
ANTÔNIO SÉRGIO BIAGIOTTI FILHO

**MODELO DE RENOVAÇÃO DE FROTA PARA
UMA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica de Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

São Paulo

2005

ANTÔNIO SÉRGIO BIAGIOTTI FILHO

**MODELO DE RENOVAÇÃO DE FROTA PARA
UMA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica de Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Celma de Oliveira Ribeiro

São Paulo

2005

FICHA CATALOGRÁFICA

Biagiotti Filho, Antônio Sérgio

Modelo de renovação de frota para uma empresa de transporte de carga / Antônio Sérgio Biagiotti Filho. -- São Paulo, 2005.

84p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Transporte de carga 2. Programação Dinâmica 3. Custo de operações I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Celma de Oliveira Ribeiro, minha orientadora, por acreditar desde o primeiro momento em meu potencial e por todos os conselhos que tornaram esse trabalho possível.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica pela dedicação e pela qualidade de ensino que proporcionam a nós alunos.

A meus pais, Sérgio e Célia, que sempre foram e, com certeza, sempre serão os grandes motivadores de toda minha vontade de superar obstáculos.

A meus avós, Aracy e Waldemar, *in memoriam*, por todo carinho e pelo exemplo de vida que deixaram a mim.

A minha irmã, Ana Helena, por seus conselhos e revisões.

Aos companheiros de turma da Engenharia de Produção, pelas pessoas brilhantes que são e por me ajudarem a me tornar o profissional que sou hoje.

A todos da Empresa de Transportes Atlas, especialmente a minha mãe, diretora financeira, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho busca apresentar uma nova política de renovação de frota de veículos para uma empresa de transporte de carga. Para tanto, utiliza-se um modelo de programação dinâmica para se obter o momento ótimo de reposição de cada veículo da frota. Este modelo considera a trajetória dos custos de cada veículo ao passar do tempo e ao longo de sua utilização, além dos valores de revenda dos veículos e o preço de um veículo novo.

A estrutura de custos da frota é analisada para se identificar os custos relevantes à reposição; assim será formada uma estrutura de custos em função da idade e da utilização acumulada para cada tipo de veículo da frota. Através dos dados da empresa será formada também uma estrutura de valor de revenda em função da idade e da utilização acumulada para cada tipo de veículo da frota.

O modelo fornecerá à empresa um cronograma semestral de renovações dos veículos da frota, que trará, além de economia de custos, uma maior previsibilidade das necessidades de caixa da empresa. Tais vantagens trariam benefícios na negociação com fabricantes e financiadores do passivo da empresa.

ABSTRACT

The economic life of a vehicle is dependent on a variety of factors, including deterioration and obsolescence. While obsolescence is generally a result of changes external to the vehicle, such as technological change, deterioration is generally a result of how the vehicle is utilized over its lifetime. Also, older vehicles are assumed to be more expensive to operate than newer vehicles; and at some time, it may be economical to replace older vehicles by newer ones. This work examines fleet replacement decisions, based on age and cumulative utilization, for a large inhomogeneous fleet of trucks by the application of a replacement model with finite planning horizon. It provides an efficient optimal solution procedure through the use of dynamic programming, illustrated by optimal policy under the usage of a reposition chronogram.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. OBJETIVO E ESCOPO	2
1.2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA	3
1.2.1. <i>História da empresa</i>	3
1.2.2. <i>Estrutura da empresa</i>	4
1.2.3. <i>Caracterização do negócio da empresa</i>	5
1.3. RESUMO DO TRABALHO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. PROGRAMAÇÃO DINÂMICA.....	11
2.2. CUSTOS OPERACIONAIS.....	14
2.2.1. <i>Custos de transferência</i>	14
2.2.2. <i>Despesas indiretas</i>	19
3. ANÁLISE DOS CUSTOS	24
3.1. CONTABILIDADE DOS CUSTOS	24
3.2. CUSTOS DA FROTA	25
3.3. SUPERFÍCIES DE CUSTO	28
3.4. SUPERFÍCIES DE REVENDA	34
4. O MODELO DE REPOSIÇÃO	40
4.1. PROBLEMA DE REPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	40
4.1.1. <i>O modelo de Jim e Kite-Powell</i>	42
4.1.2. <i>O modelo de Hartman</i>	45
4.2. PREMISSAS E RESTRIÇÕES DA EMPRESA	48
4.3. MODELO PROPOSTO.....	49
5. RESULTADOS	56
5.1. ENTRADA DE DADOS.....	56
5.2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	59
5.2.1. <i>Horizonte de tempo</i>	59
5.2.2. <i>Custo de oportunidade</i>	60
5.2.3. <i>Valor de compra do veículo desafiante</i>	61
5.2.4. <i>Parâmetros de custo do veículo desafiante</i>	62

6. CONCLUSÃO	66
7. BIBLIOGRAFIA.....	69
ANEXO I: FROTA DA EMPRESA E IDADE MÉDIA.....	72
ANEXO II: IDADE, UTILIZAÇÃO ACUMULADA E MODELO DA FROTA.....	73
ANEXO III: REGRESSÃO DA FUNÇÃO CUSTO.....	74
ANEXO IV: REGRESSÃO DA FUNÇÃO REVENDA.....	77
ANEXO V: ALGORITMO DO MODELO PROPOSTO NO MATLAB	80

Lista de Figuras

FIGURA 1.3.1: FLUXO DE UMA CARGA CONTRATADA.....	7
FIGURA 2.1.1: EVOLUÇÃO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA	12
FIGURA 3.3.1: EVOLUÇÃO DOS CUSTOS EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO.....	28
FIGURA 3.3.2: CUSTOS DE UM VEÍCULO MODELO MB709	29
FIGURA 3.3.3: CUSTOS DE UM VEÍCULO MODELO MB710	29
FIGURA 3.3.4: CUSTOS DE UM VEÍCULO MODELO MB712	29
FIGURA 3.3.5: SUPERFÍCIE DE CUSTOS DO MODELO MB709.....	32
FIGURA 3.3.6: SUPERFÍCIE DE CUSTOS DO MODELO MB710.....	32
FIGURA 3.3.7: SUPERFÍCIE DE CUSTOS DO MODELO MB712.....	33
FIGURA 3.4.1: EVOLUÇÃO DO VALOR DE REVENDA EM FUNÇÃO DA UTILIZAÇÃO.....	34
FIGURA 3.4.2: SUPERFÍCIE DE VALOR DE REVENDA DO MODELO MB709	36
FIGURA 3.4.3: SUPERFÍCIE DE VALOR DE REVENDA DO MODELO MB710	37
FIGURA 3.4.4: SUPERFÍCIE DE VALOR DE REVENDA DO MODELO MB712	37
FIGURA 4.3.1: MODELO DE REPOSIÇÃO COM HORIZONTE FIXO E COM DUAS REPOSIÇÕES ..	51
FIGURA 4.3.2: EXEMPLOS DE TRANSIÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	53
FIGURA 5.1.1: REPRESENTAÇÃO DO HORIZONTE DE TEMPO DEFINIDO	57
FIGURA 5.1.1: CRONOGRAMA SEMESTRAL DE RENOVAÇÃO	58
FIGURA 5.2.1: CRONOGRAMA DE RENOVAÇÃO PARA UM HORIZONTE DE CINCO ANOS	60
FIGURA 5.2.2: CRONOGRAMA DE RENOVAÇÃO PARA UM CUSTO DE OPORTUNIDADE DE 14%	61
FIGURA 5.2.3: CRONOGRAMA DE RENOVAÇÃO PARA UM VALOR DE COMPRA DO VEÍCULO DESAFIANTE DE 74.520 REAIS.....	62
FIGURA 5.2.4: CRONOGRAMA DE RENOVAÇÃO PARA UM VEÍCULO DESAFIANTE COM PARÂMETROS DE CUSTO ALTERADOS	63
FIGURA 5.2.5: CRONOGRAMA DE RENOVAÇÃO PARA UM VEÍCULO DESAFIANTE COM PARÂMETROS DE REVENDA ALTERADOS	64

Lista de Tabelas

TABELA 3.2.1: CUSTOS PREVENTIVOS DE UM VEÍCULO	26
TABELA 3.2.2: CUSTOS CORRETIVOS DE UM VEÍCULO	27
TABELA 3.2.3: CAMINHÕES DA FROTA.....	27
TABELA 3.3.1: PARÂMETROS DA FUNÇÃO CUSTO DOS MODELOS DE VEÍCULO DA FROTA ..	31
TABELA 3.3.2: COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE CUSTO	33
TABELA 3.4.1: PARÂMETROS DA FUNÇÃO REVENDA DOS MODELOS DE VEÍCULO DA FROTA	35
TABELA 3.4.2: COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE VALOR DE REVENDA	37
TABELA 4.3.1: MATRIZ DE DECISÃO.....	52
TABELA 5.1.1: PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE CUSTO E REVENDA DOS VEÍCULOS DA FROTA	56
TABELA 5.1.2: PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE CUSTO E REVENDA DO VEÍCULO DESAFIANTE	57
TABELA 5.1.3: CUSTO TOTAL DAS POLÍTICAS DE RENOVAÇÃO	59
TABELA 5.2.1: CUSTO TOTAL DAS POLÍTICAS DE RENOVAÇÃO	60
TABELA 5.2.2: CUSTO TOTAL DAS POLÍTICAS DE RENOVAÇÃO	61
TABELA 5.2.3: CUSTO TOTAL DAS POLÍTICAS DE RENOVAÇÃO	62
TABELA 5.2.4: PARÂMETROS DO VEÍCULO DESAFIANTE COM ALTERAÇÃO NOS PARÂMETROS DE CUSTO	63
TABELA 5.2.5: PARÂMETROS DO VEÍCULO DESAFIANTE COM ALTERAÇÃO NOS PARÂMETROS DE REVENDA.....	64

1 INTRODUÇÃO



1. Introdução

1.1. Objetivo e Escopo

Nas últimas décadas, a economia dos países capitalistas vem se transformando aceleradamente visando atender às novas tendências mundiais de melhor atendimento aos clientes com menores custos. A definição de novas estratégias para equacionar preço de venda e custos é condição necessária às empresas que querem atuar no mercado competitivo. Conhecer, controlar, medir e avaliar a produtividade do negócio são questões vitais para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos processos da empresa.

O preço de venda deve, certamente, considerar as práticas de mercado; no entanto a consonância entre preços praticados e custos efetivos é questão fundamental para a sobrevivência e o crescimento auto-sustentado das empresas, independente de seu porte e de sua área de atuação. Através de uma política eficiente de preços e, principalmente, de gerenciamento de custos, as empresas poderão atingir objetivos de aumento de lucro, desenvolvimento de seus funcionários, atendimento qualificado a seus clientes, etc.

O trabalho aqui apresentado tem o intuito de ajudar uma empresa de transporte de carga a reduzir seus custos relativos à renovação de sua frota de veículos. Geralmente, segundo Jim e Kite-Powell (1999), o custo de operação de um veículo aumenta e sua condição se deteriora com o passar do tempo. Quando o custo de se operar um veículo atinge certo nível, o custo de se investir em um novo veículo se torna atraente, já que passa a ser menor que o custo de se manter o veículo antigo operando. Nesse momento, a renovação é aconselhada. O objetivo do trabalho é oferecer à empresa em questão um instrumento para otimizar o processo de renovação de frota de veículos através da análise de seus custos operacionais e, assim, ajudá-la a obter lucros marginais crescentes e vantagem competitiva sobre seus concorrentes.

Para tanto, será proposto um modelo matemático que considera, além do custo de operação e do investimento em um novo veículo, o custo de revenda do veículo antigo,

admitindo que haja sempre substituição do veículo antigo por um novo e não o aumento da quantidade de veículos da frota. Além de perfeitamente identificada com o mercado de atuação, esta política de renovação aplicada através do modelo proposto deve contemplar a análise dos custos gerais da empresa, seu equilíbrio operacional e o retorno desejado.

1.2. Descrição da empresa

O trabalho foi desenvolvido na Empresa de Transportes Atlas. A relevância do tema para a empresa foi detectada pelo Autor durante conversas com sua mãe, diretora financeira da empresa. Apresentaremos um breve histórico da empresa, sua estrutura e seu ramo de negócio.

1.2.1. História da empresa¹

A Atlas tem suas raízes em uma empresa chamada Transporte Boaventura, fundada em 1948, que cobria o pequeno percurso de 300 quilômetros ligando Borda da Mata a São Paulo. Em 1950, já em São Paulo, a Boaventura deu lugar a Transportadora Hércules. Mais tarde, em 30 de maio de 1952, foi fundada a Empresa de Transportes Atlas Ltda.

Nos anos 50, 35% das riquezas produzidas pelo Brasil eram transportadas num modal rodoviário sem a menor estrutura. De Borda da Mata, em Minas Gerais, a Atlas passou a transportar pela primeira linha inter-estadual, de São Paulo a Aracajú, ajudando a integrar um país de dimensões continentais que começava a experimentar o crescimento econômico.

Desde o princípio focada no cliente, a Atlas envolve o produto embarcado com uma malha eletrônica de segurança integral, protegendo-o e monitorando-o desde o embarque até a entrega final. No começo dos anos 90, a empresa fechou acordo de

¹ Informações extraídas de documentos internos da empresa e da internet

parceria com as melhores companhias aéreas, possibilitando a integração do modal aéreo às suas atividades, incrementando ainda mais sua operação.

Em novembro de 1997, a Atlas tornou-se a primeira empresa brasileira do segmento certificada por entidade internacional, cumprindo todos os requisitos estabelecidos na Norma ISO9002, certificação que se estendeu a todas suas filiais.

1.2.2. Estrutura da empresa²

O desenho de um plano logístico aprimorado faz parte das atividades de transporte da Atlas. Tanto no modal aéreo como no terrestre, a Atlas traça rotas para o transporte e distribuição das mercadorias utilizando alta tecnologia para oferecer eficácia e agilidade em suas operações. O Sistema Zero Atraso é uma das ferramentas da excelência da Logística. Por meio dele a empresa cumpre os rigorosos prazos de saída e chegada de veículos, dentro dos horários eleitos pelo cliente. Com uma avançada estrutura comercial, operacional e administrativa, a Atlas planeja e acompanha a entrega da carga com o máximo de eficiência e segurança.

Sua frota de 610 veículos, entre pequenos, leves, médios e pesados, é otimizada para atender aos serviços de coletas, viagens e entregas em todo o País, operada por profissionais capacitados e constantemente treinados.

Presente em 21 Estados, mais o Distrito Federal, baseada em 34 filiais e escritórios comerciais capazes de atingir mais de cinco mil cidades brasileiras, a empresa é uma das transportadoras de maior capilaridade nacional. Com infra-estrutura comercial, operacional e administrativa, todas as filiais atendem ao padrão Atlas de operação, no qual a qualidade no atendimento e a cumplicidade com os objetivos traçados pelo cliente são as maiores marcas.

A empresa utiliza modernos equipamentos em seus terminais de cargas, com uma estrutura informatizada, através de um sistema desenvolvido com banco de dados Oracle – sistema reconhecido internacionalmente que garante a segurança e facilita o tráfego de

² Informações extraídas de documentos internos da empresa e da internet

informações. A Internet tem papel importante nesse processo, já que permite um posicionamento on-line sobre a carga transportada. O EDI (Eletronic Data Interchange) permite que as informações sejam compartilhadas, o que dá agilidade à comunicação com o embarcador.

Além do circuito interno de TV para acompanhar a carga ainda no terminal, a Atlas opera duas Centrais de Monitoramento 24 horas on-line, através dos sinais emitidos via satélite (Omnisat) ou rádio-frequência. Assim, toda operação é controlada automaticamente e, no caso de qualquer ocorrência, é possível acionar sensores de bloqueio de veículo, disparo de alarme sonoro, trava das portas do baú e deslocamento da força de apoio para atendimento no local.

A Atlas possui uma equipe externa preparada e treinada, que fornece em visitas personalizadas todo tipo de informação, desenvolvendo negócios e dando acompanhamento total aos clientes. A empresa possui 1840 (mil oitocentos e quarenta) funcionários, sendo 619 da matriz (São Paulo) e 1221 dispersos nas demais filiais.

A política da empresa é a de ser “uma empresa voltada às necessidades de seus clientes, que se antecipa às variações de mercado com inovações e investimentos permanentes em suas atividades; sustentada no desenvolvimento e treinamento de seus colaboradores proporcionando-lhes condições satisfatórias de trabalho; prestando serviços com alto grau de eficiência a um preço competitivo, preservando a sua lucratividade”.

1.2.3. Caracterização do negócio da empresa

A Atlas é uma empresa prestadora de serviços de transportes de carga. Independente do tipo de mercadoria transportada, uma empresa de transporte rodoviário de cargas pode prestar basicamente quatro tipos de serviços diferentes:

- Serviços de Lotação ou de Carga Direta

Serviço em que as cargas são coletadas no depósito do embarcador e transportadas, no mesmo veículo, para o depósito do destinatário, na mesma cidade, em outra cidade ou em outro estado, sem passar por depósito da transportadora.

Neste caso a transportadora não precisa manter terminais de cargas. O manuseio da carga ocorre em apenas dois pontos: carregamento na origem e descarregamento no destino. Nos Estados Unidos, esse tipo de serviço é chamado de Full Truck Load. No Brasil é mais conhecido como Lotação, quando feito de forma continuada para o mesmo cliente.

- Serviços de Carga Fracionada - Distribuição Local

Serviço em que as cargas são coletadas no depósito do embarcador e levadas para um depósito da transportadora, para triagem e reembarque em veículos que farão a entrega diretamente aos destinatários em diversos pontos da mesma cidade, de outras cidades ou mesmo de outros estados.

Para esse tipo de operação, a transportadora necessita apenas de um terminal de cargas na origem. O manuseio em terminais geralmente é exigido pelas cargas fracionadas, nas quais um único destinatário não lota o veículo. Esse serviço pode ser comum (quando não tem prazo de entrega) ou urgente (quando existe prazo de entrega). Nos Estados Unidos, o transporte de carga fracionada é chamado de Less Than Truck Load.

- Serviço de Carga Fracionada - Distribuição Regional

Serviço em que as cargas são coletadas no depósito do embarcador, transportadas para o depósito da transportadora, próximo do local da coleta, onde serão descarregadas, separadas por região e transferidas para o depósito da transportadora nessas regiões. Nesses depósitos, as cargas serão descarregadas, novamente separadas por rota de entrega e reembarcadas em veículos, geralmente menores, que farão a

entrega aos destinatários das mercadorias em diversos pontos da mesma cidade ou de outras cidades ou estados.

Neste caso, a empresa de transporte necessita manter filiais organizadas, com terminais estruturados, para processar e distribuir as cargas aos diversos destinatários em diversas zonas da região.

- Serviços de Carga Fracionada - Distribuição Regional com Terminais de Trânsito

Geralmente, as cargas fracionadas viajam em média e longa distâncias, obrigando a empresa de transportes a manter bases de re-processamento de cargas. Estas bases são terminais que funcionam como centros distribuidores e cumprem, assim, importante papel logístico.

Nos Estados Unidos, esses terminais concentrados são chamados de Transit Points ou de Hubs (centros). Este último caso, os terminais de origem ou de destino final são chamados de Spokes (raios). À medida que as operações se multiplicam, ocorre a adição de custos a cada etapa do processo, da origem até o destinatário final das cargas.

A empresa em questão presta serviços de carga fracionada com a utilização de terminais de trânsito. A grande extensão do território brasileiro e a variedade da demanda dos clientes fazem com que a empresa utilize centros de distribuição e re-processamento de cargas. Abaixo temos uma representação do fluxo de uma carga contratada.

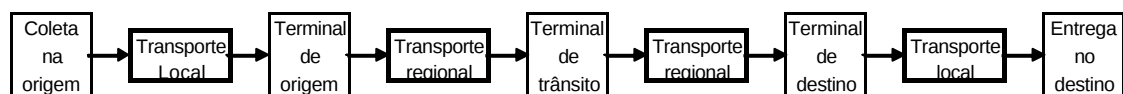


Figura 1.3.1: Fluxo de uma carga contratada

A empresa terceiriza o transporte regional (entre cidades); este transporte é feito por caminhoneiros autônomos, isto é, pessoas que possuem seu próprio veículo e prestam serviços à empresa.

A frota de veículos própria da empresa é alocada, em sua maioria, no transporte local, ou seja, são os veículos que fazem a coleta e a entrega da carga diretamente ao cliente. A maioria desses veículos é de médio porte, dada a necessidade de se transitar por áreas urbanas, e devem estar em bom estado de conservação para não comprometerem a imagem da empresa junto aos clientes e ao público. O trabalho será focado nessa classe de veículos da frota da empresa, chamados de $\frac{3}{4}$ leve.

São atualmente 144 veículos $\frac{3}{4}$ leve que coletam e entregam a carga dos clientes da empresa na matriz e nas 34 filiais da empresa, sendo que grande parte deles, 42, se encontra na matriz. A rota desses veículos é estimada e controlada todos os dias pela área de logística da empresa para que os horários de coleta e entrega sejam atendidos rigorosamente.

Constituindo uma parcela importante do patrimônio da empresa, os veículos da frota apresentam grande variação em seu valor de mercado com o passar do tempo, dado o desgaste pelo uso e o envelhecimento do veículo. Apresentaremos no próximo capítulo a fundamentação teórica do trabalho que inclui, além dos princípios de programação dinâmica para dar suporte ao modelo de renovação de frota que será proposto, uma classificação de custos específicos de empresas de transportes de carga que explicam em parte a desvalorização do valor dos veículos.

1.3. Resumo do trabalho

O trabalho consiste em otimizar o custo da frota de uma empresa de transporte de carga através da implementação de uma política de renovação de veículos que considera uma estrutura de custos projetada ao longo do tempo. Esta política é baseada num modelo proposto pelo autor e servirá como ferramenta gerencial básica para o uso da direção da empresa.

O capítulo 2 mostra uma revisão teórica de programação dinâmica, aplicações relacionadas ao problema de renovação de equipamentos e discorre sobre os custos de operação de uma empresa de transporte.

O capítulo 3 relaciona os custos operacionais da empresa a fim de identificar aqueles que são influenciados pela idade e quilometragem dos veículos. Esta parcela dos custos terá grande importância ao trabalho, já que seu comportamento em função tanto da idade como da quilometragem do veículo, que chamaremos de utilização acumulada, determinará o período exato de sua renovação. Apresentaremos as curvas de custo de operação e manutenção e de valor de revenda estimadas de cada modelo de veículo da frota da empresa.

A determinação do período de renovação dos veículos será dada por um modelo de programação dinâmica que fornecerá à empresa um cronograma de renovação, ou seja, quando se deve vender um determinado veículo e se comprar um novo. O capítulo 4 exibe alguns exemplos da bibliografia de reposição de equipamentos e o modelo proposto pelo autor.

O capítulo 5 contém a resolução do modelo proposto para o caso da empresa Atlas Transportes, além de uma análise de sensibilidade do comportamento dos parâmetros do modelo. O capítulo 6 mostra as conclusões e discute as vantagens e desvantagens do modelo proposto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



2. Revisão Bibliográfica

Nesse capítulo apresentaremos a fundamentação teórica do trabalho, discutindo o modelo de programação dinâmica. Serão apresentados os princípios da programação dinâmica determinística e sua aplicação nos problemas de reposição de equipamentos. Além disso, o capítulo contará com uma explanação sobre os custos operacionais de uma empresa de transportes.

2.1. Programação Dinâmica

A programação dinâmica é uma técnica utilizada para a solução de problemas de otimização, que, na maioria dos casos, obtém soluções através de recursões empregadas de trás para frente, conseguindo assim transformar um problema amplo e complicado em problemas menores e mais intuitivos.

Alguns conceitos são necessários ao entendimento do processo da programação dinâmica. Winston (1993) define estado como o ponto no qual são tomadas as decisões e, reciprocamente, o processo de tomada de decisão de um modelo de programação dinâmica provoca a mudança de um ou mais estados. A transição ocorre de estado para estado, sendo que um estado é um resumo da história do processo e é suficientemente detalhada a ponto de permitir a avaliação das alternativas atuais.

Os estados de um processo de tomada de decisão sequencial são normalmente agrupados em estágios. Por exemplo, para se obter uma aproximação da solução ótima de um problema cujo controle varia continuamente com o tempo, dividimos o tempo em intervalos discretos e permitimos que a tomada de decisão seja feita no início de cada intervalo. Cada estágio, no modelo discreto, contém os estados do sistema no início de cada intervalo, e em cada estágio subsequente teremos um novo conjunto de estados. Se os intervalos forem suficientemente pequenos, o controle ótimo do problema discreto aproxima-se do controle ótimo do problema contínuo.

Segundo Benardo (1982), um processo sequencial de tomada de decisão incorpora uma cadeia de eventos. Um estado s é um elemento de S , chamado de espaço

de estados. A cada s está associado um conjunto de decisões $D(s)$. A decisão é tomada após se observar o estado s em que o sistema se encontra e selecionar uma decisão d do conjunto $D(s)$. Devido à decisão d , adiciona-se $r(s,d)$ a s e o sistema transaciona para o estado $t(s,d)$. Agora a decisão depende da observação do estado $t(s,d)$ que é ocupada pelo sistema e a cadeia de eventos se repete. Podemos representar a evolução de um modelo de programação dinâmica como na figura abaixo:

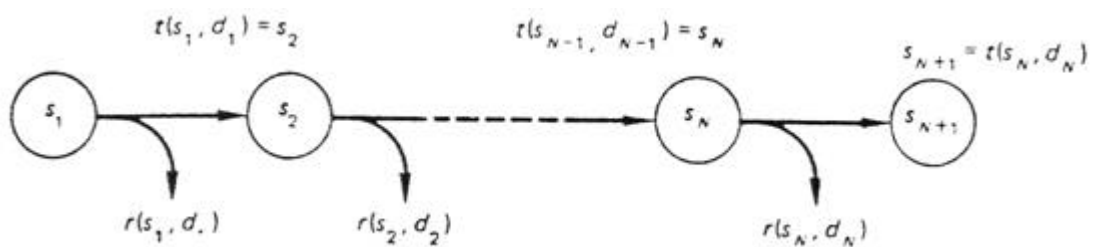


Figura 2.1.1: Evolução de um modelo de programação dinâmica

Um modelo possui estágios se existe um inteiro N no qual o espaço de estados S possa ser separado em $N+1$ grupos $S_1, S_2, \dots, S_{N+1}$. Neste caso, $D(s)$ é vazio se e somente se s for pertencente a S_{N+1} e sempre existirá um $t(s,d)$ em S_{n+1} para todos s em S_N . Assim, transição ocorre de S_1 para S_2 , então para S_3 , e assim por diante até S_{N+1} .

Para exemplificar, consideraremos um modelo em que as decisões são tomadas no sentido de maximizar o lucro de um processo e nenhum lucro é pago no estágio $N+1$. Para se obter uma equação funcional do processo de decisões seqüenciais, assumiremos que a transição ocorre para um estado s_n no estágio n . Temos que tomar uma decisão d_n até d_N para maximizar os lucros ganhos nos estágios n até N . Consequentemente, podemos definir uma função de retorno ótimo:

$f(s_n)$ = o lucro total máximo obtido nos estágios n até $N+1$ se s_n está ocupado

Quando tomamos a decisão d_n para o estado s_n o processo lucra $r(s_n, d_n)$ e transaciona para o estado $t(s_n, d_n)$. Então $f(t(s_n, d_n))$ é o lucro total máximo obtido deste ponto em diante. Podemos formular a seguinte equação funcional:

$$f(s_n) = \begin{cases} 0, & n = N+1 \\ \max_{d_n \in D(s_n)} \{r(s_n, d_n) + f[t(s_n, d_n)]\} & n < N+1 \end{cases}$$

A recursão consiste na avaliação de (1) para todos estados do estágio N, depois para todos os estados do estágio N-1, e assim por diante, até o estágio 1. Isto é possível porque sempre $t(s_n, d_n)$ é um estado do estágio $n+1$.

Segundo Wiston (1993), um problema de programação dinâmica deve apresentar as seguintes características:

- O problema pode ser dividido em vários estágios e existe uma decisão a ser tomada em cada um deles
- Cada estágio tem um número de estados associados
- A decisão tomada em um estágio define como um estado nesse estágio será modificado no próximo estágio
- Para um problema com T estágios, deve existir uma recursão que relaciona um custo ou receita adquirida durante os estágios $t, t+1, t+2, \dots, T$ ao custo ou receita adquirido durante os estágios $t+1, t+2, t+3, \dots, T$. Esta recursão é a chave para o processo de se resolver o problema de trás para frente

2.2. Custos operacionais

Os custos operacionais relacionados neste capítulo estão ligados ao gerenciamento de custos da empresa analisada. Estas definições são importantes na definição dos custos relevantes à renovação de um veículo. Os custos operacionais de uma empresa de transporte de cargas compõem-se de duas parcelas principais:

- Custo de transferência
- Despesas administrativas e de terminais

Os custos de transferência correspondem às despesas ligadas à operação do veículo, enquanto as despesas administrativas e de terminais estão ligadas à estrutura da empresa e à operação dos terminais. Descreveremos a seguir estes custos.

2.2.1. Custos de transferência

Os custos de transferência correspondem às despesas do transporte de cargas entre dois terminais. Dividem-se em:

- Custos fixos
- Custos variáveis

Os primeiros correspondem às despesas operacionais do veículo que não variam com a distância percorrida, isto é, continuam existindo, mesmo com o veículo parado. Geralmente, são calculados por mês. Já os custos variáveis correspondem a despesas que variam com a distância percorrida pelo veículo, ou seja, que inexistem caso o veículo permaneça parado. Estes custos serão analisados para efeito de tomada de decisão de se renovar um veículo.

CUSTOS FIXOS

O custo fixo de operação do veículo é composto das seguintes parcelas:

- Remuneração mensal do capital empatado
- Salário do motorista
- Salário de oficina
- Reposição do veículo
- Reposição do equipamento
- Licenciamento
- Seguro do veículo
- Seguro do equipamento
- Seguro de responsabilidade civil facultativo

Remuneração mensal do capital

Corresponde ao ganho no mercado financeiro caso o capital não tivesse sido usado para adquirir o veículo.

Salário do motorista

Corresponde às despesas mensais com salário de motorista e horas extras, acrescidas dos encargos sociais, correspondentes a 96,14%. Tratando-se de ponte rodoviária (*hot seat*), que usa mais de um motorista por veículo, o salário deve ser multiplicado pelo número de condutores. Se o veículo usar ajudantes, deve ser aberto um item adicional para este custo, sob o título Salário de Ajudantes.

Salários de oficina

Cobre as despesas com pessoal de manutenção e seus encargos sociais. Seu custo mensal é obtido multiplicando-se o salário médio do pessoal de oficina pelo coeficiente de encargos sociais e dividindo-se o resultado pela relação entre o número de caminhões e o número de funcionários do setor.

Reposição de veículo

Representa a quantia que deve ser destinada mensalmente a um fundo para comprar um novo veículo zero quilômetro quando o atual completar seu ciclo de vida útil econômica. Considera-se que, no fim deste período, é possível obter como valor de revenda 20% do valor do veículo novo. Assim, será necessário distribuir os 80% restantes pelo período.

O valor do veículo exclui os pneus, que constituem material de consumo, cuja despesa é computada em item específico do custo variável. Os preços fornecidos pelos fabricantes de caminhões incluem os pneus. É necessário, portanto subtrair o valor dos pneus antes de realizar o cálculo.

Reposição do equipamento

Da mesma forma que se estabelece um fundo para reposição do veículo, deve ser criado outro para a reposição do implemento rodoviário (carroçaria ou carreta). Considera-se que, no final da vida útil econômica do equipamento, seu valor de revenda é de 5% do valor de um equipamento novo. Os 95% restantes devem ser rateados pela vida útil econômica do equipamento:

O valor do equipamento exclui os pneus, que constituem material de consumo, cuja despesa é computada em item específico do custo variável. Geralmente, os preços fornecidos pelos fabricantes de carretas já deixam de fora os pneus, tornando desnecessária a subtração desse valor antes de realizar o cálculo.

Licenciamento

Este item reúne os tributos fiscais que a empresa deve recolher antes de colocar o veículo em circulação nas vias públicas. É composto por:

- Imposto sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA)
- Seguros por danos pessoais causados por veículos automotores (DPVAT)
- Taxa de licenciamento (TL) paga ao Detran

Geralmente, o IPVA é um percentual sobre o valor do veículo. No caso do Estado de São Paulo, este percentual é de 1,5% para caminhões a diesel. Os valores corretos do IPVA para cada veículo podem ser obtidos em sites especializados. Já o DPVAT e a TL constituem despesas de baixo valor.

Seguro do veículo

Representa um fundo mensal que deve ser formado para pagar o seguro ou eventuais sinistros (colisão, incêndio ou roubo) ocorridos com o veículo.

Estas despesas são determinadas conforme normas estabelecidas pelas companhias de seguro. O chamado Prêmio (valor total a ser pago à seguradora) é obtido somando-se uma parcela calculada com base no Prêmio de Referência (valor básico a ser pago à seguradora) com outra calculada com base na Importância segurada (valor do veículo segurado). Todos os valores são fornecidos pelas seguradoras.

Seguro do equipamento

Representa um fundo mensal que deve ser formado para pagar o seguro ou eventuais sinistros (colisão, incêndio, roubo etc) ocorridos com o equipamento.

Estas despesas são determinadas conforme normas estabelecidas pelas companhias de seguro. O chamado Prêmio (valor total a ser pago à seguradora) é obtido somando-se uma parcela calculada com base no Prêmio de Referência (valor básico a ser pago à seguradora) com outra calculada com base na Importância segurada (valor do veículo segurado). Todos os valores são fornecidos pelas seguradoras.

Seguro de Responsabilidade Civil Facultativo

É a despesa mensal correspondente ao Seguro de Responsabilidade Civil Facultativo, destinado a cobrir danos materiais e a complementar os danos pessoais causados a terceiros (o valor da cobertura do seguro DPVAT é bastante limitado).

CUSTO VARIÁVEL

O custo variável é composto das seguintes parcelas:

- Peças, acessórios e material de manutenção
- Despesas com combustível
- Lubrificantes
- Lavagem e graxas
- Pneus e recauchutagens

Peças, acessórios e material de manutenção

Corresponde à previsão de despesas mensais com peças, acessórios e materiais de manutenção do veículo. Uma vez apuradas, essas despesas devem ser divididas pela quilometragem mensal percorrida, para se obter o valor por quilômetro. Corresponde a 1% do valor do veículo completo e sem pneus, por mês. Cabe a cada empresa determinar o valor mais preciso e adequado para este parâmetro.

Combustível

São as despesas efetuadas com combustível para cada quilômetro rodado pelo veículo.

Lubrificantes

São as despesas com lubrificantes do motor e lubrificantes da transmissão. Para determinar o volume de óleo consumido, somam-se as capacidades do diferencial e do câmbio. Esta soma é multiplicada pelo preço unitário do lubrificante (R\$/litro), e o resultado é dividido pela quilometragem de troca de óleo.

Lavagem e graxas

São as despesas com lavagem e lubrificação externa do veículo. O custo por quilômetro é obtido dividindo-se o custo de uma lavagem completa do veículo pela quilometragem recomendada pelo fabricante para lavagem periódica.

Pneus e recauchutagem

São as despesas resultantes do consumo dos pneus utilizados no veículo e também no equipamento, quando se tratar de reboque ou semi-reboque. Admite-se uma perda prematura de 20% das carcaças, ou seja, de cada cinco pneus, apenas quatro permitem recuperação. Admite-se, além disso, que cada pneu possa ser recapado apenas uma vez, ao longo da sua vida útil.

2.2.2. Despesas indiretas

As despesas indiretas, também conhecidas como despesas administrativas e de terminais, são aquelas que não estão relacionadas diretamente com a operação do veículo. Não variam, portanto, com a quilometragem rodada, mas sim com a tonelagem movimentada. Assim, seu custo deve ser apurado dividindo-se o seu valor mensal pela tonelagem mensal movimentada.

DESPESAS ADMINISTRATIVAS E DE TERMINAIS

As despesas administrativas e de terminais estão divididas em duas grandes parcelas:

- Salários e encargos sociais do pessoal não envolvido diretamente com a operação dos veículos (pessoal administrativo, de vendas, diretoria, etc);
- Outras despesas necessárias ao funcionamento da empresa, como aluguel, impostos, material de escritório, comunicações, depreciação de máquinas e equipamentos etc.

De acordo com a estrutura de custos adotada pela FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas da USP, este item se subdivide em:

Salários, ordenados e honorários de Diretoria

- Salários
- Honorários
- Encargos sociais

Aluguéis

- Aluguéis de áreas e imóveis
- Aluguéis de equipamentos

Tarifas de serviços públicos

- Água
- Energia elétrica
- Correio, telefone, fax, EDI etc.

Serviços profissionais

- Serviços de manutenção, conservação e limpeza
- Serviços profissionais de terceiros
- Serviços de processamento de dados
- Serviços de atendimento ao cliente

Seguros

- Seguro de instalação/incêndio
- Seguro de vida em grupo
- Seguro de mercadoria
- Seguro de desvio de carga
- Seguro de lucros cessantes
- Outros

Impostos e taxas

- IPTU
- Imposto de Renda
- ICMS
- CPMF
- IOF
- Cofins
- Contribuição Social sobre o Lucro
- Multas
- Outros impostos

Depreciações

- Depreciação de máquinas e equipamentos
- Depreciação de móveis e utensílios

Outros custos

- Material de escritório e limpeza
- Viagens, estadias e condução
- Despesas legais e judiciais
- Contribuições e doações
- Uniformes
- Despesas com promoções, brindes e propaganda
- Despesas com conservação de bens e instalações
- Despesas diversas
- Refeições e lanches
- Cópias xerox
- Paletização de cargas

DESPESAS DE GERENCIAMENTO DE RISCO

As empresas que não cobram a taxa de gerenciamento de risco (0,3% sobre o valor da mercadoria) devem computar como parcela do frete-peso a despesa de gerenciamento de risco, para cobrir os custos de propriedade do equipamento de rastreamento, *air time*, escolta, segurança patrimonial, indenização por danos ou extravios de cargas etc.

Após definir todos os custos operacionais, teremos no próximo capítulo uma análise mais profunda dos custos relevantes ao modelo de renovação de frota.

3 ANÁLISE DOS CUSTOS



3. Análise dos Custos

Conforme Martins (2000), algumas décadas atrás, o crescimento das empresas fez com que o acompanhamento dos custos passasse de um instrumento apenas contábil para uma ferramenta de auxílio gerencial. A contabilidade de custos passou então a auxiliar duas importantes funções: a de controle e a de tomada de decisões. Na função controle, ela fornece dados para a formação de um histórico que pode ser utilizado em diversas formas de previsão, além de permitir a validação destas previsões em relação ao que efetivamente ocorreu. Já para a tomada de decisões, seu papel é de extrema importância, pois o custo é um fator primordial e muito relevante na avaliação dos resultados da empresa.

A análise dos custos é de grande importância no auxílio na tomada da decisão de se renovar um veículo. Neste capítulo trataremos dos custos relevantes à renovação, ou seja, todos aqueles que sejam variáveis em função da idade e da quilometragem do veículo. Tais custos, que serão chamados de custos de operação e manutenção, servirão como base para se obter uma estrutura futura de custos como será mostrado ao final do capítulo.

É importante destacar que, como não é o foco principal deste trabalho, não se pretende neste capítulo detalhar o processo contábil aplicado à empresa ou seus sistemas de custeio, mas apenas familiarizar o leitor com os custos relevantes (descritos no capítulo 2) ao modelo de renovação de frota.

3.1. Contabilidade dos custos

A contabilização dos custos surgiu da necessidade de apuração de resultados do período e era baseada na avaliação de estoques. Sua evolução se deu devido ao aparecimento de instituições financeiras, Imposto de Renda e do desenvolvimento do setor de serviços.

Dadas as necessidades atuais de informações para controle e tomada de decisões, os sistemas de custo evoluíram muito desde suas primeiras utilizações como instrumento de avaliação de estoques. Entretanto, conforme Martins (2000), a implementação de sistemas de custos não garante resultados imediatos, pois nenhum sistema é capaz de resolver todos os problemas, e para que ele se torne uma ferramenta útil, é necessário tempo para seu desenvolvimento.

Os custos relevantes para a análise final do trabalho são aqueles, segundo Martins (2000), ditos variáveis e diretos, pois são custos relacionados com o uso do veículo e podem ser apropriados diretamente ao mesmo. Estes custos são influenciados diretamente pela condição do veículo ao passo que um veículo desgastado incorrerá em maiores custos em relação a um veículo novo. Classificaremos estes custos como custos de operação e manutenção. A empresa possui um amplo banco de dados que armazena todos os eventos que acarretaram custos relacionados ao veículo e é usado atualmente pela gerência para acompanhar a evolução dos custos da frota.

Estes custos serão analisados e segregados por veículo para então estudarmos sua evolução em função da idade e da quilometragem do veículo. A partir deste histórico organizado será possível obter curvas de custo em função das características e do estado do veículo (idade, quilometragem e modelo) através de regressões.

3.2. Custos da frota

Classificaremos os custos de operação e manutenção de acordo com o banco de dados da empresa, segregando-os nas seguintes categorias:

- Custos de ações preventivas
- Custos de ações corretivas

Os custos de ações preventivas incluem todos os custos descritos como custos de transição variáveis no capítulo 2, ou seja, custos de peças, acessórios e manutenção, lubrificantes, lavagens, pneus, etc. São os custos operacionais do veículo e os custos

incorridos devido a ações pré-estabelecidas pela empresa para manter o veículo em condições de uso. Estes custos devem ser pouco sensíveis ao envelhecimento do veículo como vamos avaliar mais adiante. A tabela 32.1 mostra alguns exemplos de custos preventivos.

Placa	Modelo	Data	KM	Descrição	Prev./Corr.	Grupo Veículo	R\$
GSH5827	MB/710/BAU	10/08/04	312.465	RECUPERAÇÃO EM 01 FLAGE DO PINHAO E COLOCAÇ	Preventiva	FUNILARIA/PINTUR	246,00
GSH5827	MB/710/BAU	10/08/04	312.529	SERVIÇO DE TROCA FILTRO LUBRIFICANTE	Preventiva	MOTOR	10,00
GSH5827	MB/710/BAU	10/08/04	312.529	SERVIÇO DE TROCA FILTRO COMBUSTIVEL	Preventiva	SIST. COMB./ALIM	7,00
GSH5827	MB/710/BAU	18/08/04	313.554	SERVIÇO DE TROCA FILTRO DE AR	Preventiva	SIST. ARREFECIME	35,00
GSH5827	MB/710/BAU	30/08/04	315.266	SERVIÇO DE PARTIDA E REVISAO NA INSTALAÇÃO	Preventiva	SIST. ELÉTRICO	100,00
GSH5827	MB/710/BAU	11/09/04	317.655	LAVAGEM SIMPLES	Preventiva	LAVAGEM/LUBRIFIC	25,00
GSH5827	MB/710/BAU	18/09/04	318.898	SERVIÇO DE TROCA OLEO DO MOTOR	Preventiva	MOTOR	110,00
GSH5827	MB/710/BAU	07/10/04	322.462	ALINHAMENTO BALANCEAMENTO	Preventiva	ALINHAMENTO/BALA	69,00
GSH5827	MB/710/BAU	15/10/04	323.556	SERVIÇO DE TROCA OLEO DO MOTOR	Preventiva	MOTOR	110,00
GSH5827	MB/710/BAU	15/10/04	323.560	SERVIÇO DE TROCA FILTRO LUBRIFICANTE/ COMBU	Preventiva	SIST. ARREFECIME	18,00
GSH5827	MB/710/BAU	19/10/04	323.574	SERVIÇO DE SUBSTI. TERMINAL DIREÇÃO/ JUNTA	Preventiva	REVISAO GERAL	378,00
GSH5827	MB/710/BAU	23/10/04	324.298	LAVAGEM COMPLETA	Preventiva	LAVAGEM/LUBRIFIC	25,00
GSH5827	MB/710/BAU	18/11/04	328.640	SERVIÇO DE TROCA OLEO DO MOTOR	Preventiva	MOTOR	110,00
GSH5827	MB/710/BAU	18/11/04	328.646	SERVIÇO DE TROCA FILTRO COMBUSTIVEL/ LUBRIF	Preventiva	REVISAO GERAL	38,00
GSH5827	MB/710/BAU	24/11/04	329.655	SERVIÇO DE SOLDA DA ASTE DO ACELERADOR	Preventiva	FUNILARIA/PINTUR	20,00
GSH5827	MB/710/BAU	04/12/04	332.415	ALINHAMENTO E BALANCEAMENTO	Preventiva	ALINHAMENTO/BALA	69,00
GSH5827	MB/710/BAU	11/12/04	334.177	SERVIÇO DE TROCA OLEO MOTOR	Preventiva	MOTOR	100,00
GSH5827	MB/710/BAU	14/12/04	334.917	SERVIÇO NA SUBSTITUIÇÃO DA BOMBA E SERVIÇO	Preventiva	REVISAO GERAL	147,00
GSH5827	MB/710/BAU	15/12/04	335.358	SERVIÇO DE TROCA FILTRO RACOR	Preventiva	SIST. ARREFECIME	55,00
GSH5827	MB/710/BAU	21/12/04	336.451	SOCORRO MECANICO	Preventiva	SOCORRO MECANICO	165,20
GSH5827	MB/710/BAU	03/01/05	338.220	SUBSTITUIÇÃO JUNTA CARTER	Preventiva	REVISAO GERAL	127,50
GSH5827	MB/710/BAU	08/01/05	339.242	SERVIÇO DE TROCA FILTROS COMBUSIVEL/ LUBRIF	Preventiva	SIST. ARREFECIME	19,00
GSH5827	MB/710/BAU	10/01/05	340.476	20LTS DE ÓLEO DO MOTOR	Preventiva	MOTOR	100,00
GSH5827	MB/710/BAU	15/01/05	340.476	LAVAGEM COMPLETA	Preventiva	LAVAGEM/LUBRIFIC	30,00
GSH5827	MB/710/BAU	12/02/05	344.706	20LTS DE ÓLEO DO MOTOR	Preventiva	MOTOR	124,00

Tabela 3.2.1: Custos preventivos de um veículo

Os custos de ações corretivas são todos aqueles custos inesperados pela empresa e geralmente são originados de falhas em equipamentos, tanto do veículo como de acessórios. A necessidade de um serviço de manutenção fora do período pré-estabelecido pela empresa também é considerada ação corretiva, ou seja, se, por exemplo, a bateria do sistema elétrico do veículo precisa ser trocada antes de seu período de vida normal, este custo é considerado custo de ação corretiva. Estes custos variam bastante de acordo com a idade e a quilometragem do veículo. A tabela 3.2.2 mostra alguns exemplos de custos corretivos.

Placa	Modelo	Data	KM	Descrição	Prev./Corr.	Grupo Veículo	R\$
GSH5827	MB/710/BAU	09/08/04	312.448	SERVIÇO DE TROCA BENDIX,BUCHAS,ESCOVAS,LANT	Corretiva	SIST. ELÉTRICO	139,50
GSH5827	MB/710/BAU	10/08/04	312.465	SERVIÇO DE SUBSTITUIÇÃO DA CRUZETA E FLAGE	Corretiva	INSTRUMENTOS	63,00
GSH5827	MB/710/BAU	19/08/04	313.680	SERVIÇO DE TROCA TRAMATICO,FIOS	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	58,70
GSH5827	MB/710/BAU	24/08/04	314.454	SERVIÇO DE TROCA JUNTA DA TAMP,RETENTOR,VE	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	43,20
GSH5827	MB/710/BAU	28/08/04	315.186	SERVIÇO DE TROCA JG DE JUNTAS CARTER,JUNTA	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	26,90
GSH5827	MB/710/BAU	30/08/04	315.286	SERVIÇO DE SUBST. E INSTALAÇÃO DE FLETOR R	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	255,70
GSH5827	MB/710/BAU	11/09/04	317.655	SERVIÇO DE TROCA INT. PRESSAO	Corretiva	SIST. HIDRÁULICO	110,00
GSH5827	MB/710/BAU	14/09/04	318.659	SERVIÇO DE TROCA BORRACHA/ BUCHAS DO ESTABI	Corretiva	SUSPENSÃO /ESTAB	44,00
GSH5827	MB/710/BAU	15/09/04	318.690	SERVIÇO DE TROCA BUCHAS,PARAFUSOS,PORCAS,MO	Corretiva	SUSPENSÃO /ESTAB	638,97
GSH5827	MB/710/BAU	28/09/04	320.764	SERVIÇO DE TROCA VALVULA FILTRO	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	15,50
GSH5827	MB/710/BAU	07/10/04	322.233	SERVIÇO DE TROCA CONTRA BARRA, E TERMINAL D	Corretiva	SIST. DE DIREÇÃO	360,00
GSH5827	MB/710/BAU	11/10/04	322.833	SERVIÇO DE TROCA ESPELHO RETROVISOR,EMBLEMA	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	22,00
GSH5827	MB/710/BAU	13/10/04	322.855	SERVIÇO DE TROCA BATERIA	Corretiva	SIST. ELÉTRICO	500,00
GSH5827	MB/710/BAU	19/10/04	323.640	RECARGA EM EXTINTOR	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	22,00
GSH5827	MB/710/BAU	20/10/04	323.640	SERVIÇO DE TROCA BORRACHA DO PEDAL EMBREAGE	Corretiva	SIST. DE EMBREAG	6,00
GSH5827	MB/710/BAU	02/11/04	325.826	SERVIÇO DE TROCA CABO DO VELOCIMETRO	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	46,00
GSH5827	MB/710/BAU	06/12/04	332.799	SERVIÇO DE TROCA VALVULA	Corretiva	INSTRUMENTOS	36,00
GSH5827	MB/710/BAU	14/12/04	334.930	SERVIÇO DE TROCA HIDROVACO, CILINDRO DUPLO,	Corretiva	SUSPENSÃO /ESTAB	995,00
GSH5827	MB/710/BAU	30/12/04	337.226	SERVIÇO DE TROCA CARTER DE ÓLEO, C/ REMOÇÃO	Corretiva	MOTOR	908,00
GSH5827	MB/710/BAU	03/01/05	338.200	SERVIÇO DE TROCA FUSIVEIS, LAMPADAS,ABRAÇAD	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	75,00
GSH5827	MB/710/BAU	19/01/05	340.792	SUBSTITUIÇÃO DE AMORTECEDORES	Corretiva	AMORTECEDORES	63,00
GSH5827	MB/710/BAU	20/01/05	340.792	PÇS	Corretiva	AMORTECEDORES	150,00
GSH5827	MB/710/BAU	12/02/05	344.674	TROCA DE AMORTECEDORES	Corretiva	AMORTECEDORES	150,00
GSH5827	MB/710/BAU	12/02/05	344.688	PÇS	Corretiva	ACESSORIOS/EQUIP	32,00
GSH5827	MB/710/BAU	22/02/05	345.544	SERVIÇOS DE SUBST. DE MANG.DE RETORNO COMBU	Corretiva	SIST. COMB./ALIM	147,00
GSH5827	MB/710/BAU	24/02/05	346.077	PÇS	Corretiva	INSTRUMENTOS	159,00
GSH5827	MB/710/BAU	16/03/05	349.700	TROCA DE FILTROS	Corretiva	MOTOR	20,00
GSH5827	MB/710/BAU	18/03/05	349.818	TROCA DE RETENTOR	Corretiva	RODAS	26,00

Tabela 3.2.2: Custos corretivos de um veículo

Todos os eventos geradores de custo são detalhados no sistema da empresa como nas tabelas acima. Cada registro contém a placa do veículo, seu modelo, a data do evento, a quilometragem do veículo, uma descrição do custo, o tipo de custo, o grupo de custo e o custo monetário do evento. Cada categoria possui uma relação particular com às variáveis do modelo, quilometragem e idade. Assim, utilizando-se de métodos de regressão pode-se chegar a uma superfície de cada categoria de custos em função da idade e da quilometragem para cada modelo de veículo utilizado.

A empresa possui hoje três modelos de veículos diferentes; é esperado que existam diferenças em suas superfícies de custo. Com isso, iremos analisar separadamente cada modelo para obter uma superfície de custo em função da idade e utilização acumulada. Segue tabela com os caminhões $\frac{3}{4}$ leves da frota própria da empresa.

Veículos Próprios		Ano de Fabricação											
Caminhões - $\frac{3}{4}$ -Leves	Total	<1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
MB/709	13	11	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
MB/710	94	4	-	-	-	11	-	10	34	15	-	-	20
MB/712	37	5	-	-	-	30	-	-	-	-	-	2	-
Total	144	20	-	-	-	41	-	12	34	15	-	2	20

Tabela 3.2.3: Caminhões da Frota

3.3 Superfícies de custo

Segundo Hartman (2003), dado um veículo com idade i e utilização acumulada j , é comum assumir que os custos de operação e manutenção são crescentes em função de sua utilização u . No entanto, esta função pode se apresentar de várias formas, como mostra a figura 3.3.1. Na figura, a função (a) é côncava, (b) é linear e (c) é convexa.

A função (a) representa um veículo que marginalmente custa menos para cada incremento de utilização. Neste caso os custos aumentam rapidamente no início da vida do veículo e desaceleram ao passar do tempo. No caso da função (c), temos a caso clássico de evolução de custos, no qual há uma aceleração dos custos com a deterioração do veículo.

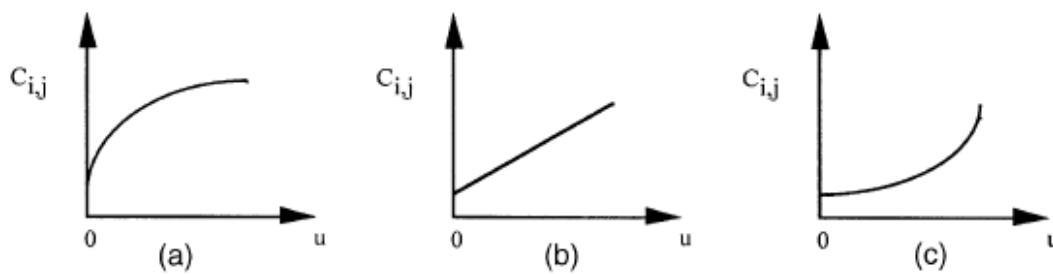


Figura 3.3.1: Evolução dos custos em função da utilização

A seguir, como caráter ilustrativo, serão exibidos exemplos dos gráficos da evolução dos custos acumulados, preventivos e corretivos, de um veículo de cada modelo da frota. É fácil visualizar que os custos de ações preventivas crescem linearmente ao passo que os custos de ações corretivas apresentam uma evolução ligeiramente convexa. Os veículos que foram analisados tiveram um nível de utilização praticamente constante ao longo de suas vidas.

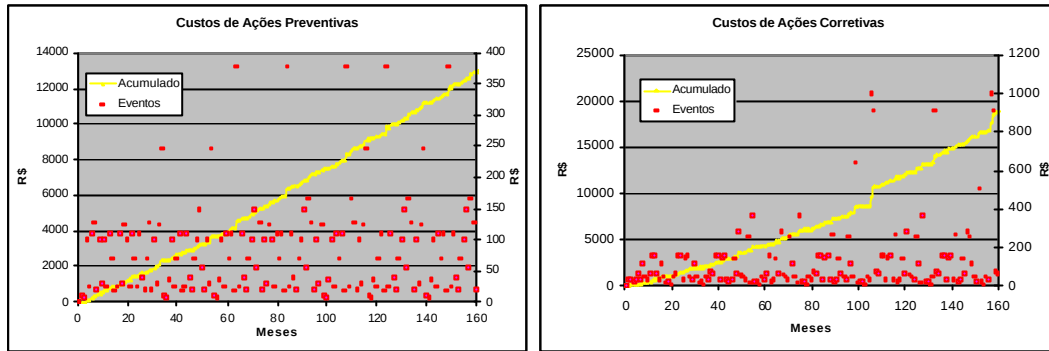


Figura 3.3.2: Custos de um veículo modelo MB709

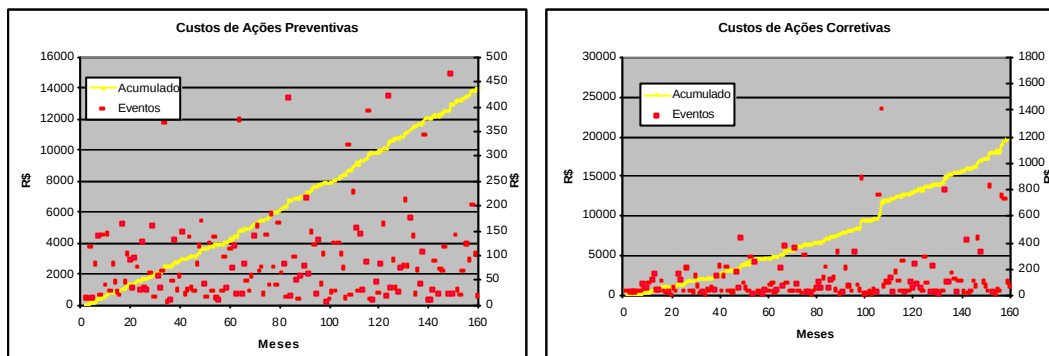


Figura 3.3.3: Custos de um veículo modelo MB710

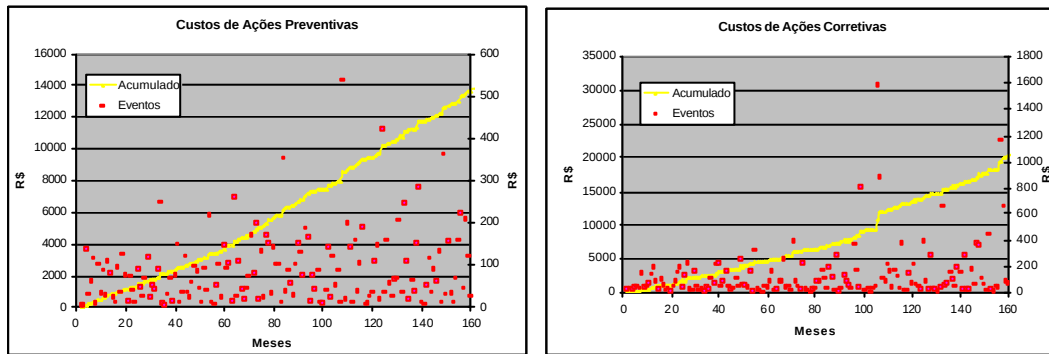


Figura 3.3.4: Custos de um veículo modelo MB712

Ainda considerando as formulações de Hartman (2003), sua função do custo de operação e manutenção é dada através da função abaixo:

$$C_{i,k}(q) = aq^b + g$$

Onde a e g são parâmetros não negativos e $b > 1$ dada à convexidade esperada da função. Nesta função, toda variação exponencial está relacionada com a utilização do veículo (q), não considerando a variação relacionada à idade (i) e à utilização acumulada do veículo (k), que parecem estar condicionadas ao parâmetro g . Para considerar corretamente as variáveis idade (i) e utilização acumulada (k), o modelo proposto utilizará uma extensão à função de custos de operação e manutenção proposta por Hartman (2003). A função segue abaixo.

$$C(i, k) = ai^d k^l$$

Onde a é um parâmetro não negativo, $d > 1$ e $l > 1$ devido à convexidade da função. As variáveis i e k são, respectivamente, idade em meses e utilização acumulada em quilômetros. Cada modelo de veículo utiliza um conjunto de três parâmetros para a função de custo operacional (a, d, l) . O parâmetro com índice d é aquele relacionado com a idade do veículo, enquanto que o parâmetro l está relacionado com a quilometragem acumulada. O parâmetro a é uma constante de proporcionalidade entre as variáveis idade e utilização acumulada e o custo.

De posse do banco de dados da empresa e da função do custo de operação e manutenção em função da idade e utilização do veículo, devemos agora estimar os parâmetros da função para obter uma superfície de custos que corresponda à realidade, ou seja, será necessário utilizar um método de regressão para estimar os parâmetros (a, d, l) para cada modelo de veículo da frota da empresa.

Para tanto, vamos utilizar um recurso para linealizar a função de custo. A função é feita da seguinte forma:

$$\ln C(i, k) = \ln ai^d k^l$$

Desta forma, extraindo-se o logaritmo da função de custo, chegamos a uma função linear na qual podemos estimar os parâmetros (a, d, l) através de uma regressão multivariada linear.

$$\ln C(i, k) = \ln a + d \ln i + l \ln k$$

Para se obter os dados de C, i e k para a estimativa dos parâmetros, será utilizada a média dos custos de cinco veículos mais antigos de cada modelo da frota da empresa. Estes dados serão trabalhados no Minitab a fim de se encontrar os parâmetros da função. No anexo III estão as análises de regressão multivariada feitas no Minitab a partir dos dados da empresa e a seguir temos os parâmetros encontrados na análise.

Índice	Modelo	Parâmetros da função custo		
		a	d	l
A	MB/709	0,00322	1,360	1,10
B	MB/710	0,00199	1,310	1,15
C	MB/712	0,00225	1,300	1,18

Tabela 3.3.1: Parâmetros da função custo dos modelos de veículo da frota

Utilizando estes parâmetros na função de custo, temos abaixo as três superfícies de custo teóricas de cada modelo de veículo da frota:

Custos de Operação e Manutenção

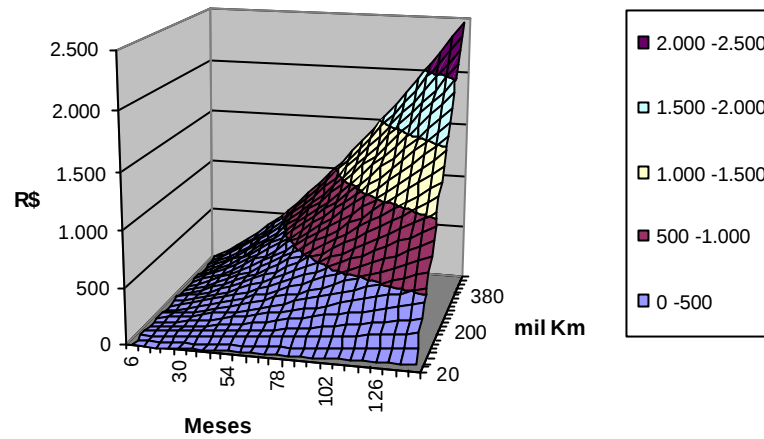


Figura 3.3.5: Superfície de custos do modelo MB709

Custos de Operação e Manutenção

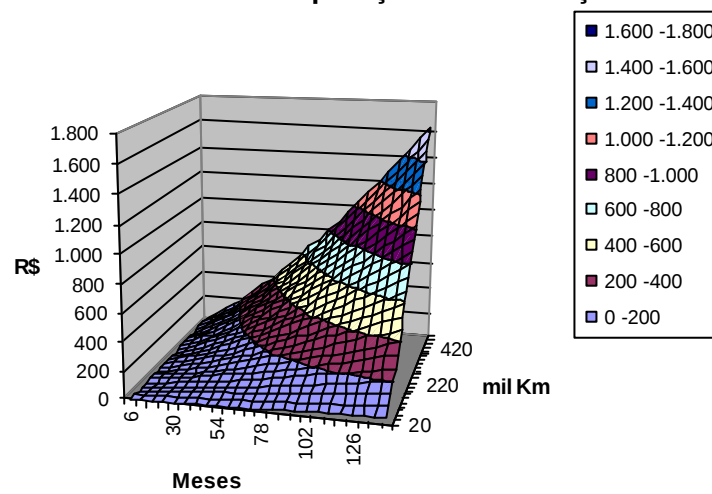


Figura 3.3.6: Superfície de custos do modelo MB710

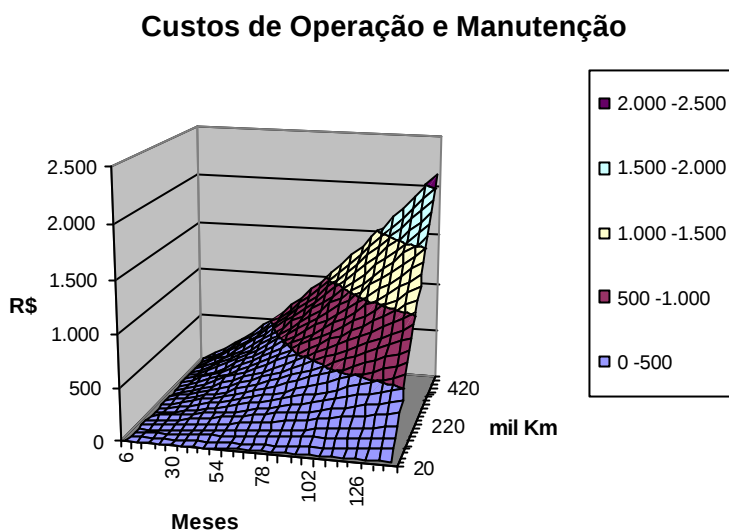


Figura 3.3.7: Superfície de custos do modelo MB712

A análise de variância do MiniTab mostrou que os parâmetros da superfície estão suficientemente relacionados com os custos de operação, com um nível de significância de 5%. O coeficiente de determinação, que é a parcela da variação total da variável dependente, custo de operação e manutenção, explicada pelas variáveis independentes propostas, idade e utilização acumulada, indica que as superfícies obtidas estão razoavelmente correlacionadas com os dados observados. Abaixo segue uma tabela com o coeficiente de determinação de cada superfície.

Índice	Modelo	Coeficiente de Determinação R^2
A	MB/709	74,4%
B	MB/710	78,6%
C	MB/712	77,7%

Tabela 3.3.2: Coeficiente de determinação das superfícies de custo

3.4 Superfícies de revenda

O valor de revenda não é nada mais do que o valor de mercado do veículo. Através do estudo das condições de mercado e das expectativas da empresa podemos definir uma superfície relacionando o valor de revenda com as variáveis quilometragem e idade. Esta superfície também servirá como entrada para o modelo de renovação.

Hartman (2003) também estudou o relacionamento entre o valor de revenda de um veículo de sua idade i e utilização acumulada j em função de sua utilização u . Partindo do pressuposto que o valor de revenda é decrescente, o autor apresenta três funções possíveis, como mostra a figura 3.3.1. Na figura, a função (a) é côncava, (b) é linear e (c) é convexa.

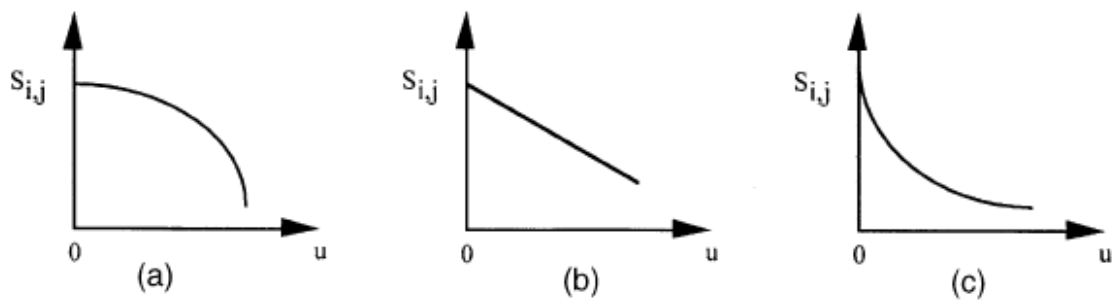


Figura 3.4.1: Evolução do valor de revenda em função da utilização

Espera-se que a forma da função do valor de revenda dos caminhões da empresa, assim como a de veículos de passeio, seja similar à forma da função (c), já que o veículo perde valor rapidamente no início de sua vida e mais tarde esta desaceleração acaba perdendo o impacto. A função do valor de revenda é dada através da função abaixo:

$$S(i, k) = h - bi^f k^j$$

Onde h é o valor de um veículo novo, b é não negativo e $f < 1$ e $j < 1$ devido à convexidade da função. As variáveis i e j são, respectivamente, idade em meses

e utilização acumulada em quilômetros. Cada modelo de veículo utiliza um conjunto de quatro parâmetros para a função de revenda (h, b, f, j) .

De posse do banco de dados da empresa e da função do valor de revenda em função da idade e utilização do veículo, devemos agora estimar os parâmetros da função para obter uma superfície de revenda que corresponda a realidade, ou seja, será necessário utilizar um método de regressão para estimar os parâmetros (h, b, f, j) para cada modelo de veículo da frota da empresa.

Para tanto, vamos utilizar um recurso para linealizar a função de revenda. A função é feita da seguinte forma:

$$\ln(h - S(i, k)) = \ln b + f \ln i + j \ln k$$

Sabendo que h , o valor de um veículo novo, será dado pela empresa, chegamos a uma função linear na qual podemos estimar os parâmetros (b, f, j) através de uma regressão multivariada linear.

$$\ln(h - S(i, k)) = \ln b + f \ln i + j \ln k$$

Para se obter os dados de S , i e k para a estimação dos parâmetros, utilizaremos os dados de revenda de veículos da frota da empresa. Estes dados serão trabalhados no Minitab a fim de se encontrar os parâmetros da função. No anexo IV estão as análises de regressão multivariada feitas no Minitab a partir dos dados da empresa e a seguir temos os parâmetros encontrados na análise.

Índice	Modelo	Parâmetros da função revenda			
		h	b	f	j
A	MB/709	69.550	109,2	0,490	0,611
B	MB/710	72.400	112,4	0,504	0,596
C	MB/712	78.800	117,3	0,524	0,576

Tabela 3.4.1: Parâmetros da função revenda dos modelos de veículo da frota

Utilizando estes parâmetros na função de vabr de revenda, temos abaixo as três superfícies de revenda teóricas de cada modelo de veículo da frota:

Valor de Recompra

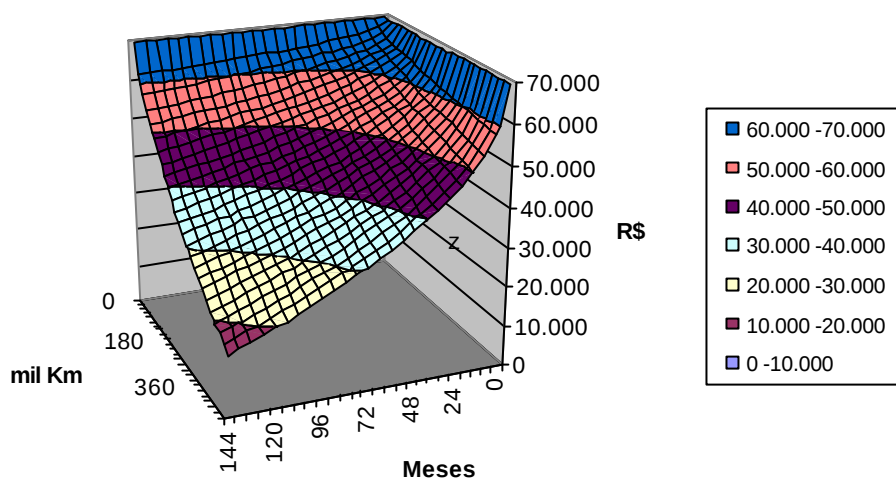


Figura 3.4.2: Superfície de valor de revenda do modelo MB709

Valor de Recompra

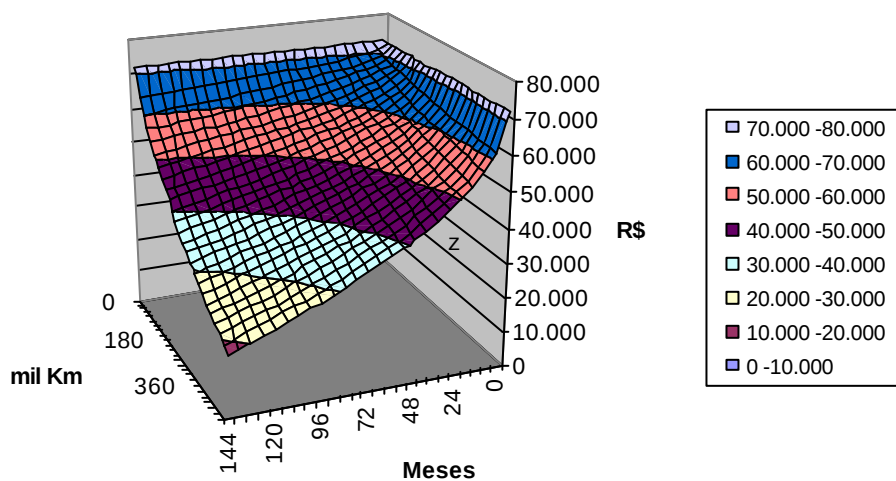


Figura 3.4.3: Superfície de valor de revenda do modelo MB710

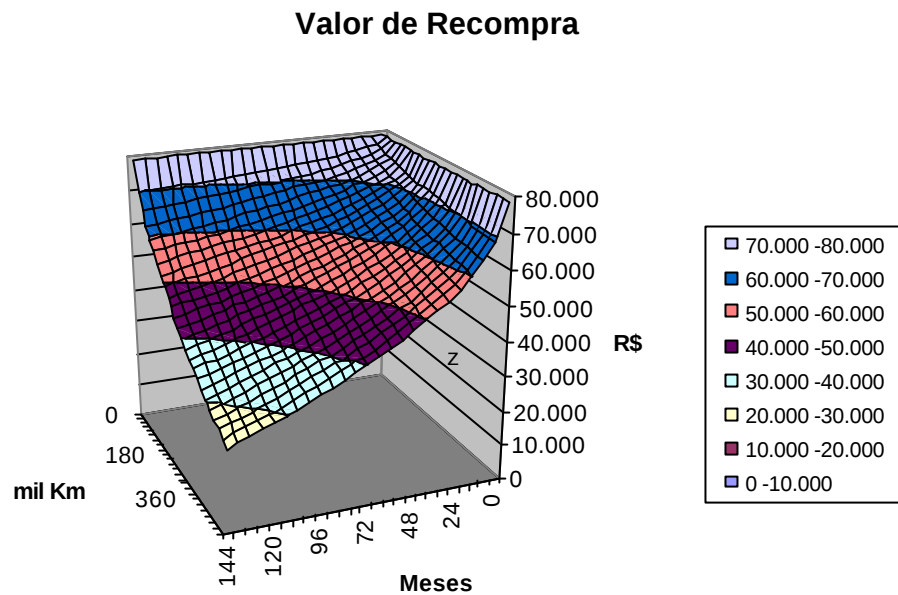


Figura 3.4.4: Superfície de valor de revenda do modelo MB712

A análise de variância do MiniTab mostrou, como no caso da função de custo de operação e manutenção, que os parâmetros estão suficientemente relacionados com os valores de revenda, comum nível de significância de 5%. O coeficiente de determinação destas regressões indica que as superfícies obtidas estão fortemente correlacionadas com os dados estimados pela empresa. Abaixo segue uma tabela com o coeficiente de determinação de cada superfície.

Índice	Modelo	Coeficiente de Determinação R^2
A	MB/709	91,3%
B	MB/710	92,4%
C	MB/712	95,1%

Tabela 3.4.2: Coeficiente de determinação das superfícies de valor de revenda

O anexo I apresenta um resumo de veículos da frota da empresa discriminado por modelo e idade. É importante ressaltar que o modelo tratará somente dos modelos de Caminhões $\frac{3}{4}$ leves. Estes veículos, além de formarem a maioria da frota, são os veículos responsáveis pelo transporte e distribuição de carga dentro das cidades.

No próximo capítulo será proposto um modelo de reposição de frota, mas antes serão exibidos alguns exemplos da literatura da área. De posse do modelo de reposição e das funções de custo de operação e manutenção e de valor de revenda definidas neste capítulo, poderemos passar à aplicação do modelo e à análise de seus resultados.

4 MODELO DE REPOSIÇÃO



4. Modelo de Reposição

Concluídas as fases de descrição dos custos da empresa relevantes ao trabalho e de obtenção de uma estrutura de custos para cada modelo de veículo que compõe a frota, passaremos agora para a descrição do modelo proposto. Além disso, neste capítulo serão postuladas as hipóteses necessárias ao modelo, sempre de acordo com as necessidades da empresa.

Antes, porém, serão apresentados alguns modelos da literatura especializada da área dos quais se originou o modelo proposto. Discutiremos também as diferenças de enfoque e abrangência destes modelos.

4.1. Problema de reposição de equipamentos

O problema de reposição de equipamentos é uma área de pesquisa clássica na área de engenharia de produção e pesquisa operacional. A maioria dos estudos se utiliza de técnicas de programação dinâmica para considerar um problema de reposição no qual há um defensor (equipamento), vários desafiantes (opções de reposição), e uma série de fluxos de caixa refletindo fatores como mudanças tecnológicas e inflação. Em trabalhos mais recentes, o problema foi ampliado para considerar o valor de revenda dos equipamentos e o racionamento de capital. Foram utilizadas também técnicas de programação dinâmica estocástica para tratar da natureza incerta dos custos incorridos pela falha dos equipamentos ao longo do tempo.

Scarf, Hashem (1997) faz algumas classificações dentro do universo dos problemas de reposição de equipamentos, segmentando os problemas segundo a composição da frota, a política de reposição e o modelo de reposição a ser seguido.

A composição de uma frota pode ser classificada como:

- Singular: apenas um equipamento operando;
- Múltipla: vários equipamentos semelhantes operando;

-
- Múltipla não-homogênea: vários equipamentos diferentes operando;

A Política de reposição pode ser classificada como:

- Reposição de toda frota: quando todos os veículos da frota devem ser renovados obrigatoriamente ao mesmo tempo;
- Reposição de sub-frotas: quando se renova grupos específicos de veículos, na maioria das vezes com alguma característica em comum (modelo, idade, utilização);
- Reposição simples de equipamentos: quando temos a renovação individual do veículo.

O modelo de reposição pode ser classificado como:

- Custo limitante: no qual o modelo é baseado em custos máximos permitidos por período;
- Vida econômica: no qual o modelo é baseado na estimação do período ótima para se trocar um veículo antigo por um novo.

E ainda, os modelos de reposição de vida econômica podem ser classificados quanto seu horizonte de tempo:

- Infinito : trabalha com um regime permanente cíclico de renovação;
- Finito variável: trabalha com horizonte finito, porém o modelo define o horizonte de tempo;
- Finito fixo: trabalha com horizonte de tempo finito e pré-estabelecido.

Scarf e Hashem (1997) trabalham com uma frota heterogênea num modelo de reposição por vida econômica com horizonte fixo. O horizonte de tempo é fixado para se obter melhor base de comparação entre os diversos cenários de reposição, ao passo que

um modelo com horizonte de tempo variável tende a dificultar a comparação, pois apresenta vários horizontes de reposição. Seu modelo utiliza a reposição por sub-frotas, que são classificadas de acordo com o modelo, idade e condição do veículo. A substituição de uma sub-frota pode ser feita por outra sub-frota de modelos diferentes àqueles originais à sub-frota substituída, ou seja, mudanças tecnológicas são aceitas pelo modelo.

O modelo que será proposto segue algumas das premissas de Scarf e Hashem (1997), como o horizonte fixo de tempo, porém o conceito de sub-frota não será abordado no trabalho devido à grande variedade de veículos da frota da empresa, tanto em relação ao modelo como em relação à idade e quilometragem da frota.

Além de Scarf e Hashem (1997), muitos estudos foram feitos para examinar a decisão de reposição para um grupo de equipamentos. Jones et al. (1991) considera um cronograma de reposição para *clusters* (sub-frotas) de equipamentos de idade similar. Já Vander Veen e Jordan (1989) desenvolveu um modelo para otimizar a decisão de investimento para um número de novos veículos dependendo de suas utilizações. O modelo proposto apresenta uma extensão ao trabalho de Vander Veen e Jordan (1989), pois desenvolve o modelo tomando não só utilização, mas também a idade do veículo como variáveis para otimizar a decisão de reposição de veículos.

4.1.1. O modelo de Jim e Kite-Powell

Segundo Jin e Kite-Powell (1999), a vida ótima de um equipamento pode ser definida como o período entre o início da operação de um equipamento e o ponto no qual ele deve ser substituído por razões econômicas. Várias razões afetam a decisão de reposição, por exemplo, novas tecnologias podem baixar custos ou aumentar a eficiência de um equipamento. Alterações em design, eficiência e custo de capital também devem ser consideradas na decisão.

Jin e Kite-Powell (1999) examinaram o problema de reposição para uma frota de veículos. O modelo de controle ótimo é baseado em utilização individual dos veículos,

pedido de novos veículos e revenda de veículos antigos. Explorando algumas proposições sobre reposição ótima e cronograma de utilização, o trabalho procura mostrar que os problemas de reposição e utilização ótima estão relacionados e podem ser resolvidos simultaneamente.

O modelo considera a frota como um número variável de veículos no tempo e separa o problema de reposição em duas partes. A decisão de investimento está relacionada unicamente ao veículo mais novo da frota enquanto a decisão de se revender um equipamento depende do veículo mais velho. Assim, a compra de um novo veículo não significa necessariamente a substituição de um veículo velho.

A formulação do modelo de Jin e Kite-Powell (1999) é dada por:

$$\max \int_0^T \left\{ \int_{N_L(t)}^{N_H(t)} \{p(t)q(k,t) - c[q(k,t), G(k,t)]\} dk + S[s(t)] - W[n(t)] \right\} e^{-dt} dt \quad (1)$$

Sujeito a :

$$\bullet \quad G(k,t) = q(k,t) \quad (2)$$

$$\bullet \quad N_L(t) = s(t) \quad (3)$$

$$\bullet \quad N_H(t) = n(t) \quad (4)$$

$$k \in (N_L(t), N_H(t)) \quad (5)$$

T : horizonte de planejamento;

t : período entre 0 e t ;

k : indicador do veículo;

$p(t)$: frete em dólares por ton-milha em t ;

$q(k,t)$: utilização do k -ésimo veículo em t ;

$G(k,t)$: utilização acumulada do k -ésimo veículo em t ;

$c[q,G]$: custo de operação do k -ésimo veículo em t ;

$s(t)$ número de veículos vendidos em t ;

$S(s)$: valor total de revendados veículos vendidos em t ;

$n(t)$: número de novos veículos comprados em t ;

$W(n)$: investimento total em novos veículos em t ;

$N_L(t)$: barreira inferior de k

$N_H(t)$: barreira superior de k

e^{-dt} : fator de desconto contínuo no tempo.

Onde $\dot{f}(t)$ denota a diferencial da função $f(t)$ em relação a t .

O modelo assume que o mercado é competitivo, fazendo com que $p(t)$ seja dado exogenamente. A renda gerada por cada veículo é capturada em $p(t)q(k,t)$ e os custos operacionais são representados em $c[q(k,t),G(k,t)]$. Para cada t o modelo determina a utilização de cada veículo e as decisões de reposição. O total arrecadado pelas vendas em t é dado por S e o investimento total é dado por W . A tamanho da frota a cada período t é dado pela barreira superior menos a barreira inferior (5). Para cada veículo a relação entre a utilização atual e a utilização acumulada é dada por (2). Quando um veículo é revendido, a barreira inferior aumenta, como mostra (3), assim como a barreira superior aumenta com o investimento em novos veículos (4).

Se encontram fora do escopo deste modelo o investimento em veículos semi-novos e o aluguel de veículos. Além disso, o modelo do autor não considera a idade do veículo no cálculo do custo de operação e manutenção; para este cálculo, o modelo emprega somente a utilização acumulada. Veremos a seguir que o modelo de Hartman (2003) considera idade e utilização para o cálculo dos custos.

O modelo de Jin e Kite-Powell (1999) é muito abrangente no sentido que visa otimizar não só as decisões de reposição como a utilização da frota. Trata-se de um modelo maximizador da receita da frota, ao passo que o modelo proposto é um modelo minimizador de custos da frota. Outra diferença importante deve-se ao fato de que o modelo do autor tem o tamanho da frota variável ao longo do tempo, ou seja, é possível comprar um veículo novo sem revender um antigo e vice versa. Esta premissa não é seguida no modelo proposto, pois levaria a outros encargos, como por exemplo, contratação ou demissão de motoristas.

A utilização definida por Jin e Kite-Powell (1999) é medida em toneladas x quilômetros, que é plausível para calcular o valor agregado apenas multiplicando-se pelo frete. Porém, esta definição não é bem sucedida para calcular o custo do veículo. O modelo proposto define a utilização como a distância percorrida pelo veículo num período. Para fins de custo, o modelo proposto considera que os custos gerados por um veículo são independentes de sua capacidade utilizada.

A resolução deste modelo não é trivial. O modelo tem três variáveis de controle: $q(k)$, s e n , e três variáveis de estado: $G(k)$, N_L , N_H e utiliza técnicas de controle ótimo que não são parte do escopo do trabalho.

4.1.2. O modelo de Hartman

Hartman (2003) apresenta um modelo de programação dinâmica para o caso de uma frota de dois veículos que atende uma demanda estocástica $d_{m,t}$, onde m é o nível da demanda e t o período. O modelo assume que a demanda sempre é atendida pelos dois veículos disponíveis embora não seja realístico para uma demanda estocástica. No entanto, se a demanda excedesse a capacidade, o modelo teria que considerar o custo de perda de demanda e permitir aumento de capacidade, o que não faz parte do escopo do estudo de Hartman (2003). O autor apresenta também uma extensão a este modelo para n veículos, porém esta extensão apresenta uma árvore de estados de programação dinâmica muito grande, inviabilizando a utilização deste numa empresa de transportes com mais de 140 veículos como a empresa questão.

Para uma frota de dois veículos, as possibilidades para cada período são: continuar com os dois veículos (KK), revender os dois veículos (RR), ou continuar com um e revender o outro veículo (KR e RK). Depois desta decisão, o modelo faz a alocação da demanda entre os dois veículos. O modelo assume também que existe apenas um modelo de veículo no mercado para repor os veículos revendidos. Segue a formulação de programação dinâmica utilizada no modelo:

$P_t(i, j)$: valor de compra de um veículo com idade i e utilização acumulada j ;

$S_t(i, j)$: valor de revenda de um veículo com idade i e utilização acumulada j ;

$C_t(u, i, j)$: custode operação e manutenção de um veículo com idade i ,
utilização acumulada j e utilização u em t ;

K_t : custo fixo de se comprar um ou mais veículos em t ;

$d_{m,t}$: demanda de nível m em t ;

$p(d_{m,t})$: probabilidade da demanda $d_{m,t}$ em t ;

D : número de níveis de demanda em cada período;

α : fator de desconto de um período;

N : idade máxima permitida de um veículo;

M : utilização acumulada máxima permitida de um veículo;

T : horizonte de tempo

As decisões ocorrem no final de cada período, definido por $t = 0, 1, 2, \dots, T-1$. No período T , ambos os veículos são revendidos. As compras e vendas são feitas no início de cada período, enquanto que os custos de operação e manutenção não são considerados no final do período. Todos os custos são descontados a valor presente. O nível de utilização em cada período é dado por $u_t = 0, 1, 2, \dots, m_t$, no qual m_t representa o nível máximo de utilização permitido. O nível máximo de utilização pode variar ao longo do tempo refletindo parâmetros como a deterioração da capacidade do veículo ou mesmo mudanças tecnológicas.

Os estados da programação dinâmica referem-se aos estados de cada veículo, definido por sua idade (i) e sua utilização acumulada (j). Assim que os veículos atingem a idade máxima permitida ou a utilização máxima permitida, eles precisam ser vendidos.

A equação funcional do modelo definido por Hartman (2003) para uma frota de dois veículos segue abaixo:

$f_t(i_1, j_1, i_2, j_2)$ = mínimo valor presente esperado dos custos de uma frota de dois veículos com idades i_1 e i_2 , e utilizações acumuladas j_1 e j_2 , respectivamente, no período t , considerando a tomada de decisões ótimas ao longo do horizonte de tempo T .

Para o caso de haver somente um modelo de veículo para substituir os veículos antigos da frota, a recursão para os períodos $t < T$ pode ser escrita como segue:

$$f_t(i_1, j_1, i_2, j_2) = \min \begin{cases} \text{KK} : \alpha \sum_{m=1}^D p(d_{m,t}) [\min_{u_1, u_2} \{C_t(u_1, i_1, j_1) + C_t(u_2, i_2, j_2) + f_{t+1}(i_1 + 1, j_1 + u_1, i_2 + 1, j_2 + u_2)\}], \\ \text{RK} : K_t + P_t - S_t(i_1, j_1) + \alpha \sum_{m=1}^D p(d_{m,t}) [\min_{u_1, u_2} \{C_t(u_1, 0, 0) + C_t(u_2, i_2, j_2) + f_{t+1}(1, u_1, i_2 + 1, j_2 + u_2)\}], \\ \text{KR} : K_t + P_t - S_t(i_2, j_2) + \alpha \sum_{m=1}^D p(d_{m,t}) [\min_{u_1, u_2} \{C_t(u_1, i_1, j_1) + C_t(u_2, 0, 0) + f_{t+1}(i_1 + 1, j_1 + u_1, 1, u_2)\}], \\ \text{RR} : K_t + 2P_t - S_t(i_1, j_1) - S_t(i_2, j_2) + \alpha \sum_{m=1}^D p(d_{m,t}) [\min_{u_1, u_2} \{C_t(u_1, 0, 0) + C_t(u_2, 0, 0) + f_{t+1}(1, u_1, 1, u_2)\}]. \end{cases} \quad (6)$$

Como este modelo apresenta um horizonte finito de tempo, uma condição de contorno é dada no período T quando os dois veículos são revendidos, como segue:

$$f_T(i_1, j_1, i_2, j_2) = -S_T(i_1, j_1) - S_T(i_2, j_2) \quad (7)$$

Como mostra (6), o objetivo do modelo de programação dinâmica é minimizar o custo esperado de uma frota de dois veículos ao longo do horizonte T , dado valores de P , S , C , d e $p(d)$. Hartman (2003) aponta que seu modelo encontra dificuldades ao se expandir o número de veículos da frota ou o horizonte de tempo. Isto acontece porque o número de estados aumenta exponencialmente. No modelo proposto, este problema é eliminado ao se limitar o número de renovações por veículo a duas, ou seja, um veículo já repostado só será revendido ao final do horizonte de tempo determinado, quando todos os veículos são revendidos segundo a condição de contorno dos modelos de renovação de frota de horizonte finito.

4.2. Premissas e restrições da empresa

Antes de comentar as premissas e restrições que a empresa impôs ao modelo, discutiremos a política antiga de renovação de frota da empresa.

Com uma frota própria que gira em torno de 144 veículos $\frac{3}{4}$ leves distribuídos pelas 34 filiais em todo o Brasil, a Atlas mantém um controle rígido sobre os custos de seus veículos. Uma inspeção mensal é feita, na qual são analisadas as condições de uso do veículo, como a condição de seus pneus, seus itens de segurança, engrenagem, motor, etc. No caso de alguma irregularidade ser encontrada, o veículo é encaminhado à área de manutenção.

A Atlas não possui nenhum modelo matemático de reposição de seus veículos. A política da empresa era manter a idade média da frota em cinco anos. Esta política não se baseia em nenhum estudo específico e foi dada empiricamente pela área operacional da empresa. O custo de se efetuar uma compra ou uma revenda de caminhão é relativamente alto; por essa razão, a empresa sempre optou por adquirir veículos em grande escala e, conseqüentemente, revender muitos veículos de uma vez.

Outros fatores, além do elevado custo fixo da operação, levam a empresa a optar por operações de compra e revenda em larga escala. Um deles é a elevação de seu poder de barganha sobre as montadoras com o aumento da quantidade de veículos envolvidos no negócio. O tipo de financiamento utilizado pela empresa, através do BNDES, também é uma força favorável à compra em larga escala dado o esforço necessário para a liberação do capital.

A falta de um cronograma de reposição de veículos de longo prazo não permite que a empresa antecipe as negociações com os fabricantes e provoca perda de agilidade na aprovação do BNDES, cujo programa de financiamento é longo e complicado. A empresa se mostrou muito preocupada com a viabilidade de seu financiamento, com sua imagem junto aos clientes e, além disso, colocou acima de sua política o estado de preservação em que seus veículos se encontram, visando preservar ao máximo sua marca.

4.3. Modelo Proposto

Após apresentar alguns modelos da bibliografia da área, premissas e restrições feitas pela empresa, proporemos um modelo de programação dinâmica para se minimizar os custos da frota num horizonte de tempo T . Este modelo leva em consideração os custos de operação e manutenção de um veículo de carga (definido no capítulo 3), assim como o preço de um veículo novo e o valor de revenda de um veículo usado. O horizonte de tempo para o qual o modelo é calibrado será dividido em períodos de tempo t , ou seja, t será o estágio do problema de programação dinâmica a ser resolvido.

Para cada veículo j no estágio t estarão associados três estados:

- Idade (i)
- Utilização acumulada (k)
- Modelo do veículo (m)

A idade do veículo varia linearmente com o período t , enquanto que a utilização acumulada k varia em função da utilização do veículo q . O modelo m identifica o veículo e só poderá mudar quando houver renovação, ou seja, pode-se vender um veículo e comprar outro de modelo diferente. A possibilidade de haver reposição por outros modelos é crucial para empresa, pois permite que sua frota seja renovada com modelos de veículos tecnologicamente mais evoluídos, que implica custos menores.

Através dos estudos de custos de operação e de manutenção apresentados no capítulo 3, temos as funções de custo de cada um dos três modelos utilizados pela empresa atualmente, além das funções do valor de revenda destes modelos.

Segue abaixo o modelo de programação dinâmica proposto:

$$\min_{0 \leq D_{t,j} \leq 1} \int_0^T \sum_{j=1}^J \left[\left(C_j(i,k) - D_{t,j} \cdot S_j(i,k) + D_{t,j} \cdot W_m \right) dj \right] e^{-\delta t} dt \quad (8)$$

Sujeito a :

$$D_{t,j} \in \{0,1\} \quad (9)$$

$$k_{t+1} = k_t + q_t \quad (10)$$

$$i_{t+1} = i_t + 1 \quad (11)$$

T : horizonte de planejamento to;

J :total de veículos da frota;

i :idade do veículo (meses);

k :utilização acumulada do veículo (km);

q_t : utilização no período t ;

m : modelo do veículo;

C_j : custo de um veículo j ;

S_j : valor de revenda de um veículo j ;

W_m : valor de um veículo novo do modelo m ;

D : variável de decisão;

δ : custo de oportunidade de

O modelo assume que o custo de um veículo da frota, $C_j(i,k)$, em um dado período t varia conforme sua idade i e sua utilização acumulada k . A variável de decisão $D_{t,j}$, (9), assume o valor 1 quando deve ocorrer uma renovação e 0 quando o veículo é mantido na frota. No caso de uma renovação, duas parcelas são adicionadas ao custo da frota: a receita obtida ao se vender o veículo a ser renovado e a despesa de se comprar um veículo novo. Para limitar o espaço de estados do modelo de programação dinâmica, consideramos que haverá renovação do veículo j no horizonte de tempo T no máximo em duas ocasiões, sendo que uma delas deve ocorrer no último período para respeitar as condições de contorno que serão vistas mais adiante. Definimos então uma nova restrição (12), na qual, dado que o último período é T , temos que a somatória de todos os $D_{t,j}$ de cada veículo do primeiro período ao penúltimo período deve ser igual a 1 se houver reposição ou igual a 0 se não houver reposição.

$$\sum_{t=1}^{T-1} D_{t,j} \in \{0,1\} \quad \therefore j \in \{1, 2, \dots, J\} \text{ e } t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (12)$$

Segue abaixo uma representação do modelo, sendo que x diz respeito ao período em que um veículo deve ser renovado. Se considerarmos h como o último período, temos em (a) um veículo reposto em x e então uma reposição exigida pelas condições de contorno do modelo é feita no período h . Em (b) temos representado o caso em que não há necessidade de renovação durante o horizonte de tempo T , assim a única reposição seria no período h

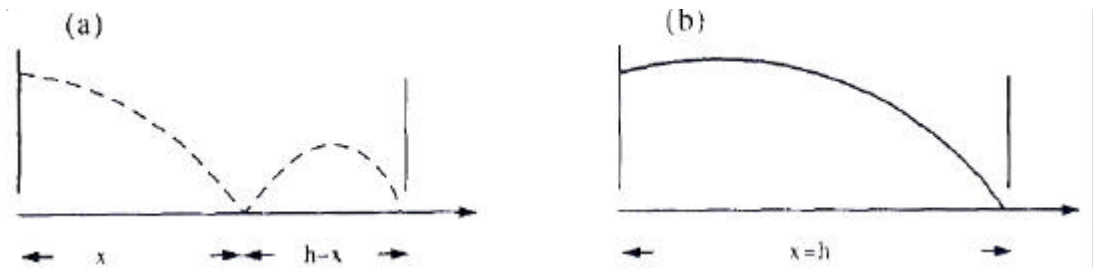


Figura 4.3.1: Modelo de reposição com horizonte fixo e com duas reposições

O valor de recompra do veículo S é um preço formado pelo mercado, ou seja, tem seu comportamento formado pela oferta e pela demanda. Contudo, este valor pode ser projetado em função de sua idade i e utilização acumulada k , como foi visto no capítulo 3. A variável W representa o preço de um veículo novo, chamado de veículo desafiante, que substituirá o veículo a ser renovado.

Segue abaixo o modelo proposto discretizado:

$$\min \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^J \left(C_j(i,k) - D_{t,j} \cdot S_j(i,k) + D_{t,j} \cdot W_m \right) (1+d)^{(t/12)} \quad (13)$$

O modelo descrito em (8) é discretizado em (13), no qual trataremos cada período t como o intervalo de um mês. Assim, admitimos que as decisões sejam tomadas ao final de cada período e que o intervalo de um mês é suficientemente pequeno a ponto

de aproximar a solução ótima do modelo discreto à solução do modelo contínuo. O modelo será solucionado pela aplicação uma recursão de programação dinâmica como veremos a seguir.

A saída do modelo deve ser uma matriz “Período x Veículo”, chamada de Matriz de Decisão. Essa matriz binária mostra em que período cada veículo a ser renovado deverá ser vendido. Segue abaixo um exemplo de Matriz de Decisão:

$j t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 4.3.1: Matriz de Decisão

A matriz, calculada para uma frota de 9 veículos num horizonte de 12 períodos, mostra que é ótimo para a empresa minimizar os custos da frota com a venda do veículo 4 no período 2, dos veículos 5 e 6 no período 6 e do veículo 2 no período 8.

A solução do modelo se dá através de uma recursão aplicada a problemas de renovação de equipamentos. Definimos $g(s_t)$ como o custo mínimo de um veículo no estado s e no período t .

$$g(s_t) = \min_{d_t \in D(s_t)} \{c(s_t, d_t) + g[v(s_t, d_t)]\} \quad (14)$$

Onde $c(s_t, d_t)$ é o custo total incorrido e $v(s_t, d_t)$ corresponde ao novo estado da recursão dado o estado s_t do veículo e a decisão tomada d_t pertencente a $D(s_t)$. O estado s corresponde a uma terna (idade, utilização acumulada, modelo), que são os estados vinculados a cada veículo da frota. $D(s_t)$ denota o conjunto de decisões possíveis dado o

estado s_t ; cada decisão possível acarretará na transição para um novo estado $v(s_t, d_t)$, como segue em (15).

$$s_{t+1} = v(s_t, d_t) \quad (15)$$

Para o modelo proposto, a transição do estado s para s_{+1} pode se dar de duas maneiras:

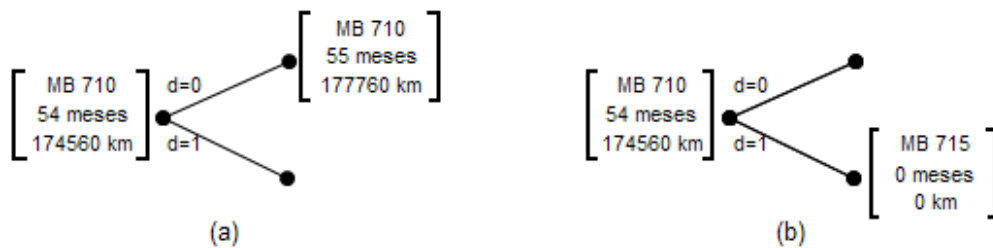


Figura 4.3.2: Exemplos de transição do modelo proposto

- O veículo não é renovado (a)

Neste caso, a transição é feita para um estado com o mesmo modelo, e a idade e a utilização acumulada do estado anterior são conservadas e apenas atualizadas para compor o novo estado.

- O veículo é renovado (b)

Neste caso, a transição é feita para um estado no qual é considerado a compra de um novo veículo. Assim, o modelo é trocado para o modelo do veículo desafiante, e a idade e utilização acumulada são igualadas a zero no novo estado.

Temos que $c(s_t, d_t)$ assume duas formas diferentes de acordo com a decisão d tomada, segue abaixo a representação do custo total em t :

$$c(s_t, d_t) = \begin{cases} C(i, k) & , \text{se não houver renovação} \\ C(i, k) - S(i, k) + W & , \text{se houver renovação} \end{cases} \quad (15)$$

A partir desta recursão, o modelo poderá ser solucionado através do método de programação dinâmica exibido no capítulo 2. O método implica na resolução do problema de trás para frente; assim temos que, necessariamente, a última recursão terá uma única decisão a ser tomada, a de se renovar o veículo.

$$g(s_T) = c(s_T, 1) \quad (16)$$

Em (16) é apresentada a condição de contorno do modelo de reposição com horizonte finito, na qual é necessário partir de uma reposição no período T para se verificar a necessidade de se renovar o veículo mais uma vez dentro do horizonte T , como mostra a figura 4.3.1. Temos que $c(s_T, d_T)$ tem d_T necessariamente igual a um, ou seja, há renovação em T . Assim temos que:

$$c(s_T, d_T) = C(i, k) - S(i, k) + W \quad (17)$$

O modelo proposto foi implementado em MatLab dadas as dimensões da frota da empresa. Segue no anexo V uma cópia do algoritmo utilizado. Passaremos agora à aplicação prática do modelo, aplicando-o à frota da empresa; então será feita uma análise de sensibilidade para avaliar a reação do modelo à variação de alguns parâmetros.

5 RESULTADOS



5. Resultados

Tendo apresentado o modelo teórico de renovação de frota no capítulo anterior, seguimos agora para a aplicação prática do modelo. Neste capítulo aplicaremos o modelo de renovação de frota proposto à Empresa de Transportes Atlas e faremos uma análise de sensibilidade dos resultados variando alguns parâmetros.

5.1. Entrada de dados

Atualmente a empresa possui uma frota de 144 veículos de três modelos diferentes, cada qual com sua função de custo operacional e de revenda, como seguem abaixo:

$$C(i, k) = a i^d k^l$$

$$S(i, k) = h - b i^f k^j$$

Onde $C(i, k)$ é o custo de operação e manutenção, $S(i, k)$ é o valor de revenda, i é a idade do veículo e k é a utilização acumulada do veículo. Através da análise feita no capítulo 3, foram definidos os parâmetros da função custo de operação e manutenção (a, d, l) de cada modelo de veículo, assim como os parâmetros (h, b, f, j) da função valor de revenda, como segue na tabela 5.1.1:

Índice	Modelo	Parâmetros da função custo			Parâmetros da função revenda			
		a	d	l	h	b	f	j
A	MB/709	0,00322	1,360	1,10	69.550	109,2	0,490	0,611
B	MB/710	0,00199	1,310	1,15	72.400	112,4	0,504	0,596
C	MB/712	0,00225	1,300	1,18	78.800	117,3	0,524	0,576

Tabela 5.1.1: Parâmetros das funções de custo e revenda dos veículos da frota

Além dos parâmetros das funções de custo e revenda, quatro parâmetros devem ser definidos, sendo eles: o horizonte de tempo (T), o tamanho da frota (J), o custo de oportunidade (g) e valor do veículo desafiante (X).

O horizonte de tempo que será utilizado é de 96 meses (oito anos). Este horizonte parece adequado para a empresa dado sua política anterior, de manter sua frota com idade média de 5 anos. O horizonte de tempo deve se adequar também à condição de contorno de um horizonte fixo. Segue representação do horizonte de tempo definido para aplicação do modelo.

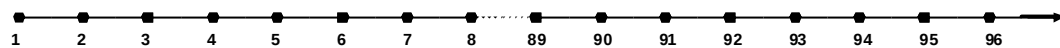


Figura 5.1.1: Representação do horizonte de tempo definido

Utilizaremos como candidato a reposição (veículo desafiante) um modelo indicado pela empresa, o MB715, que supostamente é mais confiável que os modelos da frota. Um dos problemas de se empregar um modelo novo como desafiante no modelo é a falta de dados sobre o mesmo. Com base nos dados do fabricante, definimos os parâmetros deste modelo de veículo de forma empírica apenas comparando-o com modelos anteriores. O preço (X) do MB715 é de 82.800 reais.

Índice	Modelo	Parâmetros da função custo			Parâmetros da função revenda			
		a	d	l	h	b	f	j
D	MB/715	0,00252	1,320	1,10	82.800	111,4	0,490	0,550

Tabela 5.1.2: Parâmetros das funções de custo e revenda do veículo desafiante

O tamanho da frota (J) é de 144 veículos de três modelos diferentes (MB709, MB710 e MB712). Todos são caminhões tipo $\frac{3}{4}$ -leves que são usados para coleta e entrega no perímetro urbano de São Paulo e 34 das filiais. O custo de oportunidade que será utilizado é de 10%, o mesmo utilizado pela gerência da empresa.

O modelo necessita também das previsões de utilização e dos estados iniciais (idade, utilização acumulada, modelo) de cada veículo, que serão estimadas pela empresa. Tais previsões são confiáveis devido ao tipo de demanda da empresa que, em

sua maioria, é de empresas grandes que possuem boa previsibilidade de suas necessidades. Temos no Anexo II uma tabela com a idade, a utilização acumulada e o modelo inicial de cada veículo.

Embora o modelo forneça o período exato de renovação de cada veículo, para facilitar a visualização do cronograma de renovação vamos apresentá-lo semestralmente. No gráfico do cronograma de renovação, um veículo no semestre 1 será renovado em um dos primeiros 6 meses, um veículo no semestre 2 será renovado do sétimo ao décimo segundo mês, e assim por diante. Os veículos do semestre 0 são aqueles que não serão renovados durante o horizonte de tempo estabelecido para o modelo. Segue um cronograma de renovação de veículos agrupado por semestre para melhor visualização:

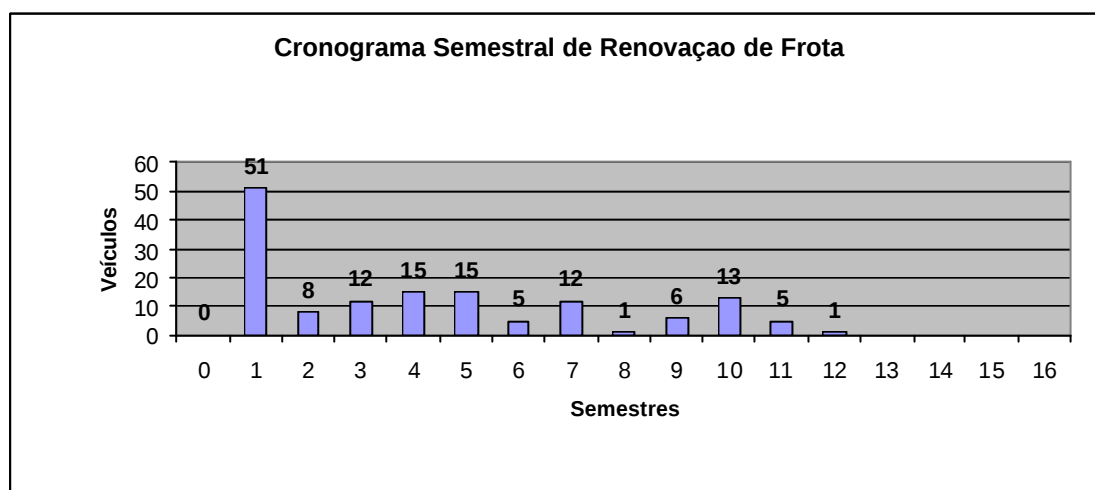


Figura 5.1.1: Cronograma semestral de renovação

O cronograma acima mostra que a empresa deverá renovar 51 veículos durante o primeiro semestre e manterá uma média de renovação de 11 veículos nos semestres subsequentes. Para comparar a política proposta com a política antiga, consideraremos que a empresa, visando manter a idade média da frota em cinco anos, escolha um determinado mês para renovar toda sua frota. Vamos admitir que a empresa escolha justamente o mês que gere o menor custo segundo o próprio modelo proposto. Chamaremos este mês de mês econômico.

Política	Custo Total
Renovação pelo mês econômico	10.868.424
Renovação pelo cronograma proposto	10.296.066
Diferença	572.358

Tabela 5.1.3: Custo total das políticas de renovação

A tabela 5.1.3 mostra que a renovação pelo cronograma proposto gera uma economia de 5,27% em relação a uma política hipotética de se renovar toda a frota em um único mês.

5.2. Análise de sensibilidade

O modelo de renovação proposto apresenta um grande número de parâmetros de entrada que, invariavelmente, modificam e afetam o cronograma de renovação gerado. Para verificar a robustez do modelo, vamos analisá-lo no caso de uma variação em alguns de seus parâmetros, como os que seguem:

- Horizonte de tempo
- Custo de oportunidade
- Valor de compra do veículo desafiante
- Parâmetros de custo do veículo desafiante

5.2.1. Horizonte de tempo

Analisando o cronograma, temos que todos os veículos, com a exceção dos quatro que não serão renovados, serão repostos até o sexagésimo mês, levando a crer que uma variação no horizonte de tempo não acarretará uma mudança significativa no cronograma. Manteremos tudo mais constante como na aplicação do modelo, apenas alteraremos o horizonte de tempo para cinco anos.

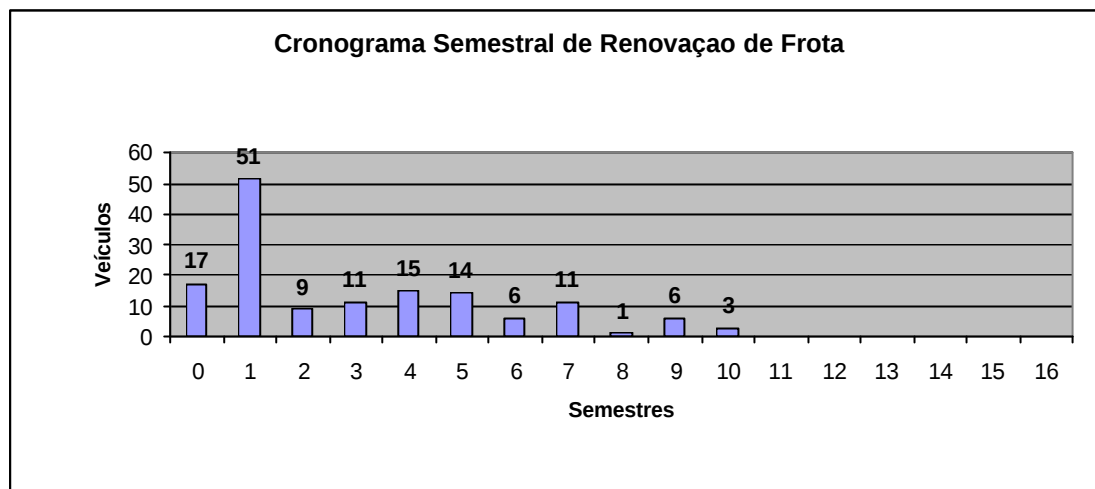


Figura 5.2.1: Cronograma de renovação para um horizonte de cinco anos

A maior diferença está nos veículos que não seriam renovados. Como o horizonte foi diminuído, a tendência é de que alguns veículos não sejam renovados no horizonte de tempo considerado. Neste cronograma, 17 veículos, que no cronograma original seriam renovados nos semestres finais, não serão renovados. O período de renovação destes veículos somente seria indicado com o passar de alguns semestres, quando eles estariam dentro do horizonte de 5 anos. Com relação ao custo total, a diferença entre a renovação pelo mês econômico e pelo cronograma diminuiu, porém percentualmente esta diferença se manteve (5,37% contra 5,27%).

Política	Custo Total
Renovação pelo mês econômico	8.517.153
Renovação pelo cronograma proposto	8.059.817
Diferença	457.336

Tabela 5.2.1: Custo total das políticas de renovação

5.2.2. Custo de oportunidade

O custo de oportunidade utilizado hoje pela empresa é de 10%. Atualmente este número é maior para a economia, chegando a quase insustentáveis 14%; porém, historicamente, o número de 10% é razoável. Um custo de oportunidade maior leva a

empresa a investir menos dado o custo do investimento no tempo acabar sendo maior. Testaremos o modelo que assumem um custo de oportunidade de 14%.

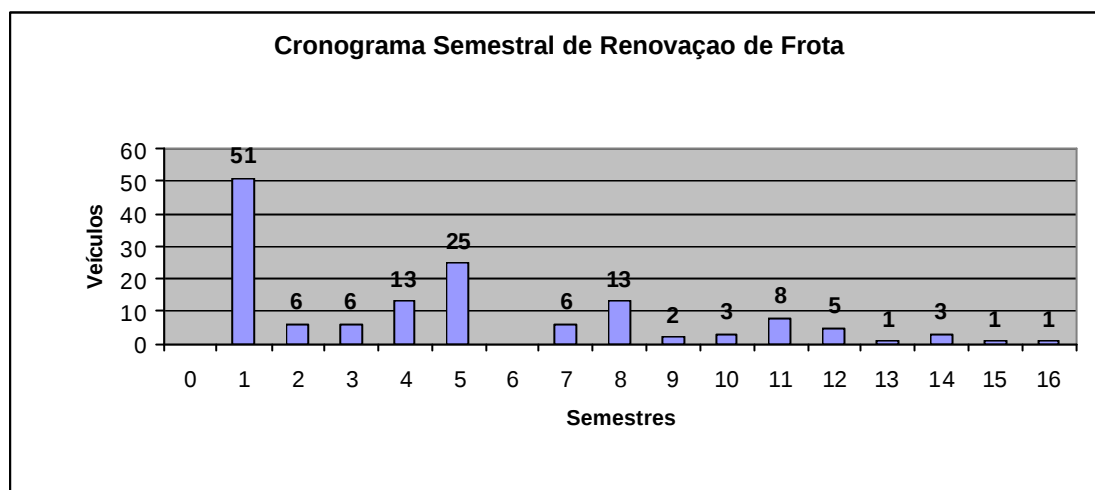


Figura 5.2.2: Cronograma de renovação para um custo de oportunidade de 14%

O efeito da mudança foi como o esperado: uma distorção nas renovações longas, nas quais o custo de oportunidade tem maior influência. As renovações passaram a ser mais longas e dispersas como podemos perceber nos semestres finais do cronograma. A diferença entre as políticas não variou significativamente, como segue na tabela abaixo:

Política	Custo Total
Renovação pelo mês econômico	11.439.295
Renovação pelo cronograma proposto	10.722.614
Diferença	716.680

Tabela 5.2.2: Custo total das políticas de renovação

5.2.3. Valor de compra do veículo desafiante

O valor do veículo desafiante (MB715), dado pela empresa, foi de 82.800 reais. Consideraremos agora que a empresa consiga um desconto de 10% sobre o valor deste veículo. Seu novo valor seria de 74.520 reais.

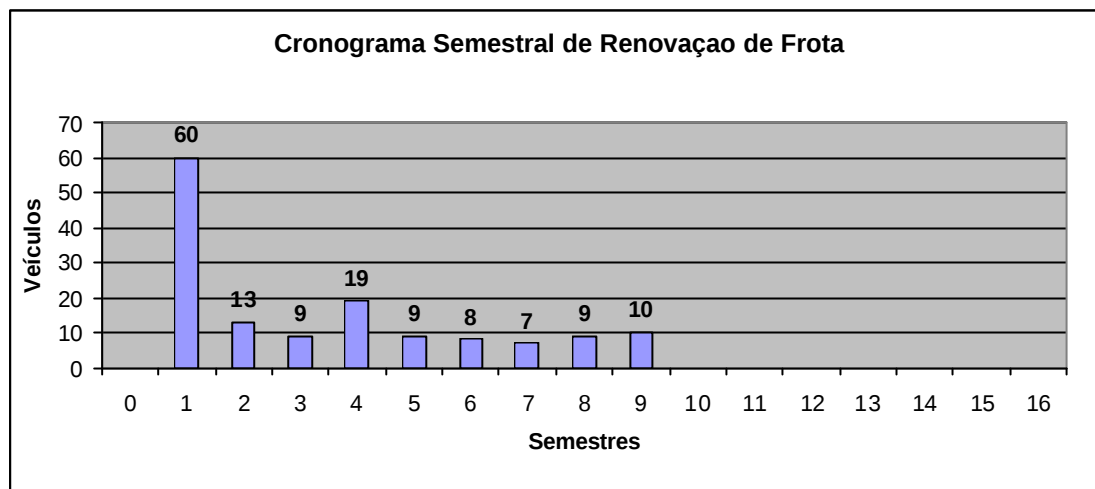


Figura 5.2.3: Cronograma de renovação para um valor de compra do veículo desafiante de 74.520 reais

Como podemos observar no cronograma acima, um preço mais baixo do veículo desafiante (MB715) estimularia a renovação. Seriam 60 veículos indicados para renovação no primeiro semestre, 9 a mais que no cronograma original.

O custo total das políticas analisadas diminuiu notadamente pelo valor economizado no desconto no preço do veículo desafiante, porém a diferença percentual entre as duas políticas não se alterou significativamente.

Política	Custo Total
Renovação pelo mês econômico	9.915.833
Renovação pelo cronograma proposto	9.259.529
Diferença	656.304

Tabela 5.2.3: Custo total das políticas de renovação

5.2.4. Parâmetros de custo do veículo desafiante

Os parâmetros do veículo desafiante (MB715) foram dados empiricamente pela comparação com os veículos da frota da empresa. Uma variação destes parâmetros pode influir significativamente no cronograma de renovação. Vamos considerar que o veículo desafiante tenha um desempenho um pouco pior que o esperado em relação aos custos. Consideraremos então os seguintes parâmetros:

Índice	Modelo	Parâmetros da função custo			Parâmetros da função revenda			
		a	d	l	h	b	f	j
D	MB/715	0,00272	1,340	1,12	82.800	111,4	0,490	0,550

Tabela 5.2.4: Parâmetros do veículo desafiante com alteração nos parâmetros de custo

Esta alteração nos parâmetros de custo do veículo desafiante levaria a um cronograma de renovação um pouco diferente do original; o cronograma seria alongado. A vantagem de se renovar seria menor, pois o veículo desafiante não teria o desempenho como o esperado anteriormente.

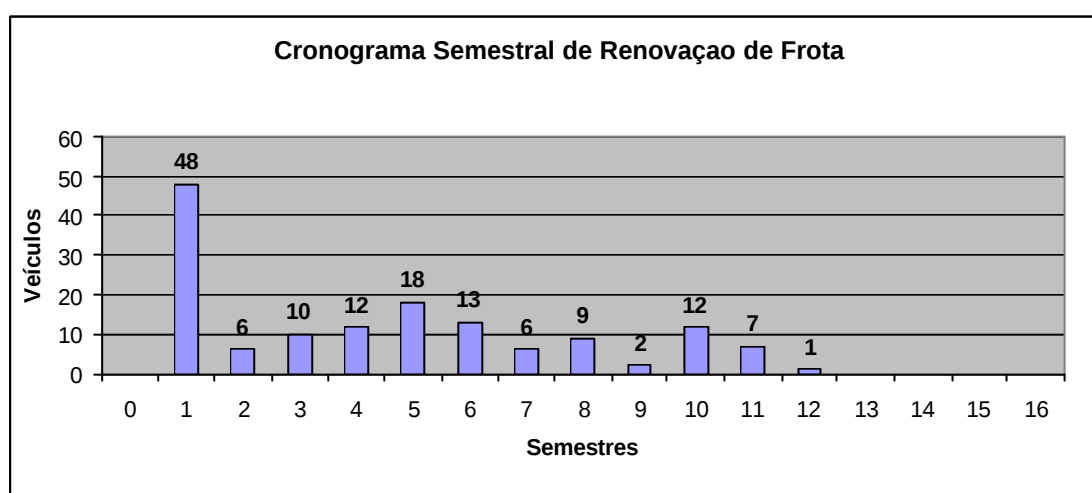


Figura 5.2.4: Cronograma de renovação para um veículo desafiante com parâmetros de custo alterados

Podemos observar no gráfico que houve pequenas alterações no sentido de alongar o cronograma. Porém, não foram mudanças consideráveis, dado que a alteração dos parâmetros da função de custo foi pequena. No caso de uma alteração grande nos parâmetros, esperamos por alguma mudança significativa no cronograma. Isto mostra que a empresa deve ter muito cuidado ao fazer considerações sobre veículos novos; uma pesquisa de mercado deve ser feita, se possível, para eliminar a possibilidade de uma surpresa desagradável no que diz respeito ao desempenho do veículo desafiante.

Agora vamos alterar os parâmetros do valor de venda do veículo desafiante considerando que o veículo desvaloriza menos em função de sua idade e sua utilização acumulada.

Índice	Modelo	Parâmetros da função custo			Parâmetros da função venda			
		a	d	l	h	b	f	j
D	MB/715	0,00252	1,320	1,10	82.800	109,4	0,470	0,530

Tabela 5.2.5: Parâmetros do veículo desafiante com alteração nos parâmetros de venda

Uma redução no ritmo de desvalorização torna o veículo desafiante mais atraente, fazendo com que a renovação seja feita mais cedo que no cronograma original. Podemos perceber pelo gráfico abaixo:

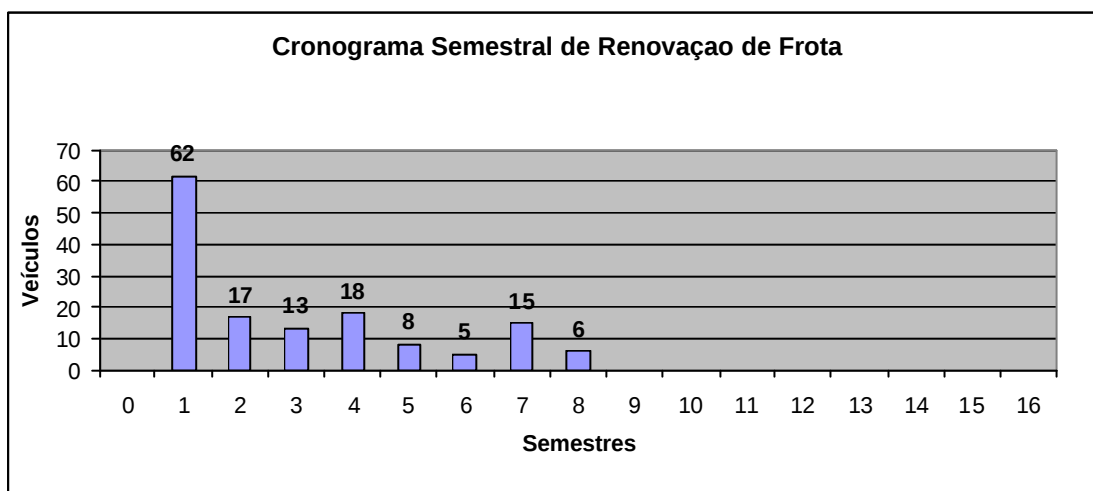


Figura 5.2.5: Cronograma de renovação para um veículo desafiante com parâmetros de venda alterados

6 CONCLUSÃO



6. Conclusão

O trabalho, através de conceitos de programação dinâmica e do estudo dos custos de uma frota de veículos, procurou propor uma nova política de renovação de veículos para a Empresa de Transportes Atlas. A nova política, além de propiciar economia de custos por otimizar o período em que um veículo antigo deve ser repostado por um novo, agrega também maior previsibilidade à empresa uma vez que introduz um cronograma de renovações de veículos.

O cronograma de renovações trás vantagens à capacidade de negociação da empresa, tanto com os fabricantes de veículos, como com o BNDES, órgão pelo qual a empresa financia parte do investimento necessário à renovação de seus veículos.

O modelo de programação dinâmica empregado, com horizonte fixo e limite de duas renovações por veículo, foi desenvolvido no MatLab e está pronto para ser utilizado pela área de operações da empresa.

A análise dos veículos foi feita de maneira independente, não sendo incorporados no modelo a possibilidade de ganhos de escala. Entretanto, embora o modelo proposto apresente o período de renovação exato de cada veículo, a apresentação de um cronograma semestral de renovação à gerência, além de passar uma idéia geral das necessidades de reposição da frota, ajuda a empresa a obter ganhos ao formular uma reposição semestral, reduzindo esta deficiência do modelo do ponto de vista de aplicação prática.

Um modelo que considerasse uma análise agregada da frota apresentaria uma grande dificuldade de resolução dado que o espaço de estados do problema tenderia a crescer exponencialmente ao se tratar uma solução global para a frota. Este tipo de modelo necessitaria de técnicas mais sofisticadas que fogem do objetivo do trabalho.

A análise de sensibilidade do modelo mostrou que a empresa deve ter cuidado ao estimar os parâmetros do veículo desafiante. No entanto, a partir do momento que um veículo desafiante é comprado, a empresa passará a formar um banco de dados do novo veículo, e assim as primeiras estimativas podem ser aperfeiçoadas ao longo das

renovações. A análise do modelo em relação à variação do horizonte de tempo, custo de oportunidade e valor do veículo desafiante se mostrou de acordo com as reações esperadas, indicando que o modelo é robusto e pode ser usado comercialmente.

Algumas extensões podem ser estudadas a partir deste trabalho, um modelo um número de renovações ilimitado dentro do horizonte de tempo determinado pode ser obtido com uma maior capacidade computacional dado o crescimento do espaço de estados do problema. Ou mesmo, um modelo de programação dinâmica estocástica pode ser utilizado considerando a natureza probabilística dos custos de falha dos veículos.

7 BIBLIOGRAFIA



7. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS. **Manual de cálculo de custos e formação de preços do transporte rodoviário de cargas**. São Paulo, 2001.

CASSIDY, C.R.; MURDOCK, W.P.; POHL, E.A. Selective maintenance for support equipment involving multiple maintenance actions. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.129, n.2, p.252, 2001.

CHAND, S.; MCCLURG, T.; WARD, J. A model for parallel machine replacement with capacity expansion. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.121, n.3, p.519, 2000.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**, São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

DENARDO, E.V. **Dynamic programming**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.

HARTMAN, J.C. Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.159, n.1, p.145, 2004.

JIM, D.; KITE-POWELL, H.L. Optimal fleet utilization and replacement. **Transportation Research**, Exeter, v.36E, n.1, p.3, 2000.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**, São Paulo: Atlas, 2003.

MONTANARI, M.J.L. **Apuração de custos operacionais no T.R.C e formação de frete**. s.n.t.

SCARF, P.A.; HASHEM, M.H. On the application of an economic life model with a fixed planning horizon. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.4, n.2, p.139, 1997.

WISTON, W.L. **Operations research**. Belmont: Duxbury Press, 1993.

VAUGHAN, T.S. Failure replacement and preventive maintenance spare parts ordering policy. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v.161, n.1, p.183, 2005.

ANEXOS



Anexo I: Frota da empresa e idade média



RESUMO DE VEÍCULOS FROTA PRÓPRIA BRASIL - Tipo / Modelo / Ano

Veículos Próprios		Ano de Fabricação										Idade Média		4,5
Tipo / Modelo		<1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
Cavalo Mecânico(2 Eixos)		Quant.												
MB/L1519	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB/LS1630	4	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
MB/LS1632	5	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-
MB/LS1634	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
MB/LS1935	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB/LS1941	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	16	7	-	-	-	3	-	2	4	-	-	-	-	-
Caminhões - ¾-Leves		Quant.												
MB/709	13	11	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
MB/710	94	4	-	-	-	11	-	10	34	15	-	-	20	-
MB/712	37	5	-	-	-	30	-	-	-	-	-	2	-	-
Total	144	20	-	-	-	41	-	12	34	15	-	2	20	-
Caminhões - Toco		Quant.												
MB/1214C(Baú)	11	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-
MB/1215C(Baú)	56	-	-	-	-	-	3	-	25	10	-	18	-	-
MB/1315(Baú)	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-
MB/1418(Baú)	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-
Total	90	-	-	-	-	11	3	-	25	10	-	18	23	-
Caminhões - Truck		Quant.												
MB/L1118(Baú)	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB/L1214(Baú)	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MB//1418(Baú)	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Volvo/VM23(Baú)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Total	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-
Utilitários		Quant.												
Fiat Fiorino IE	4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	3	-
VW/Kombi Furgão	8	-	-	-	-	-	3	3	-	1	-	-	1	-
VW/Saveiro 1.6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Total	13	-	-	-	-	-	3	3	-	2	-	-	5	-
Semi-Reboques		Quant.												
S.Reboque - 2 eixos(Aberta)	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.Reboque - 2 eixos(Baú)	59	26	4	1	-	-	-	5	18	-	-	5	-	-
S.Reboque - 3 eixos(Aberta)	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.Reboque - 3 eixos(Baú)	197	83	1	-	-	2	2	6	2	18	-	43	40	-
Total	260	113	5	1	-	2	2	11	20	18	-	48	40	-

Anexo II: Idade, utilização acumulada e modelo da frota

Veiculo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Idade (meses)	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
Utilizacao (km)	364.682	367.715	375.958	368.984	384.591	375.379	391.173	400.157	371.027	378.003
Modelo	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Veiculo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Idade (meses)	128	65	65	122	122	122	91	94	91	95
Utilizacao (km)	368.058	240.288	250.153	377.051	355.557	347.269	266.264	273.981	291.339	266.238
Modelo	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Idade (meses)	86	94	94	86	84	89	62	57	63	57
Utilizacao (km)	241.872	270.396	266.583	250.737	269.278	270.396	265.316	237.302	266.542	254.442
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Idade (meses)	61	56	63	63	62	61	52	52	52	52
Utilizacao (km)	259.690	243.599	287.173	291.328	269.424	279.514	235.816	235.990	225.600	250.832
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Idade (meses)	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Utilizacao (km)	241.530	244.788	240.055	253.342	244.417	253.199	242.912	250.877	220.184	225.925
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Idade (meses)	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Utilizacao (km)	234.268	234.960	230.717	251.389	240.468	221.881	235.196	245.209	224.360	234.135
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Idade (meses)	52	52	52	52	52	52	56	56	56	56
Utilizacao (km)	246.706	237.809	236.401	229.855	224.458	237.053	234.571	241.395	243.198	265.921
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Idade (meses)	37	37	36	36	37	36	37	36	36	36
Utilizacao (km)	76.517	93.627	102.009	97.525	72.972	77.250	76.905	99.771	80.344	103.136
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Idade (meses)	36	37	36	37	36	37	6	6	6	6
Utilizacao (km)	92.864	86.270	101.102	77.314	105.349	97.986	23.596	28.518	10.222	6.213
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Idade (meses)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Utilizacao (km)	10.334	23.028	14.345	33.507	28.248	23.346	25.866	24.247	3.280	25.071
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Veiculo	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
Idade (meses)	6	6	6	6	6	6	6	122	122	122
Utilizacao (km)	27.120	11.215	39.055	32.459	6.719	21.909	34.038	472.464	468.275	468.605
Modelo	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
Veiculo	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Idade (meses)	122	122	90	90	90	90	90	90	90	90
Utilizacao (km)	493.178	507.682	355.226	347.692	342.497	366.895	344.621	369.151	369.924	359.482
Modelo	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Veiculo	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
Idade (meses)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Utilizacao (km)	354.602	375.706	373.130	368.216	371.627	353.752	363.926	346.963	367.151	373.445
Modelo	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Veiculo	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
Idade (meses)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Utilizacao (km)	368.294	372.916	350.189	368.614	377.578	353.095	375.687	362.080	348.313	341.993
Modelo	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Veiculo	141	142	143	144						
Idade (meses)	90	90	10	20						
Utilizacao (km)	354.727	346.696	2.682	32.219						
Modelo	C	C	C	C						

Anexo III: Regressão da função custo

- Modelo MB709:

Regression Analysis: lnC versus lnI; lnK

The regression equation is

$$\ln C = -5,74 + 1,36 \ln I + 1,10 \ln K$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-5,7383	0,3686	-13,77	0,000
lnI	1,3631	0,2714	5,02	0,000
lnK	1,0956	0,2699	4,06	0,000

S = 0,742772 R-Sq = 74,4% R-Sq(adj) = 73,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	87,567	43,783	105,97	0,000
Residual Error	117	48,339	0,413		
Total	119	135,906			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	79,941
lnK	1	7,626

Unusual Observations

Obs	lnI	lnC	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,00	4,7875	1,3301	0,3980	3,4574	6,85RX
2	0,69	4,8675	3,0296	0,2130	1,8379	3,03RX
3	1,10	4,9354	4,4654	0,2651	0,4700	0,80 X
4	1,39	5,0106	5,2302	0,3535	-0,2195	-0,41 X
5	1,61	5,1931	4,5472	0,1859	0,6459	1,05 X
8	2,08	4,9354	5,1047	0,1891	-0,1693	-0,28 X
9	2,20	5,1931	5,3688	0,2152	-0,1757	-0,29 X
29	3,37	4,1636	5,4749	0,0732	-1,3113	-2,05R
117	4,76	8,4118	6,9948	0,0911	1,4171	2,23R

R denotes an observation with a large standardized residual.

X denotes an observation whose X value gives it large influence.

- **Modelo MB710:**

Regression Analysis: lnC versus lnI; lnK

$$\ln C = -6,22 + 1,31 \ln I + 1,15 \ln K$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-6,2196	1,100	-4,82	0,000
lnI	1,3144	0,7657	1,72	0,089
lnK	1,1517	0,7655	1,50	0,135

S = 0,797488 R-Sq = 78,6% R-Sq(adj) = 78,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	85,791	42,895	102,32	0,000
Residual Error	117	49,051	0,419		
Total	119	134,842			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	77,639
lnK	1	8,152

Unusual Observations

Obs	lnI	lnC	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,00	4,6910	1,3184	0,4010	3,3726	6,63RX
2	0,69	4,9473	3,0461	0,2146	1,9011	3,11RX
3	1,10	4,9899	4,5135	0,2671	0,4765	0,81 X
4	1,39	5,0206	5,2919	0,3561	-0,2713	-0,50 X
5	1,61	5,0999	4,5764	0,1873	0,5235	0,84 X
8	2,08	6,4172	5,1329	0,1905	1,2844	2,08RX
9	2,20	5,2021	5,4009	0,2168	-0,1988	-0,33 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

- **Modelo MB712:**

Regression Analysis: lnC versus lnI; lnK

The regression equation is
 $\ln C = -6,10 + 1,30 \ln I + 1,18 \ln K$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-6,0968	0,4220	-12,44	0,000
lnI	1,3047	0,3006	4,34	0,000
lnK	1,1793	0,3020	3,91	0,000

S = 0,745194 R-Sq = 77,7% R-Sq(adj) = 77,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	102,171	51,085	122,72	0,000
Residual Error	117	48,704	0,416		
Total	119	150,875			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	100,424
lnK	1	1,747

Unusual Observations

Obs	lnI	lnC	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,00	4,7845	1,5869	0,3995	3,1976	6,31RX
2	0,69	4,8695	2,7901	0,2138	2,0795	3,42RX
3	1,10	4,3907	3,7053	0,2661	0,6854	1,17 X
4	1,39	4,2438	4,2331	0,3548	0,0107	0,02 X
5	1,61	3,9498	4,0317	0,1866	-0,0819	-0,13 X
8	2,08	3,8535	4,5628	0,1899	-0,7093	-1,15 X
9	2,20	5,1108	4,7554	0,2160	0,3554	0,58 X
16	2,77	6,6438	4,8779	0,0950	1,7659	2,77R
28	3,33	4,0847	5,4056	0,0804	-1,3209	-2,06R
107	4,67	8,2887	6,8882	0,0878	1,4005	2,19R

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Anexo IV: Regressão da função revenda

- Modelo MB709:

Regression Analysis: lnS versus lnI; lnK

The regression equation is
 $\ln S = 4,70 + 0,490 \ln I + 0,611 \ln K$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,69295	0,04339	116,90	0,000
lnI	0,48977	0,03091	15,85	0,000
lnK	0,61053	0,03105	19,66	0,000

S = 0,1602750 R-Sq = 91,3% R-Sq(adj) = 91,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	8,8480	4,4240	1217,71	0,000
Residual Error	18	0,0654	0,0036		
Total	20	8,9134			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	8,8171
lnK	1	0,0310

Unusual Observations

Obs	lnI	lnK	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	0,00	8,0064	8,0861	0,0551	-0,0797	-3,26RX
3	2,48	9,6803	9,7196	0,0466	-0,0393	-1,03 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

- **Modelo MB710:**

Regression Analysis: lnS versus lnI; lnK

The regression equation is
 $\ln S = 4, + 072,504 \ln I + 0,596 \ln K$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,72197	0,04247	119,86	0,000
lnI	0,50423	0,03032	16,63	0,000
lnK	0,59637	0,03026	19,71	0,000

S = 0,144392 R-Sq = 92,4% R-Sq(adj) = 92,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	14,1307	7,0654	338,88	0,000
Residual Error	18	0,3753	0,0208		
Total	20	14,5060			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	13,7754
lnK	1	0,3553

Unusual Observations

Obs	lnI	lnK	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	0,00	7,1373	7,2985	0,1319	-0,1612	-2,75RX
3	2,48	9,8070	9,8022	0,1116	0,0047	0,05 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

- **Modelo MB712:**

Regression Analysis: lnS versus lnI; lnK

The regression equation is
 $\ln S = 4,77 + 0,524 \ln I + 0,576 \ln K$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,76504	0,03165	161,66	0,000
lnI	0,52437	0,02317	22,64	0,000
lnK	0,57650	0,02309	24,97	0,000

S = 0,190396 R-Sq = 95,1% R-Sq(adj) = 94,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	12,7611	6,3805	176,01	0,000
Residual Error	18	0,6525	0,0363		
Total	20	13,4136			

Source	DF	Seq SS
lnI	1	12,7100
lnK	1	0,0511

Unusual Observations

Obs	lnI	lnK	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	2,48	9,1324	9,2273	0,1472	-0,0949	-0,79 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

Anexo V: Algoritmo do modelo proposto no MatLab

```
%----- dp -----  
function [ S, tot, vMin, vMinLoc, minTot, minTotLoc, minSel, E, D ] = DP ( i0, k0, m,  
qEnt, fleet, period, juros )  
  
%cria  
c(160,97,98)=0;  
tot(98,1)=0;  
vMin(1,144)=0;  
vMinLoc(1,144)=0;  
minTot=0;  
  
%Carrega dados em t=0  
j = 1;  
while j <= fleet  
    i(j, 1) = i0(1, j);  
    k(j, 1) = k0(1, j);  
    j = j + 1;  
end;  
  
%Carrega dados previstos de utilização e idade dos veículos  
t = 2;  
while t <= period+1  
    j = 1;  
    while j <= fleet  
        q(j, t) = qEnt(t - 1, j);  
        k(j, t) = k(j, t - 1) + q(j, t);  
        i(j, t) = i(j, t - 1) + 1;
```

```

        j = j + 1;
    end;
    t = t + 1;
end;

j = 1;
while j <= fleet
    t = 2;
    while t <= period + 1
        %quando s=2 não há troca, ramo que nunca renova
        c(j, t, 2) = costMat(i(j, t), k(j, t), q(j, t), t, m(1, j), juros) + c(j, t - 1, 2);
        %quando s=t+1 (último s), sempre ocorre renovação
        [ salvage ] = SalvageMat(i(j, t), k(j, t), t, m(1, j), juros);
        [ price ] = PriceMat(t, juros);
        c(j, t, t + 1) = costMat(i(j, t) - i(j, t - 1), k(j, t) - k(j, t - 1), q(j, t), t, m(1, j), juros) +
        c(j, t - 1, 1) - salvage + price;
        s = 3;
        while s < t + 2
            %Nos s diferentes não há troca pois são os ramos que já foram renovados
            [ cost ] = costMat(i(j, t) - i(j, s - 2), k(j, t) - k(j, s - 2), q(j, t), t, 4, juros);
            c(j, t, s) = cost + c(j, t - 1, s);
            s = s + 1;
        end;
        if t ~= period + 1
            s = 2;
            [ salvage ] = SalvageMat(i(j, t), k(j, t), t, m(1, j), juros);
            c(j, t, s) = c(j, t, s) - salvage;
            s=3;
            while s <= t + 2
                [ salvage ] = SalvageMat(i(j, t) - i(j, s - 2), k(j, t) - k(j, s - 2), t, 4, juros);

```

```

        c(j, t, s) = c(j, t, s) - salvage;
        s = s + 1;
    end; %while
end; %if
t = t + 1;
end; %while
j = j + 1;
end; %while

%descarrega dados
j = 1;
while j <= fleet
    s = 2;
    while s <= period + 2
        S(s-1, j) = c(j, period, s);
        s = s + 1;
    end; %while
    j = j + 1;
end; %while

for s=1:period
    aux=0;
    for j=1:fleet
        aux=aux+S(s,j);
        if s~=1
            vMin(1,j)=S(1,j);
            vMinLoc(1,j)=1;
        else
            if S(s,j)< vMin(1,j)
                vMin(1,j)=S(s,j);
            end
        end
    end
end

```

```

        vMinLoc(1,j)=s;
        end; %if
    end; %if
end; %for j
tot(s,1)=aux;
if s~=1
    minTot=tot(s,1);
    minTotLoc=1;
else
    if tot(s,1)<minTot
        minTot=tot(s,1);
        minTotLoc=s;
    end; %if
end; %if
end; %for s

minSel=0;
for j=1:fleet
    minSel=minSel+vMin(1,j);
end; %for

%cria E
for j=1:6:97, E(1+(j-1)/6,1)=j-1, end;
[lin,col]=size(E);

%cria D
j = 1;
while j<lin
    D(j,1)=0
    for s=1:fleet

```

```
    if vMinLoc(1, s)>E(j,1) & vMinLoc<=E(j+1,1)
        D(j,1)=D(j,1)+1
    end; %if
end; %for s
j=j+1
end; %while
D(j,1)=0;
%bar(E,D)
hist(vMinLoc);
%----- end -----
```