

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO DE FILAS PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA EM UMA
EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

ALMIR RIBEIRO RUSSIANO

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, DEZEMBRO DE 2010

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

R969m Russiano, Almir Ribeiro.

Modelo de filas para dimensionamento de frota em uma empresa de energia elétrica / Almir Ribeiro Russiano. - Recife: O Autor, 2010.
x, 50 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2010.

Inclui Referências Bibliográficas e Anexos.

1. Engenharia de Produção. 2. Dimensionamento de Frota. 3. Gerenciamento de Frota de Veículos. 4. Modelo de Filas. 5. Aplicação da Teoria das Filas. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO PROFISSIONAL DE

ALMIR RIBEIRO RUSSIANO

***“MODELO DE FILAS PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA EM UMA
EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA”***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato ALMIR RIBEIRO RUSSIANO **APROVADO**.

Recife, 28 de dezembro de 2010.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (UFPE)

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre comigo em todos os momentos

À Companhia Hidroelétrica do São Francisco, em especial, a Paulo Ricardo, Gerente do Departamento de Serviços Gerais, Luiz Ribas, então Gerente da Divisão de Transportes e Gustavo Brito, atual gerente por terem viabilizado mais essa oportunidade de aprimorar os conhecimentos e contribuir para a inovação dos processos da área de transporte com a realização desse mestrado.

Ao Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida, meu orientador, além da atenção disponibilizada, por sua fundamental contribuição com idéias e conceitos que com certeza foram indispensáveis para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos colegas da CHESF, que contribuíram para a realização desse trabalho com respostas às pesquisas, sugestões e experiências, tornando o trabalho mais rico.

Aos meus pais Amauri e Maria Ribeiro que, através do seu incentivo e exemplo de vida, contribuíram para a minha educação e a realização de mais essa etapa na minha vida.

À minha esposa por seu amor, paciência e carinho em todos os momentos e que foi de extrema importância para a busca da inspiração na realização desse trabalho.

Aos meus filhos Alice e Davi, que mesmo sem saber, contribuíram com o seu carinho e amor, me dando forças para superar as dificuldades do dia a dia.

Aos meus irmãos e toda a minha família, em especial, ao meu irmão Amauri Júnior (in memoriam) que, com a sua disciplina, profissionalismo e humildade, foi e sempre será exemplo para mim.

À UFPE, em especial, aos funcionários, coordenação e corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFPE.

Aos colegas do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da UFPE, turma de 2009, por seu companheirismo em todos os momentos dessa caminhada de aprendizado que com certeza deixaram vários frutos.

A todos que não foram citados nominalmente, mas, de alguma maneira, contribuíram para mais essa conquista.

RESUMO

Nas empresas do setor elétrico nacional, a função transportes, assume um papel fundamental para o desenvolvimento de suas atividades, uma vez que os veículos são destinados não só ao suprimento, mas também em atividades de inspeção e manutenção de sistemas de transmissão de energia e equipamentos. A Companhia Hidro elétrica do São Francisco (CHESF), por ser uma empresa que gera e transmite energia, detém sistemas organizacionais bastante estruturados para a execução de suas atividades. Por inexistir uma política uniforme, a quantidade de veículos é definida por cada sistema de acordo com as suas necessidades trazendo com isso uma grande possibilidade de se superdimensionar a frota. O presente trabalho dissertativo apresenta uma alternativa ao modelo utilizado pela empresa estudada. Para o adequado dimensionamento da frota de veículos, utilizar-se-á um sistema de serviços de filas. A proposta é tratar os dados de demandas com a aproximação de uma distribuição de probabilidade conhecida para aplicação em um modelo baseado na teoria das filas, pelo qual são calculadas as principais medidas de desempenho desse sistema. A medida de desempenho tempo é julgada como a mais importante pelos clientes internos do setor de transportes da Empresa. O número de veículos atendentes é calculado para atender a essa medida de desempenho levando-se em conta o histórico de frequência das demandas como também a média de atendimento. Conclui-se que o modelo contribui para o processo decisório do quantitativo de veículos que se pretende adquirir, uma vez que possui base técnica e que ao mesmo tempo é pautado pela satisfação dos clientes internos.

Palavras-chave: Dimensionamento de frota, Gerenciamento de frota de veículos, Modelo de filas, Aplicação da teoria das filas.

ABSTRACT

In companies of the electricity sector, the role transport plays a key role in the development of its activities, since the vehicles are designed not only to supply, but also in inspection activities and maintenance of power transmission systems and equipment. The Hydro Electric Company of San Francisco (CHESF), being a company that generates and transmits energy, has highly structured organizational systems for the implementation of its activities. By a lack of a uniform policy, the number of vehicles is defined by each system according to their needs bringing with it a great possibility to overestimate the fleet. This paper presents an alternative to the model used by the company studied. For proper sizing of the vehicle fleet, will use a service system queues. The proposal is to treat the data demands with the approach of a probability distribution known for application to a model based on queuing theory, which are calculated by the key performance measures of this system. The measure of time performance is judged as the most important internal customers in the transportation sector of the Company. The number of vehicle operators is calculated to meet this performance measure taking into account the historical frequency of claims as well as the average attendance. We conclude that the model contributes to the decision procedure of quantitative vehicle that intends to acquire, since it has the technical base and at the same time is guided by internal customer satisfaction.

Key Words: Fleet sizing, vehicle fleet management, queuing model, application of queuing theory.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Relevância e contribuição do estudo	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivos Gerais	1
1.2.2 Objetivos Específicos	1
1.3 Estrutura do Trabalho	2
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DE SEU CONTEXTO	3
2.1 Descrição do contexto do problema na empresa escolhida	3
2.1.1 Descrição da abordagem do problema na CHESF	6
2.1.2 Abordagem Atual para o Problema	6
2.1.3 Aspectos Desejáveis para serem tratados na Solução do Problema	7
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Base Conceitual para o problema de dimensionamento de frota	11
3.1.1 Filas e Simulação	11
3.1.2 Teoria das filas	12

3.1.3	Processos de atendimento e fontes de entrada	12
3.1.4	A fila propriamente dita	13
3.2	Problemas da atividade de transporte e do dimensionamento de frotas	15
3.2.1	Dimensionamento de frotas - abordagens específicas para o problema	16
4	MODELO PROPOSTO	21
4.1	Descrição do Modelo de Filas	21
4.1.1	Resultados a serem gerados pelo Modelo	22
4.1.2	Modelagem da Chegada	22
4.1.3	Modelagem do Atendimento	22
4.2	Aplicação do Modelo de Filas	22
4.2.1	Contexto Selecionado	22
4.2.2	Coleta de Dados	23
4.2.3	Modelo M/M/s	23
4.2.4	Modelo M/G/1	28
4.2.5	Modelo M/Ek/s	29
4.2.6	Modelo M/D/s	31
4.2.7	Discussão dos Resultados	31
4.3	Aplicação do modelo escolhido em uma situação real	32
4.3.1	Cálculo dos veículos de carga	32
5	CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS	40
5.1	Conclusões	40
5.2	Trabalhos Futuros	41
5.3	Modelo de Filas integrado com Abordagem Multicritério	42
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	43
	ANEXO 1	47
	ANEXO 2	49
	ANEXO 3	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Mapa do Sistema Elétrico CHESF.....	4
Figura 2.2 – Organograma simplificado da Diretoria Administrativa.....	5
Figura 2.3 – Subsistema Organizacional Transportes.....	7
Figura 2.4 – Fluxo de requisições de transporte na CHESF.....	10
Figura 3.1 - Esquema de filas.....	12
Figura 4.1 - Esquema de filas com n atendentes.....	21
Figura 4.2 - Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila M/M/s, para s=3.....	25
Figura 4.3 - Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila M/M/s, para s=2.....	26
Figura 4.4 - Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila M/M/s, para s=1.....	27
Figura 4.5 Resultados para o modelo M/Ek/1.....	30
Figura 4.6 Esquema de filas de requisições de transporte do setor de um órgão de transporte com n veículos (atendentes).....	33
Figura 4.7 Gráfico comparativo entre a coleta de dados de frequências das requisições de transporte de carga (ano 2009) e a distribuição teórica de Poisson.....	34
Figura 4.8 Gráfico comparativo entre a frequência acumulada observada e frequência acumulada teórica.).....	35
Figura 4.9 Gráfico da distribuição de probabilidade para 15 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda = 2, 805$) e um ritmo de atendimento exponencial	37
Figura 4.10 Gráfico da distribuição de probabilidade para 17 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda = 2, 805$) e um ritmo de atendimento exponencial	37
Figura 4.11 Gráfico da distribuição de probabilidade para 19 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda = 2, 805$) e um ritmo de atendimento exponencial	38

LISTA DE ABREVIATURAS

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco

DA – Diretora Administrativa

DSG – Departamento de Serviços Gerais

DATR – Divisão de transportes

SAMR - Serviço de manutenção e operação de transportes do Recife

SACR – Serviço de controle de transportes do Recife

COGE – Comitê de Gestão do Setor de Energia Elétrica

DTL – Departamento de Telecomunicações

SPTR – Serviço de Transportes de Paulo Afonso

SSTR – Serviço de Transportes de Salvador

SOPG – Serviço de pessoal e Serviços Gerais Oeste

SNPG – Serviço de pessoal e Serviços Gerais Norte

SBPG – Serviço de pessoal e Serviços Gerais de Sobradinho

CORE – Centro de operação e manutenção de equipamentos de Subestações da CHESF

DECS – Divisão de Construção de Subestações da CHESF

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

TCU – Tribunal de Contas da União

CGU – Controladoria Geral da União

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quantidade de veículos da CHESF por categoria.....	9
Tabela 4.1 - Número de requisições de transporte atendidas do órgão CORE.....	23
Tabela 4.2 - Medidas de desempenho para um modelo M/M/s para $s=3$	24
Tabela 4.3 - Medidas de desempenho para um modelo M/M/s para $s=2$	25
Tabela 4.4 - Medidas de desempenho para um modelo M/M/s para $s=1$	27
Tabela 4.5 - Medidas de desempenho para um modelo M/G/1.....	30
Tabela 4.6 – Aproximação das medidas de desempenho para um modelo M/E2/2.....	30
Tabela 4.7 – Coleta de dados de frequências das requisições de transporte de carga e comparação com frequências teóricas – ano 2009.....	34
Tabela 4.8 – Tempos de espera em função do número de veículos atendentes de transporte de carga.....	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 Relevância e contribuição do estudo

A função transporte nas empresas de infra-estrutura, têm tido ao longo dos anos, um papel fundamental na contribuição e melhoria da competitividade dessas empresas. Nas empresas do setor elétrico em específico, é fundamental para atingir os objetivos e metas estabelecidos pelos órgãos reguladores, no caso a ANEEL. Numa visão de logística empresarial, a maioria das decisões tomadas na cadeia de suprimento é relativa a o transporte, principalmente com o objetivo da redução de custos. Nesse contexto, a função transporte tem sido na prática, a última fronteira para a redução de custos operacionais para as empresas modernas. As decisões que envolvem a aquisição ou locação de uma frota de veículos são por natureza, bastante complexas por envolver diversos fatores como previsão de demandas, nível de utilização esperado pela frota, custos de manutenção e pessoal entre outros. Entre as mais importantes decisões estão o dimensionamento da frota de veículos por ser ela a que pode definir o número de veículos que serão adquiridos ou locados e a partir daí, os custos fixos e operacionais pertencentes à atividade de transporte. São vários os métodos encontrados na literatura e ao longo desse trabalho, são expostos alguns deles. Por final, é apresentado o comentário do modelo, o qual é baseado em critérios específicos, mas, no entanto, deve se adequar à atividade de transportes de uma empresa de geração e transmissão de energia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Entre os objetivos gerais estão o desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de frota de veículos no contexto de uma empresa de energia elétrica, levando-se em conta as suas particularidades e requisitos de desempenho. Um outro objetivo será a avaliação dessa metodologia comparando-a com os métodos disponíveis na literatura, a fim de se verificar sua aderência à realidade dessa empresa, mediante critérios previamente estabelecidos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos, destaca-se a seleção de um método para o dimensionamento de frota compatível com a realidade de uma empresa do setor elétrico, tendo um setor de transportes que deve atender a prazos previamente estabelecidos por norma interna, além de otimizar os recursos de transportes cada vez mais escassos. A metodologia visa o

aprimoramento das técnicas de tomada de decisão para a aquisição de veículos de uma frota que trabalha em regime de *pool*, assim como a eficiência na utilização dos recursos, os quais são escassos, visando a redução dos custos no gerenciamento da função transportes em empresas de energia.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 5 capítulos a seguir:

O Capítulo 1, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.

O Capítulo 2 (descrição do problema) apresenta o problema, contextualiza a Empresa e suas abordagens para a resolução do problema, assim como a descrição da modelagem de atendimento às demandas de transporte dentro da empresa.

O capítulo 3 (Revisão bibliográfica) apresenta um resumo dos estudos atuais para o problema de dimensionamento de frota de veículos, destaca os principais autores e suas respectivas abordagens para a resolução desse problema.

O capítulo 4 (Modelo Proposto e aplicação) é realizado os testes dos modelos disponíveis na literatura com os dados reais de atendimento, descrevendo o modelo escolhido e as devidas justificativas para essa escolha baseado em testes estatísticos e gráficos. São propostos adaptações para que o método seja utilizado dentro da realidade da Empresa objeto do estudo.

O capítulo 5 (conclusão e trabalhos futuros) Conclui-se o trabalho, levando-se em conta o contexto do dimensionamento de uma frota de veículos no contexto da empresa estudada e à luz dos dados obtidos na aplicação do modelo para esse dimensionamento. São sugeridos temas de trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente em continuidade à aplicação do método escolhido.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DE SEU CONTEXTO

Neste capítulo, é apresentado o problema que será tratado neste trabalho utilizando-se a abordagem atual para o problema de dimensionamento de uma frota de veículos de uma empresa do Setor Elétrico Brasileiro. A empresa escolhida como objeto de estudo é a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Para a descrição, inicialmente toma-se como referência os estudos de alguns autores, os quais relatam o problema do dimensionamento de frotas, bem como outros problemas que estão atrelados a ele. Tais problemas estão inseridos tanto no contexto das empresas transportadoras, como também nas empresas que têm o transporte como apoio à sua atividade fim, que é o caso das empresas do setor elétrico como a CHESF. Em seguida, descreve-se alguns modelos adotados nesses estudos para a resolução do problema específico de dimensionamento de frotas. Por fim, descrevem-se as práticas atuais adotadas pela Divisão de Transportes (DATR) da CHESF, a fim de contextualizá-las com os modelos adotados nos estudos e a realidade atual da empresa.

2.1 Descrição do contexto do problema na empresa escolhida

A Chesf é uma empresa de economia mista, geradora e transmissora de energia controlada pela Eletrobras, a qual é vinculada ao Ministério de Minas e Energia do Governo Brasileiro. Atualmente a sua área de atuação se estende por todo o território brasileiro. A Chesf possui uma capacidade instalada de 10.618 MW, o que corresponde a aproximados 10 % da capacidade da matriz energética do Brasil. A sua principal missão é de produzir, transmitir e comercializar energia elétrica, com qualidade e rentabilidade, contribuindo para o desenvolvimento do Nordeste e do Brasil. A Empresa tem como visão ser líder no Setor Elétrico, competitiva e valorizada pela sociedade. Seus principais princípios e valores são: Satisfação dos Clientes, Valorização da Empresa e dos seus funcionários, Satisfação dos acionistas, Preservação da Ética nas relações sociais e comerciais e o Respeito ao Meio Ambiente. A figura 2.1 mostra o mapa do sistema elétrico Nordestino onde a CHESF possui as suas instalações operacionais e administrativas. O mapa é adaptado de um documento interno da empresa, o qual descreve a área de atuação da empresa no contexto do sistema elétrico da Região Nordeste.



Figura 2.1 Mapa do Sistema Elétrico CHESF

Fonte: Intranet CHESF

A Companhia é administrada por um Conselho de Administração e por uma Diretoria. A Diretoria Administrativa (DA) possui dois departamentos, 2 duas administrações regionais e duas Superintendências. O Departamento de Serviço Gerais (DSG) são um dos que estão subordinados a DA. O DSG por sua vez possui 3 divisões normativas e uma delas é a Divisão de Transporte (DATR). A figura 2.2 apresenta o organograma da Diretoria Administrativa com destaque ao DSG. O referido cronograma foi adaptado de documento interno(manual organizacional) no qual é apresentado toda a hierarquia da empresa.

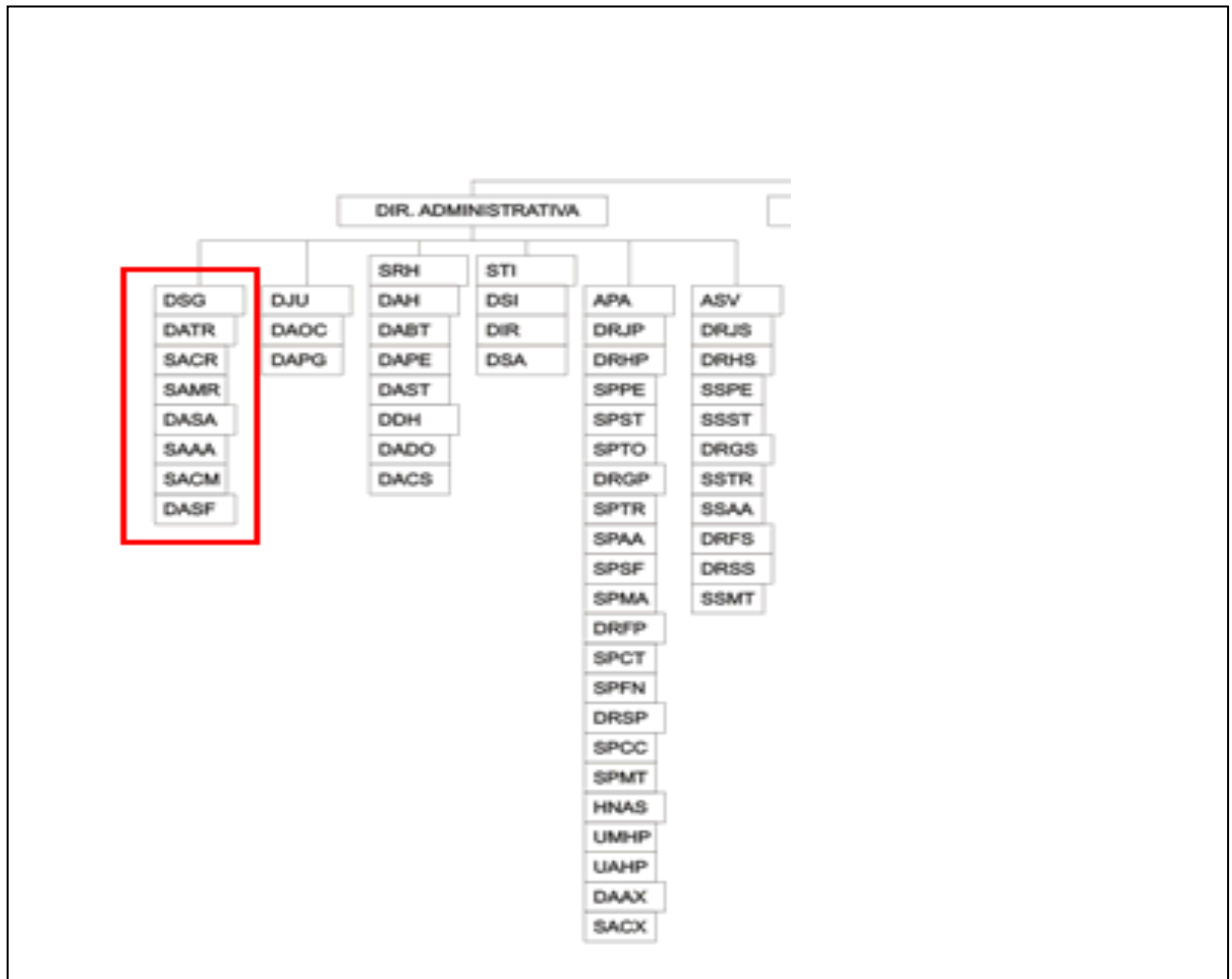


Figura 2.2 Organograma simplificado com a localização DATR

Fonte: Manual organizacional CHESF

Dentre as funções básicas da DATR, está a de fornecer dados para a política de utilização de veículos da frota pertencente à CHESF. Atualmente, a Empresa possui veículos próprios e locados. A frota como um todo, deve atender às necessidades de transporte da CHESF, seja de passageiros ou carga. Nesse contexto, existem basicamente dois tipos de frota segundo a utilização: Frota vinculada e Frota de *pool*. A frota vinculada é a que permanece à disposição de um determinado órgão. Já o *pool* de veículos é formado por uma frota diversa e atende à toda a empresa permanecendo sob o controle do órgão de transporte local. O problema que será tratado é o dimensionamento do número de veículos que deve ser ideal para o atendimento das necessidades de transporte da CHESF seja no modelo de *pool* de veículos ou frota vinculada.

2.1.1 Descrição da abordagem do problema na CHESF

A Diretoria Administrativa da CHESF tem como função a gestão empresarial da CHESF. Por meio de um processo cíclico de avaliação das Estratégias, a Diretoria Administrativa formula o seu Planejamento Estratégico, no intuito de aperfeiçoar seus processos internos e com isso melhorar o desempenho das atividades dos órgãos internos a quem ela presta serviço internamente. O Departamento de Serviços Gerais é o órgão que normatiza as políticas corporativas de transporte terrestre na CHESF. Tais políticas são executadas pela Divisão de Transporte (DATR) por meio dos seus Serviços, sendo o Serviço de Manutenção e Operação de Transporte do Recife (SAMR), responsável pelo transporte de carga e manutenção de veículos e o Serviço de Controle de Frota, responsável pelo controle, transporte de passageiros, documentação e contratos de locação de frota. Tanto o SAMR quanto o SACR atendem requisições de transporte diariamente por meio de um sistema informatizado de requisições, as quais podem ser para transporte de carga ou transporte de passageiros. Tais requisições devem ser atendidas com base em um prazo estabelecido por instrução normativa, a qual é de conhecimento de todos os requisitantes da empresa. O problema que será discutido ao longo desse trabalho consiste em determinar um modelo para o cálculo do número de veículos que deve atender a uma demanda por requisições de transporte de carga e de passageiros, seguindo uma determinada distribuição de probabilidade, com uma reserva técnica que minimize o custo de investimento em novos equipamentos ou custeio de locação de veículos.

2.1.2 Abordagem Atual para o Problema

A CHESF possui, além da sede localizada em Recife, 5 regionais que dão representatividade às ações empresariais nos estados em que estão localizadas e dois escritórios em São Paulo-SP e em Brasília-DF. São elas Paulo Afonso, Salvador, Sobradinho, Teresina e Fortaleza. As três primeiras localizadas no Estado da Bahia e as outras duas nas capitais de mesmo nome dos Estados do Piauí e Ceará respectivamente. Tais regionais são subordinadas a Diretoria Administrativa (Paulo Afonso e Salvador) e a Diretoria de Operação (Sobradinho, Teresina e Fortaleza). Nas Regionais que são subordinadas à DA, existe uma Gerência Regional subordinada à DO. Na Gerência Regional funcionam os órgãos de operação e manutenção do Sistema Elétrico da CHESF e a maior parte da frota vinculada da CHESF está localizada nesses órgãos. Todos os órgãos que possuem frota vinculada, sejam das regionais ou da sede, fazem parte de um sistema organizacional. Na figura 2.3 é

apresentado um organograma horizontal da atuação da DATR em relação aos órgãos Regionais. O

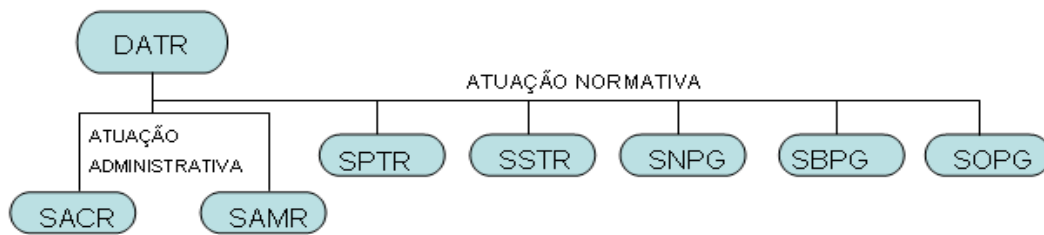


Figura 2.3 Sistema Organizacional Transportes

Todos os sistemas organizacionais, representados por um órgão normativo na sede da CHESF, além de definir as políticas e procedimentos básicos para as suas atividades, também definem a quantidade de veículos necessária para a sua programação. Por exemplo, os órgãos de manutenção da rede de telecomunicação da CHESF têm definido o número de veículos definido pelo órgão normativo que é nesse caso o Departamento de Telecomunicações (DTL). A principal limitação dessa abordagem é que todos os órgãos tenderão a solicitar um número de veículos acima do que é realmente necessário para compor a sua frota. Por sua vez a própria reserva técnica, provavelmente estará superdimensionada, já que a maioria dos órgãos utiliza os veículos em regime de prontidão e tendem a praticar o superdimensionamento com o objetivo de evitar indisponibilidade de veículos, o que pode impactar diretamente no resultado dos indicadores de desempenho de cada órgão. No caso de veículos pertencentes ao *pool*, o órgão que representa a área de transporte na Sede e nas Regionais é quem define dimensiona a quantidade de veículos que irão atender às requisições de transporte de passageiros ou carga. Esses órgãos fazem parte do Subsistema Transportes, os quais são responsáveis por implementar as normas definidas pela Divisão de Transporte. Semelhante aos outros órgãos que possuem frota vinculada persiste o problema de superdimensionamento da frota e que pode provocar investimentos ou locações de veículos desnecessárias.

2.1.3 Aspectos Desejáveis para serem tratados na Solução do Problema

Nas empresas do setor elétrico, a função transporte desempenha um papel de apoio ou suporte às atividades de geração, transmissão e distribuição de energia. Nessas empresas, a demanda dos veículos, de um modo geral, é medida em função das necessidades das áreas-fim, que estão em consonância com a política, as metas e as diretrizes emanadas da

administração superior. Além disso, existem particularidades que são próprias de empresas estatais, ou de capital misto. Tais empresas são submetidas aos órgãos controladores de governo como o Tribunal de Contas da União (TCU) e Controladoria Geral da União (CGU) e nesse caso em específico, necessita demonstrar em seus resultados, um compromisso com a sociedade, possuir uma postura de controle efetivo dos seus ativos e administrá-los com eficiência e responsabilidade.

2.2.3.1 Contexto da Frota da Empresa escolhida

A frota de veículos da CHESF é composta por veículos próprios ou locados, descritos quantitativamente e qualitativamente, conforme o tipo na tabela 2.1

REGIONAL	TIPO DE VEÍCULO		
	leves	médios	Pesados
SEDE DA EMPRESA	163	52	44
CAMPINA GRANDE	16	17	8
RIO LARGO	18	21	5
PAULO AFONSO	106	52	42
SALVADOR	69	58	19
FORTALEZA	26	37	14
TERESINA/BOA ESPERANÇA	26	28	12
SOBRADINHO	18	32	10
ESCRITÓRIOS	4	0	0

Tabela 2.1 Quantidade de veículos da frota da CHESF por categoria

Fonte: Sistema Frota CHESF

Os veículos leves, são utilizados na sua grande maioria, no atendimento às equipes de manutenção de linhas de transmissão, subestações, telecomunicações e controle e proteção. Em minoria esses veículos atendem viagens demandadas por outros setores da empresa por meio de um sistema de *pool*. Os veículos médios são utilizados também pelas mesmas equipes para atendimentos em lugares de difícil acesso e que necessitam de veículos com tração 4x4. Os veículos pesados, em maioria, são utilizados para transporte de carga em geral.

Os veículos de *pool*, tanto de carga como o de passageiros, representam em números aproximados, 15% da frota da CHESF. Tais veículos estão sob a responsabilidade dos órgãos de transporte na sede e nas Regionais. As requisições desses veículos são recebidas pelo órgão de transporte local atendendo ao prazo estabelecido em Instrução Normativa. No caso de

veículos vinculados, as requisições de transporte são solicitadas a cada mês apenas para efeito de controle de quilometragem dos veículos. Observa-se que os veículos do *pool* atendem a demanda de transporte dos órgãos de operação, manutenção, telecomunicações e engenharia da CHESF por meio de um sistema de filas. O fluxo interno das requisições é demonstrado na figura 2.5.

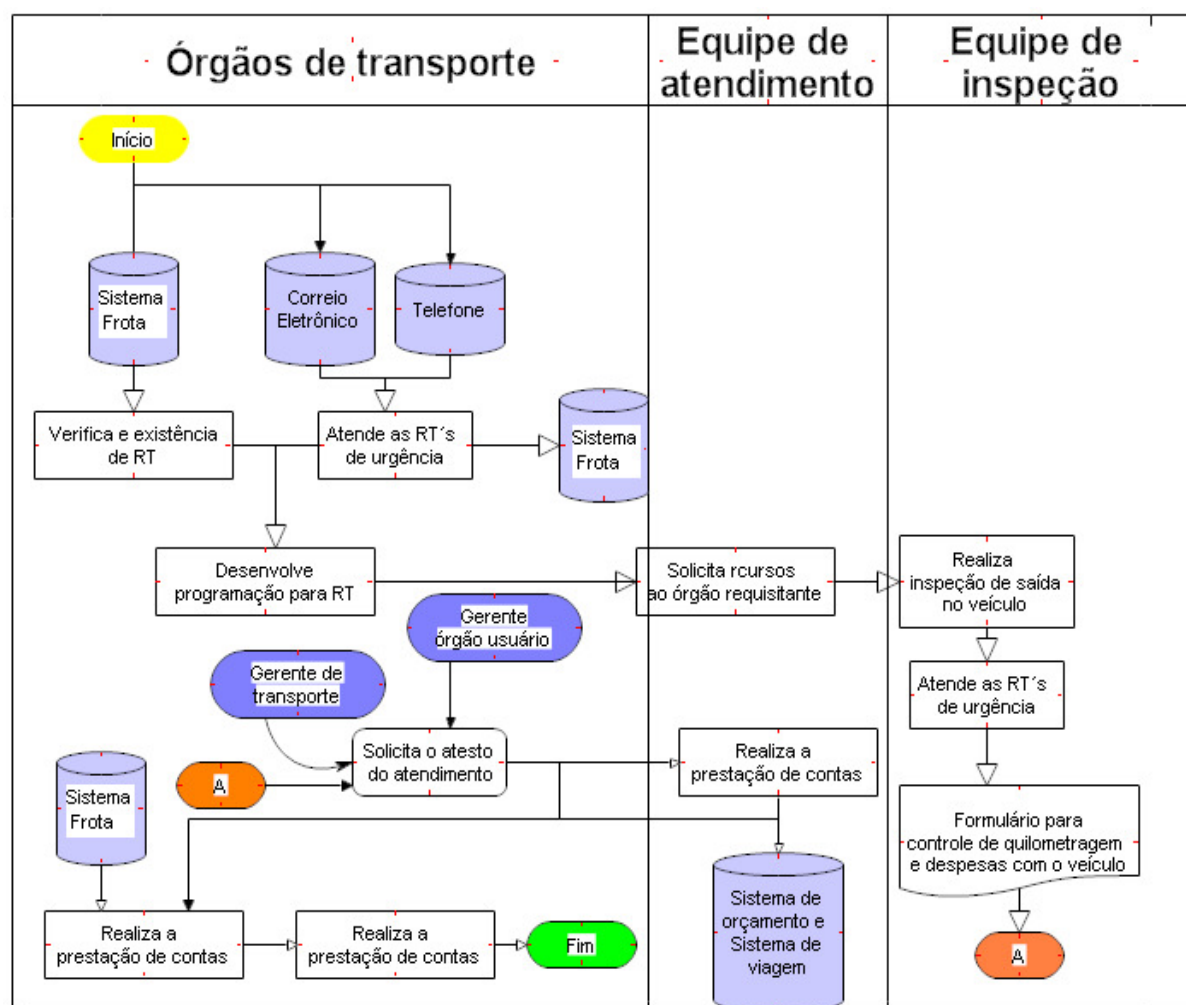


Figura 2.4 Fluxo de requisições de transporte na CHESF

Fonte: Sistema Interno CHESF

Tais requisições são visualizadas por meio de um sistema de informação (Sistema Frota) do qual os clientes internos (dos órgãos) se utilizam para emitirem as suas requisições.

O sistema emite relatórios mensais para acompanhamento pelos gestores das requisições atendidas por um período determinado.

Em resumo, nesse capítulo apresentou-se o problema do superdimensionamento de veículos e o seu contexto, além das abordagens adotadas pela empresa para a sua resolução. Em seguida, foi destacado qual é a origem do problema e quais são os aspectos desejáveis para a resolução desse problema. Uma revisão bibliográfica sobre os problemas da gestão de

transporte será apresentada no capítulo seguinte, como também um resumo dos estudos de diversos autores a respeito do problema específico de dimensionamento de frota.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, em primeiro momento, apresentam-se os modelos propostos por alguns autores para a resolução desse último problema, objeto desse trabalho e descrito ao longo do capítulo 2. Em seguida, os principais conceitos e justificativas para o entendimento das abordagens utilizadas nesse trabalho, como os problemas da gestão do transporte e do dimensionamento de frotas de veículos.

3.1 Base Conceitual para o problema de dimensionamento de frota

A base conceitual para o desenvolvimento dos modelos para esse trabalho em específico serão retirados da teoria das filas. A teoria das filas é um setor da Pesquisa Operacional que utiliza conceitos de formação de filas e suas características (Valente, 1975). Ainda segundo Valente, o modelo de filas nem sempre consegue representar as situações reais com grande precisão. A vantagem fica por conta da possibilidade desses modelos levarem a um melhor entendimento das condicionantes do processo.

3.1.1 Filas e Simulação

Dentro da Pesquisa Operacional, há também a possibilidade de se resolver problemas análogos com técnicas de simulação. As técnicas de simulação são bastante vantajosas sob o ponto de vista de um projeto, pois por meio de computadores, desenvolvem-se várias situações que poderiam ser inviáveis em testes reais, sejam para sistemas ou produtos. No caso do projeto de um avião, por exemplo, as simulações realizadas em túnel de vento são feitas no intuito principal de evitar situações que ponham em risco a segurança de vôo em situações reais, sem levar em conta o custo e o risco para se fazer um teste real de falhas em aeronaves. Esse caso pode ilustrar uma característica da simulação que é a de se conhecer a estrutura de um produto ou processo em específico, sendo geralmente válida para o caso em particular (Valente, 1975). No caso da Pesquisa Operacional, em específico, a simulação é utilizada para análise de sistemas estocásticos, onde o desempenho esperado de um sistema é “imitado” usando-se distribuições de probabilidade para de modo aleatório, gerar diversos eventos que podem ocorrer no sistema (Hillier & Lieberman, 2008). A simulação também precede um bom tempo na utilização várias configurações no processo e que em média pode elevar o tempo da resolução do problema, já que a pesquisa tentará evitar comportamentos dos mais diversos no intuito de resolver os problemas operacionais do sistema antes que eles

aconteçam. Nesse trabalho, modelos da Teoria das filas serão utilizados para se encontrar o número ótimo de veículos, segundo um mínimo custo e que nada mais é do que uma fila de clientes sendo atendidos pelos veículos, com um mínimo custo operacional.

3.1.2 Teoria das filas

Os primeiros estudos sobre as aplicações dos modelos de filas datam do início do século passado em 1909, quando Erlang, em seu trabalho “Probabilidade e Chamadas telefônicas” estudou o problema do congestionamento de sistemas telefônicos. Dessa época até os dias de hoje o modelo de filas foi estudado para diversas aplicações e foram desenvolvidos vários estudos, principalmente para a área de transportes que o tema do presente trabalho.

Em um processo de filas, ou sistema de filas, temos as seguintes notações: Clientes que necessitam de atendimento, os quais obedecem a um processo de chegadas. Servidores que fazem o atendimento desses clientes obedecendo a regras que são conhecidas como “disciplina da fila”. O mecanismo de atendimento é o processo utilizado pelo servidor para atender ao cliente na fila (Hillier & Lieberman, 2008). Um esquema de fila é ilustrado na figura 3.1.

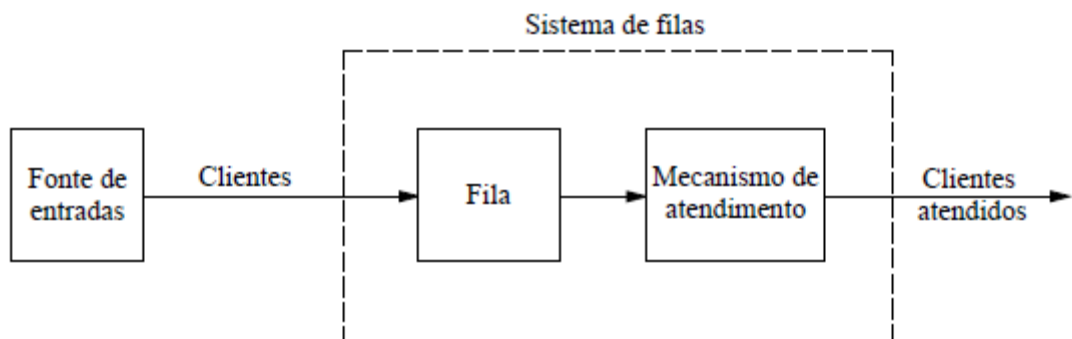


Figura 3.1 – Esquema de filas

Reproduzido de Hillier & Lieberman, Introdução à Pesquisa Operacional, cap 17, p 2.

3.1.3 Processos de atendimento e fontes de entrada

O tamanho ou o número total de clientes que necessitam de atendimento é também conhecido como população solicitante (Hillier & Lieberman, 2008). O tamanho dessa população pode ser considerado finito ou infinito e as fontes de entrada dessa população podem ser consideradas como limitadas ou ilimitadas. Podemos citar como exemplo de fila com entrada ilimitada e população infinita os veículos que esperam passagem por um

cruzamento em um sinal fechado. O sinal é o servidor e os clientes que precisam de atendimento são os veículos. Quando o número de clientes é relativamente grande, pode-se considerar a população infinita a fim de simplificar os cálculos. É importante também definir em termos estatísticos o processo de chegada de um sistema de filas. Para uma demanda aleatória, a hipótese mais usada é de que os clientes chegam ao sistema com um Processo de Poisson. Outra característica desse processo é que os clientes chegam a uma taxa média constante independente da quantidade de clientes na fila. Ou seja, o comportamento dos clientes não é influenciado pelo número de clientes que se encontram esperando por um atendimento e, portanto, a fonte de chegada é infinita assim como é o caso do sistema de requisições de transporte da empresa objeto do estudo. Equivalente à hipótese do processo de Poisson, considera-se que o tempo entre chegadas dos clientes ou requisições, obedece à distribuição exponencial. Isso significa dizer em termos práticos que a probabilidade de um atendimento acontecer em um tempo muito grande ou muito pequeno é praticamente zero, pois os tempos em sua grande maioria devem se aproximar do tempo médio. Não seria possível fazer essa aproximação se os tempos de atendimento tivessem uma variação considerável a depender do cliente que está sendo atendido.

3.1.4 A fila propriamente dita

Segundo Hillier & Lieberman(2008), A fila é o local onde os clientes aguardam antes de ser atendidos. Uma fila é caracterizada pelo número máximo de clientes permitidos que ela pode conter. As filas são chamadas infinitas ou finitas, conforme esse número for infinito ou finito. A hipótese de uma fila infinita é o padrão para a maioria dos modelos de filas, mesmo para situações em que ele realmente é um limite superior finito (relativamente grande) sobre o número de clientes permitido, pois lidar com um limite superior destes seria um fator complicador na análise. A teoria das filas ainda fornece o número médio de esperas, o tempo de espera médio e assim por diante, pois é irrelevante se os clientes esperam juntos em um grupo.

Para facilitar o trabalho com os dados e as análises realizadas em seguida, utilizaremos a notação feita por Hillier & Lieberman (2008), conforme abaixo:

- Estado do sistema = número de clientes no sistema de filas.
- Comprimento da fila = número de clientes aguardando que o atendimento se inicie ou estado do sistema menos número de clientes que estão sendo atendidos.
- $N(t)$ = número de clientes no sistema de filas no instante t ($t \geq 0$).

- $P_n(t)$ = probabilidade de exatamente n clientes se encontrarem no sistema de filas no instante t , dado o número no instante 0.
- s = número de atendentes (canais de atendimento paralelos) no sistema de filas.
- λ_n = taxa média de chegada (número de chegadas esperado por unidade de tempo) de novos clientes quando n clientes se encontram no sistema. Quando λ_n for uma constante para todo n , essa constante é representada por λ .
- μ_n = taxa média de atendimento para o sistema global (número de clientes esperado completando o atendimento por unidade de tempo) quando n clientes se encontram no sistema. Quando a taxa média de atendimento por atendente ocupado for uma constante para todo $n \geq 1$, essa constante é representada por μ . Nesse caso, $\mu_n = s\mu$ quando $n \geq s$, isto é, quando todos os s atendentes estiverem ocupados.

Sob as condições acima, $1/\lambda$ e $1/\mu$ são, respectivamente, o tempo esperado entre atendimentos e o tempo de atendimento esperado. Da mesma forma, $\rho = \lambda/(s\mu)$ é o fator de utilização para a instalação de atendimento, isto é, a fração de tempo esperada em que atendentes individuais se encontram ocupados, pois $\lambda/(s\mu)$ representa a fração da capacidade de atendimento ($s\mu$) do sistema que está sendo utilizada em média pelos clientes que chegam (λ). Para uma condição de estado estável, no qual a distribuição probabilística do estado do sistema permanece a mesma ao longo do tempo, a notação indicada será:

- P_n = probabilidade de exatamente n clientes se encontrarem no sistema de filas.
- L = número de clientes esperado no sistema de filas $\sum_{n=0}^{\infty} nP_n$.
- L_q = comprimento esperado da fila (exclui clientes que estão sendo atendidos)

$$= \sum_{n=s}^{\infty} (n - s)P_n$$
- $\acute{W}$ = tempo de espera no sistema (inclui o tempo de atendimento) para cada cliente individual.
- $W = E(\acute{W})$.
- $\acute{W}_q$ = tempo de espera na fila (exclui o tempo de atendimento) para cada cliente individual.
- $W_q = E(\acute{W}_q)$.

Segundo Novaes (1975), os clientes de uma fila podem ser atendidos individualmente ou em grupos. No caso de filas com atendimento individual, é conveniente a adoção da simbologia de Kendall, onde um modelo de fila desse tipo é representado por um símbolo do tipo $X/Y/C$, onde:

- a) A letra X representa o tipo do processo de chegadas. Para um processo de Poisson, coloca-se um M; Para chegadas com intervalos formando um processo de renovações qualquer, utiliza-se GI;
- b) A letra Y indica o tipo de distribuição dos tempos de atendimento. Para exponencial, utiliza-se o M, Ek a distribuição de Erlang de ordem k, D indica tempo constante (caso determinístico) e G representa uma distribuição genérica.
- c) A letra C representa o número de posições de atendimento em paralelo.

Portanto, para uma fila M/M/1, temos respectivamente um processo de chegadas do tipo Exponencial- Poisson; Uma distribuição exponencial para os tempos de atendimento e apenas uma posição de atendimento.

3.2 Problemas da atividade de transporte e do dimensionamento de frotas

As atividades de transporte, cada vez mais, assumem um papel fundamental na contribuição de um bom desempenho empresarial. Em termos de economia, sem a função transportes, produtos essenciais não chegariam às mãos de seus consumidores, indústrias não produziriam, e não haveria comércio externo (CNT, 2005). Em concordância, Ballou(2006) destaca que um sistema eficaz de transporte possui uma relação forte com o desenvolvimento de uma nação. O mesmo autor também afirma que o transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos para inúmeras empresas. Crainic(2001) destaca a importância de políticas de planejamento para que um sistema de transportes atinja o seu objetivo. Para ele, existem 3 níveis de planejamento: O estratégico, onde são tomadas as principais decisões estruturadoras como o desenho da rede de atendimento, a aquisição da maioria dos recursos e as políticas de tarifas. O tático é quando se decide o desenho da rede de serviço, ou seja, onde o transporte irá atuar e o operacional, o qual é desempenhado pelos gestores locais, equipes de despachantes que pode incluir as atividades de manutenção, o despacho dos veículos e sua roteirização. Embora o estudo do autor esteja focado em um determinado modal de transporte, entendemos que o termo veículo, e assim o é na literatura pesquisada, representa qualquer equipamento que possua mobilidade e que seja utilizado para transporte sejam de pessoas ou cargas. Como exemplo, podemos incluir os containers, navios, rebocadores entre outros.

Os autores em sua grande maioria, desenvolvem estudos relativos ao transporte de carga, já que esse atua diretamente na no escoamento da produção, o qual envolve a maior parte dos custos das empresas no transporte. Dejax & Crainic(1987) destacam que o transporte de mercadorias é uma atividade econômica essencial por envolver um grande número de operações complexas, carregando diversos produtos e utilizando diversos veículos por meio de redes de uma estrutura muitas vezes complexa. Vários são os problemas que envolvem a logística de transporte de cargas, como o veículo vazio, onde destacamos o estudo de Dejax & Crainic(1987), a alocação de veículos, estudado por Beaujon & Turnquist(1991) e Song & Earl(2008), roteirização de veículos estudado por Bard & Nananukul(2009), utilização de frotas, destacando o trabalho de Kite-Powell et al(2000) e o dimensionamento de frotas, onde destacamos os trabalhos de Bojovic(2002), List et al(2003), Koo et al(2004), Xia et al(2006) e Papier & Thonemann(2008) e Ghoseiri & Sayarshad(2009). A principal motivação dos estudos encontrados na literatura recente é o transporte de carga realizado pelo modal ferroviário. Tal situação reflete a grande utilização desse tipo de transporte na América do Norte e Europa, onde os trabalhos dos autores foram desenvolvidos.

3.2.1 Dimensionamento de frotas - abordagens específicas para o problema

Segundo Sayarshada & Ghoseiri(2009), os veículos utilizados para transporte são itens caros, tornando a decisão do dimensionamento de uma frota um questão muito importante, tanto para os pesquisadores, como para os transportadores. Na literatura, é consenso entre os pesquisadores atuais, que a capacidade de um sistema de transportes, está diretamente relacionada ao número de veículos disponíveis (Beaujon & Turnquist, 1991). Partindo de estudos recentes sobre o citado problema, identificamos diversos trabalhos com o foco de dimensionamento de frota de veículos, sejam eles vagões de trem, embarcações, caminhões, veículos leves ou containers. A predominância da maioria deles é o ferroviário, seguido do rodoviário. Destacamos o modelo de dimensionamento de uma frota de vagões com simulação de Godwin et al(2008), o modelo de demanda determinísticos ou estocásticos para determinar o tamanho da frota e a sua alocação de Beaujon & Turnquist(1991), o modelo de programação linear para dimensionar uma frota de veículos removedores de neve de Pierrer et al(2007), o modelo de otimização robusta de List (2003) e o modelo de filas demonstrado por Papier & Thonemann(2008) assim como Schein & Lima(2010). O foco desses autores é sempre o transporte de carga. Entre eles, faremos um breve resumo das propostas de

resolução do problema contidas nos principais artigos. São eles Beaujon & Turnquist(1991), Liste t al (2003) e Papier & Thonemann(2008).

3.2.1.1 O modelo de Beaujon & Turnquist(1991)

Segundo os autores, a capacidade de um sistema de transportes está diretamente relacionada ao número de veículos disponíveis e que nesse caso em específico, o objetivo é determinar um numero ótimo de veículos para um sistema de transportes de uma transportadora. No trabalho, os autores argumentam que se faz necessário um tradeoff entre onerar os custos operacionais da frota e aumentar o custo potencial das penalidades associadas por desconhecimento da demanda. Para os autores, em uma frota mal dimensionada, a demanda pode provocar locações desnecessárias, assim como realocação de veículos de um determinado trecho para suprir uma demanda emergencial. Prosseguem colocando que as conseqüências para um sistema mal dimensionado é aumento do custo operacional da frota, tanto em locações, como em encargos de pessoal como horas extras e diárias à disposição. Fazendo-se um paralelo com as empresas que possuem o transporte como atividade suporte, sobretudo as empresas de *utilities*, devemos incluir o impacto às programações gerando atrasos, multas contratuais pelo tempo indisponível de fornecimento do serviço assim como a insatisfação do cliente interno, onde o transporte é um órgão formal de prestação desse tipo de serviço dentro da empresa. Os autores continuam com a afirmação de que a demanda para os percursos são variadas e que constantemente são mudadas, o que causa um desequilíbrio freqüente na alocação dos recursos de transporte. Isso implica na redistribuição dos veículos vazios, ou mais ociosos em pontos de sobrecarga da rede. A pesquisa citada no trabalho dos autores atenta para a integração entre as decisões de dimensionamento de frotas com a otimização da utilização de veículos. Para fazer essa integração, será necessário primeiramente, reconhecer duas características fundamentais em um sistema de transporte:

- a) Os sistemas são dinâmicos, pois atendem a uma demanda que muda constantemente;
- b) Existe a incerteza nas demandas de transporte.

O modelo concebido pelos os autores foi desenvolvido para responder as seguintes questões: Quantos veículos devem compor a frota? Onde devemos alocar o *pool* de veículos? e em que determinado momento ou local, podem ser alocados os veículos que compõe o *pool*?. No centro desse modelo estão decisões como a de determinar qual o tamanho da frota de veículos para determinado ponto de atendimento e as decisões de roteirização(como o veículo que está vazio pode ser redistribuído de modo a repor as necessidades de serviço nos *pools* de veículos). O principal problema, segundo os autores é de encontrar o tamanho da

frota, que minimiza o capital e/ou custos operacionais, enquanto atende a demanda satisfatoriamente. Nesse caso específico, há a combinação do problema do dimensionamento em conjunto com de alocação de veículos. A formulação do modelo proposto por Beaujon & Turnquist é um combinado entre o problema de alocação de veículo com o problema de otimização. O método desenvolvido pelos autores para a solução desse problema é processado em duas etapas: a primeira é a formulação do problema em termos de valores esperados das variáveis aleatórias associadas ao problema, como os custos esperados com as penalidades associadas ao desconhecimento da demanda em cada localidade. A segunda fase é a transformação da formulação do valor esperado em um problema de otimização de rede não linear. Alguns exemplos são calculados pelos autores, por meio de programação em computadores, e são apresentados no trabalho. Os autores concluem que a falta de representação explícita dos aspectos probabilísticos e dinâmicos de um sistema de transportes em modelos de decisão para dimensionamento de frota e alocação de veículos, pode levar a perdas de oportunidade significativas no sentido econômico.

3.2.1.2 O trabalho de List (2003)

Nesse trabalho, os autores afirmam que o dimensionamento de frotas de veículos é um exemplo específico de dimensionamento de um sistema de recursos reutilizáveis. Afirmam que os modelos de dimensionamento de uma frota costumam lidar com o seguinte problema: Dada a demanda por viagens de um veículo e as características de cada viagem (duração, insegurança, etc.), o número ideal de veículos deverá ser necessário para satisfazer a demanda em relação a algum critério (minimização do custo total por exemplo). Considerando que os veículos são geralmente ativos de longa duração, há uma incerteza intrínseca sobre as demandas que irão surgir durante a sua vida útil e as condições sob as quais eles operam. Os autores citam também que, embora os pesquisadores, de um modo geral, reconheçam a importância dessa incerteza, o dimensionamento da frota é um dos problemas, que na maioria das vezes, são bastante difíceis de resolver, mesmo em hipóteses determinísticas. Resumi-se que o objetivo do trabalho dos autores, é ilustrar uma estratégia de solução que incorpora a incerteza em modelos de otimização para o dimensionamento da frota, com um foco particular na otimização robusta.

De acordo com a pesquisa de List et al (2003), existem três principais entradas que envolvem o problema de dimensionamento de frota de veículos:

- a) A demanda de transporte;
- b) A rede sobre a qual as operações são conduzidas;

c) Os parâmetros de custos associados com os vários investimentos e decisões operacionais.

Para os autores, existem 3(três) tipos de custos associados: os custos de propriedade, os custos operacionais, custos em relação à qualidade dos serviços prestados, se revertendo em penalidades por não atender às exigências solicitadas. A formulação do modelo proposto pelos autores, fornecem um processo de solução que visa avaliar os impactos da incerteza sobre as decisões de dimensionamento da frota, e para apoiar decisões de *tradeoff* entre custos esperados contra os riscos. O modelo proposto é desenvolvido como uma otimização estocástica. A dificuldade dessa aplicação, reconhecida pelos próprios autores, é que se exige um volume grande de interações computacionais tendo como consequência uma solução não muito trivial. A esse respeito, os autores citam que, apesar dos recursos de pacotes computacionais da época não apresentarem uma solução a contento, com o avanço tecnológico, será possível quebrar essa barreira.

3.2.1.3 O modelo de filas de Papier e Thonemann (2008)

O trabalho dos autores foi motivado por um problema de otimização de frota enfrentado por uma das principais empresas ferroviárias de carga da Europa. A companhia estudada pelos autores opera uma frota de mais de 100.000 vagões e investe anualmente somas consideráveis de recursos na aquisição de novos veículos. Nesse trabalho, os autores desenvolveram e resolveram modelos analíticos para o planejamento de frota. O modelo estudado pelos autores foi descrito como um processo de aluguel de veículos que poder ser modelado como um sistema de perda de filas. Em seguida foi desenvolvida uma função de lucro para calcular os resultados estruturais. Com base nestes resultados estruturais, os autores mostraram que: podem ser otimizados o tamanho da frota, a tipificação dos veículos que compõe a frota (isto é, os tipos de veículos que serão utilizados) e uma frota complementar de veículos alugados. O objetivo dos autores foi o de determinar o tamanho da frota que maximiza o lucro esperado. O lucro esperado, portanto, é composto por três componentes: a contribuição esperada, o custo esperado de perdas de receita(nessa componente poder incluído o custo do aluguel de veículos de emergência para uma demanda não atendida ou uma compensação para o cliente) e os custos de propriedade da frota (custos operacionais).No caso deste último, os autores incluem os custos com depreciação, o custo de capital e o custo de manutenção.Tais custos são característicos dos transportes ferroviários, já que não se tem a componente combustível, o qual é uma grande parcela dos custos de no transporte rodoviário. Os autores desenvolveram modelos de filas para o dimensionamento da frota, tipificação de

frota e de locação de frota. O modelo foi experimentado com base em números da empresa que motivou o estudo. O desempenho desse modelo foi comparado o desempenho de uma modelo de simulação. A conclusão é que os resultados da simulação foram próximos aos resultados do modelo de filas. No entanto, devido ao maior nível de detalhes (cerca de 10000 parâmetros nesse caso) exigido para se calcular o modelo de simulação, a empresa objeto do estudo optou pelo modelo de filas por ser mais fácil de tratar. No artigo, foi estudado o caso em que a empresa ferroviária paga uma penalidade para cada demanda não atendida. Partindo deste pressuposto, foi demonstrado como maximizar o lucro esperado. No entanto, segundo os autores, muitas empresas não explicitam a maximização do lucro, mas sim a minimização do custo com uma restrição no serviço. A vantagem desse processo, segundo os autores, é que quando se utiliza uma restrição de serviço ao invés de um custo por penalidade, o efeito monetário da perda de vendas nos lucros não tem de ser estimado. No entanto, um adequado valor para o nível de serviço deve ser especificado. Para isso, é possível a adaptação da fórmula de cálculo do tamanho da frota.

No presente capítulo, foram apresentados os principais estudos relativos à problemática do gerenciamento de frotas e transporte, destacando-se a problemática do dimensionamento de frota de veículos em relação a uma demanda na maioria das vezes incerta. Modelos de filas, além da simulação, se tornaram eficazes na resolução de problemas estudados por diversos autores. No próximo capítulo, testes com os diversos modelos teóricos de atendimento de filas serão realizados a fim de se verificar a adequação à realidade do modelo adotado pela empresa baseando-se nas respectivas medidas de desempenho. Em seguida, o número de veículos atendentes será calculado com base nos dados de toda a empresa, utilizando-se o modelo de filas escolhido.

4 MODELO PROPOSTO

4.1 Descrição do Modelo de Filas

O modelo tem por objetivo resolver o problema de super-dimensionamento de frota, ocasionado principalmente devido ao desenvolvimento de dimensionamento separado por sistema organizacional.

Ou seja, atualmente os sistemas organizacionais definem sua necessidade informando a quantidade de veículos que entendem ser a mais adequada. Na realidade a quantidade deveria ser definida pela DATR. Os sistemas organizacionais deveriam definir sua necessidade informando a demanda e forma de atendimento, além de estabelecer o nível de serviço, que consiste no desempenho do sistema de filas.

A idéia desse modelo é propor um sistema integrado que levante as demandas separadamente por sistema organizacional e integre esta demanda na forma de canais de atendimento de um sistema de filas, conforme figura 4.1

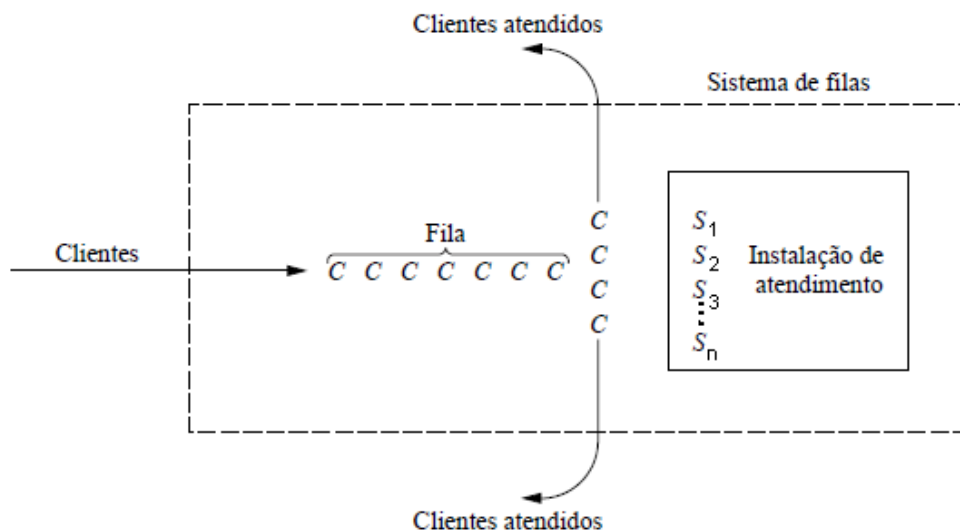


Figura 4.1 – Esquema de filas com n atendentes

Adaptado da figura 17.2 de Hillier & Lieberman, Introdução à Pesquisa Operacional, cap 17, p 5.

Cada órgão da empresa possui uma taxa de chegada λ . Para cada órgão poderia ser estabelecida uma taxa de atendimento específica. No entanto, pode ser assumido que a taxa de atendimento μ é a mesma para cada tipo de veículo: leves, médios, semi-pesados, e pesados.

Assim, é necessário o dimensionamento da quantidade de canais de atendimentos S para o sistema.

4.1.1 Resultados a serem gerados pelo Modelo

Serão desenvolvidos modelos diferentes para cada tipo de veículo, sendo ainda um modelo para cada órgão de uma Regional. No caso da Sede da CHESF, por exemplo, existem órgãos que definem suas necessidades e outros que simplesmente determinam o número de veículos ideal da Frota. No caso das Regionais, os órgãos, por serem executores das políticas dos seus respectivos sistemas organizacionais, obedecem à política determinada por esses sistemas chamados de normativos. O modelo permitirá a determinação de desempenho para cada dimensionamento, ou seja, quantidade de veículos.

4.1.2 Modelagem da Chegada

O processo de chegada terá taxa λ , onde considera-se que a mesma terá uma distribuição exponencial. Isso será razoável na medida em que a taxa de chegada das requisições de transporte é uma constante. Portanto, a taxa de chegada total será a soma de todas as taxas dos órgãos requisitantes, cada um com uma taxa específica. Considera-se também que a disciplina da fila seja que os primeiros que chegam serão os primeiros a serem atendidos.

4.1.3 Modelagem do Atendimento

Admitamos que o tempo de atendimento das requisições de transporte obedecerá a uma distribuição exponencial. Portanto, a taxa de média de atendente será μ (constante). Nesse caso, não iremos considerar o tipo de veículo, que pode variar de acordo com a carga a ser transportada ou a atividade que irá desenvolver, por razões de simplificação. Então, o fator de utilização ρ será menor que 1. Portanto, $(\lambda/\mu) < 1$.

4.2 Aplicação do Modelo de Filas

A aplicação do modelo se dará pelo teste dos vários arranjos de probabilidade disponíveis na teoria das filas a fim de que sejam calculadas as medidas de desempenho para o modelo.

4.2.1 Contexto Selecionado

O órgão que servirá como cliente será o CORE. A escolha tem como base a criticidade do processo do órgão que está diretamente ligada ao cumprimento de metas de desempenho,

sempre atreladas aos órgãos reguladores, como a ANEEL e que o não cumprimento leva ao pagamento de multas atreladas a uma porcentagem do faturamento da Empresa. O tipo de veículo considerado será o veículo de carga, por ser o que na maioria das vezes, atende às requisições do CORE transportando tanques ou centrais de óleo.

4.2.2 Coleta de Dados

Os dados coletados são oriundos do Sistema de Frota, onde são registrados todos os dados das requisições de transporte como: órgão requisitante, data para atendimento, origem e destino entre outros detalhes. Iremos tomar como referência os dados das requisições relativos ao ano de 2009, conforme tabela 4.1.

ÓRGÃO	MESES					
	Jan	Fev	mar	abr	Mai	jun
CORE	7	9	3	2	6	3
	Jul	Ago	Sete	out	Nov	dez
	1	2	3	2	4	2

Tabela 4.1 Número de requisições de transporte atendidas do órgão CORE

Fonte: Sistema Frota CHESF

Com os dados acima, calcula-se os parâmetros da fila (λ, μ, s) assim como as medidas de desempenho (W, L, W_q, L_q). Faz-se o cálculo baseando-se nos modelos mudando-se apenas a distribuição do tempo de atendimento, já que não dispomos desse dado. Em seguida, há um comentário sobre os dados obtidos em cada modelo, analisando as influências dessa distribuição nos dados obtidos.

4.2.3 Modelo M/M/s

Utilizando a medida de tempo em dias, conforme tabela 4.1, teremos $\lambda = 0,12$ requisições por dia. Já o tempo de atendimento será estimado em 7 dias. Portanto, μ será igual a 0,14. Calcula-se as medidas de desempenho para um número de veículos (atendentes) iguais a 3, 2 e 1.

Os resultados são mostrados nas tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 e os gráficos das distribuições de probabilidade do número de clientes no sistema, nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3 respectivamente.

Para cálculo das medidas de desempenho, foi utilizado um modelo feito em Excel com base no modelo de Hillier & Lieberman(2008).

Para $s=3$ veículos, temos:

Descrição	Símbolo	Valor
Número de clientes esperando	L	0,88192771
Comprimento da fila	L_q	0,02478485
Tempo de espera no sistema(em dias)	W	7,34939759
Tempo de espera na fila(em dias)	W_q	0,20654045
Fator de utilização do veículo	ρ	0,28571429

Tabela 4.2 Medidas de desempenho para um modelo M/M/s para $s=3$

Diante dos dados apresentados, observa-se que os 3 veículos seriam suficientes para atendimento às requisições do CORE. Não teríamos fila para esse caso em específico, já que o número de clientes na fila de espera será menor do que 1, o comprimento da fila é insignificante e o tempo de espera na fila será em torno de 5 horas. Já o fator de utilização estaria próximo dos 30 % o que é relativamente baixo para uma frota de veículos de carga. Com uma indisponibilidade por manutenção em torno de 10%, a ociosidade dos veículos ficaria em torno dos 60%. Um valor muito alto para qualquer frota de veículos. Caberia ao setor de transportes a avaliação do custo e benefício de se manter 3 veículos no *pool* de transporte. Para essa análise, por falta de parâmetros que dependem exclusivamente dos clientes internos, não se levou em conta o nível de criticidade do não atendimento a uma requisição de transporte (nesse caso do CORE) em função do desempenho ou da disponibilidade do transporte.

A figura 4.2 apresenta o gráfico da distribuição de probabilidade da existência de clientes na fila considerando 3 veículos atendentes. Devemos notar que a probabilidade de termos 2 clientes no sistema de filas é aproximadamente um terço da probabilidade de não termos clientes no sistema. Esse dado se torna significativo, na medida em que temos uma probabilidade próxima a 45% de que não existam clientes no sistema. Isso pode demonstrar, caso considerarmos que a estimativa de tempo de atendimento é real, um superdimensionamento do número de atendentes, o que poderia ajudar na análise do custo e benefício em se manter essa frota.

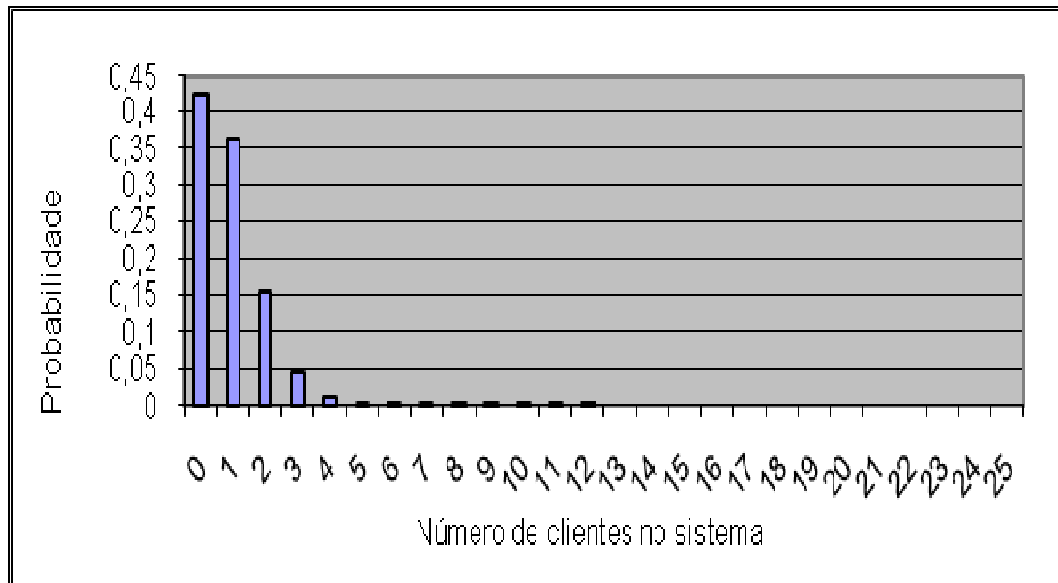


Figura 4.2 Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila $M/M/s$, para $s=3$

Em seguida, iremos verificar uma situação com 2 veículos atendentes, a qual irá expressar melhor, por meio das medidas de desempenho, a idéia de superdimensionamento da situação com 3 atendentes.

Para $s=2$ veículos, temos as seguintes medidas de desempenho:

Descrição	Símbolo	Valor
Número de clientes esperando	L	1,05
Comprimento da fila	L_q	0,192857143
Tempo de espera no sistema(em dias)	W	8,75
Tempo de espera na fila(em dias)	W_q	1,607142857
Fator de utilização do veículo	ρ	0,428571429

Tabela 4.3 Medidas de desempenho para um modelo $M/M/s$ para $s=2$

Podemos observar conforme tabela 4.3, que embora tenhamos um aumento expressivo no tempo de espera, se comparado com a situação anterior, ainda assim não teríamos um colapso no sistema, haja vista que o tempo de espera ainda é inferior a dois dias o que é razoável diante de uma realidade de requisições programadas. Devemos observar também que houve acréscimo significativo no valor do fator de utilização do veículo em relação ao anterior colocando-o em torno de 43%. Somando-se a indisponibilidade aceitável (10%), chegaríamos a um valor não muito preocupante para uma frota. O risco dessa análise direta é

que está se falando em apenas 2 veículos, e que a falta de um por motivos não previstos como um sinistro(o que pode ser comum a depender da exposição ao risco) poderia levar o sistema ao colapso, já que teríamos o fator de utilização próximo de 1(um) indicando congestionamento iminente como é apresentado na tabela 4.4. Observar-se no gráfico da figura 4.3 a probabilidade de 40 % para a inexistência de clientes em atendimento o que ainda indica uma situação de conforto para o sistema, já que a probabilidade de termos 3 clientes no sistema(acima da capacidade dos atendentes) é em torno de 15%, deixando portanto, uma requisição de transporte na fila.

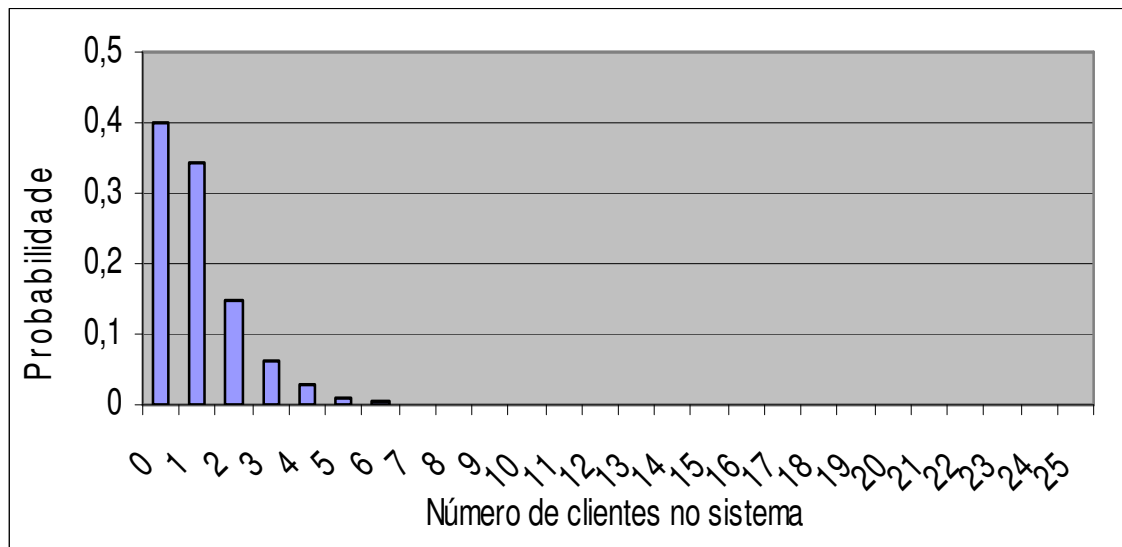


Figura 4.3 Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila $M/M/s$, para $s=2$

Com a simulação de apenas 1(um) veículo atendente, teremos uma situação totalmente adversa em termos de medidas de desempenho(tabela 4.4). Com o fator de utilização próximo de 1, a fila estaria próximo da tendência de crescimento indefinido(Andrade, 1998). Observar que o tempo de espera muito grande (42 dias) não estaria compatível com a realidade, mesmo se tratando de apenas 1(um) atendente. O motivo é justamente a probabilidade de se ter ou não clientes no sistema (figura 4.4). A conclusão é que de uma forma ou de outra, a situação (de apenas 1 atendente) é totalmente inviável, tanto do ponto de vista teórico, como do ponto de vista prático, já que não teríamos praticamente nenhuma folga no sistema, tanto para manutenção dos veículos como para situações imprevistas, sem considerar o fator humano(indisponibilidade de motoristas).

Descrição	Símbolo	Valor
Número de clientes esperando	$L =$	6
Comprimento da fila	$Lq =$	5,142857143
Tempo de espera no sistema	$W =$	50
Tempo de espera na fila	$Wq =$	42,85714286
Fator de utilização do veículo	$\rho =$	0,857142857

Tabela 4.4 Medidas de desempenho para um modelo M/M/s para $s=1$

Observa-se no gráfico da figura 4.4 que a distribuição de probabilidade para apenas 1 atendente obedece à distribuição exponencial negativa. É importante observar que graficamente, é possível identificar que a fila tende a crescer indefinidamente. A partir do momento em que o coeficiente de utilização cresce, a área correspondente à probabilidade de que teremos acima de dois clientes (um sendo atendido e dois na fila) corresponderia a 60 % aproximadamente.

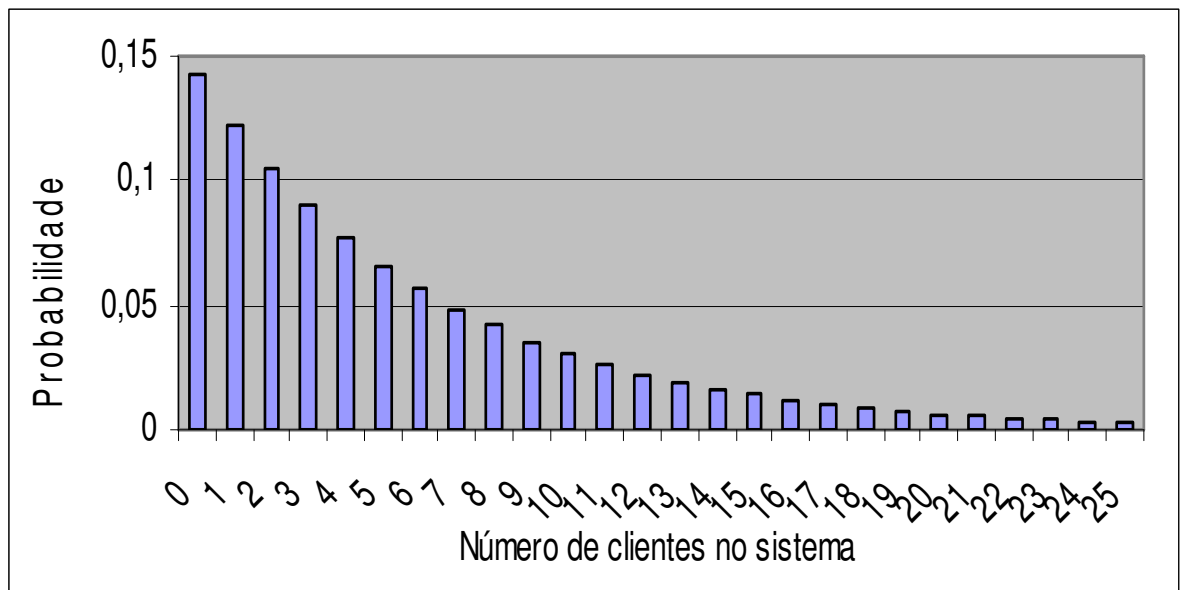


Figura 4.4 Gráfico da distribuição de probabilidade em função do número de clientes na fila M/M/s, para $s=1$

Apresenta-se nesta seção, a simulação de um modelo de filas M/M/s para 3,2 e 1 atendente respectivamente. A análise de sensibilidade para os resultados é fundamental para a

tomada de decisão do gestor de transporte quando da alocação de recursos (veículos) quando se deseja aumentar a capacidade de atendimento desse sistema, sem comprometer os custos operacionais e fixos que possui uma frota de veículos. Os dados mostram que, para se ter uma situação ideal (medida de desempenho aceitável sob o ponto de vista do cliente), o setor de transporte deveria dispor de 2 veículos. Esse quantitativo seria suficiente para atender a demanda imposta pela fila e não iria comprometer a programação do cliente que teria uma espera de no máximo 2 dias. Outro fato é que esse número iria levar a um fator de utilização abaixo dos 50%, sendo esse relativamente baixo em relação à meta estabelecida pela empresa que é de no mínimo 94%. O fato é que caso a empresa não dispusesse de um instrumento normativo, onde estão descritos o prazo máximo para atendimento de uma requisição de transporte (3 dias), haveria a necessidade de se aumentar o número de veículos atendentes para 3 ou mais por exemplo, pois o cliente, sabendo que não há prazo estabelecido, desejaria ser atendido o mais rápido possível. Nesse caso, o gestor deve trabalhar também com a análise de custo e benefício. Pois nesse caso, há o aumento de ociosidade e custos operacionais. Na próxima sessão, verifica-se que o comportamento dessas medidas com base em outro modelo de filas, o qual determina que a probabilidade do processo de atendimento é regida por uma distribuição geral de probabilidade.

4.2.4 Modelo M/G/1

A diferença nesse caso é que ao invés da distribuição exponencial para o tempo de atendimento, utiliza-se uma distribuição aleatória. Esse sistema, semelhante ao anterior, possui a hipótese de que os tempos de atendimento são independentes para a mesma distribuição probabilística. Iremos utilizar a mesma taxa de requisições de transporte por dia, o mesmo tempo de atendimento e o mesmo número de veículos (atendentes) do modelo anterior. O resultado será mostrado na tabela 4.5. Para cálculo das medidas de desempenho, também foi utilizado um modelo feito em Excel com base no modelo de Hillier & Lieberman(2008).

Descrição	Símbolo	Valor
Número de clientes esperando	L =	3,090
Comprimento da fila	L _q =	2,250
Tempo de espera no sistema (em dias)	W =	25,750
Tempo de espera na fila (em dias)	W _q =	18,750
Fator de utilização do veículo	ρ =	0,84

Tabela 4.5 Medidas de desempenho para um modelo M/G/1

Conhecendo-se os valores da média e variância já é possível o cálculo das medidas de desempenho para o modelo. Essa é praticamente a grande vantagem de se modelar uma fila utilizando-se esse modelo. A simplicidade da equação de cálculo do L_q ($L_q = W_q \lambda$), a qual é mais conhecida como fórmula de Pollaczek-Khintchine, em homenagem aos dois pioneiros no desenvolvimento da teoria das filas, demonstra um pouco essa idéia. É interessante notar que, mesmo com um fator de utilização próximo ao do modelo anterior, as medidas de desempenho assumem menores se comparados com a mesma situação do modelo M/M/s.

4.2.5 Modelo M/E_k/s

Nesse modelo, a distribuição os tempos de atendimento assumem uma distribuição de Erlang. A função densidade de probabilidade é calculada conforme a expressão:

$$f(t) = \frac{(\mu k)^k}{(k-1)!} t^{k-1} e^{-k\mu t}$$

Para todo t no intervalo $0 \leq t < \infty$. A média será $1/\mu$ e o desvio padrão será $(1/\sqrt{k})(1/\mu)$, onde k é denominado como parâmetro de forma. Deve-se notar que para k=1, a distribuição se torna exponencial e para k tendendo ao infinito, a distribuição é determinística. O k pode significar, no nosso caso, o número de vezes que os veículos (atendentes) deverão realizar uma tarefa a cada atendimento. Para efeito de exemplo, podemos estimar que todos os veículos que atenderão ao CORE, terão que carregar em dois almoxarifados durante a viagem em tempos com distribuição exponencial. Portanto nesse exemplo, o k será igual a 2(dois). Outra condição é que o fator de utilização (ρ) deve ser menor do que 1(um) (Noaves, 1975). Os dados foram simulados com os números de atendentes 2 e 1. Foram calculados utilizando modelo feito em Excel com base no modelo de Hillier & Lieberman(2008), além do gráfico de para s=2 atendentes oriundo da mesma obra. Os resultados estão na figura 4.5 e na tabela 4.6.

Data			Results	
$\lambda =$	0,12	(mean arrival rate)	$L =$	4,71428571
$\mu =$	0,14	(mean service rate)	$L_q =$	3,85714286
$k =$	2	(shape parameter)	$W =$	39,2857143
$s =$	1	(# servers)	$W_q =$	32,1428571
			$\rho =$	0,85714286
			$P_0 =$	0,14285714

Figura 4.5 Resultados para o modelo M/Ek/1

De acordo com os resultados apresentados na figura 4.6, observa-se que o tempo de espera assemelha-se ao encontrado na simulação do modelo M/M/s o que evidencia que o caso acima é uma particularidade da distribuição exponencial quando $k=1$ (Hillier & Lieberman, 2008). Já o número de clientes esperando é um pouco menor do que o do modelo M/M/s. A distribuição de probabilidade para a inexistência de clientes na fila (P_0) é semelhante a encontrada no modelo M/M/s. Veremos o caso onde o número de veículos atendentes é igual a 2(dois) e em seguida discutiremos os resultados comparados com os outros modelos. Os resultados foram uma aproximação gráfica utilizando-se o gráfico (Anexo 2) do modelo de filas M/Ek/2 de Hillier & Lieberman(2008)

Descrição	Símbolo	Valor
Número de clientes esperando	$L =$	1
Comprimento da fila	$L_q =$	0,1543
Tempo de espera no sistema (em dias)	$W =$	7,12857
Tempo de espera na fila (em dias)	$W_q =$	0,12857
Fator de utilização do veículo	$\rho =$	0,42857

Tabela 4.6 Aproximação das medidas de desempenho para um modelo M/E₂/2

Observa-se que, conforme resultados apresentados na tabela 4.6, há uma semelhança em termos de medidas de desempenho com o modelo M/M/s com uma ligeira queda no tempo de espera total do sistema e o tempo de espera na fila. Note-se que da mesma forma como foi o exemplo com o modelo M/M/s, um acréscimo de apenas 1 atendente levou a uma redução

significativa na quantidade de clientes na fila (tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6). Em seguida, utiliza-se os mesmos parâmetros dos anteriores para verificar o comportamento do sistema com o tempo de atendimento seguindo um modelo determinístico.

4.2.6 Modelo M/D/s

Esse modelo possui a característica de que os tempos de atendimento se igualam a uma constante fixa (Hillier & Lieberman, 2008) para uma média de chegada λ constante. Conforme citado no item anterior, verifica-se nesse modelo um caso específico da distribuição de Erlang(parâmetro de forma “k” com tendência ao infinito). O “D” significa uma distribuição degenerada de tempo de atendimento. Esse caso na prática seria pouco provável dada a natureza do próprio atendimento onde os veículos dificilmente irão realizar viagens com tempos iguais ou pelo menos parecidos, já que atendem à órgãos diferentes, cada qual com uma necessidade específica. Conclui-se, portanto, que seria desnecessário o teste do referido modelo nesse trabalho.

4.2.7 Discussão dos Resultados

Foram apresentados os testes baseados em números reais de demanda das requisições solicitadas por um órgão da empresa escolhida, como também de estimativas realizadas por meio de experiência para o tempo de atendimento. O órgão CORE atende as solicitações de manutenção de equipamentos de subestações em toda a empresa e demanda prazos e metas que são em maioria, programadas com antecedência por órgãos fiscalizadores com a ANEEL. Portanto, para esse órgão, assim como a todos os outros, a medida de desempenho tempo de espera se torna a mais importante. Isso não quer dizer que as outras medidas não são relevantes, mas que essas devem estar ligadas diretamente ao controle e gerenciamento do órgão de transporte que é o responsável por analisar a capacidade do sistema, acompanhando o seu desempenho e tendo como meta não ultrapassar o índice de utilização dos veículos atendentes a fim de se evitar um congestionamento. Para isso, é importante que existam sistemas de informação com dados confiáveis e que estes por sua vez, dependam minimamente da intervenção humana a fim de que existam dados confiáveis para uma eventual tomada de decisão pelos gestores das áreas de transporte. Outro fato importante é a possibilidade de se utilizar esse mesmo modelo para o processo de requisições de transporte de passageiros, o qual segue a mesma lógica do *pool* de transportes de carga. Analisando os dados obtidos pelos diversos modelos exibidos nas seções 4.2.3 a 4.2.6 e conservando-se os

parâmetros do sistema de filas constantes (λ, μ e ρ), podemos verificar que a distribuição que mais adere à realidade do processo de chegada é a exponencial, enquanto que a distribuição para o processo de atendimento estaria entre a exponencial e a de Erlang.

Considerando que o Erlang serviria para as condições em que não existam grandes variações no tempo de atendimento, escolhe-se a distribuição exponencial. Portanto, o modelo M/M/s que mais se adéqua ao sistema de atendimento das requisições de transporte do *pool* de transporte de carga.

4.3 Aplicação do modelo escolhido em uma situação real

Para esse caso, aplica-se o modelo de filas M/M/s para dimensionar o número de veículos (atendentes) de uma frota que atendem as requisições de transporte pertencentes ao órgão de transporte responsável pelo atendimento ao transporte de carga, representando uma situação real que ocorre no dia-a-dia do setor de transportes da Empresa escolhida. O cálculo será feito como base no histórico de demandas do órgão de transporte (SAMR). Destaca-se que apenas três órgãos representam, no caso real, mais de 65% da demanda do setor de transporte. Tais veículos fazem parte do *pool* de veículos existente na frota da Sede da Empresa escolhida, a qual é a mais representativa para esse tipo de transporte. O dimensionamento do número de veículos será feito em função da medida de desempenho tempo de atendimento, a qual é dada a maior importância por parte dos órgãos requisitantes.

4.3.1 Cálculo dos veículos de carga

Para esse modelo, será feito o cálculo do número de veículos. Admita-se também que os veículos citados são de mesma característica (modelo de veículo e capacidade de carga), a fim de que sejam analisados os dados quantitativamente, como é o objetivo dessa aplicação. O processo de atendimento das requisições dos órgãos é por ordem de chegada, sem que haja prioridade de atendimento. Essa hipótese se torna verdadeira na maioria dos casos, em situações reais, onde uma requisição emergencial, a qual poderá passar a frente de outras, é uma situação rara. Admitamos também que o número de requisições de transporte é suficientemente grande para que a população da fila seja considerada infinita, como é o caso real. Para esse caso não será levado em conta as paradas dos veículos por manutenção. Ou seja, iremos considera-se 100% de disponibilidade. Portanto, para o caso real, teremos a configuração demonstrada pela figura 4.4. Os dados das requisições de transporte por órgão, relativos ao ano de 2009, são demonstrados no anexo 1.

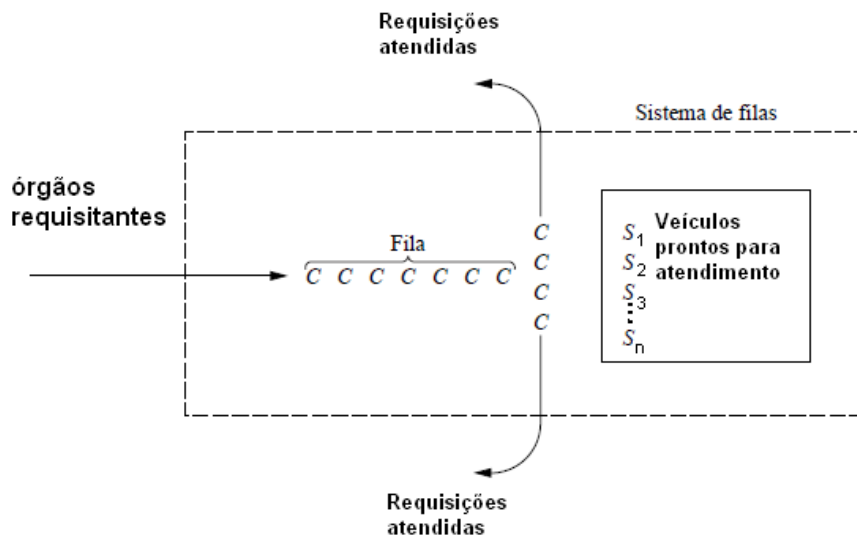


Figura 4.6 – Esquema de filas de requisições de transporte do setor de um órgão de transporte com n veículos(atendentes)

4.3.1.1 Cálculo do número de veículos atendentes obtidos com o modelo

Sendo a frequência de recebimento uma variável aleatória do tipo discreta, iremos, portanto, admitir que o processo de chegadas das requisições, obedece à distribuição de Poisson. Para calcular o valor de λ , iremos tomar como base, os dados de frequência absoluta e relativa (observada e teórica) para o ano de 2009. Conforme tabela 4.7, admitindo uma distribuição teórica de Poisson, têm-se $\lambda = 2,805$ requisições/dia. Os valores coletados são referentes aos dias úteis de 2009, já que não o órgão de transporte (SAMR) não recebe requisições em finais de semana e feriados.

recebidas por dia	frequência absoluta	freq relativa	freq. relat. Acumulada	freq relat. Teórica(Poisson)	freq relat. Teórica acumulada
0	62	0,2531	0,2561	0,0605	0,0605
1	61	0,2490	0,5051	0,1697	0,2302
2	50	0,2041	0,7092	0,2380	0,4683
3	36	0,1469	0,8561	0,2226	0,6908
4	18	0,0735	0,9296	0,1561	0,8469
5	12	0,0490	0,9785	0,0876	0,9344
6	0	0,0000	0,9785	0,0409	0,9754
7	1	0,0041	0,9826	0,0164	0,9918
8	3	0,0122	0,9949	0,0058	0,9975
maior que 8	2	0,0082	1,0030	0	0,9975
Total	245				

Tabela 4.7 Coleta de dados de frequências das requisições de transporte de carga e comparação com frequências teóricas – ano 2009

4.3.1.2 Teste de aderência – Análise gráfica

Fazendo-se um comparativo gráfico entre os dados obtidos e a distribuição teórica de Poisson, obtêm-se, para as distribuições relativas, o gráfico da figura 4.6 e para as frequências acumuladas o gráfico da figura 4.7.

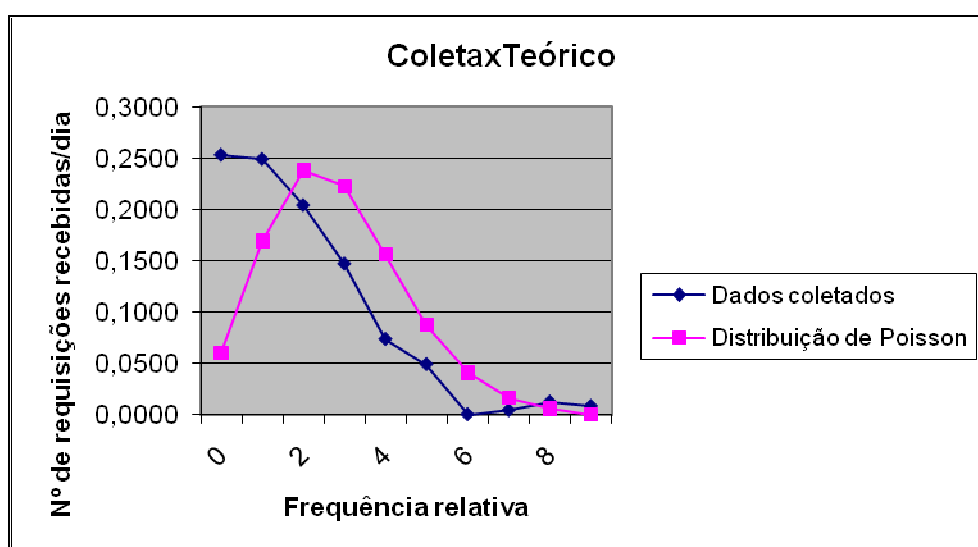


Figura 4.7 Gráfico comparativo entre a frequência relativa observada e a frequência relativa teórica.

Deve-se observar (figura 4.6), que, embora os valores iniciais da distribuição teórica não coincidam com os dados de coleta, a curva desses dados apresenta muita semelhança. Isso

pode facilitar a análise de aderência dos dados a uma distribuição teórica como é o caso. Já o gráfico da figura 4.7 apresenta uma aproximação ainda maior entre as duas curvas na medida em que o número de incidências da frequência aumenta. Em seguida, faremos um teste estatístico no intuito de se observar a aderência da hipótese da distribuição em relação à distribuição teórica de Poisson para a o parâmetro de taxa de chegada.

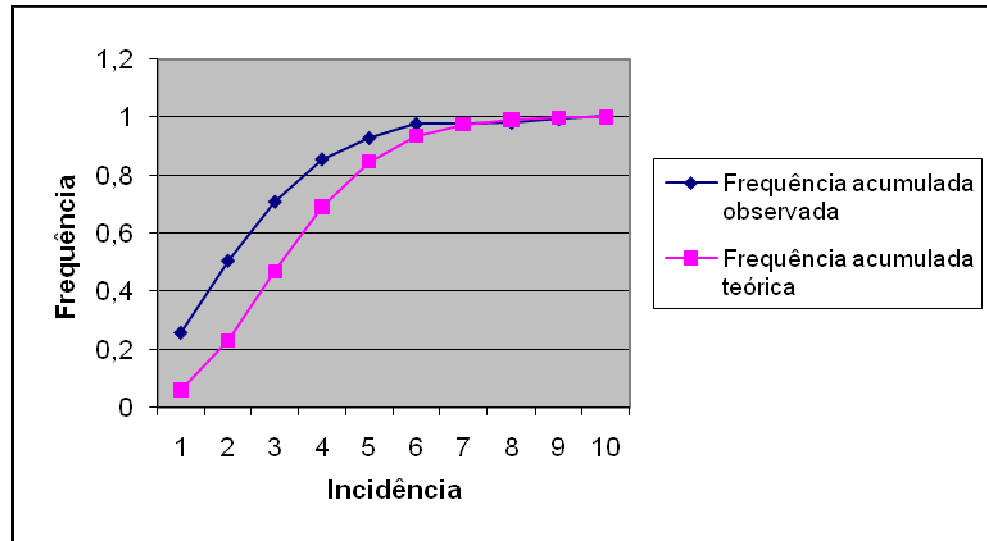


Figura 4.8 Gráfico comparativo entre a frequência acumulada observada e frequência acumulada teórica.

4.3.1.3 Teste de aderência – teste estatístico

Para o teste de aderência da distribuição observada e a teórica, utilizaremos o teste do qui-quadrado. Esse teste consiste em testar, dada uma amostra aleatória de tamanho “n”, observada de uma variável aleatória λ , as seguintes hipóteses:

H_0 : λ tem distribuição f;

H_1 : λ não tem distribuição f, onde f é uma distribuição proposta (Shein & Lima, 2010).

A regra de decisão consiste em calcular χ^2 (estatística do teste de aderência) e comparar com $\chi^2_{\text{crítico}}$. Se $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$, H_0 é aceitável, logo os dados obedecem a uma distribuição f. Se $\chi^2 > \chi^2_{\text{crítico}}$, rejeita-se H_0 , logo os dados não obedecem a uma distribuição f. Podemos obter χ^2 através da fórmula: $\chi^2 = \sum [(O - E)^2 / E]$ (Shein & Lima, 2010). Onde “O” representa o dado observado e “E”, o dado teórico. Para esse caso, o valor de χ^2 é de 0,8212. Sendo uma distribuição de Poisson, o valor de $\chi^2_{\text{crítico}}$ será encontrado por meio de tabela estatística,

conhecendo-se o número de graus de liberdade. Para o caso, temos o grau de liberdade (v) = $k - m - 1$, onde k é o número de intervalos da amostra e m é o número de variáveis em questão (Sinay, 2010). Portanto, v será igual a 8. Consultando uma tabela estatística para o teste do qui-quadrado, temos o valor de $\chi^2_{95\% \text{ crítico}} = 15,5$ aos 5% de significância. Como $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$, não há indícios de se rejeitar H_0 . Aos 5% de significância. Sendo assim, a distribuição de Poisson é aceitável para essa amostra de recebimento de requisições de transporte de carga.

4.3.1.4 Processo de atendimento

Por não dispormos de dados precisos em relação aos tempos de atendimento de cada requisição de transporte, admitamos:

- O processo de atendimento obedeça a uma distribuição de probabilidade exponencial;
- O tempo médio de atendimento seja de 5 dias para cada requisição;
- O tempo de atendimento não depende do tipo de veículo a ser adotado.

O valor de μ (o inverso do tempo médio) será 0,2. Por meio da fórmula de cálculo do fator de utilização em função de λ e μ ($\rho = \lambda / s\mu$), teremos para cada número de veículos de carga (15, 17 e 19), os valores de ρ . Iremos calcular o tempo de espera na fila para cada número de veículos. Destaca-se o número de 15 veículos, o qual constitui a situação real do setor de transporte. Os tempos de espera são calculados e são demonstrados na tabela 4.8.

Número de veículos (valor de ρ)	Tempo de espera na fila (em dias)
15(0,935)	3,73
16(0,877)	1,3
17(0,825)	0,59

Tabela 4.8 Tempos de espera em função do número de veículos atendentes de transporte de carga

O comportamento gráfico da distribuição de probabilidade para cada número de veículos é mostrado nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9. Os modelos foram calculados utilizando o modelo feito em Excel com base no modelo de Hillier & Lieberman(2008).

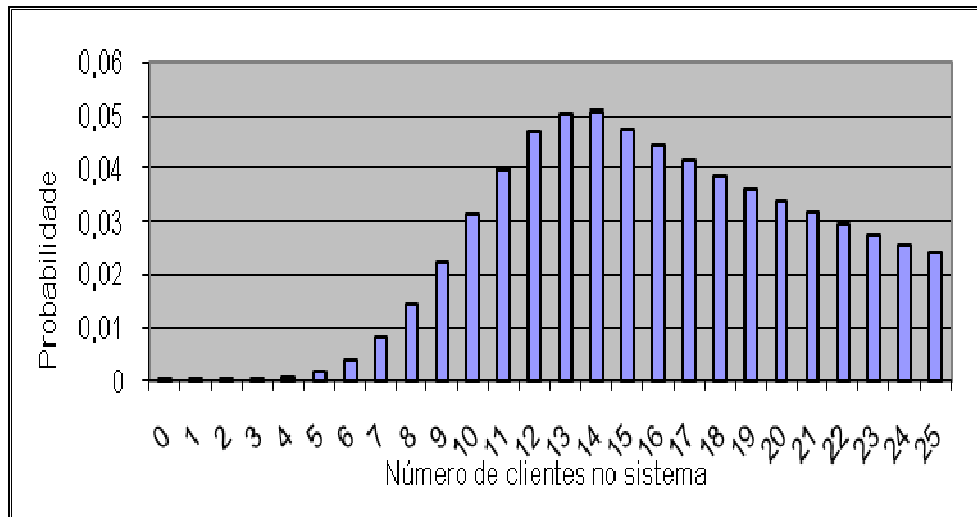


Figura 4.9 Gráfico da distribuição de probabilidade para 15 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda = 2, 805$) e um ritmo de atendimento exponencial.

Observa-se na figura 4.9, uma tendência de simetria na distribuição. É importante também observar que o tempo de espera, para essa configuração de atendimento, passa do limite estabelecido em normativo da empresa, além do fator de utilização ter tendência ao valor de 1 o que poderia gerar congestionamento no sistema e traria condições de instabilidade ao sistema.

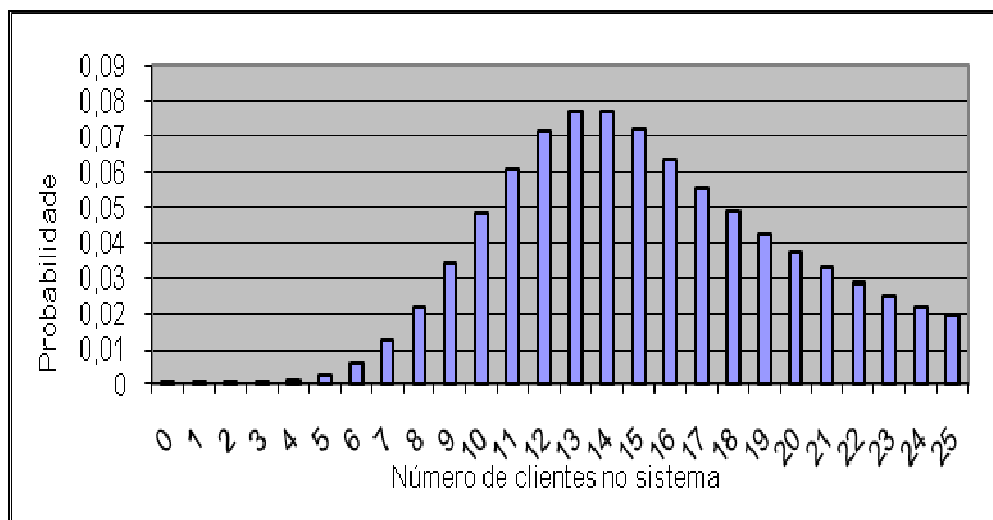


Figura 4.10 Gráfico da distribuição de probabilidade para 16 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda = 2, 805$) e um ritmo de atendimento exponencial.

A figura 4.10 apresenta o gráfico da distribuição com adição de 1 atendente. Nota-se um declínio mais acentuado da curva da distribuição a partir de 20 clientes no sistema. Isso pode ser observado também, fazendo-se uso do gráfico de valores de L para o modelo

M/M/s(Hillier & Lieberman, 2008), onde para cada número de clientes s , o sistema “diminui” o ritmo de expectativas de clientes na medida em que o fator de utilização (ρ) diminui.

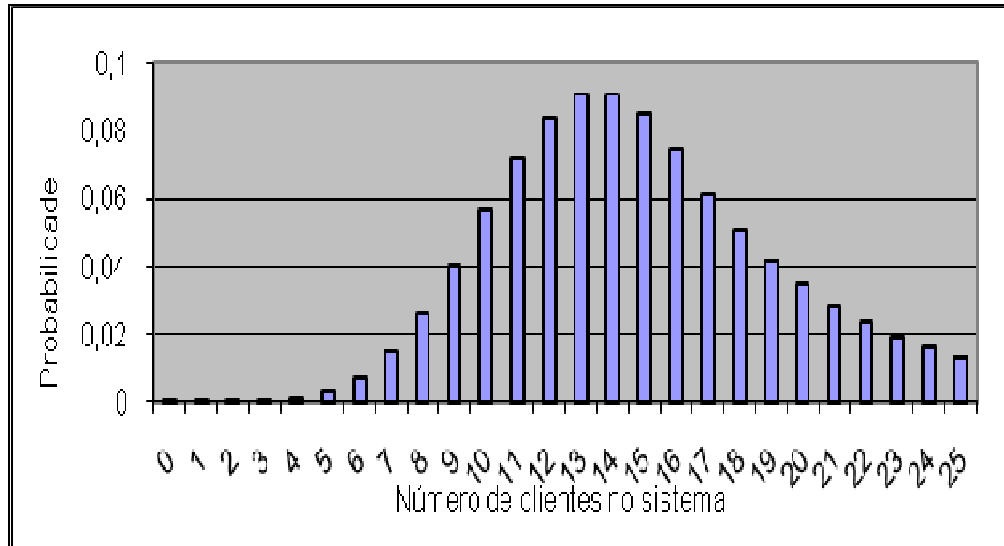


Figura 4.11 Gráfico da distribuição de probabilidade para 17 veículos atendentes, considerando um processo de chegada de Poisson($\lambda=2,805$) e um ritmo de atendimento exponencial

Observa-se graficamente, que as distribuições de probabilidade para os três casos (figuras 4.9, 4.10 e 4.11). Nota-se que na medida em que aumenta-se o número de veículos atendentes, a curva se aproxima da normal. Vê-se, portanto, que 17 veículos atenderiam à demanda projetada sem maiores problemas.

Diferente da seção 4.2.1, os veículos devem atender à todas as solicitações de todos os órgãos da empresa. Nesse caso, embora a medida de desempenho para atender ao nível de serviço continue sendo mais importante, o órgão de transporte também deve tratar questões relativas a custo, principalmente dos órgãos clientes que possuem uma dotação orçamentária mais restrita. Um outro fator importante para a análise é que em um caso prático, o sistema terá que dar prioridades para um determinado órgão quando da incapacidade de atender em uma determinada data. A dificuldade é que o Setor de transporte não possui informações para avaliar o impacto (financeiro) do não atendimento, o que poderia prejudicar a análise de decisão pelo menor custo. Mesmo assim, poderia ser tratado como um sistema de prioridades preempitivas, onde um cliente sede lugar no posto de atendimento (é preterido) para que outro seja atendido. Para o caso do *pool* de cargas, um veículo deveria parar o atendimento a um determinado órgão para atender a demanda de outro e só continuar com o primeiro após o

término do segundo. É importante também destacar que uma requisição de transporte está atrelada à um determinado veículo que possui especificidades de capacidade de carga, facilidade de manobra e velocidade nominal carregado que não foram levadas em conta nesse modelo, mas que podem influenciar no processo de atendimento. Para isso, teríamos que modelar o sistema inserindo as desistências dos órgãos quando o veículo adequado não está disponível para atendimento. Por fim, embora o modelo proposto necessite de ajustes necessários à sua total aplicabilidade em situações reais, entende-se que o presente estudo contribui para atingir o objetivo de racionalização de recursos a qual o modelo de dimensionamento se propõe.

No presente capítulo, foi demonstrado as aplicações da teoria das filas para cálculo das medidas de desempenho para o atendimento às necessidades de um órgão da empresa em estudo. Tais medidas foram calculadas com base em dados reais do processo de chegada e atendimento desse órgão pelo serviço de transporte de cargas. Verificou-se por meio de testes dos diversos modelos que o $M/M/s$ é o mais adequado. Em seguida, foram calculadas as medidas de desempenho, utilizando-se os dados de chegada de requisições de todos os órgãos da empresa, onde se verificou a aderência (gráfica e estatística) do processo de chegada à distribuição de Poisson teórica. Ao final, foram calculados os números de veículos ideais que atendem à medida de desempenho tempo de atendimento. No capítulo seguinte, apresenta-se a conclusão desse trabalho, como também sugestões para a continuidade do presente estudo.

5 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

5.1 Conclusões

No presente trabalho, foram introduzidos os principais problemas encontrados pela gestão do transporte, tanto para empresas que o detém como atividade fim, assim como as empresas que necessitam dessa atividade como apoio como é o caso da empresa objeto de estudo, a CHESF. Na Empresa há uma responsabilidade executiva e normativa do órgão de transporte na Sede da Empresa. As regionais por sua vez, exercem a atividade de executiva, dentro de sua respectiva área de atuação. A divisão de transporte é responsável por atender toda a demanda de transporte de carga ou passageiros por um sistema de *pool*. Na maioria dos estudos científicos, o foco do problema de dimensionamento de frotas é para o transporte de carga por esse ter uma abrangência maior em comparação com o transporte de passageiros e por estar ligado diretamente a atividades econômicas, sejam em empresas de transportes de carga, operadores logísticos ou integradas na cadeia de suprimento das empresas. O sistema de *pool* de transportes da DATR foi modelado por um sistema de filas, onde os veículos são os atendentes e os clientes na fila são as requisições de transporte. Testes com diversos modelos de filas foram feitos com o objetivo de verificar o comportamento das medidas de desempenho em relação à amostra. A partir dos resultados, verificou-se que o modelo M/M/s é que mais se aproximara da realidade de *pool* de veículos de carga do SAMR. A partir dos dados reais de chegadas de requisições de transporte de carga coletados em 2009, foi proposto um sistema de atendimento M/M/s, o qual seria o mais adequado ao processo real. Foi admitido que nos próximos anos, não teríamos um aumento considerável na demanda de requisições. Um teste de aderência desses dados foi realizado, a fim de se confirmar se o modelo proposto era o mais adequado para o caso real. Concluiu-se que o modelo M/M/s é o mais adequado à realidade da amostra coletada. Em relação à medida de desempenho tempo de espera, a qual é a mais importante para os clientes internos, pode-se concluir com base na tabela 4.10 que o acréscimo de um veículo na frota atual de veículos de carga, provocaria uma redução de mais de dois dias no tempo de espera por atendimento. Esse mesmo tempo iria reduzir-se a menos de um dia, caso acrescentássemos mais um veículo na frota. Ou seja, nesse ultimo caso, praticamente não teríamos fila. Já o fator de utilização reduziria em torno de 10 pontos percentuais, o que poderia influir na melhoria da confiabilidade operacional do sistema, já que os veículos o órgão de transporte possui meta de 94% para a disponibilidade da frota. É importante destacar que, atualmente, o tempo normatizado para a solicitação com

antecedência de uma requisição de transporte de carga é de 3(três) dias. Diante do resultado do estudo, podemos comprovar que com o número atual de veículos (15 veículos atendentes), o SAMR não teria como atender a essa norma, já que o tempo de espera seria maior do que o normatizado. Já com o acréscimo de apenas 1 veículo, a norma seria atendida com certa folga.

Conclui-se, a partir da análise e segundo a amostra de 2009, que um acréscimo relativamente pequeno de frota, poderia satisfazer a principal medida de desempenho do sistema (no caso da CHESF) que é o tempo de espera. Nesse caso, a concorrência com alternativa de atendimento é inexistente, já que só o órgão de transporte local detém a função do atendimento à todas as requisições de transporte de carga.

5.2 Trabalhos Futuros

Para estudos futuros do tema, é importante destacar o aprofundamento da relação custo x benefício da solução aqui apresentada. Faz-se necessário, portanto, uma análise criteriosa da estrutura de custos de operação da frota (custos fixos e variáveis) para que se determine com exatidão, o custo do acréscimo de um veículo nessa frota. Para isso, é mais do que necessário que o Setor de transporte conheça a sua estrutura de custos. Uma alternativa é a utilização de sistemas de informação de operações de aquisição de materiais (abastecimento, manutenção, pneus), os quais estão cada vez mais difundidos como ferramentas de gestão de custos para as empresas de *utilities*. Tais sistemas podem registrar transações em tempo real, por meio de cartões magnéticos, os quais são disponibilizados em uma plataforma web, dando mais facilidade de acesso ao gestor de transporte. Com base na análise de relatórios gerenciais, será possível determinar, por exemplo, o número de veículos que atenda a uma determinada demanda, minimizando os custos operacionais. Com isso, os gestores poderiam tomar melhor decisão ao planejar a aquisição ou locação de veículos para o atendimento de uma demanda específica de expansão de serviços de manutenção ou construção de linhas de transmissão como é o caso da CHESF. Tal análise deve ser feita não só para a frota de veículos de carga como também o transporte de passageiros.

Outra possibilidade de estudo, assim como foi estudado por Beaujon & Turnquist(1991) é a otimização de alocação desses veículos. Pois, uma vez levantada a hipótese de que a demanda em uma certa localidade não pode ser determinada, uma frota de emergência(lotada na sede da empresa ou em locais estratégicos) poderia atender aos picos de demanda dessa localidade ou de outras, sem a necessidade de torná-la permanente. Nesse caso, haveria uma economia nos custos de investimento, caso se opte por locação de veículos,

ou ociosidade dos veículos. Essa situação é comum quando o órgão demandante é responsável por obras civis que por natureza, são temporárias.

5.3 Modelo de Filas integrado com Abordagem Multicritério

No estudo apresentado neste trabalho, o nível de serviço, que consiste no desempenho do sistema de filas, seria usado como restrição. A integração do modelo de filas com abordagem multicritério requer a modelagem de preferências de um decisor com o fim de integrar os múltiplos critérios em um modelo de decisão multicritério (Almeida, 2010)

Os objetivos ou critérios a serem considerados para esta abordagem são:

- Custo de investimento na frota
- Tempo médio de espera na fila
- Custo do impacto do não atendimento a uma determinada requisição de transporte
- Custo do aluguel de um veículo substituto
- Limite de recursos humanos (motoristas)

Este seria um trabalho para desenvolvimento futuro, que fica aqui registrado. Outra vertente de estudo são as alternativas de ampliação de frota para resolver problemas pontuais de picos de demanda. Nesses casos, o gestor poderá realizar a locação de veículos que possam suprir a demanda temporária, sem comprometer o seu orçamento de investimento. Nesse caso, teremos também um problema típico de decisão multi-critério, onde o principal objetivo seria o decidir se uma frota previamente dimensionada iria satisfazer os critérios da administração como os custos, disponibilidade da frota, prazos de atendimento aos clientes entre outros. Vale ressaltar a importância da decisão sob o ponto de vista de resultado contábil, já que no caso de locações de veículos, haveria um acréscimo no orçamento de custeio da empresa, o que poderia inviabilizar a medida. Nas empresas estatais ou de capital misto, como é o caso da empresa objeto de estudo, o orçamento de custeio é bastante limitado se comparado com o investimento. Nesse caso, é necessária a previsão dos recursos com um período de antecedência que pode ultrapassar 1(um) ano, exigindo um planejamento adequado por parte dos gestores da área de transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. T. Conhecimento e Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. Editora Universitária. 2009.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão. Editora Universitária, Recife, 2003.
- ALMEIDA, A. T. DE; RAMOS, F.S., org. Gestão da Informação na competitividade das organizações. Editora Universitária, Recife, 2002, 2ª edição.
- ANDERSEN, J., CRAINIC, T. G., CHRISTIANSEN, M. Service network design with management and coordination of multiple fleets. *European Journal of Operational Research*, 193, 377–389, 2009.
- ANDRADE, E. T. Introdução à pesquisa operacional – Métodos e modelos para análise de decisão. Editora LTC, 1998, 2ª edição.
- ASEF-VAZIRI, A. & LAPORTE, G. Loop based facility planning and material handling, *European Journal of Operational Research*, 164, 1–11, 2005.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística Empresarial. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006, 5ª edição.
- BARD, J. F., NANANUKUL, N. The integrated production–inventory–distribution–routing problem, *J Sched*, 12, 257 – 280, 2009.
- BEAMON, B. M, & CHEN, V.C. P. Chen. Performability-Based Fleet Sizing in a Material Handling System, *Int J Adv Manuf Technol*, 4, 441-449, 1998.
- BEAMON, B. M.; DESHPANDE, A. N. A Mathematical Programming Approach to Simultaneous Unit-Load and Fleet-Size Optimization in Material Handling Systems Design, *The international journal of advanced manufacturing technology*, 14, 858-863, 1998.
- BEAUJON, G. J., TURNQUIST, M.A. A model for fleet sizing and vehicle allocation, *Transportation Science*, 25, 19-45, 1991.

- BOJOVIC, N.J., A general system theory approach to rail freight car fleet sizing, *European Journal of Operational Research*, 136, 136-172, 2002.
- CHESF (2009a) site www.chesf.gov.br (portal corporativo). Documento Interno.
- CHESF (2009b) Manual de organização da CHESF. Documento Interno.
- CHESF(2010c) Homepage interna.
- CNT, Atlas do transporte, 1º edição, 2006.
- CNT, Transporte de cargas no Brasil – Ameças e oportunidades de para o desenvolvimento do país, 2006.
- COGE, Subcomitê de transportes. Metodologia para o dimensionamento da Frota, 18,1993.
- CRAINIC, T.G., DEJAX, P. J. A review of empty flows and fleet management models in freight transportation, *Transportation Science*, 21, 227-247, 1987.
- CRAINIC, T.G., LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 97, 409-438, 1997.
- CRAINIC, T.G., Service network design in freight transportation, *European Journal of Operational Research*, 122, 272-88, 2000.
- CRAINIC, T.G., GENDREAU, M., POTVIN, JEAN-YVES. Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research, *Transportation Research Part C*, 17, 541–557, 2009.
- CRARY, M.; NOZICK, LK., WHITAKER, L.R. Sizing de US destroyer fleet, *European Journal of Operational Research*, 136, 680-695, 2002.
- DEJAX, P.J. & CRAINIC, T.G. A review of empty flows and fleet management models in freight transportation, *Transportation Science*, 21, 227-247, 1987.
- DIANA, M., DESSOUKY, M. M.; XIA, N., A model for the fleet sizing of demand responsive transportation services with time windows, *Transportation Research Part B*, 40, 651–666, 2006.

- DONG, JING-XING; & SONG, DONG-PING, Fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems, *Transportation Research Part E*, 45, 860–877, 2009.
- GANESHARAJAH, T., HALL, N. G., SRISKANDARAJAH, C., Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems, *Annals of Operations Research* 76, 109 – 154, 1998.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2009, 3ª Edição.
- JIN, D. & KITE-POWELL, H. L. Optimal fleet utilization and replacement, *Transportation Research Part E*, 36, 3 – 20, 2000.
- KOO , PYUNG-HOI, JANG, JAEJIN, SUH JUNGDAE. Estimation of Part Waiting Time and Fleet Sizing in AGV Systems, *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 211–228, 2005.
- KOO, P. H., LEE, W. S., JANG, W. J. Fleet sizing and vehicle routing for container transportation in a static environment, *OR Spectrum*, 26, 193–209, 2004.
- LAPORTE, G. & OSMAN, I.H., Routing problems: a bibliography. *Annals of Operations Research*, 61, 227-262, 1995
- LI, Z.; & TAO, F. On determining optimal fleet size and vehicle transfer policy for a car rental company, *Computers & Operations Research*, 37, 341 – 350, 2010.
- LIST, G. F., WOOD, B., NOZICK, L. K., TURNQUIST, M. A., JONES, D. A., KJELDGAARD, E. A., LAWTON, C. R. Robust optimization for fleet planning under uncertainty, *Transportation Research Part E* , 39, 209–227, 2003.
- PAPIER, F., & THONEMANN, U.W. Queuing Models for Sizing and Structuring Rental Fleets, *Transportation Science*, 42, No. 3, 302–317, 2008.
- PERRIER, N.; LANGEVIN, A.; CAMPBELL, J. F. (2007). A survey of models and algorithms for winter road maintenance Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal, *Computers & Operations Research*, 34, 258–294, 2007.

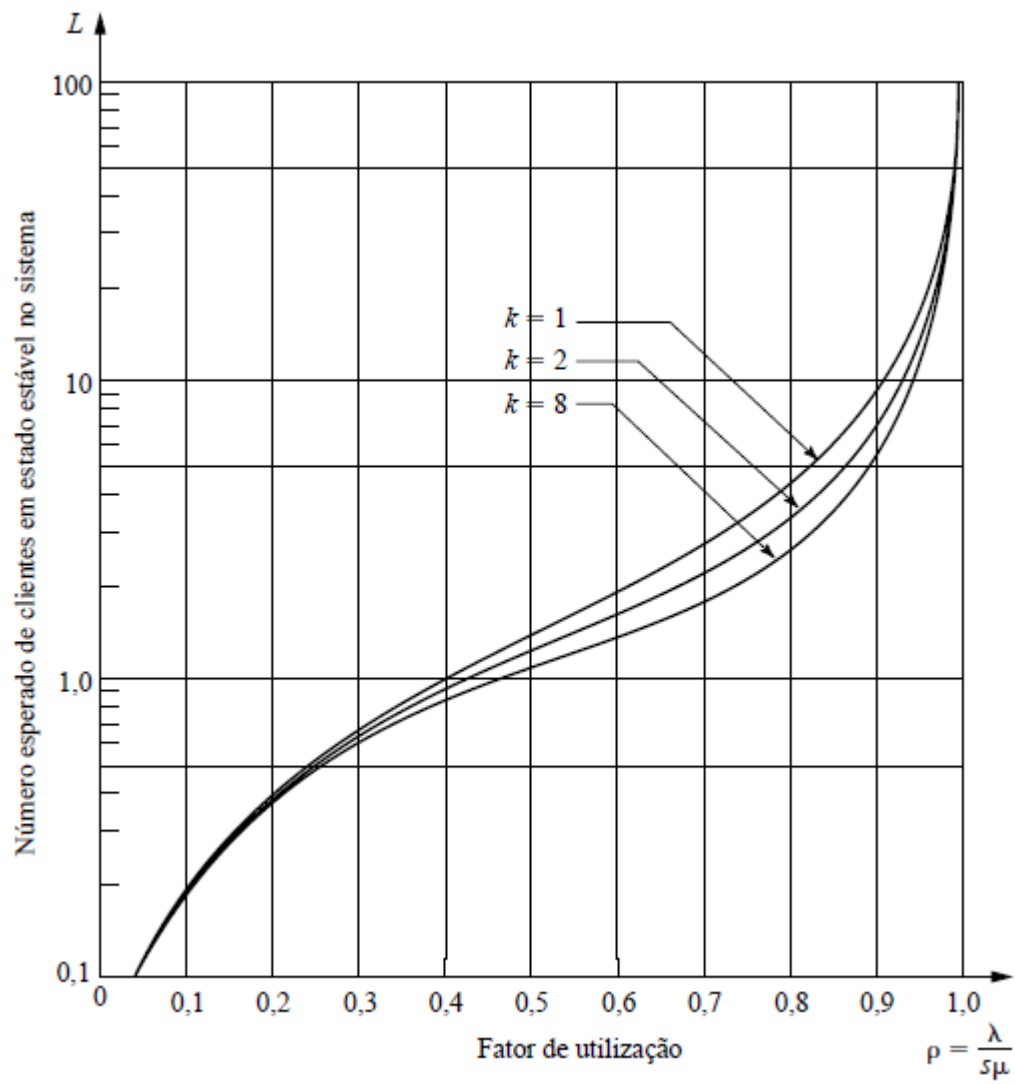
- RAA, B, AGHEZZAF, El-Houssaine. A practical solution approach for the cyclic inventory routing problem, *European Journal of Operational Research*, 185, 760–777, 2008.
- SAYARSHAD, H. R, GHOSEIRI, K., A simulated annealing approach for the multi-periodic rail-car fleet sizing problem, *Computers & Operations Research*, 36, 1789–1799, 2009.
- SAYARSHAD, H. R.; TAVAKKOLI- MOGHADDAM, R., Solving a multi periodic stochastic model of the rail-car fleet sizing by two-stage optimization formulation, *Applied, Mathematical Modelling*, 34, 1164–1174, 2010.
- SHYSHOU, A., GRIBKOVSKAIA, I., BARCELÓ, J. A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations, *European Journal of Operational Research*, 203, 230–240, 2010.
- SONG, DONG-PING, EARL, C. F., Optimal empty vehicle repositioning and fleet-sizing for two-depot service systems, *European Journal of Operational Research*, 185, 760–777, 2008.
- SPIEGEL, M. R., SCHILLER, J., SRINIVASAN, R. A. Probabilidade e Estatística, Bookman Editora, 2004, 2º edição.

ANEXO 1

QUANTIDADE DE REQUISIÇÕES DE TRANSPORTE DE CARGA POR ÓRGÃO ANO 2009	
Órgão	Quantidade
CEI	1
CER	1
COES	1
CORE	105
DA	3
DABT	2
DASF	1
DATR	1
DECG	1
DECL	1
DECS	95
DEEM	1
DEFA	12
DESC	1
DFCP	11
DIR	3
DMA	5
DML	1
DO	1
DOAL	5
DODL	1
DOEG	4
DOES	40
DOMA	7
DOMC	10
DOML	2
DOMM	1
DOPR	7
DRRL	3
DSA	9
DSG	1
GRP	2
PR	2
SAAA	12
SAMR	30

SEMT	6
SLCP	1
SLLR	4
SLMG	2
SLML	3
SLOR	1
SLTL	1
SOMS	1
SPML	1
SPMP	1
SPMS	8
SPTR	1
SSMF	2
TOTAL	415

ANEXO 2



ANEXO 3

