

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEOTECNIA  
NUCLETRANS – NÚCLEO DE TRANSPORTES**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM  
LOGÍSTICA ESTRATÉGICA E SISTEMAS DE TRANSPORTE**

**MODELO DE SIMULAÇÃO APLICADO À ANÁLISE OPERACIONAL DE  
TRANSPORTE RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE CASO**

**Monografia**

**Rodrigo Drumond Alvarez de Araújo**

**Belo Horizonte, 2011**

**Rodrigo Drumond Alvarez de Araújo**

**MODELO DE SIMULAÇÃO APLICADONA ANÁLISE OPERACIONAL DE  
TRANSPORTE RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte.

**Orientador: Prof<sup>a</sup> Renata L. M. de Oliveira**

**Belo Horizonte, 2011**

**MODELO DE SIMULAÇÃO APLICADONA ANÁLISE OPERACIONAL DE  
TRANSPORTE RODOVIÁRIO: UM ESTUDO DE CASO**

**Rodrigo Drumond Alvarez de Araújo**

**Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dra. Renata L. M. de Oliveira  
Orientador**

**Prof. Dr. David José A. V. de Magalhães  
Avaliador**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, meus exemplos de vida que me fizeram chegar onde estou.

À equipe da ArcelorMittal, pelos ensinamentos e pela confiança depositada para a realização do estudo.

Aos amigos e professores do CELEST que contribuíram para o meu crescimento profissional.

## RESUMO

Em um contexto globalizado, no qual a competição predomina, o desenvolvimento das malhas logísticas torna-se uma exigência fundamental na busca por redução de custos e melhorias nos níveis de serviço de atendimento aos clientes. O presente estudo refere-se à criação de um modelo computacional de simulação para análise operacional do transporte rodoviário contratado pelo departamento de logística da ArcelorMittal.

A análise operacional de novos fluxos, isto é, o detalhamento e seqüenciamento das atividades de transporte rodoviário, intercalando o abastecimento de matéria prima e escoamento de produtos acabados. Esta análise é de extrema importância para o planejamento e controle dos veículos e subsidia a análise de viabilidade financeira deste novo circuito. Atualmente, esta análise operacional é feita de forma determinística, por meio da criação de um *timeline* em planilha eletrônica. O *timeline* refere-se à quantificação dos ciclos que um veículo é capaz de realizar em um determinado fluxo, em um período de uma semana. >O objetivo principal do estudo é apresentar uma nova ferramenta, adequada às características estocásticas do problema, que seja mais precisa para a análise dos novos fluxos logísticos a serem implementados e que disponibilize as informações necessárias à tomada de decisão. O programa foi aplicado a um fluxo específico, em fase de implantação, a título de um estudo de caso. Entretanto a proposta do presente trabalho é desenvolver um modelo para uso genérico, com fácil aplicação em outras análises. Seus resultados incluíram a quantificação do número de ciclos realizados pelos caminhões por semana, assim como os custos de cada modelo e os ganhos obtidos com o modelo da Central de Tráfego. O modelo computacional foi criado pelo autor utilizando-se o software Arena 11.0 Rockwell.

## **ABSTRACT**

In a globalized context which competition prevails, the development of logistics flows becomes a requirement based on the search for cost savings and improvements in service levels of customer service. This research is the creation of a computational model of simulation for supporting the decision of operational analysis for road transport hired by the logistics department of ArcelorMittal

The operational analysis of new flows, that is, the detail and scheduling of road transport activities, merging raw material supply and outflow of product. This analysis is very important for planning and control of vehicles and subsidizes the financial viability of this new flow. Currently, this operational analysis is done on a deterministic, by creating a timeline in a spreadsheet. The timeline it comes to quantifying how many cycles a vehicle is able to perform in a certain flow, in one week. The major objective of the program is to present a new tool, appropriate to the stochastic characteristics of the problem, which could be more precise for the analysis of new logistics flows to be implemented. This would make the necessary information available for the management of the process. Although the program was applied to a specific flow already being implemented, as a case study. However the proposal of the present work is to develop a general model, which could be easily adapted to other analysis. Its results are the quantification of the weekly cycles performed by the trucks, as well as the costs of each model and the earnings by the implementation of the flow in the model of the Central de Tráfego. The computational model was created by the author, in Rockwell Software Arena 11.0.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1. CONTEXTO .....	11
1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	11
1.3. OBJETIVO.....	12
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1. LOGÍSTICA.....	15
2.2. SIMULAÇÃO.....	16
2.3. MODELOS E SISTEMAS .....	17
2.4. FUNDAMENTOS DA SIMULAÇÃO DISCRETA .....	18
2.5. ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO .....	19
2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USOS DA SIMULAÇÃO.....	25
2.7. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO .....	26
2.8. ROCKWELL ARENA .....	27
2.9. ESTATÍSTICA – TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA .....	28
<b>3. HISTÓRICO DA EMPRESA</b> .....	<b>30</b>
3.1. ARCELORMITTAL .....	30
3.2. DEPARTAMENTO DE LOGÍSTICA DA ARCELORMITTAL .....	31
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
4.1. O USO DA SIMULAÇÃO .....	37
4.2. PREMISSAS .....	38
<b>5. MODELAGEM DO PROBLEMA</b> .....	<b>41</b>
5.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	41
5.2. MODELO CONCEITUAL .....	42
5.3. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS.....	46
<b>6. SIMULAÇÃO E RESULTADOS</b> .....	<b>49</b>
6.1. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO .....	49
6.2. VERIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL .....	49
6.3. VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL .....	49
6.4. FORMULAÇÃO, EXPERIMENTOS E ANÁLISE .....	52
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
7.1. TRABALHOS FUTUROS .....	56
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Sistema Influenciado pelo ambiente externo (Fonte: Pritsker, 1995).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2: Classificação dos Modelos de Simulação (Fonte: Gavira, 2003).....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3: Versão Simplificada do Processo de Modelagem (Sargent,1998) .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4: Passos para condução de um estudo de simulação (Fonte: Banks et al.,2005) ..</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5: Templates, Módulos do template e Área de Trabalho do Arena 11.0©.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6: Iceberg representativo da filosofia TCO (BUSTAMANTE, 2008).....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7: Exemplos de fluxos (A) sem casamento de fluxos e (B) com casamento de fluxos (BUSTAMANTE, 2008).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8: Diferenciação entre demanda basal e demanda variável (BUSTAMANTE et al., 2008) .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9: Fluxograma Lógico de Atividades .....</i>	<i>45</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Distribuições Estatísticas de Tempos de Deslocamento e Pesos Transportados..</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 2: Distribuições Estatísticas de Tempos de Carregamento e Descarga .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 3: Resultados do Modelo para validação.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 4: Resultados reais obtidos pela Central de Trafego .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 5: Resultados Modelo X Real .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 6: Ganhos Modelo X Real .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 7: Dados do Arena para o Circuito em análise .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 8: Cálculo da Central de Trafego e resultados do Arena .....</i>	<i>54</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS

MODELO CT	Modelo de Contratação de Veículos da Central de Trafego
MODELO ANTIGO	Modelo de Contratação de Veículos Antigo (R\$/ton)
CT	Central de Tráfego
TCO	Total Cost of Ownership
AM Juiz de Fora	ArcelorMittal Juiz de Fora
AM João Monlevade	ArcelorMittal João Monlevade
AM Piracicaba	ArcelorMittal Piracicaba
AM Sabará	ArcelorMittal Sabará
AM Itaúna	ArcelorMittal Itaúna
AM Cariacica	ArcelorMittal Cariacica

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTO**

Considerando a competição acirrada entre empresas do ramo de *commodities*, no qual se enquadra a empresa em estudo no presente trabalho, a busca por redução de custos torna-se uma exigência para a diferenciação no mercado e garantia de lucros. A logística em geral é responsável por grande parte dos custos de uma organização, e o desenvolvimento e aperfeiçoamento desta pode gerar grandes economias e melhorias no nível de satisfação dos clientes. Se tratando de custos logísticos é necessário ressaltar a participação do transporte de cargas. Segundo Ballou(2007), o transporte representa o elemento mais importante do custo logístico na maior parte das empresas, uma vez que o frete costuma absorver dois terços dos gastos logísticos.

Assim, torna-se relevante analisar a operação do transporte de cargas de forma mais detalhada e eficiente, como a partir do desenvolvimento de modelos de simulação para análise operacional, visando a redução de custos com a movimentação das cargas.

### **1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

A logística corporativa da ArcelorMittal Brasil tem o objetivo de unificar a rede logística das quatro unidades da ArcelorMittal Aços Longos no Brasil, que é composta pela ArcelorMittal Tubarão, ArcelorMittal Vega, ArcelorMittal Aços longos (antiga Belgo Mineira) e ArcelorMittal Inox Brasil. A Central de Trafego, sub-área específica do departamento de logística, possui um modelo de contratação de frota diferenciado.

Geralmente, o transporte de cargas siderúrgicas (modo rodoviário) é feito com o pagamento de frete por tonelada carregada, também chamado pela empresa de “Modelo Antigo de Contratação”. A Central de Trafego, por sua vez, possui contrato com as transportadoras prestadoras de serviço com o pagamento na forma de custo fixo e custo variável no qual o pagamento de pedágio também é incluso, denominado “Modelo CT”. O custo fixo é pago mensalmente para cada veículo que

esta a serviço da empresa contratante, enquanto o custo variável é pago por quilômetro rodado destes veículos com um acréscimo dos custos referentes aos pedágios.

O principal objetivo da Central de Trafego é a criação e operacionalização de circuitos, isto é a conciliação de fluxos, *Inbound* e *Outbound*, de maneira que não haja perdas de tempo em paradas. O custo fixo pago é rateado entre estas viagens. Assim, quanto maior for o número de viagens, mais vantajoso é o Modelo CT em relação ao Modelo Antigo.

Na fase de planejamento de novos circuitos, os analistas devem quantificar os ciclos (circuito completo) que cada veículo será capaz de fazer. Esta análise é denominada *timeline*. O *timeline* é elaborado seqüenciando as operações (carga, deslocamento e descarga), considerando as durações de cada atividade e respeitando os horários de carregamento e recebimento de mercadorias.

Os *timelines* são realizados pelos analistas e, muitas vezes, sua realização é complexa e trabalhosa. As distribuições estatísticas dos tempos de carga, deslocamento e descarga, assim como os tempos reais de espera dos veículos em fila, não são considerados na análise atual e podem ser mais bem avaliados em um modelo de simulação, que considere a natureza estocástica inerente ao processo. Um modelo de simulação discreta possibilita ganhos analíticos no processo de análise referente à implementação de novos circuitos, considerando a movimentação de insumos e produtos acabados no segmento siderúrgico?

### **1.3. OBJETIVO**

Considerando as condicionantes descritas nas seções anteriores e a complexidade inerente à determinação dos *timelines*, o presente do estudo tem como objetivo a modelagem dos circuitos rodoviários em ambiente computacional, por meio da aplicação de simulação discreta, visando promover subsídios à tomada de decisão quanto à implementação de um novo circuito. Essa análise será discutida considerando-se a forma de contratação da Central de Tráfego do departamento de logística da ArcelorMittal, que contrata os veículos com o pagamento de custo fixo

acrescido de custos variáveis. Para se atingir o resultado final, há alguns objetivos parciais que devem ser buscados e são apresentados a seguir:

- Mapeamento dos fluxos e entendimento de todas as atividades
- Desenvolvimento de uma lógica de raciocínio genérica que ilustra a realidade das atividades (Modelo Conceitual)
- Tradução do Modelo Conceitual para a linguagem computacional.
- Validação do modelo computacional com valores reais do sistema.
- Rodagem de análises comparativas entre o modelo simulado e os valores reais.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho é composto por 7 capítulos que abrangem desde a introdução do problema proposto até os resultados dos estudos e suas possíveis continuações.

O primeiro capítulo apresenta o objetivo do trabalho, o contexto do estudo e o problema a ser tratado.

Em seqüência, no capítulo 2 é definido como uma revisão bibliográfica do assunto estudado. Nessa revisão são abordados os conceitos fundamentais de simulação, assim como suas principais vantagens e desvantagens de utilização.

No capítulo 3, são introduzidas informações sobre a empresa em que o estudo foi desenvolvido. As informações gerais sobre plataforma de trabalho e suas atividades de funcionamento são detalhadas.

No capítulo 4 é fundamentado o método empregado e as premissas adotadas para formulação do modelo.

No capítulo 5 faz a formulação da solução proposta. Ele é composto pelas etapas de formulação do problema, modelo conceitual e coleta e tratamento de dados.

No capítulo 6 é apresentada a simulação e os resultados, abordando a implementação do modelo computacional, as etapas de verificação e validação e

aplicação da otimização proposta. Todas estas análises são feitas em comparação com a metodologia antiga de análise de ganhos.

O sétimo e último capítulo representa as conclusões tiradas do presente trabalho e sugestões para estudos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1. LOGISTICA

O transporte é considerado a área operacional da logística e geograficamente movimenta e posiciona os estoques, de extrema importância e custo visível o transporte tem recebido significativa atenção dos administradores, valendo citar que todas as empresas, independente do tamanho estão tendo administradores responsáveis pelo transporte, segundo Bowersox(2007).

O transporte representa o elemento mais importante do custo logístico na maior parte das firmas. O frete costuma absorver dois terços do gasto logístico e entre 9 e 10% do produto nacional bruto para economia americana como um todo. Por esta razão, o especialista em logística deve ter bom conhecimento deste tema. (BALLOU, 2007, p. 113).

Bowersox (2007) cita que a partir de três maneiras básicas é possível satisfazer as necessidades relacionadas ao transporte, pode-se operar uma frota particular, podem ser feitos contratos com pessoal especialmente dedicado ao transporte e podem ser contratadas diversas empresas que prestam diversos serviços de transporte, de acordo com a necessidade de cada embarque. Do ponto de vista logístico são fundamentais para o desempenho dos transportes três fatores, são eles: custo, velocidade e consistência.

Seguindo com Bowersox(2007), o custo do transporte é o pagamento entre o embarque e desembarque entre as localizações e os recursos necessários para manter o estoque em transito. Os sistemas logísticos devem utilizar transportes que cada vez mais minimizem o custo total do sistema. A velocidade é o tempo necessário para que uma movimentação específica seja concluída e a consistência representa as variações no tempo para se realizar uma movimentação específica em determinado número de embarques e reflete a confiabilidade do transporte.

A consistência é considerada o atributo mais importante para o transporte de qualidade. Um transporte feito pela primeira vez com duração de 5 dias quando feito na segunda, não pode durar muito mais nem muito menos, pois, variações

inesperadas podem gerar enormes problemas operacionais na cadeia de suprimentos e a inconsistência faz necessários estoques de segurança o que não é favorável. A velocidade e a consistência representam a qualidade do transporte, porém, em alguns casos um transporte lento com custo baixo seja satisfatório, segundo Bowersox (2007).

## **2.2. SIMULAÇÃO**

A simulação é uma eficiente ferramenta utilizada para o auxílio aos tomadores de decisões, quando é bem entendida e utilizada de forma correta. Este tipo de ferramenta permite a simulação de qualquer realidade em grandes horizontes de tempo, desta forma a simulação pode ser utilizada para diversos fins gerenciais. Uma das vantagens da simulação é que esta pode ser utilizada em sistemas que já existam e sistemas que venham a existir. A simulação pode ser utilizada com intuito de acompanhamento, análise de comportamento de um determinado processo e intervenção quando necessário e projeções futuras de novos sistemas.

Shanon(1998) define Simulação como:

*Processo de modelagem de um sistema real e condução de experimentos neste, com o propósito de entender o comportamento do sistema e avaliar varias estratégias para operação deste.*

O princípio de um estudo de simulação começa pelo entendimento de dois componentes chaves, estes são modelo e sistema, que serão abordados na próxima seção.

## 2.3. MODELOS E SISTEMAS

Segundo Shanon (1998), modelo é a representação de um grupo de objetos ou idéias, enquanto sistema é um grupo de elementos inter-relacionados que cooperam para um objetivo em comum. Na figura 1, é apresentado um sistema sob influências de fatores externos.



Figura 1: Sistema Influenciado pelo ambiente externo (Fonte: Pritsker, 1995)

Na maioria das vezes, os sistemas apresentam um número muito grande de elementos que se relacionam dessa forma o grau de complexidade de representar tal sistema é demasiadamente alto. Simular sistemas com esta característica é inviável e muitas vezes impossível. Dessa forma são criados modelos para representar uma parte do sistema de interesse. Segundo Gordon(1969) os modelos são criados visando estudar e entender algum tipo do comportamento do sistema real.

Existem diferentes tipos de classificação para os modelos de simulação. Estes são classificados em: Determinísticos ou Estocásticos; Estáticos ou Dinâmicos; Discretos ou Contínuos.

O modelo determinístico não considera variáveis aleatórias no modelo, considera as variáveis como constantes, como, por exemplo, a taxa de vazão de um duto de água. Já nos modelos estocásticos, as variáveis possuem um comportamento de acordo com uma função de probabilidade.

Modelos estáticos são aqueles que representam o sistema em um instante de tempo apenas, a variável tempo não é levada em consideração em modelos deste tipo. Já no modelo dinâmico, ao contrário do estático, a variável tempo é levada em consideração.

Os modelos discretos apresentam uma característica em que, segundo Law e Kelton (1999), o comportamento das variáveis de estado varia instantaneamente em diferentes estados de tempo

Os diferentes tipos de modelos de simulação podem ser visualizados na figura 2.

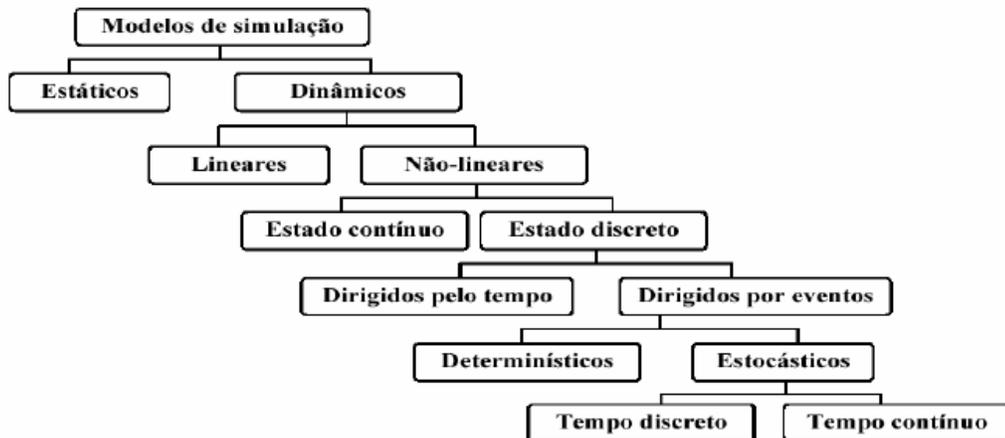


Figura 2: Classificação dos Modelos de Simulação (Fonte: Gavira, 2003)

## 2.4. FUNDAMENTOS DA SIMULAÇÃO DISCRETA

Simulação é basicamente a modelagem de um sistema particular que demonstra o fluxo e comportamento das entidades deste sistema. Segundo Ingalls (2001) a melhor maneira de entender o que são entidades e quais são suas funções, é compreender que entidades causam as mudanças no estado da simulação, nada aconteceria na simulação caso não houvesse entidades. Entidades podem ser quaisquer objetos que entrem no sistema e passem por uma série de processos.

Entidades possuem atributos, que são características individuais que correspondem especificamente a sua respectiva entidade. Atributos pode ser prioridade em uma operação, nomes, validade, etc.

Conforme as entidades são processadas estas necessitam de recursos, que são definidos como qualquer tipo de requisito que a entidade necessita para ser processada. Pode-se utilizar como exemplo de recursos, ferramentas de trabalho ou trabalhadores para desempenhar uma determinada função.

Em um modelo de simulação, atividades são os processos lógicos pelos quais as entidades passam, e eventos são caracterizados pelas mudanças no sistema. Pode-se simplificar da seguinte forma: as entidades passam por atividades no fluxo do modelo que resultam em uma mudança no estado anterior chamada de evento.

Segundo Ingalls (2001), em um modelo de simulação existem três tipos de atividades: *Delays*, Fila e Lógica. A atividade de *Delay* é quando a entidade fica ocupada durante um período de tempo realizando uma atividade, durante este período de tempo a entidade não pode realizar outras atividades. As atividades de Fila são quando as entidades esperam por um período de tempo indeterminado para serem processadas. As Lógicas são atividades que permitem as entidades afetar o sistema através de manipulação do estado das variáveis.

As fontes são as entradas das entidades no sistema e sumidouros são as saídas destas mesmas.

## **2.5. ETAPAS DE UM PROJETO DE SIMULAÇÃO**

A principal ideia desta ferramenta de análise é simular um determinado processo para servir de suporte na tomada de decisão. Desta forma o modelo deve ser confiável, caso contrário pode levar a decisões equivocadas causando assim possíveis prejuízos. A confiabilidade de um modelo depende em grande parte da técnica e experiência do técnico que esta executando tal estudo. Segundo Banks et.

al (2005), existem alguns passos a serem seguidos para condução de um estudo de simulação:

I - O primeiro destes passos é a definição do problema a ser estudado, quais são os objetivos do estudo e a quais perguntas que queremos responder. É de suma importância nesta etapa certificar que todos os fatores críticos foram considerados. Identificando possíveis erros no início do projeto evita desperdícios de esforços e tempo.

II - Concluída esta etapa, é necessário planejar o projeto. É necessário ter certeza de que há mão de obra, suporte e recursos suficientes para realização deste estudo.

III - Definição do sistema é basicamente definir os limites e restrições do modelo e investigar como este irá funcionar.

IV - Em seguida tem-se a elaboração do modelo conceitual, que se trata da formulação do raciocínio lógico do modelo. Esta elaboração é feita em gráficos ou blocos, e tem como objetivo demonstrar a lógica que o modelo irá obedecer. A maior dificuldade na construção de um modelo conceitual é que este deve ser simples, mas suas características devem ser suficientes para atingir os objetivos do estudo. A Lei de Pareto diz que em todo grupo de entidades, existe um pequeno grupo de entidades vitais e um grupo maior de triviais. Segundo este, 80% do comportamento do modelo pode ser explicado pela ação de 20% dos componentes deste. Um dos problemas da simulação é identificar corretamente estes componentes vitais e incluí-los no modelo.

V - Em seguida é necessário estudar e analisar quais fatores irão variar no modelo, identificar quais os dados de entrada serão necessários, suas respectivas formas de entrada e extensões. Definido estes dados de entrada, é necessário coletar os mesmos. Esta etapa é de extrema importância para o resultado do modelo, já que o modelo irá processar os resultados baseando-se nestes dados de entrada.

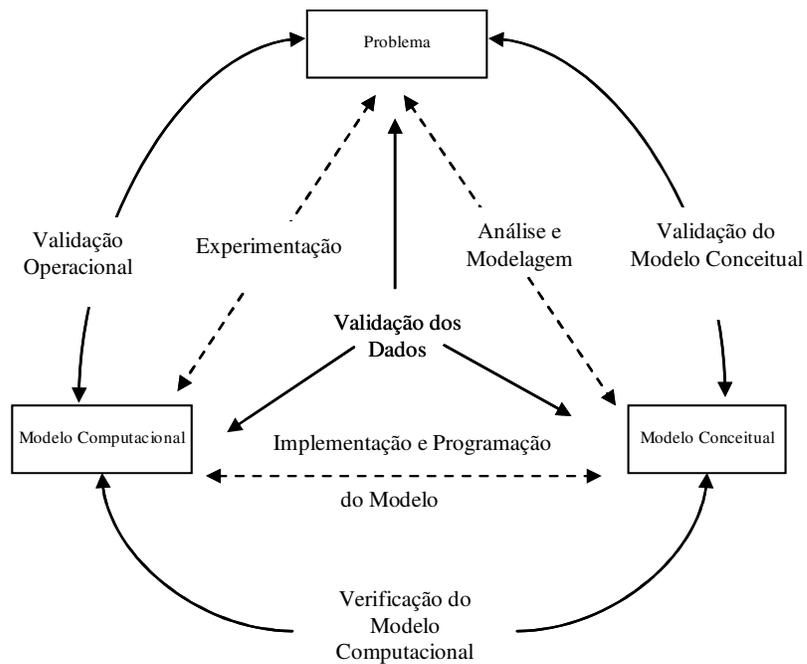
VI - O próximo passo é traduzir o modelo para uma linguagem de simulação, nesta etapa todas as informações contidas no modelo conceitual devem ser traduzidas e adaptadas a uma linguagem de simulação adequada.

VII - A próxima etapa de um estudo de simulação é a validação ou verificação do modelo, no qual o analista deve se certificar que o modelo simula a total realidade da operação. Segundo Sargent (1998), existem três metodologias diferentes de validação, a mais comum delas é quando o próprio time de simulação realiza o processo de validação, esta é uma decisão subjetiva baseada nos resultados de vários testes que são considerados parte do processo de desenvolvimento do modelo de simulação. Existe também uma metodologia chamada “Verificação e Validação Independente”, quando uma equipe independente decide se o modelo é válido ou não. Segundo Wood (1986) este tipo de Verificação e Validação é extremamente cara e demanda muito tempo, uma vez que esta etapa é realizada nas partes finais dos estudos. Este autor possui uma opinião que se equipe independente para tal assunto for utilizada, esta validação deve ser feita durante todo o desenvolvimento do modelo. A terceira e última metodologia de validação é conhecida como “Scoring Model”, este tipo de validação é baseada em um sistema de pontuação e pesos que são definidos de maneira subjetiva.

Schlesinger (1979) define validação como:

*Garantia que o modelo e sua implementação estão corretos. Dessa forma seus resultados devem oferecer acurácia naquilo que tange a aplicação do modelo.*

Na figura 3 é apresentado um procedimento simplificado de validação do modelo conceitual e computacional.



**Figura 3: Versão Simplificada do Processo de Modelagem (Sargent,1998)**

VIII - Em seguida é necessário realizar a experimentação do modelo, esta etapa tem o objetivo de gerar as informações que se deseja obter no estudo. Após isto é necessário analisar os resultados obtidos e tirar conclusões a partir destes resultados.

IX - A ultima etapa é a implementação e documentação dos resultados da simulação, onde o modelo e os resultados devem ser documentados.

Para um eficiente projeto de simulação, é extremamente importante que estas etapas sejam seguidas de forma correta. É bastante comum de ocorrer casos em que o modelador se apressa nas primeiras etapas com intuito de chegar rapidamente no passo 6, que corresponde a formulação do modelo computacional. As etapas anteriores e posteriores a esta são de extrema importância para a eficácia do modelo, principalmente a etapa de validação do modelo conceitual. Quanto maior é o tempo gasto nas primeiras 5 etapas, mais rapidamente o condutor do estudo irá finalizar o projeto, assumindo que este tempo foi gasto no entendimento do modelo, formulação do modelo conceitual e designação de futuros experimentos.

Em Shanon(1998), o autor descreve a regra 40-20-40, que diz respeito as etapas da simulação. Esta regra diz que 40% do esforço realizado em um estudo de simulação deve ser dedicado as 5 primeiras etapas, 20% dedicado a etapa 6, e os outros 40% de esforço dedicado as etapas finais.

Na figura 4 pode-se observar um diagrama de blocos que sintetiza os passos citados anteriormente para a formulação de um eficiente estudo de simulação.

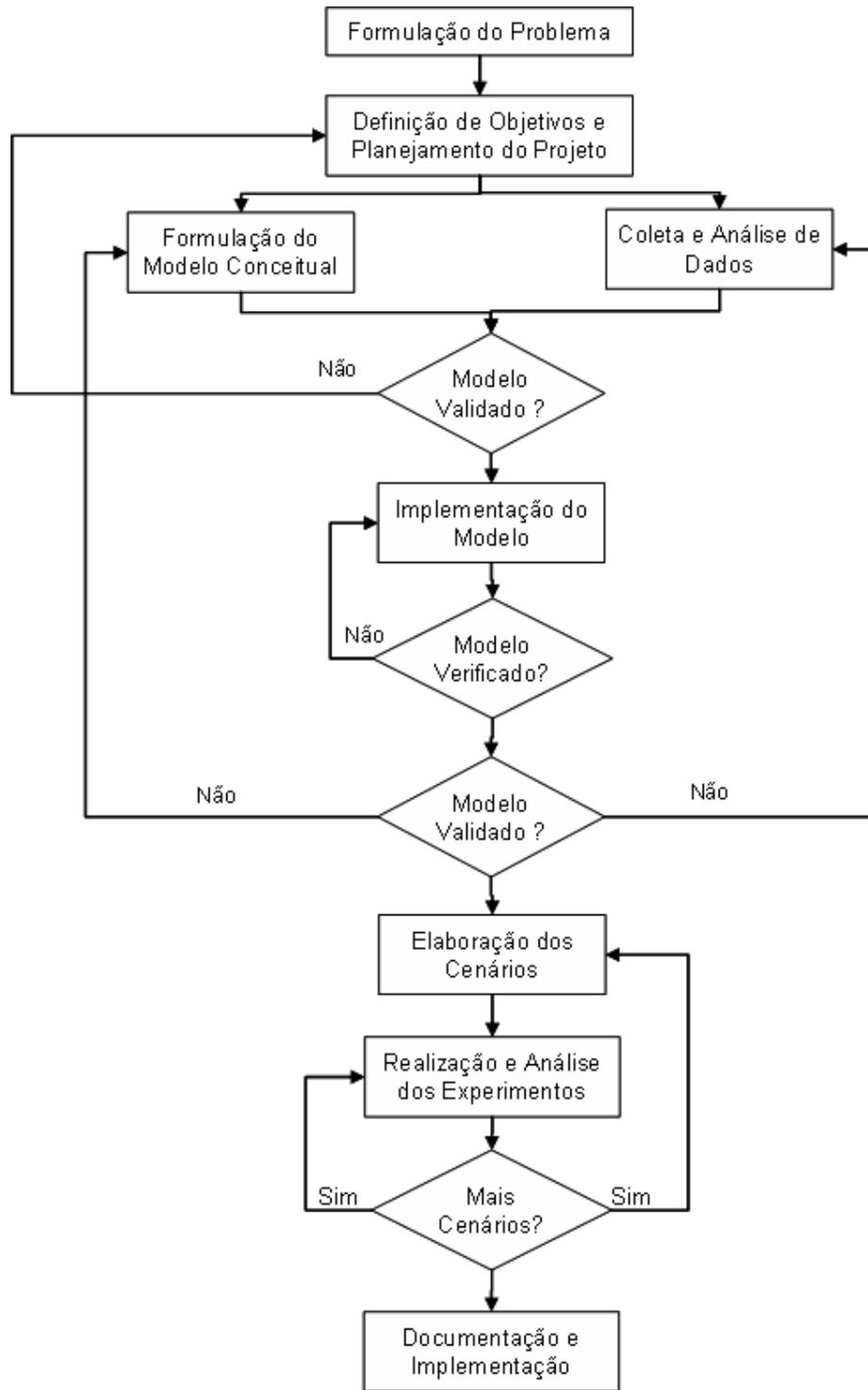


Figura 4: Passos para condução de um estudo de simulação (Fonte: Banks et al.,2005)

## 2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO

A ferramenta de simulação apresenta algumas vantagens para analisar sistemas, quando comparados a outros modelos matemáticos ou analíticos. Segundo Shanon(1998), estas vantagens da simulação se devem ao fato desta ferramenta ser de fácil entendimento e aceitação pelos gestores. Além disto a simulação possui uma grande credibilidade uma vez que esta representa a realidade com um menor número de simplificações e consegue representar um maior número de características reais do sistema estudado.

É possível identificar diversas outras vantagens no uso da Simulação, entre estas ressaltam-se: a possibilidade de testar novos cenários, layouts ou designers sem empenhar grandes recursos nesta implementação, novos procedimentos operacionais; permitir identificar gargalos no fluxo de informação, material e produto; a simulação permite o controle do horizonte de tempo, o que é um enorme diferencial pois permite ao modelador testar um determinado cenário em longos períodos para verificar sua viabilidade; nos permite visualizar como um sistema realmente funciona e identificar quais variáveis são mais importante de se controlar; permite experimentar novas situações e responde a perguntas do tipo “E se?”.

Como qualquer outra ferramenta, a simulação apresenta algumas desvantagens, a saber:(i) devido à complexidade dos estudos de simulação, é necessário treinamento especializado uma vez que a utilidade de um trabalho de simulação depende da qualidade do modelo e do talento do encarregado por este; (ii) conseguir determinados dados de entrada para o modelo pode demandar muito tempo, mesmo assim estes dados podem ser questionáveis;(iii) a análise de resultados pode ser de difícil interpretação; (iv) a simulação obtém as respostas de acordo com os dados de entrada, esta ferramenta simula um cenário de acordo com as especificações determinadas pelo responsável pela modelagem, desta forma não garante soluções ótimas.

Nas seções 2.7 e 2.8 é apresentada a simulação no ambiente computacional, primeiramente tratando softwares de simulação de uma forma geral, e

posteriormente focando no software Rockwell Arena, ambiente no qual foi desenvolvido o trabalho.

## **2.7. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO**

Os estudos de simulação tiveram início em meados dos anos 50, com o surgimento dos computadores digitais. Nesta época, experimentos de simulação eram realizados utilizando linguagens de programação gerais, como FORTRAN, por exemplo. Porém a programação neste tipo de linguagem é muito complexa, o que tornava o estudo de simulação muito trabalhoso e conseqüentemente caro para as empresas. Segundo Kelton, *et al.*(1998), empresas do ramo siderúrgico e aeronáutico formavam grupos de 6 a 12 pessoas de alta graduação para conduzir estudos de simulação.

A programação em linguagens de uso geral apresentava vantagens como, por exemplo, a capacidade de uma alta customização e flexibilização destes programas. Entretanto, a complexidade desta programação associada a uma demanda por softwares específicos levaram programadores a desenvolverem uma linguagem de programação dedicada à simulação.

Uma vez que estas linguagens foram criadas, o estudo de simulação foi difundido nas universidades e entre profissionais de Engenharia Industrial. Porém estes softwares ainda eram complexos para muitos profissionais que não eram especialistas em programação, o fato de não possuir um interface gráfica ainda limitava a construção dos modelos computacionais.

O desenvolvimento das linguagens de programação de alto nível fez com que o uso da simulação como ferramenta de auxílio à tomada de decisão se popularizasse. Entre os softwares de simulação podemos destacar o ARENA, PROMODEL, AUTOMOD entre outros. Estes novos softwares permitem uma interface gráfica entre o usuário e o computador tornando viável a utilização do software por pessoas que não sejam especializadas em programação. Esta nova facilidade no uso da simulação fez com que esta ferramenta se popularizasse, uma vez que a

programação de um problema podia ser realizada simplesmente arrastando blocos de *templates* padrões e definindo relações entre entes. Os softwares de simulação estão em constante evolução, uma vez que, comprovada a eficácia destes, a demanda de trabalho em simulação é crescente. Esta procura faz com que estes softwares evoluam, e tem levado programadores a desenvolverem softwares de simulação específicos para diferentes processos de produção.

## 2.8. ROCKWELL ARENA

O software em questão possui uma interface gráfica com o usuário o que permite que este seja usado por programadores que não possuam conhecimento sobre a linguagem SIMAN, que corresponde à linguagem de programação utilizada pelo Arena para a execução e construção dos modelos. Segundo Banks *et al* (1984), este software trabalha com módulos, estes módulos são interligados entre si na Área de Trabalho, e as entidades percorrem estes módulos criando os eventos.

O software possui módulos padrões agrupados nos *templates*; estes padrões são bastante genéricos, de forma que podem ser usados em praticamente qualquer tipo de negócio. Cada módulo possui um conjunto específico de parâmetros que podem ser configurados de acordo com as especificações do modelo. O usuário do Arena também tem a opção de criar blocos ou *templates* personalizados, caso seja necessário. Esta versatilidade proporciona uma maior adequação e satisfação dos condutores de estudos de simulação.

Os blocos são arrastados dos *templates* para Área de Trabalho, onde estes são interligados entre si e definidos suas inter-relações. Outra característica do software em questão é a capacidade de animação. Esta ferramenta permite uma visualização do problema através de uma interface gráfica, o que proporciona um melhor entendimento do modelo.

A figura 5 mostra a área de trabalho do software Arena 11.0. Na próxima seção serão abordados os *inputs* para a simulação computacional, ou seja, os dados de entrada que são inseridos nos modelos e a importância dos mesmos.

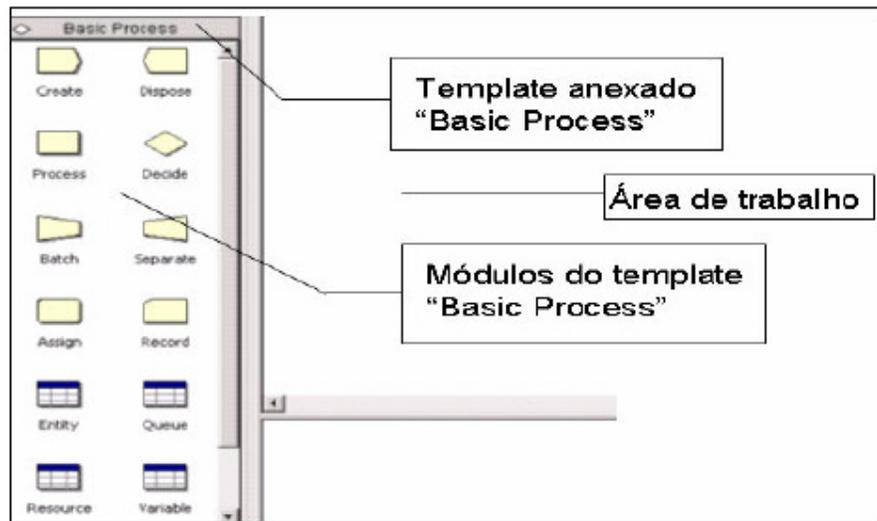


Figura 5: Templates, Módulos do template e Área de Trabalho do Arena 11.0©

## 2.9. ESTATÍSTICA – TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

Em um estudo de simulação, as respostas de um determinado modelo irão depender diretamente dos dados de entrada. Desta forma é de suma importância que os dados de entrada sejam confiáveis. Segundo Korn(2005), a confiabilidade de um conjunto de dados está diretamente associada à forma como os dados foram obtidos. A coleta de dados requer um elaborado plano de amostragem.

Existem 4 passos no desenvolvimento da obtenção de dados de entrada para o modelo. Estas etapas correspondem à coleta de dados, identificar as distribuições estatísticas destes dados, estimar os parâmetros e realizar testes de significância.

A obtenção dos dados de entrada, geralmente consome uma grande parcela de tempo e comprometimento. Na falta destas informações é necessário um ótimo conhecimento do processo para se “sugerir” os dados de entrada. Uma vez que os dados foram coletados é necessária uma análise destes mesmos, para a identificação da distribuição estatística correspondente.

Uma vez que a distribuição de probabilidade foi definida o próximo passo é estimar os parâmetros desta distribuição. Estes parâmetros são estimados com o intuito de reduzir a distribuição ao máximo de forma a tornar aos dados mais precisos de acordo com a real situação.

Atualmente, softwares realizam estes tipos de análise estatística, e exibem a distribuição que melhor se adequou a um conjunto de dados de entrada, com os parâmetros corretos. O software Arena 11.0 possui uma ferramenta de análise de dados fornecidos pelo condutor do estudo de simulação, e fornece ao usuário todas as informações estatísticas necessária para o modelo de simulação.

### **3. HISTÓRICO DA EMPRESA**

#### **3.1. ARCELORMITTAL**

A empresa estudada é a ArcelorMittal Brasil, integrante do grupo ArcelorMittal, maior grupo siderúrgico mundial, com capacidade para a produção de 130 milhões de toneladas de aço por ano. Como resultado da fusão entre Mittal Steel e Arcelor em 2006, esta presente em mais de 60 países, totalizando mais de 320.000 empregados.

A ArcelorMittal Brasil foi constituída em 2005 formada por 4 potências siderúrgicas da América Latina, nos setores de aços longos e planos, - ArcelorMittal Aços Longos, constituída pelas unidades da antiga Belgo e a Acindar da Argentina, a ArcelorMittal Aços planos (Tubarão, Veja da Sul, ArcelorMittal Inox, antiga Acesita). (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

A ArcelorMittal Aços Longos possui 6 unidades no Brasil, estas são: AM Juiz de Fora, AM João Monlevade, AM Piracicaba, AM Sabará, AM Itaúna e AM Cariacica. Na Argentina controla a Acindar, maior produtora de aços longos do país, detendo 66% do capital da empresa. O setor conta com 4500 funcionários no Brasil, além de 3000 funcionários na Argentina. (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

Como uma das maiores produtoras de aços longos trefilados do Brasil, a ArcelorMittal Aços Longos tem capacidade instalada para 5,5 milhões de toneladas ano de laminados e 1,55 milhão de toneladas/ano de trefilados, sendo líder na fabricação de fio-máquina e de arames comerciais e industriais. (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

No Setor de Trefilarias, possui como principal parceiro estratégico o grupo Bekaert, da Bélgica, com participação de 45% do capital. São oito unidades industriais no Brasil, em Minas Gerais, São Paulo, Bahia e três no exterior (Canadá, Chile e Peru). A capacidade de produção é de 855 mil toneladas de trefilados. (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

A ArcelorMittal Brasil, por meio da ArcelorMittal Tubarão e da ArcelorMittal Vega, oferta ao mercado placas, bobinas laminadas a quente e laminados a frio e galvanizados para diversas aplicações industriais. Localizada estrategicamente na região da Grande Vitória, no Estado do Espírito Santo, a ArcelorMittal Tubarão (antiga CST – Companhia Siderúrgica Tubarão) é siderúrgica integrada que detém posição de liderança no mercado internacional de placas e se apresenta como um fornecedor diferenciado no mercado interno de laminados a quente. (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

A ArcelorMittal Vega, instalada em São Francisco do Sul, no Estado de Santa Catarina, é uma unidade especializada na transformação de aço e trabalha com bobinas fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão. Do total de sua produção, perto de 70% destinam-se ao exigente mercado automotivo, principalmente para a produção de carrocerias. Tem-se firmado como um fornecedor preferencial da indústria automobilística. (Site ArcelorMittal Brasil, 2011)

### **3.2. DEPARTAMENTO DE LOGÍSTICA DA ARCELORMITTAL**

O departamento de Logística da ArcelorMittal Brasil é responsável pela integração e unificação da rede logística das 4 unidades da empresa em questão, (ArcelorMittal Tubarão, ArcelorMittal Vega, ArcelorMittal Inox Brasil e ArcelorMittal Aços Longos). Atualmente a plataforma é constituída pela Central de Trafego, equipe que trabalha baseada na metodologia do TCO – Total Cost of Ownership (Custo Total de Propriedade).

#### **3.2.1. PROJETO TCO – CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE**

O TCO teve sua origem em 2004 na ArcelorMittal Aços Longos. Esta metodologia foca no custo total de um determinado produto ou serviço, isto é, custos diretos e indiretos. O TCO, abreviação de expressão inglesa “Total Cost of Ownership”, engloba todos os custos relacionados a um produto ou serviço, desde a decisão

inicial de adquiri-lo, até a sua descontinuação de uso ou posse. Todos estes custos possuem uma relevância tão grande quanto a própria precificação da atividade em questão.

O TCO surgiu, portanto, de uma necessidade de análise mais aprofundada do preço dos produtos e serviços. Desta forma, a empresa visa identificar fatores diretos e indiretos que envolvem a compra, racionalizando os processos. Além dos preços em si, diversos outros fatores estão envolvidos, tais como custos de inventário, de transporte, de aquisição, de operação, manutenção, armazenagem, vida útil, operacionais, etc. Estes custos, apesar de indiretos também devem ser analisados, com o objetivo de minimização dos Custos Totais de Propriedade. (BUSTAMANTE, 2007)

A metodologia do TCO pode ser melhor entendida através da figura 6, onde o topo do iceberg representa o preço de compra do produto ou serviço, enquanto que a parte submersa representa outros tipos de custos indiretos, mas não menos importantes.



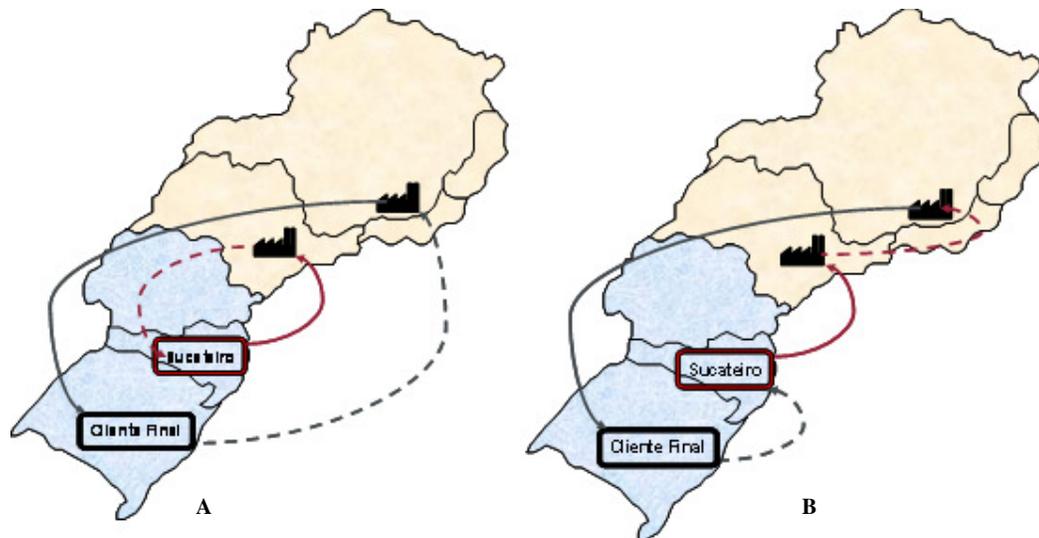
Figura 6: Iceberg representativo da filosofia TCO (BUSTAMANTE, 2008)

### 3.2.2. CENTRAL DE TRAFEGO

A Central de Tráfego (CT) opera com uma contratação de frota diferente do modelo convencional. Quando se tratam de fluxos rodoviários, a forma mais comum de contratação é o pagamento de frete por tonelada carregada (Modelo Antigo de Contratação). A Central de Trafego possui uma forma de contratação que considera um custo fixo associado a um custo variável (Modelo CT). O pagamento de um custo fixo mensal garante a disponibilidade total dos veículos, enquanto que o custo variável é pago por quilometro percorrido acrescido dos eventuais pedágios.

Como o Modelo CT envolve um custo fixo mensal, que corresponde à parcela mais significativa do valor total pago, é importante que um determinado veículo realize o maior número de viagens possível em um mês de forma que o custo fixo mensal seja rateado entre estas viagens e diluído. Portanto quando compara-se em um determinado trecho o Modelo CT (rateio do custo fixo + custo variável + pedágio) e o Modelo Antigo de Contratação (R\$/ tonelada), quanto maior for o número de viagens do veículo, mais vantajoso é o Modelo CT comparado ao Modelo Antigo de Contratação. Outra exigência do modelo é a redução do número de viagens vazias, uma vez que os custos do Modelo CT aumentam uma vez que o caminhão está se deslocando, enquanto que o custo do Modelo Antigo permanece zero devido à inexistência de carga sendo transportada.

A operação da Central de Trafego é baseada na criação de circuitos englobando o casamento de diversos trechos entre os elos. Existem os trechos que possuem o intuito de escoamento de produto acabado ou semi-acabado, chamado de *Outbound*, a outra forma de deslocamento é chamada de *Inbound*, que se trata dos deslocamentos com o intuito de abastecimento de matéria-prima. Os circuitos são previamente criados com o intuito de casar operações de *Inbound* com operações de *Outbound*, visando garantir lucro para a plataforma. Estes fluxos casados normalmente apresentam distâncias percorridas vazias consideravelmente menores do que se fossem realizados separadamente. Podemos visualizar esta sinergia da malha logística através da figura 7.



**Figura 7: Exemplos de fluxos (A) sem casamento de fluxos e (B) com casamento de fluxos (BUSTAMANTE, 2008)**

Conforme se pode observar, a situação A apresenta uma situação sem casamento de fluxos, onde as linhas tracejadas representam os deslocamentos vazios realizados pelo veículo. Nesta situação, tanto no *Inbound* quanto no *Outbound*, os veículos realizam deslocamentos carregados e retornam para suas respectivas origens vazios. Já no exemplo 2, temos um casamento de fluxos de uma atividade *Outbound* com outra *Inbound*, o que faz com que o deslocamento vazio seja reduzido e provoca um melhor resultado para a Central de Trafego.

O contrato com os veículos da Central de Trafego garantem a exclusividade destes para a plataforma, desta forma é necessário que os veículos estejam em operação continuamente para que o Modelo de Contratação seja vantajoso. A regularidade de demanda é um fator primordial para o Modelo CT. O planejamento dos circuitos deve levar em conta o volume basal, isto é, aquele que não varia ao longo do tempo, conforme figura 8.

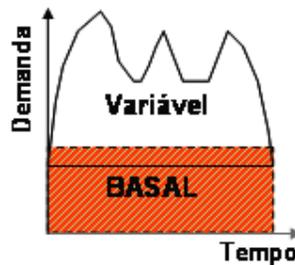


Figura 8: Diferenciação entre demanda basal e demanda variável (BUSTAMANTE et al., 2008)

O planejamento dos circuitos tem o intuito de tentar prever a operação do circuito que está sendo criado para identificar os ganhos que este circuito traria para a plataforma. Uma vez que a questão de regularidade de demanda é atendida de em um determinado circuito, os funcionários responsáveis pela operação da CT podem determinar quantos veículos serão contratados para este circuito e realizar o *timeline* desta operação.

O *timeline* é a determinação de quantos ciclos um veículo será capaz de fazer e quais seriam os ganhos da plataforma provenientes deste circuito. Este cálculo é baseado nos pesos médios carregados e na demanda disponível, considerando as janelas de funcionamento nas usinas, clientes e fornecedores. Como resultado desta análise, temos o número de ciclos realizados e os ganhos que este circuito traria para a empresa. O ganho da CT é realizado através da comparação de custos entre o Modelo Antigo de Contratação e o Modelo CT, com as informações provenientes do *timeline* (número de caminhões, número de ciclos, pesos médios transportados).

Os funcionários da CT contam com uma ferramenta de apoio chamada Loger – Central de Trafego. Esta ferramenta é utilizada em parceria com as transportadoras, com o objetivo de planejar e monitorar as atividades de cada circuito, possibilitando um rígido controle dos caminhões contratados. Trata-se de um sistema no qual as transportadoras lançam todas as atividades dos veículos em tempo real. Estas informações alimentam um banco de dados e fornecem informações para o controle de desempenho das transportadoras. Com este acompanhamento, a CT pode ter

uma melhor intervenção na operação caso seja necessário e garantir que as metas estabelecidas possam ser cumpridas.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. O USO DA SIMULAÇÃO**

O problema em questão se baseia na previsão de diferentes cenários com o objetivo de identificar possíveis oportunidades de lucro para a Central de Tráfego.

Conforme já foi visto anteriormente, o estudo de simulação pode ser definido como: Processo de modelagem de um sistema real e condução de experimentos neste, com o propósito de entender o comportamento do sistema e avaliar várias estratégias para operação deste. (Shanon, 1975)

Percebe-se então que as características do problema estudado são compatíveis com a de um estudo de simulação, em que se quer analisar o comportamento real de vários sistemas, e a partir daí realizar a tomada de decisão.

O objetivo proposto se enquadra nas características desta metodologia de estudo, pela qual, deseja-se simular o comportamento de um determinado sistema antes de sua implementação.

Outra vantagem do estudo de simulação, que pode ser considerada de extrema importância para aplicação do estudo, é a possibilidade de analisar sistemas dinâmicos em que o tempo é uma variável de interesse. Não menos importante, a utilização de dados de entrada aleatórios (modelo estocástico) permite representar de forma real os tempos de duração das atividades e as toneladas transportadas, garantindo assim uma previsão de resultados mais confiável.

Para a construção do modelo foi utilizado o software de simulação Arena, versão 11.

## 4.2. PREMISSAS

Como o autor do presente estudo realizou estágio na empresa em questão, o entendimento dos objetivos e limitações do projeto foram facilitados. A base de raciocínio utilizada é a separação dos fluxos de transporte em grupos, que são representados pelas extremidades dos circuitos. Os grupos são definidos pelo usuário de acordo com o circuito em análise.

O primeiro ponto importante a ser ressaltado é a estrutura lógica do modelo. Ela foi fundamentada na utilização de trechos, que são definidos pelo usuário do programa, de acordo com o circuito em análise.

Cada trecho é composto por quatro atividades que podem ou não estar todas presentes. São elas: carregamento > deslocamento > descarga > deslocamento vazio. Desta forma, considerando o circuito como um fluxo fechado, ele possuirá no mínimo dois trechos a serem analisados (a partida e o retorno ao ponto inicial).

O circuito em estudo neste trabalho possui três trechos:

1º Trecho: AMT (Carregamento) > Deslocamento > Hortolândia (Descarga) > Deslocamento Vazio > Piracicaba

2º Trecho: Piracicaba (Carregamento) > Deslocamento > Rio de Janeiro Cliente (Descarga) > Deslocamento Vazio > Rio de Janeiro Fornecedor

3º Trecho: Rio de Janeiro Fornecedor (Carregamento) > Deslocamento > Cariacica (Descarga) > Deslocamento Vazio > AMT

Para que a implementação computacional do modelo fosse possível, algumas considerações e simplificações foram adotadas, sendo descritas abaixo:

- I. Foi considerada a demanda mensal, não acumulativa, em cada trecho do circuito. As demandas representam a quantidade limite que o total de caminhões contratados poderá carregar e transportar naquele mês. Apesar da escolha inicial ter sido a demanda semanal, a simulação do sistema para um mês permite uma

avaliação mais precisa do comportamento real do sistema e, conseqüentemente, uma melhor análise.

- II. Como o carregamento no fornecedor do Rio de Janeiro pode ser realizado em dois locais (São Gonçalo e Nova Iguaçu) e a descarga no cliente do Rio de Janeiro em três locais distintos (Centro Logístico de Mesquita e Centro de Distribuição Belgo ou Belgo Pronto do Rio de Janeiro), foi utilizada uma distância média para o cálculo das quilometragens.
- III. Os tempos de fila dos caminhões foram computados nos dados relacionados aos tempos de carregamento e descarga. Portanto, as filas em relação aos recursos foram desconsideradas no modelo.
- IV. Foram consideradas as janelas de tempo para carga e descarga dos caminhões, segundo o horário de funcionamento das usinas, fornecedores e clientes, em cada um dos trechos analisados.
- V. O cálculo do número de ciclos foi realizado por meio da quantidade de trechos concluídos. Nos momentos em que, por falta de demanda, os veículos realizam trechos vazios, estes também foram contabilizados neste cálculo, conforme orientação da própria equipe da empresa, uma vez que os cálculos da área também são realizados desta forma.
- VI. Os cálculos da Central de Tráfego foram realizados por meio da quilometragem total percorrida e do pedágio total pago.
- VII. Nas situações em que a demanda do trecho seguinte for insuficiente, o caminhão não realizará o deslocamento vazio do trecho corrente e será deslocado para o próximo trecho em que houver demanda.
- VIII. O caminhão é eliminado do sistema caso não exista demanda em mais nenhum trecho do modelo.

O próximo tópico do presente estudo aborda o problema encontrado na Central de Tráfego, bem como a formulação do raciocínio para a solução do mesmo.

## 5. MODELAGEM DO PROBLEMA

### 5.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A empresa em questão não possui uma metodologia adequada para a análise dos ganhos e planejamento dos fluxos. Os analistas de transporte seqüenciam as operações (carga, deslocamento, descarga e deslocamento vazio) em planilhas eletrônicas do MS Excel, considerando as janelas de tempo e a duração das atividades para a realização dos *timelines*.

Esta forma de calculo é valida, porem não representa a real situação dos circuitos, uma vez que utiliza números constantes para as durações das atividades e pesos carregados. Por exemplo, os tempos de viagem, tempos de carga, tempos de descarga e pesos carregados são considerados constantes nesta forma de análise, mas a realidade difere disso. As durações das atividades seguem de acordo com características estocásticas, assim como os pesos carregados, e devem ser representados desta maneira.

Um fator importante é o tempo despendido pelos funcionários da plataforma nesta análise. O planejamento através de planilha eletrônica exige um tempo considerável dos analistas, e, uma vez que a demanda de serviço da plataforma vem crescendo constantemente, este fator torna-se um agravante.

Portanto, a partir desta demanda da empresa, optou-se por construir um modelo de simulação. O principal objetivo desse modelo é calcular o número de ciclos que os caminhões são capazes de realizar por semana, assim como permitir uma análise comparativa entre o modelo usual (R\$/t) e aquele da Central de Tráfego considerando-se os ganhos semanais, mensais e anuais. Desta forma, o modelo resultaria na disponibilização das informações necessárias à tomada de decisão, entre implantar ou não o novo circuito em estudo.

## 5.2. MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual se baseia na separação do fluxo por trechos, sendo cada um deles composto por quatro atividades, que podem ou não estar todas presentes (carregamento, deslocamento, descarga e deslocamento vazio). No presente modelo são apresentados 3 trechos e caberá ao usuário inserir, como dado de entrada, o número de trechos do fluxo a ser analisado.

O programa se inicia com a geração dos caminhões, número que também será um dado de entrada determinado pelo usuário. Em seguida, o número do trecho presente é iniciado com o valor 1, ou seja, o fluxo começa a partir do seu trecho inicial. Então ocorre uma verificação da demanda do trecho corrente; se houver demanda, o caminhão é carregado de acordo com a distribuição de probabilidade do trecho percorrido. Esta carga é, então, diminuída da demanda do trecho, que representa o total que todos os caminhões podem carregar mensalmente. Caso não exista demanda, o caminhão é desviado para os próximos trechos, conforme explicado posteriormente.

Neste ponto, o caminhão está pronto para executar suas atividades. O carregamento é realizado segundo a distribuição de probabilidade do trecho e as janelas de tempo dos fornecedores e usinas. Após o carregamento, o caminhão segue para o deslocamento cheio, seguindo também as distribuições de probabilidade pertinentes. Ao finalizar o deslocamento, são realizados os cálculos dos custos dos modelos por frete por tonelada e da Central de Tráfego. Para isto, são somadas as quilometragens e pedágios percorridos e as cargas carregadas, para cada trecho. Após o cálculo dos custos é realizado o cálculo dos ganhos semanais, mensais e anuais provenientes da implantação do modelo da Central de Tráfego.

A terceira atividade a ser realizada pelo caminhão é a descarga que, como o carregamento, segue as distribuições de probabilidade de cada trecho e as janelas de tempo de clientes e usinas. Após a descarga é realizada uma nova verificação da demanda do próximo trecho. Caso exista demanda, o caminhão desloca-se vazio, segundo suas distribuições de probabilidade, para depois serem contabilizadas as quilometragens percorridas e somado o trecho que foi concluído. Caso não exista

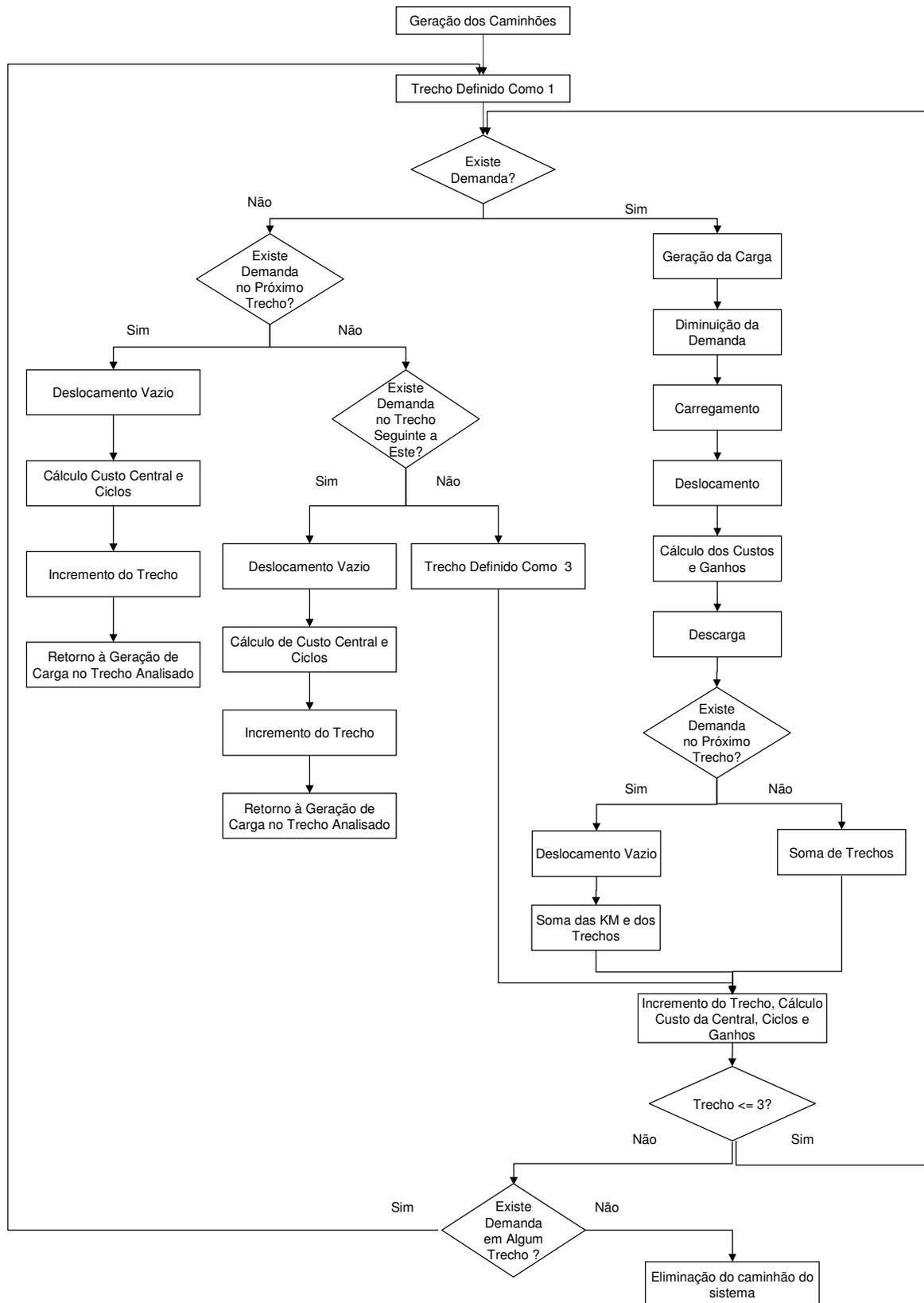
demanda no próximo trecho, o caminhão não realiza o deslocamento vazio e apenas soma o trecho que foi concluído.

Após este ponto, os caminhões que realizaram o deslocamento vazio, aqueles que não realizaram e os que não possuem mais demanda em nenhum trecho, têm o seu trecho incrementado em uma unidade. O custo da Central de Tráfego e os ganhos são atualizados mais uma vez, neste ponto, devido ao deslocamento vazio realizado. O número de ciclos realizado por caminhão também é calculado. Como nesta etapa o caminhão aumentou o número do trecho corrente, verifica-se se este ainda é menor ou igual a três. Se for, o caminhão retorna ao início do programa, na etapa de verificação da demanda, para continuar suas atividades do próximo trecho. Caso o número atual de trechos seja maior que 3, verifica-se se existe demanda em algum trecho. Se existir, o caminhão retorna ao início do programa, onde o trecho foi definido como 1, para começar um novo ciclo. Caso seja verificado que não existe demanda em mais nenhum trecho, o caminhão é eliminado do sistema.

Quando não existir demanda no trecho atual, na verificação inicial do programa, são analisadas as demandas dos próximos trechos. Caso o próximo trecho possua demanda, o caminhão é deslocado vazio para este trecho e são somados, posteriormente, as quilometragens, pedágios e trechos percorridos vazios, e atualizados o custo da Central de Tráfego e o número de ciclos. Caso não possua, é verificada a existência de demanda no trecho seguinte e realizados os mesmos cálculos. Em seguida os caminhões têm o número do trecho corrente incrementado em uma unidade, e retornam para a etapa de geração de carga, no trecho selecionado. Caso não exista demanda em nenhum trecho, o trecho corrente é definido como 3 e o caminhão recebe um atributo que é verificado para a sua eliminação do sistema. A figura 9 representa a lógica de atividades que foi implementada no Arena.

Como o autor possui certa experiência quanto à análise realizada para a implementação dos circuitos, as considerações do modelo foram aceitas em sua grande maioria. A validação com a equipe do projeto ocorreu já na fase de implementação, através da técnica conhecida como *Structured Walk-Through*. Esta etapa ocorreu na apresentação do modelo computacional, onde o funcionamento do

modelo foi acompanhado, atividade por atividade, para a certificação de que o modelo programado é condizente com a realidade das operações. Na figura 9 é apresentado um fluxograma lógico de atividades do modelo.



Fonte: Elaboração própria

Figura 9: Fluxograma Lógico de Atividades

### 5.3. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

O modelo em questão deve ser alimentado por dados determinísticos e estocásticos. O primeiro destes se referem aos valores que não irão variar ao longo da simulação, tais como: tarifas, quilometragens, custos fixos das diferentes entidades, custo variável dos veículos de pista e demanda dos trechos. Enquanto que os dados estocásticos são as distribuições de tempos de operações e volumes carregados.

Os dados obtidos para construção das distribuições estatísticas utilizadas no modelo são provenientes de duas fontes.

A primeira delas são planilhas eletrônicas que a transportadora responsável pelo fluxo preenchia para acompanhamento da Central de Trafego. Esta planilhas contém informações relacionadas aos horários das atividades de carga e descarga dos veículos manobras, assim como suas respectivas durações.

A outra fonte utilizada para coleta de dados foi o Loger Central de Trafego, que foi explicado anteriormente. Os dados provenientes desta fonte possuem maior confiabilidade, uma vez que esta ferramenta possui uma maior padronização e controle. Com o Loger foi possível obter informações importantes tais como, tempo de duração das atividades de deslocamento e tonelagem carregada pelos veículos.

Todos os dados coletados foram tratados e analisados com objetivo de obter uma maior confiabilidade no modelo. Valores que pudessem representar erros de inserção ou casos isolados que não representassem a realidade da empresa foram expurgados da análise.

A partir destes históricos de dados foi possível a utilização do pacote estatístico do Arena (Input Analyzer), para definir quais seriam as melhores distribuições de probabilidade correspondente a cada operação. Algumas operações tiveram suas distribuições estatísticas simplificadas, uma vez que nestas operações a Central de Trafego não possui histórico de dados, ou estas mesmas informações não são calculadas ou medidas. Nestes casos foi utilizado a distribuição triangular, considerando um valor mínimo, médio e máximo. Alguns tempos de deslocamento,

um tempo de descarga e uma distribuição de peso se encaixaram nesta situação. Para os deslocamentos, foi necessário estipular uma média de tempo, de acordo com a quilometragem do trecho e a média de velocidade do caminhão. A partir deste valor, foram definidos com os analistas os desvios prováveis, gerando as situações otimistas e pessimistas. Este foi o caso do deslocamento da AMT para Hortolândia, e do deslocamento vazio de Hortolândia para Piracicaba. A descarga em Hortolândia também não possuía histórico e seu valor e desvios foram baseados na experiência dos analistas. O peso transportado da AMT para Hortolândia também apresentou o mesmo problema, principalmente porque o tipo de caminhão a ser contratado para o circuito (Vanderléias) não é utilizado frequentemente na usina. Neste caso, a distribuição utilizada foi baseada na estratégia de carregamento acordada com a usina.

Os ajustes utilizados no programa estão representados nas Tabelas 1 e 2, sendo na primeira as distribuições estatísticas referentes aos tempos de deslocamento e pesos transportados, e na segunda os tempos de carregamento e descarga.:

**Tabela 1: Distribuições Estatísticas de Tempos de Deslocamento e Pesos Transportados**

<b>Tempos de Deslocamento (horas)</b>		
<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distribuição Estatística</b>
AMT	Hortolândia	Triangular (19, 20, 21)
Hortolândia	Piracicaba	Triangular (0.17, 0.67, 1.17)
Piracicaba	Rio de Janeiro (Cliente)	8 + Lognormal (3.78, 2.21)
Rio de Janeiro (Cliente)	Rio de Janeiro (Fornecedor)	0.42 + Lognormal (0.203, 0.161)
Rio de Janeiro (Fornecedor)	Cariacica	Triangular (7, 10.6, 20)
Cariacica	AMT	Triangular(0.93, 1.29, 1.65)
<b>Pesos Transportados (toneladas)</b>		
<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Distribuição Estatística</b>
AMT	Hortolândia	Triangular (22,27,32)
Piracicaba	Rio de Janeiro (Cliente)	30 + Weibull (5.33, 7.46)
Rio de Janeiro (Fornecedor)	Cariacica	24 + 13 * BETA(1.69, 1.72)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

**Tabela 2: Distribuições Estatísticas de Tempos de Carregamento e Descarga**

<b>Tempos de Carregamento (horas)</b>	
<b>Local</b>	<b>Distribuição Estatística</b>
AMT	Lognormal (2.04, 1.27)
Piracicaba	Lognormal (4.06, 2.7)
Rio de Janeiro (Fornecedor)	1 + Lognormal (8.14, 6.29)
<b>Tempos de Descarga (horas)</b>	
<b>Local</b>	<b>Distribuição Estatística</b>
Hortolândia	Triangular (4,5,6)
Rio de Janeiro (Cliente)	Lognormal (7.55, 6.59)
Cariacica	0.999 + Gamma (2.38, 2.41)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

## **6. SIMULAÇÃO E RESULTADOS**

Na seqüência do desenvolvimento do estudo foi feita a inserção do modelo no ambiente computacional, cuja implementação foi seguida pelas etapas de verificação e validação.

### **6.1. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

O modelo de simulação foi desenvolvido no Arena, com o intuito de criar um modelo genérico, que pudesse ser facilmente utilizado para a análise de outros circuitos. Para isto, o modelo foi estruturado por trechos, conforme já detalhado anteriormente.

### **6.2. VERIFICAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL**

Esta etapa possui intuito de verificação e certificação que a lógica do modelo esta condizente com a realidade das operações. Para tal efeito foi empregada uma técnica de verificação estática chamada *Structured Walk-Through*, em conjunto com os analistas da ArcelorMittal com experiência nos circuitos da CT. A lógica do programa e os códigos utilizados foram explicados passo a passo e validados com estes membros.

Utilizando a forma dinâmica de verificação, o modelo foi testado em diversas condições, principalmente em relação ao número de caminhões contratados. Também foram testadas as relações de entrada e saída do programa. Foram ainda testados os valores de ciclos, dos custos dos modelos e ganhos obtidos e todos apresentaram-se consistentes com os valores calculados.

### **6.3. VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL**

A etapa em questão é fundamental para o projeto, uma vez que esta irá garantir a confiabilidade e credibilidade para o uso corrente do modelo na empresa em questão.

Segundo Sargent(1998), validação pode ser definida como a determinação de que o modelo computacional tem a precisão suficiente requerida pelo propósito do modelo, no domínio da sua aplicabilidade. Conforme foi visto na revisão bibliográfica, existem três tipos de metodologias para a o processo de validação. A metodologia utilizada no presente estudo foi a primeira delas, no qual o próprio time de simulação realiza a validação.As outras metodologias são inviáveis para os objetivos deste estudo.

O circuito escolhido para validação foi Juiz de Fora > Belo Horizonte > Juiz de Fora, principalmente por ser um circuito simples e usualmente sem alternativos, ou seja, os caminhões se mantêm no circuito original, durante os meses, e dificilmente são deslocados para um novo circuito. Além disso, existiam dados históricos de um período extenso, suficiente para a análise (setembro de 2007 a julho de 2008).

Conforme pode ser observado na tabela 3, os resultados do programa foram analisados para as 10 replicações e obtidos uma média e desvio padrão para os valores de ciclos, custos do modelo antigo e da Central de Tráfego e ganhos semanais e anuais. Utilizando os dados históricos dos nove meses selecionados, foram calculados, da mesma forma, a média e o desvio padrão, para os dados obtidos, conforme exposto na tabela 4. Todos os resultados foram modificados (multiplicados por uma constante) devido ao sigilo das informações.

Nas tabelas 5 e 6, pode-se confrontar os valores obtidos no Arena e os resultados reais. Na tabela 5 os números de ciclos são comparados (Arena X Real), assim como o custo Modelo CT e o custo Modelo Antigo. Na Tabela 6 são apresentadas as comparações de ganhos financeiros, semanal, mensal e anual. Analisando as comparações de valores (Arena X Real), principalmente valores médios e desvio padrão, pode-se verificar a similaridade dos valores encontrados por meio do Arena com os valores reais da plataforma. Desta forma, o modelo foi declarado como válido e condizente com a realidade das operações.

Alguns problemas foram encontrados na análise do histórico da ArcelorMittal. Dois meses (outubro e novembro) tiveram que ser excluídos da análise devido à ausência de sucata e utilização de circuitos alternativos. Além disso, alguns meses apresentaram um resultado inferior ao esperado, principalmente devido a feriados e

ausência de sucata. Foram eles: dezembro (ausência de sucata devido ao fim do ano), janeiro (Réveillon), fevereiro (Carnaval) e maio (dois feriados).

**Tabela 3: Resultados do Modelo para validação**

Dados Arena					
Replicação	Ciclos	Custo Modelo Antigo (Mensal)	Custo Modelo Central (Mensal)	Ganho Semanal	Ganho Anual
1	1.75	R\$ 27,629.28	R\$ 20,262.30	R\$ 1,718.96	R\$ 88,403.79
2	1.85	R\$ 28,859.16	R\$ 20,934.30	R\$ 1,849.13	R\$ 95,098.29
3	1.79	R\$ 27,758.93	R\$ 20,552.10	R\$ 1,681.59	R\$ 86,481.99
4	1.80	R\$ 28,841.86	R\$ 20,743.20	R\$ 1,889.69	R\$ 97,183.92
5	1.89	R\$ 30,031.39	R\$ 21,415.20	R\$ 2,010.44	R\$ 103,394.28
6	1.81	R\$ 28,709.80	R\$ 20,644.50	R\$ 1,881.90	R\$ 96,783.60
7	1.84	R\$ 27,864.36	R\$ 20,835.60	R\$ 1,640.04	R\$ 84,345.15
8	1.81	R\$ 28,354.31	R\$ 20,743.20	R\$ 1,775.93	R\$ 91,333.35
9	1.87	R\$ 29,662.32	R\$ 21,125.40	R\$ 1,991.95	R\$ 102,443.01
10	1.89	R\$ 29,657.74	R\$ 21,217.80	R\$ 1,969.32	R\$ 101,279.31
Média	1.83	R\$ 28,736.92	R\$ 20,847.36	R\$ 1,840.90	R\$ 94,674.67
Desvio Padrão	0.05	R\$ 849.69	R\$ 339.44	R\$ 132.07	R\$ 6,792.40

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

**Tabela 4: Resultados reais obtidos pela Central de Trafego**

Dados Reais					
Meses	Ciclos	Custo Modelo Antigo (Mensal)	Custo Modelo Central (Mensal)	Ganho Semanal	Ganho Anual
Setembro	1.84	R\$ 30,509.93	R\$ 20,862.90	R\$ 2,250.97	R\$ 115,764.40
Dezembro	1.74	R\$ 26,520.85	R\$ 20,777.55	R\$ 1,340.10	R\$ 68,919.62
Janeiro	1.75	R\$ 28,046.34	R\$ 20,876.25	R\$ 1,673.02	R\$ 86,041.05
Fevereiro	1.79	R\$ 27,216.24	R\$ 19,790.25	R\$ 1,732.73	R\$ 89,111.90
Março	1.71	R\$ 29,067.49	R\$ 20,262.30	R\$ 2,054.54	R\$ 105,662.29
Abril	1.79	R\$ 30,036.09	R\$ 20,453.40	R\$ 2,235.96	R\$ 114,992.30
Maiο	1.59	R\$ 26,394.96	R\$ 19,405.50	R\$ 1,630.88	R\$ 83,873.58
Junho	1.84	R\$ 28,215.64	R\$ 20,829.30	R\$ 1,723.48	R\$ 88,636.03
Julho	2.03	R\$ 32,590.57	R\$ 22,746.60	R\$ 2,296.93	R\$ 118,127.58
Média	1.79	R\$ 28,733.12	R\$ 20,667.12	R\$ 1,882.07	R\$ 96,792.08
Desvio Padrão	0.12	R\$ 2,038.63	R\$ 936.41	R\$ 337.48	R\$ 17,356.32

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

**Tabela 5: Resultados Modelo X Real**

Cálculos	Ciclos Arena	Ciclos Real	Custo Antigo Arena	Custo Antigo Real	Custo Central Arena	Custo Central Real
Média	1.83	1.79	R\$ 28,736.92	R\$ 28,733.12	R\$ 20,847.36	R\$ 20,667.12
Desvio Padrão	0.05	0.12	R\$ 849.69	R\$ 2,038.63	R\$ 339.44	R\$ 936.41
Máximo	1.88	1.91	R\$ 29,586.60	R\$ 30,771.75	R\$ 21,186.80	R\$ 21,603.53
Mínimo	1.79	1.67	R\$ 27,887.23	R\$ 26,694.50	R\$ 20,507.92	R\$ 19,730.70

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

**Tabela 6: Ganhos Modelo X Real**

Ganhos						
Cálculos	Mensal Arena	Mensal Real	Semanal Arena	Semanal Real	Anual Arena	Anual Real
Média	R\$ 7,889.56	R\$ 8,066.01	R\$ 1,840.90	R\$ 1,882.07	R\$ 94,674.67	R\$ 96,792.08
Desvio Padrão	R\$ 566.03	R\$ 1,446.36	R\$ 132.07	R\$ 337.48	R\$ 6,792.40	R\$ 17,356.32
Máximo	R\$ 8,455.59	R\$ 9,512.37	R\$ 1,972.97	R\$ 2,219.55	R\$ 101,467.07	R\$ 114,148.40
Mínimo	R\$ 7,323.52	R\$ 6,619.65	R\$ 1,708.82	R\$ 1,544.58	R\$ 87,882.27	R\$ 79,435.77

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

#### 6.4. FORMULAÇÃO, EXPERIMENTOS E ANÁLISE

A partir da validação do modelo, iniciou-se a análise do circuito em implantação. O objetivo inicial do programa era calcular o número de ciclos e os ganhos, a partir da definição prévia dos analistas quanto ao número de caminhões necessários para atender as demandas dos trechos. Para o circuito analisado, foi proposta a contratação de 12 caminhões.

Antes de implementar o modelo, foram definidos alguns fatores importantes. O tempo de simulação, inicialmente definido como uma semana, foi alterado para um mês. Ao fim do tempo de simulação e início da próxima replicação, as entidades são criadas novamente, isto interrompe a continuidade do circuito. Desta forma, apesar dos cálculos de interesse serem realizados para sete dias, a simulação em um mês permite uma avaliação mais precisa do comportamento real do sistema além de não impedir os cálculos em relação à semana.

Foi estabelecido também o número de dez replicações para a análise dos resultados. A análise estatística destas replicações permite que os dados sejam analisados com maior precisão, principalmente levando-se em consideração o fator probabilístico das saídas do modelo. O tempo de aquecimento estabelecido foi de 30 dias, período considerado suficiente para a estabilização do sistema.

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 7. Todos os resultados foram modificados (multiplicados por uma constante) devido ao sigilo das informações.

**Tabela 7: Dados do Arena para o Circuito em análise**

Dados Arena						
Replicação	Ciclos	Custo Modelo Antigo (Mensal)	Custo Modelo Central (Mensal)	Ganho Semanal	Ganho Anual	
1	0.48	R\$ 135,926.61	R\$ 112,738.60	R\$ 5,410.54	R\$ 278,256.18	
2	0.48	R\$ 137,377.71	R\$ 113,579.15	R\$ 5,553.00	R\$ 285,582.83	
3	0.47	R\$ 133,628.97	R\$ 112,400.54	R\$ 4,953.30	R\$ 254,741.19	
4	0.49	R\$ 140,359.97	R\$ 114,388.65	R\$ 6,059.97	R\$ 311,655.79	
5	0.47	R\$ 133,701.44	R\$ 111,521.88	R\$ 5,175.23	R\$ 266,154.72	
6	0.48	R\$ 137,796.73	R\$ 113,892.53	R\$ 5,577.65	R\$ 286,850.39	
7	0.47	R\$ 133,738.92	R\$ 111,776.12	R\$ 5,124.65	R\$ 263,553.64	
8	0.47	R\$ 134,791.86	R\$ 112,268.33	R\$ 5,255.49	R\$ 270,282.42	
9	0.48	R\$ 137,273.98	R\$ 113,497.73	R\$ 5,547.79	R\$ 285,315.02	
10	0.47	R\$ 134,242.24	R\$ 112,631.48	R\$ 5,042.51	R\$ 259,329.08	
Média	0.48	R\$ 135,883.84	R\$ 112,869.50	R\$ 5,370.01	R\$ 276,172.13	
Desvio Padrão	0.01	R\$ 2,265.59	R\$ 938.05	R\$ 329.66	R\$ 16,953.69	

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

O resultado obtido com o programa foi, então, comparado com o cálculo realizado pelos analistas da Central de Tráfego. Como pode ser observado, através da tabela 8, o ganho calculado pelo Arena é 11% menor que o ganho calculado pelos analistas. Uma das possíveis causas desta diferença é a utilização, no estudo, das distribuições reais para os carregamentos, deslocamentos e descargas. O *timeline* construído pelos analistas, ao contrário, utiliza tempos fixos para cada atividade, de acordo com as metas estabelecidas, sem contemplar o fator probabilístico presente no sistema. Estas metas, entretanto, muitas vezes não são atingidas, sendo a média de tempo real gasta pelos caminhões, nestas situações, maior que a utilizada pelos

analistas nas projeções de ganho. Nestes casos, o ganho real é reduzido em relação ao projetado.

**Tabela 8: Cálculo da Central de Tráfego e resultados do Arena**

Dados	Ciclos	Custo Central	Custo Modelo Antigo	Ganho Semanal	Ganho Mensal	Ganho Anual
Central	0.50	R\$ 32,430.92	R\$ 26,387.00	R\$ 6,043.92	R\$ 25,902.49	R\$ 310,829.91
Arena	0.48	R\$ 31,706.23	R\$ 26,336.22	R\$ 5,370.01	R\$ 23,014.34	R\$ 276,172.13

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ArceloMittal (2011)

## 7. CONCLUSÃO

O estudo apresentado possui uma grande importância no planejamento do transporte rodoviário da empresa. Por meio deste, foi possível o desenvolvimento de uma ferramenta de análise dos circuitos e apoio à tomada de decisão mais adequada.

Por meio do programa de simulação, pôde-se observar que os resultados dos ganhos para o novo fluxo, realizado em parceria com a ArcelorMittal Tubarão, foram significativamente menores (11%), em relação à projeção realizada pelos analistas. Isto evidencia, conforme exposto acima, que os tempos reais para realizar as atividades requeridas, assim como as filas geradas nos processos de carga e descarga, impactam de forma mais intensiva que os valores estipulados nas metas e utilizados na construção dos *timelines*.

A simulação trouxe inúmeros benefícios, entre estes, pode-se destacar a possibilidade de analisar os problemas de forma dinâmica e estocástica. No presente estudo tornou-se viável a análise de outros circuitos similares. A análise dos tempos das atividades e dos volumes transportados que antes eram considerados de forma determinística, passaram a ser representados através de distribuições estatísticas que representam a realidade das operações. Esta mudança traz maior precisão e confiabilidade à análise, uma vez que a variabilidade é inerente aos processos

A definição das composições das frotas de forma manual é um trabalho de difícil integração e passivo de erros. A facilidade de adaptação do presente modelo para outros fluxos torna viável a análise de novos circuitos de forma mais precisa e ágil. Neste caso, o tempo gasto pelos analistas para realização dos *timelines* seria consumido primordialmente nas etapas de coleta e tratamento dos dados. A eficiência do Loger, que consiste em um sistema de planejamento e controle que permite o armazenamento de dados, facilita a criação de um bom histórico de dados para serem coletados.

Os fatores descritos acima demonstram a utilidade e importância do uso da simulação no planejamento do transporte rodoviário da ArcelorMittal Brasil.

## **7.1. TRABALHOS FUTUROS**

O presente estudo permite uma análise do problema mais profunda e complexa, em trabalhos futuros.

Um dos possíveis pontos a serem abordados é a otimização do número de caminhões a serem contratados, através de um recurso do Arena, chamado OPTQUEST. Este recurso é responsável por fazer diversas simulações variando um determinado parâmetro de acordo com limites inferior e superior pré-estabelecidos. Podem ser integrados ao modelo atual, circuitos alternativos, que são utilizados nas situações reais, quando a demanda em algum trecho se esgota. Nestas situações, modelos de otimização podem ser empregados internamente no Arena, com o objetivo de decidir a melhor opção entre transferir o dedicado ao circuito alternativo, ou ao próximo trecho com demanda no próprio circuito, ou simplesmente deixá-lo parado, arcando com seu custo fixo.

Outra análise interessante é a da composição da frota, ou seja, da quantidade de veículos de pista e de manobra a serem contratados. Estes últimos se localizam nas pontas do circuito (dentro das instalações), sendo responsáveis apenas por deslocamentos curtos, aos fornecedores e clientes, enquanto os veículos de pista são os responsáveis pelos trajetos mais longos de um elo a outro (entre instalações). A determinação do número de veículos de manobra e de carretas que devem ser contratados para operar nas pontas, assim como o número ideal de veículos de pista, é um problema de difícil integração, e que impacta diretamente na produtividade e nos custos de operação.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcelor Mittal Brasil, Disponível em: <http://www.arcelormittal.com.br/> Acesso em 25 Setembro 2011
- Balci, O.(1989). How to Assess the Acceptability and Credibility of Simulation Results. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. D.J. Medeiros, E. F.Watson, J.S.Carson and M. S. Manivannan.
- Ballou, R. H. Logística Empresarial: transporte, administração de materiais, distribuição física. São Paulo. Ed Atlas, 2007
- Banks, J. Carson II, J.S. and Nelson, B.L (1999). Discrete-Event System Simulation, 2<sup>nd</sup> edition, pp.375.
- Bowersox, D. J. Gestão da Cadeia de Suprimentos e Logística. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007 – 2ª reimpressão.
- BUSTAMANTE L. M. (2007). Apresentação TCO Fretes + Central de Tráfego.
- Carson II, J. S. (2005). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, ed. M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds
- FU, M. C. Optimization for Simulation: Theory vs. Practice, 2002
- FU, M. C., CARSON, J. S., HARRELL, C. R., KELLY, J. P., ANDRADÓTTIR, S., GLOVER, F., HO, Y., ROBINSON, S. M. Integrating Optimization and Simulation: Research and Practice. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, ed. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang , and P. A. Fishwick, eds.

- GAVIRA, M. O. Simulação computacional como ferramenta de aquisição de conhecimento. 2003. 150 f. Mestrado em Engenharia de Produção – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- GORDON G. System Symulation. New Jersey: Prentice Hall, 1969.
- INGALLS, R.G. (2001). Introduction to Simulation. *Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference*, ed. B.A. Peters, J. S. Smith, D.J. Medeiros and M.W. Rohrer.
- LAW, A. M., MCCOMAS, M. G. (2001). How to Build Valid and Credible Simulation Models. *Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference*, ed. B. A. Peters, J. S. Smith, DI. J. Medeiros, e M. W. Rohrer, eds.
- LAW, A. M. Simulation Modeling and Analysis. 4. ed. New York: McGraw Hill, 2007.
- NETO, A. S. C., BATISTA, C. E., ALMEIDA, G. L., SILVA, J. P., BUSTAMANTE, L. M., CERQUEIRA, M. R., NAVES, S. M. R. (2008). TCO Fretes / Central de Tráfego: Aplicação na ArcelorMittal Brasil
- POTTER, A., YANG, B., LALWANI, C. (2007). A Simulation Study OfDespatchBay Performance In Steel Processing Industry. *European Journal Of Operational Research*, 179, pp. 567-578.
- PRITSKER, A. A. B. (1995). Introduction to simulation and SLAM II. 4 ed. John Wiley & Sons, New York.
- ROBINSON, S. (1998). A Statistical Process Control Approach for Estimating The Warm-up Period. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. E. Yucesan, C. H. Chen, J. L. Snowdon, and J. M. Charnes, eds.

- SARGENT, R. G. (1998). Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. D. J. Medeiros, E. F. Watson, J. S. Carson and M. S. Manivannan.
- SARGENT R. G. (2007). Landmark Paper Reprise –A Tutorial on Verification and Validation Of Simulation Models. *Proceedings of 2007 Winter Simulation Conference*, ed. S. G. Henderson, B. Biller, M, H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew, e R. R. Barton, eds.
- SCHLESINGER, et al. 1979. Terminology of Model Credibility, *Simulation*, 32, 3,pp. 103-104.
- SCHMIDT, J. W., R.E. TAYLOR: *Simulation and Analysis of Industrial Systems*, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois (1970).
- SHANNON, R.E. (1998). Introduction to the Art and Science of Simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, ed. D.J. Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan.
- WOOD, D. O. (1986). MIT Model Analysis Program: What We Have Learned About Policy Model Review. *Proceedings of 1986 Winter Simulation Conference*, Washington D. C.