

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

Raiza Bender Lopes

**MAPEAMENTO DOS PROCESSOS E SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL
REGULADOR DE CONTÊINER**

Joinville, 2016

Raiza Bender Lopes

**MAPEAMENTO DOS PROCESSOS E SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL
REGULADOR DE CONTÊINER**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística.

Profa. Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes

Joinville, 2016

AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo.

À minha mãe, Ana, que me acompanhou durante toda esta trajetória, com quem compartilhei todas minhas frustrações e conquistas. Agradeço pelo apoio incondicional.

A minha família, pelo apoio e carinho. Nada disso seria possível sem vocês.

Ao meu namorado, Gabriel, pelo companheirismo, compreensão e incentivo. E a sua família, que durante os anos de graduação esteve ao meu lado, dando suporte sempre que necessário.

Aos amigos, que adquiri durante a graduação, pelo companheirismo nos momentos de angústia e de descontração.

Aos colegas da ATM, pelo acolhimento na empresa, por todo conhecimento que me passaram, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional. Em especial, Gustavo Costa, pela oportunidade e orientação na elaboração deste trabalho.

A minha orientadora, Christiane, pela sabedoria e conhecimentos repassados.

Aos professores, que durante a graduação transmitiram seus conhecimentos, contribuindo com minha formação acadêmica, crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

O comércio mundial foi impulsionado na década de 60 com o surgimento do contêiner, porém acarretou em um problema de movimentação/alocação de contêiner vazio e cheio na cadeia de transporte. O terminal de contêiner vazio é a ponta da cadeia de transporte em que o contêiner é disponibilizado ao exportador para posterior estufagem, transporte e devolvido pelo importador após desova. O presente trabalho propõe um modelo de simulação de um subprocesso de um terminal, relacionado ao fluxo de contêineres vazios, que está inserido num mercado altamente competitivo e com grande prospecção de crescimento. Este modelo de simulação tem como objetivo principal otimizar as operações do terminal, reduzindo custos e garantindo um elevado nível de serviço ao cliente. O modelo de simulação foi implementado no *software* Arena e através dos indicadores de desempenho analisados foi possível identificar gargalos operacionais e propor um melhor dimensionamento operacional para o terminal.

Palavras-chave: Simulação. Terminal *Depot*. Planejamento operacional.

ABSTRACT

The world trade was boosted in the 1960s with the emergence of the container, however, it entailed a problem of empty container handling/allocation in the transport chain. The empty container terminal is the tip a of the transport chain, where the container is made available to the exporter for subsequent stowing, transportation and returned by the importer after spawning. The present work refers to the simulation of a specialized terminal the movement of empty containers, inserted in a highly competitive market and with great prospect of growth. It aims to present a simulation model to optimize terminal operations, reducing costs and ensuring a high level of service. The simulation model was implemented in the Arena software and through the performance indicators analyzed it was possible to identify operational bottlenecks and propose a better operational design for the terminal.

Keywords: Simulation. Terminal Depot. Operational Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo do transporte de carga por contêiner.....	10
Figura 2 – Etapas do Estudo.....	14
Figura 3 – Tarefa, atividade e processo.....	17
Figura 4 - Modelo de custo.....	19
Figura 5 – Estrutura do sistema de filas.....	19
Figura 6 - Instalação de atendimento com 3 canais em paralelo.....	20
Figura 7 - Sistema de filas com canais em paralelo e em série.....	21
Figura 8 - Fluxograma das etapas da simulação.....	29
Figura 9 – Distribuição Normal com $\mu = 4$ e $\theta = 0,5$	33
Figura 10 – Distribuição Triangular com $a=1$, $m=3$ e $b=6$	33
Figura 11 - Distribuição exponencial.....	34
Figura 12 – Distribuição Lognormal com $\mu = 1$ e $\theta = 0,5$	35
Figura 13 – Distribuição Erlang com $\beta = 1$ e $m = 2$	35
Figura 14 – Distribuição Beta com $a=4$ e $b=2$	36
Figura 15 – Canais de atendimento.....	39
Figura 16 – Processos Depot.....	43
Figura 17 – Mapeamento do processo 1.....	45
Figura 18 – Mapeamento do processo 2.....	46
Figura 19 – Mapeamento do processo 3.....	47
Figura 20 – Movimentação interna.....	47
Figura 21 – Construção do Projeto Conceitual.....	48
Figura 22 – Input Analyzer.....	51
Figura 23 – Lógica de Chegada Estoque no terminal.....	56
Figura 24 – Chegada Estoque.....	57
Figura 25 – Módulo Decide.....	57
Figura 26 – Assign.....	58

Figura 27 – Sequence	59
Figura 28 – Chegada Processo I.....	60
Figura 29 – Chegada Processo III.....	60
Figura 30 – Bloco Schedule	61
Figura 31 – Estação Oficina	61
Figura 32 – Estações de trabalho.....	62
Figura 33 - Transportadores.....	63
Figura 34 – Módulo Request	63
Figura 35 – Módulo Process.....	64
Figura 36 – Módulo Transport	64
Figura 37 – Recursos com capacidade variável.....	65
Figura 38 - Capacidade dos Recursos	65
Figura 39 – Processamento Estoque	66
Figura 40 – Adaptação modelo para o cenário 02.....	73
Figura 41 – Modelo Arena	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Medidas de desempenho	22
Tabela 2 – Equações do modelo (M/M/1/∞/∞/FCFS)	23
Tabela 3 – Equações do modelo (M/M/S/∞/∞/FCFS).....	24
Tabela 4 – Equações do modelo (M/M/1/∞/k/FCFS).....	25
Tabela 5 – Equações do modelo (M/M/S/∞/k/FCFS)	26
Tabela 6 – <i>Softwares</i> de Simulação.....	37
Tabela 7 – Distribuição de recursos	40
Tabela 8 –Tipos de contêineres	41
Tabela 9 –Tempos de deslocamento	52
Tabela 10 – Distribuições de probabilidade	55
Tabela 11 – Cenário base	67
Tabela 12 – Cenário base com prioridade	68
Tabela 13 – Cenário base a longo prazo	69
Tabela 14 – Quantidade de Recursos Oficina.....	70
Tabela 15 – Cenário com 3 stacker.....	71
Tabela 16 – Cenário com 3 stacker e 3 vistoriadores	72
Tabela 17 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 10% na demanda...74	
Tabela 18 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 20% na demanda...75	
Tabela 19 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 30% na demanda...75	
Tabela 20 – Depósito A para um aumento de demanda de 10%.....	84
Tabela 21 – Depósito B para um aumento de demanda de 10%.....	85
Tabela 22 – Depósito A para um aumento de demanda de 20%.....	86
Tabela 23 – Depósito B para um aumento de demanda de 20%.....	87
Tabela 24 – Depósito A para um aumento de demanda de 30%.....	88
Tabela 25 – Depósito B para um aumento de demanda de 30%.....	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação de Demanda	49
Gráfico 2 – Porcentagem contêineres por tipo de equipamento.....	50
Gráfico 3 – Porcentagem de contêineres avariados.....	50
Gráfico 4 – Porcentagem de contêineres avariados no estoque	53
Gráfico 5 – Estoque.....	53

LISTA DE ABREVIATURA / ACRÔNIMOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASA – American Standards Association

ANTAq - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ATP - Associação dos Terminais Privados

BPMN – *Business Process Model and Notation*

Depot – Terminal especializado no recebimento, armazenagem e liberação de contêiner vazio.

FCFS – *First Come is First Served*

ISO – *International Standards Organization*

Inmetro – Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Contextualização.....	9
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1. Objetivo Geral	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
1.3. JUSTIFICATIVA	12
1.4. METODOLOGIA	13
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS	16
2.2. TEORIA DAS FILAS.....	18
A Teoria das Filas traz um modelo de análise para cada configuração de fila. Estes modelos servem para cálculo analítico das medidas de desempenho de cada configuração de fila (número de canais e população).....	
	21
2.2.1. Medidas de desempenho	21
2.2.2. Modelo de um canal e uma fila com população infinita (M/M/1/∞/∞/FCFS) ..	22
2.2.3. Modelo de uma fila e S canais com população infinita (M/M/S/∞/∞/FCFS)..	23
2.2.4. Modelo uma fila e um canal com população finita (M/M/1/∞/k/FCFS).....	24
2.2.5. Modelo de S canais de atendimento com população finita (M/M/S/∞/k/FCFS)	25
2.3. SIMULAÇÃO	27
2.3.1. Evento Discreto ou Simulação Contínua.....	31
2.3.2. Modelos Determinísticos ou Estocásticos	31
2.3.3. Modelo Estático ou Dinâmico	32
2.3.4. Distribuições de probabilidade	32
2.3.5. Softwares de Simulação.....	36

3. CENÁRIO DE ESTUDO.....	38
3.1. ESTUDO DE CASO	38
4. ESTUDO DE CASO.....	43
4.1. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS	43
4.1.1. Processo I	44
4.1.2. Processo II	45
4.1.3. Processo III	46
4.2. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS	49
4.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	56
4.3.1. Estoque	56
4.3.2. Chegadas.....	59
4.3.3. Canais de Atendimento	61
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	67
5.1. CENÁRIO BASE	67
5.2. CENÁRIO 1	69
5.3. CENÁRIO 2.....	73
5.3.1. Previsão de crescimento de 10% na demanda	74
5.3.2. Previsão de crescimento de 20% na demanda	74
5.3.3. Previsão de crescimento de 30% na demanda	75
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	77
ANEXO A.....	83
ANEXO B.....	84
ANEXO C.....	85
ANEXO D.....	86
ANEXO E.....	87
ANEXO F.....	88
ANEXO G.....	89

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza e justifica a problemática apresentada neste trabalho e define seus objetivos.

1.1. Contextualização

O contêiner revolucionou o transporte de cargas, sua introdução na década de 60 impulsionou o volume de transações no comércio mundial. Atualmente representa a parcela mais significativa das operações de transporte (BANDEIRA, 2005).

A unitização das cargas em contêineres trouxe inúmeras vantagens, facilitando a movimentação e operação de mercadorias, contribuindo para a eficiência e velocidade de transporte. Porém o contêiner é um equipamento dispendioso, que necessita de constante reposicionamento para sucessivas reutilizações, devido ao desequilíbrio causado pela oferta/demanda de importação e exportação (*imbalance*) (CUNHA *et al.*, 2008).

Embora contêineres cheios tenham prioridade para embarque nos navios, contêineres vazios não podem ficar parados pois são necessários para novos carregamentos (BANDEIRA, 2005).

Os terminais *Depot* são a ponta da cadeia de transporte, de onde o contêiner vazio é retirado para ser carregado (estufado), transportado até seu destino final. E, descarregado (desovado) para ser então entregue nos terminais de vazio novamente, conforme o fluxo da figura 1.

Órgãos como *International Standards Organization* (ISO), *American Standards Association* (ASA), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro)

Figura 1 – Fluxo do transporte de carga por contêiner



Fonte: O Autor (2016)

estabelecem normas para segurança nas operações com contêineres, tendo como objetivo facilitar o comércio, introduzindo regulamentos internacionais uniformes, de forma a garantir um alto nível de segurança no transporte de contêineres, padronização dos modos e equipamentos para movimentação de carga.

Durante seu transporte e movimentação o contêiner pode sofrer avarias, sendo o *Depot* responsável por identificar estas avarias e repará-las, deixando o contêiner em estado de movimentação conforme regulamentado pelos órgãos nacionais e internacionais. É um diferencial para o armador (proprietário do contêiner) que o *Depot* mantenha o estoque de contêineres disponíveis para movimentação, atendendo a demanda dos exportadores com qualidade e confiabilidade.

A logística de contêineres vazios acarreta em custos para o armador mais não agrega valor ao processo de transporte. Porém é de fundamental importância para sua cadeia. Estes custos podem ser minimizados, otimizando-se as operações do terminal *Depot*, ou seja, atendendo a demanda dos exportadores, mantendo-se um estoque de segurança de contêineres disponíveis (YAGUIU, 2006).

O presente estudo realizou-se em um *Depot*, inserido na retro área do porto de Itapoá, no estado de Santa Catarina. Em 2016, com apenas cinco anos de operação, o porto foi eleito pela ANTAq o sexto maior terminal brasileiro em movimentação de contêineres.

Neste trabalho mapeou-se os processos do *Depot* e desenvolveu-se um modelo de simulação, que permite analisar o desempenho operacional do terminal e dimensionar operações.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo de simulação para otimizar as operações logísticas de um terminal *Depot*, reduzindo os recursos necessários para garantindo um elevado nível de serviço no atendimento de seus clientes.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Compreender referencial teórico e coletar os dados necessários;
- Mapear os processos primários, ou seja, processos diretamente envolvidos com o atendimento de caminhões, da logística de contêiner vazio do terminal em estudo;
- Desenvolver um modelo de simulação no *software Arena* do atual cenário do terminal, que atenda aos processos mapeados;

- Analisar o processo, baseando-se nas medidas de desempenho apresentadas pela simulação e propor melhorias;
- Simular um cenário de expansão, dimensionando suas operações.

1.3. JUSTIFICATIVA

A análise de processos é uma forma de identificar as não conformidades operacionais e através dela é possível propor soluções para os mesmos, desta forma é possível fornecer maior valor para seus clientes. A simulação está um passo à frente na análise de dados, pois reproduz o comportamento do modelo ao longo do tempo, permitindo testar cenários sem ônus para a empresa.

As lacunas em um processo podem representar perda de potenciais clientes ou até em custos adicionais para a empresa (KRAJEWSKI; RITSMAN e MALHOTRA, 2009).

O terminal retro portuário está inserido em um ambiente competitivo e deve apresentar diferenças operacionais para garantir um bom nível de serviço. Atendendo ao exportador/importador com qualidade e garantindo a disponibilidade de contêineres.

Em 2015, o atual presidente do Porto Itapoá e vice-presidente da ATP (Associação dos Terminais Privados), Patricio Junior, ressaltou a importância de investimentos em infraestruturas logísticas, em especial aos portos, que atendem 95% das trocas comerciais, devido ao crescimento nas importações e exportações para os próximos anos (PATRICIO JUNIOR, 2015).

O terminal retro portuário além de garantir um bom desempenho operacional, deve atentar-se às previsões de demanda crescentes, dimensionando suas operações futuras. Academicamente este trabalho traz contribuições, quanto a utilização do *software Arena@* de simulação e *software BPMN*, para planejamento de um terminal *Depot*.

Neste trabalho será utilizado a simulação como ferramenta de planejamento das operações de um terminal *Depot*, com o objetivo de diminuir falhas no dimensionamento operacional e permitir aproveitamento dos recursos.

1.4. METODOLOGIA

Este trabalho utiliza dois métodos de pesquisa: pesquisa bibliográfica e estudo de caso. O primeiro método fornece a base teórica e o segundo visa resolver o problema proposto.

Quanto ao objetivo este trabalho é de caráter exploratório, pois busca informações sobre algo desconhecido e a abordagem do problema é quantitativa, ou seja, depende de medidas mensuráveis para sua resolução (COOPER E SCHINDLER, 2016).

A metodologia a ser seguida neste trabalho foi dividido em sete etapas, necessárias para alcançar o objetivo do estudo, conforme figura 2. Primeira etapa compreende a etapa da definição do problema e dos objetivos do trabalho.

Na segunda etapa, realiza-se pesquisa bibliográfica, sendo levantados temas relevantes para a resolução do problema em estudo, como cadeias de Markov, teoria das filas, simulação e mapeamento de processos.

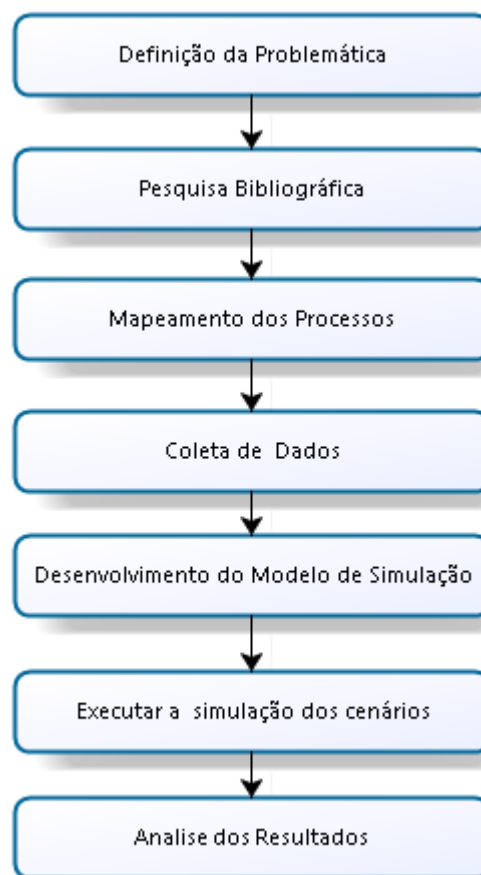
O mapeamento dos processos, terceira etapa do trabalho, é efetuado através da observação do sistema e entrevistas com pessoas chaves do processo do terminal em estudo.

Na quarta etapa do trabalho compreende a coleta de dados, realizada através de observações do sistema e também através do tratamento dos dados fornecidos pelo sistema da empresa. O modelo de simulação é executado na

quinta etapa do trabalho, utilizando-se utilizando o software Arena@ versão 9.0.

Os cenários analisados neste trabalho serão definidos e analisados na sexta etapa. Finalmente, na sétima etapa, analisa-se os resultados alcançados para cada cenário estabelecido.

Figura 2 – Etapas do Estudo



Fonte: O Autor (2016)

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto de seis capítulos, o primeiro introdutório, contextualizando, justificando, apresentando os objetivos e a problemática em estudo. O segundo capítulo traz a fundamentação teórica, apresenta os temas

relevantes para resolução do problema de estudo, como mapeamento dos processos, simulação e alguns dos *softwares* utilizados para modelagem de problemas discretos.

No terceiro capítulo apresenta-se o cenário em estudo, bem como as limitações da pesquisa. No quarto capítulo descreve-se o estudo de caso, apresenta-se o desenvolvimento do mapeamento dos processos, a coleta de dados e o desenvolvimento do modelo de simulação. No quinto capítulo é analisado os resultados da simulação para cada cenário proposto e no sexto capítulo apresenta-se as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão levantados os fundamentos sobre Cadeias de Markov, Teoria das Filas, Simulação e Mapeamento de Processos. Tais abordagens são ferramentas para modelar a problemática apresentada anteriormente.

2.1. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS

Para Pavani Junior e Scucuglia (2011) o mapeamento/modelagem dos processos trata da representação gráfica do sequenciamento de atividades de um processo. Este mapeamento tem como objetivo entender as lógicas da cadeia de insumos e informações, viabilizando posteriormente a aplicação de metodologias e técnicas para otimização dos processos.

Os processos são hierarquizados de acordo com o nível de detalhamento que é representado. A Figura 3 ilustra parte desta hierarquia. Villela (2000) define-a como:

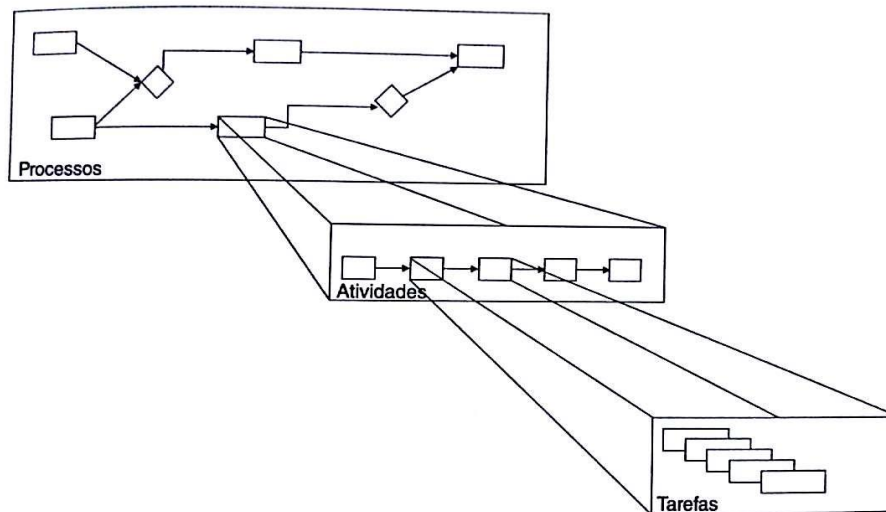
- Tarefa: O menor micro enfoque, detalha o *como fazer* algo dentro da organização;
- Atividade: Relacionada ao termo *o que fazer* e é composta de tarefas;
- Processo: É um sequenciamento de atividades, os processos recebem um *input* e através de uma transformação de valor devem apresentar uma saída *output*;
- Macroprocesso: É como a organização define um processo que agrega valor à empresa e contribuem para cumprir a sua missão;

Mareth (2008) propõe ainda uma classificação para os processos, permitindo identificá-los e tratá-los de maneira mais objetiva.

- Processos primários: são os processos de fabricação ou prestação do serviço, diretamente relacionados ao cliente. Qualquer erro ou falha no processo é identificado imediatamente pelo cliente;
- Processos de apoio ou suporte: fornecem suporte aos processos primários, porém, não tem contato direto com o cliente;

- Processos gerenciais: coordenam as atividades dos processos primário e de apoio.

Figura 3 – Tarefa, atividade e processo



Fonte: Pavani Júnior e Scucuglia (2011, p.19)

O mapeamento de processos é fundamental para a compreensão do processo e posterior análise e melhoria, para tanto, esta modelagem deve ser realizada com informações precisas da organização. Pavani Junior e Scucuglia (2011), apresentam as principais técnicas de captura de informação:

- Observação direta: Acompanhamento presencial das atividades;
- Entrevistas: É feita com pessoas envolvidas diretamente no processo, porém pode haver esquecimento da parte do entrevistado ou resistência para esclarecer as informações;
- *Workshops* estruturados: Reúne os profissionais envolvidos, gerando um maior consenso dos fluxos;
- Videoconferência: Útil quando algum participante fundamental não está presente no *workshop*;

Várias metodologias e pacotes computacionais são criados para análise do mapeamento de processos sendo que as ferramentas computacionais foram divididas em três categoria (VILLELA, 2000):

- Ferramentas de diagramação de fluxo: Metodologia mais básica, faz uso de simbologia para desenvolver os fluxos do processo;
- Ferramentas CASE: fornecem uma estrutura conceitual de hierarquia dos processos e são construídas a partir de um banco de dados, fornecendo análises estatísticas e determinísticas do processo;
- Ferramentas de simulação: têm a capacidade de animação e permitem a visualização de como os processos fluem.

O mapeamento do processo deve ser de fácil interpretação, objetivo e claro. Para tanto, várias notações foram desenvolvidas, neste trabalho será utilizada a notação Business Process Model and Notation (BPMN). De acordo com Pavani Junior e Sucucuglia (2011), preenchem uma série de lacunas de modelagem de outros métodos.

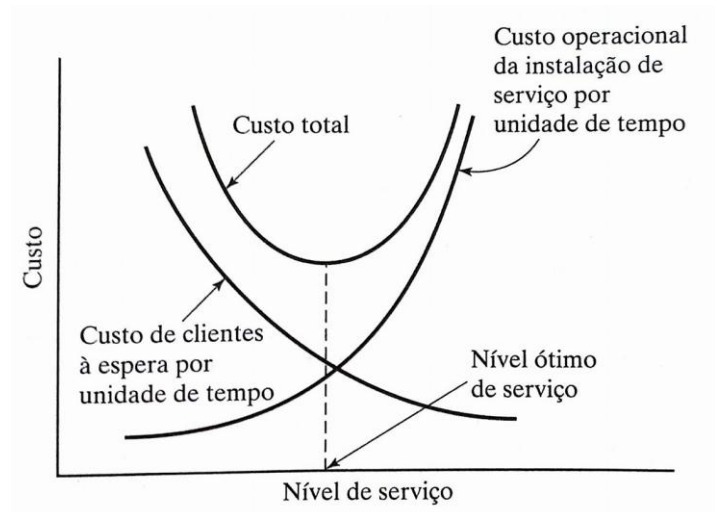
2.2. TEORIA DAS FILAS

De acordo com Taha (2008), um dos campos da Pesquisa Operacional é a Teoria das Filas. Apesar de não ser uma técnica de otimização, utiliza-se de probabilidades para determinar medidas de desempenho como tempo médio de espera na fila, tempo médio para conclusão de um serviço ou o nível de utilização das instalações.

Segundo Moreira (2013) as filas devem ser gerenciadas e alguém deve mantê-las sob controle garantindo áreas adequadas para filas, introduzindo regras de prioridades, caso necessário, decidindo quantos postos de atendimento devem haver e se são necessários definir esforços para diminuir o tempo de atendimento. Estas decisões impactam diretamente em custos maiores para a empresa, porém, deve se analisar se incorrer destes custos diminuirá a perda de clientes ou até atrair novos clientes para o sistema.

Os resultados das análises de filas têm como objetivo minimizar a soma do custo de oferecer o serviço mais o custo de espera. Conforme observa-se na figura 4, o custo de oferecer o serviço cresce proporcionalmente ao nível de serviço, enquanto o custo de espera do cliente aumenta conforme o nível de serviço diminui (TAHA, 2008).

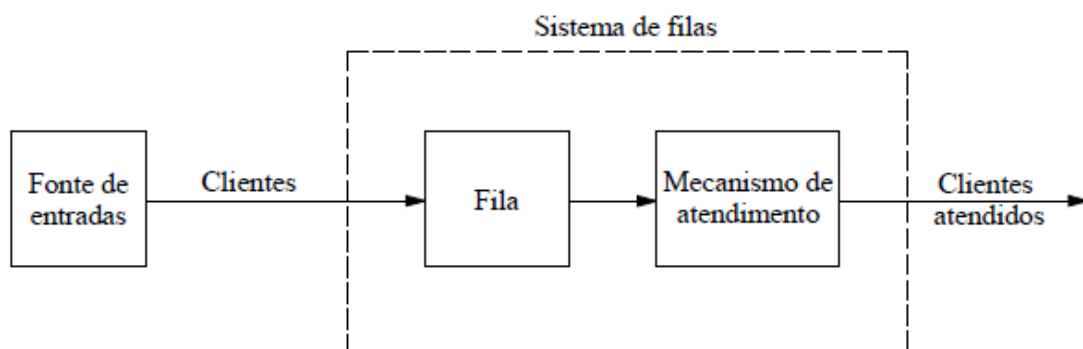
Figura 4 - Modelo de custo



Fonte: Taha, 2008

A figura 5 descreve um modelo básico de fila, onde clientes que necessitam de atendimento chegam ao longo do tempo por uma *fonte de*

Figura 5 – Estrutura do sistema de filas



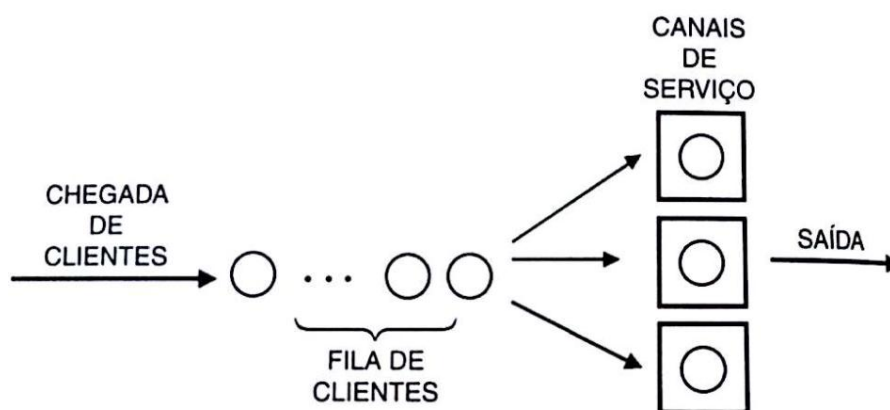
Fonte: Hillier, 2006

entrada. São direcionados a um *sistema de filas*, onde aguardam na *fila* até serem selecionados para atendimento, conforme *disciplina da fila*, e então são atendidos por um *mecanismo de atendimento* e após o cliente deixa o sistema (HILLIER E LIEBERMAN, 2006).

Hillier e Lieberman (2006) descrevem os elementos da fila da seguinte forma:

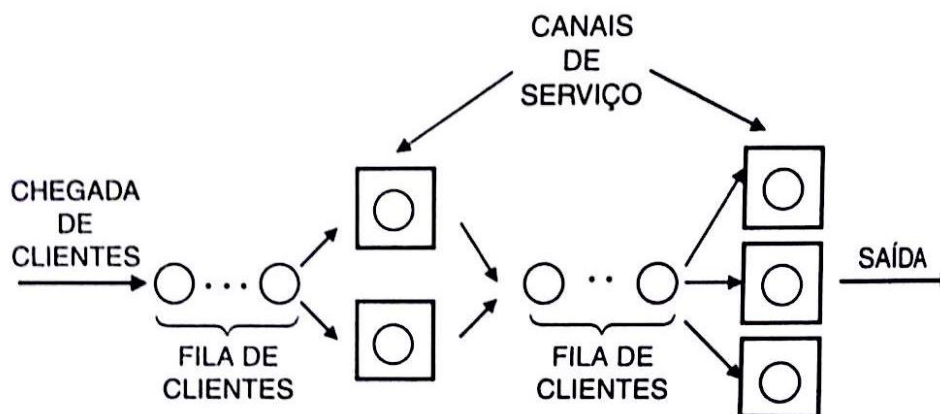
- A *fonte de entrada* pode ser descrita como uma taxa de chegada no sistema, que se calcula através do intervalo de tempo entre chegadas de clientes sucessivos. Existe uma população de onde provem as chegadas, população esta, que pode ser finita ou infinita;
- *Fila* é o local onde os clientes aguardam antes de serem atendidos. Uma fila é caracterizada pelo número máximo de clientes permitidos que ela pode conter (finito ou infinito);
- A *Disciplina da Fila* se refere à ordem na qual os clientes que estão na fila são selecionados para atendimento. Normalmente nos modelos de fila os primeiros que chegam serão os primeiros a serem atendidos. Porém podem definir outras ordem de atendimento como último a chegar é o primeiro a ser atendido, aleatória, de acordo com algum procedimento de prioridade ou algum outro tipo de ordem;
- Os *mecanismos de atendimento* são as instalações de atendimento, cada uma possuindo uma quantidade de canais de atendimento em paralelo (atendentes), como pode ser observado na figura 6. Estas instalações também estar dispostas em série, conforme figura 7, fazendo com que o cliente passe por uma sequência de atendimentos. O tempo decorrido entre o início do processamento no canal de atendimento até seu término é denominado tempo de atendimento.

Figura 6 - Instalação de atendimento com 3 canais em paralelo



Fonte: Andrade (2009, p.106)

Figura 7 - Sistema de filas com canais em paralelo e em série.



Fonte: Andrade (2009, p.106)

A Teoria das Filas traz um modelo de análise para cada configuração de fila. Estes modelos servem para cálculo analítico das medidas de desempenho de cada configuração de fila (número de canais e população).

2.2.1. Medidas de desempenho

Segundo Andrade (2009) no estudo de um sistema de filas deve-se determinar várias medidas da efetividade do sistema, com a finalidade de medir seu desempenho.

Na tabela 1 estão descritas as medidas de desempenho, e estas podem estar relacionadas à fila, ao canal de atendimento ou ao sistema (fila mais canal de atendimento).

Tabela 1– Medidas de desempenho

SISTEMA	TS = Tempo médio de cliente no sistema NS = Número médio de clientes no sistema $P(n)$ = Probabilidade de existir um número n de clientes no sistema.
FILA	TF = Tempo médio que o cliente gasta na fila de espera NF = Número médio de clientes na fila ou tamanho médio da fila
CANAL DE ATENDIMENTO	P_0 = Índice de ociosidade ρ = Taxa de utilização

Fonte: Adaptado de Prado (2006) e Andrade (2009)

2.2.2. Modelo de um canal e uma fila com população infinita (M/M/1/ ∞ / ∞ /FCFS)

Observa-se na tabela 2 as equações relacionadas ao modelo de 1 canal de atendimento e 1 fila com população infinita. Estas equações permitem medir o desempenho da fila. Para tanto deve-se considerar algumas premissas conforme Andrade (2009):

- As chegadas seguem distribuição de Poisson com média de τ clientes por unidade de tempo;
- O número de atendimentos segue distribuição de Poisson com média μ clientes por unidade de tempo;
- O tempo de atendimento por canal segue a distribuição exponencial negativa com média $\frac{1}{\mu}$;
- A disciplina da fila é FCFS;
- O número de possíveis clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita;
- Sendo n o número de clientes.

Tabela 2 – Equações do modelo (M/M/1/∞/∞/FCFS)

$P(n) = \left(\frac{\tau}{\mu}\right)^n \cdot \left(\frac{\mu - \tau}{\mu}\right)$	Probabilidade de haver n clientes no sistema
$P(n > r) = \left(\frac{\tau}{\mu}\right)^{r+1}$	Probabilidade de que o número de clientes no sistema seja superior a r
$P_0 = \left(\frac{\mu - \tau}{\mu}\right)$	Taxa de ociosidade
$\rho = \frac{\tau}{\mu}$	Taxa de ocupação
$NS = \left(\frac{\tau}{\mu - \tau}\right)$	Número médio de clientes no sistema
$NF = \left(\frac{\tau^2}{\mu(\mu - \tau)}\right)$	Número médio de clientes na fila (incluindo filas de tamanho zero)
$NF = \left(\frac{\mu}{\mu - \tau}\right)$	Número médio de clientes na fila (para filas de tamanho maior que zero)
$TF = \left(\frac{\tau}{\mu(\mu - \tau)}\right)$	Tempo médio de espera na fila
$TS = \left(\frac{1}{\mu - \tau}\right)$	Tempo médio gasto no sistema

Fonte: Adaptado de Andrade (2009)

2.2.3. Modelo de uma fila e S canais com população infinita (M/M/S/∞/∞/FCFS)

Para Andrade (2009) a tabela 3 descreve as equações básicas do modelo de S canais de atendimento e uma fila com população infinita, no entanto devemos considerar algumas premissas adicionais:

- O número de canais de serviço é dado por S.
- Ritmo de serviço = $\mu \cdot S$

- Condição de estabilidade do sistema é dado por $\tau < \mu \cdot S$

Tabela 3 – Equações do modelo (M/M/S/∞/∞/FCFS)

$\rho = \frac{\tau}{\mu}$	Taxa de utilização
$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)}}$	Probabilidade não haver clientes na fila
$P(n \geq s) = \left(\frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)} \right) \cdot P_0$	Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados
$NF = \left(\frac{\rho}{s-\rho} \right) \cdot P(n \geq s)$	Número médio de clientes na fila
$TF = NF \cdot \frac{1}{\tau}$	Tempo médio de espera na fila
$NS = NF + \rho$	Número médio de clientes no sistema
$TS = NS \cdot \frac{1}{\tau}$	Tempo médio gasto no sistema

Fonte: Adaptado de Andrade (2009)

2.2.4. Modelo uma fila e um canal com população finita (M/M/1/∞/k/FCFS)

A tabela 4 descreve as equações básicas do modelo de 1 canal de atendimento e 1 fila com população finita. Neste modelo o número máximo de clientes que podem solicitar o serviço é fixado, no entanto deve-se considerar algumas premissas adicionais conforme Andrade (2009):

- Número finito de clientes k .
- Condição de estabilidade é dado por $\tau < \mu$.

Tabela 4 – Equações do modelo (M/M/1/∞/k/FCFS)

$\rho = \frac{\tau}{\mu}$	Taxa de utilização
$P(n) = \frac{\frac{1}{\rho}^{k-n}}{(k-n)! \sum_{j=0}^k \frac{\rho^j}{j!}}$	Probabilidade de haver n clientes no sistema
$NF = k - \left(\frac{\tau + \mu}{\tau}\right) \cdot (1 - P(0))$	Número médio de clientes na fila
$TF = \frac{k}{\tau} - \frac{(\tau + \mu) \cdot (1 - P(0))}{\tau^2}$	Tempo médio de espera na fila
$NS = k - \left(\frac{\tau + \mu}{\tau}\right) \cdot (1 - P(0)) + \frac{\tau}{\mu}$	Número médio de clientes no sistema
$TS = \frac{k}{\tau} - \frac{(\tau + \mu)(1 - P(0))}{2} + \frac{1}{\mu}$	Tempo médio gasto no sistema

Fonte: Adaptado de Andrade (2009)

2.2.5. Modelo de S canais de atendimento com população finita (M/M/S/∞/k/FCFS)

A tabela 5 descreve as equações básicas do modelo de S canais de atendimento 1 fila com população finita. Neste modelo as equações têm uma alta complexidade algébrica e deve-se considerar algumas premissas adicionais, de acordo com Andrade (2009):

- O número de canais de serviço é dado por S.
- Número finito de clientes é dado por k.

Tabela 5 – Equações do modelo (M/M/S/∞/k/FCFS)

$\rho = \frac{\tau}{S\mu}$	Taxa de utilização do sistema
$r = \frac{\tau}{\mu}$	Relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento
$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{S-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^S (k-S+1)}{S!} \right]^{-1} \text{ se } \frac{r}{S} = 1$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema
$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{S-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^S [1 - (\frac{r}{S})^{k-S+1}]}{S! (1 - \frac{r}{S})} \right]^{-1} \text{ se } \frac{r}{S} \neq 1$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema
$P_n = P_0 \frac{r^n}{n!} \text{ se } 1 \leq n \leq S-1$	Probabilidade de n usuários no sistema
$P_n = P_0 \frac{r^n}{S^{n-S} S!} \text{ se } S \leq n \leq k$	Probabilidade de n usuários no sistema
$NS = NF + S + \sum_{n=0}^{S-1} (n-S) \cdot P_n$	Número médio de usuários no sistema
$NF = \frac{P_0 r^S (k-S+1)(k-S)}{S! \cdot 2} \text{ se } \frac{r}{S} = 1$	Número médio de usuários no sistema
$NF = \frac{P_0 r^{S+1} \left[\left(\frac{r}{S} - 1 \right) (k-S+1) \left(\frac{r}{S} \right)^{k-S} + 1 - \left(\frac{r}{S} \right)^{k-S+1} \right]}{S! S \left(1 - \left(\frac{r}{S} \right) \right)^2} \text{ se } \frac{r}{S} \neq 1$	Número médio de usuários na fila
$TS = \frac{NS}{\tau(1 - P_k)}$	Tempo médio esperado no sistema
$TF = \frac{NF}{\tau(1 - P_k)}$	Tempo médio esperado na fila

Fonte: Adaptado de Hillier e Lieberman (2013)

Hillier e Lieberman (2006) trazem em seu trabalho diversos outros tipos de

fila, como os modelos que envolvem distribuições não-exponenciais, modelos de filas de disciplinas de prioridade ou até estudos de redes de filas.

Existe uma alta complexidade algébrica para se tratar analiticamente as medidas de desempenho desses tipos mais complexos de filas ou o conjunto delas. Para resolver estes problemas, utiliza-se a simulação, que trata de uma modelagem computadorizada do comportamento aleatório de um sistema, com objetivo de estimar as medidas de desempenho.

Neste sentido, neste trabalho será utilizada a ferramenta de simulação, que é descrita na sequência.

2.3. SIMULAÇÃO

Simulação é o processo de modelar computacionalmente um sistema real e conduzir experimentos com este modelo, com o propósito de entender seu comportamento e avaliar estratégias para sua utilização (FREITAS, 2008).

Winston (2004) define sistema como um conjunto de entidades que agem e interagem para a realização de algo lógico. Sistemas tendem a ser dinâmicos, ou seja, seus estados tendem a mudar ao longo do tempo. Estados são as condições que as variáveis do sistema podem assumir.

Para Taha (2008) a simulação é o segundo melhor procedimento depois da observação de um sistema real pois permite acompanhar o passo a passo do movimento dos clientes no sistema, medindo o seu desempenho.

A construção de um modelo aproximado da realidade permite a operação do mesmo diversas vezes, analisando então seus resultados com intuito que seja melhor compreendido, manipulado e controlado (MOREIRA, 2013).

Segundo Andrade (2009), as razões para o uso da simulação estão relacionadas com a impossibilidade ou com o elevado custo de observar diretamente certos processos no mundo real. A complexidade do sistema pode resultar em modelos analíticos pouco flexíveis, ou até em modelos inviáveis, impedindo a resolução do problema.

A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os correspondentes recursos do sistema, sem que o sistema sofra qualquer interferência, além de possibilitar o estudo e experimentação de complexas interações internas e permiti verificar como algumas variações no meio ambiente podem interferir no sistema. Serve como teste para se traçar novas regras para operação, antes de experimentá-lo no sistema real. Sendo uma importante ferramenta para tomada de decisão e planejamento de uma empresa (ANDRADE, 2009).

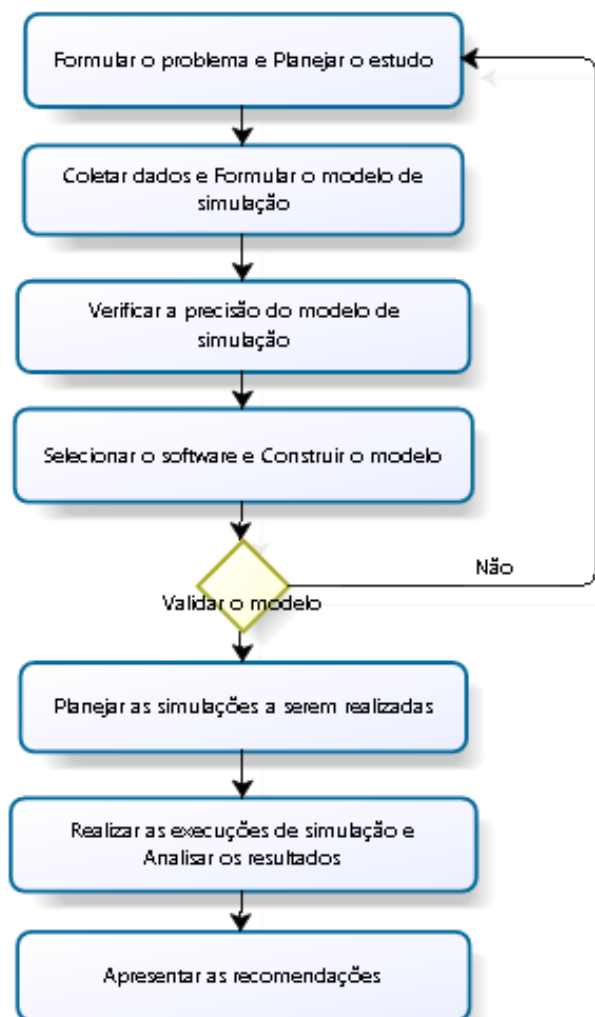
As etapas para um estudo de simulação foram descritas por Hillier e Lieberman (2013) conforme o fluxograma da figura 8 e são discutidas abaixo.

- Formular o problema e planejar o estudo: Nesta etapa deve-se definir o problema de estudo, objetivos do estudo e que medidas de desempenho são de interesse para o sistema;
- Coletar dados e formular o modelo de simulação: Coletar os dados relevantes ao sistema como “tempo de atendimento” e “intervalo entre chegadas”. Formular o problema na forma de “diagrama de fluxos”, onde para cada componente do diagrama são definidas regras de operação;
- Verificar a precisão do modelo de simulação: Submeter todas as informações do diagrama de fluxo e dados coletados para uma previa análise, este procedimento visa evitar suposições errôneas do modelo;
- Selecionar o *software* e construir o modelo: Nesta etapa deve-se considerar um *software* que represente de forma eficiente o sistema. No tópico 2.3.5 são apresentados alguns dos *softwares* de simulação disponíveis;
- Validar o modelo: A próxima etapa fundamental é comparar as medidas de desempenho da simulação com medidas reais, a fim de medir a eficiência da modelagem do sistema;
- Planejar as simulações a serem realizadas: Deve-se tomar decisões sobre quais as configurações que devem ser simuladas e analisadas decisões estatísticas como a duração do “período de aquecimento” até que o sistema se estabilize;
- Realizar as execuções de simulação e analisar os resultados: As saídas obtidas pela execução da simulação agora fornecem estimativas

estatísticas das medidas de desempenho para cada configuração do sistema, as quais devem ser analisadas e processadas afim de encontrar a melhor configuração;

- Apresentar as recomendações: Após completar a análise, sintetizar o processo de simulação, a validação e os resultados para apresentação.

Figura 8 - Fluxograma das etapas da simulação



Fonte: Baseado em Hillier e Lieberman (2013)

Chao (2001) em seu trabalho simulou e avaliou a malha de distribuição de gás de petróleo liquefeito em São Paulo, para tal utilizou o software Promodel e obteve a relação “trade-off” do custo de transporte com outros

custos (como armazenagem e compra de gás importado). Com isso propôs um projeto de melhorias na rede, onde o custo logístico total foi minimizado.

Fernandes (2001) utilizou a simulação em um terminal portuário de carga unitizada, porém em um contexto mais amplo, considerando em sua análise a infraestrutura de berços de atracação e transporte de contêineres (caminhões e stakers). Foi utilizado o *software* Arena, onde foi possível medir o desempenho de possíveis expansões e através de tabelas foi calculada a viabilidade econômica do investimento.

Limoeiro e *et al.* (2003) em seu estudo sobre o escoamento da produção de derivados de petróleo a partir de um terminal marítimo, mais especificamente através da cabotagem, dimensionou as estruturas necessárias para atendimento da demanda futura por meio da simulação.

Leal (2003) propôs um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional. O mapeamento do processo permitiu a identificação e eliminação de atividades que não agregam valor ao sistema, simplificando as operações essenciais. E através da simulação foi possível testar variações do layout operacional e como impactam no indicador de desempenho “tempo de atendimento”, propondo então modificações que buscam minimizar este indicador.

Chirspim (2007) utilizou o *software* de simulação Arena para dimensionar a operação ferrovia-porto do Rio de Janeiro, cujo planejamento era de um aumento considerável na movimentação. Após simulação e análise foi possível concluir que a atual infraestrutura não suportaria o aumento na demanda e o melhor cenário proposto pelo autor, era a construção de terminais intermediários na rede ferroviária.

Brito (2009) modelou e simulou a operação de um terminal multimodal de contêineres na região de Santos, com o intuito de dimensionar as operações do mesmo, visando diminuir o gargalo imposto pelo alto fluxo de caminhões dirigindo-se ao porto. Este terminal retro portuário seria responsável por receber o fluxo de caminhões e enviar a carga por modais mais sustentáveis, como o aquaviário e ferroviário.

Camelo, *et al.* (2010) aplicou estudos de teoria das filas e simulação em um terminal marítimo especializado no carregamento de granel. Primeiramente através da teoria das filas conseguiu medir o desempenho de cada berço de atracação e através da simulação previu um cenário futuro, com a implantação de um novo berço.

A seguir descreve-se como se classifica as características dos sistemas a serem simulados.

2.3.1. Evento Discreto ou Simulação Contínua

Esta classificação refere-se a forma como as variáveis mudam de estado e posição dentro do sistema. Simulação por **eventos discretos** é aquela em que a mudança de estado da variável acontece instantaneamente ao passar por um evento (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Já na **simulação contínua** as mudanças de estado do sistema ocorrem continuamente ao longo do tempo. Este tipo de simulação exige análises mais complexas (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

2.3.2. Modelos Determinísticos ou Estocásticos

Os modelos **determinísticos** dependem apenas do estado inicial e a informação de entrada definidos para resultarem no estado futuro da variável, a simulação determinística produzirá sempre o mesmo resultado exato, independentemente da quantidade de vezes que a simulação será executada. Um modelo de simulação **estocástica**, dependem do acaso para gerar um resultado, pelo menos um dos dados de entrada é uma distribuição de probabilidade (CHAO, 2001).

2.3.3. Modelo Estático ou Dinâmico

Para Winston (2004), a simulação **estática** é a representação de um sistema num ponto particular no tempo. Já a simulação **dinâmica** é uma representação de um sistema que evolui ao longo do tempo.

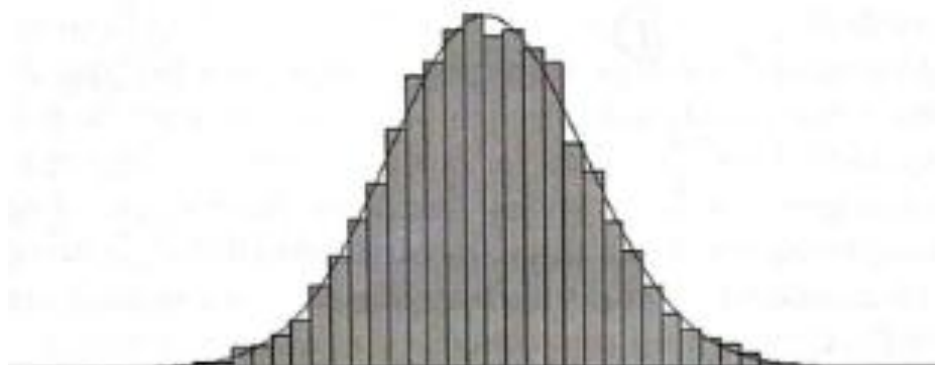
Chao (2001) exemplifica o modelo estático como sendo um modelo que mede somente o lucro no final do ano, enquanto o modelo que ilustra a variação do lucro no decorrer do ano seria um modelo dinâmico.

2.3.4. Distribuições de probabilidade

Neste tópico será detalhado entre todas as distribuições de probabilidade existentes, as utilizadas neste trabalho.

I) NORMAL ($\mu; \theta$)

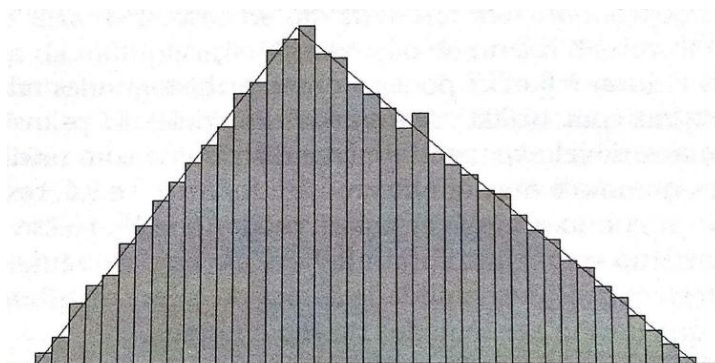
A distribuição normal possui dois parâmetros a média (μ) e desvio padrão (θ) e descreve fenômenos simétricos em torno da média, conforme figura 9. O Teorema Central do Limite estabelece que independentemente da distribuição dos valores individuais, a média de um grande número de valores aleatórios, pode ser aproximado por uma curva normal (FREITAS FILHO, 2008).

Figura 9 – Distribuição Normal com $\mu = 4$ e $\theta = 0,5$ 

Fonte: Freitas Filho (2008, p.177).

II) TRIANGULAR ($a; m; b$)

A distribuição triangular, figura 10, apresenta uma perspectiva de resultados mais aderente a realidade do que a distribuição uniforme, pois, além do limite inferior (a) e do limite superior (b), conta com o seu valor mais provável (m) (FREITAS FILHO, 2008).

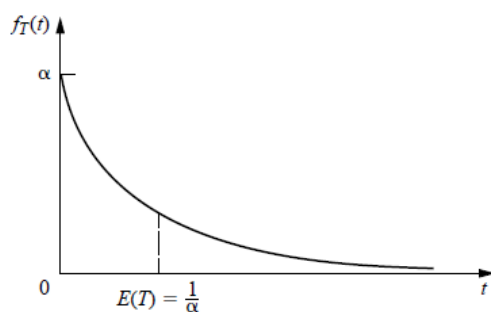
Figura 10 – Distribuição Triangular com $a=1$, $m=3$ e $b=6$ 

Fonte: Freitas Filho (2008, p.179).

III) EXPONENCIAL (β)

Para Hillier e Lieberman (2006) é necessário descrever uma distribuição de probabilidade que modele a teoria das filas como uma representação do sistema real. Logo, a distribuição exponencial fornece previsões suficientemente realistas e suficientemente simples, resultando em um modelo matematicamente tratável.

Figura 11 - Distribuição exponencial



Fonte: Hillier e Lieberman (2006, p. 11)

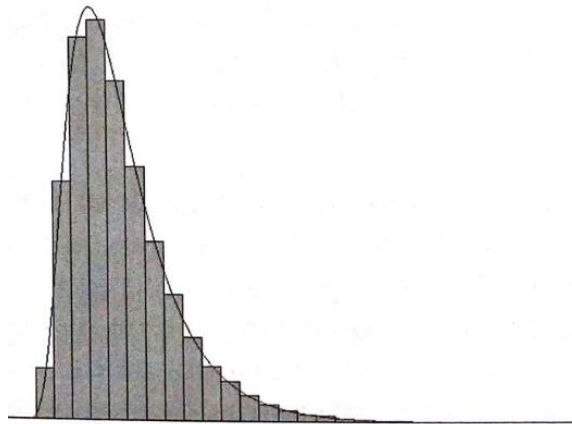
De acordo com Tah a (2008), a figura 11 representa a função de densidade probabilística para a **distribuição exponencial** com o valor esperado $E(T) = \frac{1}{\tau}$ sendo τ a taxa por unidade de tempo pelo qual são gerados eventos (chegadas e partidas).

A distribuição exponencial é completamente aleatória, ou seja, a probabilidade não leva em consideração o tempo que transcorreu desde a ocorrência do último evento, este resultado é denominado ausência de memória (HILLIER E LIEBERMAN, 2006).

IV) LOGNORMAL ($\mu; \theta$)

A distribuição lognormal é utilizada quando a variável sob análise é resultante do produto de um grande número de variáveis aleatórias positivas. Os parâmetros da distribuição é a média (μ) e desvio padrão (θ), conforme figura 12. (FREITAS FILHO, 2008)

Figura 12 – Distribuição Lognormal com $\mu = 1$ e $\theta = 0,5$

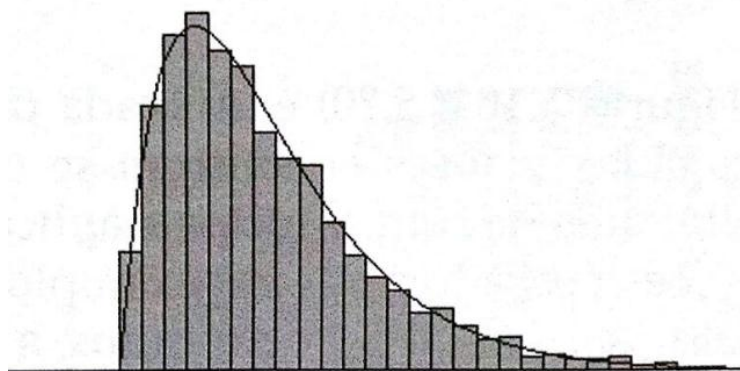


Fonte: Freitas Filho (2008. p.181).

V) ERLANG (β, m)

A distribuição de Erlang é uma extensão da distribuição exponencial. Quando o fenômeno aleatório é observado ao longo de diversas etapas, cada etapa é aproximado a uma distribuição exponencial, desta forma a soma das m distribuições exponenciais com média β é uma distribuição de Erlang com parâmetros (β, m) , conforme figura 13 (FREITAS FILHO, 2008).

Figura 13 – Distribuição Erlang com $\beta = 1$ e $m = 2$

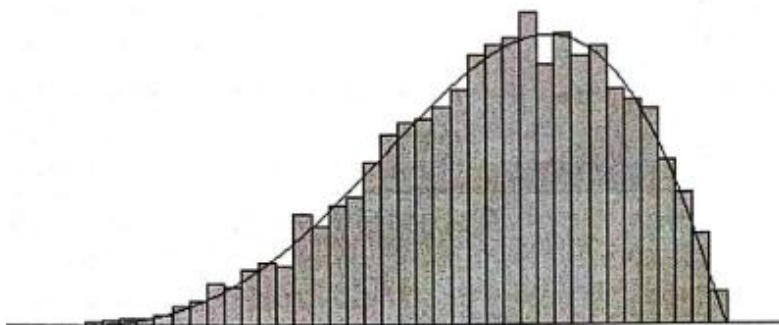


Legenda: Freitas Filho (2008. p.183).

VI) BETA (a, b)

Esta distribuição é utilizada para caracterizar variáveis aleatórias cujos valores encontrem-se entre $[0,1]$, pode assumir diversas formas, de acordo com os seus dois parâmetros de forma (a) e escala (b), a figura 14 representa esta distribuição. (FREITAS FILHO, 2008)

Figura 14 – Distribuição Beta com $a=4$ e $b=2$



Fonte: Freitas Filho (2008, p.184).

2.3.5. Softwares de Simulação

Para Castro Neto (2006) existem dois tipos de softwares as linguagens de simulação e os simuladores. As linguagens de simulação dependem de uma linguagem computacional para programá-las e podem simular qualquer tipo de operação de manufatura, porém demandam de programadores e de um grande período de tempo para conclusão. Enquanto os simuladores possuem elementos gráficos que facilitam a sua implementação, demandam menor tempo e conhecimento de programação, no entanto, são limitados para representação de alguns sistemas específicos.

Na tabela 6 apresentam-se alguns exemplos de simuladores de eventos discretos e a respectiva empresa fabricante do software. Tais *softwares* permitem a modelagem de problemas através da conexão de objetos que constam no menu do programa e o desenvolvimento de animações em 2D e 3D, facilitando a visualização e interpretação lógica do sistema, além de apresentarem um bom desempenho computacional.

Tabela 6 – *Softwares* de Simulação

<i>Software</i>	<i>Empresa</i>
AnyLogic	AnyLogic Company
Arena	Rockwell Automation
FlexSim	FlexSim Software Products
ProModel	ProModel® Corporation

Fonte: O Autor (2016)

3. CENÁRIO DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentados os cenários considerados na simulação, as limitações da pesquisa e especificado quais os cenários a serem analisados no trabalho.

3.1. ESTUDO DE CASO

No estudo de caso, proposto neste trabalho, é realizado em um terminal especializado na movimentação de contêineres e armazenagem de carga, localizado na retro área do porto de Itapoá/SC, mais especificamente no processo de movimentação de contêineres vazios, denominado terminal *Depot*.

No *Depot* os contêineres devem ser reparados e armazenados, de forma que estejam aptos para movimentação quando solicitado pelo exportador. Portanto, quando o contêiner chega ao terminal ele deve ser vistoriado e segregado para oficina caso esteja avariado ou para uma pilha de contêineres disponíveis.

Para recebimento/liberação de contêineres o terminal conta com alguns canais de atendimento, que são ilustrados na figura 15:

- *Triagem*: onde os motoristas são previamente recepcionados e direcionados para operação;
- *Vistoria*: inspeciona todos os contêineres que entram no terminal e determina se estão aptos para a movimentação ou devem passar por reparos;
- *Stacker*: empilhadeira responsável pela movimentação de contêineres, tanto no atendimento dos caminhões, como na movimentação interna do terminal;
- *Gate*: portão de acesso, onde é controlado a saída de caminhões;
- *Técnicos Reefer*: verificação de maquinário dos contêineres refrigerados (*reefer*);
- *Oficina*: onde os contêineres avariados são posicionados para reparo.

Figura 15 – Canais de atendimento



Triagem



Vistoria



Stacker



Gate



Técnico Reefer

Fonte: O Autor (2016)

Cada canal de atendimento descrito acima pode resultar em um gargalo operacional, quando mal dimensionado o número de atendentes (recursos do canal). Neste trabalho estes canais serão simulados em sequencias para dados reais, afim de dimensionar o número de recursos.

O *Depot* opera no período de 24 horas, porém, apenas 10 horas diárias são destinadas para atendimento de devolução de importação e liberação para exportação, ficando disponível o restante do tempo para movimentações internas, como posicionamento para reparo e, atendimento de descarga/embarque de contêiner vazio. Durante as 10 horas de operação a quantidade de recursos em cada canal de atendimento varia, conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição de recursos

	7:00 – 8:00	8:00 – 9:00	9:00 – 10:00	10:00 – 11:00	11:00 – 12:00	12:00 – 13:00	13:00 – 14:00	14:00 – 15:00	15:00 – 16:00	16:00 – 17:00
Triagem	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vistoria	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2
Téc. Reefer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gate	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oficina	10	10	10	10	6	3	4	7	10	10
Stacker	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2

Fonte: O Autor (2016)

Os recursos nos canais de atendimento triagem, vistoria, técnico reefer, gate e oficina consiste na quantidade representados pela quantidade de pessoas que trabalham neste canal. Enquanto o recurso “stacker” representa a quantidade e empilhadeiras disponíveis para operação.

O terminal atende uma demanda de nove tipos de contêineres de diferentes armadores, que para fins de simplificação do modelo foram

compactadas em quatro grupos de acordo com seu tamanho (20 ou 40 pés) e seu tipo de carga (carga geral ou refrigerado) conforme a tabela 8.

Tabela 8 –Tipos de contêineres

20DRY	20DC
	20OT
	20PL
20RH	20RH
40DRY	40DC
	40FR
	40HC
	40OT
40RH	40RH

Fonte: O Autor (2016)

Este trabalho trata dos processos de um subsistema da empresa, os processos relacionados aos contêineres vazios. No entanto, o terminal oferece outros serviços logísticos do terminal regulador de contêiner, que não foram analisados neste trabalho.

A simulação dos processos do *Depot*, neste trabalho, irá considerar o período das 7:00 às 17:00 horas (totalizando 10 horas de operação). Assim não serão abordados o impacto de movimentações internas do terminal (posicionamento de contêineres em oficina, ou para reparo de maquinário reefer), que são realizadas em outro período de operação, considerando-se os três cenários.

O primeiro cenário simulado trata do atual, cenário base, sem nenhuma modificação, permitindo a comparação dos indicadores obtidos através da simulação com a situação real, atualmente empregado pela empresa.

No segundo cenário são propostas melhorias, de modo a maximizar a eficiência operacional do terminal, garantindo a maximização da utilização dos recursos e minimização do tempo de atendimento.

O terceiro cenário aborda um dimensionamento operacional para as futuras ampliações do terminal, onde as operações do *Depot* serão divididas em dois terrenos.

4. ESTUDO DE CASO

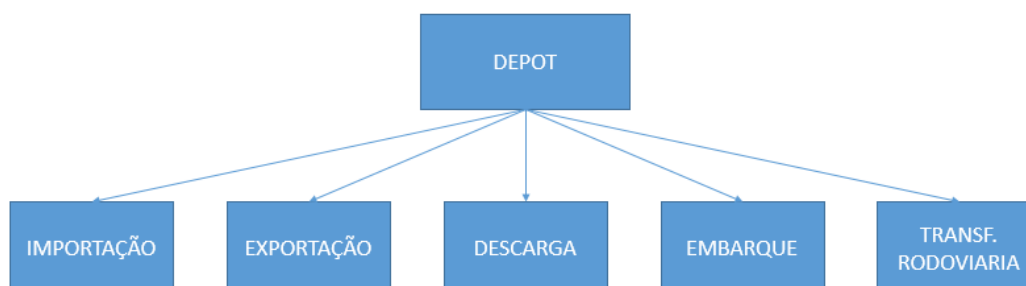
Neste capítulo são detalhados o mapeamento dos processos do *Depot*, a coleta e tratamento dos dados necessários à simulação e à construção do modelo de simulação para os três cenários considerados neste trabalho.

4.1. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS

O *Depot* conta com cinco processos para liberação e recebimento de contêiner, conforme a figura 16.

- A importação é o processo de devolução do contêiner no terminal *Depot* pelo importador após desova.
- A exportação é a coleta de contêiner vazio no terminal para posterior estufagem e transporte.
- A descarga é o processo onde do navio traz o contêiner vazio e designa para o terminal.
- No embarque o contêiner sai do terminal para o porto vazio, com o objetivo de ser transferido entre terminais via transporte marítimo.
- Na transferência rodoviária o contêiner vazio é movido entre terminais, via rodovia.

Figura 16 – Processos *Depot*



Fonte: O Autor (2016)

Para simplificação estes processos serão agrupados, por conterem a mesma sequência de atividades no terminal. A seguir será apresentado o mapeamento dos processos primários, aqueles que têm contato direto com o cliente, para cada um dos casos.

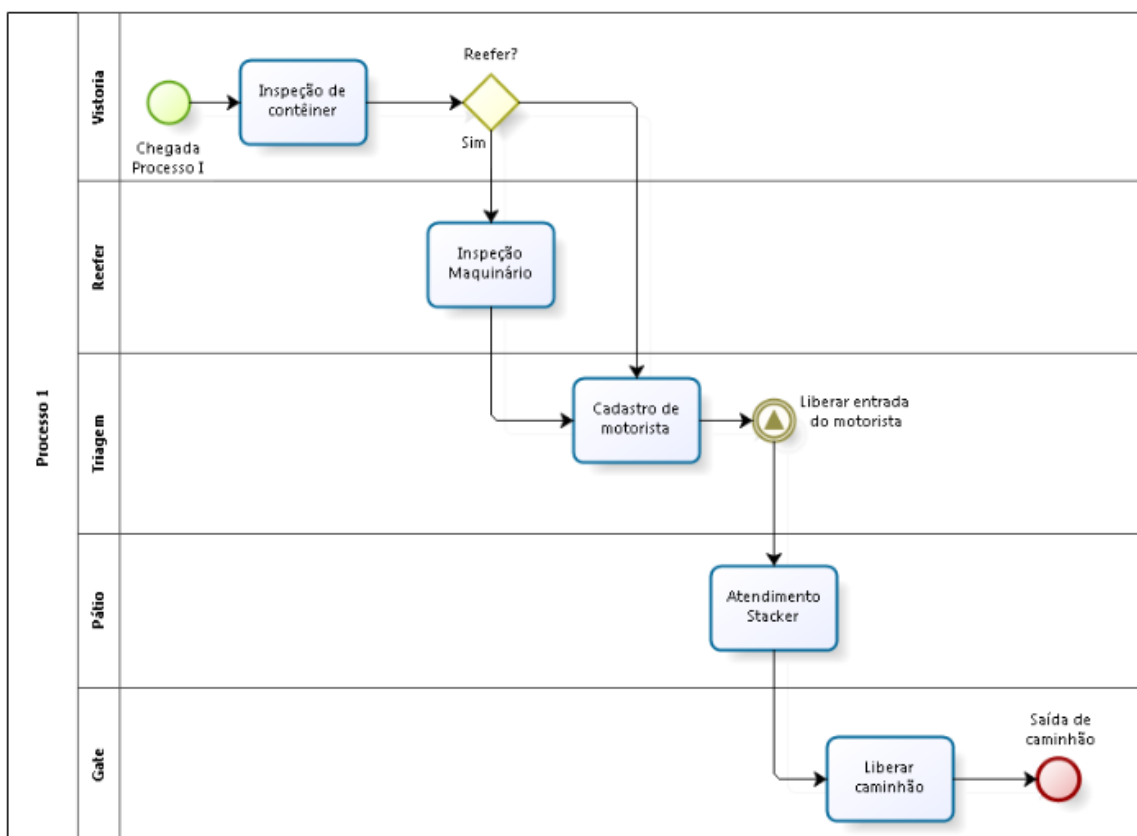
- Processo I: Devolução de importação e transferência rodoviária para o *Depot*.
- Processo II: Descarga.
- Processo III: Liberação de exportação, embarque e transferência rodoviária para outros terminais de vazio.

O mapeamento dos processos foi construído para o estudo através de observação dos processos, acompanhamento das tarefas/atividades e entrevistas com pessoas responsáveis pelas atividades. Após mapeadas as tarefas foram representadas com o *software Bizagi@* versão 3.0.0.022, que é uma ferramenta de diagramação de fluxo, que utiliza a linguagem BPMN.

4.1.1. Processo I

Este processo está mapeado conforme figura 17, onde o caminhão chega ao terminal com o contêiner e fica aguardando ser atendido por uma equipe de vistoria, responsável por inspecionar a unidade. Se o contêiner for *reefer*, então este irá passar também pelo processo de inspeção do maquinário do contêiner. Após inspeção, o motorista se desloca até a triagem, onde é cadastrado no sistema e aguarda liberação de entrada, esta liberação depende da ocupação do pátio interno. Em seguida, o caminhão se desloca até o pátio, onde aguarda atendimento por *stacker* e então entra na fila de liberação do *gate*.

Figura 17 – Mapeamento do processo 1



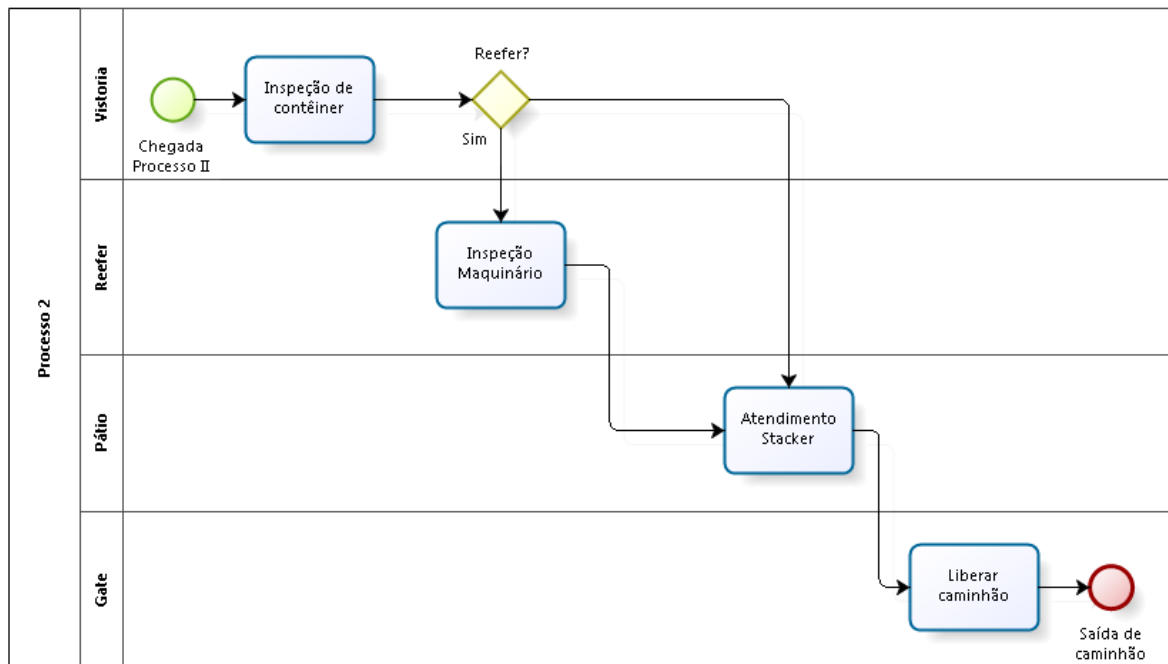
Fonte: O Autor (2016)

4.1.2. Processo II

Neste processo o caminhão é atendido com prioridade, conforme mapeamento da figura 18. Uma equipe de vistoria fica disponível apenas para este processo. O caminhão chega ao terminal com o contêiner e permanece aguardando em sistema de fila única onde é atendido pelo setor de vistoria, responsável por inspecionar a unidade.

Caso se tratar de um contêiner *reefer*, uma equipe responsável por inspecionar o maquinário do contêiner, também permanece disponível para atendimento. Em seguida o caminhão se desloca até o pátio interno do terminal, onde aguarda atendimento por *stacker* e então entra na fila de liberação do *gate*. Este processo representa uma operação específica, a de descarga, a qual o terminal pode acordar previamente a quantidade e o horário de recebimento com o armador.

Figura 18 – Mapeamento do processo 2

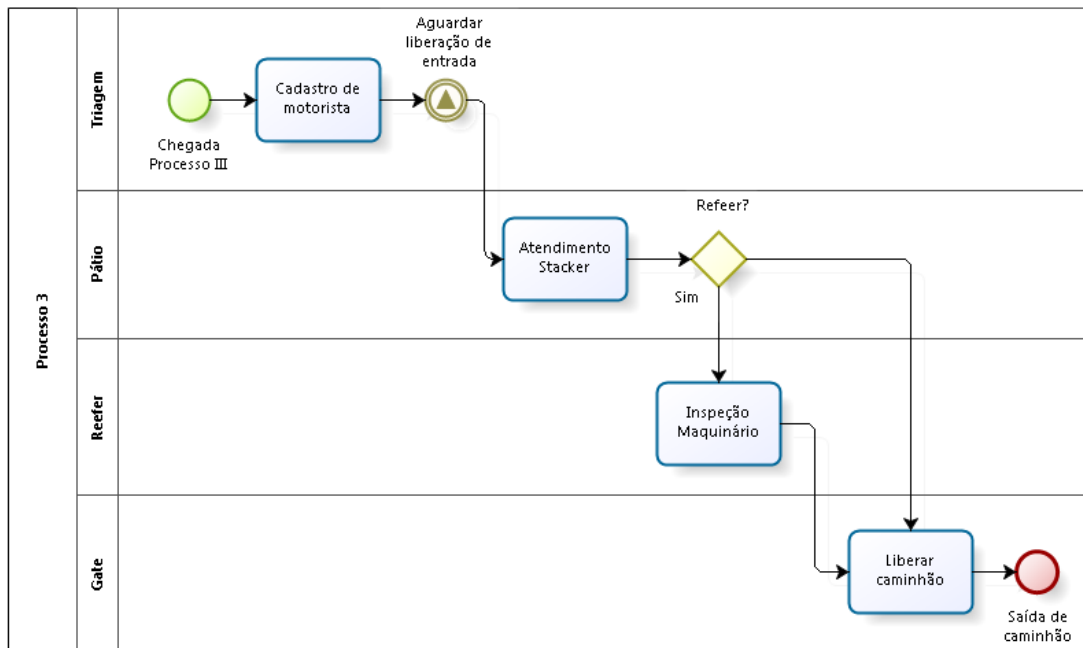


Fonte: O Autor (2016)

4.1.3. Processo III

Este processo é o de liberação de exportação de contêiner. Conforme mapeamento da figura 19, o caminhão chega vazio no terminal e o motorista se desloca até a triagem, onde é cadastrado e aguarda liberação. A liberação depende da ocupação do pátio interno do terminal. Em seguida o caminhão entra no pátio interno onde aguarda disponibilidade da *stacker* para atendimento. Se a unidade for *reefer* é necessário um teste de maquinário, após se desloca até o *gate*, onde aguarda atendimento, para então sair do terminal.

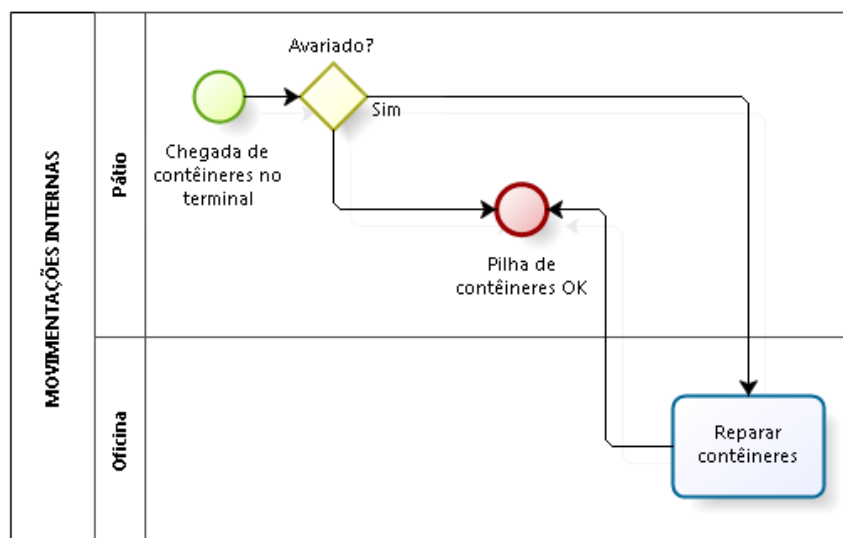
Figura 19 – Mapeamento do processo 3



Fonte: O Autor (2016)

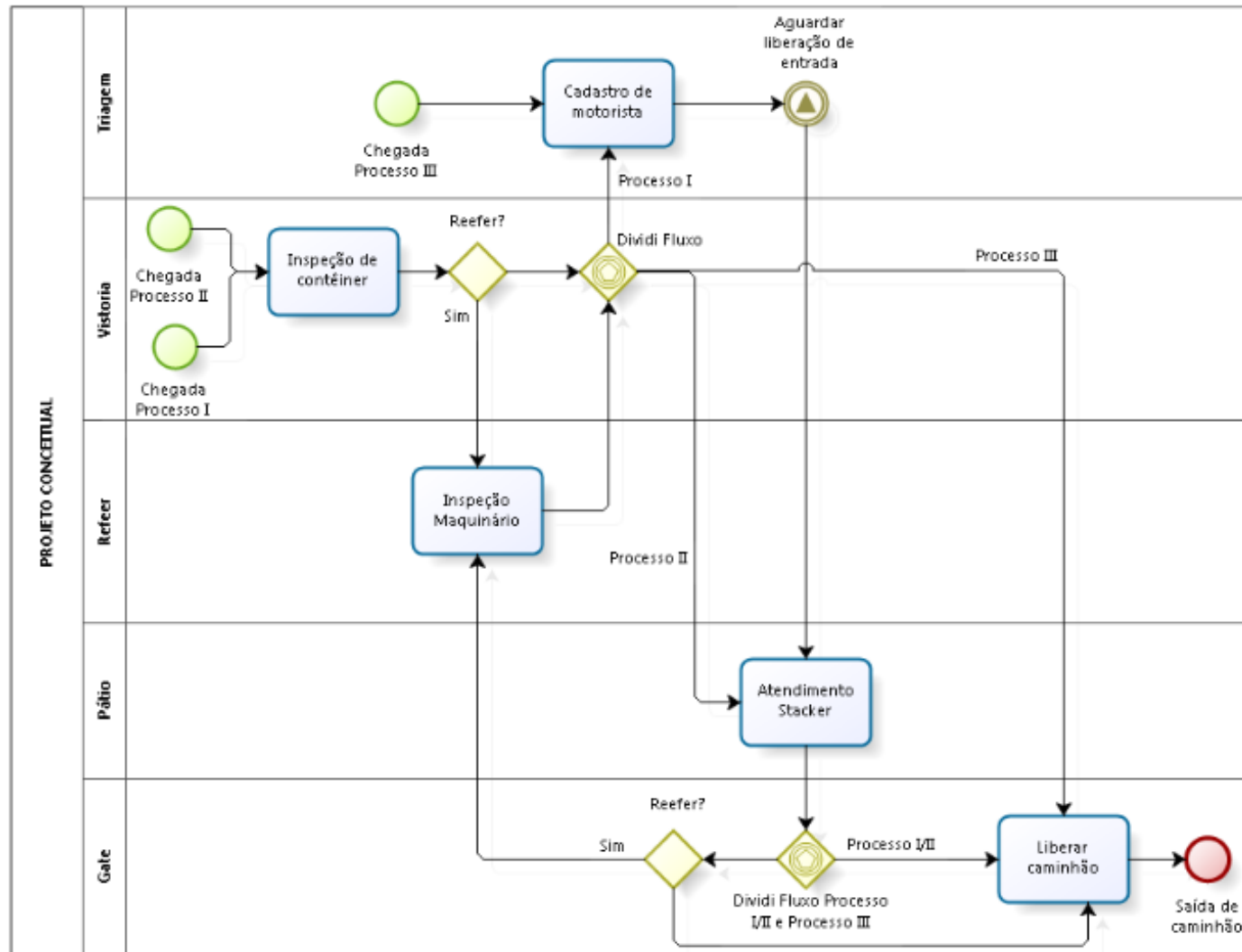
Unindo os 3 processos, conforme a figura 21, temos o projeto conceitual do modelo para simulação. Para tanto acrescenta-se, o processo de reparo dos contêineres que impacta diretamente na disponibilidade de contêineres e consequentemente no tempo de atendimento do processo III, conforme mapeado na figura 20.

Figura 20 – Movimentação interna



Fonte: O Autor (2016)

Figura 21 – Construção do Projeto Conceitual

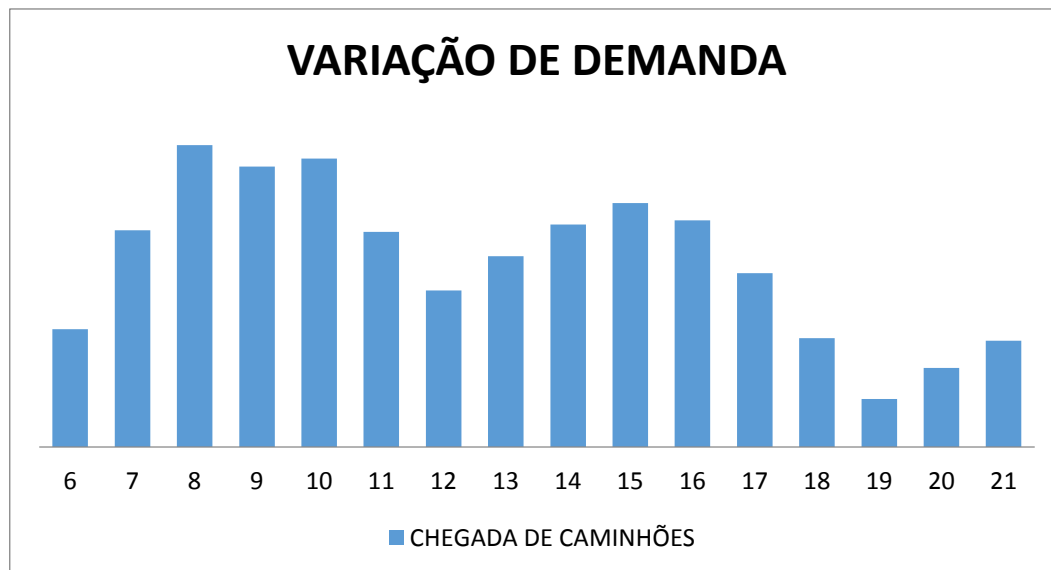


Fonte: O Autor (2016)

4.2. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Levantou-se a distribuição de demanda do terminal utilizando o histórico de um mês para elaboração do gráfico 1, que indica a quantidade de caminhões que chegam ao terminal entre as 6:00 e 21:00 horas.

Gráfico 1 – Variação de Demanda



Fonte: O Autor (2016)

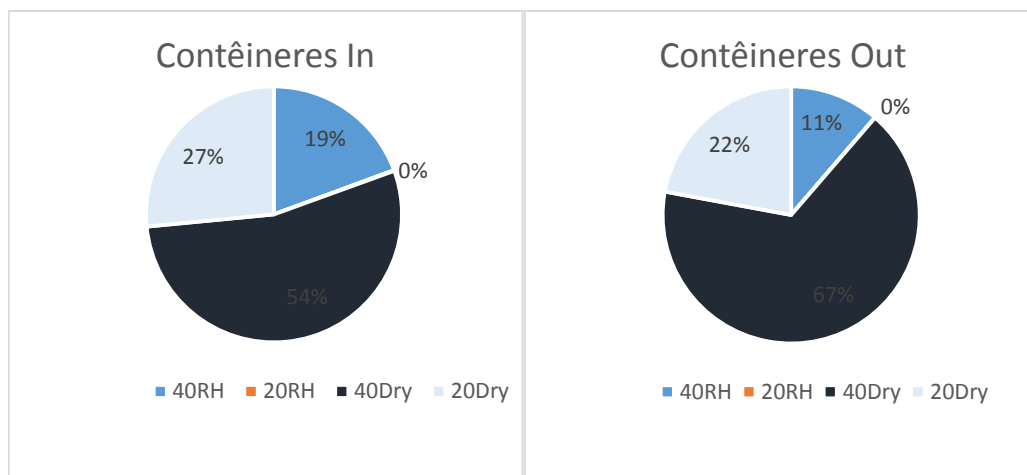
O período escolhido para simulação do terminal foi entre as 7:00h e 17:00h, onde observa-se uma demanda mais uniforme, além de ser o período de maior movimento do terminal, conseqüentemente onde seus recursos são mais utilizados.

Os dados necessários para o desenvolvimento do modelo no *software* Arena@ foram coletados a partir de arquivos históricos e proveniente de observações do sistema em estudo (coleta manual), entre às 7:00 e 17:00 (período de simulação). Afim de manter sigilo quanto às informações da empresa, todos os dados apresentados neste trabalho foram multiplicados por um fator de ajuste.

Os arquivos históricos obtidos para análise tratam dos registros de quatro meses de operação do terminal. Enquanto as coletas manuais foram feitas durante 90 horas, distribuídas em 3 meses.

Através dos arquivos históricos foi possível definir a porcentagem dos contêineres que entraram ou saíram do terminal (*In/ Out*), conforme gráfico 2. A movimentação do contêiner do tipo 20RH foi de 0%, portanto esse equipamento foi desconsiderado das análises e simulação deste trabalho.

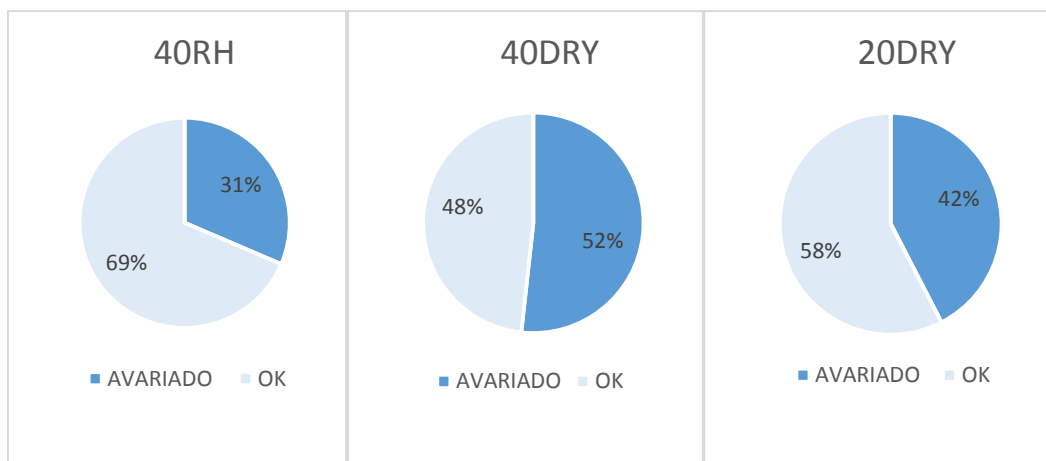
Gráfico 2 – Porcentagem contêineres por tipo de equipamento



Fonte: O Autor (2016)

O gráfico 3 define a porcentagem de contêineres avariados que entraram no terminal por equipamento. Estes dados são necessários para definir a quantidade de contêineres que devem ser reparados pela oficina, sendo que cada tipo de equipamento possui tempo de processamento nesse setor distintos.

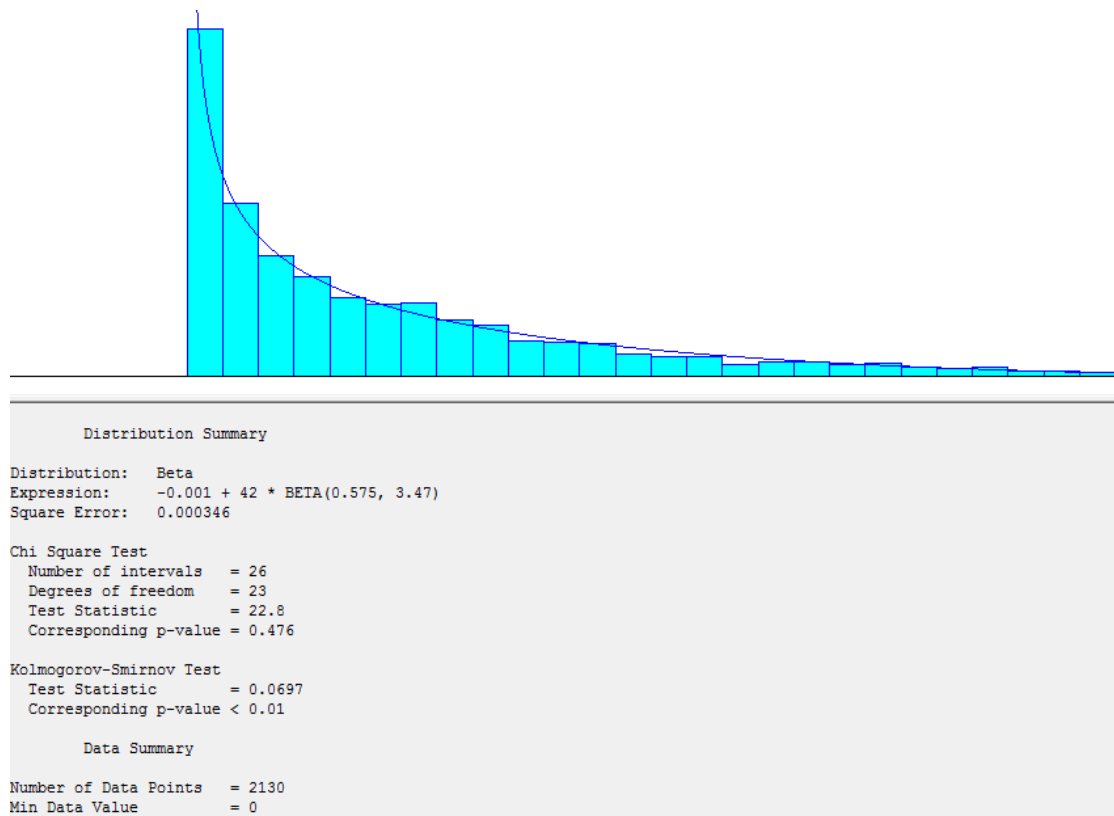
Gráfico 3 – Porcentagem de contêineres avariados



Fonte: O Autor (2016)

Os dados obtidos foram tratados e representados em minutos, e então através da ferramenta do software Arena®, *Input Analyzer*, foram ajustados á alguma distribuição de probabilidade que melhor a represente, conforme figura

Figura 22 – Input Analyzer



Fonte: O Autor (2016)

22.

De acordo com Freitas Filho (2008), o “Square Error” é o primeiro indicador da qualidade do ajuste da curva à uma distribuição de probabilidade. Representa o quadrado da diferença entre as frequências relativas observadas f_i e as frequências relativas esperadas $f(x_i)$, dado pela equação abaixo. Quanto menor este valor, melhor é o ajuste.

$$Square\ Error = \sum_{i=1}^k (f_i - f(x_i))^2$$

Ainda segundo Freitas Filho (2008), um segundo parâmetro de aderência deve ser observado: o teste “Qui-quadrado (X^2)”, onde X^2

representa a diferença entre a frequência esperada na distribuição teórica e a frequência observada na amostra, ou seja, quanto menor o valor de X^2 , maior aderência da distribuição teórica. Para aceitar o erro, o valor de X^2 deve ser menor que os valores críticos X^2 da distribuição, tabelados para 5% de erro e ν graus de liberdade.

A ferramenta *Input Analyzer* lista o indicador de aderência da curva “*Square Error*” para todas as distribuições teóricas. Para cada conjunto de dados coletados, foi adotado para este trabalho a distribuição que apresenta o menor “*square error*” e em seguida analisado o teste de hipótese Qui-quadrado (X^2).

Na Tabela 10 resume-se o conjunto de dados necessários para simulação de acordo com o projeto conceitual (figura 20) e o mapeamento dos processos internos (figura 19), a forma como foi coletado, número de dados coletados, a distribuição e expressão que melhor o representam, o indicador de aderência da curva “*Square Error*”, o erro Qui-quadrado (X^2) e o valor crítico de (X^2).

Os tempos de deslocamento na saída de cada atividade foram aproximados à distância média percorrida pelo veículo/motorista para realização da atividade e multiplicados por 10km/h para deslocamentos feitos com veículos e por 6km/h para deslocamentos feitos pelo motorista (velocidade média de caminhada), assim os tempos de deslocamento são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 –Tempos de deslocamento

Triagem	1.5 minutos
Gate	0.5 minutos
Vistoria	1 minuto
Vistoria Reefer	1 minuto

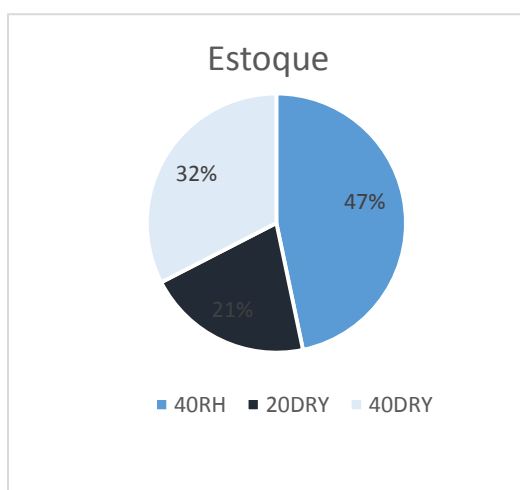
Fonte: O Autor (2016)

Os “*stackers*” são transportadores livres, que se deslocam entre as pilhas de contêineres no terminal, ou seja, não há uma distância bem definida

entre as estações de transporte. Para cálculo de distribuição de atendimento, foi considerado que um atendimento inclui o tempo de carregamento/descarregamento e de deslocamento. A velocidade dos transportadores foi regulamentada a 10km/h, velocidade máxima permitida pelo terminal.

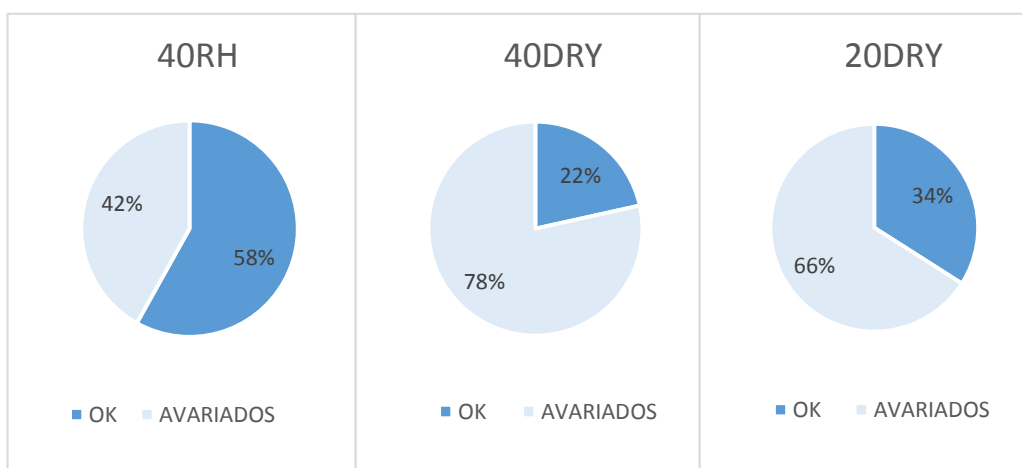
Para caracterizar o estoque do terminal, foi necessário um levantamento da quantidade de cada tipo de contêineres e a porcentagem de contêineres que avariados, conforme segue no gráfico 4 e gráfico 5.

Gráfico 5 – Estoque



Fonte: O Autor (2016)

Gráfico 4 – Porcentagem de contêineres avariados no estoque



Fonte: O Autor (2016)

As distribuições de chegadas resultaram em distribuições com erros aceitáveis, o que valida o estudo. Porém, para “*input*” do *software* arena, optou-se em utilizar a média aproximada das chegadas por hora de operação, conforme os dados do gráfico 1.

Tabela 10 – Distribuições de probabilidade

Dado	Coleta	Número de dados	Distribuição	Expressão	Square Error	X_2	ν	$X^2 (\alpha = 5\%)$
Taxa Chegada Processo I	Arquivos históricos	2130	Beta	$-0.001 + 42 * \text{BETA}(0.575, 3.47)$	0.000346	22,80	23	35,17
Taxa Chegada Processo II	Arquivos históricos	452	Beta	$-0.5 + 16 * \text{BETA}(0.91, 1.92)$	0.002367	18	11	19,68
Taxa Chegada Processo III	Arquivos históricos	6120	Lognormal	$-0.5 + \text{LOGN}(4.03, 5.36)$	0.026631	34,43	23	35,17
Atendimento Triagem	Coleta Manual	70	Erlang	$\text{ERLA}(0.864, 2)$	0.006318	2,72	1	3,84
Atendimento Reefer	Coleta Manual	44	Triangular	$\text{TRIA}(0.9, 1.54, 1.85)$	0.004367	0,752	2	5,99
Atendimento Vistoria	Coleta Manual	60	Beta	$4 + 4.8 * \text{BETA}(1.19, 1.63)$	0.005588	2,06	3	7,81
Atendimento Stacker	Coleta Manual	180	Normal	$\text{WEIB}(5.23, 2.75)$	0.005596	5.54	4	9,49
Atendimento Gate	Coleta Manual	65	Triangular	$\text{TRIA}(0.61, 0.964, 1.86)$	0.023637	7,35	3	7,81
Oficina (40RH)	Arquivos históricos	1457	Exponencial	$-0.001 + \text{EXPO}(140)$	0.028941	19,54	12	21,03
Oficina (40Dry)	Arquivos históricos	1459	Exponencial	$-0.001 + \text{EXPO}(144)$	0.004802	7,81	4	9,49
Oficina (20Dry)	Arquivos históricos	481	Exponencial	$-0.001 + \text{EXPO}(111)$	0.022497	11,56	7	14,07

Fonte: O Autor (2016)

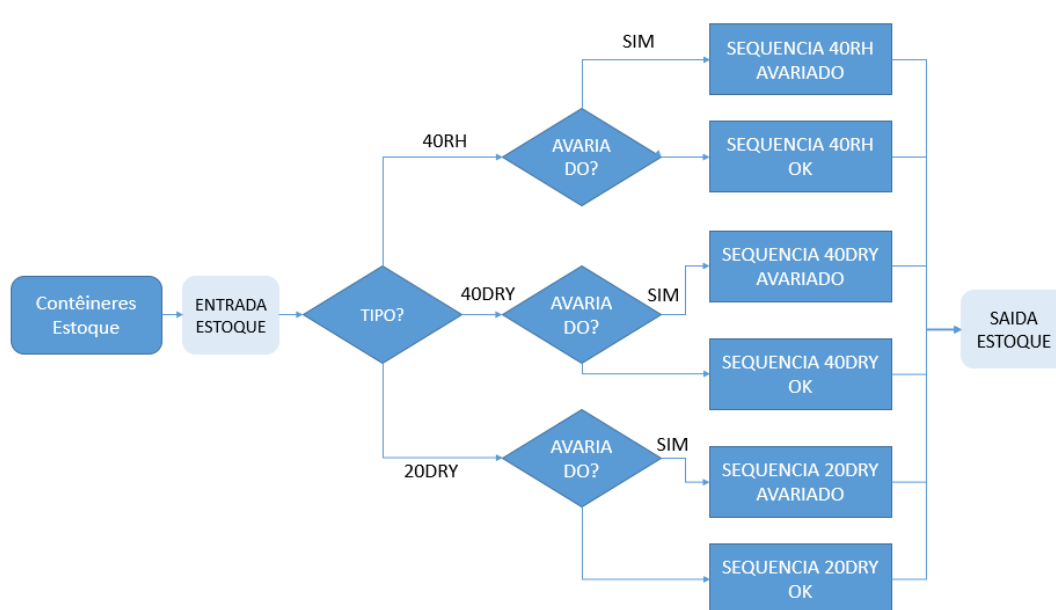
4.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo final desenvolvido no *software* Arena pode ser visualizado no ANEXO A – Figura 41, a construção deste modelo foi dividida em três etapas: estoque, chegadas e canais de atendimento as quais serão detalhados a seguir.

4.3.1. Estoque

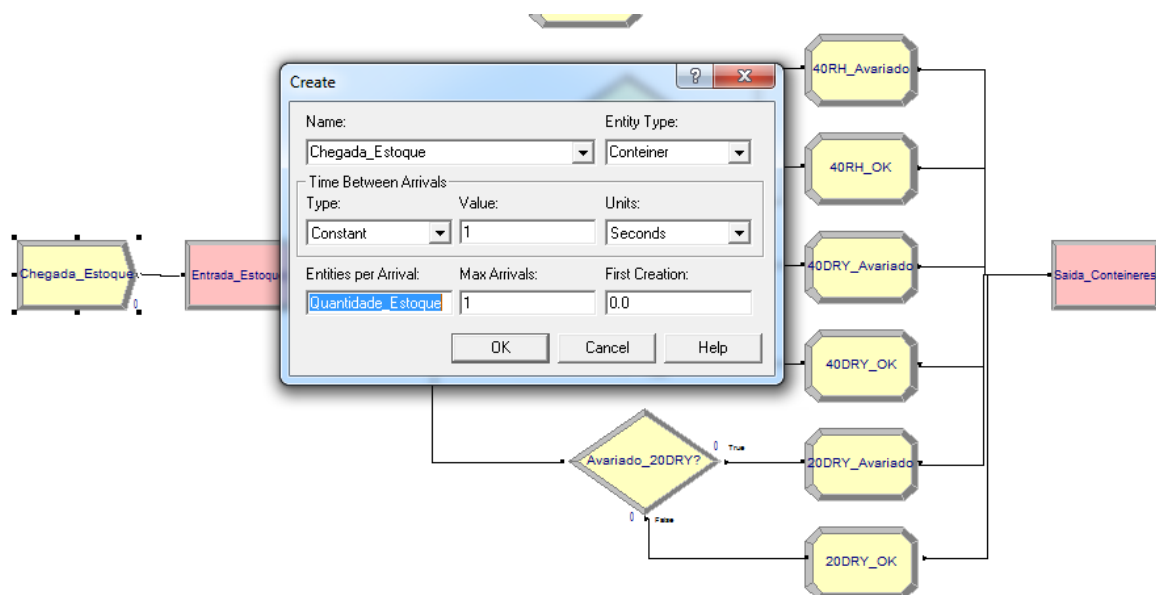
A lógica de chegada do estoque foi programada conforme a figura 23, em que entidades “contêineres” entram na estação, chamada de “Entrada_Estoque”. Em seguida passam por um bloco “decide”, onde através das porcentagens definidas no gráfico 4, são “transformadas” em algum tipo de contêiner. Após esta definição, ela passa-se por um novo bloco “decide”, onde é verificado se o equipamento está ou não avariado, conforme o gráfico 5. O módulo *assign* foi adicionado para atribuir as especificações da entidade, tais como tipo de contêiner que ela representa, distribuição de tempo de oficina e a sequência de estações que a entidade deverá percorrer. Em seguida as entidades são liberadas pelo bloco “leave”, para percorrerem a sequência de estações definidas para as mesmas.

Figura 23 – Lógica de Chegada Estoque no terminal



O bloco “Create” figura 24, do estoque tem algumas particularidades, como a criação de um número pré-definido de entidades “Quantidade_Estoque”, apenas uma vez, no instante zero de simulação, dado que as entidades representam o estoque estático do terminal.

Figura 24 – Chegada Estoque



Fonte: O Autor (2016)

No módulo *decide* figura 25, definiu-se as probabilidades de uma entidade “contêiner” representar algum tipo de equipamento, ou de ele estar “avariado”. Pois a sequência de processos que o contêiner deverá passar no terminal depende de seu estado.

Figura 25 – Módulo Decide

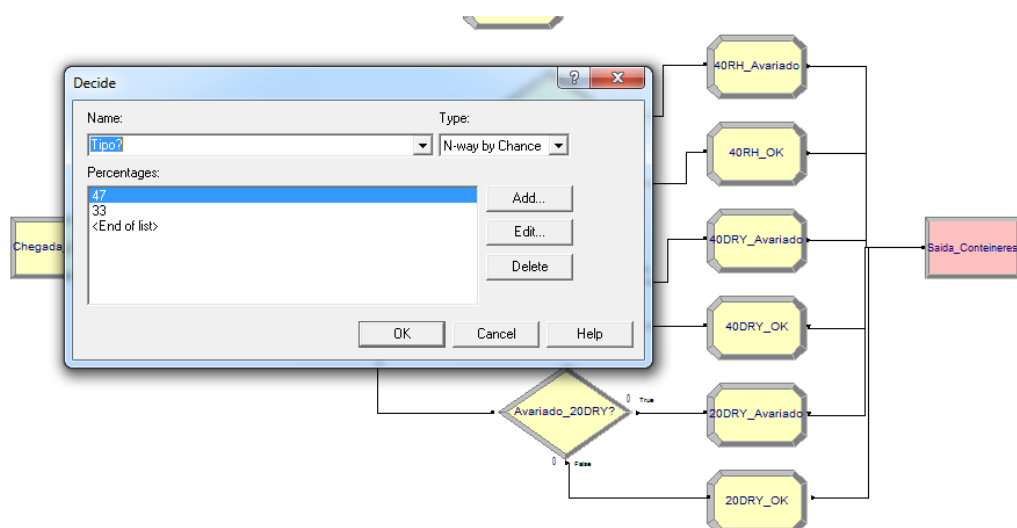
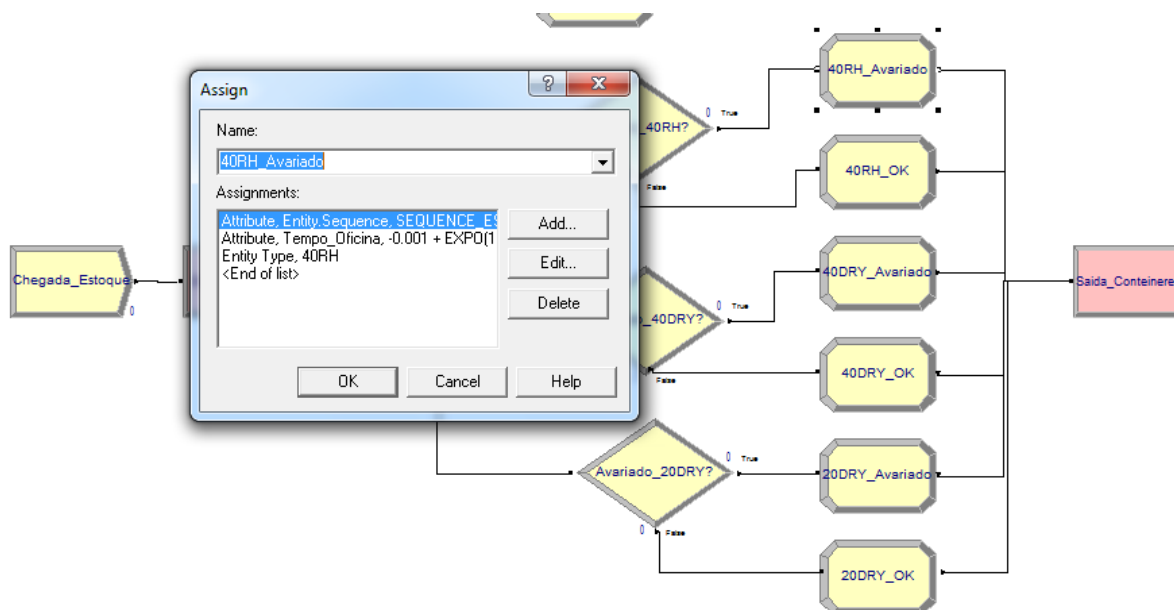


Figura 26 – Assign

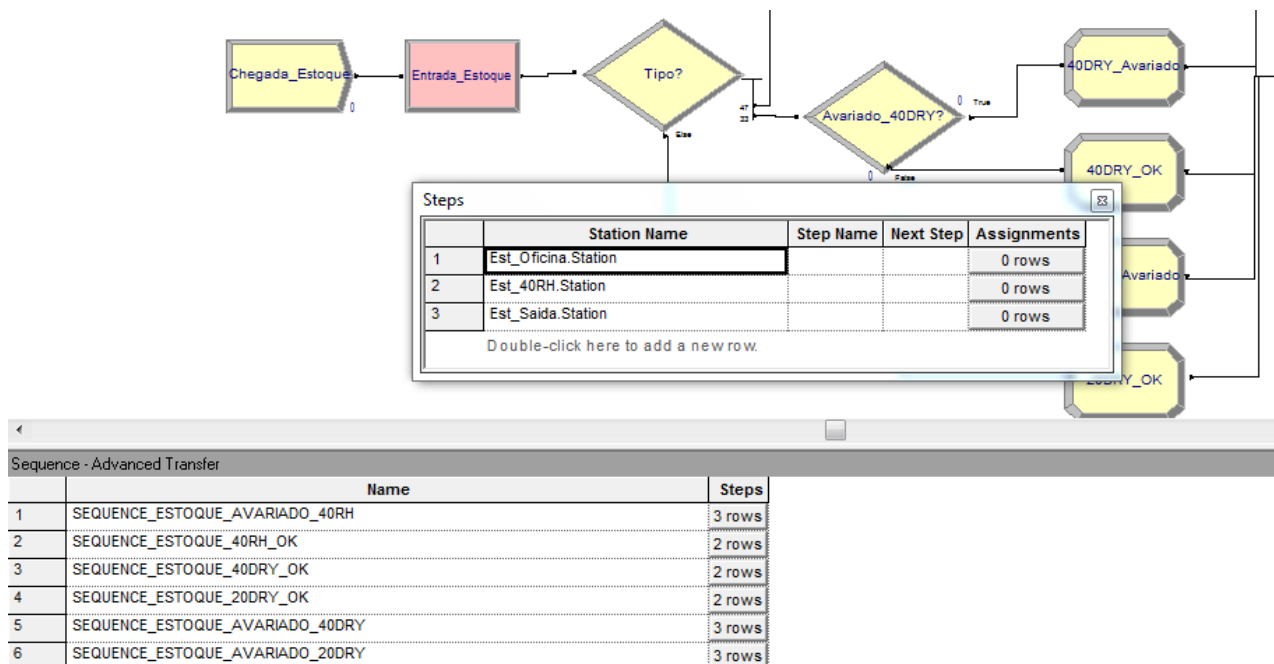


Fonte: O Autor (2016)

No bloco *assign*, figura 26, adicionou-se as especificações para o contêiner, novo nome (que represente o tipo de equipamento 40RH, 40Dry ou 20Dry), a distribuição que representa o tempo de oficina o contêiner que ela representa e a sequência de estações que a entidade deverá percorrer.

A sequência de canais de atendimento que a entidade irá percorrer é definida no módulo de dados “Sequence”, como por exemplo, na figura 27, em que a “Sequence_Estoque_Avariado_40RH”, deve seguir para a estação oficina, e após atendida, seguir para estação 40RH.

Figura 27 – Sequence



Fonte: O Autor (2016)

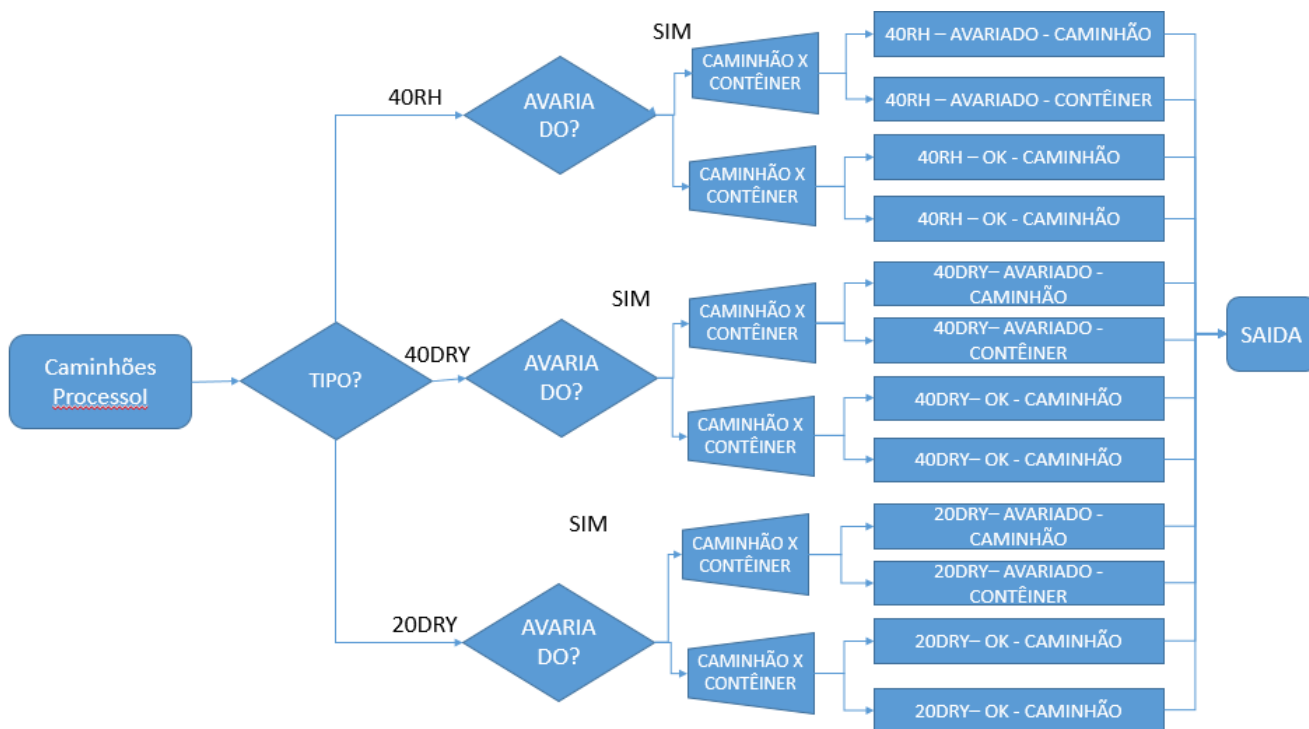
4.3.2. Chegadas

A lógica de chegada do processo I pode ser observada na figura 28. Entidades chamadas “caminhão_1” chegam através do bloco “create” e em seguida são direcionadas para um bloco “decide” que define o tipo de contêiner que a entidade representa, conforme o gráfico 2. O segundo bloco “decide”, representa as porcentagens de contêineres avariados/ok por tipo de equipamento, dados do gráfico 3.

Em seguida a entidade passa por um bloco “separate”, onde a entidade é duplicada, uma representando o caminhão que está acessando o terminal e a outra indica o contêiner que deverá entrar no estoque do terminal. O bloco “assign” atribui as especificações para cada entidade, como nome e sequência de estações que deverão ser visitadas pela entidade. No caso da entidade contêiner, é especificado também o tempo de processamento na estação oficina.

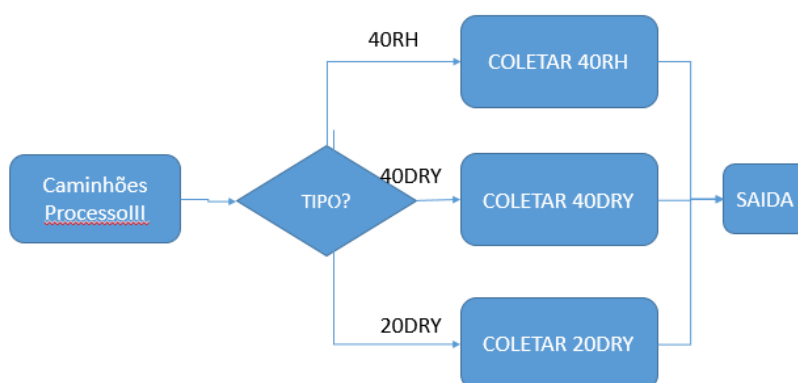
A lógica de chegada do processo II, é semelhante, no entanto o bloco de dados “*sequence*” é definido uma sequência distinta para as chegadas deste processo.

Figura 28 – Chegada Processo I



Fonte: O Autor (2016)

Figura 29 – Chegada Processo III

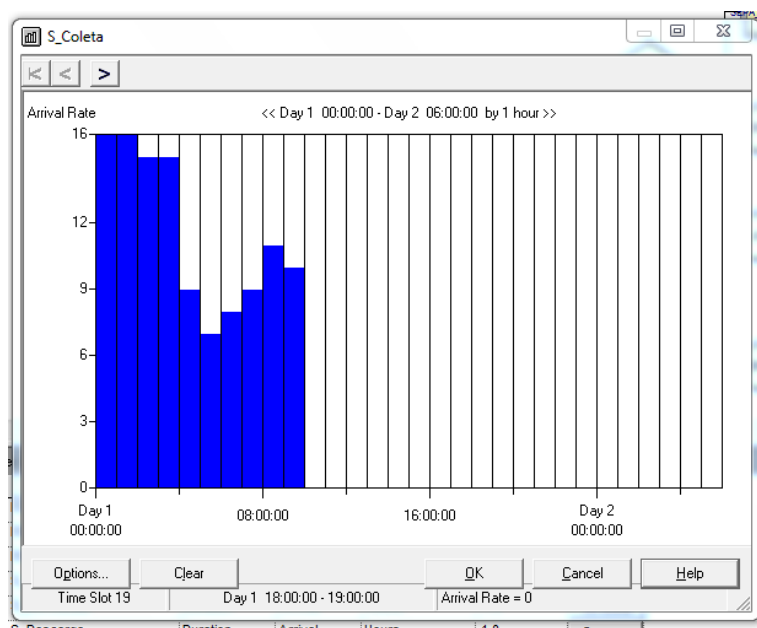


Fonte: O Autor (2016)

As chegadas do processo III, seguem conforme a figura 29. Onde entidades chamadas de “caminhão_3”, passam por um bloco “decide” que define qual o tipo de contêiner que deverá ser coletado.

As taxas de chegada foram definidas no bloco “schedule”, figura 30, onde o input para cada hora de operação é a taxa média de chegadas.

Figura 30 – Bloco Schedule

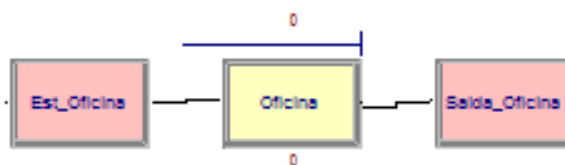


Fonte: O Autor (2016)

4.3.3. Canais de Atendimento

A figura 31 mostra o fluxograma lógico da estação oficina, em que as entidades chegam e passam por um bloco “Process”, onde são atendidas conforme distribuição de probabilidade exponencial. Somente chegam nesta estação, unidades que necessitam deste atendimento.

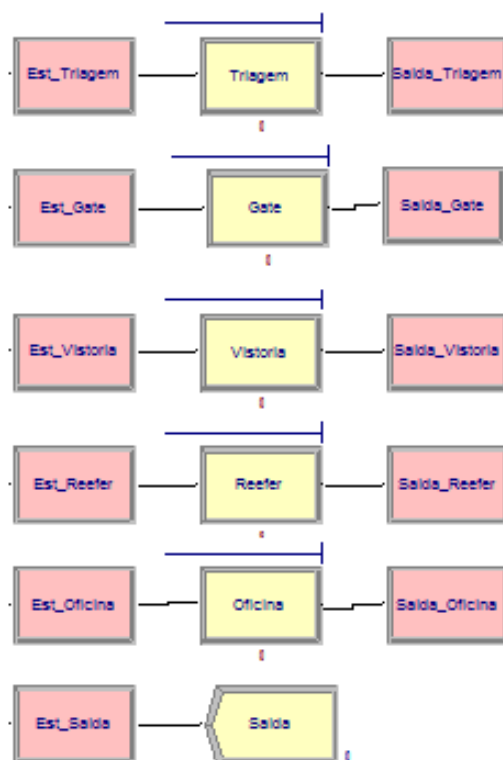
Figura 31 – Estação Oficina



Fonte: O Autor (2016)

Os demais canais de atendimento são programados da mesma forma, conforme observado na figura 32. A última estação da figura 32, é a estação saída, onde a entidade passa pelo módulo saída.

Figura 32 – Estações de trabalho

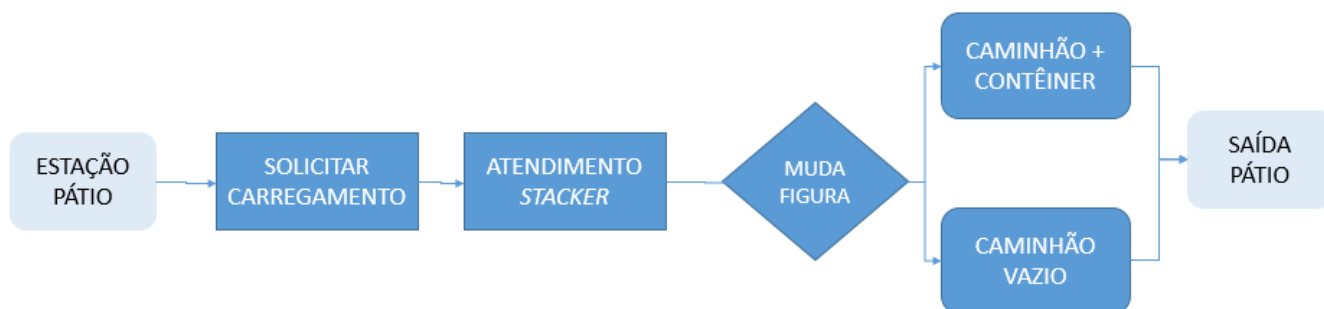


Fonte: O Autor (2016)

Na estação pátio, figura 33, é adicionado um transportador, para representar o atendimento das empilhadeiras. Os blocos “dispose” e “assign”, auxiliam na mudança da figura que representa a entidade.

A estação auxiliar, “Est_deslocamento”, tem o intuito de representar o “destino” dos deslocamentos da empilhadeira.

Figura 33 - Transportadores



Fonte: O Autor (2016)

O caminhão entra na estação “Est_Patio” requisita o atendimento de um transportador através do módulo “*reãoquest*”, figura 34. Neste bloco é definido o nome do transportador e sua velocidade.

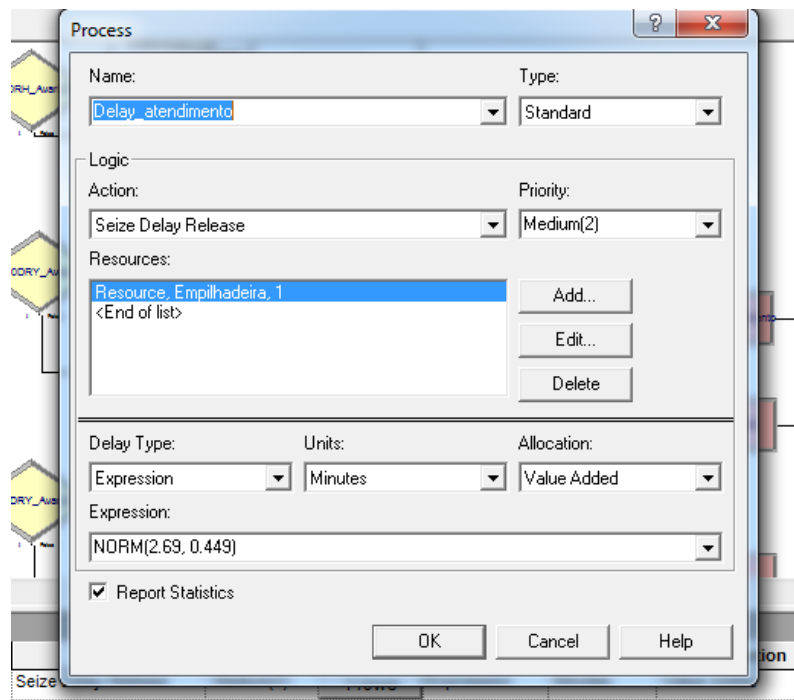
Figura 34 – Módulo Request

Fonte: O Autor (2016)

Em seguida a entidade é processada pelo módulo “*process*”, figura 35, onde a entidade ocupa o recurso “*stacker*” e acontece um “*delay*” para o seu atendimento.

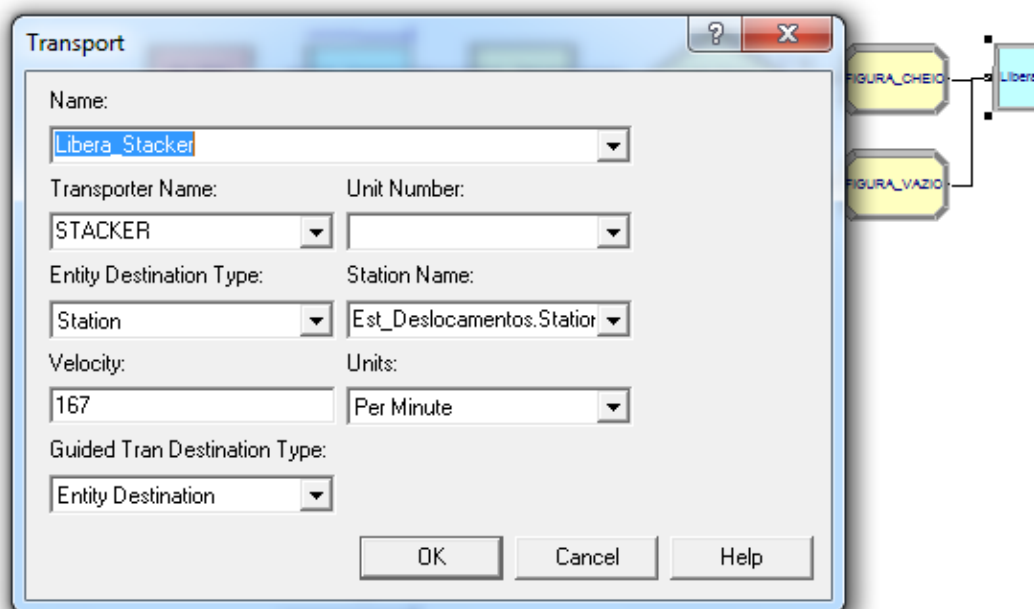
O módulo “*transport*”, figura 36, é responsável por liberar o transportador após deslocamento. Neste bloco é definido o destino do deslocamento.

Figura 35 – Módulo Process



Fonte: O Autor (2016)

Figura 36 – Módulo Transport



Fonte: O Autor (2016)

Após a definição das lógicas de atendimento, no bloco de dados “Resource” é especificado a quantidade de recursos disponíveis para cada canal, figura 38.

Nos casos onde a capacidade dos recursos varia com o tempo, é utilizado o módulo “schedule”, figura 37, para definir esta variação. Para cada hora de operação, se delimita a quantidade de recursos.

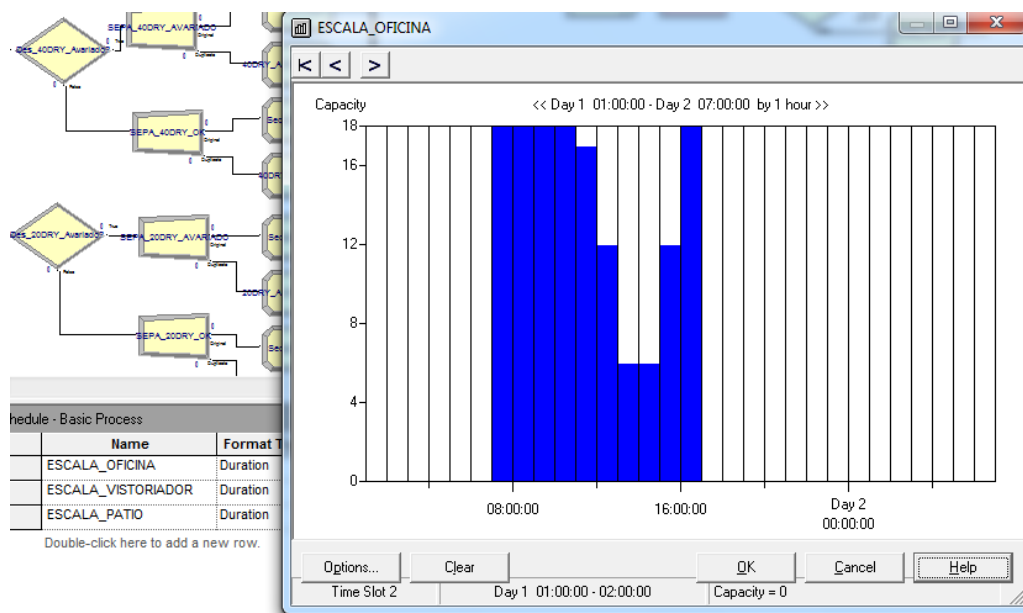
Figura 38 - Capacidade dos Recursos

Resource - Basic Process										
	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures
1	Assistentes_Reparo	Based on Schedule	ESCALA_OFICINA	ESCALA_OFICINA	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows
2	Atendente_Triagem	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows
3	Atendente_Gate	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows
4	Vistoriador	Based on Schedule	ESCALA_VISTORIADOR	ESCALA_VISTORIADOR	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows
5	Vistoriador_Reefer	Fixed Capacity	1	1	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows
6	Empilhadeira	Based on Schedule	ESCALA_PATIO	ESCALA_PATIO	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows

Double-click here to add a new row.

Fonte: O Autor (2016)

Figura 37 – Recursos com capacidade variável



Fonte: O Autor (2016)

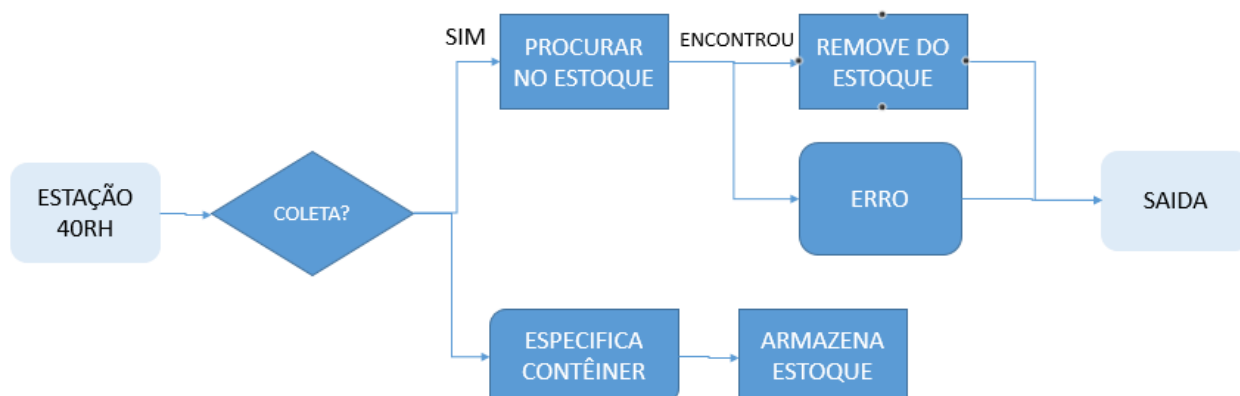
Na figura 39 é especificado o processamento das unidades no estoque, nesta estação chegam contêineres sem avarias e caminhões para coletá-las.

Estes fluxos são divididos no bloco “*decide*”. Se a entidade for contêiner, ela passa por um bloco “*assign*” onde ganha um atributo auxiliar e então segue para o bloco “*hold*”, que funciona como depósito, aguardando algum processamento.

Se a entidade que chega na estação for um caminhão, então passa por um bloco “*search*”, onde é feito o teste “existe este contêiner no estoque?”. Caso este bloco retorne verdadeiro então o contêiner é removido do estoque pelo bloco “*remove*”, e as entidades saem da estação.

Caso não existam estes contêineres no terminal, a entidade caminhão passa por um bloco assign, onde ganha o nome de “falha” e então é direcionada a saída.

Figura 39 – Processamento Estoque



Fonte: O Autor (2016)

Este processo de “estoque” foi feito para os três tipos de equipamento, 40RH, 40DRY e 20 DRY.

No próximo capítulo será apresentada a discussão e análise dos resultados obtidos com as simulações.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho, ao se analisar o sistema simulado utilizando o *software* arena. Na primeira seção são comparados os resultados da simulação do cenário base com o desempenho do terminal, na segunda seção é apresentado os resultados da simulação para o cenário 1, com algumas sugestões de melhorias. O cenário 2, dimensiona operacionalmente o terminal para operações futuras.

5.1. CENÁRIO BASE

Tabela 11 – Cenário base

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	01:24	01:24	00:45

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	128	18	90

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	42%	100%	9%	97%	62%	90%

NÚMERO DE ENTIDADES PROCESSADAS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Patio	Triagem	Vistoria
1 dia	222	42	37	224	222	147

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Patio	Triagem	Vistoria
1 dia	0	1387	0	12	1	10

Fonte: O Autor (2016)

A validação do modelo de simulação proposto consiste em garantir as simplificações da realidade são razoáveis e corretamente implementadas no software Arena gerando resultados semelhantes aos do sistema real (FREITAS, 2008).

A validação do modelo de simulação foi feita comparando as medidas de desempenho do sistema real com os gerados pela simulação, Tabela 11, para 1 replicações de 10 horas, ou seja, um dia de operação.

Analisando os resultados obtidos da simulação, com o sistema real notou-se uma incoerência nos tempos de processamento. Isso porque o atendimento ao processo I e II pelo pátio é mais simples que o atendimento do processo III. Por isso, estes atendimentos acabam tendo “prioridade” de processamento.

Para incluir esta restrição, definiu-se no software Arena prioridade no atendimento do processo I e II na fila da estação pátio, gerando os resultados da Tabela 12 e validando o estudo por comparação com o sistema real.

Tabela 12 – Cenário base com prioridade

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	01:02	00:48	01:19

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	125	20	97

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	46%	100%	8%	98%	69%	90%

NÚMERO DE ENTIDADES PROCESSADAS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Patio	Triagem	Vistoria
1 dia	236	52	35	236	238	143

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Patio	Triagem	Vistoria
1 dia	0	1389	0	13	1	9

Fonte: O Autor (2016)

Para analisar a disponibilidade de contêineres a longo prazo, simulou-se este cenário para um total de 300h ou 70 dias de operação como apresentado na tabela 13. Notou-se que apesar de existirem contêineres 40DRY no estoque, todos estavam aguardando reparo, ou seja, houve falta de recursos (pessoas) na oficina, fazendo com que 214 caminhões não fossem atendidos.

Isto aconteceu apenas para o estoque de 40DRY, pois é o tipo de equipamento com maior rotatividade no terminal (maior porcentagem de in e out). Porém indica um gargalo operacional na oficina, o qual tende a atingir outros tipos de equipamento com o passar do tempo.

Tabela 13 – Cenário base a longo prazo

ESTOQUE			
Replicação	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	1008	1296	1674

LIBERAÇÕES DE EXPORTAÇÃO NÃO ATENDIDAS			
Replicação	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	0	214	0

Fonte: O Autor (2016)

5.2. CENÁRIO 1

No cenário 1 foram simulados algumas alterações nas capacidades dos recursos do cenário base, através destas alterações será possível medir o novo nível de serviço do terminal.

Tabela 14 – Quantidade de Recursos Oficina

DIMENSIONAMENTO OFICINA				
Quantidade Recursos	Não atendimentos	Reparo/dia	Fila média Oficina	Ocupação
10	214	52	1782	100%
11	195	56	1736	100%
12	154	63	1686	100%
13	97	68	1513	94%
14	0	72	1363	88%

Fonte: O Autor (2016)

A primeiro gargalo operacional encontrado no cenário base é na oficina, desta forma, relacionou-se o número de recurso da oficina (atendentes), com o número de não atendimentos e fila média de oficina para 30 dias consecutivos de operação.

Conforme dados apresentados na tabela 14, consegue-se manter o estoque mínimo para atendimento da demanda de 30 dias de operação, quando o número de contêineres reparados, seja em média 72 por dia. Com uma taxa de utilização da oficina de 88%.

A triagem e gate são recursos compartilhados entre todos os processos da empresa, não apenas dos fluxos de contêineres vazio. Para tanto, considerando-se apenas os fluxos analisados, estes recursos apresentam-se ociosos, não representando gargalos operacionais. Técnico reefer apresenta-se como o recurso com maior ociosidade, com apenas 8% de utilização.

Ainda na tabela, observou-se que a stacker apresentou 98% de ocupação, o que é considerado um auto índice. Podendo apresentar-se como um gargalo operacional em um dia com movimentações acima da média. Na tabela 15 apresenta-se os indicadores de desempenho do cenário com 3

Tabela 15 – Cenário com 3 stacker

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	1:08	0:53	0:38

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	132	21	117

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	46%	100%	0%	84%	64%	90%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	1390	0	5	1	11

Fonte: O Autor (2016)

stacker.

Comparando-se a Tabela 12 e Tabela 15, duas e três stacker respectivamente, notou-se que o aumento da capacidade deste recurso impacta apenas no atendimento do processo III. Portanto, apenas o aumento do número de stacker não é suficiente para melhoria do nível de desempenho dos processos I e II. Esse aumento deve ser acompanhado de um aumento da capacidade do recurso vistoria, conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Cenário com 3 stacker e 3 vistoriadores

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	0:37	0:20	0:30

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	127	12	111

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	47%	100%	0%	83%	71%	66%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	1388	0	4	1	3

Fonte: O Autor (2016)

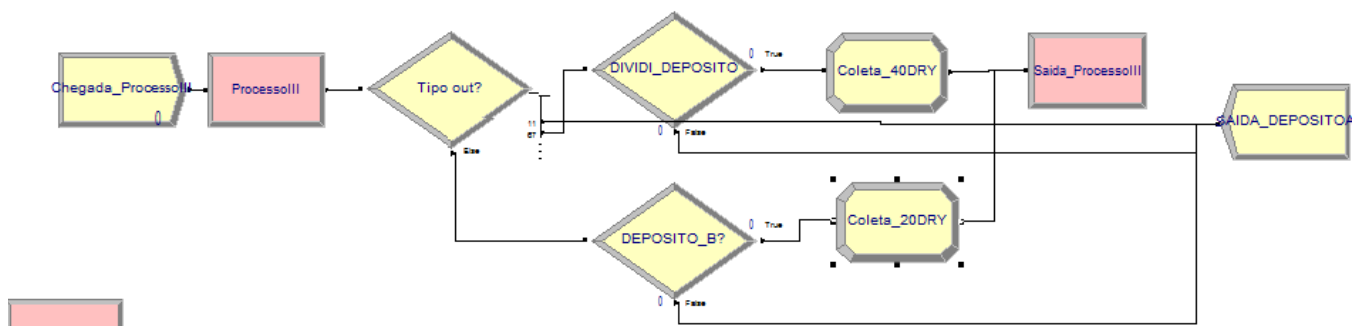
Este cenário apresenta uma melhoria significativa no indicador de desempenho tempo de atendimento. Porém, representa um aumento na capacidade de dois recursos, conseqüentemente aumentando os custos de operação. Este cenário se justificaria para um aumento da demanda.

5.3. CENÁRIO 2

Neste tópico simula-se um cenário de expansão, onde as operações serão divididas em dois depósitos A e B. No depósito A permanecerá 100% das operações com 40RH, 10% da operação de 40DRY e 10% da operação de 20DRY. Conseqüentemente no depósito B 90% das operações de 40DRY e 90% das operações de 20DRY.

No Arena foi simulado cada depósito separadamente, para isso foi necessária uma adaptação no modelo, conforme figura 43. Em que adicionou-se um bloco “decide” após a definição do tipo do contêiner, este bloco através de porcentagens define se o contêiner permanece no depósito ou é direcionado ao segundo depósito. Caso seja direcionado ao outro, o bloco “dispose” elimina esta entidade. Esta lógica foi utilizada para as três chegadas e processamento do estoque estático.

Figura 40 – Adaptação modelo para o cenário 02



Fonte: O Autor (2016)

Para cada previsão de demanda foi alocado o mínimo de recursos necessários para prestar um nível de serviço adequado (atender os caminhões com menos de uma hora e atender toda a demanda, ou seja, ter um estoque adequado de unidades disponíveis). Porém respeitando a restrição de ter no mínimo um recurso disponível no período de operação.

5.3.1. Previsão de crescimento de 10% na demanda

Os indicadores de desempenho para o crescimento na demanda de 10%, encontram-se tabeladas no Apêndice A – Tabela 20 e Tabela 21.

Utilizou-se o mínimo de recursos no depósito A, o que ocasionou um baixo nível de ocupação dos recursos. Esta ociosidade no depósito A, está associada a menor movimentação do contêiner 40RH.

No depósito B, houve necessidade de alocação de uma segunda stacker, para que o tempo de atendimento permanecesse dentro do limite estabelecido de (1hora).

Devido a rotatividade de contêineres ser menor no depósito A, o número de atendentes na oficina foi reduzido, em comparação com o depósito B, onde a movimentação foi maior.

Tabela 17 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 10% na demanda

Replicação	RECURSOS					
	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
Depósito A	1	6	1	1	1	1
Depósito B	1	7	0	2	1	1

Fonte: O Autor (2016)

5.3.2. Previsão de crescimento de 20% na demanda

Os indicadores de desempenho para o crescimento na demanda de 10%, encontram-se tabeladas no Apêndice A – Tabela 22 e Tabela 23.

Para um crescimento na demanda de 20% na demanda, mais um reparador na oficina no depósito A foi necessário. Mesmo com o aumento de demanda, este depósito apresentou um nível de ocupação mais baixo.

O depósito B manteve-se com o mesmo número de atendentes e uma taxa de ocupação mais elevada, como na utilização da “stacker”, que esta taxa chegou a 96%.

Tabela 18 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 20% na demanda

RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
Depósito A	1	7	1	1	1	1
Depósito B	1	7	0	2	1	1

Fonte: O Autor (2016)

5.3.3. Previsão de crescimento de 30% na demanda

Os indicadores de desempenho para o crescimento na demanda de 10%, encontram-se tabeladas no Apêndice A – Tabela 24 e Tabela 25.

Para este crescimento adicionou-se um reparador na oficina do depósito B. Os indicadores de tempo de atendimento chegaram próximo ao limite estipulado, porém não ultrapassando-os.

Tabela 19 – Quantidade de Recursos para um crescimento de 30% na demanda

RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
Depósito A	1	7	1	1	1	1
Depósito B	1	8	0	2	1	1

Fonte: O Autor (2016)

Devido à restrição de haver no mínimo um recurso para cada canal, para baixos índices de crescimento de demanda esta divisão de depósitos não seria positiva. Pois o custo para manter a quantidade mínima de recursos será maior com dois depósitos.

Apesar do estoque A apresentar uma movimentação menor, e utilização menor de seus recursos, o seu estoque estático permanece alto. No próximo capítulo serão apresentados os resultados do trabalho.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo mapear os processos do fluxo de contêineres vazios no terminal e simular estas operações, afim minimizar os recursos necessários para garantir um nível de serviço adequado.

O cenário base foi utilizado para calibrar o modelo de simulação com o real, onde foi feita as comparações e adaptações necessárias para que o modelo refletisse a realidade. No cenário 1, foi proposto algumas modificações no cenário base com objetivo de melhorar o nível de serviço e por fim no cenário 3, utilizou-se a simulação para planejar o dimensionamento das futuras expansões do terminal.

O mapeamento dos processos mostrou-se importante, para entendimento dos fluxos e suas particularidades. Tomou-se os processos mapeados como a construção do projeto conceitual de simulação.

A coleta e tratamento dos dados é de fundamental importância, para que o cenário simulado reflita as particularidades do modelo real, porém é uma etapa dispendiosa, já que muitas vezes estes dados devem ser tomados manualmente.

Para construção do modelo de simulação o analista deve ter sensibilidade para interpretar cada particularidade do modelo real e transformá-la para um modelo lógico. É uma etapa que depende de constante análise e interpretação dos resultados.

A simulação é uma importante ferramenta de análise e planejamento, através dela foi possível dimensionar operações para garantir um bom nível de desempenho, minimizando a utilização de recursos, sem qualquer intervenção no sistema real.

Desta forma é de grande utilidade na tomada de decisão, onde neste trabalho foi possível dimensionar os recursos, para que no futuro o terminal atenda o armador e exportador com qualidade e confiabilidade, desta forma diminuindo custo e tornando-se competitivo no mercado.

Este trabalho foi aplicado a um sub processo do terminal, mais especificamente ao fluxo de contêineres vazios. Assim para trabalhos futuros sugere-se a simulação de todos os processos operacionais da empresa, já que alguns dos recursos são compartilhados.

Também como sugestão para futuros trabalhos propõem-se a inclusão das movimentações internas do terminal, considerando as 24 horas de operação do *Depot*.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BANDEIRA, Denise Lindstrom. **Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios - um modelo integrado e sua utilização**. 2005. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grando do Sul, Porto Alegre, 2005.

BRITO, Thiago Barros. **Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 29., 2009, Salvador. **Artigo**. Salvador: ABEPRO, 2009. p. 1 - 13.

CAMELO, Gustavo Rossa *et al.* **Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de Ponta da Madeira**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 30., 2010, São Carlos. **Artigo**. São Carlos: ABEPRO, 2010. p. 1 - 14.

CASTRO NETO, Laherce Ribeiro de. **Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro**. 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHAO, Wisley. **Identificação de gargalos na cadeia logística utilizando técnicas de simulação: avaliação da malha de distribuição de GLP em São Paulo**. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CHRISPIM, Eduardo Mathiasi. **Análise da operação ferroviária do porto do Rio de Janeiro utilizando simulação de eventos discretos**. 2007. 62 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

COOPER, Donald R; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 12. ed. São Paulo: Amgh, 2016.

CUNHA, Claudio Barbieri da *et al.* **Um modelo de fluxo em rede para a logística de movimentação de contêineres**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40., 2008, João Pessoa. Artigo. João Pessoa: [s.n.], 2008. p. 1 - 11.

FERNANDES, Marcelo Gomes. **Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos**. 2001. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena**. 2. ed. Florianópolis: Visualbooks, 2008.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2006.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

KRAJEWSKI, Lee J; RITSMAN, Larry P; MALHOTRA, Manoj K.. **Administração de Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEAL, Fabiano. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação**

computacional. 2003. 224 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

LIMOEIRO, Claudio Duarte Pinto; FULLER, Daniel Barry Vieira; ARAUJO FILHO, Celso Fernandes. **Modelo de simulação para analisar o escoamento da produção de derivados de petróleo a partir de terminal marítimo**. In: SBPO, 42., 2010, Bento Gonçalves. **Artigo**. Bento Gonçalves: Sbp, 2010. p. 1 - 11.

MARETH, Taciana. **Mapeamento de processos e simulação como procedimento de apoio a gestão de custos: uma aplicação para processo de registros e matrículas da universidade de cruz alta**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade do Vale dos Rios dos Sinos, São Leopoldo, 2008.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PATRÍCIO JUNIOR,. **A Economia e os Portos em 2015**. 2015. Disponível em: < <http://goo.gl/2CbbXI>>. Acesso em: 03 out. 2016.

PAVANI JÚNIOR, Orlando; SCUCUGLIA, Rafael. **Mapeamento e gestão por processos - BPM: Gestão orientada a entrega por meio dos objetos**. Metodologia de Gauss. São Paulo: M. Books, 2011.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. Nova Lima: INDG, 2006.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

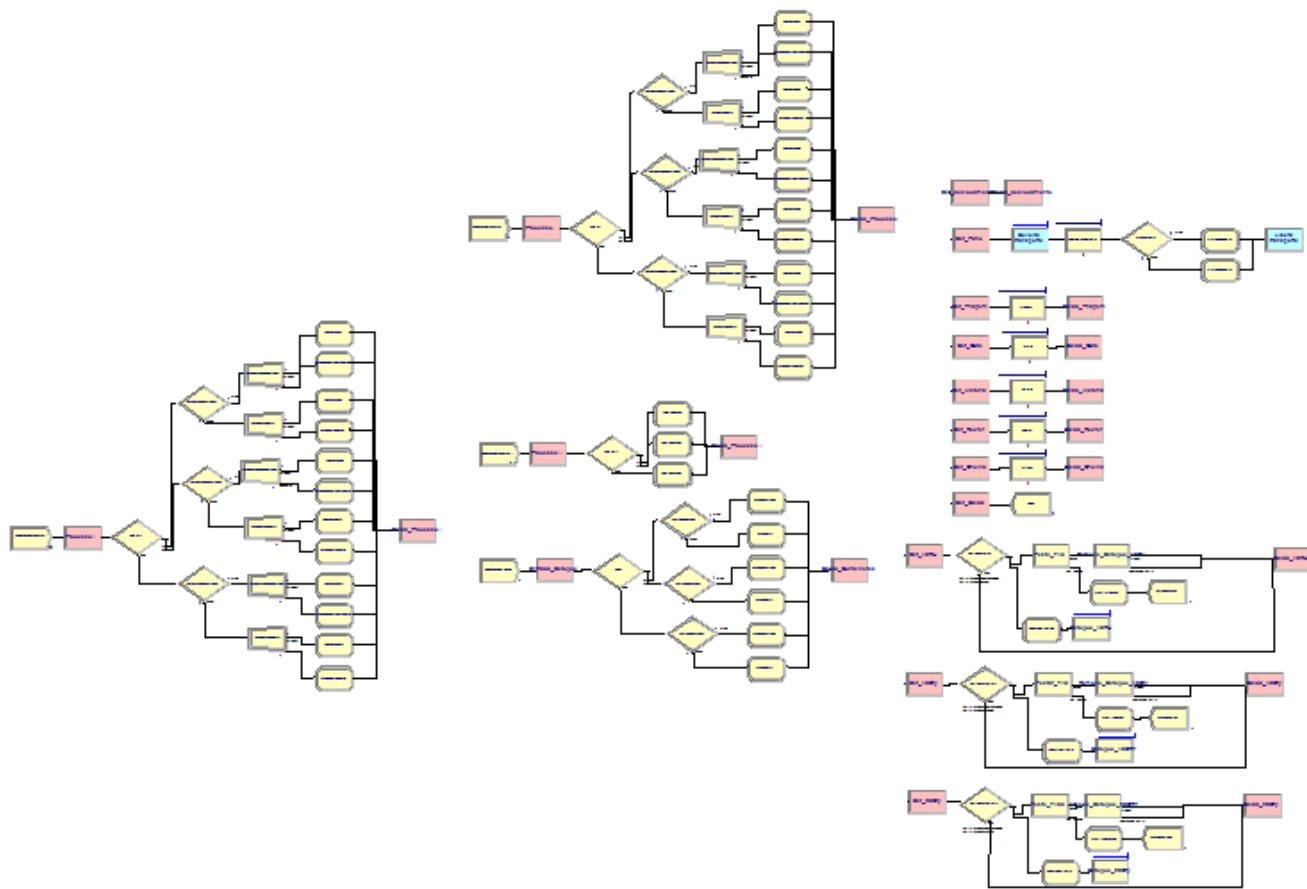
VILLELA, Cristiane da Silva Santos. **Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional**. 2000. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

WINSTON, Wayne L.. **Operations Research: Applications and Algorithms**. 4. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2004.

YAGUIU, Katia. **Modelo para o dimensionamento de uma frota de contêineres para uma empresa de navegação**. 2006. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ANEXO A

Figura 41 – Modelo Arena



Fonte: O Autor (2016)

ANEXO B

Tabela 20 – Depósito A para um aumento de demanda de 10%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:36	00:37	00:45

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	33	7	58

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	13%	100%	11%	57%	18%	27%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	564	0	1	0	0

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	70	154	1613
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	99%		

Fonte: O Autor (2016)

ANEXO C

Tabela 21 – Depósito B para um aumento de demanda de 10%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:37	00:41	00:51

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	82	14	64

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	38%	100%	0%	90%	63%	57%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	748	0	18	2	1

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	1114	1857	0
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	94%		

Fonte: O Autor (2016)

ANEXO D

Tabela 22 – Depósito A para um aumento de demanda de 20%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:40	00:36	00:38

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	64	14	76

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	15%	100%	13%	65%	22%	32%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	566	0	1	0	0

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	78	142	1787
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	100%		

Fonte: O Autor (2016)

ANEXO E

Tabela 23 – Depósito B para um aumento de demanda de 20%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:39	00:47	00:53

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	90	15	73

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	40%	100%	0%	96%	67%	60%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	756	0	20	2	2

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	1296	1905	0
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	96%		

Fonte: O Autor (2016)

ANEXO F

Tabela 24 – Depósito A para um aumento de demanda de 30%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:42	00:40	00:48

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	70	16	82

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	17%	100%	13%	66%	24%	37%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	565	0	2	0	1

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	106	165	1727
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	84%		

Fonte: O Autor (2016)

ANEXO G

Tabela 25 – Depósito B para um aumento de demanda de 30%

TEMPO DE PROCESSAMENTO DA ENTIDADE			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	00:48	00:53	0:57

NUMERO DE CAMINHÕES			
Replicação	Processo I	Processo II	Processo III
1 dia	95	20	84

OCUPAÇÃO DOS RECURSOS						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	43%	100%	0%	98%	71%	69%

TAMANHO MÉDIO DA FILA						
Replicação	Gate	Oficina	Técnico Reefer	Stacker	Triagem	Vistoria
1 dia	0	808	0	21	3	2

ESTOQUE			
	20DRY	40DRY	40RH
30 dias	1357	1984	0
Não atendimentos	0	0	0
Ocupação Oficina	93%		

Fonte: O Autor (2016)