

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TERMINAIS FERROVIÁRIOS UTILIZANDO TEORIA  
DE FILAS E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS – UM ESTUDO DE CASO NA  
MRS LOGÍSTICA S/A

Guilherme Delgado de Oliveira

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO

Aprovada por:

---

Professor Paulo André Lobo

---

Professor Jorge Menelau de Jesus

---

Professor Marcos Martins Borges

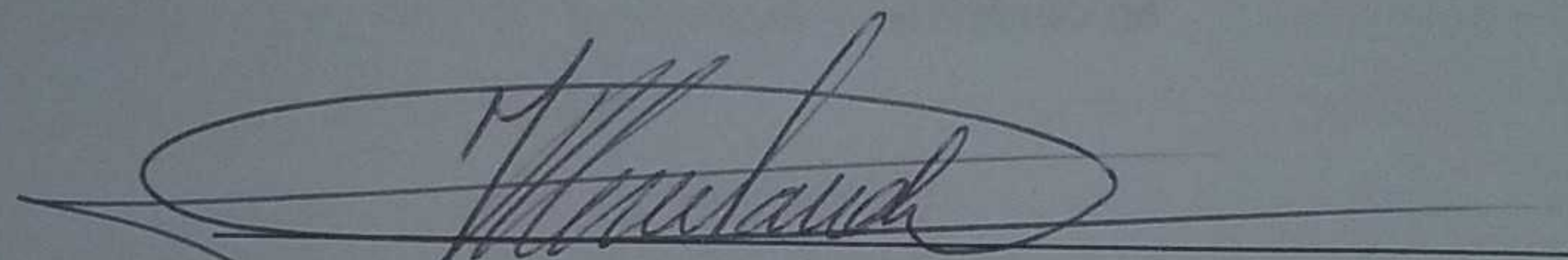
JUIZ DE FORA, MG – BRASIL  
FEVEREIRO DE 2006

ESTUDO DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E DE DOIS SISTEMAS DE GESTÃO  
DA QUALIDADE: A NORMA ISO 9000 E O TQC. SEUS BENEFÍCIOS EM UMA  
INDÚSTRIA DE MANUFATURA: UM ESTUDO DE CASO.

Guilherme Oliveira da Rocha

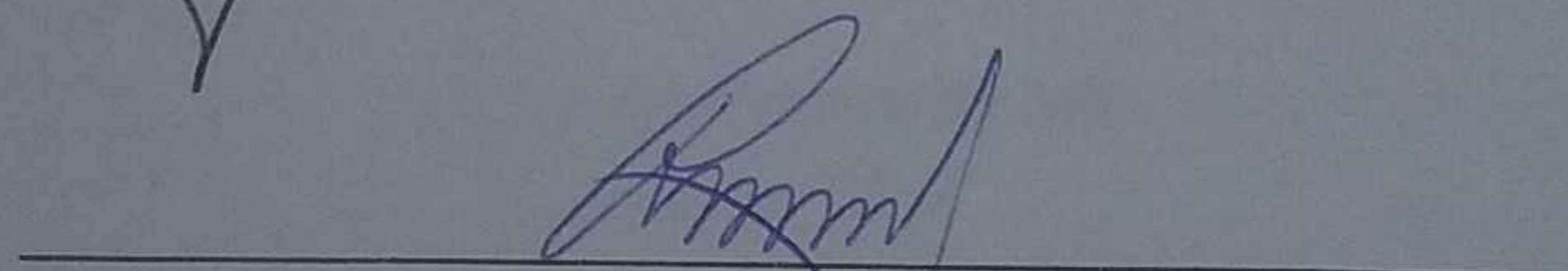
MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA  
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:



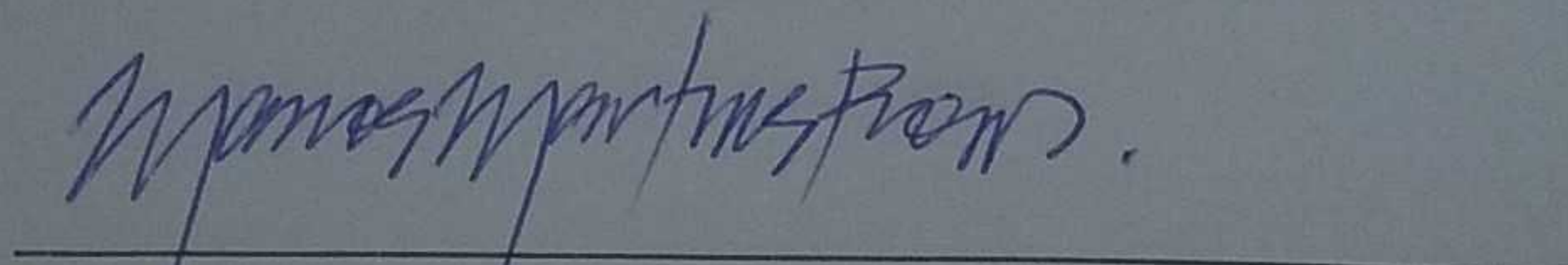
---

Prof. Jorge Menelau de Jesus, Espec. Qualidade.



---

Prof. Roberto Malheiros, M.Sc.



---

Prof. Marcos Borges, D.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

JUNHO DE 2005

OLIVEIRA, GUILHERME DELGADO DE

Análise do Desempenho de Terminais Ferroviários Utilizando Teoria de Filas e Simulação de Eventos Discretos – Um Estudo de Caso na MRS Logística S/A

2006

VI, 53 p. 29,7 cm (UFJF, Engenharia de Produção, 2005)

TCC – Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

1. Teoria de Filas e Simulação

Agradeço primeiramente a Deus por me iluminar com saúde, paz e força de vontade permitindo que eu alcance todos os meus objetivos.

Agradeço também aos meus pais, irmãs, ao Marcelinho e demais familiares pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Não posso deixar de falar dos meus amigos e à Mônica que sempre me apoiam a estar buscando novos desafios e por estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus colegas de trabalho da MRS Logística que tanto me engrandecem pessoal e profissionalmente e à Universidade Federal de Juiz de Fora por me propiciar tanto aprendizado.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TERMINAIS FERROVIÁRIOS UTILIZANDO TEORIA DE FILAS E SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS – UM ESTUDO DE CASO NA MRS LOGÍSTICA S/A

Guilherme Delgado de Oliveira

Fevereiro/2006

Orientador: Paulo André Lobo

Co-orientador: Luís Guilherme Paschoal Andrade

Curso: Engenharia de Produção

Este trabalho explica o processo de geração de filas de trens na malha da MRS Logística devido a restrições no sistema compreendido pelo pátio do Arará no porto do Rio de Janeiro e os terminais por ele atendidos. Ele utiliza análises decorrentes da Teoria de Filas e Simulação de eventos discretos através da criação de um modelo no software Arena® para gerar os principais indicadores de desempenho que servem como base para entendimento do sistema e auxílio à tomadas de decisão.

*Palavras-chave: ferrovia, terminais, teoria de filas e simulação.*

Abstract of final work presented to Production's Engineering Department as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Graduated.

RAILROAD TERMINALS'S PERFORMANCE ANALYSIS BASED ON QUEUEING THEORY AND DISCRETE EVENT SIMULATION – AN STUDY CASE AT MRS LOGISTICA S/A

Guilherme Delgado de Oliveira

February/2006

Advisor: Paulo André Lobo

Co-Advisor: Luís Guilherme Paschoal Andrade

Department: Production's Engineering

This project explains the process of trains queues formation at MRS Logística due to system restrictions at Arará rail station at Rio de Janeiro port and the terminals attended by it. It deals with analysis based on Queuing Theory and Discrete Event Simulation using models created by the Arena® software to generate the main performance indicators used as basis for the system understanding and to assist the decision process.

*Key-Words: Railway, terminal, queuing theory and simulation*

## SUMÁRIO

<b><u>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</u></b>	<b><u>7</u></b>
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	7
1.2 OBJETIVOS	7
1.3 JUSTIFICATIVAS	8
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	9
<b><u>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u></b>	<b><u>11</u></b>
2.1 TRANSPORTES	11
2.1.1 CONCEITOS BÁSICOS DE TRANSPORTES	11
2.1.2 CARACTERÍSTICAS DOS MODAIS DE TRANSPORTES	11
2.1.3 TIPOS DE MODAIS DE TRANSPORTES	15
2.1.4 MODAL FERROVIÁRIO	16
2.2 TEORIA DE FILAS	21
2.2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2.2 OBJETIVOS DA TEORIA DE FILAS	22
2.2.3 ELEMENTOS DE UMA FILA	23
2.2.4 MEDIDAS DE DESEMPENHO	26
2.2.5 NOTAÇÃO KENDALL	27
2.2.6 MODELOS DE FILAS BÁSICOS	27
2.2.7 USO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE FILAS	34
<b><u>CAPÍTULO III – ESTUDO DE CASO – MRS LOGÍSTICA</u></b>	<b><u>37</u></b>
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA	37
3.2 PÁTIO ARARÁ	38
3.2.1 BREVE DESCRIÇÃO DO ARARÁ	38
3.2.2 ACESSO AO PÁTIO	39
3.2.3 PROBLEMAS ENFRENTADOS PELO ARARÁ	40
3.3 – DADOS COLETADOS	41
3.4 – MODELAGEM DO SISTEMA	42
3.5 – O MODELO NO ARENA®	44
<b><u>CAPÍTULO IV – CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u></b>	<b><u>50</u></b>
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>APÊNDICE</u></b>	<b><u>53</u></b>

## Capítulo I – Introdução

### 1.1 Descrição do Problema

Cada vez mais se torna necessário que as empresas aumentem sua produtividade para ganharem competitividade no mercado onde atuam uma vez que a concorrência é acirrada e as vantagens competitivas são definidas em pequenos detalhes. Nesse sentido, deve-se buscar reduzir ao máximo as parcelas do ciclo de produção que não agregam valor ao produto.

No caso da MRS Logística que vêm passando por crescimento muito rápido, estão ocorrendo o surgimento de problemas até então desconhecidos pela empresa. Alguns deles estão provocando perdas de desempenho em virtude do aumento destas parcelas do ciclo de produção que não agregam valor.

Dentre estes problemas, pode-se citar o surgimento de filas de trens no decorrer da malha da Companhia devido ao desbalanceamento entre a demanda e a capacidade de atendimento dos terminais de descarga. Sabe-se que este fenômeno se dá devidos a picos de produção, limitação de infra-estrutura, e própria falta de conhecimento por parte da empresa das características do sistema em questão, entre outros problemas que serão levantados no decorrer do trabalho.

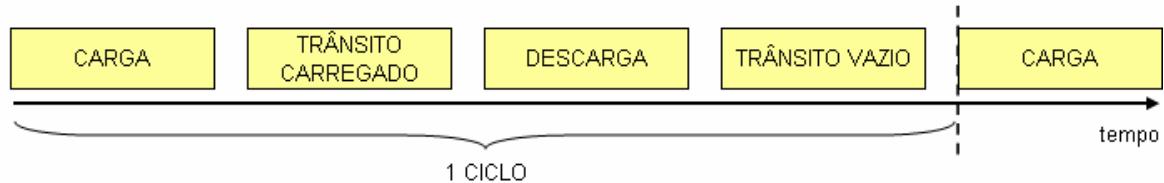
Em decorrência deste fato, as filas além de acarretarem prejuízos do ponto de vista de processos internos através do aumento de custos e queda de receita, também afetam os clientes com a queda do nível de serviço ofertado uma vez que a previsibilidade e o tempo de entrega ficam prejudicados.

### 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é modelar o processo de chegada de vagões para carga e descarga nos terminais atendidos pelo pátio ferroviário do Arará e, a partir daí analisar alguns indicadores de desempenho, visando identificar as principais causas da formação de filas na malha da MRS Logística devido a esse processo, para então sugerir melhorias.

### 1.3 Justificativas

A capacidade de transporte de uma empresa do setor ferroviário como a MRS está diretamente relacionada ao **ciclo** do vagão, ou seja, o tempo de viagem da saída do vagão do ponto de carregamento até o retorno para o mesmo.



Essa relação fica clara na fórmula que representa a capacidade de produção de um vagão:

$$CP = \frac{C.V \times Dias}{Ciclo} \quad (1)$$

Onde:

CP: capacidade de produção

C.V: capacidade em toneladas de um vagão

Dias: período que deseja levantar a capacidade

Ciclo: ciclo do vagão em dias

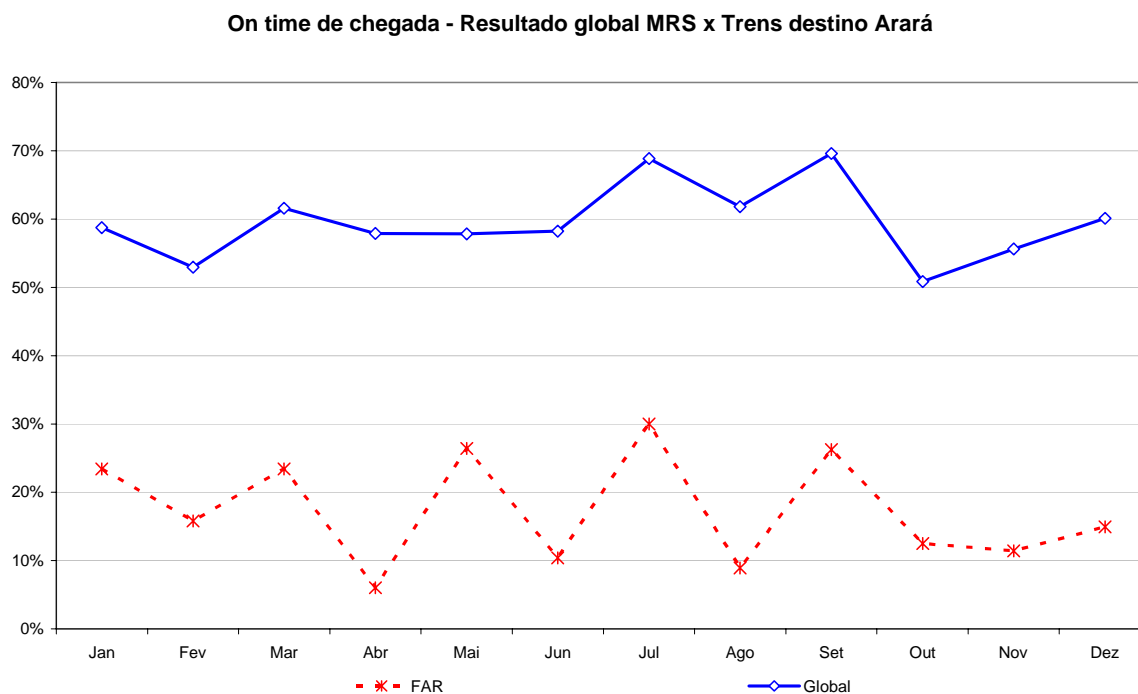
Por exemplo, um vagão com capacidade de 90 toneladas, que está realizando um ciclo de 3 dias, pode produzir em um mês:

$$CP = \frac{90 \times 30}{3} \cong 900t / mês$$

Desta forma, caso o ciclo do vagão diminua para 1,5 dias, a companhia consegue uma capacidade de produção duas vezes maior sem ter que adquirir nenhum ativo adicional. Sendo assim fica evidente que a redução do tempo de ciclo do vagão com a

eliminação de etapas que não agregam valor ao produto, tal como tempo de trem parado na malha devido a filas é essencial.

Por outro lado, um importante fator de nível de serviço para os clientes de Carga Geral\* da MRS é a previsibilidade que é medida pelo indicador On Time de Chegada, que quer dizer acurácia em relação ao horário de chegada previsto para o cliente.



**Gráfico 1 – On Time de Chegada Trens Carga Geral**  
Fonte: MRS Logística S.A., (2005)

Analisando o gráfico acima, podemos perceber que os trens com destino ao pátio do Arará (FAR) estão com uma acurácia bem inferior à média da empresa. Isso quer dizer que os clientes que são atendidos nesta rota estão recebendo um nível de serviço abaixo do esperado.

#### 1.4 Estrutura do Trabalho

Em relação à estrutura deste trabalho, o mesmo foi dividido em 4 capítulos.

\* Trens de Carga Geral: São trens que formados por blocos de vagões com diferentes tipos de mercadorias que seguem uma grade horária e realizam paradas durante a viagem para a retirada e coleta de vagões. Não são considerados produtos de Carga Geral: Minério de Ferro, Carvão e Bauxita.

O capítulo 1 dedica-se a uma breve introdução sobre o tema desenvolvido, apresentando os objetivos e justificativas deste trabalho.

O capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica abordando conceitos básicos de Transportes, Teoria de Filas e Simulação.

No capítulo 3 é apresentado um estudo de caso realizado na MRS Logística em que foi analisado o processo gerador de filas na malha da empresa devido ao pátio do Arará.

Enfim, no Capítulo 4 apresentam-se as principais conclusões obtidas com a aplicação dos conceitos de Teoria de Filas e Simulação para análise do desempenho dos Terminais de Descarga.

## Capítulo II – Revisão Bibliográfica

### 2.1 Transportes

#### 2.1.1 Conceitos básicos de transportes

Segundo Bowersox (1986), “O transporte é a área operacional da logística que movimenta geograficamente o estoque”. A importância dos transportes se dá pelo fato dos recursos estarem distribuídos pelo mundo de forma desigual, obrigando que ocorra movimentação destes recursos de um ponto para o outro. De acordo com Stülp & Plá (1992), o segmento de transporte é um dos que mais interfere na eficiência dos diversos setores da economia de um país.

Segundo Bustamante (2005), o transporte, no contexto da Economia, é um *setor de serviço* ou uma *demanda intermediária*. Ou seja, isoladamente ele não cria riqueza, mas atua como um fator viabilizador de tal forma que as potencialidades econômicas de um determinado local não podem ser desenvolvidas sem sua presença.

Desta forma, podemos concluir que o transporte é inerente a qualquer atividade geradora de valor sendo um dos segmentos que mais interfere na eficiência dos diversos setores da economia de um país, absorvendo entre um e dois terços do total dos custos logísticos (BALLOU, 2001).

Um sistema de transporte eficiente e barato tem o poder de alterar o sistema produtivo, baseado em alguns fatores:

- Um transporte barato viabiliza o alcance de mercados mais distantes e a descentralização das unidades de produção.
- Ele leva a redução dos custos de produção dos produtos aumentando a competitividade no mercado.

#### 2.1.2 Características dos Modais de Transportes

Os modais de transporte apresentam custos e características operacionais específicas, que os tornam mais adequados para determinados tipos de operações e produtos. Essas características específicas tornam os diferentes modais complementares de tal forma que eles devem ser combinados para que o custo total de transporte seja o

mínimo para a empresa sem redução dos níveis de serviço. Nesse sentido, Lício (1995) ressalta que a viabilização e integração dos corredores modais de transporte (rodovia, ferrovia, hidrovia) aumenta a competitividade dos produtos, integrando as áreas de produção, centros consumidores e o mercado internacional.

Citamos a seguir as principais características dos transportes segundo Bustamante (2005) e Ojima (2004):

- *disponibilidade*, isto é, capacidade do modal atender os pontos mais diversos possíveis. Desta forma, o modal rodoviário tem uma alta disponibilidade por teoricamente poder atingir qualquer lugar. O segundo em disponibilidade é o ferroviário, dependendo claro da malha ferroviária do país.
- *acessibilidade*, ou seja além de estar disponível, um modal deve estar acessível de tal forma que ele possa ser utilizado nos locais em que está disponível.
- *qualidade de serviço*, é um fator subjetivo que serve como diferencial na hora escolha do modal a ser contratado. Está relacionado à capacidade do modal em atender e superar as expectativas dos clientes.
- *economicidade*, está relacionado ao custo benefício do transporte. Também é um fator subjetivo mas decisivo na opção pelo modal a ser contratado.
- *velocidade*, a velocidade refere-se ao tempo decorrido de movimentação da carga do ponto de origem até o destino, também conhecido como *transit time*, sendo o modal aéreo o mais rápido de todos. Vale lembrar que, considerando que dentro deste critério é levado em consideração o tempo de carga e descarga, a vantagem do modal aéreo só ocorre para distâncias médias e grandes, Nazário, et al (2000).
- *consistência*, ela representa a capacidade do modal de cumprir os tempos previstos. Como afirma Ojima (2004), por não ser afetado pelas condições climáticas ou por congestionamentos, o duto apresenta uma alta consistência. Já o modal aéreo tem uma grande sensibilidade a questões climáticas devido à

sua elevada preocupação com questões de segurança e por isso possui uma baixa consistência (FLEURY, 2002). Esta característica até certo ponto influencia na qualidade do serviço.

- *flexibilidade*, isto é, esta dimensão está relacionada à possibilidade de um determinado modal atender diferentes produtos com volumes distintos. Cabe aqui um destaque para o modal aquaviário por poder lidar praticamente com qualquer tipo de produto ou volume.
- *freqüência*, ou seja, representa o percentual de tempo útil de um modal. Ou seja o total de tempo que pode ser utilizado num determinado horizonte e tempo. O duto é o que apresenta o melhor desempenho por poder trabalhar 24 horas por dia.

Estas dimensões dão uma orientação sobre os pontos forte de cada modal transporte uma vez que eles não são estritamente concorrentes, mas complementares, cada um com seu campo de ação mais eficiente (BUSTAMANTE, 2005).

O quadro a seguir avalia os diversos modais segundo suas características, indicadas pelas suas iniciais indicadas no eixo vertical:

	<b>Ferrovía</b>	<b>Rodovía</b>	<b>Aquavía</b>	<b>Aerovía</b>	<b>Dutovía</b>
DI	linear	linear	superficial	superficial	linear
AC	pontual	linear	pontual	pontual	linear
QU	regular	boa	baixa	ótima	ótima
EC	boa	regular	ótima	baixa	boa
VE	boa	alta	regular	ótima	baixa
CO	boa	alta	regular	baixa	ótima
FL	alta	boa	ótima	regular	baixa
FR	boa	alta	baixa	regular	ótima

**Tabela 1 – Características dos modais de transporte**  
Fonte: Ojima (adaptado) (2004)

Para melhorar o entendimento serão exemplificados os conceitos de disponibilidade e acessibilidade nos modais: *ferroviário, rodoviário, aquaviário, aeroviário e dutoviário*:

### **Disponibilidade**

- a ferrovia possui disponibilidade **linear**, pois ela tem a capacidade de atender somente os pontos ao longo de suas vias férreas;
- a rodovia tem também disponibilidade **linear**, com restrições de atendimento em geral reduzidas, ditadas geralmente por fatores de segurança ou de topografia;
- as aquavias apresentam disponibilidade **superficial**, ou seja, pela “superfície” da água de oceanos, mares, lagos, rios e canais, etc;
- o transporte aeroviário, apesar de sabermos da existência das vias aéreas que o classificariam como linear, teoricamente tem disponibilidade **superficial**;
- o transporte dutoviário tem disponibilidade **linear** ao longo dos dutos de passagem dos produtos transportados.

### **Acessibilidade**

- a ferrovia por razões técnico-operacionais e econômicas só pode ser acessada em determinados locais pré-definidos. Por isso, diz-se que a ferrovia tem acessibilidade **pontual** em terminais, estações, pátios, etc;
- a rodovia devido a sua facilidade de parada e partida em quase todos locais, pode ser considerada de acessibilidade **linear** no decorrer de sua via;
- da mesma forma do que a ferrovia, o transporte aquaviário também possui acessibilidade **pontual** em locais como os portos;

- o transporte aeroviário por razões técnicas, topográficas e ambientais de segurança tem acessibilidade **pontual** nos aeroportos. Vale lembrar que os helicópteros têm praticamente uma acessibilidade superficial;
- o *transporte dutoviário* como oferece poucas restrições de acesso, tem acessibilidade **linear**.

### 2.1.3 Tipos de Modais de Transportes

Neste item serão tratados os modais Aquaviário, Rodoviário, Aeroviário e Dutoviário. O modal ferroviário por ser tema deste trabalho será tratado mais detalhadamente no tópico 2.3.

**Aquaviário:** É um modal de transporte altamente limitado por questões geográficas. Como afirma Ballou (2001), é um transporte, na média, mais lento que o ferroviário. Quanto aos índices de desempenho disponibilidade e consistência (ver item 2.1.2), pode-se afirmar que são diretamente dependentes das condições climáticas (inverno pode apresentar águas congeladas e verão com períodos de secas). Algumas barcaças são capazes de transportar até 40 mil toneladas o que torna o modal como um transporte de alta capacidade e flexibilidade. Os investimentos feitos nos últimos anos para a melhoria do modal foram: sistemas de navegação por radar, piloto automático, entre outros.

**Rodoviário:** É o mais flexível dos modais quanto à entrega para o cliente. É conhecido por ser um transporte de porta a porta. Devido a sua flexibilidade, trabalha-se tanto com carga fechada quanto com carga fracionada. O modal possui limitações na quantidade carregada, não só pelo alto peso próprio (tara), mas também por leis que regulam o limite de peso nas estradas. No Brasil, é o modal mais utilizado devido à política de transporte nacional ter privilegiado este tipo de modal quando na época da formação da infra-estrutura de transportes do país.

**Aeroviário:** É um modal mais utilizado para o transporte de produtos com alto valor agregado. Dentre todos os modais é que o que possui o maior preço de transporte e, apesar do custo associado, sua utilização para o transporte de cargas está em constante aumento. Caracteriza-se pela alta rapidez, mas o tempo de entrega não é diretamente proporcional à velocidade do avião (não é um serviço de porta-a-porta, existe o tempo do embarque e o período em que a aeronave fica taxiando). Vale lembrar que é um modal de transporte que é afetado diretamente pelas condições climáticas. Por se tratar de um serviço de transporte considerado nobre sua qualidade é superior.

**Dutoviário:** Segundo Ballou (2001), é um modal limitado quanto à capacidade e faixa de serviços. Quanto à consistência pode-se considerar altíssima e requer apenas uma manutenção preditiva para assegurar esta confiabilidade. Sua velocidade de transporte é baixa.

Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres, o transporte Dutoviário pode ser dividido em:

- **Oleodutos**, cujos produtos transportados são, em sua grande maioria: petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, álcool, GLP, querosene e nafta, entre outros.
- **Minerodutos**, cujos produtos transportados são: Sal-gema, Minério de ferro e Concentrado Fosfático.
- **Gasodutos**, cujo produto transportado é o gás natural.

#### 2.1.4 Modal Ferroviário

Segundo Ballou (2001), “a ferrovia é basicamente um transportador de longo curso e um movimentador lento de matéria prima”. Percebemos que além de transportador de matéria prima (carvão, bauxita e minérios) este modal também é especializado no transporte de produtos manufaturados de baixo valor agregado (produtos siderúrgicos, canos). Já são encontrados serviços especializados de transporte por meio de ferrovia como, por exemplo, transporte em vagões climatizados (para perecíveis) e com baixo impacto no produto (que permite o transporte de produtos com alta tecnologia).

Preferencialmente, é utilizado o serviço de carga completa com grandes volumes, o que diminui o impacto do preço do transporte no custo unitário do produto.

#### 2.1.4.1 Breve Histórico

As ferrovias surgiram nas regiões carboníferas da Inglaterra, que já tinham seus “wagon-ways”, vias primitivas de madeira bruta, sobre as quais rodavam com tração animal vagonetes com carvão mineral, e quando possível com os trabalhadores das minas. A finalidade da via era evitar a formação de canaletas pelas rodas, com conseqüente atolamento nas chuvas. Instalações deste tipo proliferaram por toda Europa mineira, desde o século XVI. Coube neste caso às minas norte-americanas a introdução dos trilhos metálicos, e a das rodas com frisos duplos para reforçar a segurança do movimento, já no século XVIII. Além da permanência operativa do transporte ferroviário frente às variáveis meteorológicas (daí o termo *via permanente*), reduzia-se o atrito externo e conseqüentemente o gasto de energia de tração, que era animal na época anterior às locomotivas a vapor.

A mudança da tração animal por um mecanismo gerador de energia seguiu igualmente uma trajetória de séculos, que se inicia conceitualmente com a “pilha eólica” de Herom de Alexandria, no século II antes de Cristo, passa bem mais tarde pelo italiano Porta (1601) o holandês Huygens (1680) e no alvorecer do século XVIII o francês Papin e sua marmitta térmica.

Coube ao escocês James Watt, depois de 11 anos de tentativas, montar a primeira máquina fixa eficaz a vapor, em 1775. Murdock, assistente de Watt, em 1784, construiu uma locomotiva a vapor, à qual se seguiram vários outros inventores com consecutivos aperfeiçoamentos, como a locomotiva de cremalheira de Blenkinsop em 1811, seguida da de Hedley de simples aderência.

Em 1815, George Stephenson, baseado nas experiências de Hedley, teve seu primeiro êxito na construção de locomotivas a vapor. Em 1825, na linha de 25 km construída entre Stockton e Darlington, Stephenson ganhou o concurso em relação a duas outras da época e lançou o primeiro serviço comercial de passageiros. Mais tarde, com a loco a vapor denominada “Rocket”, conseguiu-se rebocar até 60 toneladas, podendo transportar cargas

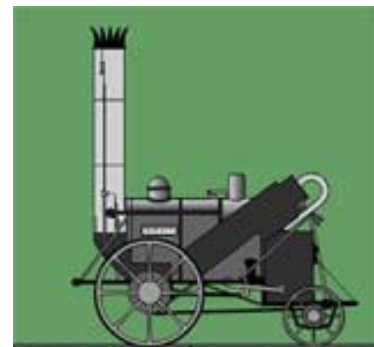


Figura 1 – Locomotiva Rocket  
Fonte: [www.bbc.co.uk](http://www.bbc.co.uk)

comerciais.

Desde então houve um contínuo progresso tanto na construção de vias, mais sólidas e de material rodante, como nas locomotivas, com uso de outras formas de energia, como, óleo diesel e eletricidade, esta última primeiramente em corrente contínua que evoluiu de 600 a 3.000 volts, e atualmente com corrente alternada monofásica de 25.000 volts. Igualmente se desenvolveu o material rodante tracionado, tanto os *carros* para passageiros, como os *vagões* para cargas. Com



Figura 2 – Locomotiva Diesel  
Fonte: www.ge.com

o crescente número de trens circulando surgiram os primitivos sistemas de controle semafórico e telegráfico, até os modernos sistemas automatizados de controle total dos trens e de sua movimentação em amplas extensões de território, inclusive com uso de satélites. Para servir de terminal a estas composições atuais se construíram tanto grandes estações para passageiros, como imensos pátios automatizados para carga e descarga.

A ferrovia é hoje, em seus segmentos desenvolvidos, uma aplicação avançada da automação, com tecnologias de ponta, como comunicação por fibra ótica, controle por computador interno e de operação, e rastreamento das composições e das cargas por satélite.

#### 2.1.4.2 Elementos de uma Ferrovia

Seguem abaixo algumas definições segundo Bustamante (2005):

##### Via permanente

A *via* na ferrovia é denominada de *via permanente*, pela razão histórica de ter sido o primeiro e então o único modal a manter o transporte terrestre em operação em época chuvosa, no século XIX. Decompõe-se em três partes complementares, a saber:

**Infra-estrutura:** compreende essencialmente as ações de terraplenagem, incluindo leito, subleito e camadas superiores. Sua função é oferecer maior capacidade de suporte, e implantar obras de arte correntes (bueiros, pontilhões, drenos, etc.) e especiais (pontes, viadutos, túneis, contenções, etc.)

**Superestrutura:** se destina a assegurar o rolamento fácil e seguro dos veículos, bem como a distribuição de suas cargas sobre a infra-estrutura de forma a evitar pressões excessivas, além ainda de auxiliar a drenagem superficial. Constitui-se de *lastro, dormentes, trilhos e fixação*.

O lastro, normalmente formado por brita, tem uma seção transversal trapezoidal, executando três funções principais: manutenção do traçado, transmissão atenuada das cargas dos trens para as camadas inferiores do pavimento e drenagem superficial. Existem trechos modernos de alta velocidade em que o lastro vem sendo substituído por lajes de concreto.



Figura 3 – Utilização de concreto na superestrutura ferroviária.

Os dormentes têm por finalidade a manutenção da *bitola* (distância entre as partes internas do *boleto* dos trilhos, sendo bolete a parte superior dos trilhos, que estabelece os contatos no sentido vertical e horizontal com as rodas dos veículos). Asseguram também a melhor distribuição das cargas das rodas no sentido transversal, e a boa inserção do conjunto com os trilhos no lastro, para evitar o deslocamento do traçado. Podem ser de diferentes materiais, como madeira, o mais comum, concreto, em crescente participação, aço, e plástico. A bitola constitui a principal característica da via permanente de uma ferrovia. A normal tem 1,435 m, as largas, maiores que a normal são de 1,567 ou 1,600m e as estreitas menores que a normal, sobressaindo por sua extensão no Terceiro Mundo, em especial a métrica (1,000 m).

Os trilhos, de aço carbono ou de ligas especiais de aço, são basicamente a superfície de rolamento das rodas, o que se traduz por um atrito baixo; fixam o traçado e ainda distribuem as cargas no sentido longitudinal.

A fixação é o modo como os trilhos são presos aos dormentes, podendo ser *rígida* ou *elástica*. A rígida busca impedir qualquer movimento do trilho em relação ao dormente, sendo normalmente formada por uma placa de apoio perfurada, por onde pregos de linha ou parafusos passam para penetrar nos dormentes. A elástica permite uma oscilação vertical controlada do trilho, aliviando a ação cortante sobre os dormentes.

**Obras complementares:** englobam itens diversos relacionados à via, como cercas, gramagem de taludes, colocação dos marcos quilométricos e de amarração de curvas, etc.

## **Material Rodante**

Os *veículos* nas ferrovias são chamados de *material rodante*, se subdividindo em dois grandes grupos conforme definição a seguir:

**Material rodante de tração:** O material rodante de tração é constituído por *locomotivas*, e *automotrizes*. Os primeiro serve apenas para movimentar o material rebocado; já o segundo tem capacidade própria de levar passageiros e cargas, além de poder rebocar outros veículos leves de mesma finalidade.

**Material rodante rebocado:** O material rebocado se divide em *carros* para passageiros e *vagões* para carga.

## **Terminais**

Os *terminais* são os pontos de acessibilidade ao modal, onde os *trens* são compostos, manobrados, carregados e/ou descarregados, revisados, ou simplesmente parados por razões operacionais, como em cruzamentos entre trens de sentidos opostos. Podem ser extremos ou intermediários, conforme sua situação em relação aos trechos da via.

## **Sistemas de Controles Ferroviários**

Os *controles* são responsáveis normalmente por sistemas de *sinalização*, *telecomunicações* e de *licenciamento* (permissão de movimento), que cada dia ficam mais interligados e coordenados computacionalmente, chegando-se ao controle total dos trens, inclusive em termos de velocidade, frenagem e dirigibilidade espacial. Novas tecnologias vêm se desenvolvendo em termos de aplicação prática, seja pelo uso intensivo da Automação, tornando os trens tradicionais de carga ou de passageiros totalmente automatizados.

## 2.2 Teoria de Filas

### 2.2.1 Introdução

Todas as pessoas até certo ponto detêm um conhecimento empírico do fenômeno de filas uma vez que é um acontecimento inerente à atividade humana. Enfrentamos filas nos supermercados, nas estações de ônibus, para ligarmos para centrais de atendimento, entre outras. Cabe ressaltar também que não só as pessoas lidam com filas, os produtos em uma linha produção, por exemplo, estão também sujeitos a este tipo de fenômeno. Além disso, as filas podem ser abstratas, tais como enfrentam os dados esperando espaço na memória dos computadores, como também podem ser organizadas de forma não “enfileirada” como as pessoas esperando para serem atendidas em um consultório médico.

Desta forma, segundo Sinay (2005) um sistema de filas é qualquer processo onde os usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, se for necessário, saindo do sistema assim que o serviço é completado. Essa espera acontece quando a demanda é maior do que a capacidade de atendimento oferecido, em termos de fluxo.

O grande problema das filas é que, quando estamos falando de empresas que prestam serviços, sua ocorrência acarreta em insatisfação para o cliente que acaba retornando o prejuízo para o fornecedor do serviço. Por outro lado, as filas em linhas de produção são responsáveis pelo aumento da parcela de tempo do ciclo que não agrega valor ao produto. Por isso, o gerenciamento dos sistemas de processamento de fluxo, de sua capacidade e das filas que eventualmente sejam formadas é uma parte fundamental da determinação do nível de serviço que uma unidade produtiva oferece (CORREA, 2004).

A **Teoria de Filas** é um método analítico que tem como objetivo determinar e avaliar as medidas de desempenho de um sistema que expressam sua produtividade/operacionalidade. Entre essas medidas podem-se citar:

- ⇒ número de elementos na fila;
- ⇒ tempo médio de espera pelo atendimento;

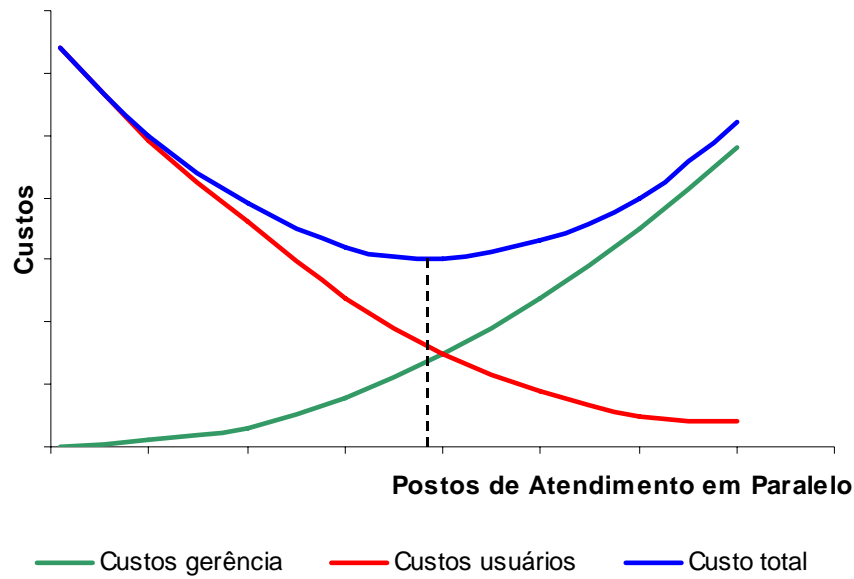
- ⇒ tempo médio de atendimento;
- ⇒ utilização dos servidores.

Podemos perceber a importância do conhecimento destas medidas uma vez que elas auxiliam nas tomadas de decisão da companhia fornecendo informações estratégicas sobre o sistema.

### **2.2.2 Objetivos da Teoria de Filas**

As decisões a serem tomadas a partir das informações medidas de desempenho fornecidas pela Teoria de Filas podem ser vistas sob duas óticas distintas: do fornecedor do serviço e do usuário. Para o fornecedor do serviço os indicadores importantes são *utilização dos servidores* e *tempo médio de atendimento* que traduzem o desempenho do serviço. Já para o usuário/cliente o que importa é o *número médio de clientes na fila*, *tempo médio de espera pelo atendimento* e *velocidade do atendimento*. Pode acontecer ainda de dentro de alguns grupos destes existirem interesses distintos: um cliente preocupa com tempo que ele ficará no sistema e outro com a probabilidade de ele ficar no sistema mais do que x minutos. Cabe lembrar que no caso de filas em linhas de produção, não existe esta distinção entre cliente e fornecedor uma vez a própria linha fornece os produtos para as máquinas (servidores) que fazem parte do seu sistema e os recebe de volta. Ou seja fornecedores e clientes são representados pela mesma figura.

Tomar decisões baseado somente em uma das óticas pode ocasionar em perdas para os envolvidos. Sendo assim, o grande objetivo dos gestores quando na tomada das decisões é buscar um ponto de equilíbrio (ver gráfico 2) de tal forma, que as receitas da empresa sejam crescentes a longo prazo. Segundo Sinay (2005), o correto dimensionamento do serviço no que se refere ao número de postos de atendimento e à velocidade de processamento é essencial para se manter um equilíbrio entre o capital disponibilizado no sistema e o nível de serviço / retornos pretendidos.

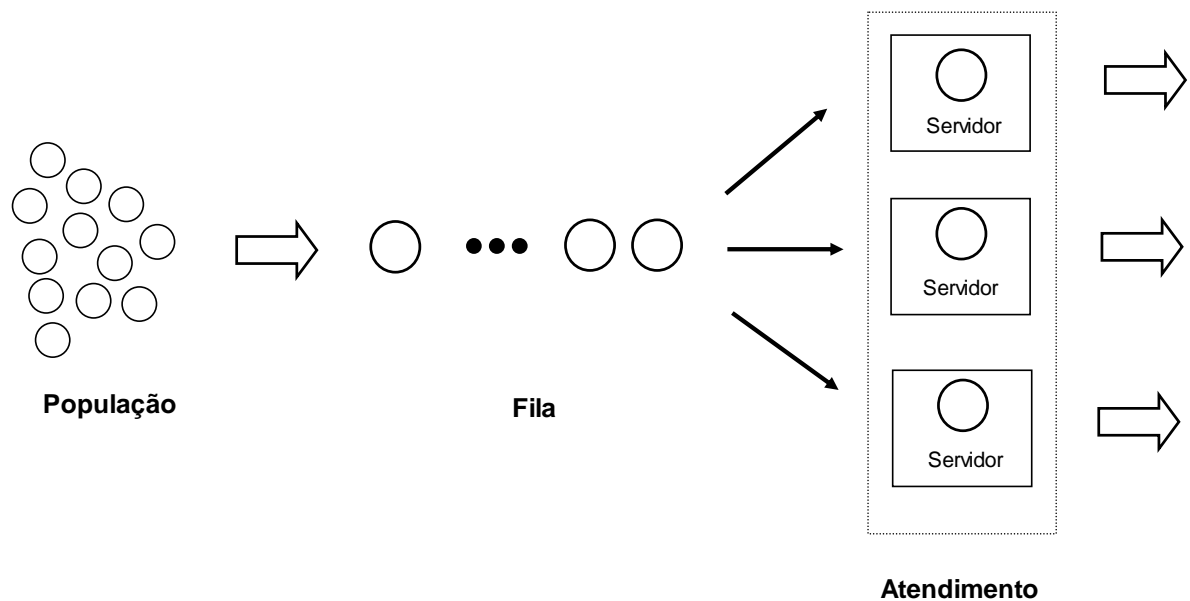


**Gráfico 2 – Custos dos usuários e da gerência em função do número de postos de atendimento**  
 fonte: Sinay (Adaptado) (2005)

Como podemos perceber no gráfico 2, com o aumento do número dos postos de atendimento em paralelo os custos decrescem para os usuários do sistema ocasionado em maior satisfação para o cliente. Todavia, caso esses custos sejam incrementados à formação do preço do produto e repassados para os clientes eles podem inviabilizar seu valor no mercado. Por outro lado, uma menor quantidade de postos de atendimento em paralelo reduz os custos para a empresa, mas a partir de um determinado nível pode causar insatisfação para os usuários deste sistema que naturalmente procurarão um serviço concorrente. Sendo assim, torna-se necessário a modelagem da curva de custo total. De posse dos parâmetros desta curva, o gestor deve modelar seu sistema de tal forma que o custo total seja mínimo. Este é o ponto de equilíbrio.

### 2.2.3 Elementos de uma Fila

Um sistema de fila é formado por uma população de onde surgem os clientes ou produtos que formam uma fila aguardando para serem atendidos pelos servidores.



**Figura 4 – Elementos de uma fila**  
 Fonte: Prado, (2004)

Veremos a seguir as principais características de uma fila:

### **Clientes e tamanho da população**

Um cliente é proveniente de uma população que pode ser de fonte finita ou infinita. Dizemos que uma população é infinita quando ela é grande ao bastante ao ponto de um de seus elementos ingressarem no sistema de filas e ela não ser afetada por isso. Como exemplo podemos citar uma população de onde são originados clientes que ingressam em uma agência bancária. No caso de uma população finita, ela é pequena o suficiente tal que a saída de um elemento da população fonte faça diferença. Como exemplo deste tipo de população, podemos citar uma mineração, na qual um silo carrega de minério os trens que chegam. Se existem 5 trens e, se ocorrer de todos eles estarem na fila do silo, então não chegará nenhum outro caminhão.

Um outro ponto importante a ser analisado é se os usuários chegam individualmente ou em grupos ao sistema. Como exemplo do primeiro caso, podemos citar pessoas chegando a uma farmácia e do segundo vagões chegando a um ponto de descarga.

**Processo de Chegada ou Modelo de Chegada:**

O processo de chegada define como os clientes ingressam no sistema. De acordo com o modelo de chegada ele pode ser classificado como determinístico ou estocástico. Ele é dito ser determinístico quando se conhece exatamente o número de chegadas e os instantes de tempo que elas ocorrem. Um modelo é estocástico quando as chegadas ocorrem de forma aleatória obedecendo um modelo de distribuição de probabilidade.

O processo de chegadas geralmente é especificado pela taxa média de chegadas e o intervalo médio de chegadas no sistema.

**Processo de Atendimento ou Modelo de Serviço**

O processo de atendimento é especificado pelo tempo médio de atendimento e taxa de atendimento que na verdade representam a velocidade que o servidor do sistema está realizando o atendimento. Seu comportamento é análogo ao processo de chegadas.

**Número de servidores**

Representa a quantidade de locais para a realização do atendimento. Pode ser um número finito no caso de guichês de atendimento ou um praça de pedágio ou infinito nos atendimentos do tipo “self service” em que o próprio cliente que realiza seu atendimento.

**Capacidade do sistema**

Esta característica que indica o número máximos de usuários que o sistema comporta, tanto clientes em atendimento quanto em fila. Esta capacidade pode ser finita como no caso de peças aguardando para serem torneadas em uma linha de produção como também infinita no caso de trens aguardando na ferrovia para ingressarem no porto. No caso de sistemas com capacidade finita, caso ela seja atingida, novos clientes serão rejeitados em virtude da incapacidade de atendimento.

**Disciplina das filas**

Define a regra de atendimento dos usuários no sistema. Podem ser dos seguintes tipos:

FIFO ou PEPS (“First in First Out” ou “Primeiro a Entrar Primeiro a Sair”): os usuários são atendidos de acordo com a ordem de chegada isto é, atendimento de acordo com a ordem de chegada.

LIFO ou UEPS (“Last in First Out” ou “Último a Entrar Primeiro a Sair”): isto é, quem chega por último é o primeiro a ser atendido. É um tipo de regra de atendimento mais raro de ser encontrado mas é fácil de imaginarmos seu funcionamento quando pensamos em empilhamento de produtos em um navio, por exemplo.

PRI (“priority service”): os atendimentos acontecem de acordo com uma prioridade estabelecida. Como exemplo, podemos citar a entrada de mulheres grávidas em um ônibus ou trânsito de cargas para navios com vencimento do seu tempo para recebimento de cargas (*dead line*).

SIRO (“service in random order”): é o caso em que os atendimentos ocorrem de forma aleatória. Exemplo: contemplação de consórcios.

## 2.2.4 Medidas de Desempenho

Neste item serão apresentadas as principais medidas de desempenho que podem ser obtidas a partir da Teoria de Filas. Ou seja, a partir destes indicadores é possível conhecer as principais características do sistema estudado.

$\lambda$ : taxa de chegada

$\mu$ : taxa de atendimento

$1/\lambda$ : intervalo de chegadas

$1/\mu$ : tempo médio de atendimento

$L_q$ : número médio de usuários na fila

$L$ : número médio de usuários no sistema

$W_q$ : tempo médio de espera na fila

$W$ : tempo médio de espera no sistema

$c$ : número de atendentes

$\rho$ : taxa de utilização dos atendentes ( $\rho = \lambda / (c \cdot \mu)$ )

$i$ : Intensidade de tráfego ( $i: \lambda/\mu$ )

### 2.2.5 Notação Kendall

A notação Kendall é utilizada para descrever as principais características do sistema de fila. Ela possui este nome pois foi proposta por David Kendall em 1953. Sua notação é da seguinte forma:  $A/B/c/K/Z$

Onde:

- A: descreve a distribuição de chegada;
- B: descreva a distribuição de atendimento;
- c: número de servidores;
- K: capacidade máxima do sistema;
- Z: disciplina da fila.

Cabe lembrar que A e B descrevem distribuições de probabilidade e dependem do tipo de distribuição que referem:

- M: Exponencial
- $E_k$ : Distribuição Erlang do tipo K.
- G: Distribuição Geral

Por exemplo, uma notação  $M/E_2/2/\infty/FIFO$  significa que a distribuição de probabilidades de chegada sucessivas é do tipo Exponencial, as probabilidades de atendimento são Erlang do tipo 2, existem dois servidores de atendimento em paralelo, o sistema possui capacidade infinita e a disciplina de atendimento é FIFO. Quando se omitem os termos m e Z quer dizer que o sistema possui capacidade infinita e a disciplina de atendimento é FIFO.

### 2.2.6 Modelos de Filas Básicos

#### 2.2.6.1 Modelo $M/M/1/\infty/FIFO$

Neste modelo, tanto os intervalos entre chegadas quanto os tempos de atendimento são exponenciais. É o caso em temos apenas um servidor para realizar os

atendimentos, que ocorrem de acordo com a ordem de chegada e a capacidade do sistema é dita ser infinita.

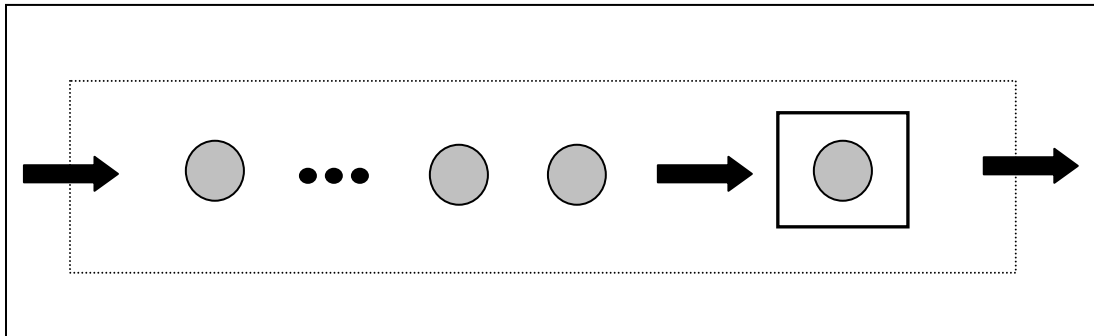


Figura 5 – Modelo de Fila M/M/1  
Fonte: Prado, (2004)

### Principais indicadores de desempenho do Modelo

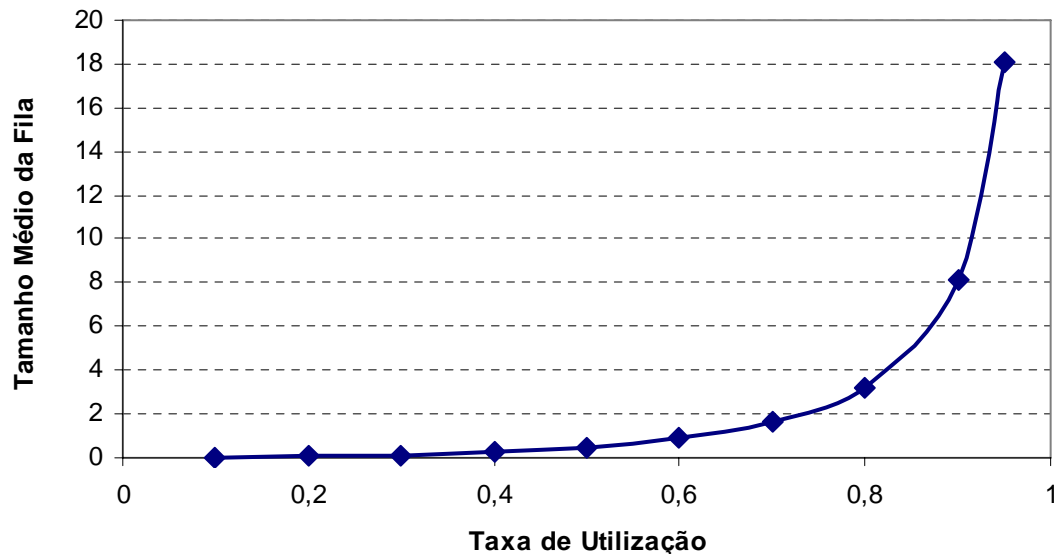
Nome	Descrição	Fórmula
$\rho$	Taxa de utilização	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
$P_0$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema	$P_0 = 1 - \rho$
$P_n$	Probabilidade de n usuários no sistema	$P_n = \rho^n (1 - \rho)$
L	Número médio de usuários no sistema	$L = \frac{\rho}{(1 - \rho)}$
$L_q$	Número médio de usuários na fila	$L_q = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)}$
W	Tempo médio de esperado sistema	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$
$W_q$	Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$
$W_q(t)$	Função de probabilidade acumulada de tempo médio de espera na fila	$W_q(t) = P(T_q \leq t) = 1 - \rho e^{-(\mu - \lambda)t}$
W(t)	Função de probabilidade acumulada de tempo médio de espera no sistema	$W(t) = 1 - e^{-(\mu - \lambda)t}$

Tabela 2 – Principais indicadores de desempenho do modelo M/M/1/∞/FIFO  
Fonte: Sinay, (2005)

Cabe lembrar que, conforme cita Prado (2005), sistemas estáveis exigem um valor de  $\lambda$  menor que  $\mu$  o que é equivalente a dizer uma taxa de utilização  $\rho < 1$ . Isso acontece pois, quando  $\rho$  tende para 1, a fila tende a aumentar infinitamente, conforme demonstração a seguir:

$$L = \frac{\rho}{(1-\rho)} \quad (2)$$

Pela fórmula, podemos verificar que se  $\rho$  tender para 1, L tende para infinito.



**Gráfico 3 – Tamanho médio da fila em função da taxa de utilização**  
Fonte: Prado, (2004)

Podemos concluir através do gráfico 3 que se temos um sistema saturado ( $\rho$  próximo de 1), basta dobrar a capacidade de atendimento ( $\mu$ ) para que  $\rho$  caia pela metade assumindo um valor menor do que 0,5 e então a fila sempre será menor do que 1. Vale contudo lembrar dos conceitos de custos gerenciais x custos para os clientes já comentados no item 2.2.2 deste trabalho.

### 2.2.6.2 Modelo M/M/1/K/FIFO

Como no caso anterior, os tempos entre chegadas sucessivas e os tempos de atendimento seguem distribuições exponenciais de parâmetros  $\lambda$  e  $\mu$  respectivamente. Da mesma forma, trata-se de um modelo para um único servidor que realiza os atendimentos de acordo com a ordem de chegada. A diferença em relação ao modelo anterior é que neste caso o sistema possui uma capacidade finita. Isso implica que a taxa de ingresso ao sistema,  $\lambda_n'$  difere da taxa de chegada quando a capacidade máxima do sistema é atingida. Neste caso, as taxas de ingresso e de atendimento são dadas por:

$$\lambda_n' = \begin{cases} \lambda, & \forall 0 \leq n \leq K \\ 0, & n > K \end{cases}$$

$$\mu_n = \mu$$

onde,  $n$  = número de usuários no sistema

#### Principais indicadores de desempenho do Modelo

Nome	Descrição	Fórmula
$\rho$	Taxa de utilização	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
$P_0$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema	$P_0 = \frac{1}{K+1} \xrightarrow{se} \rho = 1$ $P_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \xrightarrow{se} \rho \neq 1$
$P_n$	Probabilidade de $n$ usuários no sistema	$P_n = \frac{1}{K+1} \xrightarrow{se} \rho = 1$ $P_n = \frac{(1-\rho)\rho^n}{1-\rho^{K+1}} \xrightarrow{se} \rho \neq 1$
$L$	Número médio de usuários no sistema	$L = \frac{K}{2} \xrightarrow{se} \rho = 1$

		$L = \frac{[1 + K\rho^{K+1} - \rho^K(K+1)]}{(1-\rho)(1-\rho^{K+1})} \xrightarrow{se} \rho \neq 1$
$L_q$	Número médio de usuários na fila	$L_q = L - 1 + P_0$
$W$	Tempo médio de esperado sistema	$W = \frac{1}{\lambda(1-P_K)}$
$W_q$	Tempo médio de espera na fila	$W_q = W - \frac{1}{\mu}$
$W_q(t)$	Função de probabilidade acumulada de tempo médio de espera na fila	$W_q(t) = 1 - \sum_{n=0}^{K-2} q_{n+1} \sum_{i=0}^n \frac{(ut)^i}{i!} e^{-\mu t}$
$q_n$	Série $P_n$ truncada devido à restrição de capacidade do sistema	$q_n = \frac{P_n}{1 - P_K}$

Tabela 3 – Principais indicadores de desempenho do modelo M/M/1/K/FIFO  
 Fonte: Sinay, (2005)

### 2.2.6.3 Modelo M/M/c/∞/FIFO

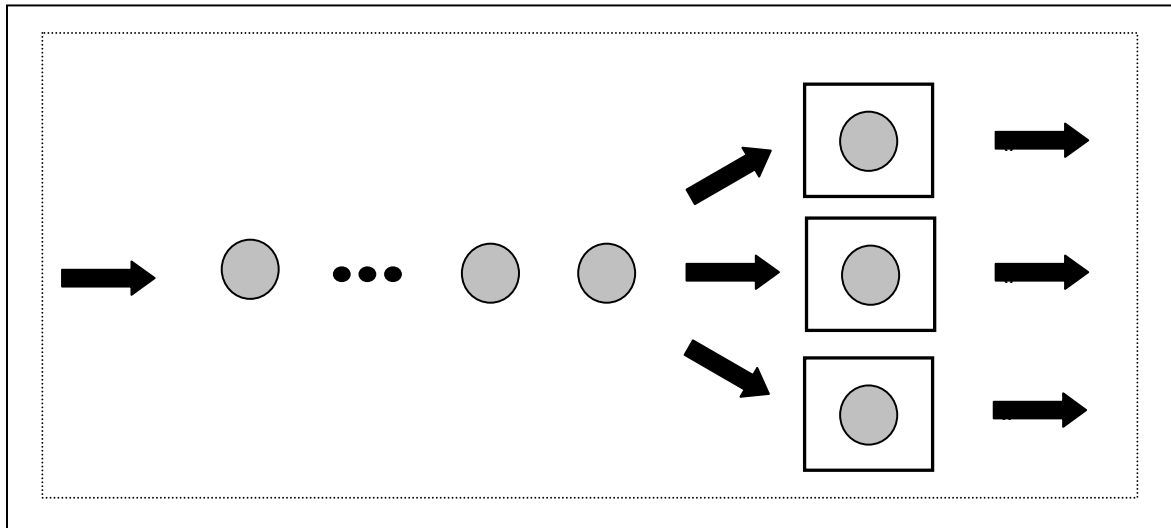


Figura 6 - Modelo de Fila M/M/1  
 Fonte: Prado, (2004)

Neste modelo, os intervalos entre chegadas sucessivas ( $\lambda$ ) seguem uma distribuição exponencial. Os atendimentos são realizados por  $c$  servidores com tempo médio de duração ( $\mu$ ) que também seguem distribuições exponenciais. Neste caso, temos que:

$$\lambda_n = \lambda, \forall n \geq 0$$

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & \text{se } 1 \leq n < c \\ c\mu, & \text{se } n \geq c \end{cases}$$

### Principais indicadores de desempenho do Modelo

Nome	Descrição	Fórmula
$\rho$	Taxa de utilização do sistema	$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$
$r$	Relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento	$r = \frac{\lambda}{\mu}$
$P_0$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema	$P_0 = \left( \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{cr^c}{c!(c-r)} \right)^{-1}$
$P_n$	Probabilidade de n usuários no sistema	$P_n = P_0 \frac{r^n}{n!} \xrightarrow{se} 1 \leq n \leq c$ $P_n = P_0 \frac{r^n}{c^{n-c} c!} \xrightarrow{se} n \geq c$
$L$	Número médio de usuários no sistema	$L = r + \left[ \frac{r^{c+1}c}{c!(c-r)^2} \right] P_0$
$L_q$	Número médio de usuários na fila	$L_q = \frac{P_0 cr^{c+1}}{c!(c-r)^2}$
$W$	Tempo médio de esperado sistema	$W = \frac{1}{\mu} + \left[ \frac{r^c \mu}{(c-1)!(c\mu - \lambda)^2} \right] P_0$
$W_q$	Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{r^c \mu}{(c-1)!(c\mu - \lambda)^2} P_0$
$W_q(t)$	Função de probabilidade acumulada de tempo médio de espera na fila	$W_q(t) = 1 - P_0 \frac{r^c}{c!(1-\rho)} e^{-(c\mu-\lambda)t}$

Tabela 4 - Principais indicadores de desempenho do modelo M/M/c/∞/FIFO  
Fonte: Sinay, (2005)

#### 2.2.6.4 Modelo M/M/c/K/FIFO

Neste modelo, temos que os tempos entre chegadas e os tempos de atendimentos seguem distribuições exponenciais. Esses atendimentos são realizados por  $c$  servidores que obedecem a política de atendimento de acordo com a chegada. Este modelo possui características marcantes dos modelos **M/M/1/K/FIFO** e **M/M/c/∞/FIFO**. Ou seja, capacidade finita do sistema e quantidade de servidores diferente de 1. Desta forma, a taxa de ingresso ao sistema  $\lambda_n'$ , difere da taxa de chegada quando a quantidade de usuários no sistema é maior ou igual do que a capacidade do mesmo ( $n \geq k$ ) tendo em vista sua limitação. As taxas de ingresso e atendimento são dadas por:

$$\lambda_n' = \begin{cases} \lambda, & \forall 0 \leq n < K \\ 0, & n \geq K \end{cases}$$

e

$$\mu_n = \begin{cases} n\mu, & \text{se } 1 \leq n < c \\ c\mu, & \text{se } c \leq n \leq K \end{cases}$$

#### Principais indicadores de desempenho do Modelo

Nome	Descrição	Fórmula
$\rho$	Taxa de utilização do sistema	$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$
$r$	Relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento	$r = \frac{\lambda}{\mu}$
$P_0$	Probabilidade de nenhum usuário do sistema	$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c (K - c + 1)}{c!} \right]^{-1} \xrightarrow{se} \frac{r}{c} = 1$

		$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^c \left[ 1 - \left( \frac{r}{c} \right)^{K-c+1} \right]}{c! \left( 1 - \frac{r}{c} \right)} \right]^{-1} \xrightarrow{se} \frac{r}{c} \neq 1$
$P_n$	Probabilidade de n usuários no sistema	$P_n = P_0 \frac{r^n}{n!} \xrightarrow{se} 1 \leq n \leq c-1$ $P_n = P_0 \frac{r^n}{c^{n-c} c!} \xrightarrow{se} c \leq n \leq K$
$L$	Número médio de usuários no sistema	$L = L_q + c + \sum_{n=0}^{c-1} (n-c) P_n$
$L_q$	Número médio de usuários na fila	$L_q = \frac{P_0 r^c (K-c+1)(K-c)}{c!} \xrightarrow{se} \frac{r}{c} = 1$ $L_q = \frac{P_0 r^{c+1}}{c! c} \frac{\left[ \left( \frac{r}{c} - 1 \right) (K-c+1) \left( \frac{r}{c} \right)^{K-c} + 1 - \left( \frac{r}{c} \right)^{K-c+1} \right]}{\left( 1 - \left( \frac{r}{c} \right) \right)^2} \xrightarrow{se} \frac{r}{c} = 1$
$W$	Tempo médio de esperado sistema	$W = \frac{L}{\lambda(1-P_K)}$
$W_q$	Tempo médio de espera na fila	$W_q = \frac{L_q}{\lambda(1-P_K)}$

Tabela 5 - Principais indicadores de desempenho do modelo M/M/c/K/FIFO

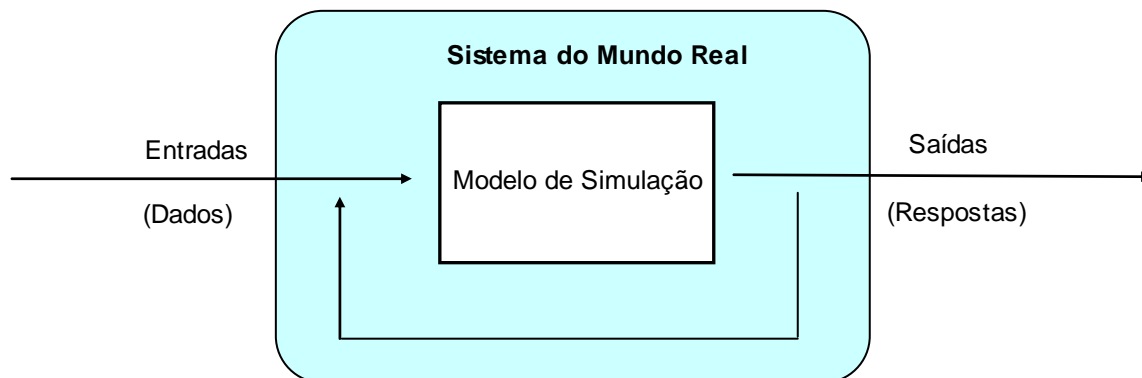
Fonte: Sinay, (2005)

## 2.2.7 Uso de Simulação para Análise de Filas

### 2.2.7.1 Introdução

Prado (2004) define simulação computacional como sendo a técnica de solução de problemas pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema

utilizando para isso de computadores. Já Freitas (2001), afirma que simulação consiste na utilização de técnicas matemáticas com o auxílio de computadores, para imitar as operações e sistemas do mundo real. Existe inúmeras definições para simulação mas Pegden (1990) cita uma definição mais completa quando diz “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.



**Figura 7 – Representação esquema de um modelo de sistema**  
 Fonte: Freitas (adaptado) (2001)

Um das grandes vantagens da simulação é que ela permite analisar um sistema sem afetar o modelo que está sendo estudado. Além disso, também é possível analisar sistemas que ainda não existem tornando-se assim possível verificar seus impactos e seu modo de funcionamento antes mesmo de sua operação economizando tempos e recursos financeiros. Todavia, cabe lembrar que a simulação ao contrário dos modelos de otimização não busca uma solução ótima, mas sim busca reproduzir um modelo para que sejam feitas análises e subsidiem tomadas de decisão. Desta forma, segundo Freitas (2001) a demanda por uma simulação pode ser motivada pelos seguintes fatores: 1) O sistema real ainda não existe; 2) Realizar experimentações com o sistema real é oneroso e; 3) Em alguns casos, como por exemplo situações de emergência, realizar simulações com o sistema real torna-se inapropriado.

Devido a estes fatores que a simulação está cada vez mais sendo utilizada com uma ferramenta de suporte à decisão. Soma-se a isto a evolução que sofreram os

*softwares* nos últimos tempos, com a melhora da interface com o usuário, aliado ao crescente poder de processamento dos computadores atuais.

### **2.2.7.2 Utilização do Software Arena® para realização de Simulações**

Segundo Prado, (1999), o Arena® é um dos mais utilizados em todo o mundo, tanto por empresas como por universidades. No Brasil ele é o mais popular. O software Arena foi lançado pela Systems Modeling (USA) em 1992, utilizando a linguagem de programação Visual Basic da Microsoft. Por se tratar de um software computacional, um modelo do Arena executa sequencialmente e de maneira repetitiva um conjunto de instruções (FREITAS, 2001).

Na verdade o que um simulador computacional como o Arena faz é provocar alterações em alguns eventos do programa na medida em que o tempo progride, fazendo com que determinadas variáveis do programa que são responsáveis por informar a mudança nas condições do modelo sofram alterações.

Banks et. al. (1984) afirma que o Arena® trabalha com módulos interligados entre si em uma região denominada área de trabalho. Uma vez interligados, é possível que as entidades (objetos de interesse do sistema) percorram os módulos a partir de um determinado evento. Para facilitar a visualização e compreensão do modelo ao longo do seu desenvolvimento, a modelagem no Arena® é feita por meio da descrição do fluxograma da entidade ao longo do sistema. Cada módulo possui um conjunto específico de parâmetros que podem ser configurados de acordo com as especificações do modelo. Este tipo de interface permite que o projetista desenvolva um modelo sem a necessidade de conhecer a linguagem de programação SIMAN que o Arena® utiliza para a construção de modelos.

## Capítulo III – Estudo de Caso – MRS Logística

### 3.1 Descrição da Empresa

A MRS Logística é uma empresa do setor ferroviário que foi constituída em 1996 partir de uma concessão da Rede Ferroviária Federal S. A. para atuação na Malha Sudeste (antiga Superintendência Regional 3 - SR3). Os trechos que foram concedidos para a exploração do



Figura 8 – Mapa da malha ferroviária da MRS Logística S.A

Fonte: [www.mrs.com.br](http://www.mrs.com.br)

transporte ferroviário de cargas, estão distribuídos nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e são aqueles que pertenceram às antigas ferrovias, Estrada de Ferro Central do Brasil, nas linhas que ligam Rio de Janeiro a São Paulo e a Belo Horizonte, bem como a Ferrovia do Aço e aqueles pertencentes à Estrada de Ferro Santos-Jundiaí excluídas, em ambos os casos, as linhas metropolitanas de transporte de passageiros no Rio de Janeiro e em São Paulo, totalizando extensão de 1.674 km distribuídos.

A localização da empresa é considerada estratégica por estar em uma região que concentra aproximadamente 65% do produto interno bruto do Brasil e onde estão instalados os maiores complexos industriais do país. Além disso, a MRS possui acesso a portos importantes do Brasil como o porto de Sepetiba e o de Santos (o mais importante da América Latina).

Apesar de possuir uma carteira de clientes diversificada, os grandes volumes de produção da empresa estão concentrados no transporte de produtos para seus acionistas (ver figura 9).

Em decorrência deste fato, sua produção é fortemente impulsionada pelo transporte de cargas denominadas *Heavy Haul*

(aproximadamente 75% de sua produção) ou seja, Minério de Ferro para o Mercado Interno e Externo, Carvão, Coque de Petróleo e Bauxita. Apesar disso, a empresa vem crescendo seu volume no transporte de Cargas Gerais que são os *commodities*, produtos siderúrgicos, cimento, contêineres, entre outras. A produção da Companhia em 2005 foi de aproximadamente 108,1 milhões de toneladas, um crescimento aproximado de 10,2% em relação a 2004.

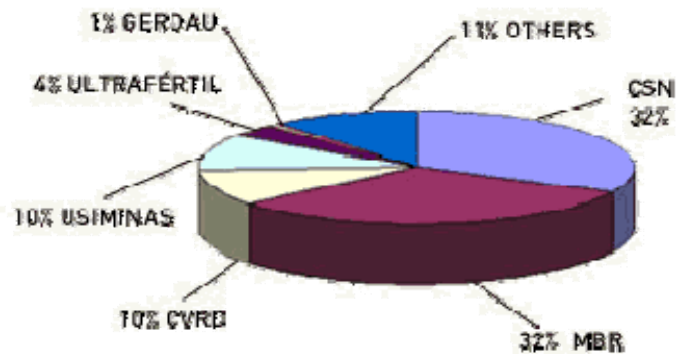


Figura 9 – Relação dos Acionistas – capital total  
fonte: www.mrs.com.br

### 3.2 Pátio Arará

#### 3.2.1 Breve descrição do Arará

O pátio do Arará (sigla FAR) é o responsável pelo acesso ferroviário em bitola larga (1,60m) ao Porto do Rio de Janeiro. Este pátio é operado pela MRS Logística e faz conexão com importantes terminais de carga e descarga viabilizando a importação e exportação de diversos produtos via ferrovia. Dentre os terminais atendidos pelo acesso ferroviário, podemos destacar como maiores operadores de carga:



Figura 10 – Foto do Porto do Rio de Janeiro

- **Operador:** Triunfo Operadora Portuária  
Principais produtos: Produtos Siderúrgicos e Gusa.

- **Operador:** Multitex Logística Integrada  
Principais produtos: Produtos Siderúrgicos.

- **Operador:** Petrolog Serviços e Armazéns Gerais  
Principais produtos: Produtos Siderúrgicos e Contêineres.



Figura 11 – Foto de operação no terminal da Petrolog no porto do Rio de Janeiro.

- **Operador:** Multiportos Operadora Portuária  
Principais produtos: Produtos Siderúrgicos.

- **Operador:** Multi-Rio Operações Portuárias (Multiterminais)  
Principais produtos: Contêineres.

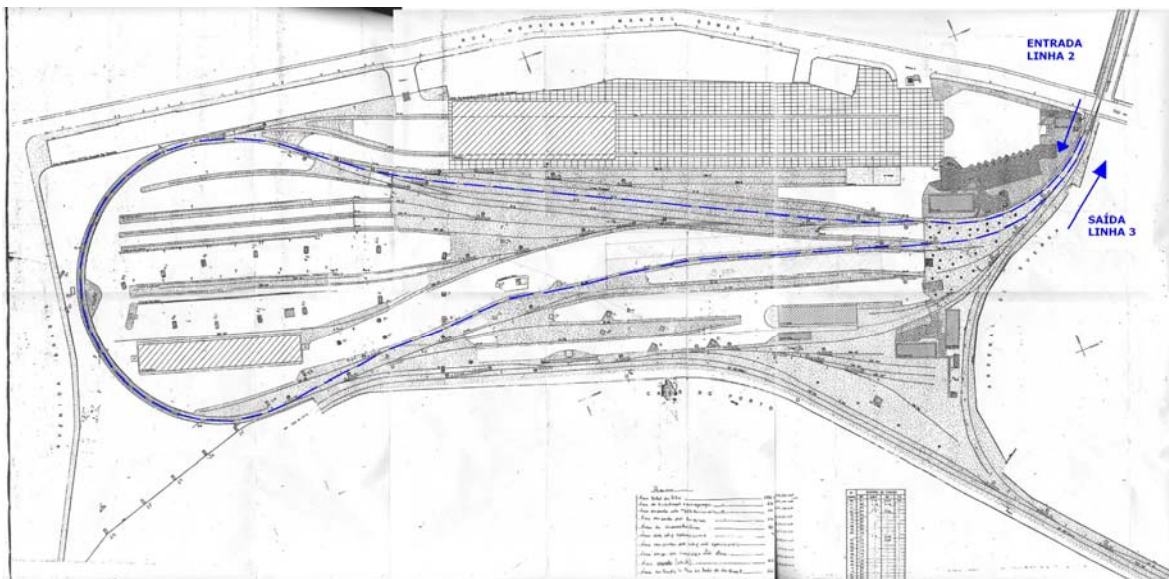
### 3.2.2 Acesso ao Pátio

Devido aos tipos de cargas operadas pelos terminais atendidos pelo pátio do Arará, o acesso ferroviário ao pátio é feito por trens de Carga Geral utilizando a própria malha da MRS (ver anexo I). A chegada ao Arará apresenta diversos problemas operacionais devido, principalmente, à cruzamentos com os trens de passageiros da Supervia e invasão das comunidades locais da faixa de domínio da MRS nas regiões próximas ao porto do Rio de Janeiro restringindo a velocidade de cruzeiro do trem nesta região.

O ingresso do trem no pátio se dá da seguinte forma: Caso haja disponibilidade de espaço nas linhas de manobra do Arará, o trem entra no pátio pela linha 2 (ver figura 12). Não havendo capacidade do pátio para recebimento do trem, ele fica aguardando em outro pátio pela malha da MRS até que possa ser recebido (percebe-se que este é um fator causador de filas). A partir daí, os vagões são manobrados nas linhas do pátio e levados aos respectivos terminais de destino. Caso o terminal não possa receber a carga, o vagão fica aguardando em uma das linhas do pátio diminuindo sua capacidade de manobra (outro gerador de filas). Após o vagão ser entregue ao terminal, a MRS aguarda

que ele seja carregado ou descarregado para então realizar a manobra de busca do vagão, formar o trem de trem de retorno e sair do pátio pela linha 3.

Desta forma, caso haja um desbalanceamento entre a taxa de chegada de blocos de vagões no pátio do Arará e sua capacidade de manobra, serão geradas filas. De forma análoga, não havendo capacidade de recebimento dos blocos de vagões nos terminais de destino, eles ocuparão o pátio do Arará diminuindo sua capacidade de recebimento de novos vagões. Resumindo: as filas podem ser geradas pelo pátio do Arará e pelos terminais de descarga.



**Figura 12 – Desenho Esquemático do Pátio do Arará**  
Fonte: MRS Logística

### 3.2.3 Problemas enfrentados pelo Arará

Com os crescentes volumes de transporte de Cargas Gerais pela MRS Logística, o pátio do Arará é um dos locais que mais está sendo impactado por essas mudanças. Atualmente o pátio é um dos maiores gargalos operacionais da Companhia por enfrentar um desequilíbrio entre a demanda e sua capacidade de produção. A restrição de capacidade se dá em virtude de falta de estrutura física e de pessoal e também devido a questões de limitações do layout do pátio. Cabe lembrar também que os problemas de invasão da faixa de domínio nas regiões de acesso ao porto e os cruzamentos com trens de passageiros também atuam como limitadores de capacidade do sistema.

### 3.3 – Dados Coletados

Para análise do sistema, foram coletados dados diretamente das bases de dados do Sislog, que é o sistema Logístico da MRS que concentra e operacionaliza as várias atividades referentes ao planejamento, execução e controle da Produção.

Foram coletados dados relativos a intervalos entre chegadas de blocos de vagões nos 5 principais terminais do Arará, os tamanhos desses blocos e os respectivos tempos de permanência no terminal. Os tempos de manobra de posicionamento e retorno desses vagões foram adotados como constantes de acordo com informação passada pela operação do pátio do Arará. As características da amostra estão de acordo com a tabela a seguir:

Terminal	Blocos	Vagões	Período de Coleta
Triunfo	480	12210	Junho a Novembro de 2005
Multitex	132	843	Junho a Novembro de 2005
Petrolog	269	2034	Junho a Novembro de 2005
Multiportos	88	506	Junho a Novembro de 2005
Multiterminais	136	938	Junho a Novembro de 2005

Tabela 6 – Características das amostras coletadas

Após a coleta dos dados eles foram lançados no Arena® para descobrir qual distribuição de probabilidade mais de adequava à amostra. A seguir o resumo dos resultados emitidos pelo Arena®. Ver no anexo II os gráficos das distribuições de probabilidades calculadas.

INTERVALO ENTRE CHEGADAS NOS TERMINAIS			
Terminal	Distribuição	Expressão	Erro Quadrado
Triunfo	Beta	$205 + 635 * \text{BETA}(0.878, 1.5)$	0,001542
Multitex	Beta	$455 + 2.85e+003 * \text{BETA}(0.81, 1.26)$	0,015274
Petrolog	Beta	$210 + 1.48e+003 * \text{BETA}(0.853, 1.43)$	0,006036
Multiportos	Exponencial	$585 + \text{EXPO}(1.19e+003)$	0,011369
Multiterminais	Weibull	$330 + \text{WEIB}(1.16e+003, 1.13)$	0,004289

Tabela 7 – Distribuição dos intervalos entre chegadas nos terminais

<b>TAMANHOS DOS BLOCOS DE VAGÕES</b>			
<b>Terminal</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Expressão</b>	<b>Erro Quadrado</b>
Triunfo	Beta	$7.5 + 37 * \text{BETA}(1.18, 1.25)$	0,003229
Multitex	Beta	$1.5 + 11 * \text{BETA}(0.967, 1.46)$	0,005711
Petrolog	Triangular	$\text{TRIA}(0.5, 1.17, 17.5)$	0,003437
Multiportos	Triangular	$\text{TRIA}(0.5, 7.67, 8.5)$	0,162591
Multiterminais	Beta	$0.5 + 13 * \text{BETA}(1.15, 1.37)$	0,007866

Tabela 8– Distribuição dos tamanhos dos blocos de vagões

<b>TEMPO DE TERMINAL</b>			
<b>Terminal</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Expressão</b>	<b>Erro Quadrado</b>
Triunfo	Gamma	$76 + \text{GAMM}(251, 0.889)$	0,001973
Multitex	Beta	$60 + 390 * \text{BETA}(0.578, 1.5)$	0,007789
Petrolog	Exponencial	$96 + \text{EXPO}(355)$	0,001657
Multiportos	Weibull	$51 + \text{WEIB}(143, 1.09)$	0,005443
Multiterminais	Exponencial	$39 + \text{EXPO}(222)$	0,002687

Tabela 9– Distribuição dos tempos de terminal

Podemos perceber que todas as distribuições de probabilidades sugeridas pelo Arena® apresentam um Erro Quadrado baixo tornando as expressões muito confiáveis para a representação da amostra.

### 3.4 – Modelagem do sistema

Os trens destinados ao pátio do Arará são formados por blocos de vagões agrupados por terminal de destino. Esses blocos de vagões chegam ao Arará a uma taxa  $\lambda_{ci}$  e são manobrados para serem entregues aos terminais a uma taxa  $\mu_{mi}$ . Dentro do terminal de descarga os blocos de vagões são descarregados com uma taxa  $\mu_{di}$  e então retornam para o pátio com uma taxa de retorno  $\lambda_{ri}$ . Finalmente, os vagões devolvidos pelo terminal são manobrados a uma taxa de  $\mu_{ri}$  e então os blocos de vagões formam um novo trem e saem do sistema. Podemos perceber que no modelo existem duas taxas de chegada: taxa de chegada dos vagões para descarga e taxa de chegada dos vagões devolvidos pelo terminal para o pátio após a descarga. Existem três taxas de atendimento: manobra dos vagões para serem posicionados para o terminal, descarga nos vagões e manobra dos vagões para formação do trem de retorno. A figura 13 ilustra o processo descrito.

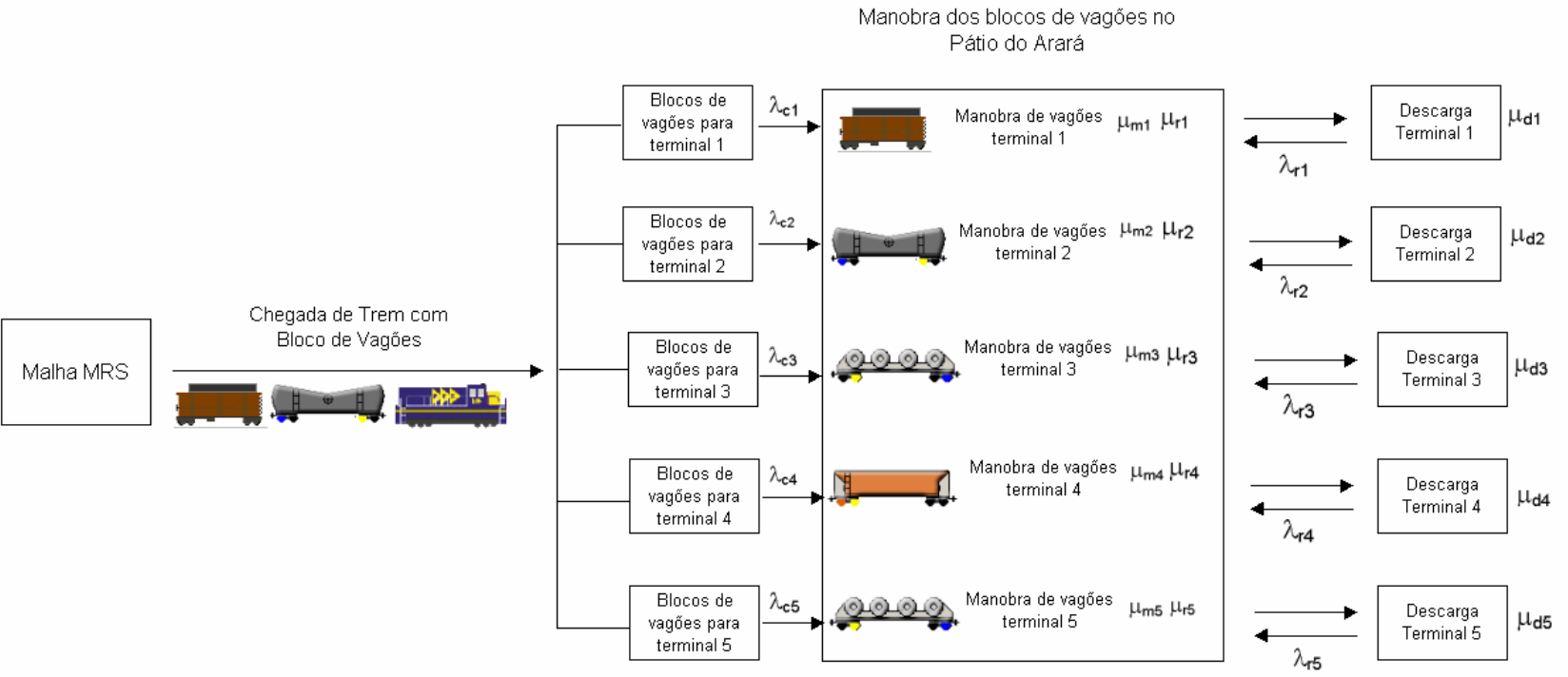


Figura 13 – Modelo do sistema do Pátio do Arará

Além dessas já características descritas, vale ressaltar que sistema possui teoricamente uma capacidade infinita pelo fato dos trens poderem formar filas ao longo da linha da MRS e a disciplina da fila é FIFO. Tendo as distribuições de probabilidade de chegada e atendimento (tabelas 7 e 9), o número de servidores, a capacidade do sistema e a disciplina de chegada, podemos representá-lo pelo modelo Kendall e verificar em qual modelo de fila o sistema se encaixa.

MODELOS DE FILAS - NOTAÇÃO KENDALL						
Local	Distribuição de Chegada	Distribuição de Atendimento	Número de Servidores	Capacidade do sistema	Disciplina da Fila	Modelo
Arará	Beta	Constante	1	Infinita	FIFO	Beta/Cte/1/∞/FIFO
Triunfo	Beta	Gamma	1	Infinita	FIFO	Beta/Gamma/1/∞/FIFO
Multitex	Exponencial	Beta	1	Infinita	FIFO	M/Beta/1/∞/FIFO
Petrolog	Beta	Exponencial	1	Infinita	FIFO	Beta/M/1/∞/FIFO
Multipostos	Exponencial	Weibull	1	Infinita	FIFO	M/Weibull/1/∞/FIFO
Multiterminais	Weibull	Exponencial	1	Infinita	FIFO	Weibull/M/1/∞/FIFO

**Tabela 10 - Modelos das Filas – Notação Kendall**

Como pode ser verificado, os modelos do sistema em questão não são exatamente como os modelos de filas básicos apresentados no capítulo 3 deste trabalho. A partir desta constatação, da verificação da variabilidade e complexidade do sistema, chegou-se a conclusão que a utilização de ferramentas de simulação com o auxílio do Arena® poderiam ser mais efetivas para o problema.

### 3.5 – O Modelo no Arena®

As características operacionais do processo de chegada e atendimento dos vagões no Arará foram representadas no Arena® de acordo com o modelo da figura a seguir:

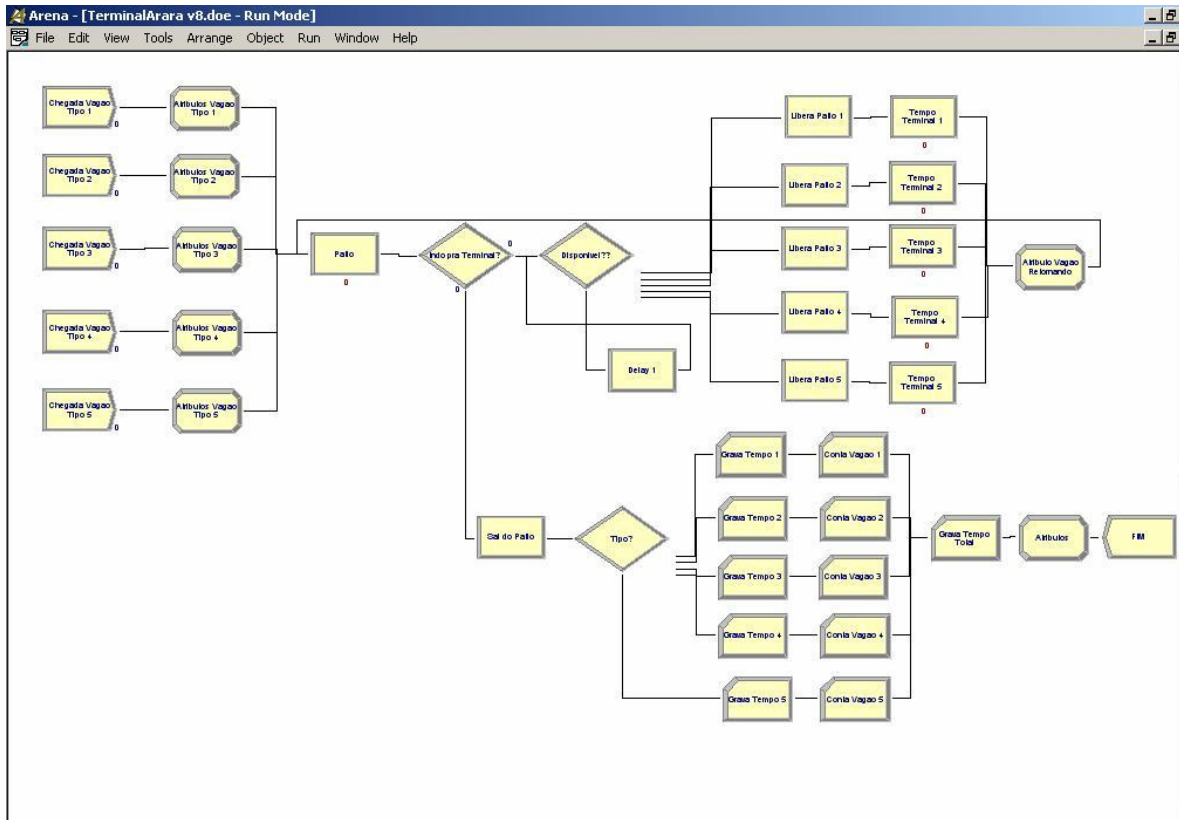


Figura 15 – Estrutura do modelo no Arena®

A partir deste fluxograma operacional de chegada e atendimento dos vagões no sistema, foram inseridos os seguintes parâmetros no modelo:

Parâmetros imputados	Arará	Triunfo	Multitex	Petrolog	Multiportos	Multiterminais
Distribuição da Taxa de Chegada	NA	205 + 635 * BETA(0.878, 1.5)	455 + 2.85e+003 * BETA(0.81, 1.26)	210 + 1.48e+003 * BETA(0.853, 1.43)	585 + EXPO(1.19e+003)	330 + WEIB(1.16e+003, 1.13)
Distribuição da Taxa de Atendimento	NA	76 + GAMM(251, 0.889)	60 + 390 * BETA(0.578, 1.5)	96 + EXPO(355)	51 + WEIB(143, 1.09)	39 + EXPO(222)
Distribuição Tamanho dos Blocos de Vagões	NA	7.5 + 37 * BETA(1.18, 1.25)	1.5 + 11 * BETA(0.967, 1.46)	TRIA(0.5, 1.17, 17.5)	TRIA(0.5, 7.67, 8.5)	0.5 + 13 * BETA(1.15, 1.37)
Capacidade estática	170 vagões	55 vagões	25 vagões	25 vagões	18 vagões	10 vagões
Tempos de manobra	5 min/vagão	5 min/vagão	5 min/vagão	5 min/vagão	5 min/vagão	5 min/vagão

Tabela 11 – Parâmetros imputados no modelo

Como todos os parâmetros imputados, foi feita uma simulação equivalente a 100 dias de operação.

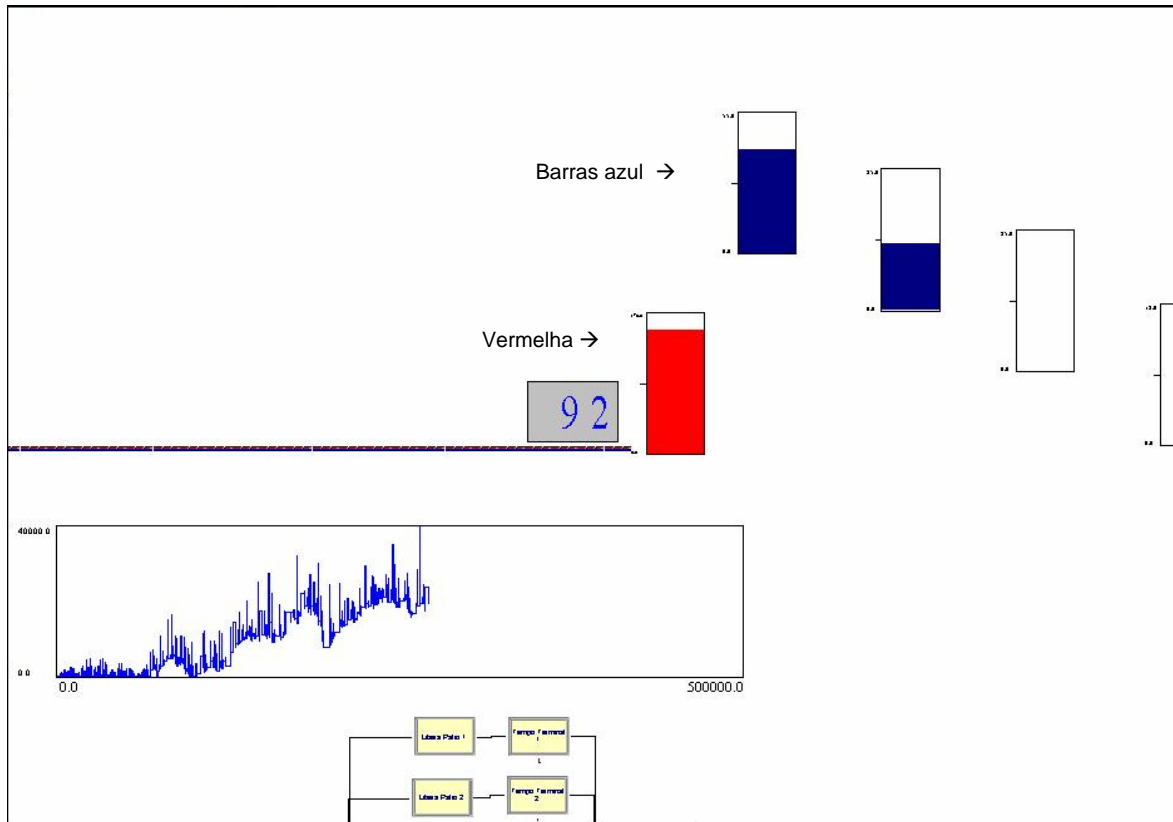


Figura 16– Tela do Arena® durante a realização da simulação

Pela animação foi possível acompanhar ao longo do tempo o tamanho da fila (ex.: 92), a ocupação do pátio do Arará (barra vermelha) e dos Terminais (azul). Além disso, também foi montado um gráfico que indicava a evolução do tempo de permanência dos vagões no sistema.

Com esta simulação foram obtidos os seguintes resultados:

- Tempo médio de permanência dos blocos no pátio Arará em manobras: 45,18 min.
- **Tempo médio de permanência dos blocos no Terminal Triunfo: 624,24 min.**
- Tempo médio de permanência dos blocos no Terminal Multitex: 34,68 min.
- **Tempo médio de permanência dos blocos no Terminal Petrolog: 40,14 min.**
- Tempo médio de permanência dos blocos no Terminal Multiportos: 30,95 min.
- **Tempo médio de permanência dos blocos no Terminal Multiterminais: 4,07 min.**
  
- Tempo médio de fila: 276,73 minutos
- Tempo máximo de fila: 6447,35 minutos

- **Número médio de blocos na fila: 2,60 blocos**
- Quantidade Média de Vagões no Pátio do Arará: 88,33 vgs.
- **Quantidade Média de Vagões na Triunfo: 38,30 vgs.**
- Quantidade Média de Vagões na Multitex:: 0,15 vgs.
- **Quantidade Média de Vagões na Petrolog: 0,43 vgs.**
- Quantidade Média de Vagões na Multiportos:: 0,10 vgs.
- **Quantidade Média de Vagões na Multiterminais: 0,001 vgs.**
  
- Quantidade Máxima de Vagões no Pátio do Arará: 170 vgs.
- **Quantidade Máxima de Vagões na Triunfo: 54,99 vgs.**
- Quantidade Máxima de Vagões na Multitex:: 20,63 vgs.
- **Quantidade Máxima de Vagões na Petrolog: 24,68 vgs.**
- Quantidade Máxima de Vagões na Multiportos: 11,88 vgs.
- **Quantidade Máxima de Vagões na Multiterminais: 9,96 vgs.**
  
- Utilização Média do Pátio do Arará: 51,96%
- **Utilização Média do Terminal da Triunfo: 69,64%**
- Utilização Média do Terminal da Multitex:: 0,06%
- **Utilização Média do Terminal da Petrolog: 1,7%**
- Utilização Média do Terminal da Multiportos: 0,6%
- **Utilização Média do Terminal da Multiterminais: 0,01%**

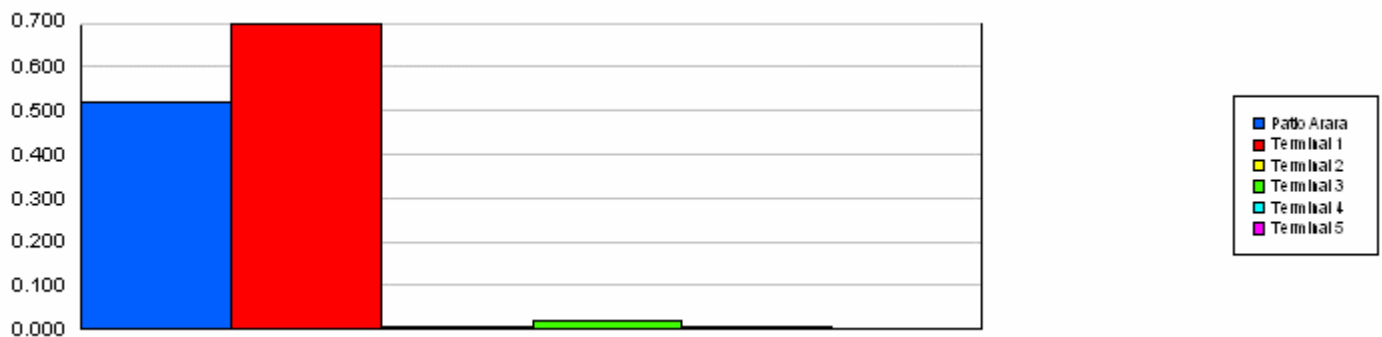


Gráfico 4 – Taxa de Utilização dos Terminais

- Utilização Máxima do Pátio do Arará: 100%
- **Utilização Máxima do Terminal da Triunfo: 100%**

- Utilização Máxima do Terminal da Multitex:: 82,53%
  - **Utilização Máxima do Terminal da Petrolog: 98,76%**
  - Utilização Máxima do Terminal da Multiportos: 66,04%
  - **Utilização Máxima do Terminal da Multiterminais: 99,67%**
- 
- Tempo médio de permanência no sistema dos vagões da Triunfo: 2.115 min.
  - **Tempo médio de permanência no sistema dos vagões da Multitex: 588 min.**
  - Tempo médio de permanência no sistema dos vagões da Petrolog: 563 min.
  - **Tempo médio de permanência no sistema dos vagões da Multiportos: 547,12 min.**
  - Tempo médio de permanência no sistema dos vagões da Multiterminais: 82,45 min.

### **Análise dos resultados**

Analisando os principais indicadores de desempenho do sistema decorrentes da simulação, podemos verificar que os blocos de vagões estão ficando em média 4 horas e meia em fila aguardando para ingressar no sistema. Ou seja, podemos interpretar que todo vagão destinado ao Arará perde esse tempo que não agrega nenhum valor ao ciclo do produto. Outra verificação importante é que ficam em média 2,6 blocos de vagões aguardando em fila no sistema, considerando que a amostra dos blocos tem média de 28,31 vagões com desvio padrão de 13 vagões, podemos aproximar que na média sempre existe um trem aguardando em fila para ingressar no sistema.

O terminal da Triunfo por ser o maior concentrador de cargas (aproximadamente 80% do volume) e por trabalhar com lotes maiores de vagões, é o que apresenta o maior tempo médio de permanência. Os outros terminais apresentam tempos de permanência relativamente baixos.

Outra informação importante é que a quantidade média de vagões no pátio do Arará foi de 88. Isso representa uma utilização do pátio de 51,96%. Já os terminais da Triunfo, Multitex, Petrolog, Multiportos e Multiterminais tiveram uma utilização de 69,64%, 0,06%, 1,7%, 0,6% e 0,01%, respectivamente. Com essas informações concluímos que o pátio do Arará e o Terminal Triunfo estão com utilizações bem adequadas ao sistema. Já os outros terminais estão sendo muito pouco utilizados mas como são terminais de terceiros isso não representa um problema de ociosidade para a MRS. Além disso, sabe-se que estes terminais operam cargas transportadas por carretas e na verdade não ficam ociosos.

Sendo assim, ao contrário do que pensávamos, o estudo nos mostrou que as filas não são geradas por falta de capacidade do pátio e dos terminais. O que acontece na verdade são picos de demanda. Essa informação fica evidente quando olhamos a taxa máxima de utilização alcançada no pátio do Arará, no Terminal Multitex, Petrolog, Multiportos e Multiterminais com valores de 100%, 100%, 82,53%, 98,76%, 66,04% e 99,67%, respectivamente e o tamanho máximo da fila que foi de 4,5 dias. Ou seja, o sistema está com uma boa taxa média de utilização mas em determinados momentos ele atinge valores extremamente altos que acaba por provocar as filas.

Com estas conclusões não sugerimos para a MRS ou para qualquer dos terminais nenhum tipo de investimento imediato. O que deve se buscar é maior contato com o cliente e a utilização de técnicas de previsão para prever estes picos de demanda e então redimensionar o sistema para atender estes picos. Isso pode ser feito, por exemplo, buscando nestes períodos a alocação de locomotivas de manobra extras ou contratação de horas extras para operadores. Concluindo o que foi dito, cabe para este tipo de problema uma ação do PCP da MRS no sentido de prever com antecedência estes picos de demanda e então redimensionar o sistema de acordo com a demanda. Vale lembrar que se esse dimensionamento for bem executado pode-se chegar ao nível de reduzir a capacidade do sistema em determinados períodos de acordo com a demanda otimizando a utilização dos ativos.

## Capítulo IV – Conclusões e sugestões

Pode-se afirmar que os objetivos inicialmente traçados para este trabalho foram plenamente atingidos. A execução da simulação utilizando o software Arena® gerou, de fato, análises e conclusões que forneceram informações importantes sobre o processo gerador de filas permitindo apoio à tomada de decisões a respeito dos parâmetros que levam ao surgimento das filas.

Verificou-se com este trabalho que o uso da Simulação para a análise de desempenho de sistemas complexos como o do objeto deste do estudo é mais recomendada do que o uso das fórmulas de Teoria de Filas. Atualmente isso fica evidente em virtude da boa interface dos *softwares* disponíveis no mercado, como por exemplo o Arena. Além disso, a utilização de técnicas de Simulação, permitiu a análise do sistema sem qualquer interferência no mesmo. Todavia, a qualidade da informação gerada pela Simulação é diretamente relacionada com a informação imputada no modelo. Nesta caso, o modelo só foi possível de ser validado em virtude da qualidade dos dados disponíveis nas bases de dados da MRS.

Vale lembrar que o papel da simulação não é obter uma solução otimizada para o problema, mas sim fornecer informações importantes que servirão de suporte para os decisores da Companhia em sistemas como o do Arará que mudam de comportamento constantemente.

Agora é possível afirmar que, ao contrário do que se pensava, o maior gargalo no pátio do Arará não são suas limitações de capacidade física e sim os picos de demanda de produção. A empresa deverá então definir estratégias para lidar com estes picos de produção de forma a atenuar seus impactos na operação.

Sugere-se para a MRS realizar este mesmo tipo de trabalho para outros sistemas geradores de filas na empresa, visando evitar a tomada decisões baseadas em empirismos, subsidiando os gestores da companhia com informações fundamentadas para tomada de decisões sobre investimentos e modos de operação.

### Referências bibliográficas

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento organização e logística empresarial**. Porto Alegre, 2001.

BANKS, J. ET. AL. **Discrete-event system simulation**. New Jersey, 1984.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logistical management: the integrated supply chain process**. New York, 1986.

BUSTAMANTE, J. DE C. **Introdução ao Sistema de Transporte Ferroviário**. Apostila do Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2005.

CORRÊA, H. L. **Administração de produção e operações : manufatura e serviços : uma abordagem estratégica**. São Paulo, 2004.

FLEURY, P.F. **Gestão Estratégica do Transporte**. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>, 2002

FREITAS, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. Florianópolis, 2001.

NAZÁRIO, P.; WANKE, P.; FLEURY, P F. **O Papel do Transporte na Estratégia Logística**. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>, 2000

OJIMA, A. L. R. DE OLIVEIRA. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática**. Campinas, 2004.

LÍCIO, A. **“Os eixos estruturadores e dos corredores de transportes”**. Revista de Política Agrícola. Brasília, 1995.

PRADO, D. S. **Teoria das Filas e da Simulação**. Belo Horizonte, 2004.

SINAY, M. C. F. **Teoria de Filas**. Apostila do Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2005.

STÜLP, V.J.; PLÁ, J.A.. **Estudo do setor agroindustrial da soja**. Porto Alegre, 1992.

## Apêndice

## Anexo I – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA MALHA DA MRS

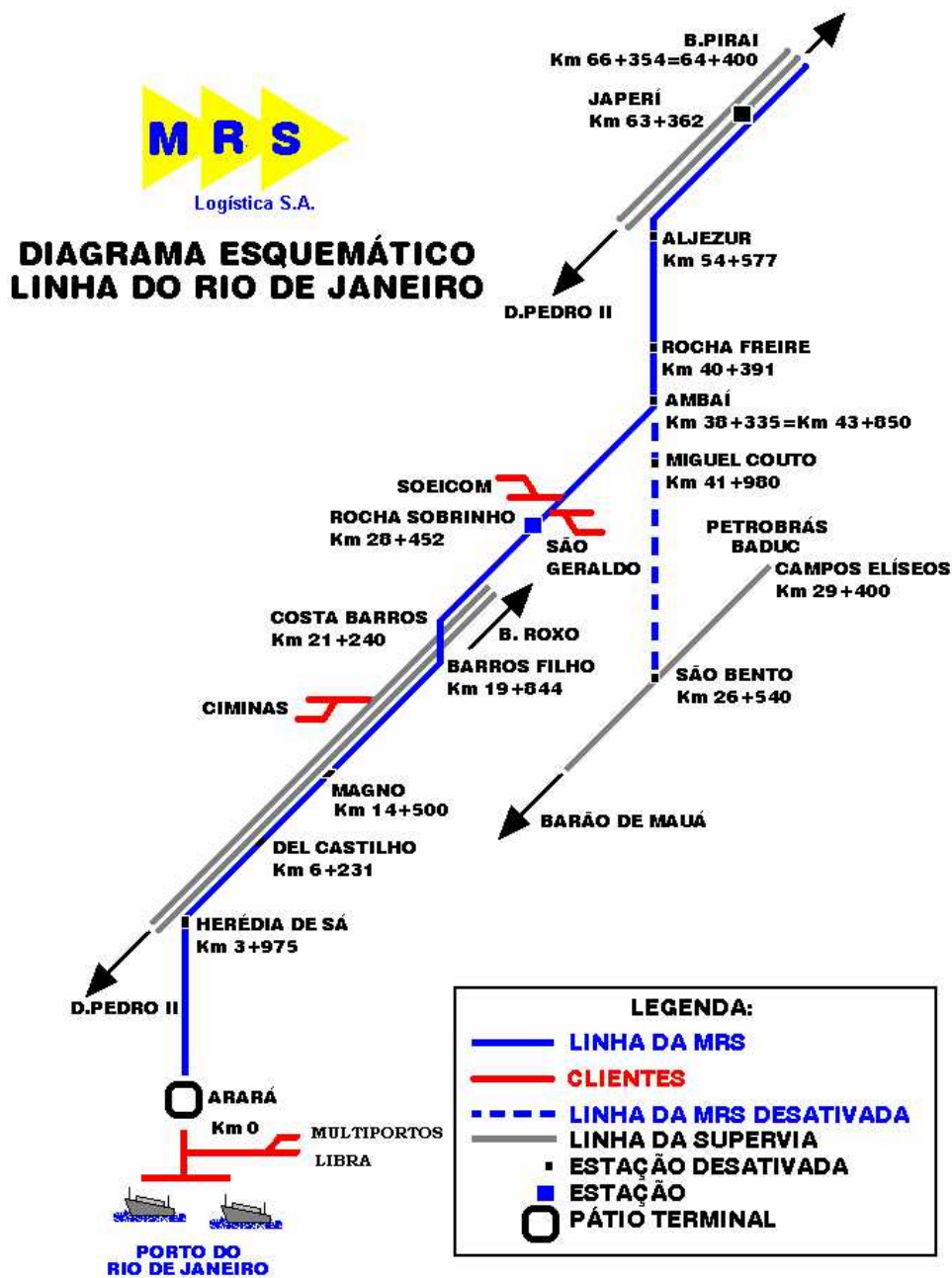


Figura 17– Diagrama esquemático da malha ferroviária da MRS – Linha do Rio de Janeiro

## ANEXO II – DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES DAS AMOSTRAS

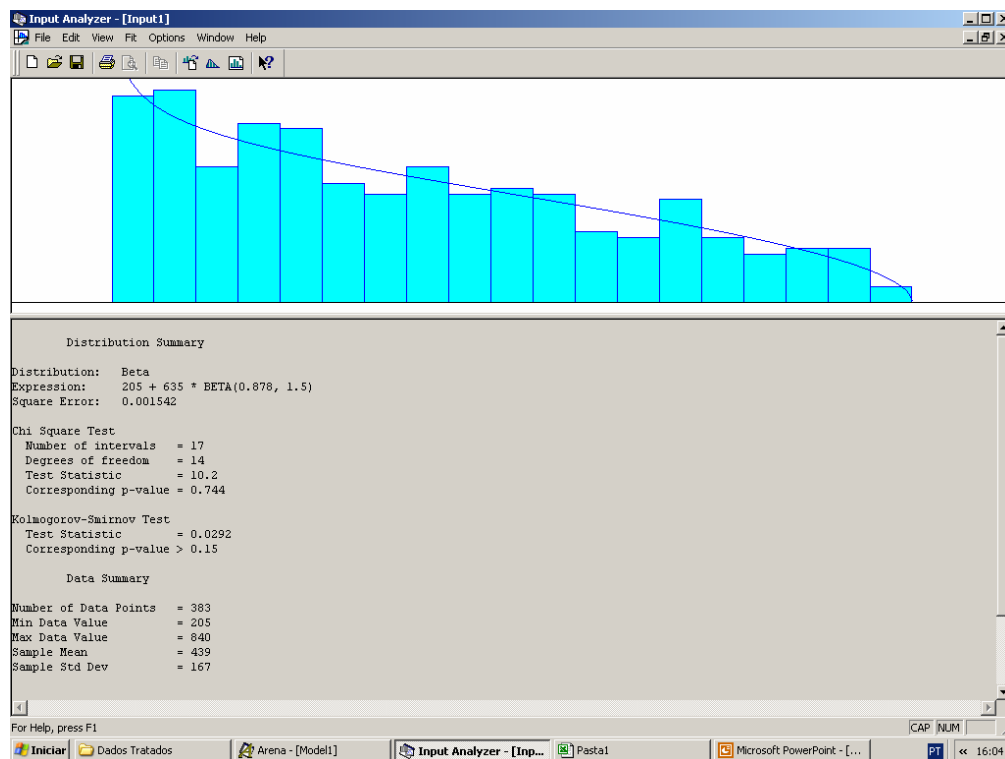


Figura 18– Distribuição de intervalos entre chegadas – Terminal Triunfo

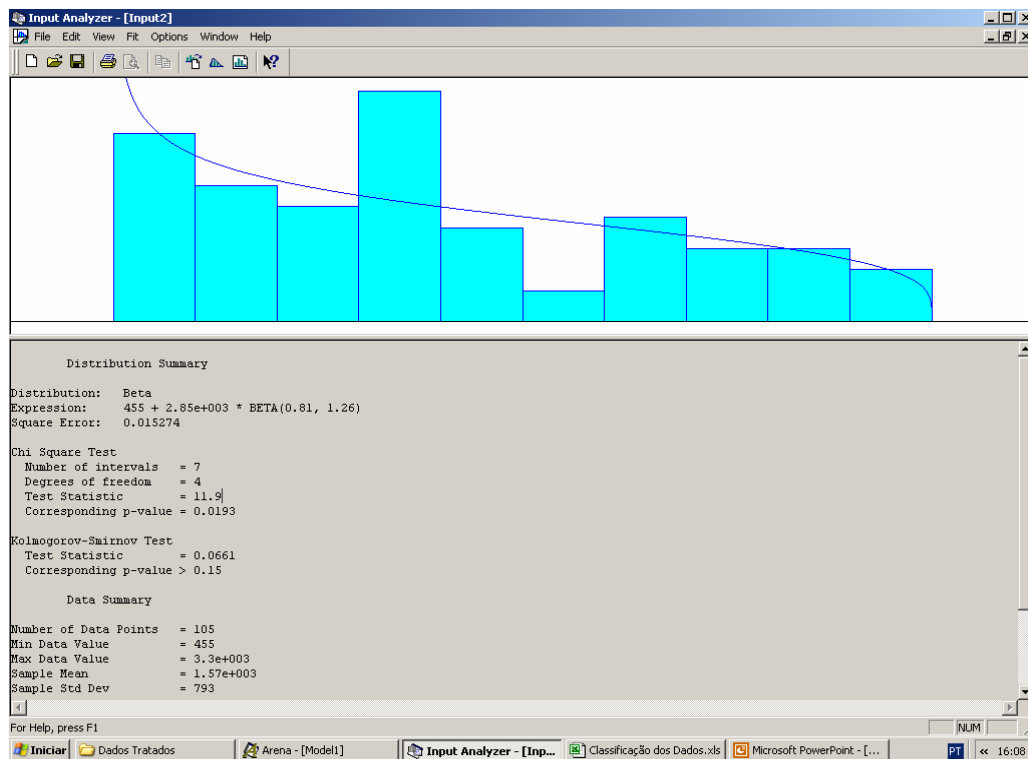


Figura 19– Distribuição de intervalos entre chegadas – Terminal Multitex

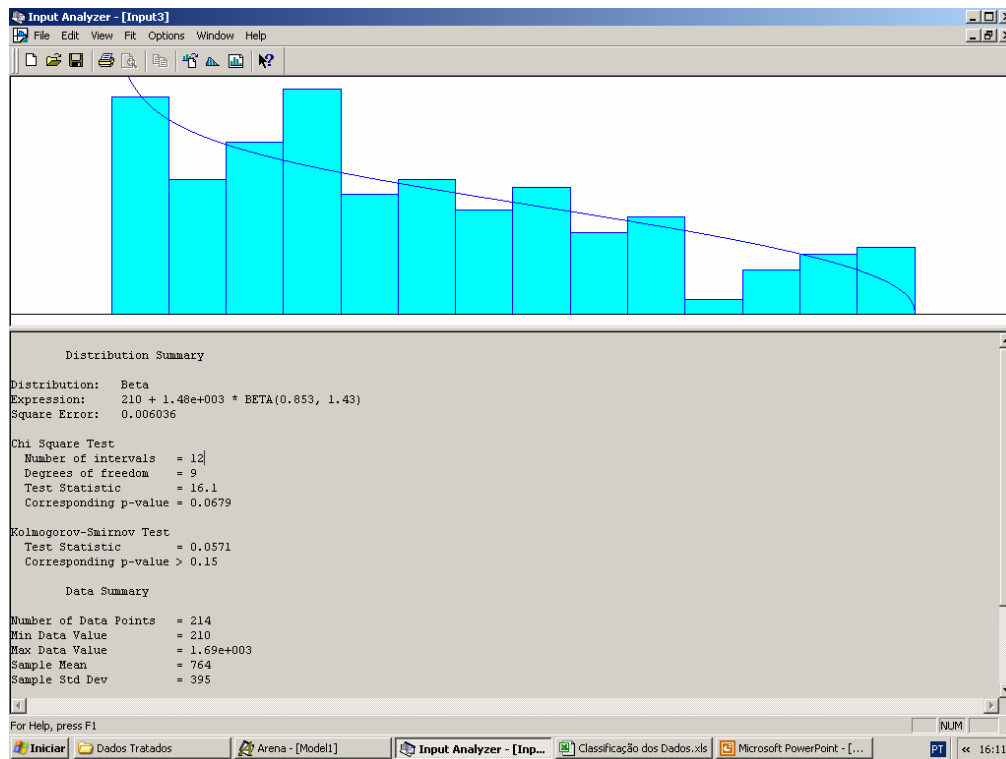


Figura 20– Distribuição de intervalos entre chegadas – Terminal Petrolog

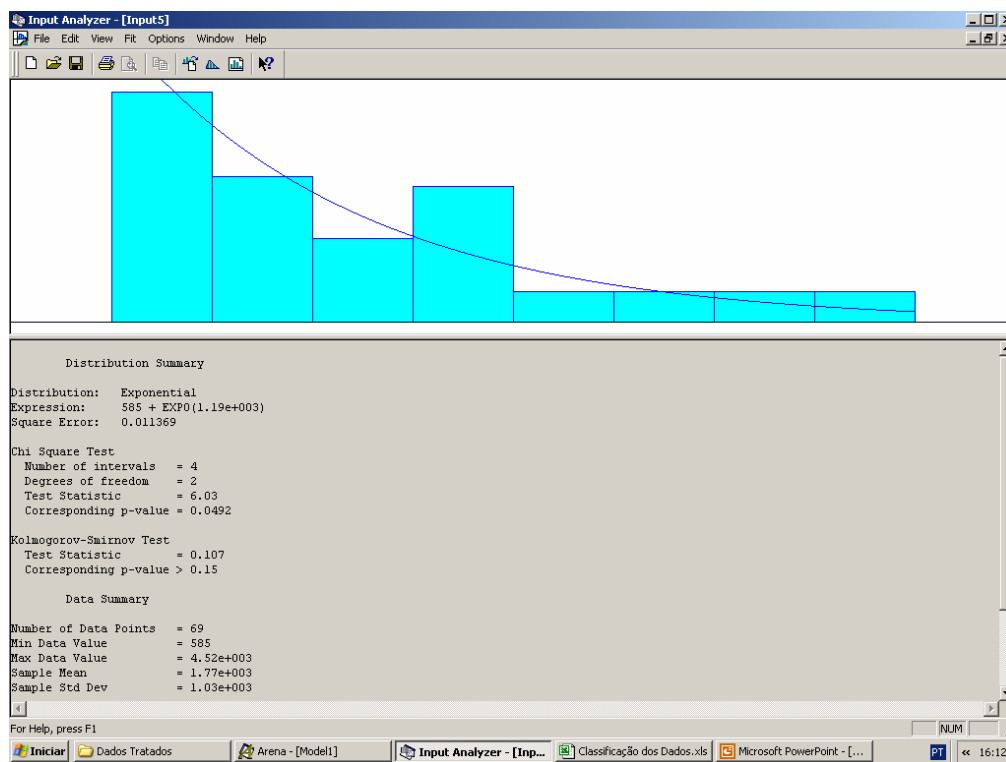


Figura 21– Distribuição de intervalos entre chegadas – Terminal Multiportos

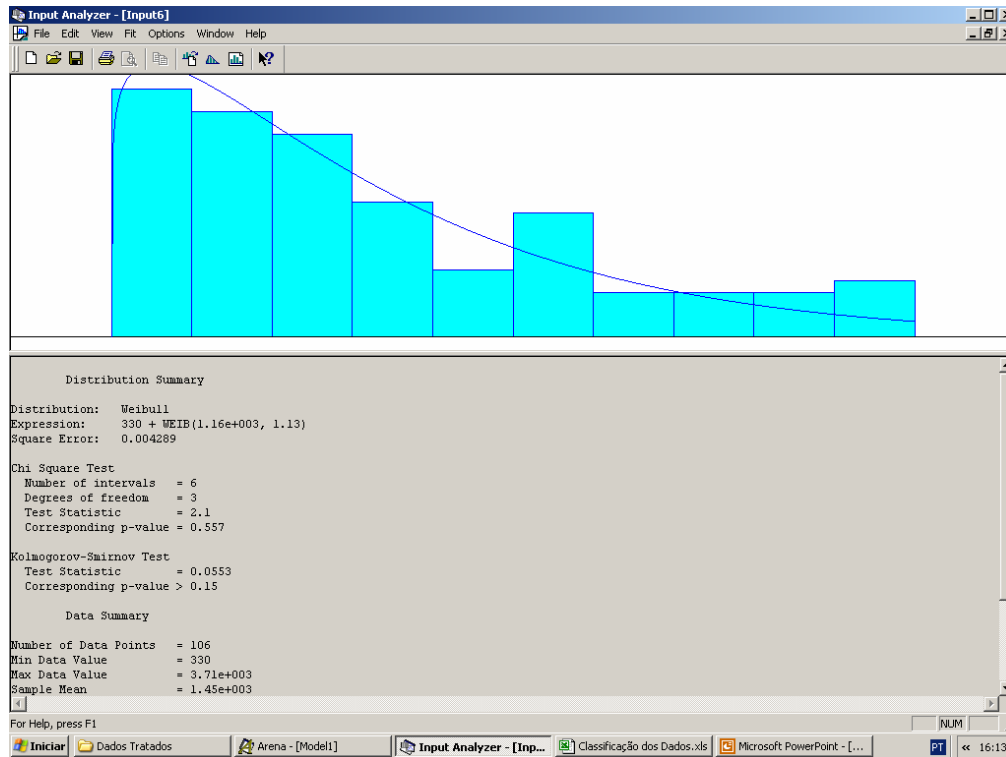


Figura 22– Distribuição de intervalos entre chegadas – Terminal Multiterminais

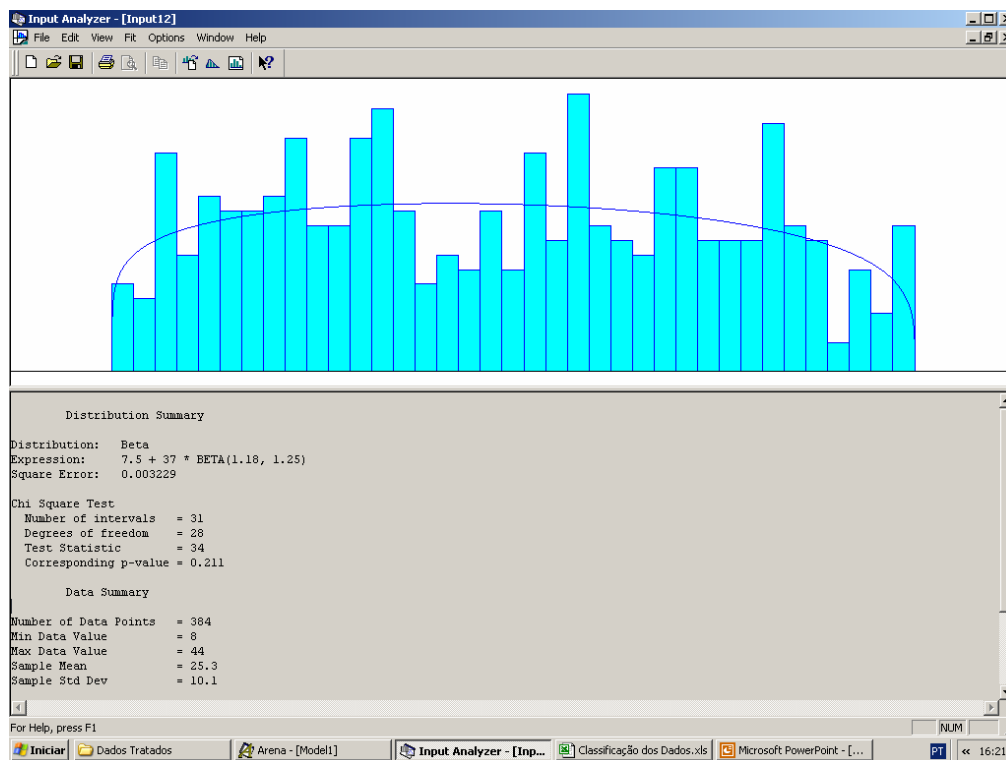


Figura 23– Distribuição de probabilidade do tamanho dos lotes de vagões – Terminal Triunfo

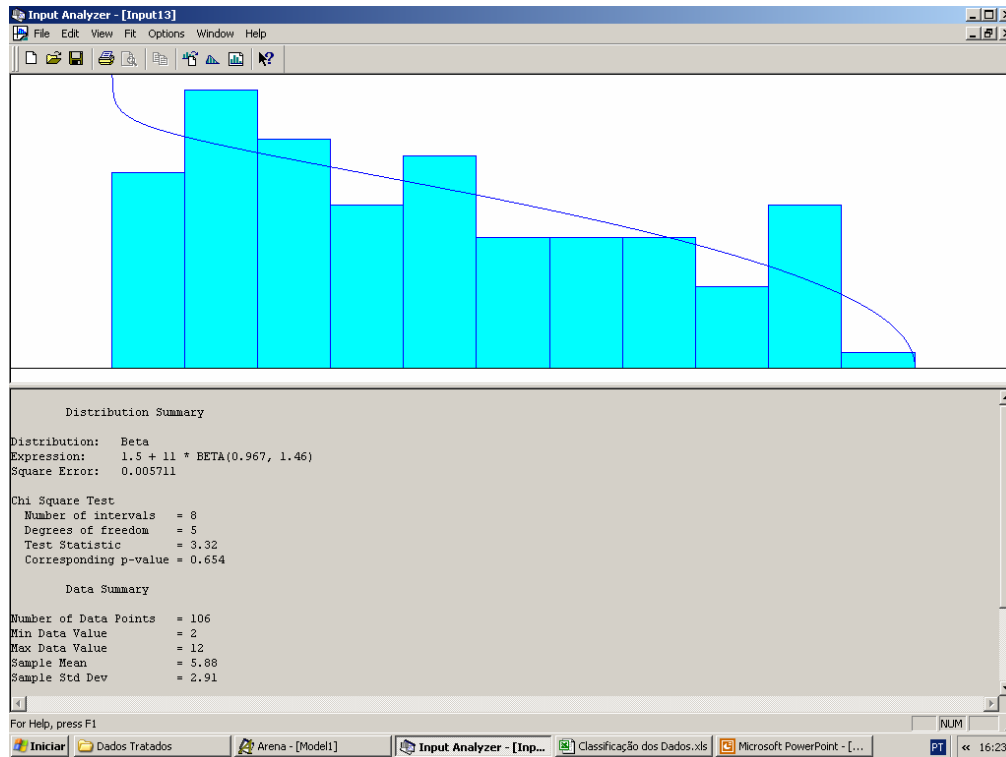


Figura 24– Distribuição de probabilidade do tamanho dos lotes de vagões – Terminal Multitex

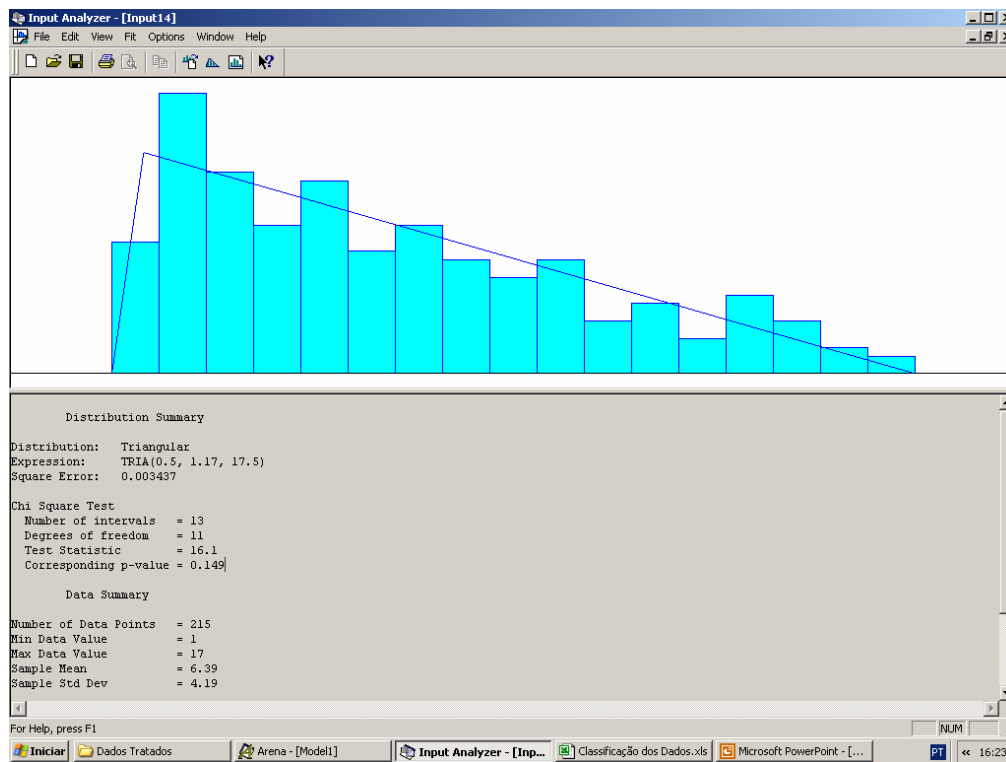


Figura 24– Distribuição de probabilidade do tamanho dos lotes de vagões – Terminal Petrolog

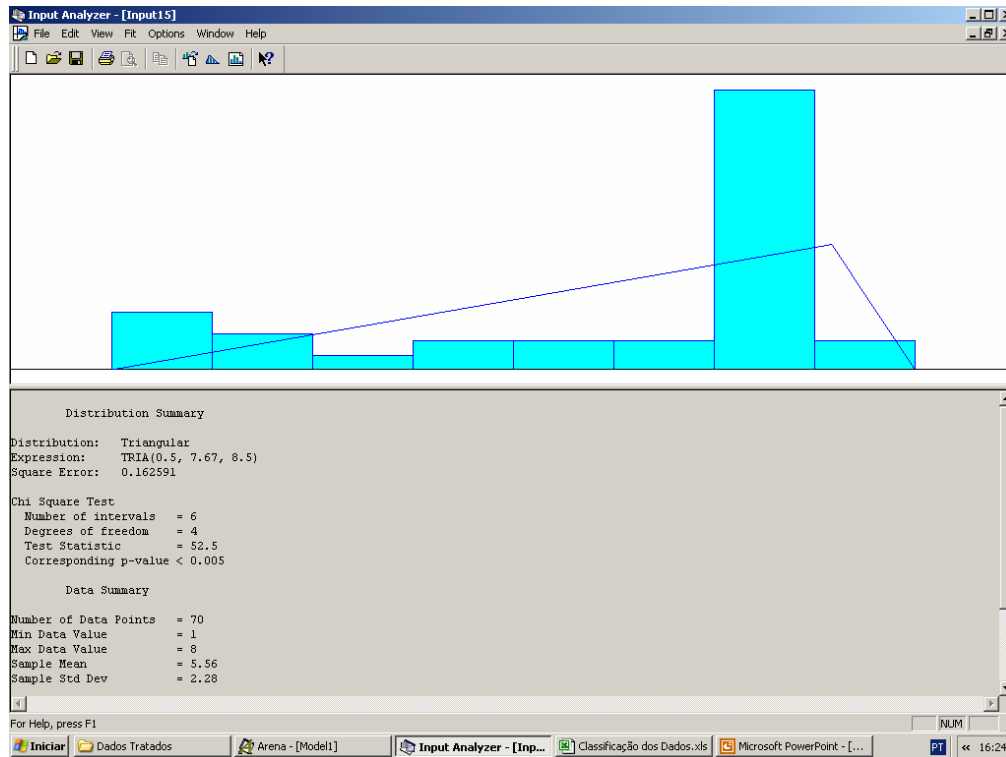


Figura 24– Distribuição de probabilidade do tamanho dos lotes de vagões – Terminal Multiportos

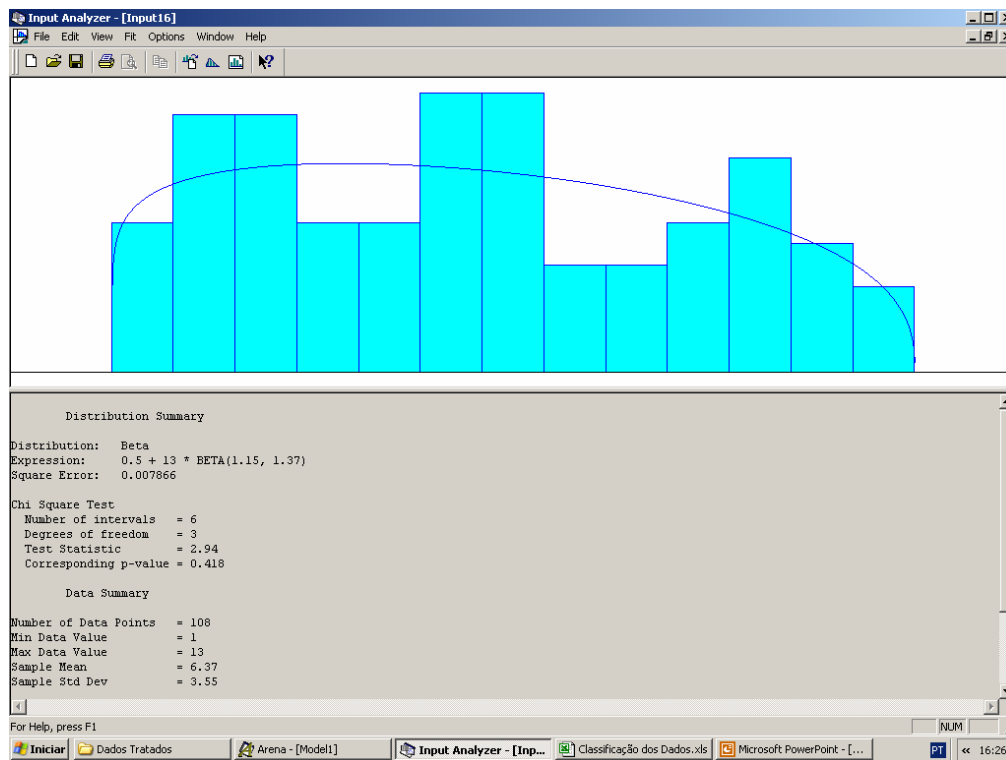


Figura 25– Distribuição de probabilidade do tamanho dos lotes de vagões – Terminal Multiterminais

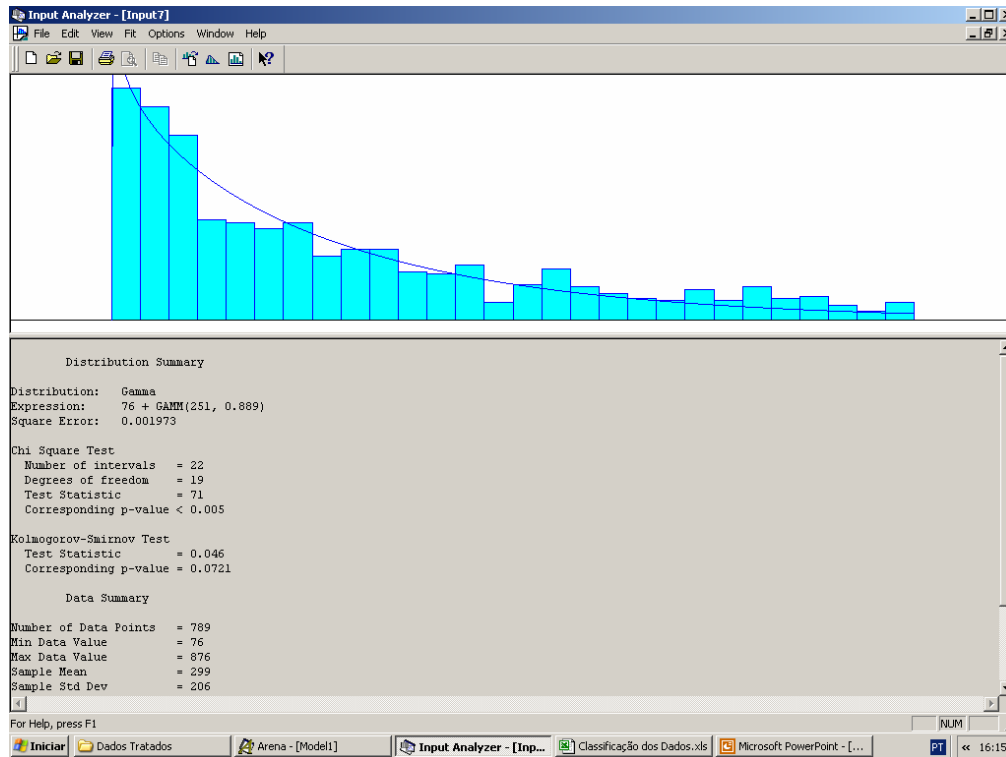


Figura 26– Distribuição do tempo de permanência no terminal - Triunfo

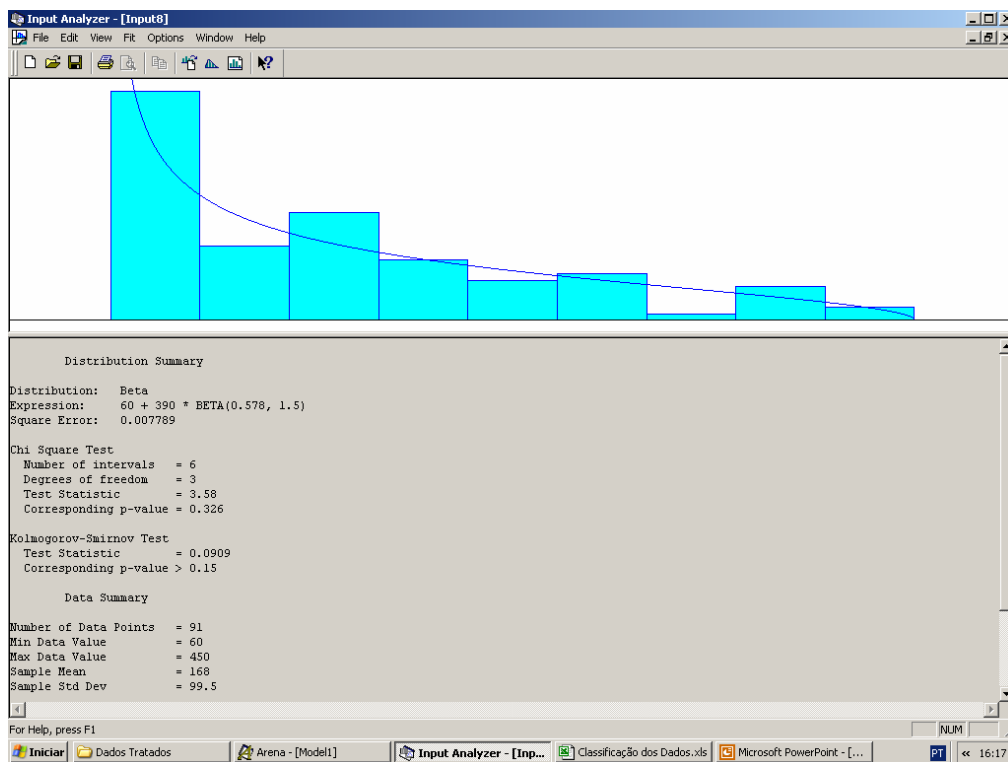


Figura 26– Distribuição do tempo de permanência no terminal – Multitex

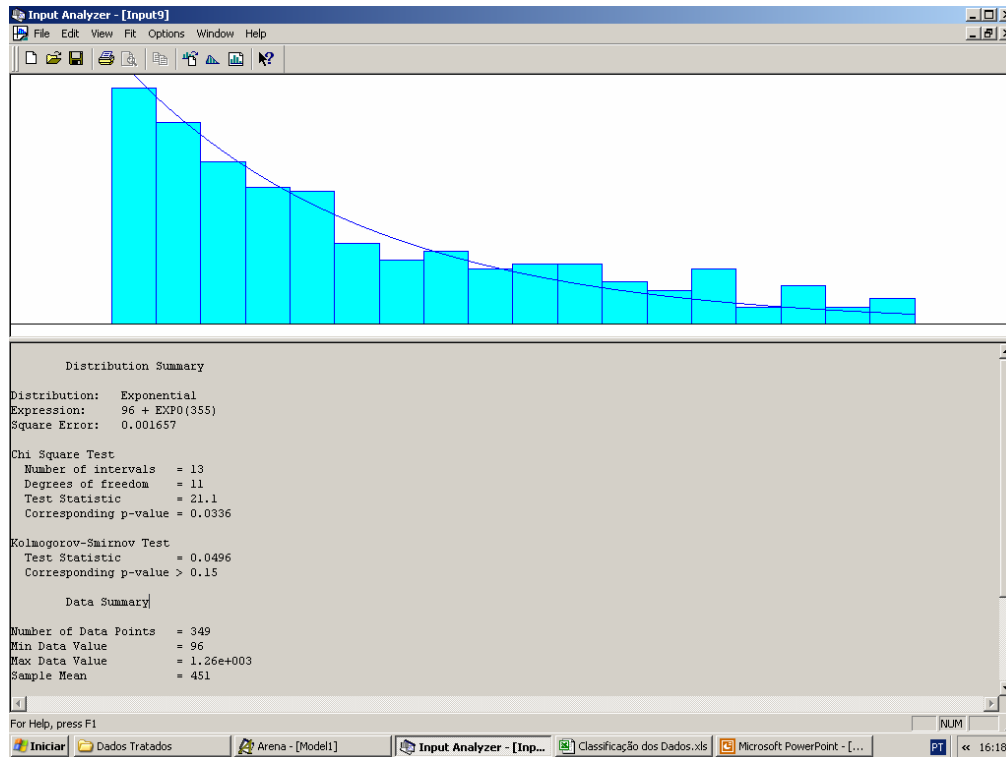


Figura 27– Distribuição do tempo de permanência no terminal - Triunfo

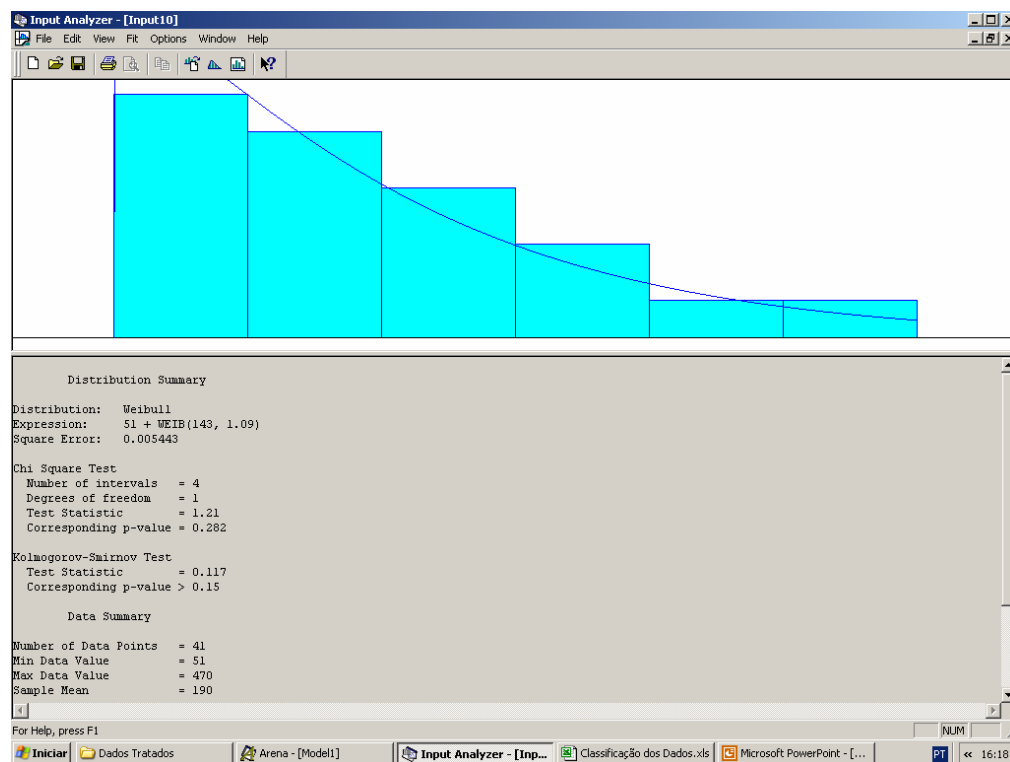


Figura 28– Distribuição do tempo de permanência no terminal - Multiportos

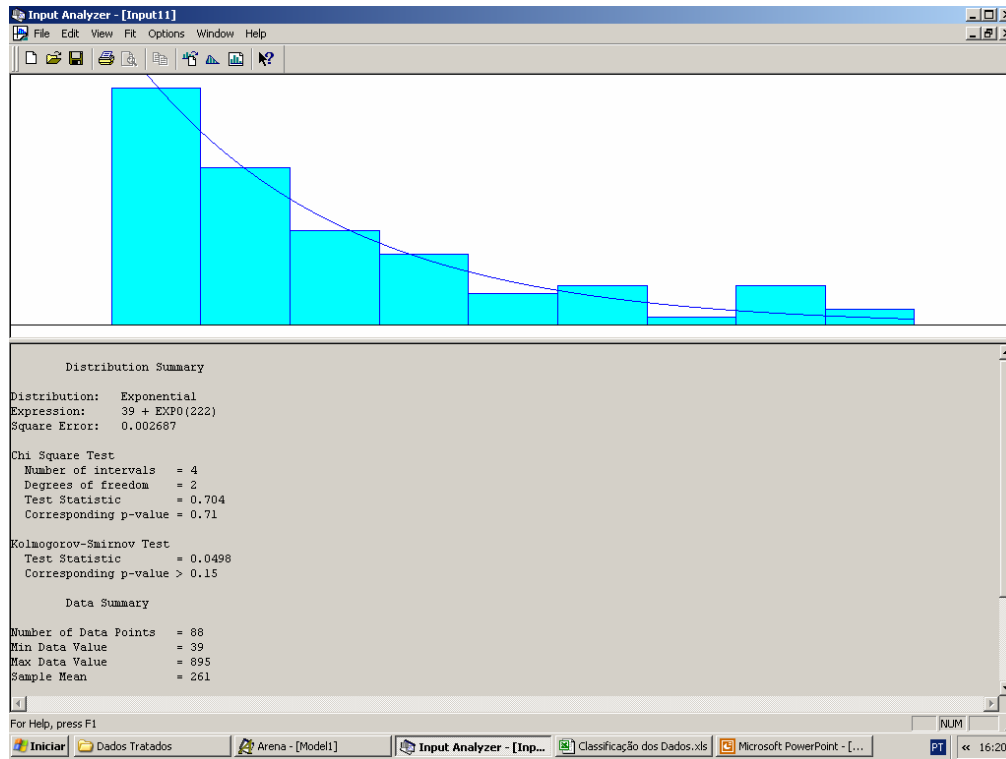


Figura 29– Distribuição do tempo de permanência no terminal - Multiterminais