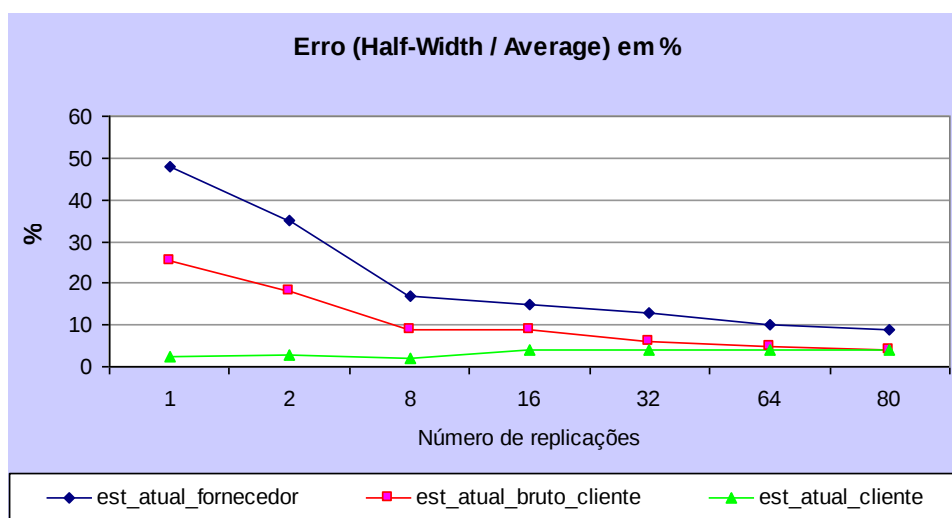


Gráfico 15 - Erro em função do número de replicações.

4.3.3. Lógica aplicada no modelo computacional

O modelo de simulação computacional retratou o modelo conceitual da cadeia de suprimentos da forma como ela é, ou seja, um retrato do sistema real dentro das premissas estabelecidas.

Nesta seção são descritos as principais lógicas adotadas para desenvolvimento do modelo de simulação. O detalhamento dos módulos e processos que compõem o modelo ocorrerá no **APÊNDICE A**.

Importante observar a ocorrência de lógicas seqüências e paralelas. As lógicas seqüências são aquelas onde a saída de um processo torna-se entrada para o processo seguinte ou, até mesmo, para mais de um processo. As lógicas paralelas são aquelas que ocorrem simultaneamente, ou seja, diferentes processos, localizados no mesmo módulo / submódulo ou em diferentes módulos / submódulos do modelo, recebem estímulos advindos de uma mesma variável e geram saídas não sincronizadas e de forma independente aos demais processos.

No início da simulação – no tempo zero – praticamente todos os submódulos disparam uma entidade única para ativar os processos que se sucedem passo a passo ou é estimulada pelo resultado (saída) de um submódulo anterior, sincronizando, assim, os seus processos a todo o modelo.

Dois submódulos, “atendimento do pedido – para os fornecedores” e “recebimento do pedido – para os clientes”, são ativados através de sinais advindos de outros submódulos, devendo, portanto, aguardá-los. Esses sinais permitem, em termos lógicos, o adequado sincronismo entre fornecedores e clientes.

No início dos submódulos os parâmetros de entrada, geralmente variáveis de controle, são estabelecidos e contribuem diretamente para a lógica inicial. Ao longo da simulação essas variáveis sofrem alterações em função das condições dos processos. Os parâmetros de entrada foram descritos na seção 4.2.3.

4.3.4. Relatórios de Saída

Os resultados alcançados a cada rodada de simulação para as variáveis e atributos, parte dos modelos, são lidos através do *bloco “readwrite”* e exportados para planilhas, em Excel, através do bloco *“file”*, ambos no aplicativo Arena.

As informações, lidas e exportadas através do Arena, estão demonstradas no próximo capítulo (seção 5.3.1- Tabela 5, seção 5.3.2 – Tabela 7, seção 5.3.3 – Tabela 9 e seção 5.3.4 – Tabela 12).

4.3.5. Verificação e Validação do modelo

Segundo Banks et al. (2000), os processos de verificação e validação de modelos de simulação estão entre as mais importantes e difíceis tarefas de um analista.

A verificação está relacionada à correta modelagem do sistema sob análise, ou seja, é a etapa na qual assegura-se que o modelo executa o que se pretende que seja efetivamente realizado. A correta representação dos parâmetros de entrada e da estrutura lógica do modelo são fundamentais para o êxito do processo de verificação.

No caso específico dos modelos de simulação que compõem esse estudo, a verificação dos modelos foi realizada simultaneamente com a etapa de tradução do modelo conceitual para o computacional. Entre as técnicas sugeridas por Freitas Filho (2001), uma das mais utilizadas foi o uso de dispositivos de rastreamento, como o *“break on module”*, presente na janela *“Run – Run Control”* do Arena.

O uso desse dispositivo permitiu que as lógicas aplicadas nos modelos fossem testadas, de hora em hora, linha a linha, por um período de tempo determinado e fração do tempo total de simulação. Dessa forma, constata-se que os valores das variáveis e atributos resultantes na linha *“n”*, a cada nova rodada no simulador de hora em hora, são os valores esperados em função dos parâmetros utilizados na linha *“n-1”*.

A validação procura determinar se, apesar das premissas e simplificações adotadas durante o desenvolvimento do modelo, este ainda comporta-se à semelhança do sistema real a fim de substituí-lo em experimentos. Dessa forma procura-se reduzir as “incertezas” e aumentar o nível de aceitação e de credibilidade do modelo.

Segundo Freitas Filho (2001), a qualidade e a validade de um modelo de simulação são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e os originados do sistema real.

Para a validação do modelo implementado, foram analisadas suas principais saídas em comparação aos resultados reais do processo produtivo da Samarco referente ao período de 01 de Janeiro de 2010 a 31 de Dezembro de 2010, comparando-se as saídas do modelo com o realizado neste ano.

As variáveis avaliadas encontram-se dispostas na Tabela 11. Os dados relativos às variáveis “nível médio de estoque nos fornecedores” e “nível médio de estoque no porto de embarque” – para o *Insumo3*, “lead-time total e no recebimento no cliente” – para todos os insumos, e “número médio de veículos por pedido” – para o *Insumo2* e o *Insumo3*, não puderam ser confrontados, uma vez que não existem dados históricos dessas variáveis.

Os dados relativos aos níveis médios de estoque, que serviram para validação do modelo, permitem uma análise comparativa mais eficaz quando realizada de forma percentual. A comparação foi feita entre o resultado dos modelos de simulação e os resultados reais de cada uma das variáveis indicadas na Tabela 11.

Variáveis	Unid.	Resultados comparativos entre sistema real e cenários.					
		Real 2010	C.e1 As /s	Real 2010	C.e2 As /s	Real 2010	C.e3 As /s
Interrupção da produção * ¹	horas	0	0	0	0	0	0
Nível de estoque médio nos silos diários.	%	78	80	68	75	72	78
Tx ocupação moinhos ou bombeamento	%	65	63	78	74	65	60
Nível de estoque médio do silo bruto.	%	38	35	60	57	52	55
Nível de estoque médio nos fornec.	%	48	44	72	67	-	43
Número de pedidos	unid.	345	319	128	137	8	9

Tabela 11 - Resultados comparativos entre sistema real e simulação.

Fonte: o autor

Uma vez que uma série de premissas e simplificações em relação ao sistema real foi adotada durante a modelagem, as diferenças nos resultados aferidos devem validar o modelo de simulação. Essa diferença, embora não denote o percentual exato dos valores contabilizados em 2010, apresentam uma forte correlação com os mesmos.

Entretanto, apesar da validação do modelo, qualquer tomada de decisão com base em seus resultados deve ser acompanhada por especialistas e precedida de uma avaliação de qualidade e apropriação dos resultados alcançados.

CAPÍTULO 5

5. EXPERIMENTOS

5.1. Introdução

Na última década, o cenário de mercado com aumentos sucessivos do preço do minério de ferro, excluído o período de recessão mundial - Setembro de 2008 a Agosto de 2009, está viabilizando o investimento de capital em novos projetos de usinas de pelletização no Brasil. Esse movimento certamente acarretará uma maior demanda por matérias-primas e insumos para o segmento de mercado. Muitos desses projetos ficarão situados em regiões próximas a Samarco e concorrerão diretamente com a cadeia de suprimentos de insumos atual, tornando-a mais complexa e sujeita a falhas.

Nesse sentido, será necessário, cada vez mais, que os fornecedores e a Samarco alinhem as suas estratégias de negócio. Uma maior integração e equilíbrio entre os elos da cadeia de suprimentos e os seus recursos serão pontos fundamentais na manutenção de seu desempenho logístico.

Conforme mencionado na seção 4.1 – item (2), assim como seus concorrentes, a Samarco planeja expandir sua capacidade de produção anual dos atuais 22 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro, através das três usinas de pelletização, para 32 milhões (Projeto 4ª usina de pelletização), nos próximos 4 anos. Com isso, a demanda por insumos aumentará na mesma proporção e a cadeia de suprimentos desses insumos deverá suportar esse novo cenário.

Inicialmente o modelo de simulação foi validado e verificado para a situação atual, também denominada “As is”, conforme seção 4.4. Para tanto, as variáveis foram parametrizadas considerando-se as capacidades de produção, estocagem, transporte, recebimento e consumo no momento, tanto para os fornecedores - transportadoras, como para o cliente.

5.2. Definição de Cenários

A ampliação da capacidade de produção da empresa cliente propiciou a avaliação de diferentes cenários em relação a sua cadeia de suprimentos de insumos, conforme demonstrado na Tabela 12.

Fator Motivador	Atual	Expansão (e)	Insumos (j)	Cenários (C.ej)
Ampliação da capacidade de produção do cliente.	22 milhões de tms	32 milhões de tms	<i>Insumo 1</i> <i>Insumo 2</i> <i>Insumo 3</i>	C.e1 C.e2 C.e3

Tabela 12 - Cenários em função da ampliação da capacidade de produção do cliente.

Fonte: o autor.

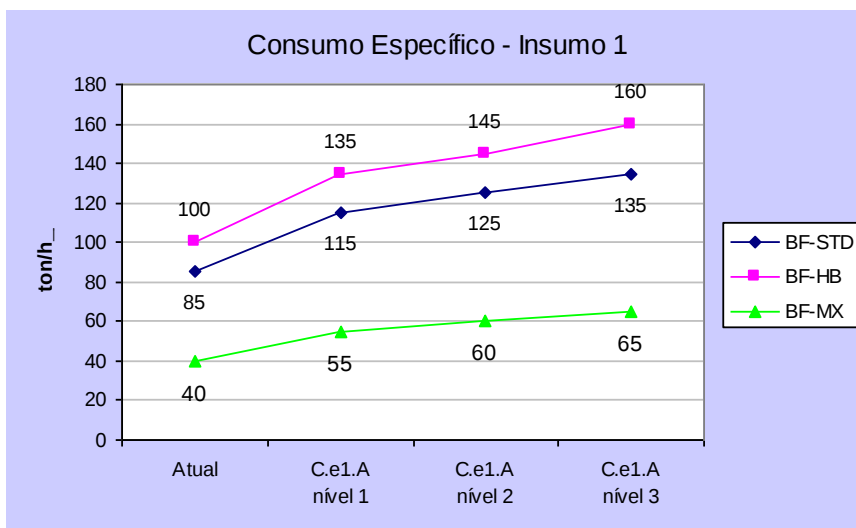
Esse aumento da capacidade de produção foi percebido no modelo através da variável que determina o consumo de cada insumo no processo produtivo do cliente (*consumo_cliente*). Essa variável aumentou de forma proporcional aos novos volumes de produção e encontra-se determinada na Tabela 13, por insumo.

Cenários (C.ej)	Insumo (j) Consumo em ton/hora - N(média;desvio)					
	<i>Insumo 1</i>			<i>Insumo 2</i>		<i>Insumo 3</i>
	BF STD	BF HB	DR MX	BF	DR	
Atual	(85,5)	(100,5)	(40,3)	(18,1)	0	(42,8)
C.e1	(135,7)	(160,8)	(65,3)			
C.e2	-	-	-	(24,2)	0	-
C.e3	-	-	-	-	0	(62,3)

Tabela 13 - Consumos por insumo, em ton/h, em cada cenário Cij.

Fonte: o autor.

Com intuito de permitir uma análise de sensibilidade das variáveis e da disponibilidade dos recursos ao longo da cadeia foi proposto um aumento gradativo, em três níveis, dos consumos específicos dos insumos dentro desse novo cenário, conforme demonstrado no Gráfico 16.

Gráfico 16 - Consumo específico - *Insumo1* - por tipo de campanha.

Fonte: o autor.

O próximo passo durante a simulação foi aplicar para esse cenário de expansão as condições (cenários 0, A e B) apresentadas na Tabela 14, como forma de buscar o balanceamento da cadeia de suprimentos.

Expansão "e"	Cenários (0, A e B)		Insumo (j)		
			<i>Insumo 1</i>	<i>Insumo 2</i>	<i>Insumo 3</i>
Expansão de 22 para 32 milhões de tms.	Manutenção da capacidade nominal e da quantidade dos recursos disponíveis ao longo da CS	0	C.e1.0	C.e2.0	C.e3.0
	Aumento da capacidade nominal e na quantidade dos recursos disponíveis ao longo da CS.	A	C.e1.A	C.e2.A	C.e3.A
	Alteração do modo de transporte com uso de ferrovia ao invés de rodovias	B	C.e1.B	-	-

Tabela 14 - Condições a serem testadas nos cenários de expansão, por insumo.

Fonte: o autor.

A condição "A" está descrita na Tabela 14 de forma sucinta e sua versão completa deve ser registrada como apresentada na seção 4.1 – item (2)(a): "Aumento da capacidade de armazenagem (cliente e fornecedor), dos recursos de moagem, bombeamento, pesagem (cliente), da capacidade nominal de transporte (transportadoras) e/ou da capacidade de produção (fornecedores)".

O objetivo principal almejado durante a simulação foi a não ocorrência de interrupções na produção (*interrupção_producao=0*), em função do balanceamento da cadeia sob análise perante aos novos cenários apresentados.

Nessa condição, a análise do comportamento do sistema em função das condições propostas foi realizada, de preferência, no sentido do elo do cliente para os fornecedores.

A primeira rodada de simulação manteve as métricas do modelo original com intuito de permitir a avaliação das consequências da elevação do consumo, dentro do cenário de expansão, para o sistema. Em seguida, as alterações nas métricas foram propostas e, à medida que os resultados das simulações eram consolidados e analisados, novas proposições foram necessárias, até que o resultado esperado fosse definitivamente alcançado.

De uma forma geral, para os três insumos, as proposições iniciais foram similares e encontram-se representadas na Tabela 15.

Vale ressaltar que essas proposições foram, passo a passo, mixadas, de forma a possibilitar simulações alternativas e um maior número de resultados, ampliando assim, a base de dados sob análise.

Simulações	Proposição	Métricas
I	Manutenção das métricas originais dentro do novo cenário.	-
II	Aumento da capacidade de estocagem do silo de insumo moído no cliente.	<i>est_atual_cliente</i>
III	Instalação de mais um moinho.(<i>resource: moinho; bombeamento</i>)	<i>qtd_transf_bruta_cliente</i>
IV	Aumento da capacidade de estocagem do silo de insumo bruto no cliente.	<i>est_atual_bruto_cliente</i>
V	Aumento do número de recursos no recebimento - balança, <i>car dumper</i> e <i>slots</i> de descarga.	<i>resource: balanca</i> <i>descarrega_caminhao</i>
VI	Aumento na capacidade média do modo de transporte (carreta, navio, trem).	<i>cap_caminhao</i> <i>cap_navio</i>
VII	Aumento na capacidade de estocagem no fornecedor.	<i>est_atual_fornecedor</i>
VIII	Aumento da capacidade nominal de produção dos fornecedores.	<i>produção_hora</i>
IX	Redução da disponibilidade dos moinhos e sistema de bombas.	<i>qtd_transf_bruta_cliente</i>
X	Aumento ou redução no tempo de rota dos fornecedores ao cliente.	<i>rota_fornecedor_cliente</i>
XI	Aumento no tempo entre gestões de estoque.	<i>gestao</i>

Tabela 15 - Simulações propostas para cada insumo.

Para cada rodada de simulação foram rodadas 80 replicações de um ano (360dias ou 8.640 horas), com um período de aquecimento (*warm-up time*) de 60 dias ou 1.440 horas.

A seqüência lógica adotada para a execução das simulações necessárias para a análise crítica de cada cenário apresentado na Tabela 14 foi baseada na adoção inicial dos consumos específicos relativos a cada insumo, conforme Tabela 13. Essa rodada de simulação foi denominada de R1. As rodadas posteriores a R1 (R2 a Rn) foram baseadas nas proposições, e combinações, apresentadas na Tabela 15.

Vale ressaltar que cada proposição apresentada na Tabela 15 foi sendo adaptada de forma a permitir uma análise crítica mais ampla do cenário a cada nova rodada de simulação. Essa adaptação foi baseada na experiência do corpo técnico atuante ao longo da cadeia de suprimentos, tanto no cliente, como nos fornecedores.

5.3. Resultados alcançados

Os resultados alcançados durante as rodadas de simulações, para os cenários propostos, foram consolidados e apresentados sobre a forma de tabelas. Em seguida, esses resultados foram avaliados de forma a atender o objetivo desse trabalho.

5.3.1. Cenário C.e1.A

Para a análise desse cenário foi observado o comportamento de 16 variáveis com suas respectivas unidades métricas. A primeira delas, e considerada a mais importante, será a quantidade de horas de interrupção da produção. Ela norteará todas as simulações e o objetivo será minimizá-la ao máximo, até que todo o sistema esteja novamente em equilíbrio.

Os resultados alcançados nas simulações foram organizados na Tabela 16, propositalmente, para que o desempenho do sistema seja avaliado e melhorado de forma progressiva, facilitando a comparação com a proposição anterior.

Cenário C.e1.A	Unid.	Resultados das rodadas de simulação												
Variáveis		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Interrupção de produção em horas	horas	125	157	77	0	18	100	101	86	170	440	277	185	0
Estoque médio nos silos diários.	ton	2601	2669	3518	3238	3104	2607	2581	2729	2534	1916	2304	2476	3409
Nível de estoque médio nos silos diários.	%	70	66	72	88	84	70	70	74	68	52	62	67	84
Desempenho médio dos moinhos.	ton/h	110	112	111	140	131	110	110	109	110	100	109	110	131
Taxa de ocupação dos moinhos.	%	88	90	88	73	76	87	88	87	88	94	88	88	78
Estoque médio nos silos brutos.	ton	670	661	664	565	621	715	736	745	728	802	459	999	603
Nível de estoque médio do silo bruto.	%	34	33	33	28	31	36	37	37	36	40	23	50	30
Taxa de ocupação da área descarga.	%	56	58	57	59	56	57	43	43	43	53	56	56	59
Taxa de ocupação da balança.	%	28	29	28	29	28	28	21	22	22	26	28	28	29
Estoque médio nos fornecedores.	ton	3017	2977	2969	3407	3291	3025	2977	3980	4193	3136	2976	3040	3240
Nível de estoque médio nos fornec.	%	67	66	66	76	73	67	66	88	93	70	66	68	72
Lead-time de recebimento no cliente.	horas	0,95	0,94	0,94	0,92	0,92	0,50	0,47	0,48	0,47	0,91	0,55	1,05	1,04
Lead-time total do pedido em horas	horas	4,21	4,20	4,21	4,58	4,41	3,76	3,62	3,61	3,61	4,08	6,81	4,48	4,54
Número de pedidos	Unid.	227	224	227	202	215	226	301	291	290	263	241	228	218
Número médio de veículos por pedido	Unid.	49	50	49	55	52	49	37	38	38	42	46	52	51
Capacidade do veículo.	ton	30	30	30	30	30	30	40	T(35, 40, 45)	T(35, 40, 45)	30	30	30	30
Simulações Propostas (conf. Tabela 4)		I	II	II	III	III	V	V e VI	VI e VII	V, VI e VII	I e IX	I e X	I e IV	II e III

Tabela 16 - Cenário C.e1.A - Resultado das Simulações. Fonte: o autor.

Análise dos Resultados

R1 – Com o aumento do consumo específico do insumo ocorreram 125 horas de interrupção na produção, ou em torno de 5,2 dias, conforme Gráfico 17. Esse tempo representa uma perda de faturamento da ordem de US\$ 30 milhões⁵, considerando-se o lucro cessante de uma hora parada de produção.

As alternativas que viabilizariam a minimização dos efeitos negativos sobre o faturamento da empresa, certamente aumentariam os custos operacionais, reduzindo as margens em seus demonstrativos econômicos.

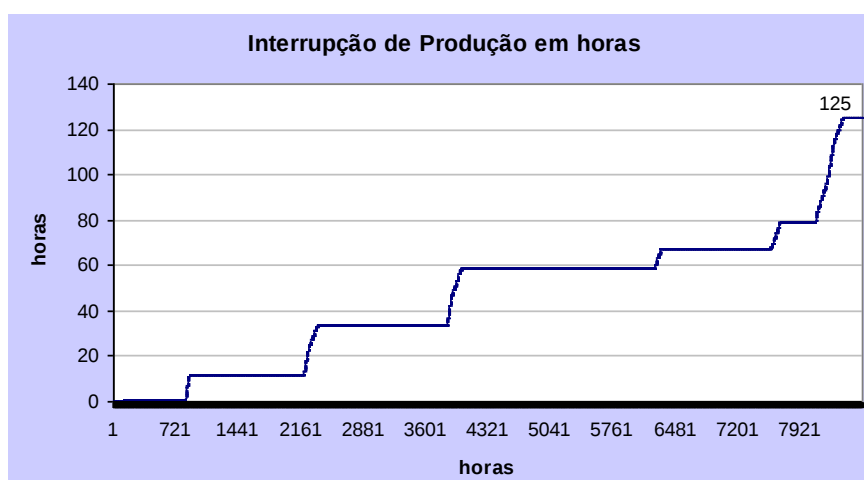


Gráfico 17 - Interrupção da produção em horas – Cenário C.e1.A.

Fonte: o autor.

A taxa de ocupação dos moinhos (88%) é considerada alta e deve ser mantida abaixo de 80%, de forma a permitir as manutenções preventivas necessárias.

Os níveis de estoque dos silos de insumo moído (diário) e bruto, 70% e 34%, respectivamente, da capacidade nominal dos silos, são considerados insuficientes para manter a disponibilidade do insumo para o consumo.

Quanto ao silo diário duas hipóteses podem ser levantadas: a insuficiência de volume para garantir o consumo em campanhas de alto consumo e o baixo desempenho dos moinhos em moer o insumo bruto e transferi-lo para o silo. A primeira hipótese está demonstrada no Gráfico 18, onde podem ser observados os

⁵ Valores estimados em função de confidencialidade dos dados

pontos de saturação (limite superior) e os pontos de indisponibilidade de produto (limite inferior).

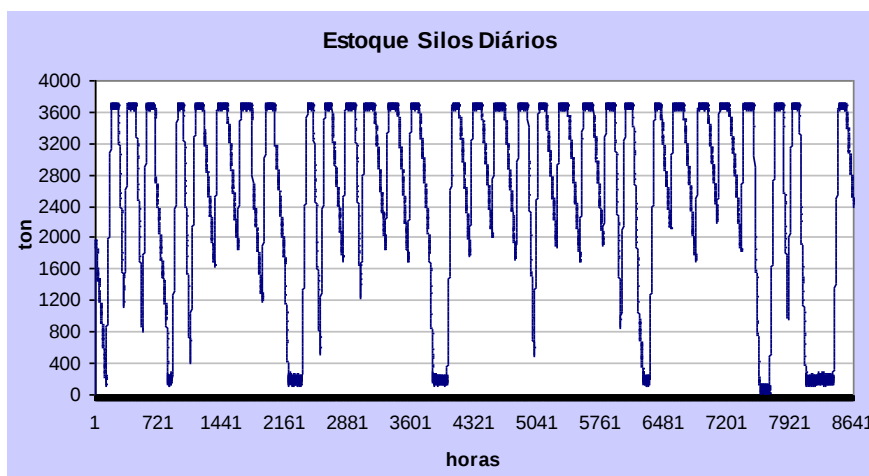


Gráfico 18 - Nível de estoque dos silos diários.

Fonte: o autor.

A área de descarga do insumo bruto, por ser dedicada ao processo, ou seja, exclusiva para o recebimento do insumo, apresentou taxas de ocupação (até 60%) compatíveis para o processo. Entretanto, a área de pesagem, representada pela balança, apresentou taxas de ocupação da ordem de 28%, ou seja, cerca de 1/3 do tempo a balança está dedicada a um único insumo. Por não ser dedicado ao insumo, o processo de pesagem foi um ponto de atenção durante as simulações.

O elevado número de pedidos no período, 227 pedidos ou 1 pedido a cada 1,5 dias, associado ao número de veículos por pedido (49 carretas) reforçaram o baixo *lead-time* do insumo (4,2h em média).

O nível de estoque nos fornecedores, 67% da capacidade nominal, foi outro ponto de atenção para que o suprimento do insumo seja garantido. Considerando o baixo *lead-time* do insumo, o mais apropriado é que investimentos sejam realizados de forma a gerar um incremento no nível médio de estoque mantido pelos fornecedores.

Portanto, foram pontos de atenção durante as simulações as capacidades de armazenagem e as taxas de ocupação dos recursos disponíveis, tanto no cliente como nos fornecedores, e os *lead-times* de entrega - total e durante o recebimento no cliente.

R2 e R3 – são simulados um aumento na capacidade de armazenagem nos silos diários, de 10% e 30%, respectivamente.

O incremento de 10% na capacidade não trouxe benefícios para o processo e o tempo de interrupção piorou em relação a R1, motivado, principalmente, pela ocorrência de um maior número de campanhas de alto consumo (BF-HB) em relação à primeira rodada de simulação.

O incremento de 30% possibilitou uma redução de 40% no tempo de interrupção (77 contra 125 horas em R1). Uma maior recomposição dos níveis de estoque dos silos diários durante as campanhas de baixo consumo (DR-MX) possibilitaram uma maior disponibilidade do insumo moído nas demais campanhas, mas não o suficiente para evitar a parada na produção. O Gráfico 19 reforça a constatação no limite inferior do gráfico.

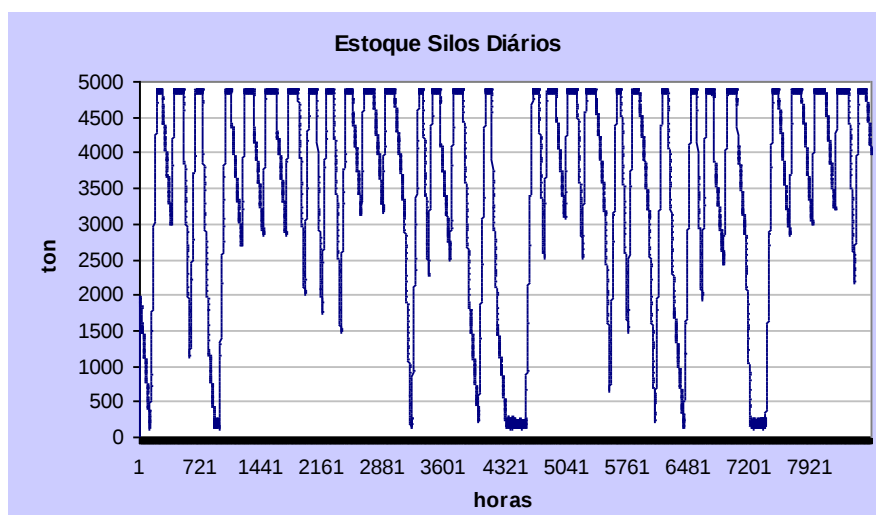


Gráfico 19 - Nível de estoque dos silos diários (R3).

Fonte: o autor.

R4 e R5 – A entrada de mais um moinho em operação de 40ton/h possibilitou alguns benefícios ao processo, a saber:

- Não ocorrência de interrupções na produção;
- Maior volume de insumo moído nos silos diários (88% contra 70% em R1);
- Redução na taxa de ocupação dos moinhos (73% contra 88%) com maior disponibilidade para manutenções preventivas;

- Redução no número de pedidos aos fornecedores com aumento da quantidade de veículos por pedido.

Entretanto, o custo para investimento em moinhos desse porte é da ordem de R\$ 25,0 milhões e a simulação utilizando um moinho com a $\frac{1}{2}$ da capacidade de moagem foi de extrema importância, como pode ser observado em R5 (20ton/h contra 40ton/h).

O resultado em R5 foi similar aos números alcançados em R4. Entretanto, um nível médio de estoque menor nos silos diários (84% contra 88%) foi determinante para a ocorrência de 18 horas de interrupção de produção.

Não obstante o resultado, conclui-se que o processo de moagem é um gargalo para a cadeia de suprimentos e a aquisição de um novo moinho é primordial para o balanceamento da cadeia no cenário de expansão.

As demais rodadas de simulação procuraram conjugar o moinho testado em R5 com novas alternativas ao longo da cadeia.

O Gráfico 20 indica que o nível de estoque no silo bruto possui grande variabilidade e não disponibiliza o insumo bruto para o processo de moagem em volume necessário para mantê-lo atuando.

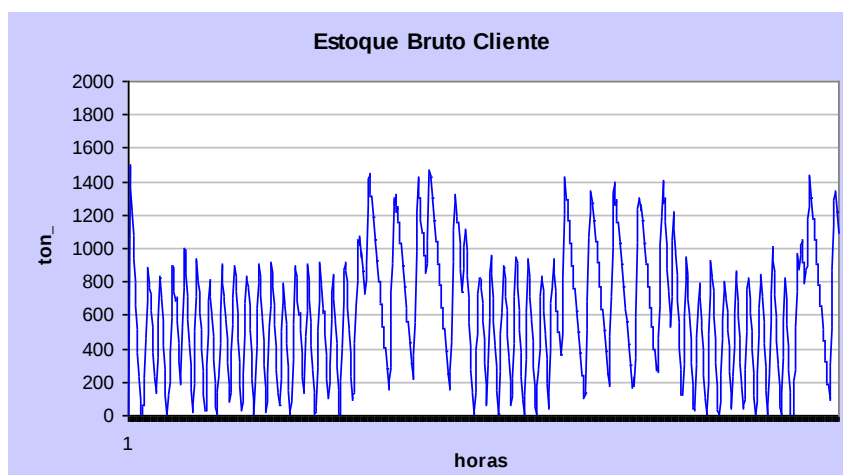


Gráfico 20 - Nível de estoque do silo bruto (R5) - parte dos resultados.

Fonte: o autor.

R6 e R7 – O aumento dos recursos durante a fase de recebimento do insumo – balança e descarga – somente demonstrou ser um benefício para a cadeia quando

foi associada à mudança na capacidade nominal das carretas (de 30 para 40ton) com a utilização de bi-trem.

As taxas de ocupação da balança e da área de descarga, bem como os *lead-times* (total e no recebimento) caíram mais em função da redução do número médio de veículos por pedido (de 49 carretas para 37 bi-trem em R7) do que em função do aumento da quantidade de recursos disponíveis para atendê-los durante o recebimento.

R8 e R9 – Quando a mudança no tipo de veículo para transporte (R7) vem associado com o aumento da capacidade de armazenagem (R8) e da capacidade nominal de produção nos fornecedores (R9), o resultado observado não foi substancialmente diferente dos alcançados nas últimas duas rodadas de simulação.

Desta forma, a elevação do nível médio dos estoques nos fornecedores deverá representar um aumento do capital imobilizado, sem que necessariamente represente um ganho para o desempenho da cadeia de suprimentos.

O resultado aponta no sentido de que os fornecedores estão dimensionados adequadamente, em termos de capacidade produtiva e área de armazenagem, para atender a nova demanda de consumo do cliente.

R10 e R12 – A redução na disponibilidade atual do moinho em 20% ou o aumento da capacidade de estocagem do silo bruto em 25%, sem que haja investimentos no processo de moagem, reforçam as conclusões apresentadas nas simulações R4 e R5.

A redução na disponibilidade atual do moinho apresentou o pior resultado entre todas as simulações realizadas (440 horas ou 18,3 dias de interrupção na produção), o que demonstra o papel fundamental dos moinhos no reequilíbrio de toda a cadeia.

R11 – O aumento do tempo da rota entre os fornecedores e o cliente em 100% (de 3h para 6h em média), motivado pelo aumento do número de veículos circulando pelas vias Federais e pelo tempo em fila aguardando disponibilidade do sistema de pesagem e descarga no cliente, gerou o segundo pior resultado entre as simulações.

O tempo de transporte do insumo, dos fornecedores até o cliente, é fator determinante no *lead-time* total do pedido (6,8h contra 4,2h em R1) e compromete diretamente o nível de estoque do silo bruto (23% contra 32% em R1) e os demais processos na seqüência de produção.

Os tempos atuais de entrega dos pedidos são considerados adequados, dado a proximidade dos fornecedores ao cliente (entre 120-150 km). Entretanto, atenção especial deve ser dada para que a ocorrência de fila ao longo do processo não comprometa o desempenho atual.

R13 - Como forma de balancear a cadeia para atender ao novo cenário, a opção adotada foi o aumento da capacidade de estocagem do silo diário em 10% e a instalação de um moinho adicional com capacidade nominal de 20ton/h.

O desempenho favorável da cadeia de suprimentos, quando adotadas as opções acima, pode ser constatado na Tabela 17, quando comparado ao melhor resultado alcançado nas demais simulações (R4):

Resultados Alcançados	R13	R4	Conclusão
Não ocorrência de interrupções na produção	0	0	Equivalente
Aumento do nível médio dos estoques nos silos diários	84%	88%	Os resultados esperados devem ser acima de 80%
Redução da taxa de ocupação dos moinhos, possibilitando o planejamento de manutenções preventivas	78%	73%	Os resultados esperados devem ser abaixo de 80%
Nível médio de estoque no silo bruto.	30%	28%	Equivalente
Taxas de ocupação da balança.	29%	29%	Equivalente
Taxas de ocupação da descarga.	59%	59%	Equivalente
<i>Lead-times</i> total do pedido.	4,54h	4,58h	Equivalente
<i>Lead-times</i> do recebimento.	1,04h	0,92h	Equivalente
Redução no nível médio de estoque nos fornecedores em 5%.	3240t	3407t	-

Tabela 17 - Cenário C.e1.A – Resultados alcançados.

Fonte: o autor.

O comportamento final do nível de estoque nos silos diários, um dos principais fatores para a não ocorrência de interrupções na produção está demonstrado no Gráfico 21.

Durante as campanhas de produção de menor consumo (DR-MX) o nível do silo alcança o limite superior, voltando a reduzir durante as campanhas de maior consumo. Nesse momento, a reposição do insumo nos silos pelos moinhos é vital para a sustentação das demandas impostas pelo sistema.

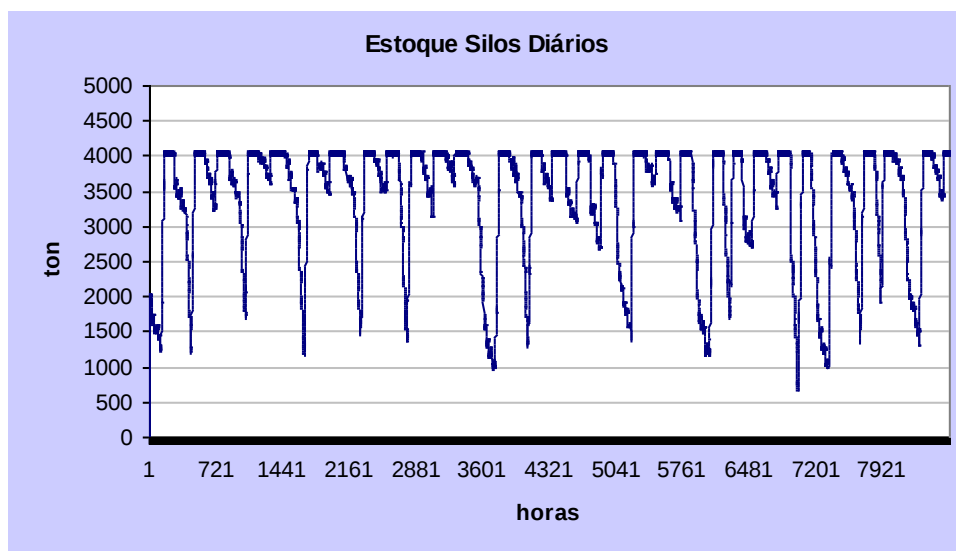


Gráfico 21 - Nível de Estoque Silos Diários.

Fonte: o autor.

5.3.2. Cenário C.e2.A

Utilizando uma estrutura similar ao cenário anterior, para a análise desse cenário foi observado o comportamento de 17 variáveis, sendo que uma delas permaneceu constante durante todas as simulações.

Os resultados alcançados nas simulações foram organizados na Tabela 18, com o intuito, mais uma vez, de se avaliar progressivamente o desempenho do sistema através de comparações com a proposição anterior.

Cenário C.e2.A	Unid.	Resultados das rodadas de simulação												
Variáveis		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Interrupção de produção.	horas	404	212	136	8	11	570	313	211	481	290	0	4	0
Estoque médio nos silos diários.	ton	760	904	1111	1210	1235	715	819	832	714	794	1271	1112	1228
Nível de estoque médio dos silos diários.	%	59	65	67	95	96	56	64	65	56	62	99	87	96
Desempenho médio das bombas.	ton/h	13	13	13	18	23	13	13	13	11	13	20	15	15
Taxa de ocupação das bombas.	%	76	75	88	55	42	77	72	73	82	75	45	54	56
Estoque médio nos silos brutos.	ton	1784	1790	1783	2104	2065	2761	1831	2819	1893	2080	3093	2946	2898
Nível de estoque médio do silo bruto.	%	51	51	51	60	59	79	52	81	54	59	88	84	83
Taxa de ocupação da área descarga.	%	23	22	23	26	25	23	21	21	19	22	23	22	22
Taxa de ocupação da balança.	%	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3
Estoque médio nos fornecedores.	ton	3555	3590	3546	3452	3551	3570	4089	4594	3585	3731	3603	3647	3594
Nível de estoque médio nos fornecedores.	%	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Lead-time de recebimento no cliente.	horas	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	1,31	0,99	0,98	0,99
Lead-time total do pedido.	horas	88	88	87	107	105	89	88	89	87	44	106	95	95
Lead-time total máximo do pedido.	horas	147	147	145	179	178	177	144	178	126	63	186	174	179
Número de pedidos	Unid.	196	191	211	129	123	196	182	173	186	123	112	131	136
Número médio de veículos por pedido	Unid.	15	15	14	26	26	15	15	16	13	23	26	21	21
Capacidade do veículo.	ton	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)	T(30, 35, 40)
Simulações Propostas (conf. Tabela 4)		I	II	II	III	III	I e IV	VII	I, IV, VII e VIII	I e IX	I e IX	I III e IV	I III e IV	I, II III e IV

Tabela 18 - Cenário C.e2.A - Resultado das Simulações. Fonte: o autor.

Análise dos Resultados

Em níveis mais críticos do que o constatado para o *Insumo1*, o resultado da simulação, diante de um novo cenário (C.e2.A), foi de 404 horas de interrupção na produção, ou em torno de 16,8 dias, conforme Gráfico 22. Esse tempo, caso não fosse viabilizado uma saída alternativa, representaria uma perda de faturamento da ordem de US\$ 100,0 milhões⁶, considerando-se o lucro cessante de uma hora parada de produção.

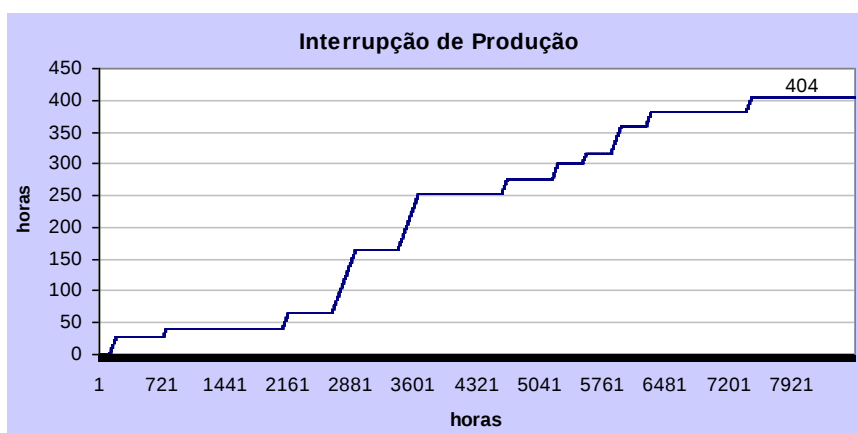


Gráfico 22 - Interrupção da produção do *Insumo2* em horas – Cenário C.e2.A.

Fonte: o autor.

Na busca de um reequilíbrio da cadeia de suprimentos relativa do *Insumo2* as proposições adotadas foram similares às utilizadas para o *Insumo1*, conforme apresentado na Tabela 15. Entretanto, algumas condições observadas durante as simulações, diferentes do *Insumo1*, devem ser ressaltadas, a saber:

- A instalação de um sistema adicional de bombas (R4: +65% da capacidade atual instalada, passando de 15 para 25ton/h, e R5: dobrando a capacidade atual instalada, passando de 15 para 30ton/h) demonstraram não ser, por si só, suficientes para garantirem a não interrupção da produção, embora tenham reduzido significativamente o resultado de R1.

Vale ressaltar que, assim como os moinhos para o *Insumo1*, o sistema de bombeamento de produto do galpão para os silos diários representa um

⁶ Valores estimados em função de confidencialidade dos dados.

gargalo operacional para o adequado desempenho da cadeia, conforme demonstrado em R11;

- O aumento da capacidade de estocagem do galpão (insumo antes do sistema de bombas) em 30% e do nível do estoque de segurança em 50%, quando realizados de forma isolada, não foi efetivo e apresentou resultados similares aos encontrados em R1;
- O aumento na quantidade de recursos disponíveis durante o recebimento no cliente (balança e área de descarga) não foram simulados, em função das baixas taxas de ocupação desses recursos (3% e 23%, respectivamente). O número médio de veículos por pedido é menor quando comparado a outros insumos (15 contra 50 do *Insumo1*) e a área de descarga é dedicada para o insumo;
- O aumento da capacidade dos veículos utilizados para transporte não foi simulado, dado a elevada utilização de bi-trem e treminhões. Atualmente, os veículos disponíveis para transporte rodoviário, com capacidades nominais superiores às utilizadas no modelo, não são economicamente viáveis para esse tipo de carga;
- Algumas proposições simuladas não apresentaram resultados satisfatórios, tais como:
 - (1) R9 – aumento de 25% da capacidade de armazenagem no fornecedor;
 - (2) R10 – aumento de 30% da capacidade nominal de produção no fornecedor, associado a R6 e R9;
 - (3) R12 – redução de 50% no tempo de rota entre o fornecedor e o cliente com a substituição do atual fornecedor por outro com distância geográfica 50% menor.

Duas simulações atingiram ao objetivo principal de reequilibrar a cadeia dentro do novo cenário de consumo, R13 e R15.

R13 – Instalação de mais um sistema de bombeamento com capacidade nominal de 10ton/h (R4), associado ao aumento de 30% da capacidade máxima de estocagem no galpão e de 50% no estoque de segurança (R6).

R15 – trata-se de um ajuste na rodada de simulação R13, com a redução de 50% no sistema de bombeamento proposto, de 10 para 5 ton/h, mais economicamente viável.

O quadro comparativo entre os resultados alcançados em R13 e R15, contra R1, encontra-se demonstrado na Tabela 19 e nos Gráficos 7 e 8.

Resultados Alcançados	R13	R15	R1	Observações
Não ocorrência de interrupções na produção	0	0	404h	-
Aumento do nível médio dos estoques nos silos diários	99%	96%	59%	Os resultados esperados devem ser acima de 80%
Redução da taxa de ocupação dos moinhos, possibilitando o planejamento de manutenções preventivas	45%	56%	76%	Os resultados esperados devem ser abaixo de 60%
Aumento do nível médio de estoque no galpão.	88%	83%	51%	Insumos com lead-time médio devem manter níveis mais elevados de estoque.
Aumento do <i>lead-time</i> total do pedido.	106h	95h	88h	Função do número de pedidos e de veículos por pedido.
<i>Lead-times</i> do recebimento.	0,99h	0,99h	0,97h	Equivalente
Redução do número de pedidos em 30-40%	112	136	196	Aumento do estoque no galpão permitiu número menor de pedidos associado a número maior de veículos por pedido.
Aumento do número médio de veículos por pedido em 40 a 70%.	26	21	15	
Manutenção do nível médio de estoque nos fornecedores.	3603	3594	3555	Equivalente

Tabela 19 - Cenário C.e2.A - Resultados alcançados.

Fonte: o autor.

O nível médio dos estoques nos silos diários, embora com resultados acima do esperado, demonstram uma saturação de sua capacidade nominal, principalmente em R13, conforme Gráficos 23 e 24.

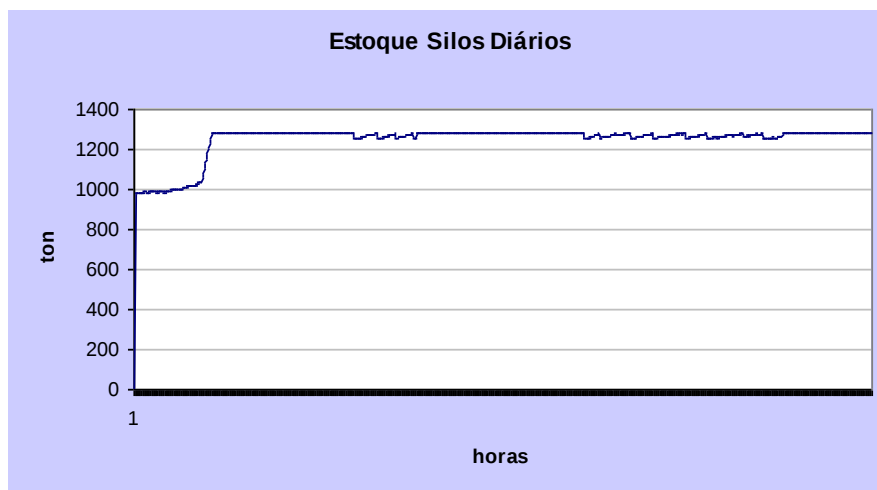


Gráfico 23 - Nível de estoque nos silos diários em R13.

Fonte: o autor.

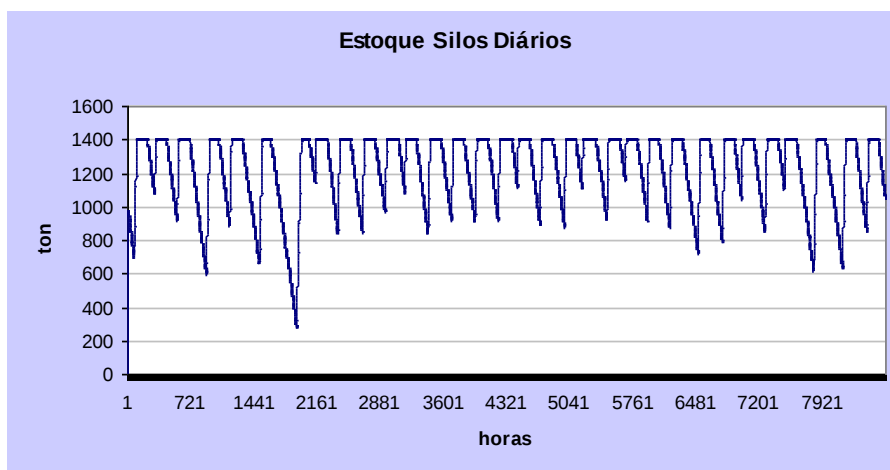


Gráfico 24 - Nível de estoque nos silos diários em R15.

Fonte: o autor.

Esse comportamento final do nível de estoque nos silos diários indica a não ocorrência de interrupções na produção. O resultado mais apropriado foi R13 por permitir uma melhor taxa de ocupação dos moinhos.

Durante as campanhas de produção onde não há consumo do insumo (DR-MX), o nível do silo alcança o limite superior, reduzindo gradativamente a quantidade estocada durante as campanhas onde há consumo.

Os gráficos relativos às simulações R13 e R15 podem ser observados, em sua totalidade, no **APÊNDICE B**.

5.3.3. Cenário C.e3.A

Para a análise desse cenário foi observado o comportamento de 16 variáveis, sendo que uma delas permaneceu constante durante todas as simulações.

Os resultados alcançados nas simulações foram organizados na Tabela 20.

Cenário	Unid.	Resultados																		
C.e3.A		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19
Interrupção de produção.	horas	1240	0	0	0	0	259	274	250	0	3	26	10	5	4	12	0	0	16	190
Estoque médio nos silos diários.	ton	56	872	869	1167	1315	99	235	220	1118	865	628	686	700	883	1015	1088	1080	1077	1011
Nível de estoque médio dos silos diários.	%	6	97	97	97	97	7	26	18	93	72	70	76	78	98	75	91	90	90	84
Desempenho médio dos moinhos.	ton/h	62	79	69	69	69	60	70	70	82	75	74	74	74	75	75	78	78	78	77
Taxa de ocupação dos moinhos.	%	85	76	89	89	89	100	86	86	75	83	83	83	83	83	83	79	79	79	77
Estoque médio nos silos brutos/pátio.	ton	41.505	35.289	34.963	36.370	33.344	36.606	35.268	35.664	33.580	36.143	36.097	41.626	44.158	46.407	44.930	42.463	34.999	35.796	32.338
Nível de estoque médio do silo bruto.	%	37	35	35	36	33	37	35	36	34	36	36	42	44	46	45	42	35	36	32
Estoque médio no porto de embarque.	ton	53.391	50.774	51.571	51.704	51.000	51.588	51.806	51.576	51.304	51.226	50.711	48.960	78.038	77.953	77.447	77.265	52.788	52.509	77.474
Nível de estoque médio no porto de embarque.	%	89	56	57	57	57	57	58	57	57	57	56	54	87	87	86	86	59	58	86
Estoque médio nos fornecedores.	ton	16.912	16.379	16.908	20.642	20.289	16.529	18.481	17.391	20.790	20.028	16.795	16.415	19.790	19.404	20.567	18.126	23.860	17.808	16.871
Nível de estoque médio nos fornecedores.	%	42	41	42	52	51	41	46	43	52	50	42	41	49	49	51	45	60	45	42
Lead-time de recebimento no cliente.	horas	127	125	121	120	127	120	122	122	123	123	127	162	167	166	163	160	119	125	169
Lead-time total do pedido.	horas	606	623	610	585	662	598	637	620	630	599	621	743	730	706	707	720	613	832	878
Taxa de ocupação de descarga do navio.	%	14	15	16	16	16	14	14	14	14	14	16	15	16	16	15	14	15	15	16
Capacidade do navio.	ton	N(50000,5000)											N(75000,5000)					N(50000,5000)		N(75000,5000)
Capacidade do caminhão na descarga.	ton	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Simulações Propostas (conf. Tabela 4)		I	III	III	II e III	II e III	II	III e IX	II, III e IX	II, III e IX	II, III e IX	III e IX	III, VI e IX	III, VI, VII e IX	II, III, VI, VII e IX	II, III, VI, VII e IX	II, III, VI, VII e IX	II, III e IX	II, III, IX e X	II, III, VI, VII, IX e X

Tabela 20 - Cenário C.e3.A - Resultado das Simulações. Fonte: o autor

Foram realizadas 19 rodadas de simulação, onde as variáveis em observação foram sendo gradativamente alteradas conforme apresentado na Tabela 21. O resultado da simulação anterior serviu de parâmetro para o estabelecimento da próxima proposição.

Rodadas de Simulação	Cenário C.e3.A
	Proposições
R2	Instalação de mais um moinho de 25ton/h com disponibilidade de 100%.
R3	Instalação de mais um moinho de 10ton/h com disponibilidade de 100%.
R4	Instalação de mais um moinho de 10ton/h e +30% na capacidade de estocagem nos silos diários (insumo moído) no cliente.
R5	Instalação de mais um moinho de 10ton/h e +50% na capacidade de estocagem nos silos diários (insumo moído) no cliente.
R6	+50% na capacidade de estoque moído no cliente (900 para 1350ton)
R7	Instalação de mais um moinho de 10ton/h com redução na disponibilidade do moinho em 10%.
R8	Instalação de mais um moinho de 10ton/h (disponibilidade de 90%) e + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R9	Instalação de mais um moinho de 25ton/h (disponibilidade de 90%) e + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R10	Instalação de mais um moinho de 15ton/h (disponibilidade de 90%) e + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R11	Instalação de mais um moinho de 15ton/h (disponibilidade de 90%).
R12	Instalação de mais um moinho de 15ton/h (disponibilidade de 90%) e + 50% na capacidade nominal dos navios.
R13	Instalação de mais um moinho de 15ton/h (disponibilidade de 90%), + 50% na capacidade nominal dos navios e + 50% na capacidade de estocagem no porto de embarque.
R14	R13 e + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R15	R14 e + 50% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R16	Instalação de mais um moinho de 20ton/h, + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído), + 50% na capacidade nominal dos navios e + 50% na capacidade de estocagem no porto de embarque.
R17	Instalação de mais um moinho de 20ton/h, + 30% na capacidade de estocagem nos silos diários (moído).
R18	R16 e +50% no tempo de rota fornecedor (porto de embarque)-cliente.
R19	R17 e +50% no tempo de rota fornecedor (porto de embarque)-cliente.

Tabela 21 - Proposições para o cenário C.e3.A.

Fonte: o autor.

Para as simulações de R2 a R5 foi parametrizado a inclusão de um moinho adicional com 100% de disponibilidade. A partir da simulação R7 adotou-se uma redução de 10% no desempenho do moinho. Os motivos serão detalhados durante a análise dos resultados adiante.

Análise dos Resultados

O resultado da simulação – R1, diante de um novo cenário (C.e3.A), foi de 275 horas de interrupção na produção, ou em torno de 11,5 dias, conforme Gráfico 25. Esse tempo, caso não fosse viabilizado uma saída alternativa, representaria uma perda de faturamento da ordem de US\$ 70,0 milhões⁷, considerando-se o lucro cessante de uma hora parada de produção.

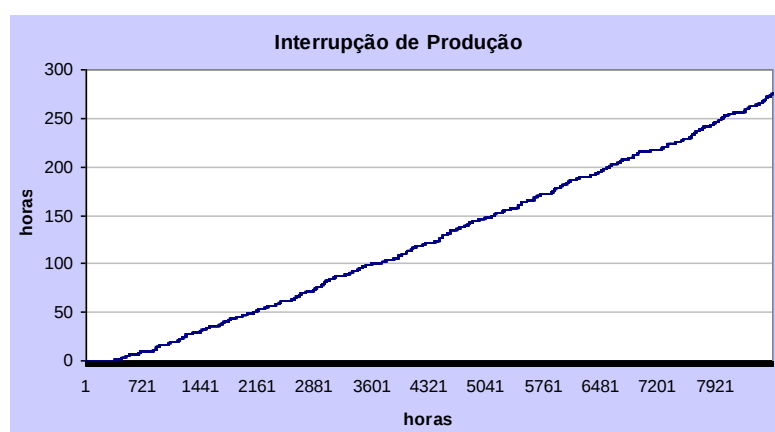


Gráfico 25 - C.e3.A - Interrupção da produção em horas.

Fonte: o autor.

Seguindo os passos estabelecidos na tabela 21, as principais constatações observadas foram:

- A inclusão de mais um moinho nas primeiras simulações (R2 a R5) possibilitou a não ocorrência de interrupção na produção. Entretanto, a disponibilidade adotada para os moinhos durante o desenvolvimento do modelo foi de 100%, ou seja, o experimento considerou que não seria necessário qualquer tipo de intervenção para manutenção. Dessa forma, o

⁷ Valores estimados em função de confidencialidade dos dados.

desempenho do sistema, nessa parte da cadeia, ficou vinculado, primordialmente, à comparação entre a capacidade total nominal dos moinhos em relação ao novo perfil de consumo do insumo no processo.

O modelo foi adaptado para permitir uma redução estocástica de 10 a 15% no tempo de disponibilidade dos moinhos, aproximando ainda mais o modelo do sistema real.

A definição da capacidade adicional do moinho foi determinante ao longo de todas as simulações. Moinhos com maiores capacidades (25 ton/h) garantiriam um melhor desempenho da cadeia, entretanto o custo de investimento é considerado muito alto. O investimento em moinhos de 25 ton/h no mercado é da ordem de R\$ 25 milhões. Por outro lado, moinhos menores (10-15 ton/h), embora menos onerosos, poderiam não garantir a estabilidade da cadeia, comprometendo o resultado final.

Uma condição intermediária foi testada, entretanto conjugado com alternativas ao longo de toda a cadeia;

- O aumento da capacidade de estocagem dos silos diários e do silo bruto no cliente, bem como a instalação de moinhos de menor capacidade (10-15 ton/h), quando aplicadas de forma independente, não traz benefícios para a cadeia, conforme Gráfico 26. Quando associados ao investimento em novos moinhos, melhoram o desempenho do sistema;

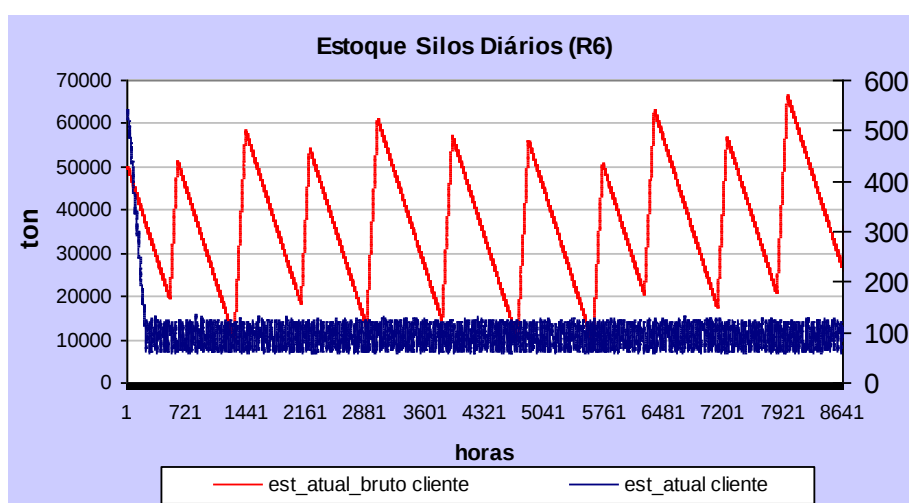


Gráfico 26 - Estoques nos silos diários e bruto (R6).

Fonte: o autor.

- O nível de estoque de segurança no silo bruto, ou pátio, deve ser suficiente para garantir a quantidade demanda pelos moinhos entre o recebimento das cargas por navio;
- A alteração no porte do navio, pela substituição de navios tipo Handymax para Panamax, e o aumento do tempo de rota entre o porto de embarque, nos fornecedores, até o cliente, em função de aquisições do produto em origens mais distantes geograficamente, não proporcionaram resultados favoráveis para a cadeia;
- A elevação dos leads-time avaliados - total e durante a fase de recebimento no cliente, incluso descarga do produto no porto de destino - podem comprometer a reposição dos estoques brutos. Uma avaliação criteriosa dos níveis de estoque no porto e nos fornecedores deve ser realizada a priori para garantir a carga do navio dentro das taxas de carregamento previstas no modelo;
- Conjugando-se adequadamente a capacidade instalada dos silos diários, do silo bruto e pátio e de um moinho adicional de 20 ton/h, assim como o tipo de navio e o estoque disponível no porto de embarque, o reequilíbrio da cadeia de suprimentos será restabelecido.

Um experimento adicional foi realizado com o objetivo de verificar a estabilidade do sistema caso seja mantida a condição original relativa aos fornecedores e aos modos de transporte. Os resultados estão consolidados e apresentados na Tabela 22.

Resultados Alcançados - C.e3.A	R16	R17	R1	Conclusão - Resumo
Interrupção na produção em horas.	0	0	1.240	-
Aumento do nível médio dos estoques nos silos diários	91%	90%	6%	Os resultados esperados devem ser acima de 80%.
Redução da taxa de ocupação dos moinhos, possibilitando o planejamento de manutenções preventivas	79%	79%	85%	Os resultados esperados devem ser abaixo de 80%.
Nível médio de estoque no silo bruto.	42%	35%	37%	Os resultados esperados devem tender a 50% para suportar demanda dos moinhos.
Nível médio de estoque no porto de embarque.	86%	59%	58%	Relação direta com a demanda gerada pela capac. do navio.
Nível médio de estoque nos fornecedores.	45%	60%	42%	Estoques dimensionados para atender demanda no porto origem.
Lead-times total do pedido.	720h	613h	606h	Lead-times aumentam em função do número médio de pedidos e da capacidade do navio.
Lead-times do recebimento.	160h	119h	127h	
Capacidade dos navios	75kton	50kton	50kton	Mudança de navio Handymax para Panamax.

Tabela 22 - Resultados alcançados em C.e3.A.

Fonte: o autor.

Embora as duas simulações, R16 e R17, atendam ao objetivo do estudo, o segundo experimento demonstrou que investimentos no processo produtivo do cliente serão suficientes para o atendimento ao novo cenário.

O transporte com o uso de navios de maior porte deve reduzir o custo total de movimentação do insumo (afretamento marítimo), dado a diluição dos custos fixos do transportador. Entretanto, o aumento do *lead-time* total imputará sobre os primeiros elos da cadeia um aumento dos níveis atuais de estoque, de forma a garantir volumes de insumo bruto suficiente para atender às novas demandas do processo de moagem.

Importante destacar, portanto, que o gargalo da cadeia de suprimentos do *Insumo3* está no processo produtivo do cliente. Os elos referentes aos fornecedores e transportador estão preparados para atender ao novo cenário.

Dessa forma, R17 foi apontado como o mais adequado para reequilíbrio da cadeia e alguns resultados podem ser observados nos Gráficos 27 e 28.

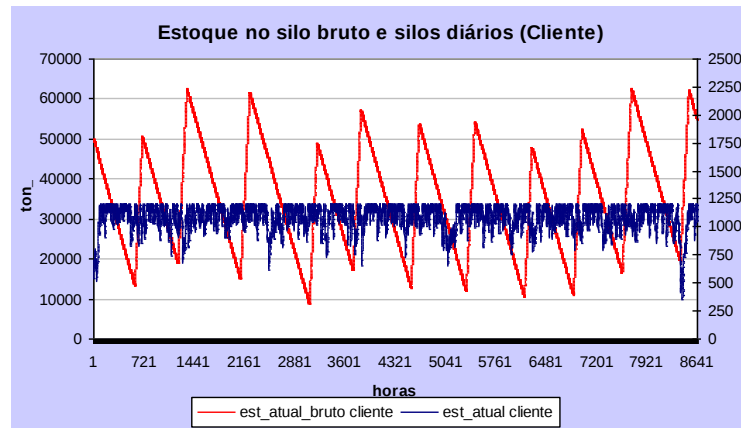


Gráfico 27 - R17 - resultados alcançados no cliente. *Fonte: o autor*

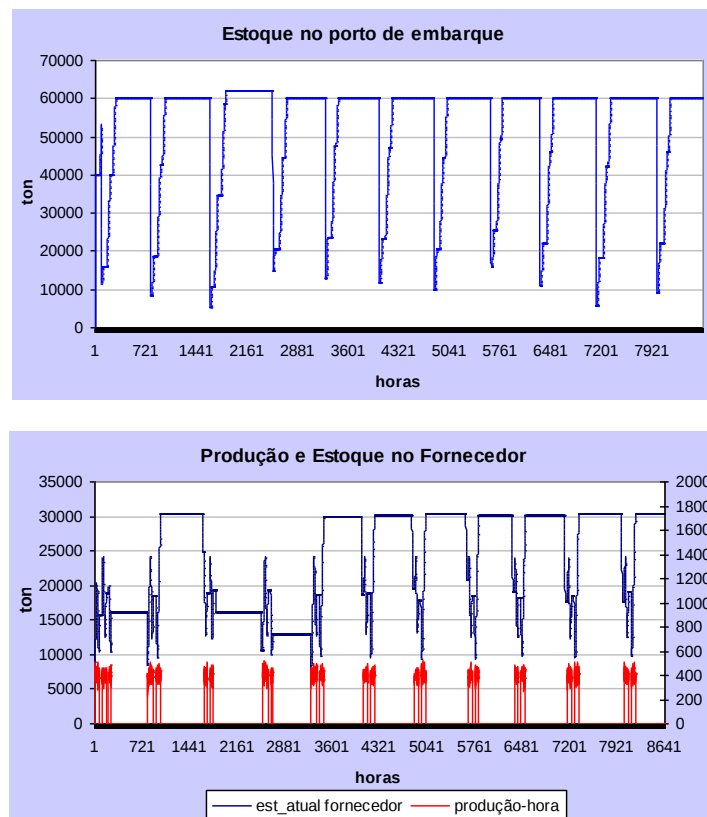


Gráfico 28 - R17 - resultados no fornecedor e porto de embarque. *Fonte: o autor*

5.3.4. Cenário C.e1.B

Para a análise desse cenário foi observado o comportamento de 16 variáveis, sendo que uma delas permaneceu constante durante todas as simulações.

Por tratar-se de uma adaptação ao modelo utilizado para análise do cenário C.e1.A, os experimentos deram seqüência aos resultados alcançados no cenário anterior, ou seja, em R13. Esse experimento também serviu de base comparativa para as melhores proposições registradas a partir do uso do modo ferroviário como alternativa ao transporte rodoviário original.

Os resultados alcançados nas simulações foram organizados e apresentados na Tabela 23.

Cenário C.e1.B	Unid.	Resultados das rodadas de simulação								
Variáveis		R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21
Interrupção de produção.	horas	0	1565	259	338	319	0	0	0	0
Estoque médio nos silos diários.	ton	3409	855	2640	2436	2635	4009	3604	3822	3511
Nível de estoque médio dos silos diários.	%	84%	23%	65%	60%	65%	98%	89%	94%	86%
Desempenho médio dos moinhos.	ton/h	131	97	124	127	130	143	141	141	131
Taxa de ocupação dos moinhos.	%	78%	68%	74%	73%	66%	69%	71%	68%	75%
Estoque médio nos silos brutos.	ton	603	530	779	1310	1232	2732	1905	3779	3707
Nível de estoque médio do silo bruto.	%	30%	26%	39%	33%	31%	68%	48%	47%	46%
Taxa de ocupação da área descarga.	%	59%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Taxa de ocupação da balança.	%	29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Estoque médio nos fornecedores.	ton	3240	3910	3765	5457	5540	5389	5665	5242	5136
Nível de estoque médio nos fornecedores.	%	72%	87%	84%	68%	69%	67%	71%	66%	64%
Lead-time de recebimento no cliente.	horas	1,04h	2,04h	2,00h	4,01	3,99h	2,10h	3,16	6,2	6,2
Lead-time total do pedido.	horas	4,54h	6,46h	6,34h	10,94h	10,90h	6,55h	9,00	20,0	18,06
Número de pedidos.	Unid.	218	369	392	188	189	377	257	124	126
Número médio de vagões por pedido	Unid.	51	31	30	63	63	31	46	95	93
Capacidade do veículo.	ton	30	60	60	60	60	60	60	60	60
Simulações Propostas (conf. Tabela 4)		II e III	VI	II, III e VI	II, III, VI e VII	II, III, IV, VI e VII	II, III, IV, VI e VII	II, III, IV, VI, VII e XI	II, III, IV, VI, VII e XI	II, III, IV, VI, VII e XI

Tabela 23 - Cenário C.e1.B - Resultado das Simulações. Fonte: o autor.

Como nos cenários anteriores, foram realizados oito experimentos, onde as variáveis em observação seguiram a lógica ilustrada na Tabela 24. Novamente, o resultado da simulação anterior serviu de parâmetro para o estabelecimento da próxima proposição.

Rodadas de Simulação	Cenário C.e1.B
	Proposições
R13	Resultado alcançado em C.e1.A
R14	Adoção do transporte ferroviário dos fornecedores ao cliente como alternativa.
R15	Instalação de mais um moinho de 20ton/h e +10% na capacidade de estocagem nos silos diários (insumo moído) no cliente.
R16	R15, + 75% na capacidade de armazenagem nos fornecedores (estoque alvo).
R17	Instalação de mais um moinho de 40ton/h, +10% na capacidade de estocagem nos silos diários (insumo moído) no cliente, +30% na capacidade de estocagem no silo bruto e + 75% na capacidade de armazenagem nos fornecedores (estoque alvo).
R18	R17, aumentando o nível de estoque de segurança no silo bruto no cliente em 200%.
R19	R18 e aumento de 100% do tempo de gestão (de 12 para 24h).
R20	R17, +100% no tempo de gestão (de 12 para 24h) e +100% no nível de estocagem no silo bruto (estoque alvo) de 4000 para 8000t.
R21	R15, +100% no nível de estocagem no silo bruto (estoque alvo) de 4000 para 8000t, + 75% na capacidade de armazenagem nos fornecedores (estoque alvo) e +100% no tempo de gestão (de 12 para 24h).

Tabela 24 - Proposições para o cenário C.e1.B.

Fonte: o autor.

Análise dos Resultados

Os quatro últimos experimentos, R18 a R20, alcançaram o objetivo de não gerar interrupções na produção do cliente, entretanto, tomando-se como base a similaridade dos resultados encontrados, dois pontos será cruciais para definição do experimento mais adequado para esse cenário, a saber:

- Capacidade de armazenagem no silo bruto do cliente – estoque máximo, alvo e de segurança;
- Capacidade nominal do moinho adicional (20 ou 40 ton/h).

Outras variáveis foram simultaneamente alteradas, como forma de garantir o desempenho esperado da cadeia, tais como:

- Aumento de 10% na capacidade de armazenagem nos silos diários;
- Aumento de 100% no tempo de gestão – de 12 para 24h;
- Aumento de 75% na capacidade de armazenagem de produto acabado.

Todas essas variáveis, quando conjugadas adequadamente, permitiram o reequilíbrio da cadeia de suprimentos do *Insumo1*, possibilitando o uso do modo ferroviário como alternativa ao modelo atual.

Os resultados alcançados estão indicados na tabela 25.

Resultados Alcançados - C.e1.B	R19	R21	R1	Conclusão - Resumo
Interrupção na produção em horas.	0	0	1.565h	-
Aumento do nível médio dos estoques nos silos diários	89%	86%	23%	Os resultados esperados devem ser acima de 80%
Manutenção da taxa de ocupação dos moinhos, possibilitando o planejamento de manutenções preventivas	71%	75%	68%	Os resultados esperados devem ser abaixo de 80%
Nível médio de estoque no silo bruto.	48%	46%	26%	Os resultados esperados devem ser em torno de 50% para suportar moinhos.
Nível médio de estoque nos fornecedores.	71%	64%	87%	Redução devido ao aumento do estoque alvo e de segurança.
Lead-times total do pedido.	9,0h	18,1h	6,5	Lead-times aumentam em função do número médio de vagões e do tempo para realizar novo pedido (gestão)
Lead-times do recebimento.	3,2h	6,2h	2,0h	
Número médio de pedidos	257	126	369	Relação inversa com o nível de estoque esperado no silo bruto e pátio.
Número médio de vagões por pedido	46	93	31	Relação direta com o nível de estoque esperado no silo bruto e pátio.

Tabela 25 - Resultados alcançados em C.e1.B.

Fonte: o autor.

Os experimentos R19 e R21 apresentaram números muito similares.

A principal diferença, a favor de R21, é o investimento em um moinho adicional com a metade da capacidade nominal quando comparado a R19 (20 contra

40 ton/h), o que representará um montante significativamente menor em termos de desembolso de capital.

Em contrapartida, são fatores potencialmente desfavoráveis ao experimento R21: (1) os níveis de estoque de insumo bruto planejado (8.000 contra 4.000ton para o estoque alvo e 4.000 contra 3.000 do estoque de segurança) ou o dobro do planejado para o experimento R19; (2) maior *lead-time* total do pedido (18h contra 9h) e no recebimento da carga no cliente (6,2 contra 3,2h), ou praticamente o dobro quando comparado a R19.

No segundo fator, como o tempo de gestão foi equiparado nos dois experimentos, passando de 12h para 24h, o incremento no *lead-time* está associado ao maior volume de estoque bruto planejado.

Portanto, para melhor avaliar os fatores desfavoráveis ao experimento R21 foi importante entender as razões que levaram ao aumento dos fatores indicados acima.

Segundo a lógica aplicada no modelo, e validada para o sistema real, a postergação na gestão, associada a uma maior demanda pelo insumo bruto, propiciará um número menor de pedidos junto aos fornecedores (126 contra 257 em R19, em média). Em contrapartida, a quantidade de insumo solicitado em cada pedido será maior, gerando como consequência imediata um aumento do número médio de vagões por pedido (93 contra 46 vagões em R19) e uma elevação dos *lead-time* do pedido e de recebimento.

Vale ressaltar que para o modelo em questão o *lead-time* total do pedido considera, entre outros fatores, o carregamento dos vagões e a formação das composições ferroviárias próximo aos fornecedores, a movimentação até o cliente e a descarga dos vagões nos *car-dumpers* até a área de estocagem do insumo bruto.

Quanto ao aumento do nível de estoque do insumo bruto, esse se fez necessário para garantir o suprimento mais uniforme nos moinhos, dado a sua menor capacidade de moagem quando comparado ao adotado em R19.

Por todas essas razões, o experimento R21 foi designado como o mais adequado para reequilíbrio da cadeia e alguns resultados podem ser observados nos Gráficos 29 e 30.

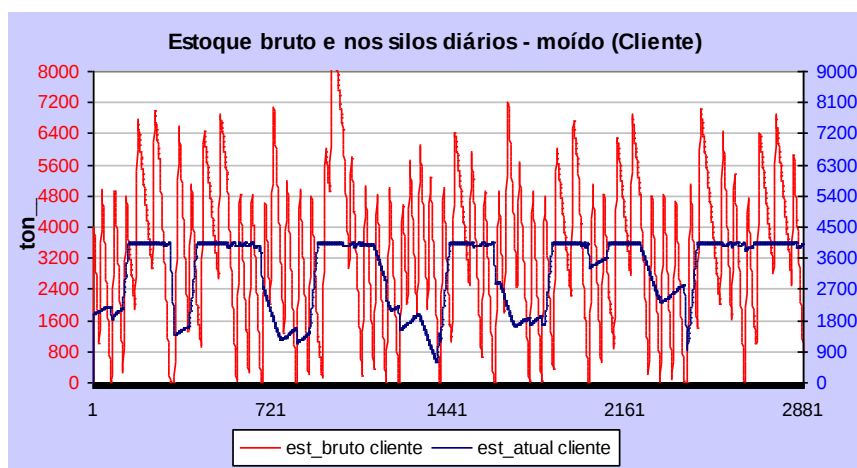


Gráfico 29 - C.e1.B - Resultados alcançados - Cliente.

Fonte: o autor.

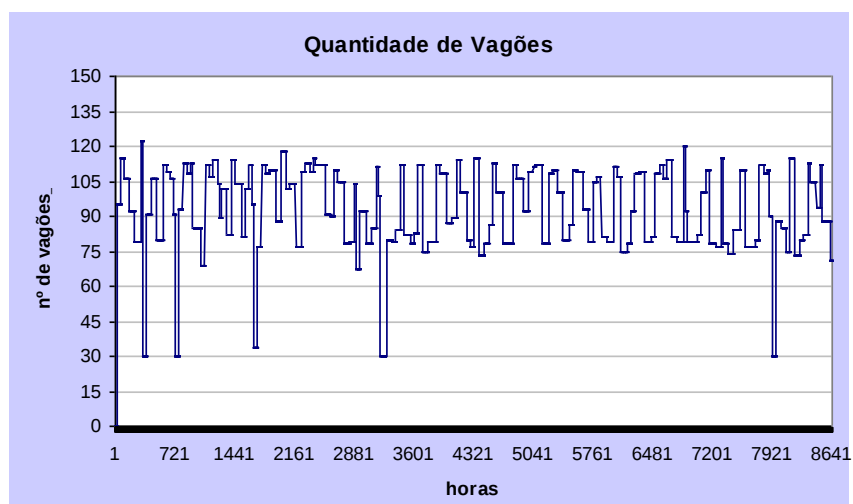


Gráfico 30 - C.e1.B - Resultados Alcançados - Transportador.

Fonte: o autor.

5.4. Indicadores de Desempenho

De forma alinhada com a revisão bibliográfica realizada no capítulo 2, este capítulo tem como objetivo definir o conjunto de indicadores a ser utilizado na avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos de insumos na empresa objeto desse estudo.

O processo de escolha dos indicadores de desempenho mais apropriados para a cadeia de suprimento, segundo Beamon (1999), deve abranger três tipos de indicadores: (1) A adequada utilização dos recursos – níveis de estoque, utilização de equipamentos, etc., (2) a saída desejada – horas de interrupção da produção, produção, consumo específico, lead-time, etc., e (3) a flexibilidade, ou seja, quão bem o sistema reage a incertezas – número de pedidos em função de demandas de consumo, níveis de estoque e capacidade dos modos de transporte.

O conjunto de indicadores proposto nesse capítulo teve como objetivo a avaliação comparativa entre as rodadas de simulação para cada cenário avaliado e a análise individual do desempenho das principais variáveis relativas a cadeia de suprimentos em observação.

5.4.1. Análise comparativa das corridas através de indicadores

Com intuito de permitir uma melhor avaliação do desempenho do modelo durante as rodadas de simulação, ao final de cada corrida os resultados alcançados foram consolidados e analisados em grupos correlatos, conforme Gráficos 31, 32, 33 e 34, até que fosse atingido o objetivo proposto para o estudo.

Dessa forma foi possível perceber as tendências das principais variáveis em observação, propor novas alternativas e buscar o reequilíbrio de todos os elos da cadeia perante aos novos cenários.

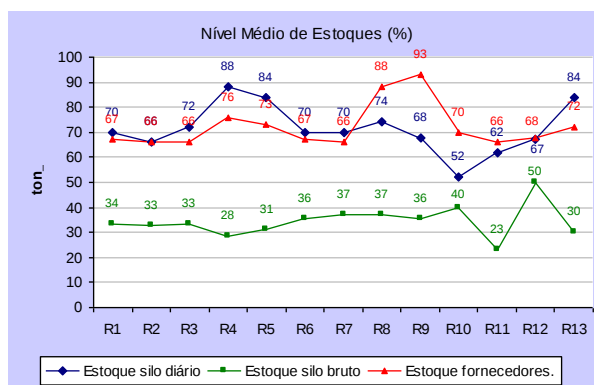


Gráfico 31 - Análises comparativas "Níveis Médios de Estoque". *Fonte: o autor.*

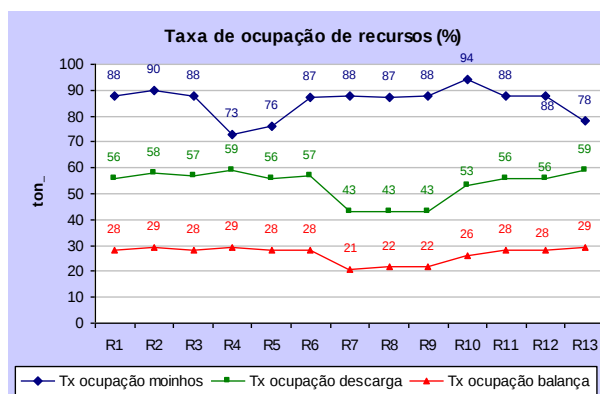


Gráfico 32 - Análise Comparativa "Taxa de ocupação de recursos". *Fonte: o autor.*

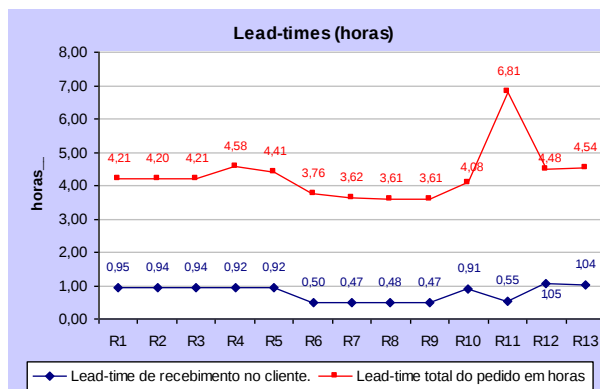
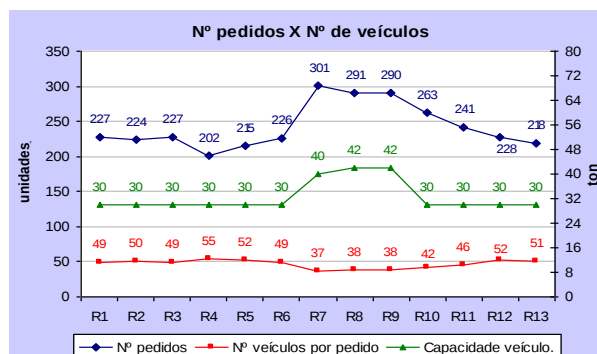


Gráfico 33 - Análise Comparativa "Lead-times". *Fonte: o autor.*



Gráficos 34 - Análise comparativa "N° pedidos x n° veículos". *Fonte: o autor.*

5.4.2. Indicadores de desempenho da cadeia

A outra forma de definir indicadores tem como objetivo a mensuração do desempenho individual das principais variáveis que retratam os recursos inerentes aos elos da cadeia.

O monitoramento desse desempenho é crucial para se acompanhar a qualidade das atividades logísticas internas à empresa, bem como a de seus fornecedores (externo). Isto permitirá uma redução progressiva das diferenças ao longo de toda a cadeia e uma maior integração entre os elos que a compõem.

Para o presente estudo foram considerados os seguintes indicadores para avaliação do desempenho da cadeia:

Indicadores de armazenagem ou estoque

São aqueles relacionados à armazenagem de insumos no cliente, nos fornecedores e durante a sua movimentação entre ambos, a saber:

- Estoque médio dos silos diários
- Estoque médio dos silos brutos
- Estoque médio no porto de embarque
- Estoque médio nos fornecedores
- Estoque em trânsito

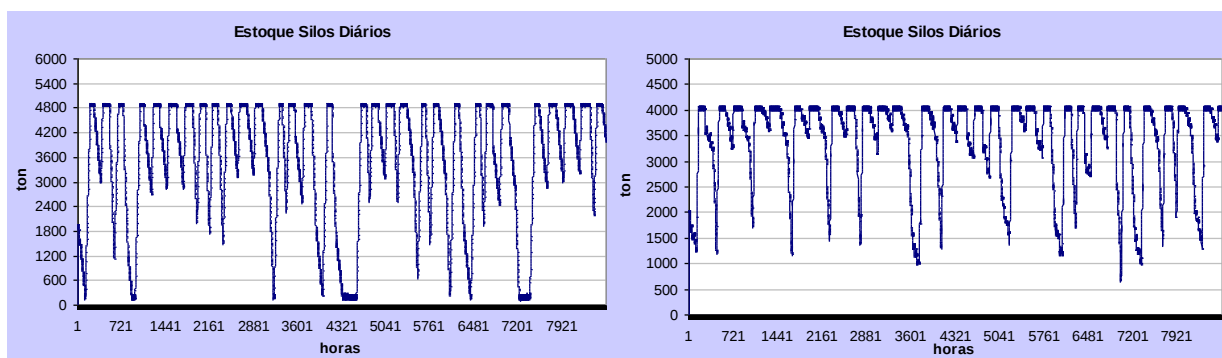


Gráfico 35 - Evolução dos níveis de estoque nos silos diários (C.e1.A).

Fonte: o autor.

Indicadores de produção

São aqueles relacionados à produção de produtos acabados no cliente e de insumos nos fornecedores, a saber:

- Interrupção da produção
- Consumo específico nas campanhas de produção
- Capacidade de moagem dos moinhos ou do sistema de bombeamento
- Capacidade de produção nos fornecedores

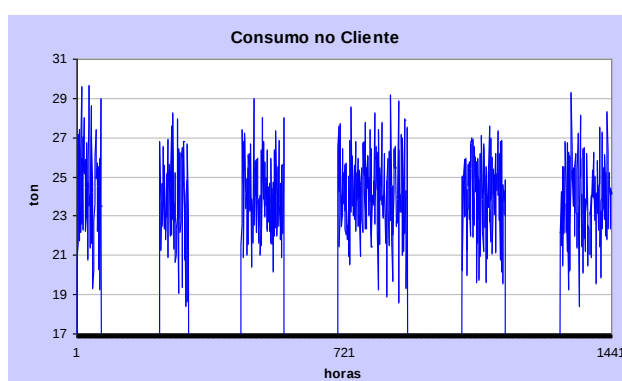


Gráfico 36 - Indicadores de produção "Consumo no Cliente" – C.e2.A.

Fonte: o autor.

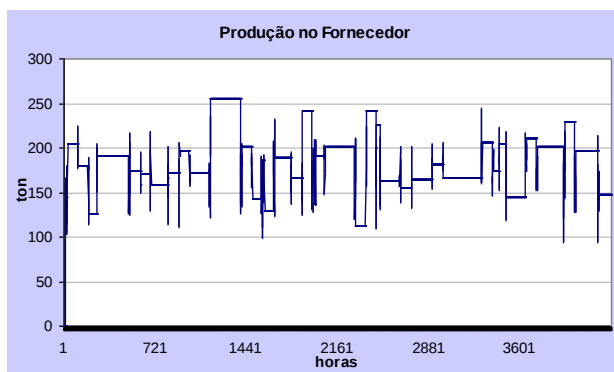


Gráfico 37 - Indicadores de produção "Produção no Fornecedor" - C.e2.A.

Fonte: o autor.

Indicadores de Transporte

São aqueles relacionados aos modos de transporte utilizados na cadeia, a saber:

- Quantidade de veículos (carretas, bi-trem, vagões) por pedido
- Lead-time de recebimento no cliente

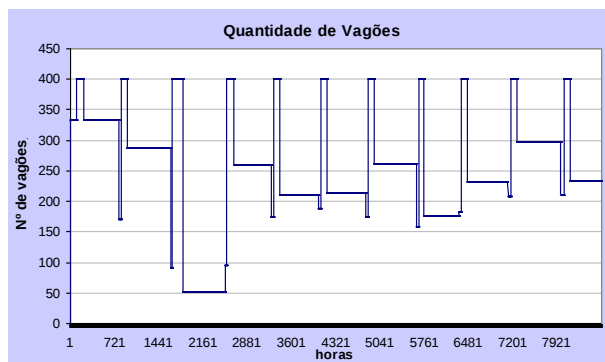


Gráfico 38 - Indicadores de transporte "Quantidade de vagões".

Fonte: o autor.

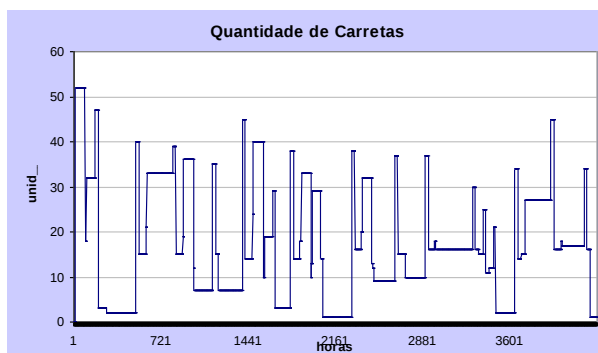


Gráfico 39 - Indicadores de transporte "Quantidade de veículos por pedido".

Fonte: o autor.

Indicadores de suprimentos

São aqueles relacionados aos processos de aquisições de insumos junto aos fornecedores, a saber:

- Lead-time total por pedido

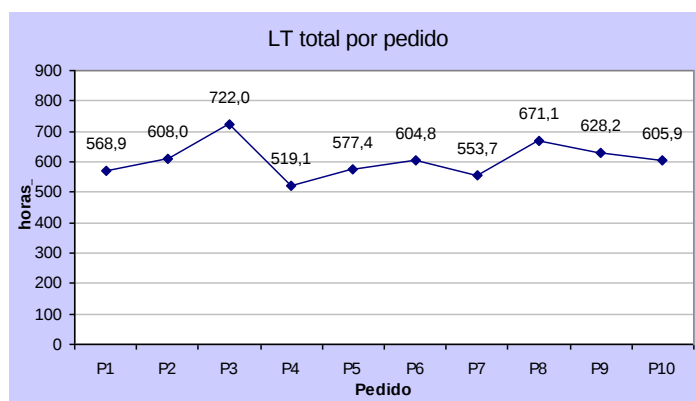


Gráfico 40 - Lead-time por pedido - C.e3.A.

Fonte: o autor.

Os indicadores de desempenho, gerados em cada cenário, se encontram no **APÊNDICE B**.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com o capítulo 1, “Introdução”, o principal objetivo deste trabalho foi identificar gargalos em uma cadeia de suprimentos de insumos para uma indústria específica do segmento de mineração, possibilitando ao corpo gerencial e técnico tomar decisões, de forma planejada, que minimizem os seus efeitos negativos.

Conforme descrito, o cenário macroeconômico denota ser favorável a aumentos da capacidade de produção no médio prazo, 4 anos, o que certamente trará alterações expressivas no perfil de consumo da empresa e, conseqüentemente, sobre todos os elos que compõem a cadeia. Esse cenário, detalhado no capítulo 5, foi o norteador dos experimentos realizados no decorrer do trabalho.

Ao explorar e confrontar no capítulo 2, “Revisão Bibliográfica”, os conceitos de logística e de cadeia de suprimentos, bem como a aplicabilidade da simulação computacional como ferramenta de análise em temas como o proposto, o estudo foi conduzido de forma alinhada com a metodologia de modelagem e simulação apresentada na seção 2.6.3.

Uma das preocupações, no início do trabalho, e que aos poucos passou a ser um grande desafio, foi o desenvolvimento do modelo conceitual. Embora ele tivesse que ser o mais fiel possível ao sistema real sob observação, considerando o uso de dados reais, ele não deveria carregar consigo um nível de complexidade ao ponto de inviabilizar a fase de simulação computacional.

As premissas e simplificações assumidas foram cruciais para permitir a equalização entre o sistema real e o modelo de simulação proposto.

Os resultados obtidos nos experimentos se mostraram coerentes e devem ser considerados como indicações realísticas, dado que o referido modelo foi validado no capítulo 4. Entretanto, vale ressaltar a importância de análises mais criteriosas, por parte de especialistas, antes de qualquer tomada de decisão baseada, única e simplesmente, nas informações geradas a partir dos modelos de simulação desenvolvidos.

Outro desafio no trabalho foi desenvolver os modelos de simulação computacional de modo a permitir que o usuário pudesse alterar o maior número de parâmetros possível, embora devendo alterá-los nos *bloco*s do próprio simulador.

A lógica aplicada aos modelos procurou ser a mais abrangente possível, permitindo uma replicação dos experimentos para outros cenários não indicados ou para outros insumos que apresentem características semelhantes aos avaliados. Porém, não fica descartada a necessidade de alteração ou adaptação da lógica atual em casos que extrapolem essas premissas.

Vale destacar que o uso da simulação computacional, mesmo em um sistema com diversos processos, interfaces e inter-relações, permitiu uma análise individual das variáveis parametrizadas e integrada dos módulos que o compõem.

A identificação dos gargalos somente foi possível em virtude da visão sistêmica de toda a cadeia de suprimentos proporcionada pela simulação computacional.

Entre as conclusões extraídas da análise criteriosa dos resultados alcançados através dos modelos de simulação, levando-se em consideração as premissas e simplificações adotadas, destacam-se:

- Para o cenário atual (“As Is”) os recursos ao longo da cadeia de suprimentos estão bem dimensionados e atendem a demanda atual por insumos. O transporte deve ser um ponto de atenção, em função do elevado número de veículos, por pedido, movimentando carga pelas vias rodoviárias, em comboios. Além do risco de acidentes e de congestionar as vias, é grande a probabilidade da formação de filas durante o recebimento no cliente;
- O principal gargalo do sistema no cenário de expansão de produção no cliente são os moinhos e o sistema de bombeamento no processo produtivo do próprio cliente. Através do adequado dimensionamento de sua capacidade nominal é possível transferir o insumo dos silos brutos, do pátio ou do galpão de estocagem para os silos diários, com um nível de vazão suficiente para garantir a demanda de consumo para os diversos tipos de campanha de produção.

O dimensionamento dos moinhos e do sistema de bombeamento deve considerar o valor de investimento de um ativo novo, bem como a disponibilidade necessária para a realização de manutenções preventivas;

- O aumento das capacidades de estocagem nos silos diários, quando realizados de forma isolada, não permite um reequilíbrio da cadeia. A recomposição dos níveis de estoque, realizados durante as campanhas onde não há consumo dos insumos, ou mesmo em campanhas de baixo consumo, está vinculado diretamente às capacidades dos recursos que os antecedem no processo;
- A área de recebimento no cliente, composta por balança de pesagem e áreas de descarga, não demonstraram ser uma restrição ao sistema. Entretanto, a forma com que foi desenvolvido o modelo, sem sobreposição de recursos pelos diferentes insumos, pode ter minimizado a taxa de ocupação desses recursos e, conseqüentemente, a sua disponibilidade e representatividade como gargalo ao longo da cadeia. Portanto, deve ser considerado um ponto de atenção junto aos cenários avaliados;
- A capacidade de produção e estocagem dos fornecedores, de uma forma geral, demonstrou ser capaz de atender aos volumes requeridos nos pedidos dos clientes.

A ausência de restrições por parte dos fornecedores deve ser avaliada através de alguns fatores, a saber: (1) Política de ampliação do número de fornecedores homologados para fornecimento dos insumos, o que possibilitou o incremento na capacidade de produção dos fornecedores sem que, necessariamente, por razões de investimentos individualizados em seus ativos; (2) Maior disponibilidade de produto por parte dos fornecedores em função de redução em sua carteira de clientes;

- O tempo de deslocamento entre fornecedores e cliente representa um gargalo para a cadeia. Atrasos durante o atendimento do pedido nos fornecedores e aumentos de percurso ou distância percorrida entre origens e destino agem diretamente sobre o lead-time total e comprometem o abastecimento. Os níveis de estoque bruto no cliente devem ser estabelecidos para minimizar os efeitos advindos da variabilidade no tempos de deslocamento;

- Os resultados alcançados com a alteração do modo de transporte rodoviário para ferroviário (cenário C.e1.B) demonstraram que a mudança deve vir acompanhada de aumentos na capacidade de estocagem nos fornecedores e de insumo bruto no cliente, de forma a permitir um fluxo mais regular de produtos entre origem e destino.

A postergação na gestão dos inventários (12h para 24h), associada a uma maior demanda pelo insumo bruto, propiciará um menor número de pedidos junto aos fornecedores, um maior volume do insumo por pedido e um maior número de vagões por composição, gerando um maior aproveitamento do modo de transporte. Aumento dos recursos no recebimento (“*car dumpers*”) deve ser avaliado para coibir a elevação do *lead-time* total do pedido.

Como estas, diversas outras análises podem ser feitas a partir dos resultados obtidos nos experimentos. Tais análises fornecem subsídios para a empresa decidir sobre como os investimentos na cadeia de suprimentos devem ser priorizados, para que os objetivos de curto, médio e longo prazos definidos para o produto sejam atingidos.

Portanto, a metodologia de análise proposta neste trabalho de dissertação pode ser uma importante ferramenta no apoio à tomada de decisão, quando associada a opinião de especialistas.

Recomendações para trabalhos futuros

Como extensão deste trabalho, vale apontar algumas lacunas deixadas pelo presente trabalho e que podem servir para aprofundar os resultados aqui obtidos.

O primeiro ponto que pode contribuir para um avanço sobre os resultados apresentados seria desenvolver um único modelo de simulação para representar a cadeia de suprimentos dos “*n*” insumos em observação.

Embora isso traga uma maior complexidade para o modelo e, como consequência, um tempo adicional para desenvolvimento da simulação computacional, os benefícios estariam voltados para a possibilidade de uma melhor

avaliação dos efeitos sobre os recursos compartilhados ao longo do sistema quando submetidos a uma maior taxa de ocupação.

O segundo ponto seria a reavaliação dos parâmetros de entrada do modelo, acompanhado da realização de novos experimentos.

Embora muitos parâmetros tenham se submetido a uma análise estatística do conjunto de dados levantados, a grande maioria foi ajustada para curvas de distribuição normal ou triangular, como forma de simplificação na depuração desses parâmetros de entrada.

Além disso, outros prováveis cenários podem ser testados utilizando-se dos próprios modelos desenvolvidos ou através da adaptação dos mesmos. Isto propiciará uma análise crítica mais ampla das prováveis restrições operacionais quando submetidas a novas intempéries.

O terceiro ponto refere-se à inclusão no trabalho de uma análise econômica das variáveis que compõem o sistema, bem como a otimização dos resultados alcançados através de ferramentas específicas, como o Optquest do próprio ARENA. A adoção de algoritmos de otimização possibilitaria parametrizar a simulação de forma mais eficiente e alcançar resultados que suportem a tomada de decisão mais sustentada.

O quarto ponto a ser considerado tem relação direta com as políticas de estoques e da gestão dos inventários adotada nos modelos. A adoção de outras políticas e modelos de gestão traria novas variáveis e alternativas para o processo que colaborariam com os resultados desse estudo.

Por fim, o conjunto de indicadores explicitados na seção 5.4, que nesse trabalho tiveram o papel de suportar a avaliação comparativa entre as diversas rodadas de simulação para cada cenário em questão, podem ser consolidadas através de um sistema de avaliação de desempenho (SMD), conforme demonstrado na seção 2.4.1.

Dessa forma, as ferramentas SMD adotadas possibilitariam mensurar mais apropriadamente o desempenho da cadeia de suprimentos entre fornecedores e clientes, podendo, inclusive, demonstrar os *gaps* entre os resultados alcançados e os esperados.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L., (1977) - "*Pesquisa Operacional*". Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, RJ.
- AMORIM, R.P. L. (2005) – "*Estudo do transporte de produtos siderúrgicos, em viagens cíclicas de comboios oceânicos, dentro de uma visão logística*", Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico/UFES, Vitória, E.S., 111 p.
- ARENA versão 8.0 – "Manual do Usuário". Rockwell Software Inc., Limited Edition, c.2000.
- ARNOLD, J.R. Tony, (1999) – "*Administração de Materiais- Uma Introdução*." Tradução: Celso Rimoli e Lenita R. Esteves. São Paulo: Atlas, SP.
- BALLOU, R. H.; (1993) - "*Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*"; Tradução Hugo T. Y. Yoshizaki. – São Paulo: Atlas, SP.
- BALLOU, R.H.; (2006) - "Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial". 5 ed. Porto Alegre: Bookman, RS
- BANKS, J., CARSON, J. S. e NELSON, B. L.; (1984) - "*Discrete-Event System Simulation*." New Jersey, Prentice-Hall Inc – USA.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B.; (1996) - "*Discrete-event System Simulation*." New Jersey: Prentice Hall, USA.
- BANKS, J.; (1999) - "*Introduction to simulation*", *Proceedings of 1999 Winter Simulation Conference*, Atlanta, USA.
- BANKS, J., CARSON, J. S., NELSON, B. L., et al.; (2004) - "*Discrete-Event System Simulation*". New Jersey, Prentice-Hall Inc., 4th ed., USA.
- BEAMON, B.; (1999) – "*Measuring supply chain performance*." *International Journal of Operations & Production Management*, v. 19, n. 3, p. 275-292.
- BOWERSOX, D. J. e CLOSS, D. J. (2001) - "*Logística Empresarial: o Processo de Integração da cadeia de suprimento*". São Paulo: Editora Atlas, SP.
- BURGESS, T.F.; ONG, T.S.; SHAW N.E.; (2007) - "*Traditional or contemporary? The prevalence of performance measurement system types*." *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 56, n. 7, p. 583-602.
- CARSON, J. S.; (2005) - "Introduction to Modeling", *Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA.
- CASTRO NETO, L. R.; (2006) - "*Modelagem e simulação da cadeia produtiva de minério de ferro*". Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 191 p.
- CAVANHA FILHO, A. O.; (2000) - "Definição do Council of Logistics Management, após o Congresso Internacional de Logística – 1999 – Canadá" In: *Logística: Novos Modelos*. São Paulo, Qualitymark.

CECILIANO, W. R. A.; (2007) - “*Aplicação de um método de simulação-otimização na cadeia produtiva de minérios de ferro.*”. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 209 p.

CENTER FOR WORLD WIDE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (2007). *University of Louisville*, <http://louisville.edu/org/upsi/>.

CHAN, A.; (2006) - *Simulação aplicada às operações logísticas de um parque de armazenamento de gasolina de uma refinaria de petróleo*. Dissertação de Mestrado, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

CHEN, E. J., LEE, Y. M. e SELIKSON, R. (2002) - "A simulation study of logistics activities in a chemical plant". *Simulation Modeling Practice and Theory*, v. 10, n. 3-4, pp.

CHRISTOPHER, M. (1999) – “*Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria de serviços.*” São Paulo: Pioneira, 1999, SP.

CORREA, H.L. et al.; (2001) - “*Planejamento, programação e controle da produção – MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação.*” 4. ed. São Paulo: Atlas, SP.

COSTA, M. A. B.; (2004) – “*Um modelo baseado em conhecimento para simular rebanhos de bovinos de corte.*” Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP), “*Logistics Comment*”, CSCMP Newsletter, 2805 Butterfield Rd, Suite 200, Oak Brook, IL, 60523.

CHWIF, L.; MEDINA, A. (2006) - “*Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Prática*”, São Paulo: Bravarte, SP.

DUDEWICZ, E.J., KARIAN, Z.A., MARSHALL, R.J., (1985) – “*Random number generation on microcomputers.*”, SCS Conference on Modeling and Simulation on Microcomputers, San Diego, CA, USA.

ECKER, J.G.; KUPFERSCHMID, M.; (1988) - “*Introduction to operations research*”. New York: John Wiley & Sons, NY, USA.

EHRLICH, P.J. (1985) “*Pesquisa Operacional: curso introdutório*”. 5.ed., São Paulo: Atlas, SP

FERRAES NETO, F. e KUEHNE JR, M.; (2002) - “*Logística Empresarial*” In: *Coleção Gestão Empresarial*. Curitiba, Fae Business School / Ed. Gazeta do Povo.

FERREIRA, A. B. H.; (1986) – “*Novo Dicionário da Língua Portuguesa*”. Rio de Janeiro, Nova Fronteira. v. 1, pp. 1045.

FLEURY, A.C., FLEURY, M.T.L.; (1995) - “*Aprendizagem e Inovação Organizacional: as experiências do Japão, Coréia e Brasil.*” São Paulo: Atlas, SP.

FREITAS FILHO, P. J. (2001) - “*Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – com aplicações em Arena.*” Florianópolis - SC, Visual Books.

GAMARO, M. A. M. (2008) - “*Alternativas para escoamento de minério em terminal marítimo especializado com uso de navios dedicados ou comboios oceânicos (terminal de Ponta Ubu Anchieta/ES).*” Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico/UFES, Vitória, ES. 156 p.

GARCIA, E. S. et al. (2006) - "*Gestão de Estoques: Otimizando a Logística e a Cadeia de Suprimentos.*" Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 144p.

GASNIER, D. G. "*A Dinâmica dos Estoques: Guia Prático para Planejamento, Gestão de Materiais e Logística.*".

GAVIRA, M. O., (2003) - "*Simulação Computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento*". Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 150 p.

GOVE, P.B. (1993) - "*Webster's Third New Encyclopedic Dictionary*", Merriam-Webster Ed. New York, NY.

HEIZER, J.; RENDER B.; (2001) – "*Administração de Operações*", Rio de Janeiro: LTC, 647p.

HILLIER, F. e LIEBERMAN, G. J. (2001) – "*Introduction to operations research*", McGraw-Hill, 7th Edition.

JULIÁ, A. F. (2010) - "*Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro.*". Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 167 p.

KAYDOS, W. (1991) - "*Measuring, managing and maximizing performance.* Portland: Productivity Press.

KELTON, W. D. et al. (2002) - "*Simulation with ARENA*". 3. ed. New York: McGraw-Hill.

KITTEL, C. (1947) - "*The nature and development of operations research.*". Science, p.105-150.

KIYAN, F. M. (2001) - "*Proposta para desenvolvimento de Indicadores de Desempenho como Suporte Estratégico.*" Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

KRAJEWSKI, L.J., RITZMAN, L., (2003) - "*Administração da Produção e Operações*", 1ª ed., Ed. Pearson.

LAMBERT, D. M. e STOCK, J. R. (2001) - "*Strategic Logistics Management*", Irwin/McGraw-Hill, 4ª Edição, Chicago, USA.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. (1991) – "*Simulation Modeling e Analysis.*" 2nd ed. New York: McGraw-Hill.

LAW, A. e KELTON, W. D. (2000) – "*Simulation Modeling and Analysis*", McGraw-Hill International Series, 3rd Edition.

LOUREIRO, S. A. (2009) - "*Uso integrado de métodos de simulação de eventos discretos e contínuos na resolução de problemas logísticos em parques de diversão*". Dissertação de Mestrado, FECAU/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 115 p.

MACHLINE, Claude et al (1975) - "*Manual de Administração da Produção*". 3.ed. v.2., Rio de Janeiro, Ed. da Fundação Getúlio Vargas

MEDEIROS, O. M. (2000) - "*Pesquisa Operacional*", Revista da ETFRN. Natal, ano 12, v.2, p.53-60.

MEIRELES, R.P.L. (2010) – “*Modelagem e Simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas*”, Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico/UFES, Vitória, E.S., 220 p.

MEHTA, A. (2004) - "Managing oil and gas supply chain - Numerous challenges, one solution". *IIE Annual Conference and Exhibition*, pp. 4675-4688.

MANOOCHERHI, G. (1999) - “Overcoming obstacles to developing effective performance measures.” *Work Study*, v. 48, n. 6.

MOBERG, C.R., WHIPPLE, T.W., CUTLER, B.D., SPEH, T.W. (2004) – “Do the Management Components of Supply Chain Management Affect Logistics Performance?”, *The International Journal of Logistics Management*, ISSN: 0957-4093.

MOORE, JEFFREY H. WEATHERFORD, LARRY R. (2005) – “Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas.”, 6ª edição. Porto Alegre: Bookman, RS.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. (1995) – “Performance measurement system design: A literature review and research agenda.” *International Journal of Production Economics*. n. 4, p. 80-116.

NOVAES, A. G. (2001) – “Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação.” Rio de Janeiro, Campus.

NOVAES, A. G. (2007) - *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação.* 6ª Tiragem, Rio de Janeiro, Campus.

PEDGEN, C. D. (1991) - “*Introduction to Simulation Using SIMAN.*”, McGraw-Hill International Editions.

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. (1995) – “*Introduction to simulation using SIMAN.*”. McGraw-Hill. 2 ed. New York, NY.

PIDD, M. (1998) – “*Modelagem Empresarial: ferramenta para tomada de decisão.*” Artes Médicas, Porto Alegre, RS – Brasil.

PINTO, J. C. (1998) – “*Avaliação Estratégica do Desempenho Competitivo da Manufatura: Proposta de um Modelo Conceitual Flexível.*”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica/ UNICAMP, SP.

PIRES, S., BREMER, C., SANTA EULÁLIA, L., et al. (2001) - "Supply chain and virtual enterprises: comparisons, migration and a case study". *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 4, n. 3.

PIRES, S.R.I. (2004) - “*Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management)*”. Ed. Atlas;

POIRIER, C. C. e REITER, S. E. (1997) - “*Otimizando sua rede de negócios.*” São Paulo, Futura.

PRADO, D. (1999) - “*Usando o ARENA em Simulação*”, *Série Pesquisa Operacional*, Editora DG, Vol.3;

PRADO, D; (2004) - “*Teoria das Filas e da Simulação.*” 2. ed. Belo Horizonte: Editora de Gerenciamento Gerencial, 126p.

RINCON, G., ALVAREZ, M., PEREZ, M., *et al.* (2005) - "A discrete-event simulation and continuous software evaluation on a systemic quality model: An oil industry case". *Information & Management*, v. 42, n. 8, pp. 1051.

ROBINSON, S. (2004) – “*Simulation: The Practice of Model Development and Use.*”, West Sussex, England: John Wiley & Sons.

RODRIGUES, A. M. e SALIBY, E. (1998) - “*A aplicação da simulação no dimensionamento de bases de distribuição de combustíveis.*” COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROSSONI, G.S. (2010) – “*Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos do ramo de mineração através da adoção da estratégia colaborativa VMI – Vendor Managed Inventory.*”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 217 p.

SALIBY, E. (1989) - “*Repensando a simulação: a amostragem descritiva.*”. São Paulo: Atlas, SP. São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

SALIBY, E. (1999) – “*Tecnologia de informação: uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas.*”. Rio de Janeiro, COPPEAD, UFRJ.

SAMARCO. PROCESSO PRODUTIVO. Disponível em: <http://www.samarco.com> Acesso em 17.nov.2010.

SARGENT, R. G. (2003) - "Verification and validation: verification and validation of simulation models". *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, New Orleans, Louisiana, USA.

SILVA, G. R. (2010) - “*Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos do ramo de mineração através da adoção da parceria VMI (Vendor Managed Inventory).*” Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 217 p.

SOUZA, M. O. (2008) - “*Análise de cadeia de suprimento de um combustível especial através de Simulação Computacional.*” Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 161 p.

SHANNON, R. E. (1975) – “*Systems Simulation: The Art and Science.*”, Prentice-Hall Inc.

STERMAN, J. (2002) – “*All Models are Wrong: reflections on becoming a system scientist.*” *System Dynamics Review* – vol. 18. 501–531.

TAYLOR, B.W. (1999) – “*Introduction to Management Science.*” Prentice-Hall. 6ª Edição. New Jersey.

VIEIRA, D.S. (2005) – “*Estudo Operacional do terminal de contêineres de Vila Velha – ES, utilizando simulação e recursos de otimização.*” Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológico/UFES, Vitória, E.S., 152 p.

WANKE, P. (2003) - “*Efficient Consumer Response (ECR): A logística de suprimentos just-in-time aplicada ao varejo.*”. Disponível em: <<http://coppead.ujrf.br/pesquisa/celnew/fr-ecr.htm>>.

ZEE, D. J. V. D. e VORST, J. G. A. J. V. D. (2005) - "A Modeling Framework for Supply Chain Simulation: Opportunities for Improved Decision Making". *Decision Sciences*, v. 36, n. 1, pp. 65.

APÊNDICE A – Modelo de Simulação

O modelo de simulação desenvolvido no ARENA 8.0, foi dividido em três grandes blocos ou módulos, conforme explicado no corpo do texto. Para facilitar o entendimento da lógica do modelo estes três grandes módulos foram subdivididos da seguinte forma:

Módulo 1 – Fornecedores

- Submódulo 1.1 – Produção no fornecedor
- Submódulo 1.2 – Atendimento do pedido
- Submódulo 1.3 – Movimentação Mina-Porto (somente para carvão)

Módulo 2 – Transportador

- Submódulo 2.1 – Estoque em Trânsito

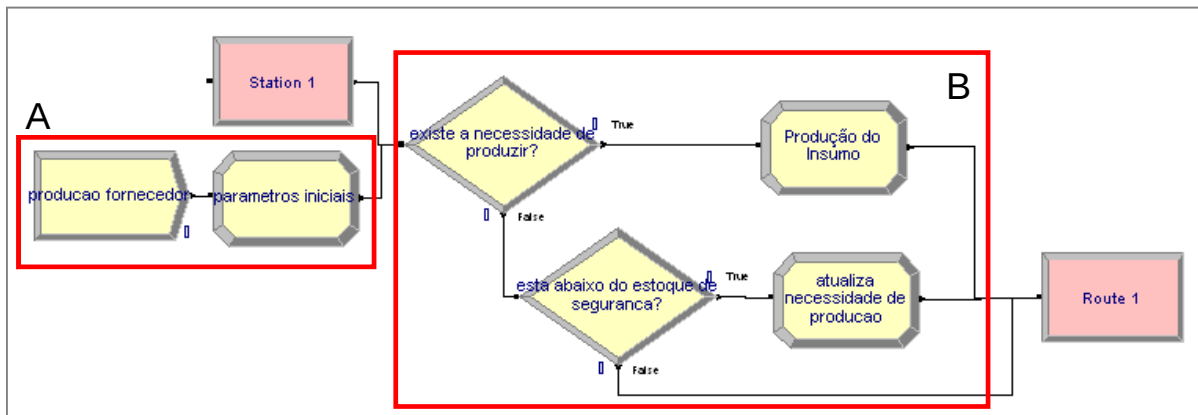
Módulo 3 – Cliente

- Submódulo 3.1 – Recebimento do pedido
- Submódulo 3.2 – Preparação do insumo
- Submódulo 3.3 – Consumo cliente
- Submódulo 3.4 – Cria pedido

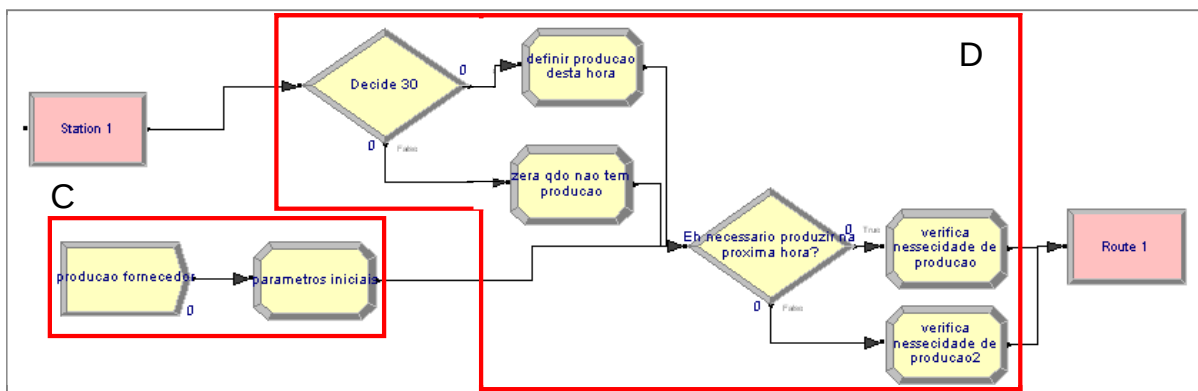
Esses submódulos serão descritos em detalhes a seguir através das telas do modelo desenvolvido em Arena, onde estão destacadas as etapas ou processos que compõem cada submódulo.

Submódulo 1.1 – Produção no fornecedor

Insumo1 e Insumo2



Insumo3



A – A etapa que inicia o processo estabelece os parâmetros relativos aos níveis de estoque no fornecedor (estoque máximo – *est_max_fornecedor*; estoque alvo – *est_alvo_fornecedor*; estoque atual – *est_atual_fornecedor*; estoque de segurança – *est_segur_fornecedor*), a capacidade dos caminhões (*cap_caminhao*) e uma variável auxiliar (*necessita_producao*) que supervisionará a demanda para produzir;

B - A primeira hipótese a ser testada para que haja necessidade em produzir é indicada pela condição:

Se ($est_atual_fornecedor < est_segur_fornecedor$)

$$\begin{cases} \underline{V} (necessita_producao = est_alvo_fornecedor - est_atual_fornecedor) \\ \underline{E} (retorna\ ao\ inicio\ do\ processo) \end{cases}$$

Em seguida a segunda hipótese é testada pela condição:

Se ($necessita_producao > 0$)

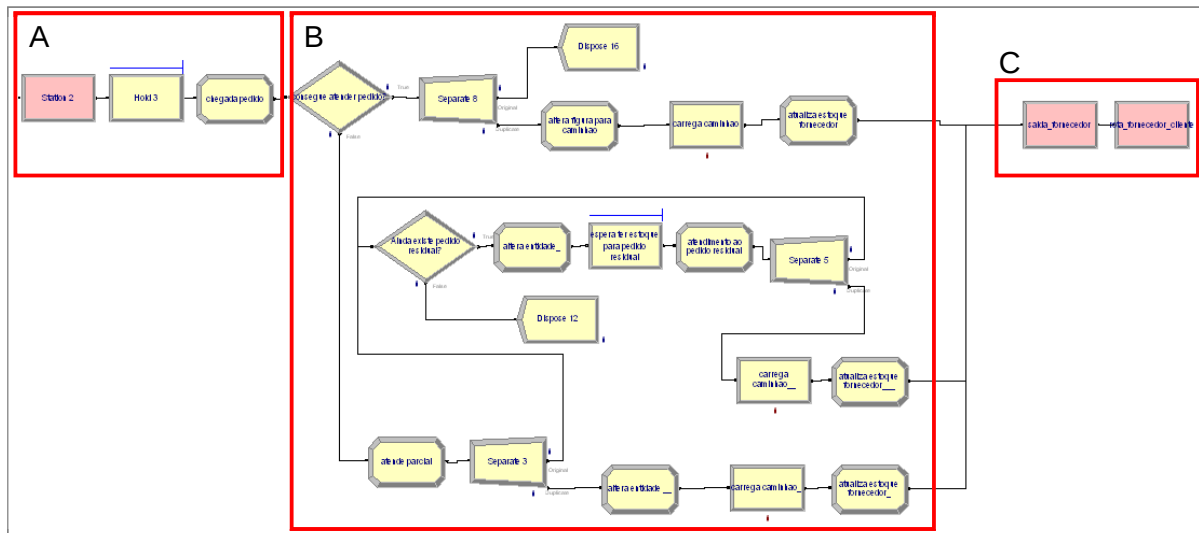
$\underline{\vee}$ [inicia produção $\rightarrow$ ($producao_hora$);
 atualiza estoque $\rightarrow$ ($est_atual_fornecedor = est_atual_fornecedor +$
 $producao_hora$);
 decrementa variável auxiliar $\rightarrow$ ($necessita_producao =$
 $necessita_producao - prod_hora$);
 $\underline{E}$ [testa a 1ª hipótese acima].

C – São inseridos os mesmos parâmetros e mais a capacidade do vagão para o transporte ferroviário (cap_vagao);

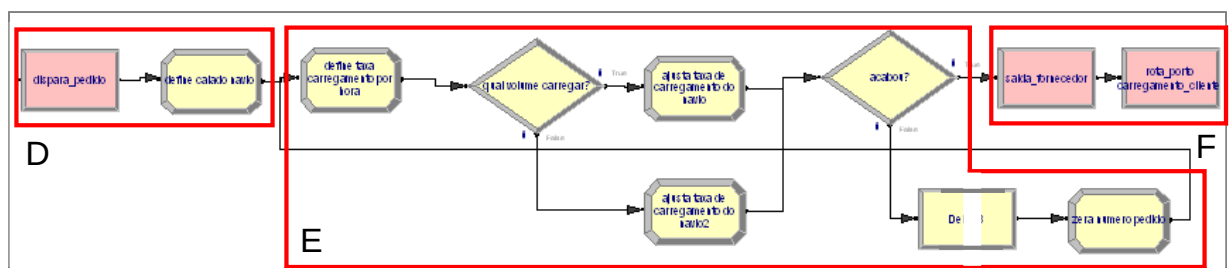
D – Segue a mesma lógica dos outros insumos.

Submódulo 1.2 – Atendimento do pedido

Insumo1 e Insumo2



Insumo3



A – Nesta etapa verifica-se se há pedidos pendentes ou residuais, o pedido do cliente é recebido e a quantidade de caminhões necessários para o transporte é calculado;

B - O principal ponto de atenção nessa etapa é definir se, ao receber o pedido enviado pelo cliente, o fornecedor terá estoque suficiente para atendê-lo, de forma integral ou parcial, e se haverá necessidade de produção para o estoque. A primeira questão será determinada pela condição:

Se ($est_atual_fornecedor \geq qtd_caminhoes * cap_caminhao$)

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{V} [(\text{cria entidade. "caminhao",} \\ \text{prepara recurso para carregamento;} \\ \text{atualiza estoque (est_atual_fornecedor)} \\ \underline{E} (\text{"atende parcial" ou "verifica pedido residual"}) \end{array} \right.$$

No processo “atende parcial” a quantidade necessária de caminhões é recalculada e parte do estoque fica comprometido a esse volume parcialmente atendido. No processo “existe pedido residual” é realizado o ajuste entre o estoque de produto disponível e a capacidade do caminhão que transportará a carga. Ao final dos dois processos, de forma concomitante ao que ocorre caso o pedido do cliente seja atendido integralmente, a quantidade do insumo em estoque no fornecedor é atualizado.

C – Caminhões carregados fazem a rota entre o fornecedor e o cliente;

D – A diferença em relação ao *insumo3* está relacionada ao modo de transporte utilizado: transporte marítimo. Nesta etapa ocorre o recebimento do pedido do cliente (*necessidade_pedido*) e a definição do volume a ser efetivamente transportado em função da capacidade do navio (*cap_navio*). Uma variável auxiliar (*pedido_residual*) é estabelecida, será equivalente a capacidade do navio e decrescerá à medida que o navio for sendo embarcado;

E – Definida a taxa de carregamento (*taxa_carregamento*) em função do estoque disponível no porto (*est_atual_porto*). O navio segue embarcando o insumo, se e

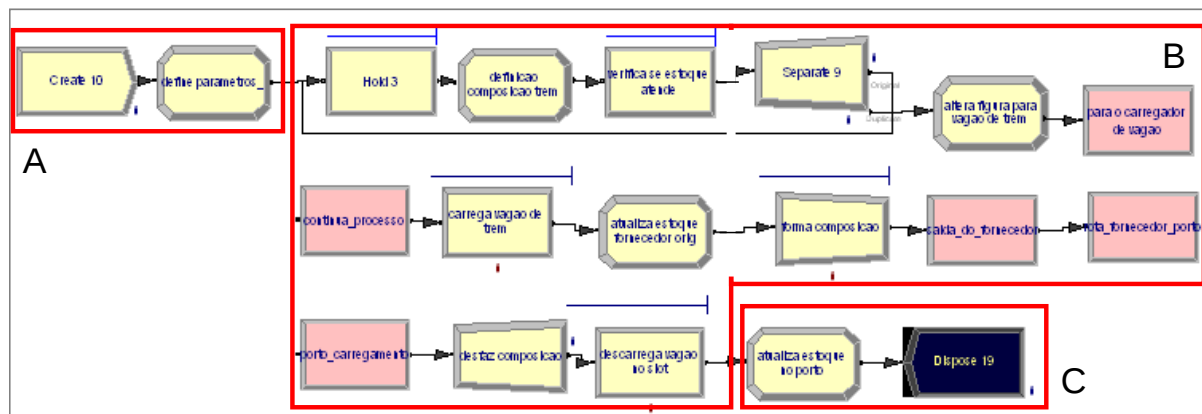
somente se, a taxa de carregamento for maior que o estoque no porto. Caso contrário, a taxa de carregamento é ajustada através das funções:

$$\begin{cases} \text{taxa_carregamento} = ((\text{est_atual_porto} > \text{pedido_residual}) * \text{pedido_residual}) + \\ \quad ((\text{est_atual_porto} \leq \text{pedido_residual}) * \text{est_atual_porto}); \\ \text{est_atual_porto} = \text{est_atual_porto} - \text{taxa_carregamento}. \end{cases}$$

O navio considera o carregamento encerrado quando o pedido residual for menor ou igual a zero ($\text{pedido_residual} \leq 0$?)

F – Navio carregado faz a rota entre o porto de origem (fornecedor) e o porto de destino (cliente).

Submódulo 1.3 – Movimentação Mina-Porto (somente para Insumo3)



A - A etapa que inicia o processo estabelece os parâmetros relativos aos níveis de estoque no porto (estoque máximo – est_max_porto ; estoque alvo – est_alvo_porto ; estoque atual – est_atual_porto) e uma variável auxiliar ($\text{pedido_processando}=0$) que supervisionará se existe pedido sendo processado pelo fornecedor;

B – A lógica aplicada nesse processo busca uma integração entre o transporte ferroviário, que movimenta a carga do centro de produção do fornecedor ($\text{est_atual_fornecedor}$) e o porto de embarque (est_alvo_porto), e o marítimo, que transporta a carga do porto de embarque até o porto de destino no cliente.

Realizada a produção necessária para atender uma demanda específica (*est_alvo_fornecedor*), a movimentação da carga, através do modo ferroviário, ocorre atendendo uma seqüência lógica em função dos recursos que estão sendo utilizados, conforme se segue:

- Condição 1 (*Hold3*)

$$(est_atual_porto < est_alvo_porto) \&\& (pedido_processando == 0)$$

- Definição do número de vagões por composição ferroviária

$$\begin{aligned} qtd_vagoes &= anint(((est_alvo_porto - est_atual_porto) / cap_vagao) + 0.5) \\ qtd_vagoes &= ((qtd_vagoes < 30) * 30) + ((qtd_vagoes \geq 400) * 400) + \\ &\quad ((qtd_vagoes < 400) * qtd_vagoes) \\ pedido_processando &= qtd_vagoes \end{aligned}$$

- Verifica se o estoque atual (*est_atual_fornecedor*) atende a necessidade? (*hold*)

$$((qtd_vagoes * cap_vagao) \leq est_atual_fornecedor)$$

- Carrega vagões (*resource*), atualiza estoque no fornecedor e forma composição (*batch*)

$$(est_atual_fornecedor = est_atual_fornecedor - cap_vagao)$$

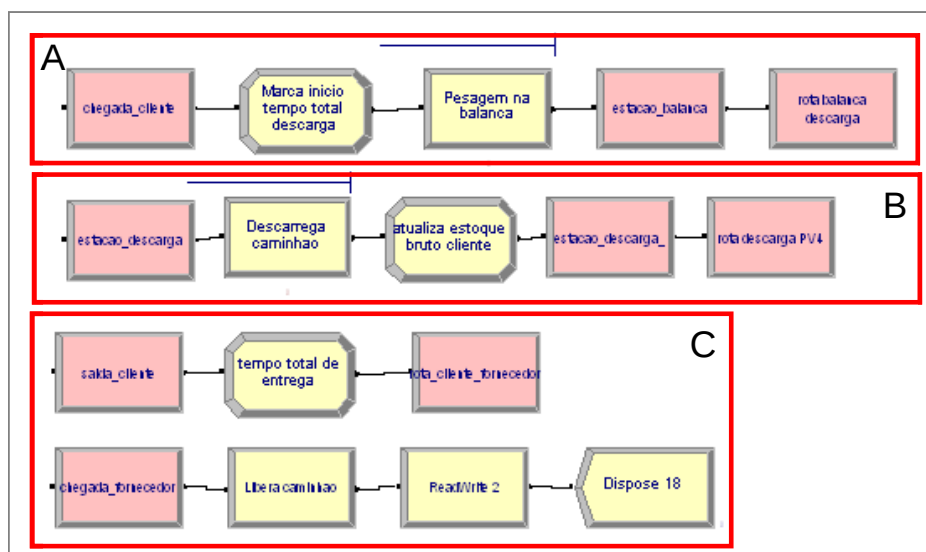
- Desfaz composição (*separate*), descarrega vagão (*resource*) e atualiza estoque no porto

$$\begin{aligned} (est_atual_porto &= est_atual_porto + cap_vagao); \\ pedido_processando &= pedido_processando - 1; \\ pedido_processando &= ((pedido_processando < 0) * 0) + ((pedido_processando \geq 0) \\ &\quad * pedido_processando) \end{aligned}$$

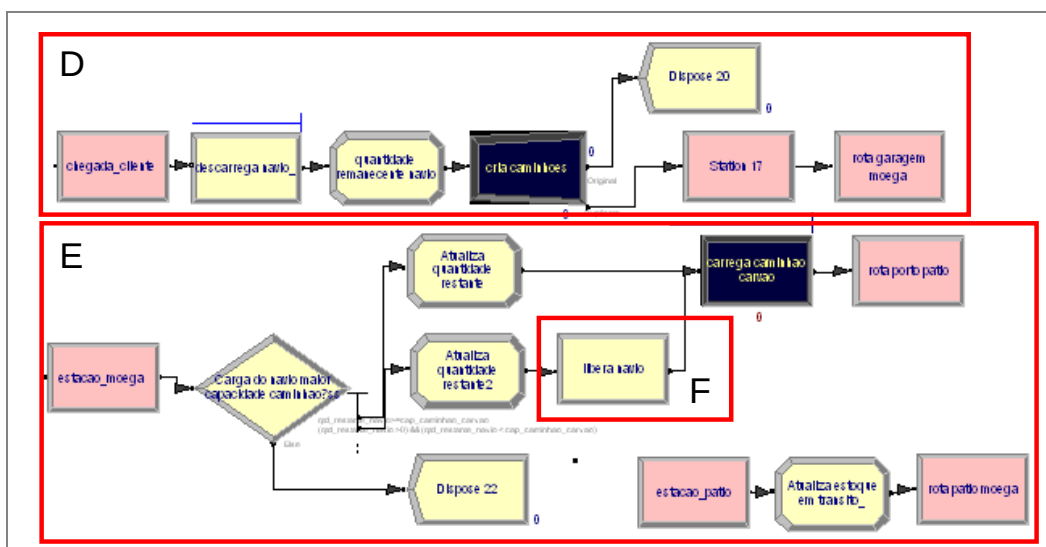
C – Realizada a descarga da composição, o estoque no porto (*est_atual_porto*) é atualizado e disponibilizado para o embarque do navio.

Sub- módulo 3.1 – Recebimento do pedido

Insumo1 e Insumo2



Insumo3



Para os insumos de baixo e médio *lead-time* (*Insumo1* e *Insumo2*) a lógica aplicada no modelo de simulação é simples e está baseada na sequência dos recursos disponíveis ao longo dos processos, tais como: pesagem na balança, descarga e liberação dos caminhões.

A – Nessa etapa o caminhão aguarda a disponibilidade da balança rodoviária para pesagem. Realizada a pesagem, o caminhão segue rota balança-área de descarga;

B – O recurso a ser utilizado serão os dois *slots* para descarga do *Insumo1* ou do galpão de armazenagem para o *Insumo2*. Na sequência ocorre a atualização dos estoques no cliente (*est_bruto_cliente*) através da expressão:

$$(est_atual_bruto_cliente = est_atual_bruto_cliente + cap_caminhao)$$

C – Assim que terminado a descarga, o caminhão é liberado para retornar até o fornecedor e recomeçar o ciclo de transporte, ou seguir para outro destino;

D - Para o *Insumo3* a lógica adotada deve ser capaz de: (1) acusar o recebimento do navio através do recurso “*descarrega_navio*”; (2) identificar a quantidade de carga remanescente no navio (*qtd_restante_navio*), que inicialmente é a própria carga integral do navio (*qtd_restante_navio=cap_navio*); e (3) ajustar essa carga em função da capacidade dos caminhões (*cap_caminhao_carvao*) utilizados na descarga. A lógica utilizada será:

- Carga do navio maior que a capacidade do caminhão?

Se (*qtd_restante_navio* >= *cap_caminhao_carvao*)

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{V} (volume_caminhao_carvao = cap_caminhao_carvao); \\ \underline{E} (qtd_restante_navio = qtd_restante_navio - volume_caminhao_carvao) \end{array} \right.$$

e continua descarga do navio;

Se (*qtd_restante_navio* > 0) && (*qtd_restante_navio* < *cap_caminhao_carvao*)

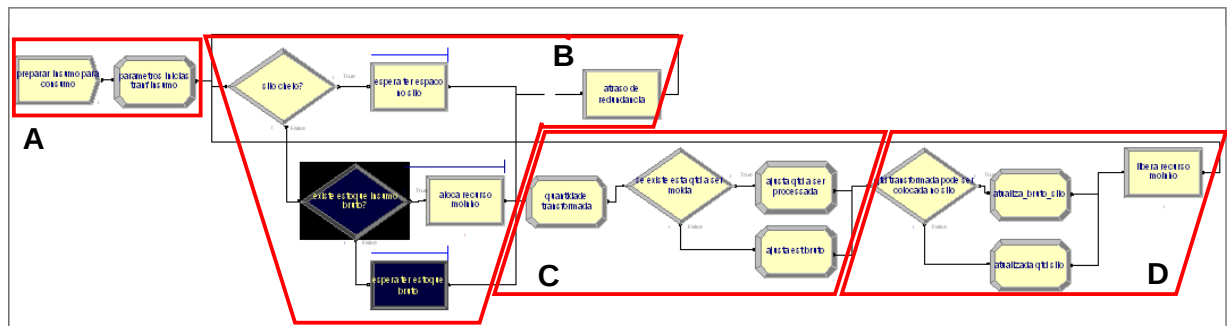
$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{V} (volume_caminhao_carvao = qtd_restante_navio) \\ \underline{E} (qtd_restante_navio = 0) \end{array} \right.$$

e libera navio (F).

A lógica de descarga é complementada com a atualização gradativa da quantidade de estoque no cliente (*est_atual_bruto_cliente*) através da expressão:

$$(est_atual_bruto_cliente = est_atual_bruto_cliente + volume_caminhao_carvao)$$

Sub- módulo 3.2 – Preparação do insumo



O ponto fundamental na lógica aplicada a esse submódulo refere-se à disponibilidade, ora de espaço nos silos (brutos e diários), ora de insumo bruto para alocação no recurso moinho.

A – A etapa que inicia o processo estabelece os parâmetros relativos aos níveis de estoque do insumo bruto no cliente (estoque máximo – *est_max_bruto_cliente*; estoque alvo – *est_alvo_bruto_cliente*; estoque atual – *est_atual_bruto_cliente*);

B – Para determinar as condições dos silos de insumo bruto, as seguintes expressões foram usadas:

- Silo bruto está cheio? E, existe estoque de insumo bruto?

Se (*est_atual_cliente* > *est_max_cliente*)

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{V} \text{ (hold condition : } est_atual_cliente < est_max_cliente) \\ \underline{E} \text{ (Se (} est_atual_bruto_cliente > 0?)) \\ \left\{ \begin{array}{l} \underline{V} \text{ (aloca recurso no moinho; define "qtd_transf_bruta_cliente")} \\ \underline{E} \text{ (hold condition: } est_atual_bruto_cliente > 0) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

C – Define quantidade a ser moída (*qtd_transf_bruta_cliente*) e ajusta o estoque bruto após o processo de moagem (*est_atual_bruto_cliente* = *est_atual_bruto_cliente* – *qtd_tansf_bruta_cliente*);

D – Para determinar as condições dos silos de insumo moído, as seguintes expressões foram utilizadas:

- Quantidade moída pode ser colocada no silo diário?

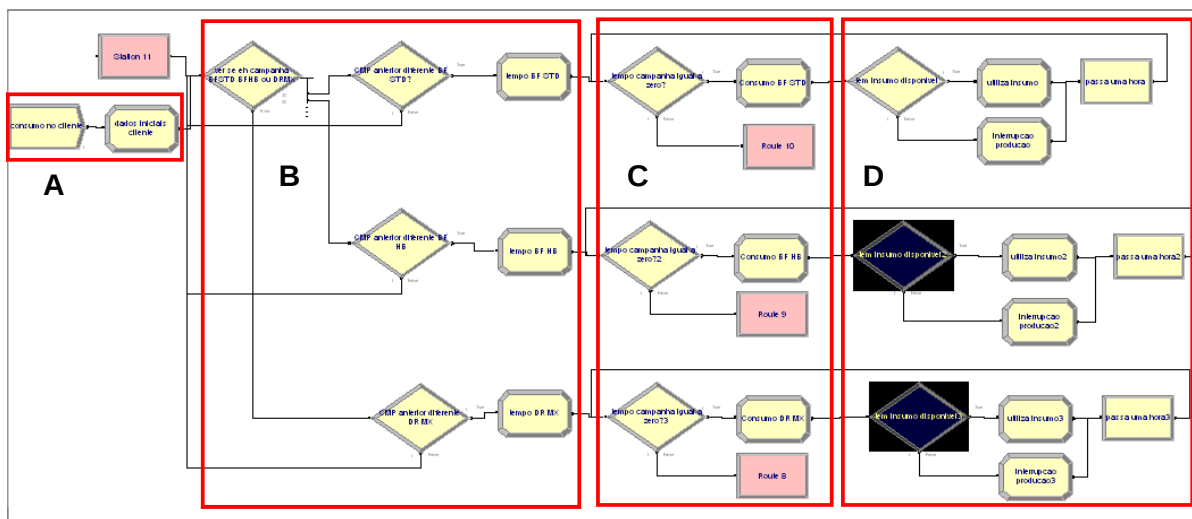
$$\begin{cases} \text{Se } ((est_atual_cliente + qtd_transf_bruta_cliente) > est_max_cliente) \\ \quad \underline{V} (est_atual_bruto_cliente = est_atual_bruto_cliente + \\ \quad \quad (qtd_transf_bruta_cliente - (est_max_cliente - est_atual_cliente))) \\ \quad \underline{E} (est_atual_cliente = est_atual_cliente + qtd_transf_bruta_cliente) \end{cases}$$

Por fim, o recurso moinho é liberado e a quantidade de insumo moído é atualizada.

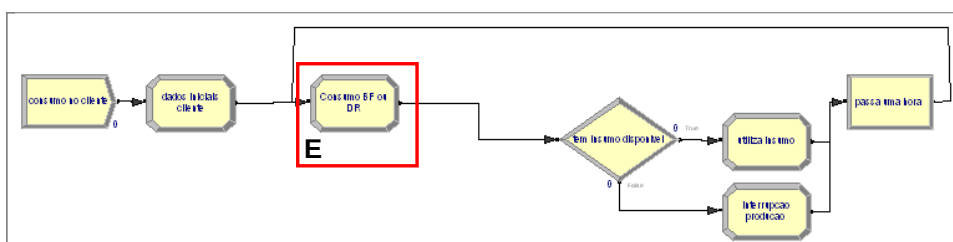
Nota – Para o *Insumo2* não existe o recurso moinho. O produto é recebido pelo cliente dentro das especificações para o consumo. A moagem foi adaptada para o processo de bombeamento, necessário para a movimentação do insumo, por meio de transporte pneumático, do galpão para os silos. Com isso, os *blocos* do Arena permanecem os mesmos utilizados para os outros dois insumos.

Sub- módulo 3.3 – Consumo cliente

Insumo1 e Insumo2



Insumo3



A – Os parâmetros iniciais correspondem aos níveis de estoque no cliente (estoque máximo – *est_max_cliente*; estoque atual – *est_atual_cliente*) e uma variável auxiliar (*tipo_producao=0*) que permitirá a não ocorrência do mesmo tipo de campanha na seqüência do planejamento de produção;

B - A seqüência dos tipos de campanha de produção foi estabelecida de forma probabilística através do *bloco* “decide”, sendo 30% para BF-STD, 20% para BF-HB e 50% para DR-MX.

Além disso, cada tipo de campanha foi numerada de 1 a 3 e, em seguida, um segundo *bloco* “decide” condicionava a continuidade do processo a um tipo de campanha diferente da última imediatamente executada (Se *tipo_prod* $\neq$ *número da campanha*).

Nesse mesmo processo é definida a variabilidade do tempo planejado para cada tipo de campanha de produção (*tempo_campanha*). Um contador auxiliar decrescente (*tempo_campanha = tempo_campanha -1*) monitora o tempo total da campanha.

C – Nessa etapa é definido um consumo estocástico, por insumo, dentro da mesma campanha de produção. A cada ciclo de uma hora de produção a taxa de consumo do insumo é novamente determinada. Dessa forma aplica-se uma condição mais realista à simulação, dado a variabilidade do consumo no sistema real.

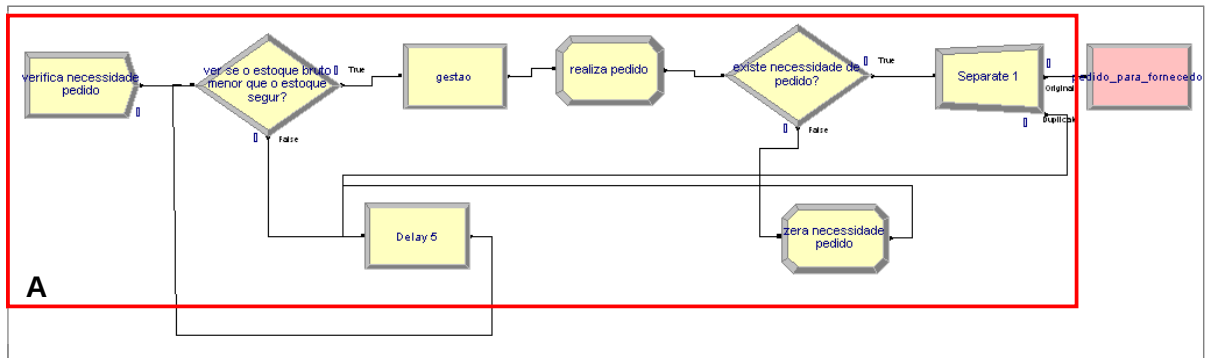
D - Um dos pontos chaves desse submódulo é a determinação do tempo de interrupção da produção, caso não haja disponibilidade do insumo para consumo. A expressão abaixo resume essa lógica:

$$\begin{array}{l} \text{Se } (\text{consumo_cliente} \leq \text{est_atual_cliente}) \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \underline{V} (\text{est_atual_cliente} = \text{est_atual_cliente} - \text{consumo_cliente}) \\ \underline{E} (\text{interrupção_producao} = \text{interrupção_producao} + 1) \end{array} \right. \end{array}$$

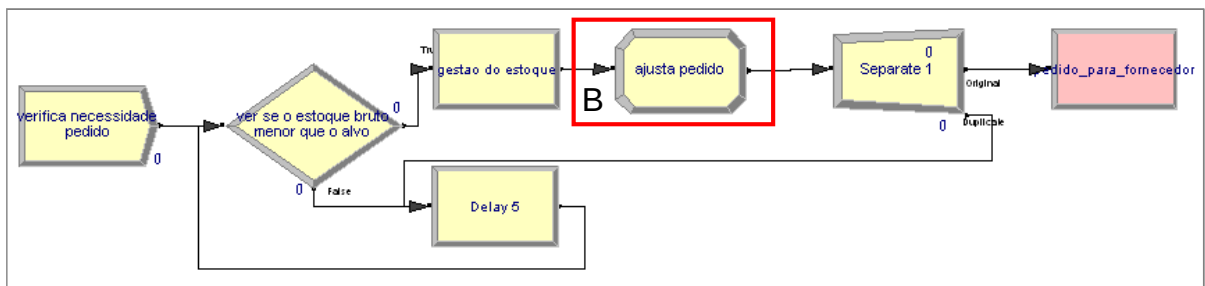
Nota - Para o *Insumo3* a lógica aplicada foi simplificada em função do mesmo ter o mesmo perfil de consumo para os três tipos de campanha de produção.

Sub- módulo 3.4 – Cria pedido

Insumo1 e Insumo2



Insumo3



A – A lógica que simula o papel do analista, gestor dos níveis de estoque no cliente, é realizada através de duas condicionantes.

Na primeira, verifica-se se o estoque bruto no cliente é menor que o estoque de segurança, disparando a necessidade de emissão de um pedido para o fornecedor.

Se $(est_atual_bruto_cliente < est_segur_bruto_cliente)?$

$$\begin{cases} \underline{V} (necessidade_pedido), \text{ ou} \\ \underline{E} (aguarda 12 \text{ horas até nova gestão}) \end{cases}$$

Na segunda, antes da emissão definitiva do pedido, é atestado se não existem estoques em trânsito ou pedidos residuais no cliente.

Se $(necessidade_pedido = est_alvo_bruto_cliente - est_atual_bruto_cliente - est_transito - pedido_residual) > 0?$

$$\begin{cases} \underline{V} (mostra_pedido = necessidade_pedido) \\ \underline{E} (mostra_pedido=0; aguarda 12 \text{ horas até nova gestão}) \end{cases}$$

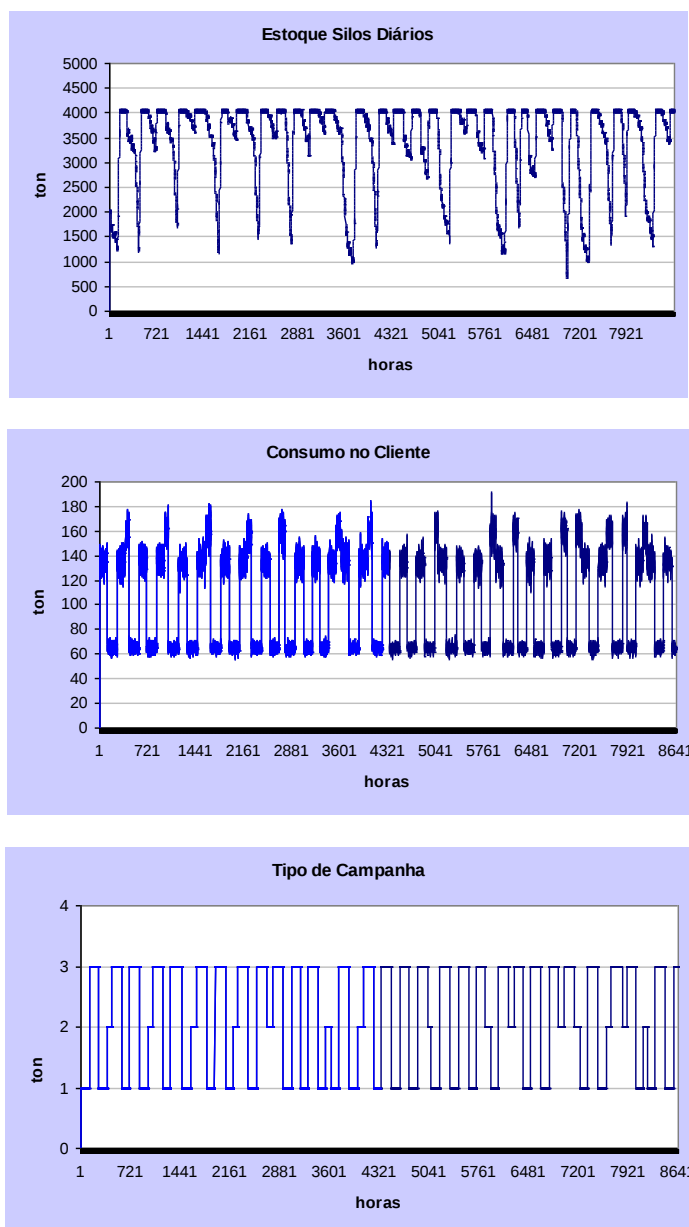
Atendidas as duas condicionantes, o pedido é enviado para o fornecedor através da variável *mostra_pedido*. Essa variável é responsável por ativar o submódulo “atendimento do pedido” no fornecedor.

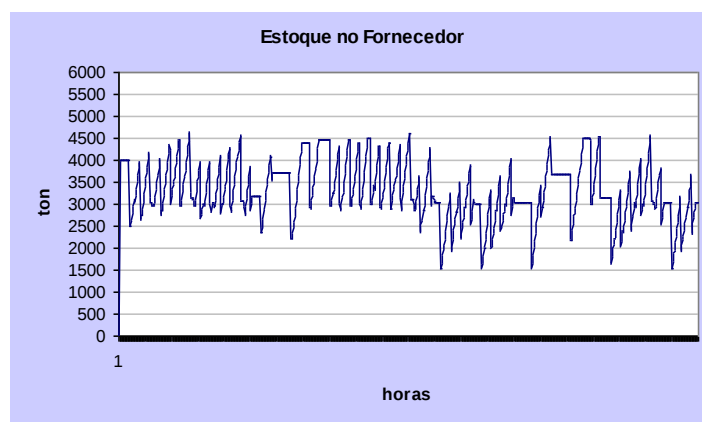
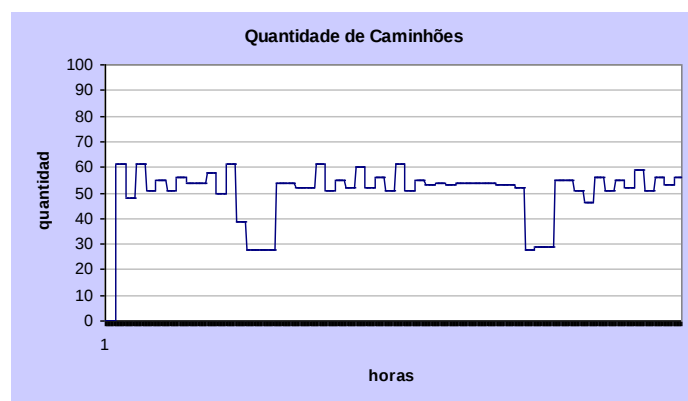
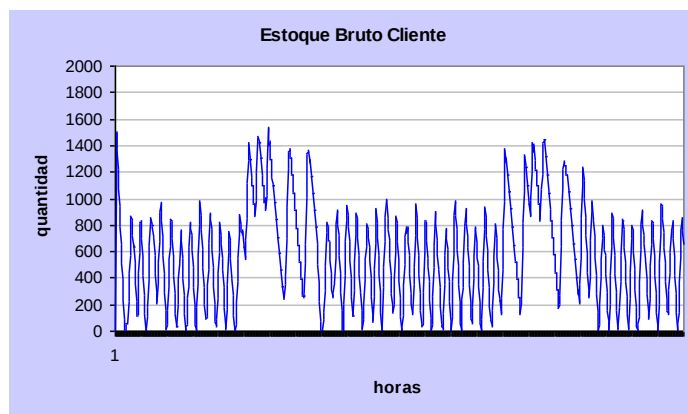
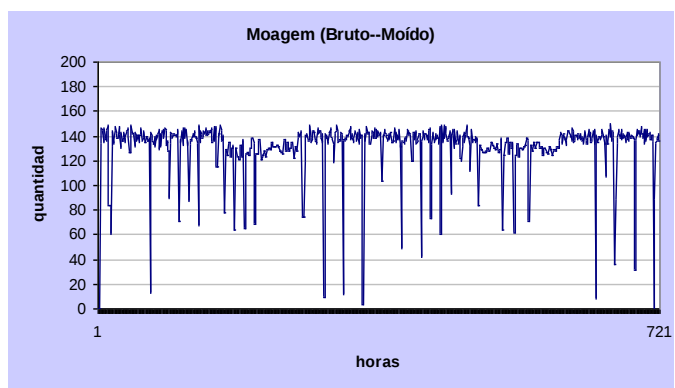
Nota – Para o *Insumo3*, com maior *lead-time*, a quantidade solicitada é sempre constante e igual a 45.000, por representar a capacidade média de um navio *handymax*.

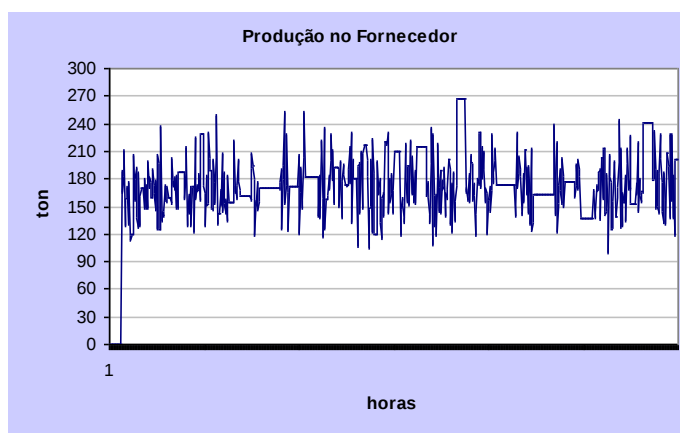
APÊNDICE B – Resultado das simulações

B.1. *Insumo1* – Cenário C.e1.A (Expansão da Produção)

- Rodada de Simulação – R13

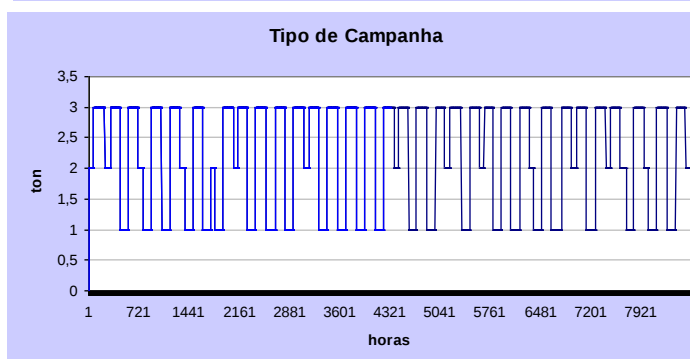
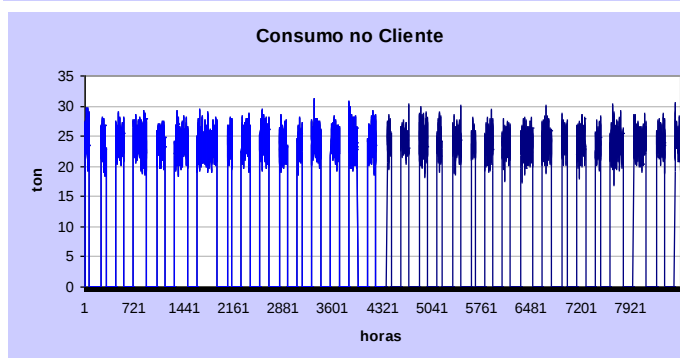
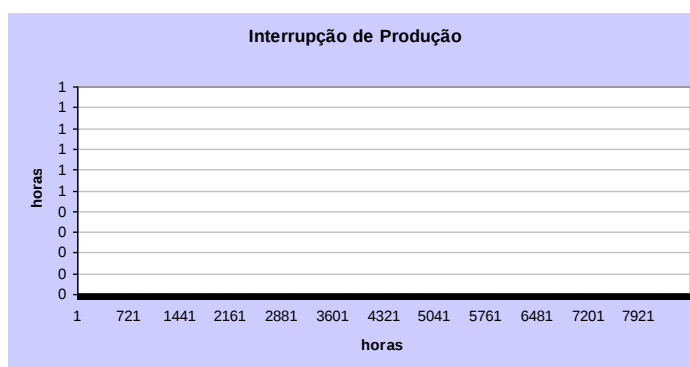


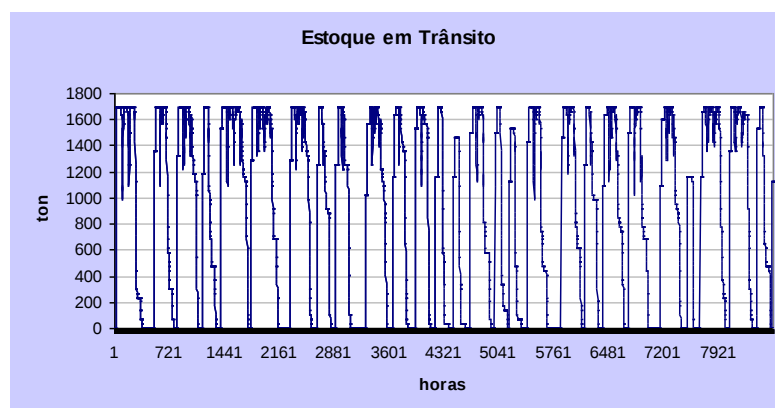
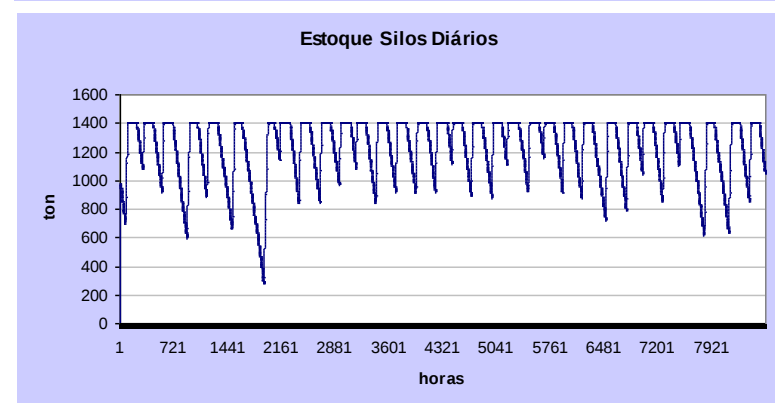
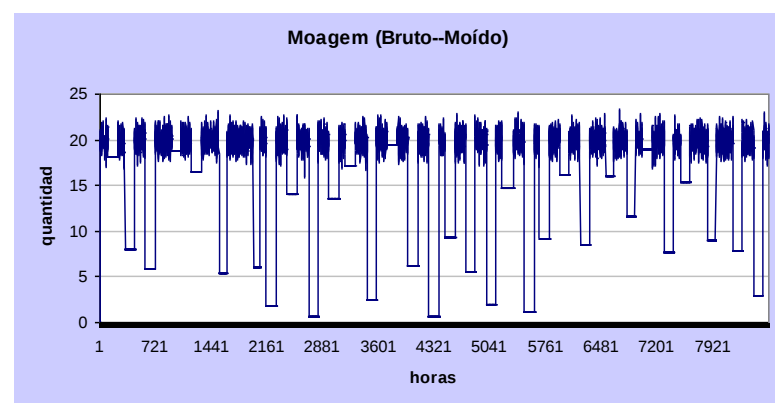
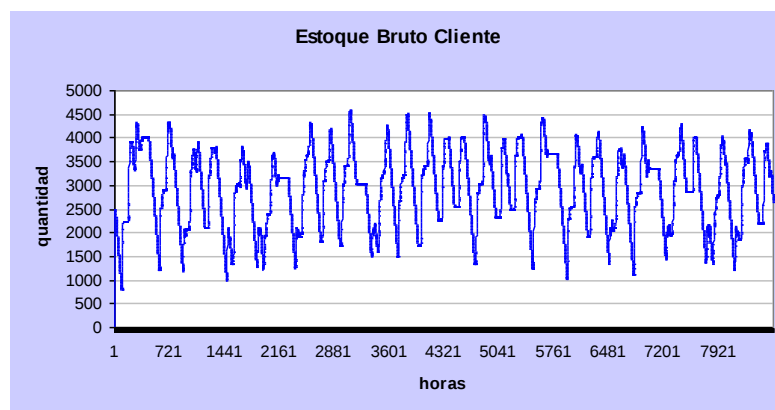


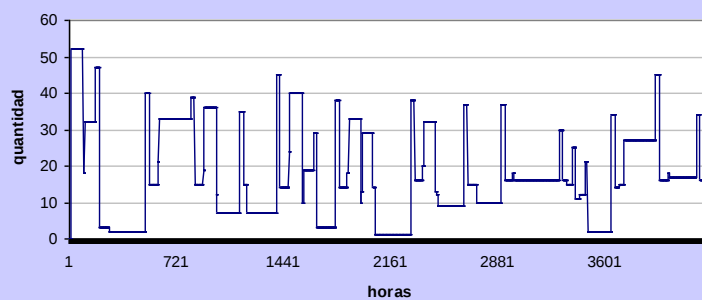
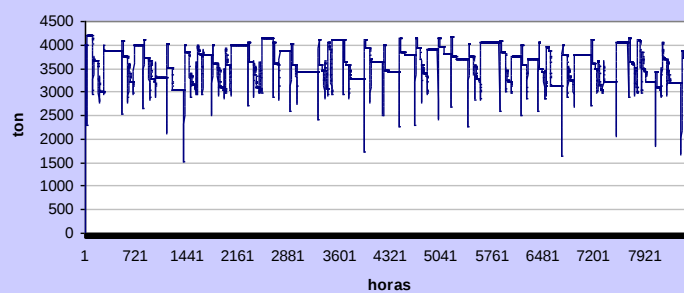
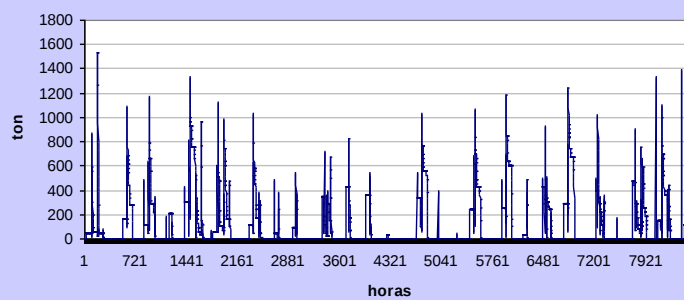
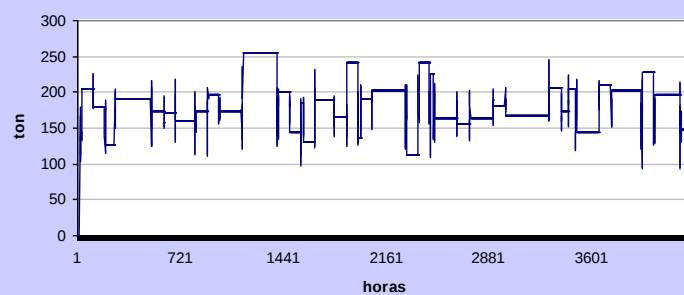


B.2. *Insumo2* – Cenário C.e2.A (Expansão da Produção)

- Rodada de Simulação R15

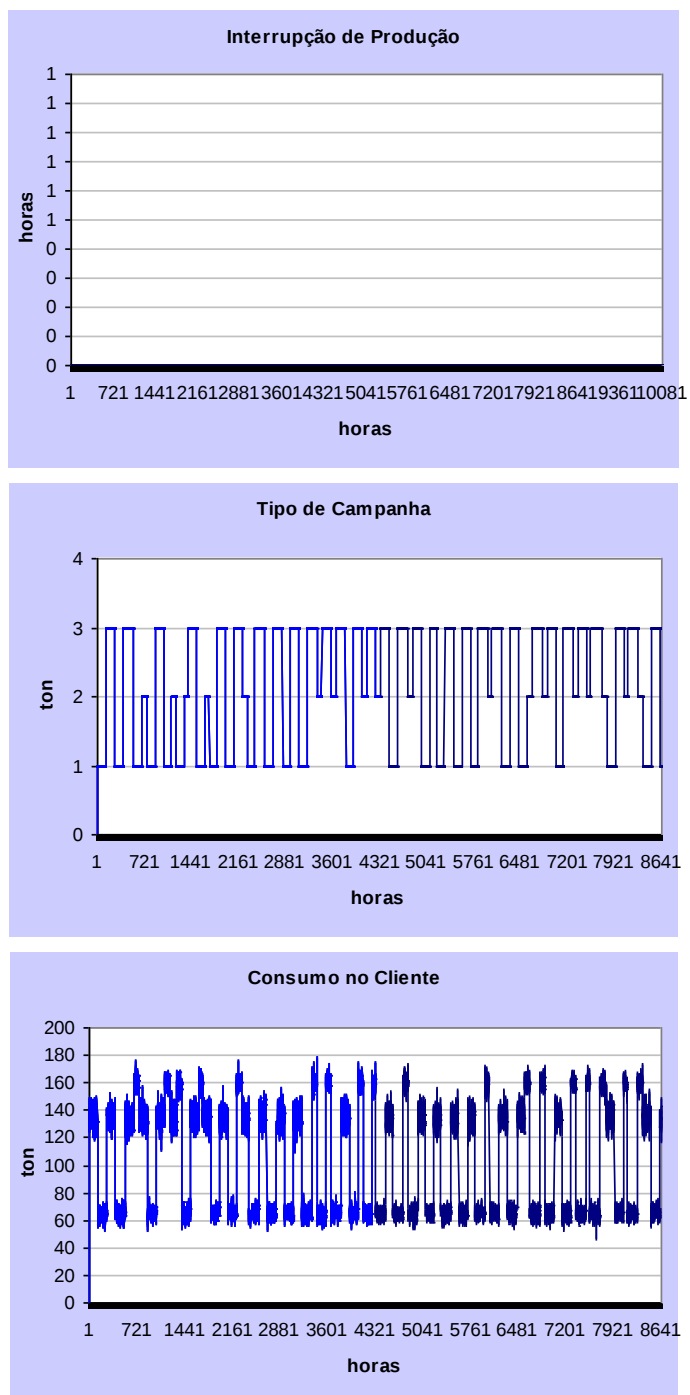


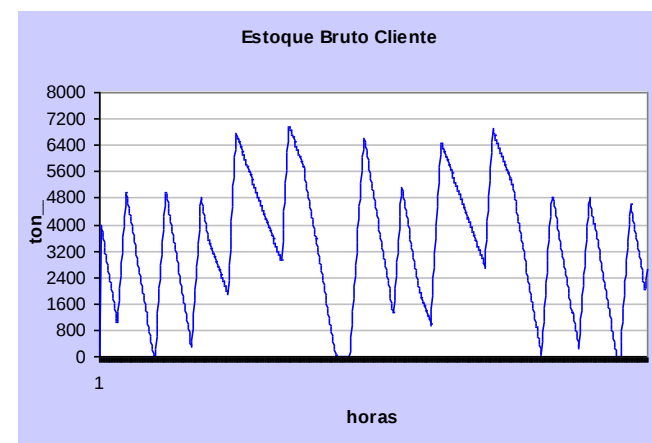
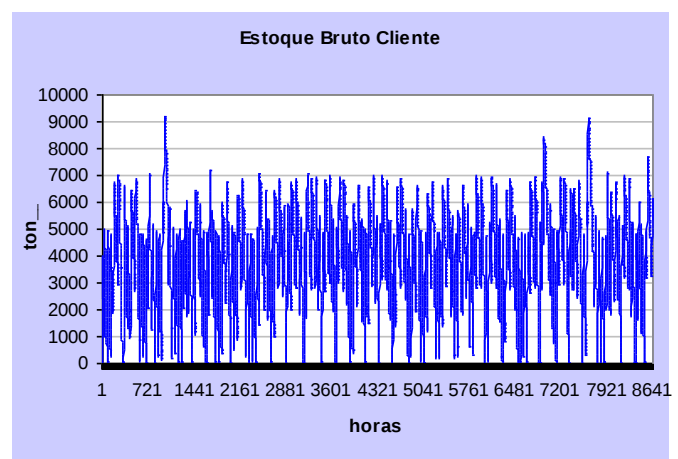
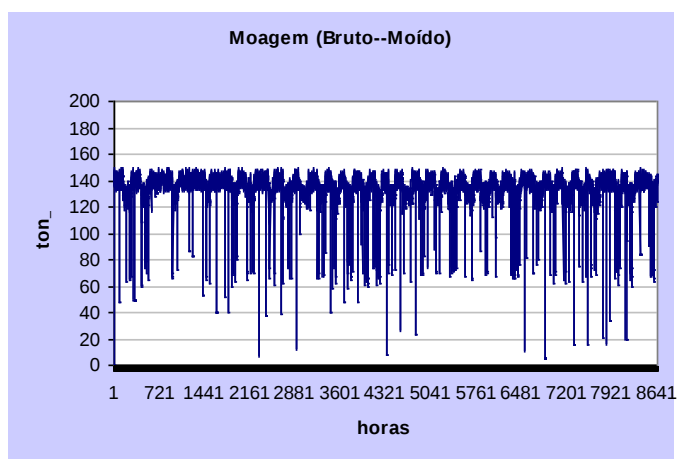
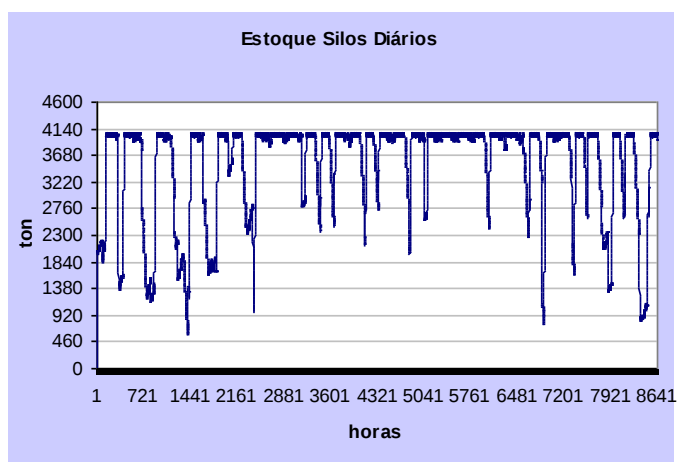


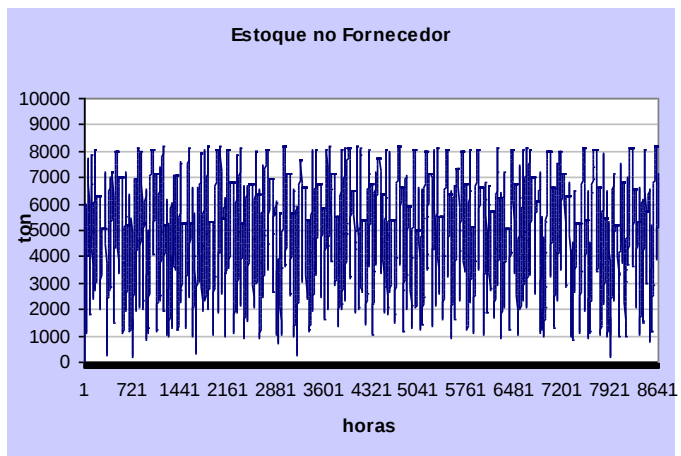
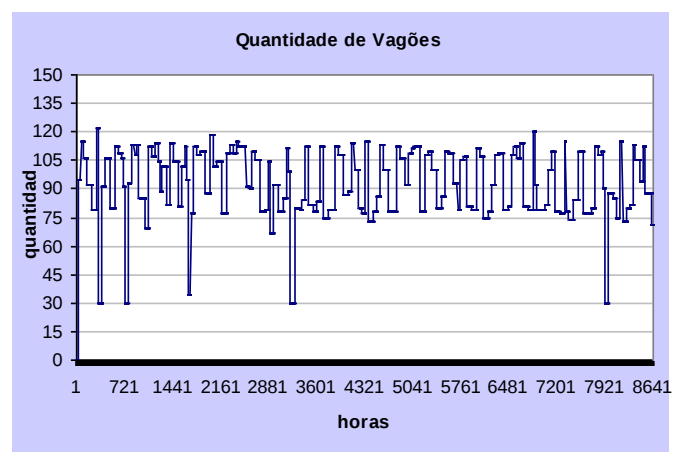
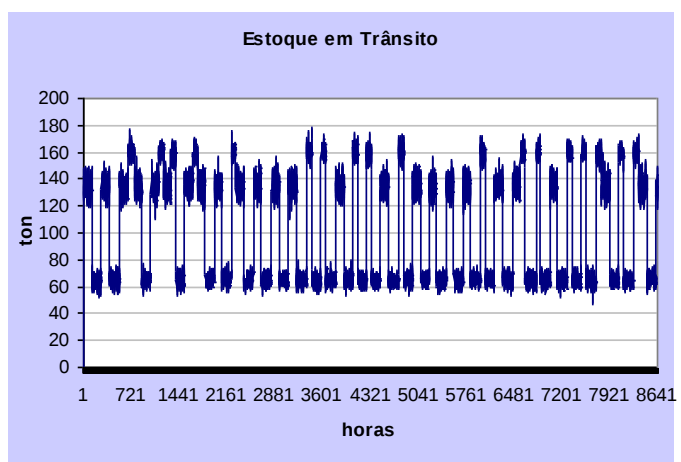
Quantidade de Caminhões**Estoque no Fornecedor****Pedido Pendente****Produção no Fornecedor**

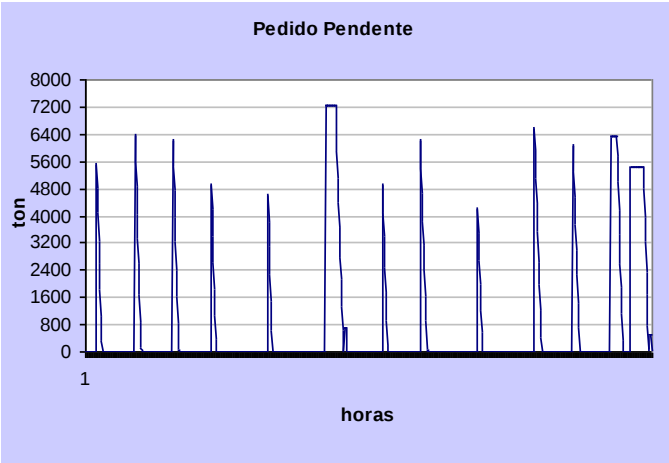
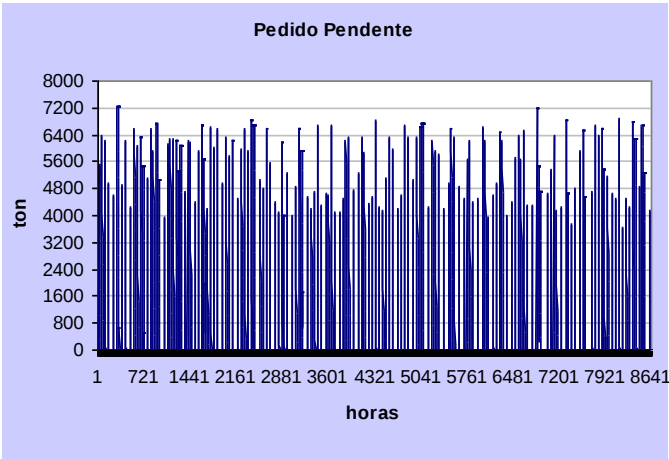
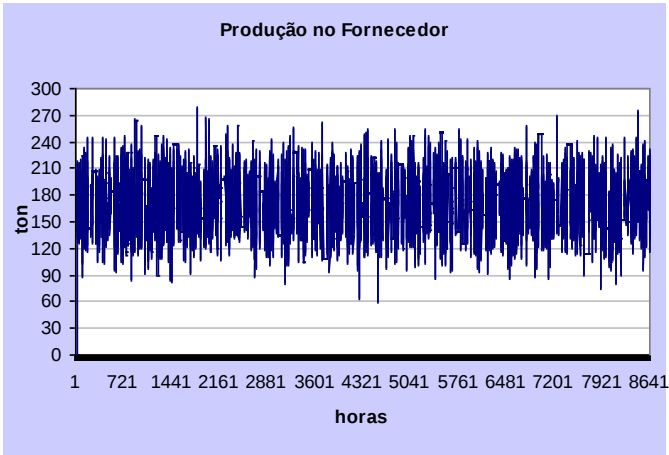
B.3. *Insumo3* – Cenário C.e3.A (Expansão da Produção)

- Rodada de Simulação R17









B.4. *Insumo1* – Cenário C.e1.B (Modo de transporte: Ferrovia)

- Rodada de Simulação R21

