

# **A UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO PARA APOIO A TOMADA DE DECISÃO LOGÍSTICA EM UM PROCESSO DE RECEBIMENTO EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO.**

**Lucas Cezar**

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio

Laboratório de Aprendizado em Logística e Transporte - LALT  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

## **RESUMO**

O objetivo deste artigo busca avaliar um sistema de recebimento de materiais em um Centro de Distribuição Logístico através de um método de simulação computacional, evidenciando a relação de fenômenos aleatórios e seus riscos em um processo decisório de uma empresa na unificação de uma nova estrutura operacional. Foram considerados no desenvolvimento deste texto, fundamentos metodológicos sobre simulação e posteriormente a aplicação destes para a construção de cenários de simulação envolvendo as variáveis do sistema proposto. Os resultados dos cenários irão mapear os reais gargalos do processo estudado e gerar alternativas de decisão baseadas na melhor configuração em termos de utilização de recursos envolvidos.

## **ABSTRACT**

This article seeks to evaluate a system for receiving materials in a logistics distribution centers through a simulation method computer, showing the relationship of random phenomena and their risks a decision-making process of a company in the unification of a new structure operating. Were considered in developing this text, fundamentals on simulation methodology and then applying these to building simulation scenarios involving the system variables proposed. The results of the scenarios will map the real bottlenecks in the process studied and generate decision alternatives based on the best configuration terms of use of resources involved.

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de tomada decisão nem sempre é uma tarefa fácil para os envolvidos na gestão de um determinado processo, atividade e até mesmo das empresas, porque diversos são os fatores que acabam fazendo com que as escolhas tornem-se mais complexas no ambiente em que estão inseridas, tais como: grau dos riscos de investimentos; perdas financeiras; queda no nível de serviço ao cliente; custos adicionais ao processo produtivo; dentre outros.

A logística, como uma área de suma importância dentro das organizações, possui um elevado grau de complexidade em suas decisões do dia-a-dia, dado ao alto número de variáveis e recursos envolvidos na cadeia de valor, sejam essas decisões voltadas para uma redução de custos, ou no aumento do nível de serviço ao cliente.

Sabendo que cada vez mais os clientes e fornecedores envolvidos na logística empresarial exigem das organizações decisões precisas, e ao mesmo tempo, para atender estas exigências os escopos operacionais tornam-se constantemente mais complexos de serem gerenciados, como os tomadores de decisão podem minimizar os riscos inerentes aos processos sem que existam perdas de produtividade, horas extras e ineficiências operacionais? Uma das ferramentas utilizadas para minimizar o grau de incerteza na tomada de decisão logística, dentre outras aplicações, é a técnica de simulação.

O objetivo deste artigo é representar um processo de recebimento de materiais através da

utilização de técnicas de simulação computacional fazendo uso da ferramenta Arena, analisando posteriormente sua aplicabilidade na geração de cenários para tomada de decisão em uma nova estrutura de Centro de Distribuição Logístico de uma empresa do setor de energia.

## **2. SIMULAÇÃO**

A simulação pode ter vários significados dependendo da abordagem em que é estudada. De uma maneira geral os autores conceituam simulação como “modelo de um sistema real”. Harrel (2002) define simulação como um processo de experimentação que utiliza um modelo detalhado de um sistema real para determinar como este sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Já Chwif & Medina (2010) definem simulação como uma abstração da realidade representada através de interações entre elementos de um sistema. Chwif e Medina (2010) ainda classificam tecnicamente a simulação em duas grandes categorias: a simulação computacional, que necessita de um computador para ser utilizada; e a simulação não computacional, que dispensa o uso de um computador.

A simulação computacional pode ser de natureza contínua, discreta e de Monte Carlo. A simulação pelo método de Monte Carlo utiliza a geração de números aleatórios para representar sistemas físicos ou matemáticos não considerando o tempo como uma variável do modelo, já a simulação contínua e de eventos discretas consideram mudanças no estado do sistema ao longo do tempo. (CHWIF & MEDINA, 2010).

A relação entre a variável tempo e a sua interferência no estado de um sistema, é o que distingue uma simulação discreta de uma simulação contínua. Hillier (2006) explica que uma simulação é contínua quando o sistema é alterado a cada fração de tempo, já em uma simulação discreta o tempo torna-se irrelevante, cabendo aos eventos a responsabilidade por ações instantâneas que ocorrem num único momento, podendo causar alterações do estado do sistema.

Pode-se concluir, a partir das citações, que a simulação é uma técnica de representação de um modelo da realidade por meio de um sistema computacional. Contudo estes modelos de simulação nem sempre foram de fácil acesso a realidade das empresas e aos tomadores de decisão.

Inicialmente as primeiras ferramentas para simulação desenvolvidas para computador usavam linguagem de programação, que devido ao seu alto grau de complexidade, desencorajavam seu uso. Na tentativa de simplificar o processo de construção de modelos, foram criadas em 1960 a linguagem de simulação usada para gerenciar a lógica de filas e demais fenômenos comuns de programação. Dentre as pioneiras cita-se o SIMSCRIPT e o GPSS como linguagens criadas especificamente para simulação (HARREL, *et al.*, 2002).

Atualmente as técnicas de simulação podem ser facilmente utilizadas pelas empresas e demais usuários graças ao advento dos microcomputadores e ao menor nível de complexidade dos *softwares* de simulação (PRADO, 2010).

O desenvolvimento do estudo a ser aplicado neste artigo abordará o conceito de simulação computacional de eventos discretos.

## 2.1. Construção de um Modelo de Simulação

Projetos de simulação não são processos simples de serem realizados, visto a ampla quantidade de informações necessárias para representar sistemas reais em modelos computacionais. Autores que escrevem sobre simulação defendem a idéia de que é possível atingir melhores resultados na concepção de um modelo de simulação, quando existe um envolvimento de um grupo multifuncional. Harrel (2002) cita que no processo de desenvolvimento de um modelo de simulação, uma melhor compreensão do todo pode ser alcançada quando as diferentes partes de uma organização, com interesses diversos, colaboram na formulação de um modelo.

Uma maneira de facilitar a concepção de um modelo de simulação é a utilização de ciclos de vida baseado em estágios. Chwif & Medina (2010) criaram uma metodologia de simulação baseado em três etapas: Concepção ou formulação do modelo; Implementação do modelo; e Análise dos resultados do modelo (Figura 1).

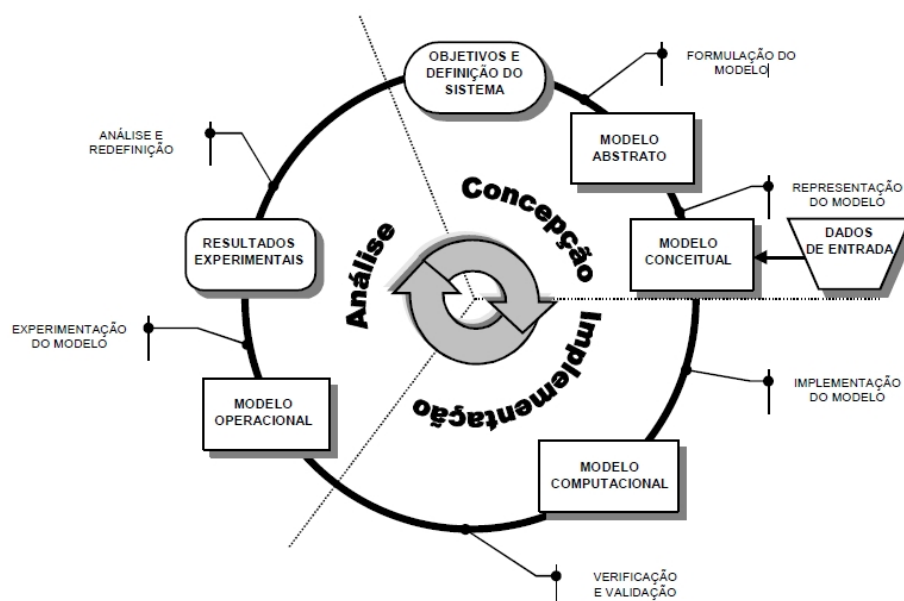


Figura 2: Metodologia de Simulação  
Fonte: Chwif & Medina (2010, pag. 12)

Estas etapas incluem atividades de formulação e representação do modelo que pretendem dar estrutura a um projeto de simulação. A seguir serão detalhadas cada uma delas:

### 2.1.1. Concepção - Formulação do Modelo Conceitual

Esta etapa pertencente à metodologia de simulação, descrita por Chwif & Medina (2010), tem como objetivo principal identificar os elementos do sistema a ser simulado, suas características funcionais e seus processos. Após o mapeamento inicial, parte-se para fase de criação de ciclos individuais dos processos para depois agrupá-los em um só ciclo validando sua lógica de sistema e avaliando se está bem descrita. Harrel (2002) afirma que um modelo conceitual começa a se tornar um modelo lógico à medida que o processamento de eventos e os relacionamentos entre eles estejam definidos.

Chwif & Medina (2010) abordam duas visões para criação de um modelo conceitual de forma

a torná-lo lógico: *Activity Cycle Diagram* (ACD) baseada em ciclos; e Fluxograma baseada em processo. Após a definição dos processos e suas respectivas relações de interações, é necessário identificar os elementos do modelo que irão descrever e representar o sistema real a ser demonstrado. Independentemente do *software* escolhido para o projeto de simulação, estes elementos podem ser classificados, segundo Prado (2010), como:

- Entidades: itens processados através do sistema, sendo processados e/ou transformados pelas etapas de um determinado modelo, ocupam recursos e filas, e interferem no estado do sistema. Ex: Automóvel Luxo, Automóvel Básico.
- Atributos: características exclusivas de uma única entidade, podendo ser alterados ao longo do sistema. Ex: Cor de um determinado automóvel.
- Variáveis: informações globais disponíveis para qualquer entidade, onde seus valores refletem a característica do sistema. As variáveis podem ser representadas por números reais ou inteiros, podendo ser utilizadas em uma variedade de cálculos. Ex: Custo de produção de um automóvel.
- Recursos: definidos como elementos que fornecem serviços às entidades. De um modo geral, entidades disputam a ocupação dos recursos que geralmente representam pessoas, equipamentos ou transportador. Ex: Linha de pintura de automóveis.
- Filas: processos cumulativos originados por processos de chegadas e processamento, cuja ocupação de uma entidade ou atividade ocorre naquele momento.

Definidos os elementos que farão a interação no modelo de simulação, é necessário que sejam mapeadas as características funcionais do processo a ser simulado. Para que um modelo de simulação computacional possa representar de forma fiel um processo real de uma organização, é necessário que consiga expressar todos os fenômenos aleatórios existentes. A maneira de representar estes comportamentos origina-se fundamentalmente de apontamentos, chamada de coleta de dados.

Segundo Chwif & Medina (2010), a coleta de dados inicia-se com a escolha adequada das variáveis de entrada no sistema, tais como tempo de espera em filas, tempo entre chegadas sucessivas em determinado processo, tempo gasto no atendimento de um processo, número de atendentes de um processo, população, amostra, dentre outras.

Geralmente os dados de entrada de um modelo de simulação são fenômenos aleatórios que compreendem o funcionamento do sistema, cabendo sempre à utilização de ferramentas estatísticas para tratamento dos dados coletados a fim de que se possa compreender as ocorrências de um sistema. Harrel (2002) cita que em um projeto de simulação, o processo de coleta de dados tem que ser contínuo, à medida que o estudo progride, a fim de dar flexibilidade ao projeto, bem como permitir maior precisão dos dados.

### *2.1.2. Implementação - Modelo Computacional*

A segunda etapa de criação de um projeto de simulação para a construção de um modelo computacional, que está diretamente ligada à escolha do *software* para o projeto de simulação, pois cada programa tem uma maneira de representar um sistema e ferramentas próprias que os diferenciam.

Dentre os *softwares* mais conhecidos estão o Arena, Promodel, Simul8, Extend, AutoMod, Quest, dentre outros. Uma abordagem mais específica por métodos de utilização para análises de sistema pode ser visto com mais detalhes em SILVA, A.K.: *Método para avaliação e*

*seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos*. 191 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia e Transportes II, 2006.

A ferramenta usada para aplicação do modelo de simulação deste artigo foi o *software* Arena. O Arena usa a interface gráfica por meio de módulos, muito similar à construção de um fluxograma de processos, o que facilita a representatividade lógica de um sistema no momento da criação do modelo computacional.

A etapa de fase de implementação, consiste na representação através das interfaces no sistema comercial escolhido, do modelo conceitual formatado na etapa de concepção. É também nesta fase que são configurados os comportamentos dos processos então mapeados através da coleta de dados, sejam eles contínuos, constantes ou aleatórios.

A criação do modelo computacional deve atender as características básicas do sistema a fim de facilmente ser compreendido, alterado, implementado e analisado (CHWIF.1999).

Após o ciclo de criação do modelo computacional, é necessário que sejam verificados e validados os resultados e as estruturas do modelo em questão. Os conceitos de verificação e validação empregados nos projetos de simulação têm como principal objetivo garantir que o modelo computacional criado para representar uma operação no mundo real tenha consistência.

A Validação é descrita por Harrel (2002) como uma forma de assegurar que o modelo reflita a operação do sistema real. Prado (2010) enfatiza que o processo de validação deve ser utilizado pra checar a sua correção. Esta etapa é executada no momento da criação do modelo conceitual e é sempre validada pelos participantes da equipe do projeto de simulação.

Já a verificação é descrita por Chwif & Medina (2010) como a retirada de bugs do modelo computacional a fim de garantir a exeqüibilidade do modelo. Harrel (2002) corrobora afirmando que na maioria dos modelos é necessário ao menos uma depuração para assegurar que os dados reflitam a acuracidade desejada.

### *2.1.3. Análise dos Resultados*

Após a implementação, a última etapa do ciclo de vida do projeto de simulação é a análise de resultados, que consiste em identificar o processamento do sistema modelado, visando garantir que os parâmetros de saída abordados no momento da contratação do projeto de simulação sejam atingidos de forma a subsidiar o tomador de decisão.

Para Chwif & Medina (2010) a garantia do grau de confiança no modelo tem que ser fundada na análise dos resultados. Esta análise pode ser obtida através de algumas ações tais como: estabelecimento de medidas de desempenho adequadas; escolha da confiança estatística e a precisão a ser trabalhada; definição de um tempo de simulação; estimativa do intervalo de confiança; determinação do numero de replicações necessárias e rodar o modelo novamente. Para construir um intervalo de confiança de uma média de uma população, utiliza-se a equação (DEVORE, 2000):

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad (1)$$

ou:

$$\bar{x} \pm t_{n-1; a/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

em que

- $x$ : é a média da amostra;
- $h = t_{n-1; a/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ : é a metade do tamanho do intervalo de confiança (precisão);
- $t_{n-1; a/2}$ : é o  $(1 - a/2)$  percentil da distribuição  $t$  de Student com  $n-1$  graus de liberdade;
- $s$ : é o desvio padrão da mostra;
- $n$ : é o número de dados da amostra;

A metodologia de ciclo de vida criada por Chwif & Medina (2010), e corroborada pelos demais autores citados, possibilita aos modelistas no momento da criação de um projeto de simulação, um seqüenciamento lógico de atividades a ser seguido de maneira a facilitar a concepção e abordagem de todos os pontos envolvidos.

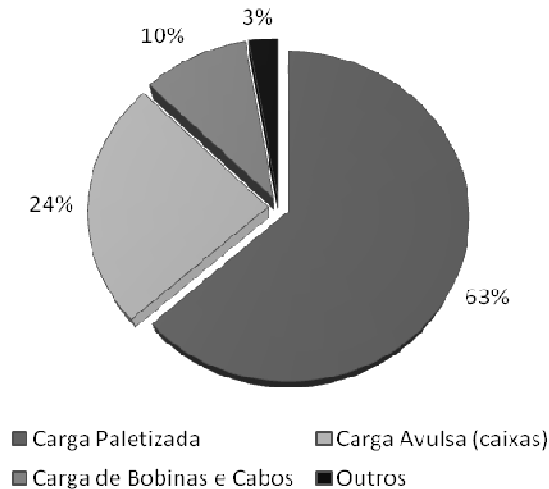
Devido à natureza complexa de um estudo de simulação, seguir metodologias, contar com a ajuda de um grupo multifuncional ou com pessoas experientes em projetos de simulação, tendem a minimizar riscos inerentes ao processo como um todo. A seguir, será descrito a aplicabilidade dos conceitos até então fundamentados em um caso real de projeto de simulação.

### **3. APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO NO PROCESSO DE RECEBIMENTO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICO**

O presente artigo abordará uma aplicação real de um modelo de simulação, que pretende exemplificar os conceitos apresentados, onde o foco do estudo irá concentrar-se em um processo de recebimento no Centro de Distribuição da empresa Z, que por razões de confidencialidade, não será identificada.

A empresa em questão trabalha com materiais de distribuição de energia elétrica, tais como: fios, cabos, transformadores de potência, medidores de energia, eletroferragens dentre outros. A característica deste tipo de material é bastante heterogênea quanto a dimensões e pesos, contudo 100% dos itens de estoque podem ser classificados como “cargas secas”, que no segmento de transporte rodoviário são definidas como cargas que podem ser movimentadas em volumes e embaladas, acondicionadas em caixas, tambores, etc. As “cargas secas” recebidas neste Centro de Distribuição ainda podem ser categorizadas como: cargas com volumes isolados (caixas); cargas com volumes paletizados (embalagens fechadas); cargas de bobinas de cabos; e outros equipamentos.

É possível identificar na figura 2, a representatividade percentual das categorias de cargas recebidas pela empresa no período de um ano.



**Figura 2:** Representatividade de Cargas Recebidas

Fonte: Autor

No segundo semestre de 2010, frente à necessidade de aumento nos volumes a serem recebidos e também das limitações de espaço físico na atual infraestrutura do Centro de Distribuição, a empresa tomou a decisão de descentralizar o recebimento das entregas para as cargas categorizadas como bobinas e cabos. A decisão contingencial adotada baseou-se na representatividade de ocupação do espaço destas cargas no armazém, bem como nos tempos de processo de descarga que acabavam comprometendo grande parte do turno dedicado ao processo de recebimento.

Atualmente o processo de recebimento da empresa conta com duas estruturas físicas para comportar a demanda necessária de materiais, onde as cargas paletizadas e volumes isolados são destinados ao atual armazém, e as cargas de bobinas e cabos são recebidas em uma área externa.

A atividade de recebimento no Centro de Distribuição possui uma ferramenta de agendamento de entregas que consiste em estabelecer horários reservados para efetuar a operação de descarga e conferência de volumes. Esta ferramenta foi implantada em abril de 2010 devido às limitações de infraestrutura do armazém e as constantes formações de filas em frente à portaria da empresa. O objetivo principal da implantação da ferramenta consistia em minimizar a formação de filas para descarga e melhor dimensionar o número de recursos destinados para operação, evitando então horas extras ou capacidades ociosas.

A concepção da ferramenta levou em consideração o mapeamento dos tempos dos processos considerando um mês de operação como espaço amostral. Após a coleta dos dados, os índices foram transpostos em uma planilha eletrônica, de forma a estabelecer um tempo médio entre por fornecedor. O resultado obtido considerou um intervalo padrão de recebimento de 45 minutos por fornecedor para um total de 15 horários diários.

Após a implantação da ferramenta de agendamento o número de fornecedores ficou restrito até 15 veículos por dia minimizando um gargalo perceptível, o acúmulo de caminhões nos últimos dias do mês. Contudo, mesmo com a limitação de fornecedores a serem recebidos em um determinado dia de trabalho, o dimensionamento e intervalo previsto por fornecedor recebido continuavam apresentando problemas ao processo, como atrasos no atendimento ao

cronograma diário em função dos tempos variáveis de descarga, em função do volume ou pelo tipo de carga recebida, acúmulo de veículos na portaria em função do intervalo de chegada dos fornecedores, retrabalhos não previstos refletindo num maior tempo para recebimento.

As limitações da planilha estática, que utilizou apenas a produtividade média para estimar o intervalo e quantidade de fornecedores para o processo de recebimento, fizeram com que fossem desprezados os efeitos probabilísticos e da variabilidade inerentes ao modelo em questão. No processo do dia-a-dia a ocorrência destes efeitos acaba gerando divergências entre o planejamento proposto, ocasionando falta de capacidade dos recursos envolvidos, criação de filas em determinadas horas do dia em frente à empresa e horas extras.

Entendendo que as restrições físicas da atual operação inviabilizavam o recebimento do volume desejado de materiais, e que as soluções contingenciais adotadas refletiam se em custos adicionais e ineficiência operacional, a empresa tomou a decisão de prospectar uma nova estrutura operacional capaz de comportar os volumes requeridos pela empresa.

O principal objetivo deste estudo de simulação é construir um modelo de simulação capaz de representar o comportamento do processo de recebimento de cargas unificado em um único Centro de Distribuição, levando em consideração as características da ferramenta de agendamento de entregas, os diferentes tipos de cargas recebidas e os processos aleatórios envolvidos. Posteriormente utilizar os resultados dos cenários simulados para auxiliar a tomada de decisão considerando a melhor utilização dos recursos em uma nova estrutura operacional, identificando possíveis gargalos e montando um melhor cenário para operação.

### **3.1 Mapeamento do Fluxo Logístico de Recebimento – Criação do Modelo Conceitual**

O processo de recebimento em sua essência consiste basicamente em efetuar a descarga dos materiais requeridos pela empresa, zelando pela confiabilidade das quantidades enviadas pelos fornecedores garantindo o seu processamento físico e sistêmico.

Para uma melhor representatividade da atividade de recebimento, e para a concepção e formulação do modelo conceitual, foi criado fluxograma detalhando os aspectos e procedimentos envolvidos, conforme ilustrado na figura 3 abaixo:

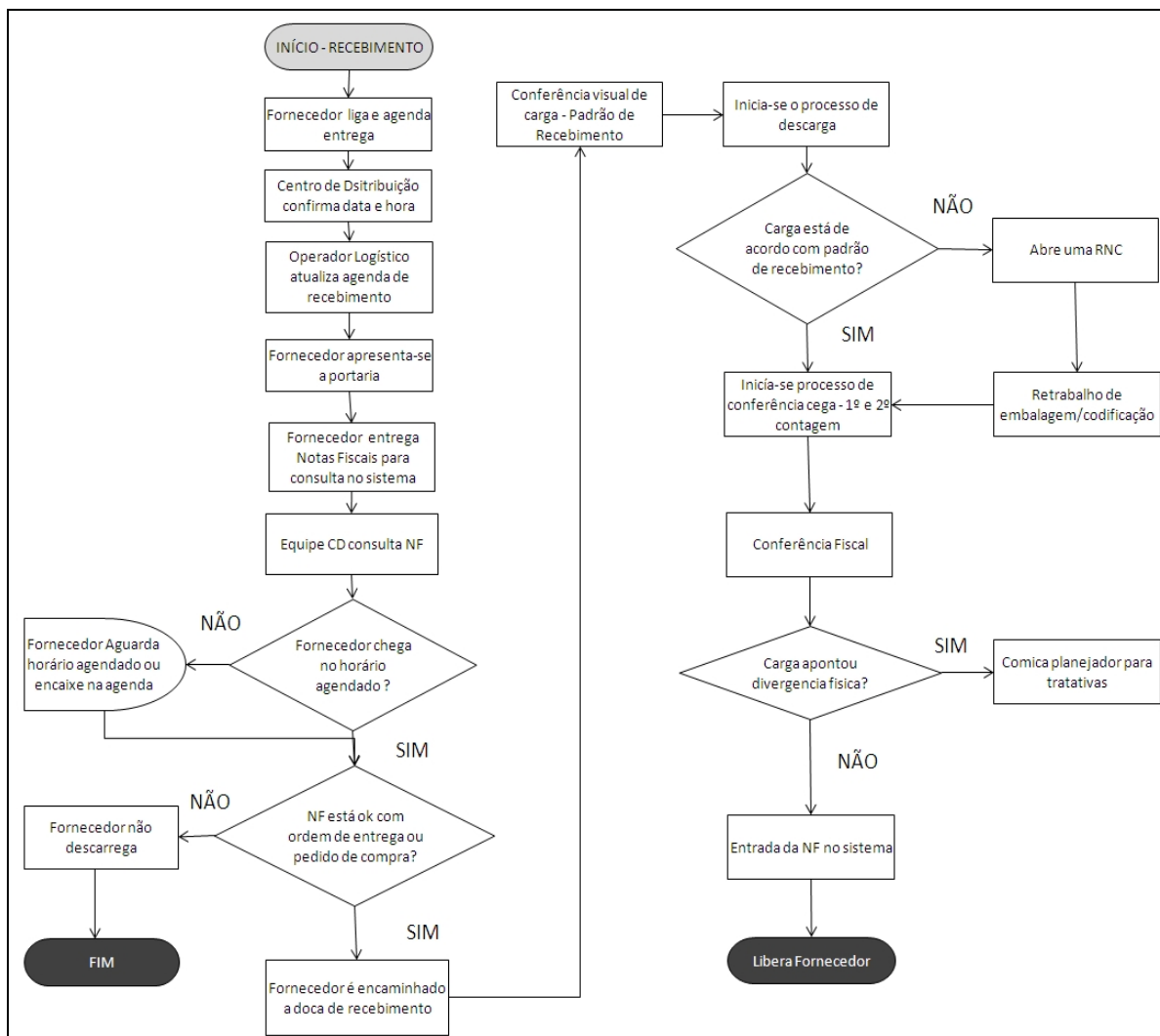


Figura 3: Fluxograma de Recebimento – Modelo Conceitual

Fonte: Autor

Ao efetuarmos a análise do fluxograma, é possível identificar algumas etapas que antecedem o processo físico de descarga, etapas que compreendem processos de decisão e etapas que originam filas. Este processo pode ser entendido como um sistema de atividade de descarga e conferência de diferentes cargas, que passam por etapas de validação anterior a entrada no Centro de Distribuição, e posterior para liberação do caminhão.

Conforme citado anteriormente, mesmo que apoiado em planilhas estáticas, a decisão de implantação do agendamento para o processo de recebimento no Centro de Distribuição trouxe uma maior visibilidade aos agentes da cadeia, seja para equalizar o volume de caminhões recebidos em um dia de trabalho, seja para o posicionamento de entregas futuras aos clientes. Contudo ainda que estes benefícios tenham sido de grande valia aos envolvidos, cabe ressaltar que alguns gargalos começaram a surgir posterior a implantação da ferramenta.

Ao limitar-se apenas a avaliação do fluxograma, ainda sem considerar que existem aleatoriedades nos processos, é possível identificar algumas etapas que representam gargalos produtivos em situações cotidianas. Estes gargalos podem ser provenientes de ações externas à operação no Centro de Distribuição, tais como: pontualidade dos fornecedores ao horário

agendado, acuracidade entre documentação fiscal e ordem de compra, acuracidade entre quantidades solicitadas na ordem de compra e quantidade enviada, cargas em não conformidade aos padrões exigidos pela empresa; ou até mesmo gargalos relativos ao desempenho da operação logística, como: disponibilidade de recursos operacionais para execução dos processos, disponibilidade de docas para descargas dos caminhões.

Utilizando o fluxograma criado para representar o modelo conceitual do sistema de recebimento, cabe também a identificação dos elementos dentro deste sistema que farão as interações no modelo a ser configurado, e representarão a funcionalidade. Empregando os conceitos fundamentados, podemos descrever como elementos deste sistema:

- Entidades: Caminhões de fornecedores
- Atributos: Tipos de cargas (paletizada; volumes isolados; bobinas e cabos)
- Recursos: Operador de empilhadeira, espaço em doca de descarga e espaço na portaria;
- Filas: Espera na portaria e espera em doca de descarga;

### **3.2 Coleta e análise dos dados de entrada**

Identificadas as etapas do processo de recebimento mediante criação do fluxograma (modelo conceitual), e previamente já mapeados os elementos deste sistema, coube como último fator para a concepção do modelo a representatividade das características funcionais do sistema.

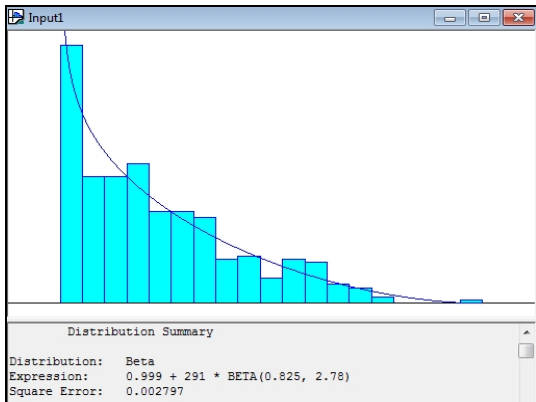
Estas características representadas através de fenômenos aleatórios considerados na estruturação do modelo, foram concebidas a partir de uma coleta de dados originadas de observações em um período de 9 meses, aproximadamente 198 dias trabalhados.

Através do uso de planilhas, foram feitos apontamentos da cronometragem dos tempos das atividades que irão representar a amostragem definida para este estudo. Foram considerados os seguintes registros de coleta de dados:

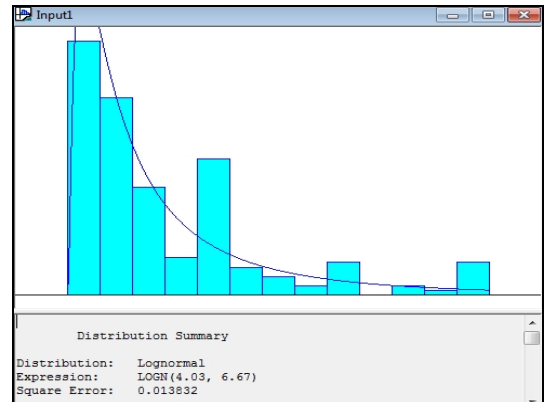
- Tempo entre chegadas sucessivas de caminhões considerando os três tipos de cargas mapeados como atributos para o modelo;
- Tempo do processamento de descarga e conferência considerando os três tipos de cargas mapeados como atributos para o modelo;
- Índices de retrabalho após descarga dos três tipos de cargas consideradas para o modelo
- Índices de recusa de recebimento após descarga dos veículos recebidos no Centro de Distribuição

O tratamento estatístico utilizado para inferência do comportamento dos fenômenos aleatórios fez uso da ferramenta *Input Analyzer* presente no *software* escolhido para representação do modelo computacional *Arena*. Os testes para ajuste da melhor distribuição de frequência consideraram a técnica estatística do quadrado da diferença (*square error*) que faz uma avaliação de quão bem se compara os dados de entrada com as distribuições teóricas, em que valores de menores do quadrado da diferença representam um melhor ajustamento.

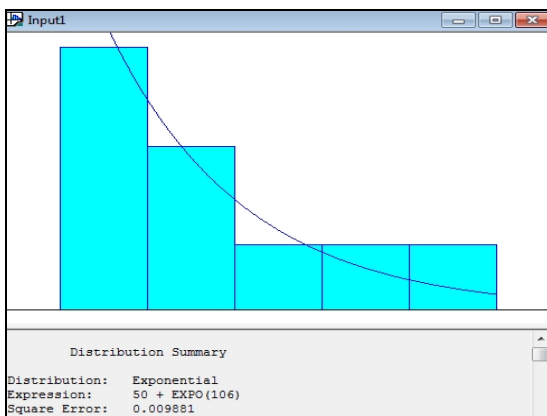
A partir dos testes estatísticos realizados pela ferramenta, foi possível determinar quais as distribuições de probabilidades e curva representativa que melhor se adéquam o conjunto de dados coletados no intervalo de classe definido. As distribuições de probabilidade ilustradas nos histogramas 4,5 e 6 representam a frequência dos dados em intervalo de classes e a curva representativa, considerando os minutos entre chegadas sucessivas de veículos no Centro de Distribuição, e para os histogramas 7,8 e 9 os minutos do processamento de descarga e conferência destes até a liberação dos recursos destinados ao recebimento.



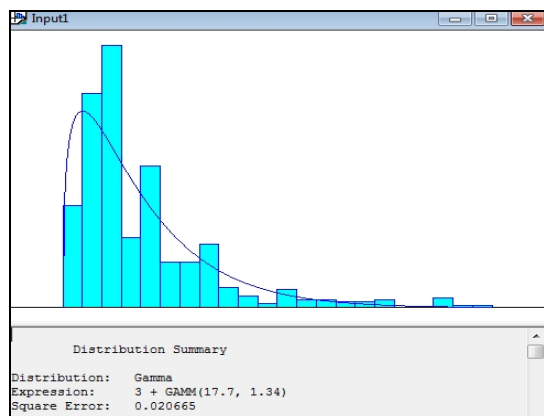
**Figura 4:** Dados de Chegadas Sucessivas: Carga Palete  
Fonte: Autor



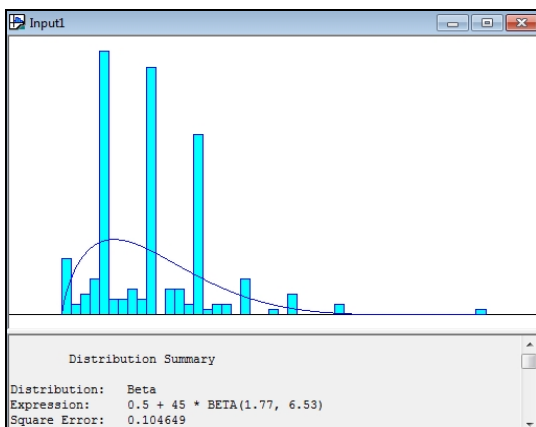
**Figura 5:** Dados de Chegadas Sucessivas: Carga Avulsa  
Fonte: Autor



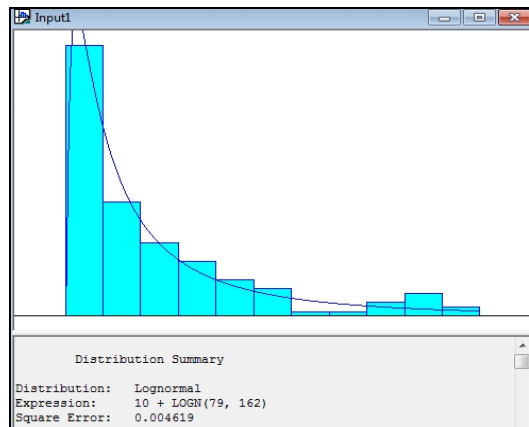
**Figura 6:** Dados de Chegadas Sucessivas: Carga bobinas e cabos  
Fonte: Autor



**Figura 7:** Dados de Atendimento: Carga Palete  
Fonte: Autor



**Figura 8:** Dados de Atendimento: Carga Avulsa  
Fonte: Autor



**Figura 9:** Dados de Atendimento: Carga bobinas e cabos  
Fonte: Autor

Identificando as distribuições de frequência que melhor se adequavam a coleta de dados referentes aos processos acima descritos, foi necessário também efetuar uma análise de dois procedimentos no fluxo de recebimento que poderiam gerar gargalos ou minimizar a utilização do recurso.

Para dirigir a lógica do modelo computacional, a tabela 1 traz a porcentagem de retrabalhos de carga originados de uma não conformidade de recebimento (processo adotado pela empresa que adota um padrão de embalagem de carga junto ao fornecedor), tendo em vista que os retrabalhos significativos ocorrem em apenas dois tipos de cargas, paletizada e fracionada:

**Tabela 1:** Porcentagem de retrabalhos de carga

Tipo de Carga	Índice de Ocorrência	Tempo de Retrabalho
Paletizada	9%	40 min.
Fracionada	40%	25 min.

Fonte: Autor

Outro índice não desprezado para criação do modelo computacional foi à recusa de fornecedores no momento do recebimento que apresentavam divergências entre Ordem de Compra e Nota Fiscal. Através dos apontamentos no período de coleta dados houve um total de 21 recusas de fornecedores, cerca de 6% de um recebimento mensal.

### 3.3 Implementação

Todas as informações utilizadas nas etapas anteriores servirão como base para criação do modelo computacional no *software* Arena.

A construção do modelo considerou uma simplificação do processo de recebimento, desprezando algumas atividades que não representavam grandes impactos a proposta do estudo. Foram considerados os elementos, que de uma maneira geral, influenciavam o sistema e contribuíam com informações para tomada de decisão.

O modelo foi dividido em três partes considerando passos do processo de recebimento. Estes passos foram denominados como: (i) chegada de veículos, (ii) recebimento de carga, (iii) liberação dos veículos. A lógica do modelo criado consistiu na caracterização dos diferentes tipos de cargas recebidas no Centro de Distribuição e suas características aleatórias de entrada no sistema, bem como no processo de descarga. Foram considerados na concepção do estudo de simulação dois elementos adicionais de impacto direto na tomada de decisão a partir dos índices levantados no processo de coleta de dados. São eles:

- Retrabalho para cargas do tipo: avulsas (caixas) e paletizadas (fechadas);
- Recusa de fornecedores.

Para ilustrar a caracterização das cargas no sistema, foram fixados atributos após a criação de cada uma das três entidades. Fazendo uso dos dados coletados durante o período, e do tratamento estatístico dado a eles, foi possível representar os diferentes comportamentos de chegada de cada tipo de carga no sistema. Para o processo de descarga, também foram vinculados aos blocos de processo as distribuições de frequência que representavam a aleatoriedade para cada tipo de carga recebida na operação.

Adicionalmente, foi incluso no modelo uma medida de desempenho com a finalidade de monitorar o tempo médio de ciclo das entidades no sistema, desde a sua chegada na portaria até sua liberação e saída do Centro de Distribuição. Na figura 10, pode ser vista representação lógica do modelo de simulação criado no *software* Arena.

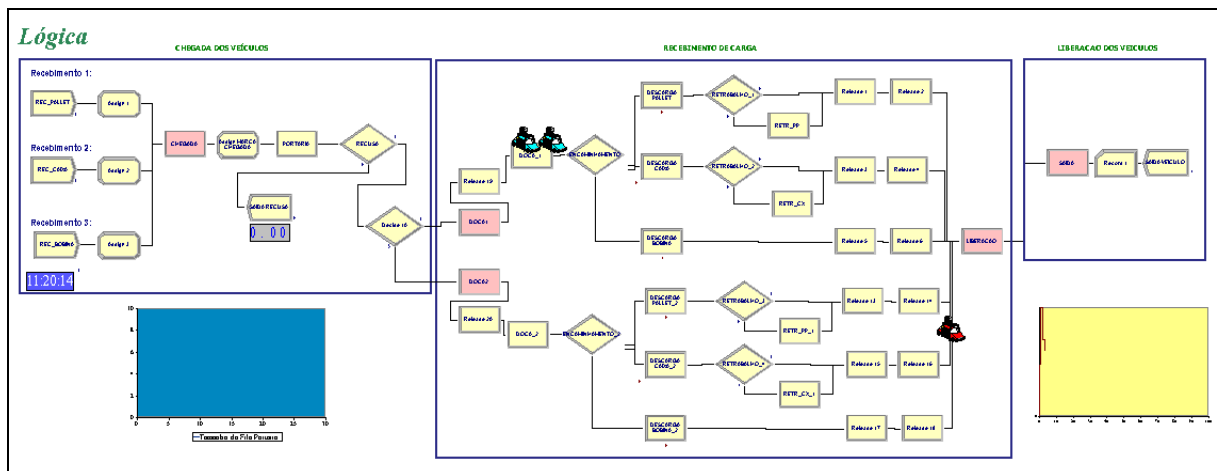


Figura 10: Representação visual da lógica do modelo

Fonte: Autor

Após a estruturação do modelo computacional foi feita uma validação do funcionamento do sistema, de modo que fosse possível ter confiança nos resultados gerados por rodadas de simulação. Para tal, foi criado um cenário de simulação com as configurações atuais de recebimento no Centro de Distribuição.

Neste primeiro cenário de validação, foi desprezado o recebimento de bobinas e cabos – objetivo principal deste estudo de simulação – considerando criação de no máximo de 15 entidades denominadas como veículos, sendo 9 referentes a cargas paletizadas e 6 de volumes isolados. Para o processo de atendimento (descarga e conferência) utilizou-se apenas um recurso operacional, de modo a configurar os mesmos parâmetros usados na operação atual do Centro de Distribuição.

Os resultados apresentados consideraram uma rodada de 17 replicações, que pode ser definido por Chwif & Medina (2010) como uma repetição da simulação do modelo com os mesmos parâmetros e configurações. Foi respeitada natureza terminal da operação com seu intervalo de jornada de trabalho de 8 horas diárias sem pausas. O principal ponto para validação do modelo foi o apontamento do tempo médio de um veículo no sistema e posterior comparação com resultados da coleta de dados oriundos de dias normais trabalhados (utilizou-se dados do mês de mai/11). A representação visual dos resultados gerados pelo modelo pode ser visto na tabela 2 abaixo:

**Tabela 2:** Resultados gerados para validação do modelo

Replicação	Média do tempo no sistema	Dias Mês de Maio	Média do tempo no CD
1	01:37	02/mai	00:25
2	01:18	03/mai	00:54
3	00:42	04/mai	00:25
4	00:58	05/mai	01:35
5	00:54	06/mai	01:57
6	02:26	09/mai	00:58
7	01:28	10/mai	01:23
8	00:56	12/mai	00:26
9	00:23	13/mai	00:48
10	01:14	16/mai	01:06
11	01:02	17/mai	02:30
12	01:11	18/mai	00:39
13	01:18	19/mai	00:53
14	00:42	20/mai	00:42
15	02:10	23/mai	01:10
16	00:28	24/mai	02:35
17	01:55	25/mai	01:11
<b>Média</b>	01:13	<b>Média</b>	01:09
<b>Desvio Padrão</b>	00:34	<b>Desvio Padrão</b>	00:39

A partir dos resultados obtidos com a simulação, e comparados com os dados de aproximadamente um mês de trabalho, observou-se que os resultados entre eles ficaram muito próximos, constatando a validação do modelo criado.

Para confirmar a confiabilidade dos resultados, foi adotada uma confiança estatística de 95% com uma precisão de até 25 minutos. Abaixo seguem os cálculos para construção do intervalo de confiança para a média de tempo no sistema:

$$t_{n-1; a/2} = t_{17-1; 0,05/2} = 2,12 \quad (3)$$

$$h = t_{n-1; a/2} \frac{s}{\sqrt{n}} = 2,12 \frac{0:39}{17} = 0:21 \quad (4)$$

$$x - h \leq \mu \leq x + h = 01:09 - 00:21 \leq \mu \leq 01:09 + 00:21 \\ 00:48 \leq \mu \leq 01:30 \quad (5)$$

Mesmo com resultados satisfatórios de validação do modelo, coube também uma outra análise das reações do sistema. Através da utilização de uma técnica chamada pelos autores Chwif & Medina (2010) de “análise de sensibilidade”, puderam ser feitas alterações em parâmetros significativos no modelo – para este exemplo alterou-se o parâmetro “Índice de Retrabalho”.

Alterando o parâmetro descrito para 50% de ocorrência de retrabalho nas cargas paletizadas e 80% para cargas avulsas, foi possível constatar que o tempo médio dos veículos no sistema tiveram significativas mudanças. A tabela 3 abaixo evidencia os resultados considerando as alterações propostas.

**Tabela 3:** Resultados gerados para análise de sensibilidade

Replicação	Média do tempo no sistema	Dias Mês de Maio	Média do tempo no CD
1	01:40	02/mai	00:25
2	02:24	03/mai	00:54
3	03:18	04/mai	00:25
4	00:42	05/mai	01:35
5	02:02	06/mai	01:57
6	03:51	09/mai	00:58
7	01:17	10/mai	01:23
8	01:07	12/mai	00:26
9	02:10	13/mai	00:48
10	01:10	16/mai	01:06
11	03:46	17/mai	02:30
12	04:39	18/mai	00:39
13	02:10	19/mai	00:53
14	01:31	20/mai	00:42
15	00:38	23/mai	01:10
16	01:49	24/mai	02:35
17	01:20	25/mai	01:11
<b>Média</b>	02:05	<b>Média</b>	01:09
<b>Desvio Padrão</b>	01:09	<b>Desvio Padrão</b>	00:39

Avaliando a nova configuração parametrizada, é possível diagnosticar a sensibilidade no processo de liberação do veículo quando existe acréscimo de retrabalho no recebimento. Sabendo que existe uma sensibilidade neste processo, é importante tomar precauções quando for configurado o modelo para tomada de decisão.

### 3.4. Cenários de Soluções

A partir da validação e consistência do modelo criado no cenário anterior, foram inseridos os parâmetros que configuram o objetivo do estudo de simulação apresentado neste artigo. Para caracterização do sistema simulação foram utilizados os dados referentes ao processo de recebimento do perfil de carga de bobinas e cabos originados da coleta em campo no processo descentralizado.

A partir destes dados foi adaptado ao modelo computacional validado anteriormente, a criação de mais uma entidade no sistema (carga de bobinas e cabos) a fim de fundamentar cenários futuros de simulação do novo Centro de Distribuição. Para todos os cenários criados foram feitas rodadas de 10 replicações, tendo como base a criação de 20 entidades, sendo 9 referentes a cargas paletizadas, 6 de volumes isolados e 5 de bobinas e cabos. A confiança estatística adotada foi de 95% com precisão de até 25 minutos, ambos os dados adotados no cenário de validação.

Assim foram adotados quatro cenários de simulação para apresentação dos resultados e subsidiar a tomada de decisão futura. Os parâmetros de saída escolhidos para avaliação de desempenho de cada cenário baseou-se na melhor utilização dos recursos destinados ao processo, na melhor estrutura física a ser configurada para comportar a necessidade de recebimento da empresa e na redução dos gargalos. Para tanto foram adotadas as seguintes medidas de desempenho comum a todos os cenários:

- Número de veículos recebidos até o término do expediente de trabalho (nível de serviço);
- Percentual de ocupação dos recursos operacionais e físicos;
- Tempo médio da permanência em Filas;
- Tempo médio dos veículos no sistema.

#### 3.4.1. Cenário 1

Para o primeiro cenário criado, foi considerada a mesma configuração utilizada no Centro de Distribuição atual e que serviu de base para validação do modelo, onde a jornada de trabalho tem início às 8h a termino às 17h, Os recursos utilizados no sistema também não sofrem alteração ao cenário anterior, sendo uma plataforma física para descarga e um recurso operacional.

Foram inclusos no modelo computacional, os processos ligados ao recebimento e ao atendimento da nova demanda de materiais, bem como os dados provenientes da coleta e inferência estatística.

**Tabela 4:** Resultados dos veículos (entidades) por carga

Cargas	Média Recebida	Média Atendida	Média em Processo
Paletizada	7	2,5	1,27
Avulsa (caixas)	5,8	2,1	2,45
Bobinas e cabos	3,8	1,6	0,51
<b>Total</b>	16,6	6,2	4,2

**Tabela 4:** Resultados dos recursos

Recursos	Taxa média de Utilização	Nº médio de vezes utilizado
Oper. Empilhadeira/Doca	54%	6,3
Espaço Portaria	98%	6,7

**Tabela 5:** Resultados das filas

Fila	Tempo Médio (hr)	Tempo Máximo (hr)	Tamanho Médio	Tamanho Máximo
Portaria	01:24	04:24	5,98	18

Ao analisar os resultados do cenário 1, foi possível perceber que não são atingidos os resultados esperados pela empresa em nível de recebimento, visto que a taxa de chegada de cada tipo de carga segue um padrão atual estabelecido pelo processo de agendamento de entregas.

Outra questão que o cenário consegue deixar claro é, mesmo que o total de veículos requeridos pela empresa não tenha sido atingido, o processamento de descarga e liberação das entidades não são concluídos. Do total de veículos recebidos apenas 37% das cargas foram completamente atendidas e 25% ficaram em processo de descarga ou retrabalho.

Mediante resultados apresentados na tabela 5, é possível perceber um gargalo na ocupação do

espaço e formação de filas em frente a portaria de entrada do Centro de Distribuição. Os parâmetros escolhidos para simulação do cenário apontaram um tempo médio do veículo no Centro de Distribuição de 01h56, muito similar aos resultados da validação do modelo.

#### 3.4.2. Cenário 2

Para o segundo cenário criado, foi adotada uma configuração para jornada de trabalho alternativa, onde o período de recebimento considerado inicia às 8h e tem seu termino as 22h. Os recursos operacionais utilizados no Centro de Distribuição permaneceram inalterados.

**Tabela 6:** Resultados dos veículos (entidades) por carga

Cargas	Média Recebida	Média Atendida	Média em Processo
Paletizada	9	3,5	1,68
Avulsa (caixas)	6	3,1	2,75
Bobinas e cabos	5	2,5	3,9
<b>Total</b>	20,0	9,1	8,3

**Tabela 7:** Resultados dos recursos

Recursos	Taxa média de Utilização	Nº médio de vezes utilizado
Oper. Empilhadeira/Doca	50%	8,9
Espaço Portaria	96%	9,4

**Tabela 8:** Resultados das filas

Fila	Tempo Médio (hr)	Tempo Máximo (hr)	Tamanho Médio	Tamanho Máximo
Portaria	01:00	05:00	7,75	15,06

Ao analisar os resultados do cenário 2, foi possível perceber que a quantidade desejada de veículos recebida pela empresa havia sido alcançada, em virtude do aumento no número de horas do expediente de trabalho sob as condições de distribuição de frequência usadas para determinar o comportamento de chegada. Contudo o processo de recebimento da demanda, ainda não conseguia viabilizar o atendimento total. Os resultados apresentados configuraram 46% do atendimento total demandado e 42% da demanda terminou a simulação em processo de descarga ou retrabalho. O cenário 2 continuou apresentando os mesmos gargalos que o cenário 1, quando analisados os resultados das filas e ocupação em frente ao Centro de Distribuição.

Como os parâmetros para o cenário 2, consideraram apenas uma jornada maior de trabalho para atendimento a demanda, não houveram alterações significativas para a medida de desempenho do veículo no Centro de Distribuição, que apresentou tempo médio de 02h09.

#### 3.4.3. Cenário 3

Considerando que a jornada de trabalho estendida aplicada no cenário 2 se mostrou insuficiente para atendimento a demanda, e que o comportamento aleatório do processo de

chegada de veículos no sistema segue um padrão convencionado no atual modelo praticado, o cenário 3 foi configurado com uma jornada de trabalho de 8 horas e com a adição de mais dois recursos: o primeiro referente ao espaço físico utilizado para descarga dos materiais recebidos; e o segundo para operacionalizar a execução de descarga.

O objetivo deste cenário foi descaracterizar o processo de filas em frente ao Centro de Distribuição formado pela baixa capacidade de processamento em apenas uma plataforma de descarga, e dar vazão ao volume demandado pelo recebimento.

Neste cenário foi adotado um critério inicial de direcionamento as plataformas de descarga para recebimento de cargas. Nos cenários anteriores como as distribuições de chegada e atendimentos ocorriam em uma só plataforma, não era possível identificar gargalos de produtividade por veículo de carga. Baseando-se na disponibilidade da plataforma de descarga, o critério adotado direciona todo o veículo (independentemente da carga) que chegasse na portaria do Centro de Distribuição a “plataforma nº1”, se esta estivesse indisponível no momento, o veículo seria encaminhado a “plataforma de nº2”.

**Tabela 9:** Resultados dos veículos (entidades) por carga

Cargas	Média Recebida	Média Atendida	Média em Processo
Paletizada	7,7	6,6	0,84
Avulsa (caixas)	6	6	0,56
Bobinas e cabos	3,8	3,2	0,57
<b>Total</b>	17,5	15,8	2,0

**Tabela 10:** Resultados dos recursos

Recursos	Taxa média de Utilização	Nº médio de vezes utilizado
Oper. Empilhadeira/ Doca 1	75%	9,2
Oper. Empilhadeira/ Doca 2	42%	2,3
Espaço Portaria	0%	17,5

**Tabela 11:** Resultados das filas

Fila	Tempo Médio (hr)	Tempo Máximo (hr)	Tamanho Médio	Tamanho Máximo
Portaria	0:00	0:00	0	0
Doca 1	0:53	1:15	0,56	1,15
Doca 2	0:22	0:53	0,2	0,53
<b>Total</b>	1:16	2:09	0,76	1,68

**Tabela 12:** Resultados dos processos

Cargas	Tempo médio (hr) de descarga
Paletizada	0:49
Avulsa (caixas)	0:28
Bobinas e cabos	1:40
<b>Total</b>	2:57

Analisando o cenário 3, já conhecendo que às distribuições de frequência entre chegadas de veículos limitam a quantidade desejada para o novo cenário, focou-se as atenções no processo de atendimento da demanda recebida.

Nos cenários anteriores, ambos com apenas uma estação para descarga dos veículos, não foi possível atingir índices superiores a 50% das cargas recebidas na operação. No cenário 3 com o incremento de mais uma plataforma e recurso operacional, vimos o índice de atendimento alcançar cerca de 90% do volume demandado, sendo que apenas 11% das cargas terminaram a simulação em processo de atendimento. Outro resultado obtido com a nova plataforma foi retirada do gargalo de ocupação e filas em frente ao Centro de Distribuição. Pode-se observar também que o tempo médio dos veículos no sistema atingiu 01h32, cerca de 30 minutos menor que os dois cenários anteriores.

Mesmo alcançando resultados mais satisfatórios que os anteriores, o cenário 3 ainda apresentou um desbalanceamento entre a utilização das plataformas e gargalos na formação de filas. Mediante estes pontos, foram analisados os resultados dos processos por tipo de carga, expressados na tabela 12 pelo tempo médio de descarga, que apontou o processo das cargas de bobinas e cabos como de maior tempo entre os recebimentos no CD.

#### 3.4.4. Cenário 4

Para o quarto e último cenário criado, foram considerados todos os resultados anteriormente gerados, levando ao aperfeiçoamento do modelo em questão. Os resultados gerados no cenário 3, com a inclusão de um recurso extra para o atendimento da demanda, se mostraram válidos visto que nos modelos anteriores os índices de atendimento não eram tão significativos.

O critério adotado anteriormente no cenário 3, não balanceou adequadamente as plataformas levando a gargalos operacionais. Para o cenário 4, os resultados da tabela 12 (processos de descarga) foram considerados para determinação de escolha da plataforma de descarga. Observando que a média do tempo de descarga para veículos de carga de bobinas e cabos eram maiores que as demais, destinou-se uma plataforma (Doca 1) dedicada para o atendimento específico à demanda recebida.

**Tabela 13:** Resultados dos veículos (entidades) por carga

Cargas	Média Recebida	Média Atendida	Média em Processo
Paletizada	8	7,3	0,72
Avulsa (caixas)	6	6	0,11
Bobinas e cabos	4,5	4	0,5
<b>Total</b>	18,5	17,3	1,3

**Tabela 14:** Resultados dos recursos

Recursos	Taxa média de Utilização	Nº médio de vezes utilizado
Oper. Empilhadeira/ Doca 1	50%	3,9
Oper. Empilhadeira/ Doca 2	63%	12,4
Espaço Portaria	0%	18,5

**Tabela 15:** Resultados das filas

Fila	Tempo Médio (hr)	Tempo Máximo (hr)	Tamanho Médio	Tamanho Máximo
Portaria	0:00	0:00	0	0
Doca 1	0:40	2:15	0,25	1,28
Doca 2	0:34	0:59	0,58	1,07
<b>Total</b>	1:15	3:15	0,83	2,35

**Tabela 16:** Resultados dos processos

Cargas	Tempo médio (hr) de descarga
Paletizada	0:42
Avulsa (caixas)	0:18
Bobinas e cabos	1:26
<b>Total</b>	2:26

Com o novo critério de decisão para escolha de plataformas no cenário 4, foi possível aumentar os índices de atendimento a demanda para 94% do volume demandado, sendo que apenas 7% das cargas terminaram a simulação em processo de atendimento. Nota-se que os tempos de processamento de carga tiveram uma pequena redução de 31 segundos comparados ao cenário anterior.

Através da destinação de uma única plataforma para recebimento de bobinas e cabos, foi possível também obter balanceamento na utilização das plataformas, deixando com que as mesmas fiquem equalizadas quanto a seu tempo de ocupação.

As filas entre as plataformas foram melhores distribuídas não tendo impactos significantes no tempo médio, porém para o resultado de tempo máximo nas filas sofreu um aumento de uma hora na plataforma destinada para descarga de bobinas e cabos. Ainda assim o tempo médio dos veículos no sistema atingiu 01h20, 12 minutos mais baixo que o cenário 3.

### 3.5 Análise dos resultados

De posse dos resultados das simulações dos cenários, foi possível criar e comparar hipóteses de configurações operacionais que determinassem um melhor aproveitamento dos recursos disponibilizados, minimizando os gargalos e garantindo com que o nível de recebimento demandado pela empresa fosse atendido.

Os resultados dos cenários de maior relevância ao objetivo do estudo proposto foram comparados e analisados combinadamente, de forma a expor a melhor alternativa minimizando a incerteza da tomada de decisão da empresa na escolha da estrutura operacional do novo Centro de Distribuição.

As diferentes configurações de resultados obtidos na simulação dos cenários, foram agrupados e demonstradas abaixo pela tabela 17.

**Tabela 17:** Análise Combinada dos Cenários

Resultados Simulados	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Nível de Serviço (média recebida/média atendida)	37%	46%	90%	94%
Ocupação Média dos Recursos	76%	73%	59%	57%
Tempo Médio em Filas	1:24	1:00	0:37	0:37
Tempo Médio dos Veículos no Sistema	1:56	2:09	1:32	1:20

O principal fator que impulsionou o estudo estava condicionado à estrutura operacional que melhor atendesse o nível de recebimento requerido pela empresa. Fica evidente na comparação entre os cenários criados que, no que diz respeito a atendimento a demanda, o cenário 4 mostra-se mais aderente ao objetivo proposto, haja visto que os demais atingem índices inferiores.

Vale destacar que para alcançar níveis satisfatórios foi preciso a partir do cenário de número 3, incorporar mais 2 recursos operacionais (doca e operador empilhadeira) a simulação, fazendo com que os índices médios de ocupação dos recursos caíssem em função do comportamento dos dados coletados, porém descaracterizando o gargalo operacional gerado na portaria em função da limitação de uma plataforma de descarga. No cenário 4, ao adicionar um critério para encaminhamento dos veículos recebidos, foi possível balancear a ocupação dos recursos dispostos.

Os tempos médios em filas nos processos foram sendo minimizados em cada cenário simulado, seja no aumento da jornada de trabalho, que não se mostrou eficaz quando analisados os níveis de serviço, seja nos cenários onde houveram inclusões de recursos adicionais. Por fim, quando comparados os tempos médios dos veículos no sistema, entende-se que quanto menor for tempo de ciclo melhor será o processo.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com as características do processo e dos dados levantados na pesquisa em campo, buscou-se através de um estudo de simulação representar diferentes cenários para o novo Centro de Distribuição da empresa em questão, alinhando as necessidades desta de forma a configurar a melhor opção para a tomada de decisão. Conforme análise dos resultados, o cenário 4 apresentou a melhor opção respeitando as premissas adotadas no objetivo principal do estudo.

É importante ressaltar que, possíveis alterações na ferramenta de agendamento de entregas adotada pela empresa, poderiam otimizar melhor os ativos destinados ao recebimento, pois a capacidade operacional instalada no cenário 4 oferece não só atendimento completo a demanda da empresa, mas também capacidade adicional a demandas futuras, tendo em vista os índices de ocupação dos recursos. A empresa, de posse das informações do estudo pode vir a organizar a ferramenta de agendamento de uma melhor forma (não considerando horários de 45 minutos para atendimento), podendo assim aumentar sua capacidade de recebimento, minimizar a capacidade ociosa dos recursos, reduzir os gargalo das filas e diminuir o horizonte fixo da agenda.

Este texto procurou demonstrar que técnicas de simulação computacional, mesmo que ainda pouco exploradas pelas empresas devido ao seu grau de complexidade, poucos profissionais

habilitados, e aos custos envolvidos, podem trazer grandes resultados minimizando falhas e/ou custos em uma tomada de decisão. Vale ressaltar que projetos de simulação devem considerar os mais variados fatores, de preferência com uma equipe multidisciplinar, capaz de extrair os melhores resultados de um sistema/processo.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Chwif, L. e Medina, A.C. (2010) *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*. Ed. dos Autores, São Paulo.
- Chwif, L. (1999) *Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal*. 139 p. + apêndices. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo.
- Devore, J. (2000) *Probability and statistics for engineering and the sciences*. Ed. Pacific Grove: Duxbury Press.
- Harrel, C.R.; J.R.A. Mott; R.E. Baternan; R.O. Bowden e T.J. Gogg. (2002) *Simulação: Otimizando Sistemas*. Ed. IMAM, São Paulo.
- Hillier, F.S. e Lieberman, G.J. (2006) *Introdução à Pesquisa Operacional*. Ed. McGraw-Hill, São Paulo.
- Prado, D.S. (2010) *Usando o Arena em Simulação*. Ed. INDG Tecnologia e Serviços Ltda, Belo Horizonte.
- Silva, A.K. (2006) *Método para avaliação e seleção de softwares de simulação de eventos discretos aplicados à análise de sistemas logísticos*. 191 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia e Transportes II, São Paulo.